

**Une approche tridimensionnelle de la
résolution de problèmes mathématiques
chez les élèves en fin d'enseignement
primaire**

Une approche tridimensionnelle de la résolution de problèmes mathématiques chez les élèves en fin d'enseignement primaire

Vanessa Hanin

Promoteur

Catherine Van Nieuwenhoven (UCL)

Thèse présentée en vue de
l'obtention du grade de Docteur
en sciences psychologiques et
de l'éducation

Président

Jacques Grégoire (UCL)

Comité d'accompagnement et jury

Jacques Grégoire (UCL)

Moïra Mikolajczak (UCL)

Nadine Bednarz (Université du Québec à Montréal, Canada)

Annick Fagnant (Université de Liège)

Table des matières

Table des matières	5
Résumé - Abstract	15
Remerciements.....	17
Introduction générale.....	23
Chapitre 1. Vers une démarche experte et réflexive de résolution de problèmes	29
1. Caractérisation et finalités des problèmes verbaux.....	31
2. A l'origine des stratégies et croyances des élèves.....	34
2.1 Stratégies de résolution superficielles	34
2.2 Croyances et présupposés sous-jacents	35
2.3 Origine de ces croyances et présupposés	36
2.4 Synthèse des comportements cognitifs et métacognitifs des résolveurs « novices » et « experts »	38
3. Favoriser le développement d'une expertise adaptative (versant cognitif) en résolution de problèmes	39
3.1 La modélisation mathématique	40
3.2 Adaptabilité et flexibilité.....	44
3.3 Les pairs comme ressource	45
3.4 Des énoncés de problèmes réalistes, complexes et ouverts	46
3.5 Une redéfinition des normes en vigueur dans la classe.....	46
4. Que disent les recherches interventionnistes ?	47
5. Conclusion	49
Chapitre 2. Métacognition et autorégulation cognitive.....	53
1. Cognition et métacognition : où est la frontière ?.....	55
2. Clarifications conceptuelles	56
3. La métacognition.....	57
3.1 Survol historique.....	57
3.2 Connaissances métacognitives	58
3.3 Stratégies métacognitives	59

4. Le développement des stratégies et connaissances métacognitives ..	64
4.1 Le développement naturel des connaissances et stratégies métacognitives...	64
4.2 Stimulation du développement de connaissances et stratégies métacognitives via des interventions ciblées.....	65
5. Mesurer les mécanismes d'autorégulation cognitive	67
6. Rôle des croyances motivationnelles dans les conduites d'autorégulation.....	69
6.1 Le sentiment d'efficacité personnelle	70
6.2 La valeur perçue	72
6.3 L'orientation des buts d'accomplissement.....	73
6.4 Les attributions causales	75
6.5 La persévérance.....	77
7. Conclusion	78
Chapitre 3. Des émotions aux compétences émotionnelles	81
1. Perspective componentielle de l'émotion	83
1.1 L'évaluation cognitive	83
1.2 Les modifications physiologiques.....	84
1.3 Les manifestations motrices	85
1.4 Les tendances à l'action	86
1.5 L'expérience subjective.....	86
2. Perspective componentielle temporelle de l'émotion	86
3. Clarifications conceptuelles	87
4. Les émotions académiques.....	88
4.1 Différents types d'émotions académiques.....	88
4.2 De la théorie des émotions de base à la taxonomie tridimensionnelle de Pekrun.....	89
4.3 Emotion « état » ou émotion « trait » ?	90
4.4 L'émotion, un construit situé	90
5. Fonctions des émotions.....	91
5.1 Emotion et attention.....	91
5.2 Emotion et mémoire.....	91
5.3 Emotion et traitement de l'information.....	92
5.4 Emotion et motivation	93
5.5 Emotion et performances	93
6. De l'intelligence émotionnelle aux compétences émotionnelles.....	94
6.1 Aperçu historique	94
6.2 Les compétences émotionnelles	96
6.3 La régulation émotionnelle	101
6.4 Perspective développementale des compétences émotionnelles.....	106
6.5 L'importance des compétences émotionnelles	108
6.6 Enseignement des compétences émotionnelles	109
7. Conclusion	111

Chapitre 4. Articulation des dimensions cognitives, motivationnelles et émotionnelles de l'apprentissage 115

- 1. La théorie du contrôle et de la valeur des émotions d'accomplissement..... 117**
- 2. Les modèles de l'apprentissage autorégulé..... 119**
 - 2.1 Comment en est-on arrivé aux modèles actuels ?..... 119
 - 2.2 Le modèle de l'apprentissage autorégulé de Zimmerman 120
 - 2.3 Le modèle de l'apprentissage autorégulé de Pintrich 122
 - 2.4 Le modèle de l'apprentissage autorégulé selon Efklides..... 126
- 3. Vers un modèle adapté de l'apprentissage autorégulé 128**
- 4. Qu'en est-il au niveau empirique ?..... 130**
- 5. Conclusion 132**

Chapitre 5. Questions de recherche 135

- 1. Les émotions, un antécédent important de la motivation ? 137**
- 2. Impact d'une intervention cognitive et métacognitive en résolution de problèmes ? Zoom sur les émotions, les stratégies heuristiques enseignées et les bénéfices retirés par différents profils d'élèves ... 138**
- 3. Quelle est la charge cognitive d'une telle intervention et quel est l'effet de cette dernière sur la nature des stratégies de régulation émotionnelle utilisée par l'apprenant ?..... 139**
- 4. Impact d'une intervention qui agit directement sur les compétences émotionnelles des élèves ? 141**
- 5. Qu'en est-il du caractère dynamique et processuel des composantes (méta)cognitives, (méta)motivationnelles et (méta)émotionnelles impliquées dans l'expertise adaptative ? 141**
- 6. Quelle(s) place(s) pour les dimensions motivationnelles et émotionnelles dans la définition des profils d'élèves?..... 143**

Chapitre 6. The influence of motivational and emotional factors in mathematical learning in secondary education 147

- 1. Introduction..... 149**
- 2. The Control-Value theory of achievement emotions 150**
- 3. Motivational dimensions..... 151**
- 4. Academic emotions 152**
- 5. Academic outcomes..... 153**
- 6. Relationships between motivation and academic emotions..... 154**
- 7. Relationships between academic emotions and academic outcomes 154**
- 8. The present study 155**
- 9. Method..... 156**

9.1	Sample	156
9.2	Procedure and measures	156
10.	Results	158
10.1	Motivation, behavioral engagement and academic emotions	158
10.2	Emotions as predictors of math value and math self-concept	159
10.3	Emotions as predictors of academic outcomes	161
11.	Discussion	162
11.1	Motivation and academic emotions	162
11.2	Emotions as predictors of motivation	163
11.3	Emotions as predictors of behavioral engagement and mathematics performance	164
11.4	Limitations and areas of future research	166
Chapitre 7. Evaluation d'un dispositif pédagogique visant le développement de stratégies cognitives et métacognitives en résolution de problèmes en première secondaire		169
1.	Introduction	171
2.	Cadre théorique	173
2.1	Stratégies de résolution superficielles observées chez le résolveur novice ..	173
2.2	La modélisation mathématique au service de la résolution de problèmes	175
2.3	Hypothèses basées sur ces constats	178
3.	Méthodologie	178
3.1	Echantillon	179
3.2	Dispositif expérimental	179
3.3	Mesures	182
4.	Résultats et discussion	183
4.1	Evaluation du dispositif	183
4.2	Bénéfices du dispositif pour les élèves « faibles » et « forts »	187
4.3	Heuristiques prédictrices des performances en résolution de problèmes	189
4.4	Discussion	190
5.	Limites et perspectives	193
Chapitre 8. Children's Emotion Regulation Scale in Mathematics (CERS-M)		195
1.	Introduction	197
2.	Brief background to inventories of emotion regulation strategies ...	199
3.	Emotion regulation strategies inventory used in the present study .	200
3.1	Situation selection	200
3.2	Situation modification	201
3.3	Attentional deployment	201
3.4	Cognitive change	201
3.5	Response modulation	202

3.6	Emotion expression	202
4.	Study 1	202
4.1	Method	202
4.2	Procedure for items generation	203
4.3	Procedure for items completion.....	203
4.4	Results	203
4.5	Discussion.....	209
5.	Study 2	210
5.1	Method	211
5.2	Results	212
5.3	Discussion.....	217
6.	General discussion and conclusion.....	219
 Chapitre 9. Teaching the problem-solving process in a progressive or in a simultaneous way.....		
1.	Introduction.....	223
2.	Theoretical foundations.....	224
2.1	The problem-solving process	224
2.2	The contribution of cognitive load theory.....	225
2.3	The contribution of emotion theory.....	226
2.4	The contribution of motivation theory	227
3.	Research questions and hypotheses	227
4.	Method.....	228
4.1	Participants	228
4.2	Training program	229
4.3	Measures	230
4.4	Analysis	232
5.	Results.....	232
5.1	Question 1 : In terms of learning, would it be better to teach non-routine problem-solving according to a "simultaneous" approach or to a "gradual-all-together" approach?.....	232
5.2	Question 2: Is it appropriate to adopt a different teaching approach according to the learner's level of expertise in problem solving ?.....	236
6.	General discussion and conclusion.....	240
 Chapitre 10. Developing an expert and reflexive approach to problem solving		
1.	Introduction.....	247
2.	Theoretical background	248
2.1	Cognitive dimension of problem-solving competence	248
2.2	Emotional dimension of problem-solving competence	249

3. The present study	250
4. Method	251
4.1 Participants	251
4.2 Measures	252
4.3 Fidelity of implementation	254
4.4 Analysis	255
5. Results	256
5.1 Problem-solving performance	256
5.2 Cognitive dimension of problem-solving competence	257
5.3 Emotional dimension of problem-solving competence	261
6. Discussion	263
7. Conclusion	266
 Chapitre 11. Exploration of cognitive, motivational, emotional and regulative behaviors of elementary-school novice and expert problem-solvers.....	 269
1. Introduction	271
2. Conceptual clarifications	272
2.1 The action preparation phase.....	272
2.2 The performance monitoring phase	273
2.3 The self-reflection phase	275
2.4 Aims of the study	275
3. Method	276
3.1 Participants	276
3.2 Data collection	276
3.3 Data analysis.....	277
4. Results and discussion	278
4.1 The action preparation phase.....	278
4.2 The performance monitoring phase	287
4.3 The self-reflective phase	292
5. Conclusion	293
 Chapitre 12. Evaluation d'un dispositif d'enseignement-apprentissage en résolution de problèmes mathématiques	 297
1. Introduction	299
2. Cadre théorique.....	301
2.1 Dimensions cognitive et métacognitive de la résolution de problèmes	301
2.2 Dimension motivo-émotionnelle de la résolution de problèmes.....	302
3. Méthodologie	303
3.1 Sujets.....	303
3.2 Dispositif d'enseignement-apprentissage.....	303

3.3	Collecte des données	304
3.4	Méthode d'analyse des données	305
4.	Résultats.....	306
4.1	Comparaison des productions écrites du prétest, post-test et du test de rétention.....	306
4.2	Analyse des verbatims.....	312
5.	Discussion.....	316
6.	Conclusion	318
 Chapitre 13. Rôle des régulations interactives entre pairs dans le développement d'une expertise adaptative en résolution de problèmes : une étude de cas.....		
1.	Introduction.....	323
2.	Composantes de l'expertise adaptative.....	324
2.1	Les régulations interactives	325
2.2	Les stratégies heuristiques et d'autorégulation cognitive	326
2.3	L'importance des croyances motivationnelles.....	327
2.4	L'importance des émotions.....	328
3.	Objectif de l'étude.....	328
4.	Méthodologie	329
4.1	Participant.....	329
4.2	Dispositif d'enseignement-apprentissage.....	329
4.3	Récolte de données	330
4.4	Analyse des données	330
5.	Analyse et interprétation des résultats	331
5.1	Analyse des changements cognitifs et métacognitifs	331
5.2	Analyse des changements motivationnels et émotionnels	339
6.	Discussion et conclusion.....	341
 Chapitre 14. Emotional and motivational relationship of elementary students to mathematical problem-solving		
1.	Introduction.....	345
2.	Theoretical background.....	346
2.1	Achievement emotions.....	346
2.2	Emotion regulation strategies	348
2.3	Perceived competence	349
3.	Research questions	350
4.	Method.....	352
4.1	Sample and procedure.....	352
4.2	Measures	352

5. Results.....	354
5.1 Preliminary analysis.....	354
5.2 Cluster analysis	356
5.3 Validation of the cluster solution	356
5.4 Description of the clusters.....	357
5.5 Clusters and outcomes.....	358
6. Discussion.....	360
6.1 Can meaningful distinct subgroups of upper-elementary problem solvers with specific combinations of emotional and motivational characteristics be identified?.....	360
6.2 Do these distinct subgroups differ regarding emotion regulation strategies and problem-solving performance?.....	361
6.3 Do these distinct subgroups differ regarding gender?.....	363
6.4 Limitations and future perspective.....	363
Discussion et conclusion générales.....	365
1. Rappel du cheminement théorique et des questions de recherche ..	367
2. Discussion des principaux résultats	368
2.1 De la nécessité d'une approche tridimensionnelle de la résolution de problèmes.....	368
2.2 La transition entre le primaire et le secondaire : un enjeu crucial	378
2.3 Spécificités méthodologiques	387
3. Limites de nos recherches et pistes de recherches futures.....	392
3.1 Revisiter les recherches centrées sur les résolveurs « novices » et « experts »	392
3.2 Allonger la durée des interventions.....	393
3.3 Mieux cerner la complexité de la résolution de problèmes par une plus grande diversification des méthodes d'analyse.....	395
3.4 Effectuer une analyse didactique a priori des problèmes proposés aux élèves.....	397
3.5 Prendre en compte les profils des enseignants.....	397
4. Quelques retombées pour la formation initiale des enseignants.....	399
Références bibliographiques.....	403
Annexes.....	453
Annexe 1. Analyses complémentaires à la recherche présentée au chapitre 7	455
Annexe 2. Informations complémentaires relatives à la recherche présentée au chapitre 8	461
Annexe 3. Analyses complémentaires à la recherche présentée au chapitre 9	465

Annexe 4. Analyses complémentaires à la recherche présentée au chapitre 10	479
Annexe 5. Enoncés des problèmes utilisés dans les interventions	483
Annexe 6. Critères ayant guidés le choix des problèmes retenus et analyse a priori	491

Résumé

L'acquisition, par les élèves tant du primaire que du secondaire, d'une expertise adaptative (par opposition à une expertise routinière) en résolution de problèmes mathématiques a déjà fait couler beaucoup d'encre. Cependant, ce sont essentiellement les processus cognitifs et métacognitifs qui ont retenu l'attention jusqu'ici. Or, il ne fait plus de doute à l'heure actuelle qu'une telle expertise repose sur la maîtrise intégrée de processus tant (méta)cognitifs, que (méta)motivationnels et (méta)émotionnels. Cette thèse cherche, au travers de la combinaison de méthodes d'analyse variées, à comprendre et interpréter comment ces différents processus s'influencent mutuellement pour guider les conduites de l'apprenant. Nos études, qui se sont penchées sur l'évaluation de l'efficacité de dispositifs quasi-expérimentaux, mettent en avant l'efficacité d'une approche tri-dimensionnelle de la résolution de problèmes. Ces dernières sont affinées par plusieurs études qualitatives qui permettent de cerner le caractère dynamique et évolutif de ces processus et de comprendre l'origine des changements observés. De plus, une approche centrée sur la personne a permis d'élargir les profils actuels (« novices » et « experts »), définis en termes de niveau de performance, et ainsi de tenir compte de l'intrication étroite entre cognition, motivation et émotion.

Abstract

There is a vast body of knowledge on the acquisition by both elementary and high school students of adaptive expertise (as opposed to routine expertise) in problem-solving. However, it is primarily cognitive and metacognitive processes that have received attention so far. Nowadays, there is no longer any doubt that such expertise relies on the integrated mastery of both (meta)cognitive, (meta)motivational and (meta)emotional processes. This doctoral dissertation seeks, through the combination of various methods of analysis, to understand and to interpret how these different processes influence each other to guide the learner's behavior. Our studies, which have focused on the evaluation of the effectiveness of quasi-experimental training-programs, highlight the efficacy of a three-dimensional approach to problem solving. These first studies are refined by several qualitative studies that make it possible to grasp the dynamic and evolving nature of these processes and to understand the origin of changes observed. Finally, a person-centered approach has made it possible to broaden the current profiles ("novices" and "experts"), defined in terms of performance levels and thereby, to take into account the close interplay between cognition, motivation and emotion.

Remerciements

Cette thèse n'aurait pas été possible sans l'aide et le soutien d'un certain nombre de personnes que je souhaite remercier vivement.

Je tiens, tout d'abord à adresser mes plus vifs remerciements à ma directrice de thèse, Catherine Van Nieuwenhoven. Catherine, j'ai été plus que comblée par l'encadrement, ou pour le dire plus justement, par tout ce que tu m'as apporté, tout au long de ces cinq années de thèse. Le regard toujours bienveillant et constructif que tu as porté sur mon travail et la confiance que tu m'as toujours accordée m'ont permis de progresser et de me dépasser. Je tiens également à te remercier pour ta disponibilité. Tu as toujours été là pour moi. Même lors de rencontres ponctuelles, durant lesquelles non seulement tu me rassurais mais tu m'aiguillais et me redynamisais également. J'en ressortais à nouveau animée par cette fièvre de vouloir révolutionner l'enseignement. Ta grande connaissance du sujet et de ses rouages m'a permis d'y voir plus clair et de confirmer mes intérêts pour l'éducation et la formation. De plus, lors de mes premiers colloques, tu as été une force apaisante et encourageante. Tu as non seulement été un excellent guide, mais tu as été quelqu'un de très attentionné, en témoignent les nombreux moments en équipe que tu as organisés, que ce soit à Daverdisse ou au Canada. Tu y mettais un point d'honneur à concilier ambiance de travail soutenu et moments de détente conviviale. Les fous rires que nous avons eus, les rencontres et découvertes que nous avons faites, les imprévus que nous avons eus, etc. sont autant de souvenirs inoubliables. Pour conclure, je dirais que ces années passées à tes côtés ont été riches tant sur le plan du développement de connaissances et de compétences que sur le plan humain et je t'en remercie. C'est une chance que j'ai eue de pouvoir travailler à tes côtés.

Je tiens également à remercier les membres de mon comité d'accompagnement, Moïra Mikolajczak et Jacques Grégoire. Moïra, merci pour ton enthousiasme sans faille à propos des différentes idées et projets dont je t'ai fait part et ce, dès le début de la thèse. Je pense ici tout particulièrement au projet de développer les compétences émotionnelles à l'école et de construire un instrument de mesure adapté. Ta grande disponibilité au début de ce projet et tes commentaires constructifs et pointus tout au long de celui-ci m'ont permis de transposer le cadre théorique sur les compétences émotionnelles aux élèves de l'enseignement primaire tout en conservant un maximum de rigueur. Jacques, je vous remercie pour vos commentaires, toujours constructifs et encourageants. Je pense notamment à l'aide précieuse que vous m'avez apportée dans la récolte de preuves de la validité et de la fidélité de l'instrument que nous avons construit. Par ailleurs, j'ai pu profiter de votre maîtrise de champs théoriques variés allant de la résolution de problèmes aux compétences émotionnelles, en passant par la métacognition au travers des questions que vous ouvriez lors de nos rencontres annuelles.

Merci aussi à Nadine Bednarz et à Annick Fagnant de m'avoir fait l'honneur de faire partie du jury externe de cette thèse. Nadine, je me permets de vous remercier de m'avoir

accueillie à plusieurs reprises à l'UQAM, au sein de votre équipe de recherche du GREFEM. Nos échanges m'ont permis de mieux cerner les enjeux des recherches en didactique des mathématiques et la complémentarité de ces dernières avec les travaux menés en psychologie de l'éducation. Annick, je tiens à te remercier pour l'intérêt que tu as toujours porté à mon travail et pour tes réflexions et feedbacks avisés qui ont permis d'améliorer notablement la qualité de mes travaux. Je tiens également à te remercier tout particulièrement pour ton indulgence par rapport à la longueur de nos articles !

Mes remerciements vont également à mes super collègues qui m'ont permis de vivre ces cinq années dans la bonne humeur, la sérénité et la bienveillance. A ce propos, je tiens à remercier tout particulièrement l'équipe qui m'a accueillie, ou devrais-je plutôt dire, prise dans son giron, et ce, avant même que mon mandat d'assistante ne débute. C'est, en effet, à ce Laser Game que tout a commencé. Véhiculée par Mikaël, dont j'ai rapidement fait la connaissance (ta conduite et tes commentaires en disent long !), j'ai pu, durant le trajet, découvrir la personne attentionnée et bienveillante qui se cache derrière toi, Virginie. Sur place, j'ai fait la connaissance de toi, Nathalie, collègue (qui deviendra, très vite, comme les autres membres du groupe, une véritable amie) toujours souriante et dotée d'une « force tranquille ». Christelle, cela a été l'occasion de découvrir combien la « mamy » du groupe était un maillon fort de ce dernier. Bref, je me suis directement sentie en confiance avec vous. Depuis cette première activité, de nombreuses autres se sont enchaînées, toutes plus riches les unes que les autres, laissant chacune des souvenirs indélébiles. Si vous avez tous contribué à mon épanouissement durant ces cinq années, vous l'avez fait de façon on ne peut plus complémentaire. Christelle (j'y vais par ordre alphabétique, parce qu'il n'y a pas de hiérarchisation possible), ton écoute et tes conseils dénotant de ton expérience m'ont été d'un grand soutien. Je pense ici tout particulièrement à tes relectures dont j'ai pu bénéficier à plusieurs reprises. Tu passais aussi régulièrement dans mon bureau pour prendre de mes nouvelles. Je te remercie pour l'attention que tu as portée à mon rythme de travail et à mon bien-être. Mikaël, les nombreux et précieux conseils et aides que tu m'as fournis remontent au temps de la rédaction de mon mémoire. Tu as toujours été disponible et ouvert (la plupart du temps :-) à mes questions, me permettant ainsi de compléter et d'améliorer mes compétences en statistiques. Mais cela n'est qu'une partie du tableau. Effectivement, tu es un ami qui se soucie au quotidien du bien-être des autres. Tes recommandations à ce sujet m'ont véritablement touchée. Mais, je pense que ce que j'apprécie le plus chez toi, c'est la façon que tu as à t'emballer pour une idée, à foncer dans celle-ci et à déployer une énergie considérable pour la mettre en œuvre ! Nathalie, tu as toujours été très compréhensive, toujours positive et apaisante. En plus d'une amie, ce fut un plaisir de travailler en tant que collègue aux côtés d'une personne débordante d'idées. Virginie, j'ai adoré les discussions que nous avons eues tout au long de ces cinq années. C'est vraiment un plaisir d'échanger avec toi. En plus d'une écoute à toute épreuve, tu es toujours de bon conseil. Merci aussi pour ton soutien et tes encouragements à la fin de ma thèse. Je dois bien avouer qu'entourée comme je l'ai été, ma seule crainte a été de devoir achever ma thèse sans vous avoir à mes côtés.

Au fil des années, d'autres belles amitiés ont vu le jour. Steph, en plus d'avoir été une compagne de sport super motivante, tu fus une collègue et amie bienveillante et attentionnée. Je te remercie pour ton soutien et ton dynamisme. Sarah, notre amitié a commencé avec les TPs de « Projet de Formation », pour lesquels tu m'as transmis ton savoir-faire. Puis cela a progressivement gagné d'autres sphères, le goût pour le sport, pour les blessures (l'un n'allant malheureusement pas sans l'autre) ; pour finalement se retrouver chez la même kiné (dont j'en profite pour remercier les précieux services). Merci pour ce que tu m'as apporté. Anne, les discussions que nous avons eues, chaque vendredi après-midi (ou presque) sur des sujets aussi variés que les progrès très rapides de Gabrielle ou des analyses statistiques me manquent véritablement. Noémie, merci pour les débats très intéressants que nous avons eus sur notre envie de refaire l'enseignement. Véro, quelle chance que j'ai eu de t'avoir comme voisine de bureau. Toujours positive, enthousiaste et attentionnée et d'une efficacité impressionnante. Collaborer avec toi est un véritable plaisir. Je te remercie aussi pour ton attitude calme et apaisante, qui fait réellement du bien. Samir, tu m'as permis de me rappeler de beaux souvenirs de mon enfance à Bruxelles. Florence, tu es une source intarissable de joie de vivre et de dynamisme. Bien que le temps nous ait rattrapées, lors des quelques séances d'escalade que nous avons faites ensemble, j'ai directement eu confiance en toi. Caroline, ancienne collègue de l'aile D, à l'époque une des rares collègues qui travaillait aussi sur l'implémentation d'interventions dans les classes, je te remercie pour les échanges que nous avons eus. Claire, je suis contente d'avoir appris à mieux te connaître via l'Effective Team. Ta bonne humeur et ta bienveillance sont précieuses. Chloé, je te remercie pour les discussions, toujours très intéressantes, que nous avons eues en tant que voisines de bureau et pour ton soutien à la fin de ma thèse. Sébastien et Antoine, votre humour et nature apaisante ont rendu le séjour à Tempere très agréable. Michaël, ton calme et ton foisonnement d'idées ont été très appréciés lors des TPs de stat. Thomas, à travers les quelques échanges que nous avons eus, j'ai pu découvrir la personne posée et sympathique que tu es.

Mais avec cela, je n'ai dressé le portrait que de la moitié des collègues qui m'ont accompagnée durant toutes ces années. Partagés entre la Haute Ecole et la Fac, votre amitié m'a été (et est d'ailleurs toujours) très précieuse. Stéphane, tu as toujours été un peu comme un modèle pour moi. J'ai toujours été admirative de ta maîtrise de champs théoriques aussi vastes que la didactique du français, la métacognition et la formation des enseignants (pour n'en citer que quelques-uns). Si j'apprécie ta rigueur et ton expertise professionnelle, je te remercie également des échanges que nous avons pu avoir et qui m'ont permis de progresser. Olivier, ton humour, ta gentillesse et ta prévenance sont des qualités que je te remercie d'avoir partagé avec moi. Marc, ta joie de vivre, ta maîtrise du signe hexadique (!) et les discussions que nous avons eues lors de nos sorties running à Montréal ont été un réel plaisir. Agnès, ton souci de faire les choses à fond et tes encouragements ont été précieux. Je te remercie aussi pour ton soutien et ton aide précieuse aux moments les plus denses de ma thèse. Isabelle V., je te remercie pour l'accueil et l'hospitalité que tu m'as réservés chaque fois que je suis venue sur Montréal. Tu m'as ouvert ta porte alors que nous ne nous connaissions que très peu. J'ai apprécié les nombreuses discussions que nous avons eues. En évoquant le Canada, je ne peux pas ne pas t'évoquer, Eliane. Déjà lors de notre première rencontre, lors d'un cours à la Fopa, je me rappelle comme j'avais trouvé ton intervention

intéressante. J'ai ensuite eu l'occasion, au travers de diverses activités, plutôt épiques (je me rappelle notamment cette descente en kayak !), d'apprendre à mieux te connaître et ce fut un véritable plaisir. Au-delà du fait que tu véhicules les saveurs délicieuses du Canada, tu es une personne très attentionnée et bienveillante. Je tiens également à remercier Pascalia et Nicole pour l'attention que vous avez portée à mes recherches et pour votre bienveillance et soutien. En effet, il n'y a pas eu une fois où nous nous sommes croisées dans les couloirs sans que vous ne formuliez une gentille attention à mon égard. Pascalia, ton sourire et ton dynamisme sont boostants ! Nicole, je te remercie pour les occasions que tu m'as offertes de partager mes recherches avec les futurs enseignants de l'ENCBW.

Merci aussi à Eveline, Stéphanie, Coryse, Jean-Marc, Marc, Amandine, Marie-Hélène, Alexandra et tous les autres pour les moments inoubliables que j'ai pu partager avec vous lors des différents colloques de l'Admée mais aussi pour vos visites impromptues dans mon bureau qui me faisaient toujours bien plaisir. Je tiens également à remercier chaleureusement tous les collègues des Hautes Ecoles qui ont contribué de près ou de loin à la récolte des données utilisées dans cette thèse.

Mes remerciements vont également à toute l'équipe d'enseignants du labo 2 à côté desquels/avec lesquels j'ai eu l'occasion de travailler au quotidien. Benoit, ce fut un plaisir de collaborer avec toi, pendant plusieurs années, dans le cours de démarche de recherche. Liesje, je te remercie pour tes conseils statistiques avisés et pour ta disponibilité (notamment pour la relecture de plusieurs de mes articles). Ce fut également un plaisir de collaborer autour d'un TP avec toi ; ton efficacité est impressionnante. Virginie M., je te remercie pour l'intérêt que tu as porté à mes recherches, pour ta disponibilité et pour tes conseils méthodologiques avisés. Ton enthousiasme pour toutes les questions qui touchent au domaine de l'éducation est très appréciable. Mariane, ta présence matinale, mais également aux heures plus tardives représentait une compagnie agréable et motivante. Je tiens également à te remercier pour ce souci que tu avais en tant que doyenne, de satisfaire les envies de chaque assistant. Le fait d'avoir eu des tâches d'encadrement dans lesquelles je me retrouvais, m'a permis de réellement m'épanouir. Marie, Isabelle et Frédéric je vous remercie d'avoir été des collègues encourageants et toujours soucieux de savoir comment j'allais.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance à Marianne, Isabelle et Dominique D. pour les nombreuses fois où vous m'êtes venus en aide et pour les discussions, échanges que nous avons eus. Un merci spécial à Marianne pour l'aide précieuse que tu m'as apportée à la mise en page de cette thèse. Sans toi, le produit final n'aurait pas une si belle allure ! Dominique H., je te remercie vivement pour ta disponibilité, ta flexibilité et ta patience concernant non seulement l'emprunt de matériel (dictaphones et vidéos) mais également leur exploitation. Sandra, Solange et Martine, je tiens également à vous remercier pour les nombreux services que vous m'avez rendus dont l'efficacité a toujours été incontestable. Jonathan D. et Nathalie L. je vous remercie pour l'aide que vous m'avez apportée au niveau de mes traitements statistiques et pour votre disponibilité.

Cette thèse n'aurait pas pu voir le jour sans la contribution d'un nombre important d'enseignants et d'élèves. A ce sujet, je tiens à remercier les nombreux enseignants qui se

sont lancés dans les projets, parfois un peu fous, que je leur ai proposés. Je pense aux équipes de Basse-Wavre, de Neufvilles, d'Erpent, d'Auvelais, d'Ixelles, de Laeken, de Koekelberg, de Montjoie, de Bruxelles et encore à bien d'autres. Votre enthousiasme, votre énergie, vos questions et vos suggestions ont non seulement attisé la flamme qui m'a animée tout au long de cette thèse, mais m'ont également permis d'améliorer les dispositifs proposés. Quant à vous, apprenants qui avez vécu ces dispositifs, les échanges que j'ai eus avec vous, les retours dont vous m'avez fait part lors de mes visites en classe m'ont touchée en plein cœur.

Je termine avec les meilleurs. Maman, Papa, les mots me manquent pour vous exprimer toute ma gratitude. Cette thèse ne serait pas là, sans vous. Votre soutien inconditionnel durant toutes ces années a été sans faille. Vous avez toujours su tempérer mes nombreux questionnements et remises en question tout en soutenant la flamme qui m'a animée dès le début de cette thèse. Si, vous avez toujours été là, la bienveillance et le soutien dont vous avez fait preuve à la fin de cette thèse ont été sans pareil. Papa, tu as fait preuve non seulement d'une écoute époustouflante, mais également de conseils toujours plus avisés les uns que les autres. Maman, tes multiples attentions, tes encouragements, ta façon que tu as de si bien me comprendre, ton souci de toujours bien faire ont été une source intarissable de motivation. Folks, vous êtes exceptionnels ! Laeti, bien que tu te sois un peu éloignée durant ma dernière année de thèse, du plus loin que je me souviens, j'ai toujours pu compter sur toi. Ta façon complémentaire à la mienne de voir les choses fait de nous, un binôme parfait.

Et enfin, mes remerciements vont également à tous ceux qui, non mentionnés ci-dessus, m'ont soutenue de près comme de loin dans la rédaction de cette thèse.

Introduction générale

Durant la seconde moitié des années 90, les curricula en mathématiques de nombreux pays ont été le théâtre d'importants changements, tant au niveau du contenu que des méthodes pédagogiques préconisées (Danblon, 1990 ; FESeC, 2000 ; Festraets, Festraers, Haubruge, Houben, Noël, et al., 1991 ; Ministère de l'Education de l'Ontario, 2000 ; NTCM, 2000 ; Verschaffel, 1999). Et cela du fait que, si « pendant une grande partie du siècle dernier, la mission principale des écoles a consisté à enseigner des compétences correspondant à un niveau de littéracie faible, les évolutions de la fin du XXe siècle ont rendu plus urgent le besoin d'un niveau de littéracie fort, comprenant la capacité à rassembler et interpréter de nouvelles informations, à évaluer des situations complexes, à identifier et résoudre des problèmes » (Verschaffel, Greer & Van Dooren, 2008, p. 588). Ainsi, nous pouvons lire dans le rapport Danblon¹, commandité par le ministère de l'Education, qu'« apprendre les mathématiques consiste moins à absorber ces connaissances qu'à améliorer sa capacité de penser mathématiquement, de résoudre des problèmes. Les activités des citoyens relèveront toujours plus de la réflexion que des automatismes, l'éducation mathématique doit viser la compréhension plus que les exécutions d'algorithmes » (1990, p.5).

Ce vent de renouveau pédagogique a insufflé l'approche par compétences qui a ainsi pris la place de l'approche par objectifs avec l'entrée en vigueur du Décret « Mission » (1997). Si l'approche par objectifs induit un morcellement démesuré des contenus d'enseignement et par là une perte de sens et un investissement cognitif moindre de la part de l'apprenant ; l'approche par compétences, en ce qu'elle cherche à appréhender la réalité dans toute sa complexité, répond aux limites de l'approche par objectifs et rencontre les besoins de la société de la fin du XXe siècle (Crahay & Forget, 2006 ; Marcoux, 2006 ; Romainville, 2006). Au niveau des curricula en mathématiques, cela s'est traduit par la propulsion de la résolution de problèmes au cœur des apprentissages mathématiques. Comme le mentionnent les Socles de Compétences², « c'est par la résolution de problèmes que l'élève développe des aptitudes mathématiques, acquiert des connaissances profondes et se forge une personnalité confiante et active » (Administration générale de l'Enseignement et de la Recherche scientifique, 2003, p.23). Depuis lors, la résolution de problèmes est au cœur des préoccupations tant des politiciens que des chercheurs. Citons, à ce propos, les nombreuses recherches commanditées par les ministères de l'Education nationale telles que le projet SINUS introduit en Allemagne en 1998 et visant l'amélioration de l'enseignement des mathématiques (Blum & Leiß, 2008 ; Blum & Leiss, 2005), le projet de construction d'outils didactiques en résolution de problèmes à l'usage des enseignants du fondamental lancé en Belgique francophone, en 1999 (Fagnant & Demonty, 2005 ; Fagnant, Demonty & Lejong,

¹ Ce rapport a été rédigé par une Commission Scientifique sur l'Enseignement des Mathématiques et des Sciences.

² Document publié pour la première fois en 1999 définissant les compétences minimales à atteindre de la première primaire à la deuxième secondaire.

2003) ou encore les recherches menées au Luxembourg sur les données Pisa qui visent à identifier les difficultés des élèves et à proposer des outils pédagogiques pour les contrer (Bertemes, Gamo & Vlassis, 2013 ; Vlassis, Gamo & Bertemes, 2015). S'ajoutent à cela la création de pistes didactiques dédiées entièrement à la résolution de problèmes et le développement de formations continues sur ce même thème.

Ces initiatives ne semblent, cependant, pas avoir eu tout l'effet escompté. Effectivement, les résultats aux épreuves certificatives externes proposées en Fédération Wallonie-Bruxelles (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, 2014/2017) mettent en évidence la persistance de scores faibles en mathématiques³ ainsi qu'un déclin des scores au cours de la scolarité (Tableau 1).

Tableau 1. Evolution depuis 2014 des performances au CEB et au CE1D des élèves de la Fédération Wallonie-Bruxelles

Année	CEB ⁴	CE1D ⁵
2014	72%	55.5%
2015	75%	53.7%
2016	73%	51.8%
2017	70.7%	53.2%

Ce déclin touche également la motivation et les émotions des apprenants. En effet, plusieurs études ont mis en évidence une diminution du sentiment de compétence, de la valeur accordée aux mathématiques, des buts de maîtrise et des émotions positives ainsi qu'une hausse des émotions négatives à mesure que les élèves progressent dans leur scolarité (Ahmed, van der Werf & Minnaert, 2013; Spinath & Steinmayr, 2008; Wigfield & Cambria, 2010; Wigfield, Harold, Freedman-Doan, Eccles, Yoon, et al., 1997). Et ce n'est pas un hasard ! Tant les modèles théoriques (Boekaerts, 1996, 2007 ; Meyer & Turner, 2006 ; Pekrun, 2006 ; Weiner, 1985 ; Zimmerman, 2001, 2011) que les études empiriques (Dettmers, Trautwein, Lüdtke, Goetz, Frenzel & Pekrun, 2011 ; Goetz, Cronjaeger, Frenzel, Lüdtke & Hall, 2010 ; Goetz, Frenzel, Pekrun, Hall & Lüdtke, 2007 ; Op't Eynde, De Corte & Verschaffel, 2006 ; Peixoto, Sanches, Mata & Monteiro, 2017) soulignent l'étroite relation entre les dimensions cognitives, motivationnelles et émotionnelles de l'apprentissage. Plus encore, ces recherches insistent sur la nécessité de prendre ces dimensions en compte, de façon conjointe et intégrative. En effet, si disposer de connaissances et de stratégies cognitives et métacognitives est important pour pouvoir résoudre correctement un problème, l'activation de ces dernières relève de la juridiction des croyances motivationnelles et des

³ Les résultats ne sont pas tous disponibles spécifiquement pour les épreuves de résolution de problèmes. Toutefois, force est de constater que la résolution de problèmes est souvent la partie la moins bien réussie par les élèves.

⁴ Le CEB est une épreuve externe certificative qui évalue les compétences en mathématiques, en français et en éveil (historique, géographique et scientifique) développées au cours des six années de l'enseignement primaire. Les pourcentages rapportés sont ceux des élèves de sixième primaire.

⁵ Le CE1D est une épreuve externe certificative commune à tous les élèves à l'issue du tronc commun (au terme de la deuxième secondaire). Cette épreuve porte sur les mathématiques, le français, les langues modernes et les sciences. Les pourcentages rapportés sont ceux des élèves de deuxième année commune.

émotions de l'apprenant (Berger & Büchel, 2012 ; Boekaerts, 1997 ; Pintrich & De Groot, 1990 ; Zimmerman 2001, 2011). L'expertise en mathématiques a ainsi été définie comme la maîtrise intégrée de cinq catégories d'aptitudes. Selon Verschaffel, Greer et De Corte (2000), l'expertise adaptative en résolution de problèmes mathématiques recouvre les aptitudes suivantes :

- (1) une base de connaissances spécifiques au domaine, accessibles, flexibles et organisées, comprenant les faits, les symboles, les algorithmes, les concepts et les règles qui constituent le contenu des mathématiques en tant que discipline ;
- (2) des heuristiques, c'est-à-dire des stratégies de recherche pour la résolution de problèmes qui ne garantissent pas, mais augmentent significativement, la probabilité de trouver une solution correcte, car elles induisent une approche systématique de la tâche ;
- (3) des connaissances « méta », parmi lesquelles on peut distinguer les connaissances propres à son fonctionnement cognitif (connaissances métacognitives) et les connaissances relatives à sa motivation et à ses émotions ;
- (4) des stratégies d'autorégulation, parmi lesquelles on peut discerner les stratégies portant sur les processus cognitifs (stratégies métacognitives ou d'autorégulation cognitive) et les stratégies relatives à la régulation de sa motivation et de ses émotions ;
- (5) des croyances, des attitudes et des émotions positives associées aux mathématiques. Trois catégories de croyances sont à distinguer : les croyances au sujet de soi-même en relation à l'apprentissage et à la résolution de problèmes mathématiques, les croyances à propos du contexte social dans lequel les activités mathématiques prennent place et celles relatives aux mathématiques elles-mêmes, à la résolution de problèmes et à l'apprentissage de la résolution de problèmes.

Ces aptitudes s'articulent au sein de modèles hiérarchiques (Boekaerts, 1996, 1997 ; Focant, 2003) (Figure 1). Ainsi, à la base du modèle cognitif se trouvent les connaissances mathématiques auxquelles s'ajoutent des connaissances métacognitives liées aux tâches, aux stratégies cognitives et métacognitives et, aux personnes (fonctionnement de la cognition humaine et fonctionnement personnel). Viennent ensuite les stratégies cognitives (ou stratégies heuristiques) qui sont des processus qui s'opèrent à partir de ces connaissances. Dans la partie supérieure du modèle se situent les stratégies de régulation cognitive (ou stratégies métacognitives) qui ont pour fonction de sélectionner et de gérer tant les connaissances que les stratégies cognitives. La motivation et les émotions sont charpentées de façon similaire. Ainsi, les connaissances et croyances, situées à la base de ces modèles, sont contrôlées et régulées par différentes stratégies. Ces dimensions font l'objet des différents chapitres théoriques de cette thèse.

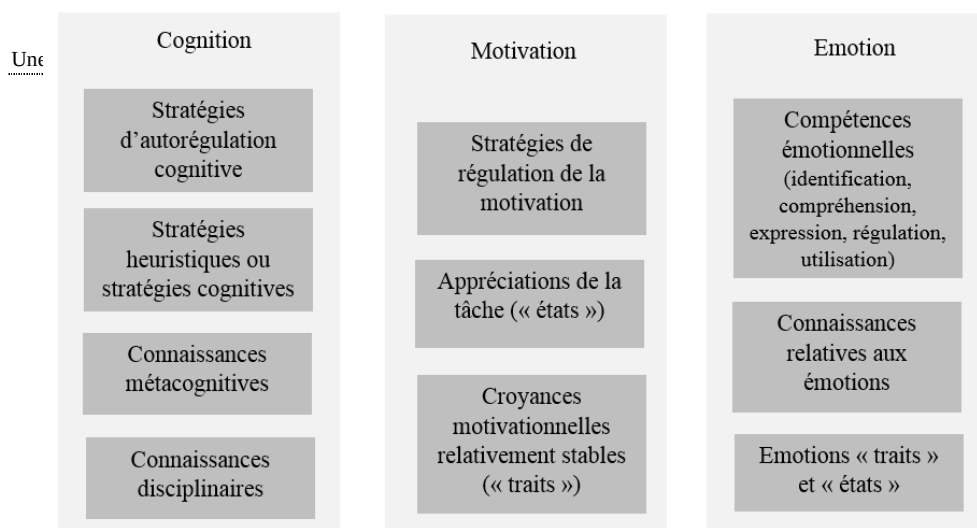


Figure 1. Schématisation des composantes d'une expertise adaptative en résolution de problèmes mathématiques

Mais comment faire pour développer une telle expertise ? De nombreuses recherches dans les champs de l'éducation et de la didactique des mathématiques se sont penchées sur cette question. Ces recherches sont principalement de deux types. D'une part, les recherches à visée « compréhensive » qui se penchent sur les comportements, démarches et stratégies adoptés par différents profils d'élèves (« forts » et « faibles » ou « novices » et « experts ») durant les tâches de résolution de problèmes (Muir, Beswick & Williamson, 2008 ; Schoenfeld, 1992 ; Zimmerman & Campillo, 2003). D'autre part, les recherches à visée « interventionniste » qui évaluent les effets de la mise en œuvre de dispositifs d'enseignement-apprentissage quasi-expérimentaux en résolution de problèmes via des comparaisons prétest-post-test (Blum & Ferri, 2009 ; Hohn & Frey, 1992 ; Jaegers, Lafontaine & Fagnant, 2016 ; Mevarech & Kramarski, 1997 ; Tzohar-Rozen & Kramarski, 2014). Si ces deux types d'études nous éclairent déjà sur plusieurs aspects de l'expertise adaptative, elles présentent plusieurs limites qui ne permettent pas de répondre entièrement à la question soulevée plus haut. Premièrement, ces études se sont surtout centrées sur les dimensions cognitives et métacognitives de la résolution de problèmes (Tzohar-Rozen & Kramarski, 2014, 2017), que ce soit au niveau des variables « manipulées » au sein de l'intervention et des variables « de sortie » pour les études à visée « interventionniste », ou au niveau de la nature des comportements et stratégies observés pour les études à visée « compréhensive ».

L'état des connaissances actuelles à propos des stratégies et comportements motivationnels et émotionnels adoptés par les élèves dans les tâches de résolution de problèmes et surtout sur la façon dont ces derniers interagissent avec les processus cognitifs et métacognitifs est assez maigre. Or, ces informations s'avèrent capitales si l'on veut pouvoir favoriser le développement de l'expertise adaptative dans son intégralité. Deuxièmement, l'information est souvent récoltée de façon ponctuelle : avant et après l'intervention ou lors d'une tâche spécifique. Il est dès lors difficile de comprendre comment les changements de comportements et de stratégies s'opèrent, dit autrement, comment s'acquiert cette expertise adaptative. Troisièmement, dans les études à visée « interventionniste », l'efficacité du

dispositif est souvent évaluée dans sa globalité. On ne sait donc pas si les différentes composantes du dispositif participent dans des proportions semblables ou variables aux effets observés. Identifier les composantes du dispositif qui sont « responsables » des effets observés permettrait de concevoir des dispositifs encore plus efficaces dans le développement d'une expertise adaptative. Quatrièmement, les recherches qui se sont intéressées à des profils différents d'élèves ont principalement défini ces profils sur la base du niveau de performance de l'apprenant. Au vu de la place occupée par la motivation et les émotions dans l'expertise adaptative, il semble nécessaire de revisiter ces profils. Des recherches complémentaires sont donc nécessaires pour circonscrire de façon plus complète ce concept d'expertise adaptative. C'est dans cette perspective que s'inscrit ce travail de thèse.

Le **chapitre 1** de cette thèse se penche sur la dimension cognitive de la résolution de problèmes. Après une brève clarification conceptuelle du terme problème et des finalités dévolues à la résolution de problèmes, les stratégies de résolution habituellement utilisées par les élèves sont dépeintes de même que les croyances et présupposés qui les sous-tendent et l'origine de ces derniers. Ensuite, nous y décrivons les composantes clés des dispositifs d'enseignement-apprentissage. Enfin, nous clôturons ce chapitre par une présentation de quelques recherches empiriques. Le **chapitre 2**, pour sa part, examine la dimension métacognitive. Suite à un état des lieux des différents vocables utilisés, nous détaillons les deux composantes clés de la métacognition, à savoir, les connaissances métacognitives et les stratégies d'autorégulation cognitive. Ensuite, nous abordons le développement naturel et stimulé de ces dernières de même que les outils de mesure les plus couramment utilisés. Ce chapitre se termine par une description du rôle des croyances motivationnelles les plus déterminantes pour la résolution de problèmes dans le développement et le maintien de conduites d'autorégulation cognitive. Le **chapitre 3** porte, quant à lui, sur la dimension affective. Nous débutons ce chapitre en précisant la façon dont nous conceptualisons et opérationnalisons les émotions. Ensuite, nous détaillons le rôle des émotions dans les mécanismes cognitifs et motivationnels sous-tendant les apprentissages scolaires. Finalement, après avoir présenté les différentes compétences émotionnelles, nous évoquons le développement naturel et stimulé des compétences émotionnelles. Une intégration des différents chapitres théoriques fait l'objet du **chapitre 4**. Ce dernier commence avec la présentation du modèle intégrateur de Pekrun (2006) connu sous le nom de théorie du contrôle et de la valeur des émotions d'accomplissement et se poursuit par une description de la théorie de l'apprentissage autorégulé et de trois modèles assez connus. Une adaptation de ces modèles au contexte de la résolution de problèmes et aux élèves du troisième cycle de l'enseignement primaire est proposée en fin de chapitre. Le **chapitre 5**, pour sa part, propose un état des lieux des limites de la littérature actuelle et des questions que ces dernières soulèvent. La façon dont nous tentons de répondre à ces questions dans les études conduites dans le cadre de cette thèse y est également mentionnée.

Les chapitres 6 à 14 relatent, sous la forme d'articles, les différentes études que nous avons menées dans le cadre de cette thèse. Le **chapitre 6** a pour objectif de tester le rôle des émotions en tant qu'antécédents de la motivation. Le **chapitre 7** questionne la possibilité d'agir sur les émotions et les stratégies heuristiques de l'apprenant en intervenant uniquement

sur les dimensions cognitives et métacognitives de l'apprentissage. Le **chapitre 8** porte sur la conception et la validation d'un instrument auto-rapporté mesurant les stratégies utilisées par les élèves pour réguler leurs émotions négatives durant les tâches de résolution de problèmes. Au **chapitre 9**, nous nous interrogeons sur la charge cognitive induite par un enseignement explicite et simultané de stratégies cognitives et métacognitives et sur l'effet d'un tel enseignement sur le type de stratégie de régulation émotionnelle utilisé par l'apprenant. La question de la plus-value d'une intervention mixte (centrée à la fois sur le développement de compétences cognitives, métacognitives et émotionnelles) en résolution de problèmes fait l'objet du **chapitre 10**. Le **chapitre 11**, pour sa part, investigue, de manière qualitative, les comportements et stratégies (méta)cognitifs, (méta)motivationnels et (méta)émotionnels adoptés par plusieurs résolveurs « novices » et « experts » en résolution de problèmes. L'évolution de ces comportements et stratégies tout au long d'une intervention cognitive et métacognitive en résolution de problèmes est examinée au **chapitre 12**. Le **chapitre 13**, quant à lui, se penche sur le rôle d'une des composantes du dispositif, à savoir, les régulations interactives entre pairs dans le développement d'une expertise adaptative. Au **chapitre 14**, une approche centrée sur la personne est adoptée afin d'identifier différents profils émotionnels et motivationnels d'élèves par rapport aux tâches de résolution de problèmes. Enfin, les résultats de ces différentes études sont interrogés et mis en perspective dans la discussion générale (**chapitre 15**).

Chapitre 1

Vers une démarche experte et réflexive de résolution de problèmes

Vers une démarche experte et réflexive de résolution de problèmes

Comme nous l'avons évoqué dans l'introduction, la résolution de problèmes occupe, actuellement, une place centrale dans les programmes de mathématiques et donne pas mal de fil à retordre aux élèves. Les recherches dans ce domaine se sont d'ailleurs intensifiées ces dernières décennies. Ce chapitre a pour but de préciser la façon dont les chercheurs conceptualisent les tâches de résolution de problèmes, les stratégies, croyances et présupposés qui guident la résolution des élèves ainsi que l'origine de ces stratégies, croyances et présupposés. Les composantes centrales des dispositifs d'enseignement-apprentissage favorisant le développement d'une expertise adaptative, dans son versant cognitif, y seront également décrites, recherches empiriques à l'appui.

1. Caractérisation et finalités des problèmes verbaux

Situation-problème, tâche complexe, problème de recherche, problème d'application, mise en situation, vrai problème, etc. les terminologies utilisées dans la littérature scientifique et dans les documents officiels sont nombreuses et mêlent différents niveaux d'analyse. À ce propos, il serait judicieux de distinguer, d'une part, un problème d'une tâche qui n'en est pas un et, d'autre part, des problèmes aux fonctions différentes.

Tout d'abord, les chercheurs (Astolfi, 1993 ; Newell & Simon, 1972 ; Poirier-Proulx, 1999 ; Tardif 1992) s'accordent pour reconnaître trois caractéristiques fondamentales aux problèmes :

- la présence d'un écart entre une situation présente jugée insatisfaisante et une situation désirée à laquelle l'individu doit parvenir (but à atteindre) ;
- l'absence d'évidence du chemin qui permet une réduction de cet écart (séquence d'actions non préalablement connue) ;
- le caractère relatif d'un problème, une même situation peut être un problème pour une personne et pas pour une autre. La prise en compte des acquis du résolveur, de ses apprentissages préalables, du contexte, etc. s'avère donc nécessaire.

Lajoie et Bednarz (2012) précisent, par contre, que « les tâches qui n'exigent ni réflexion, ni raisonnement, ni effort ne sont que des exercices et non des problèmes » (p.184). Selon nous, le concept de problèmes verbaux routiniers (*routine word problems*) ou de problèmes verbaux « déguisés » (« *dressed up* » *word problems*), surtout développé dans la littérature anglophone, s'apparente à ce que Lajoie et Bednarz (2012) appellent « exercices ». Ces problèmes, très populaires dans les classes du primaire, d'où l'appellation « routiniers », (Depaepe, De Corte & Verschaffel, 2010 ; Vlassis, Mancuso, & Poncelet, 2014) se résolvent facilement, sans générer de questionnement, en appliquant les opérations arithmétiques les plus évidentes aux nombres présents dans l'énoncé (Fagnant & Burton, 2009 ; Mellone, Verschaffel & Van Dooren, 2017 ; Torbeyns, Desmedt, Ghesquière & Verschaffel, 2009).

Précisons que les situations qui y sont décrites sont souvent familières au lecteur. Les problèmes verbaux routiniers sont souvent opposés aux problèmes verbaux non routiniers (*non routine word problems*) ou problèmes verbaux de modélisation mathématique (*modeling word problems*). Ces derniers sont caractérisés par une situation non familière dont la solution n'apparaît pas d'emblée et dont la résolution ne repose pas sur l'application de procédures familières et routinières mais plutôt sur la mise en place d'un processus complexe de modélisation (concept développé plus loin) (Carlson & Bloom, 2005 ; Fagnant et al., 2003 ; Verschaffel et al., 2000). Nous retrouvons bien ici les caractéristiques fondamentales d'un problème. Précisons que le qualificatif « verbal » renvoie au format du problème et, plus précisément, au fait que la situation y est décrite par des mots (Fagnant et al., 2003).

Du côté des finalités dévolues à la résolution de problèmes, cinq sont habituellement distinguées (Demonty & Fagnant, 2012 ; Fagnant & Vlassis, 2010 ; Pallascio, 2005). Les problèmes ayant une fonction d'*application directe* visent une mobilisation, une mise en pratique des connaissances et procédures acquises préalablement. Proche de cette première fonction, la fonction d'*intégration* consiste non seulement à mobiliser les connaissances et processus déjà acquis mais également à en élargir le sens, à tisser des liens entre ceux-ci, à les intégrer. Les problèmes peuvent également poursuivre un enjeu de *construction de connaissances nouvelles*. Cette finalité rejoint cette idée, chère à Brousseau (1983), qu'un problème doit permettre de franchir un véritable obstacle, dit autrement, permettre à l'apprenant d'engager ses conceptions, ses connaissances antérieures, de les soumettre à révision, de les modifier, de les compléter ou de les rejeter pour en former de nouvelles. Les problèmes peuvent aussi avoir pour fonction le *développement d'une démarche de résolution*, de stratégies heuristiques et/ou de stratégies métacognitives. Dans ce dernier cas, c'est la résolution de problèmes en soi qui fait l'objet de l'apprentissage. La résolution de problèmes peut encore être utilisée comme une *modalité, une approche pédagogique*. A la suite d'une analyse méticuleuse de documents pédagogiques et institutionnels québécois, Lajoie et Bednarz (2014) ont identifié deux fonctions supplémentaires assignées à la résolution de problèmes : une fonction de *formation* et une *fonction plus générale*. La première renvoie au développement d'habiletés intellectuelles faisant appel au raisonnement et à l'intuition créatrice (e.g., estimation, analyse, généralisation, déduction, justification, etc.). La seconde renvoie au développement des autres compétences du programme de mathématique, des compétences transversales (e.g., mettre en place un raisonnement mathématique, communiquer à l'aide du langage mathématique, structurer sa pensée et organiser sa démarche). Qu'en est-il en Belgique francophone ? L'analyse des « Socles de compétences »⁶ révèle une emphase particulière pour les problèmes au service de l'apprentissage des contenus mathématiques (construction de connaissances, application de connaissances acquises et intégration de ces dernières). Toutefois, comme le soulignent Demonty et Fagnant (2012), plusieurs intitulés réfèrent à des composantes de la démarche de résolution de problèmes.

⁶ Le document « Socles de compétences » définit l'ensemble des compétences à travailler avec les élèves aux différentes étapes de la scolarité jusqu'à 14 ans.

Outre la (les) fonction(s) que l'on souhaite attribuer à la résolution de problèmes, d'autres critères peuvent guider le choix des problèmes. Malgré tout l'intérêt que représente une réflexion sur ces critères, cette dernière dépasse le cadre de cette thèse. C'est pourquoi, dans les lignes qui suivent seuls ceux qui nous ont servi à concevoir nos dispositifs d'enseignement-apprentissage sont présentés. A ce sujet, suite à une analyse approfondie de documents tant institutionnels que pédagogiques relatifs à la résolution de problèmes, Bednarz et Lajoie (Bednarz & Lajoie, 2018 ; Lajoie & Bednarz, 2016) ont mis à jour trois caractéristiques principales: le type de contexte, le niveau de complexité et le caractère signifiant ou non du problème. Concernant le type de contexte, ces deux chercheuses distinguent les situations réelles (qui se produisent effectivement dans la réalité), réalistes (qui sont susceptibles de se produire dans la réalité), fantaisistes et purement mathématiques. S'agissant de la complexité, elles attirent l'attention sur l'usage polysémique du terme. Ainsi, si à l'origine la complexité d'un problème renvoyait à sa nature conceptuelle, c'est-à-dire à son potentiel à susciter des déstabilisations des conceptions antérieures et ainsi à faire évoluer les connaissances de l'apprenant, les réflexions menées autour de la notion de compétence lui ont donné une autre coloration. Actuellement, la complexité d'un problème réside surtout dans la gestion par l'apprenant de multiples informations et contraintes, dans le nombre d'étapes de résolution à mettre en œuvre, dans le nombre de concepts en jeu et dans la diversité des modes de représentations proposés (Bednarz & Lajoie, 2018 ; Lajoie & Bednarz, 2016 ; Houdement, 2014). Bednarz et Lajoie relèvent également un intérêt particulier pour les situations qui stimulent intellectuellement l'apprenant de manière à ce qu'il s'implique dans la recherche d'une solution, c'est-à-dire pour les situations signifiantes.

En cohérence avec notre projet de thèse de favoriser l'acquisition par les élèves d'une expertise adaptative en résolution de problèmes, les problèmes utilisés dans nos interventions (voir chapitres 7, 9, 10, 12 et 13) ont été sélectionnés de sorte à favoriser le développement de stratégies heuristiques et de stratégies métacognitives. Afin de nous centrer sur cet objectif, nous avons veillé à choisir des problèmes dont les concepts mathématiques sous-jacents étaient connus des élèves. Nous avons également été attentive à diversifier, au sein d'un même dispositif, les concepts mathématiques impliqués et ce, afin de ne pas défavoriser un élève ou un groupe d'élèves. Toutefois, il est important de préciser qu'il ne s'agit pas d'une simple application d'algorithmes et de procédures, mais d'une réelle activité mathématique qui consiste à comprendre et structurer la situation de départ, à traduire le modèle de situation en un modèle mathématique approprié, à vérifier la démarche empruntée et le résultat obtenu ainsi qu'à interpréter ce dernier en contexte (voir paragraphe 3.1). De plus, les travaux conduits par Verschaffel et al. (2000) et Fagnant (2008), présentés plus loin, sur le phénomène de « suspension de construction de sens », nous ont conduite à privilégier des contextes réalistes. Par ce choix, nous souhaitons encourager la prise en compte, par les élèves, des données du monde réel dans leur démarche de résolution et ce afin de rendre compte de l'utilité pratique des mathématiques et de modifier la croyance, largement répandue parmi les élèves, selon laquelle le monde réel et le domaine des mathématiques sont deux réalités distinctes. Il est cependant important de préciser que la nature réaliste des situations n'est pas à prendre à la légère. Effectivement, plusieurs chercheurs (Perrin-Glorian, 1993-1994 ; Theis & Gagnon, 2010) attirent l'attention sur les situations, en apparence très

ancrées dans le réel qui, en fin de compte ont une très faible probabilité de se passer dans la réalité. Ces dernières en induisant un traitement différent selon que l'on vit la situation réelle ou qu'on la traite en classe génère de la confusion chez les élèves. Pour éviter que l'apprenant n'ait à deviner le degré de réalité à utiliser dans chaque situation proposée, Theis et Gagnon (2010) recommandent de ne proposer que des situations de la vie quotidienne qui permettent aux élèves de voir réellement la nécessité des mathématiques. Finalement, en termes de complexité, nous avons pris soin de proposer des problèmes de complexité croissante tant au niveau du nombre d'informations à traiter que du nombre d'étapes à mettre en oeuvre.

Une fois ces clarifications conceptuelles faites, faisons le point sur les stratégies de résolution habituellement mobilisées par les élèves.

2. A l'origine des stratégies et croyances des élèves

2.1 Stratégies de résolution superficielles

Face à la résolution de problèmes non-routiniers, deux grands types de stratégies sont habituellement distingués: les stratégies superficielles et les stratégies expertes (Fagnant, 2008 ; Verschaffel et al., 2000). Si, contrairement aux stratégies expertes, les stratégies superficielles se révèlent inefficaces pour résoudre des problèmes non-routiniers, elles sont pourtant massivement observées dans les classes (Depaepe et al., 2010 ; Fagnant, 2008 ; Verschaffel et al., 2000). Ces stratégies sont détaillées dans les paragraphes ci-dessous.

Une première stratégie consiste à ne pas prendre en compte les connaissances du monde réel dans la résolution du problème et à évincer systématiquement les données contextuelles du problème en les considérant comme un habillage sans importance. Le célèbre problème de l'âge du capitaine⁷ pour lequel un nombre impressionnant d'élèves répond à ce problème insoluble en combinant les données numériques de l'énoncé a fait couler beaucoup d'encre à ce sujet (Baruk, 1985). Suite à cela, de nombreuses études se sont penchées sur ce phénomène de « suspension de construction de sens » ou de « perte de sens » en questionnant l'utilisation par les élèves de leurs connaissances de la vie réelle pour résoudre des problèmes mathématiques. Ce phénomène a été confirmé par deux études pionnières menées dans les années 90 (Greer, 1993 ; Verschaffel, De Corte & Lasure, 1994) ainsi que par les nombreuses réplifications réalisées par la suite, dans de nombreux pays, avec des publics variés (voir Verschaffel, Greer & De Corte (2000) pour une revue de la littérature). Dans les études conduites par Greer (1993) et par Verschaffel et al. (1994) les élèves étaient invités à résoudre dix paires de problèmes. Chaque paire était constituée d'un problème « standard » (problème solvable par l'application routinière d'une ou de plusieurs opérations arithmétiques de base) et d'un problème « problématique » (problème requérant la prise en compte d'informations du monde réel). Les résultats mettent en avant des réponses de nature quasiment identique pour les deux types de problèmes, c'est-à-dire des réponses non-réalistes.

⁷ « Sur un bateau, il y a 26 moutons et 10 chèvres. Quel est l'âge du capitaine ? » (Baruk, 1985).

Une seconde stratégie a été mise à jour par plusieurs études (Coquin-Viennot & Moreau, 2003 ; Gamo, Nogry & Sander, 2014 ; Gamo, Taabane & Sander, 2011 ; Martin & Bassok, 2005 ; Richard & Sander, 2000) centrées sur les effets de contenus de l'énoncé des problèmes. Plus précisément, ces études, menées auprès d'élèves du primaire et du début du secondaire, ont montré que la résolution d'un problème est guidée par l'interprétation de traits de surface, de mots présents dans l'énoncé pouvant être considérés comme des mots-clés ou des indices par les élèves. Les chercheurs parlent d'« effet de contenu » (Gamo et al., 2011 ; Richard & Sander, 2000). Ces indices sémantiques et linguistiques participent à la construction de la représentation du problème et orientent fortement le choix de la stratégie de résolution et donc l'issue de la résolution (réussite vs échec). Ainsi, Coquin-Viennot et Moreau (2003) ont montré que l'ajout, dans l'énoncé d'un problème de distributivité, d'un élément structurant, comme le terme bouquet – qui ne modifie pas la structure mathématique du problème – induit une procédure de factorisation ($m.(a + b)$) alors que l'absence d'un tel élément induit une procédure de développement ($m.a + m.b$). Le même phénomène s'observe au niveau des problèmes additifs présentant une même structure mathématique, mais mettant en jeu des variables de nature différente (matérielle ou temporelle) (Gamo et al., 2011, 2014). Les résultats montrent que la présence d'une variable de nature matérielle (e.g., argent) induit une procédure-complément tandis que la présence d'une variable de nature temporelle (e.g., âge) induit une procédure-comparaison. Cependant, si la représentation de l'énoncé, inférée par le contenu sémantique de ce dernier, conditionne la suite de la résolution du problème et le transfert entre problèmes isomorphes, elle n'est pas nécessairement congruente avec la structure mathématique du problème. Et c'est pour cette raison que cette stratégie est inefficace.

L'application conjointe de ces deux premières stratégies donne un survol, par les élèves, de l'énoncé du problème qui aboutit directement au choix d'un modèle mathématique (opération) guidé par des critères superficiels (Fagnant et al., 2003 ; Muir et al., 2008 ; Schoenfeld, 1992 ; Verschaffel, Greer & De Corte, 2002).

Un troisième comportement inapproprié est le non recours à des stratégies visant à autoréguler sa propre démarche de résolution (concept développé au chapitre 2). Les études montrent que les élèves ont tendance à se lancer directement dans la recherche d'une solution sans avoir planifié leur démarche de résolution, sans questionner l'efficacité de (des) la stratégie(s) implémentée(s) et sans s'interroger sur la pertinence et la justesse de(s) la solution(s) obtenue(s) (Booker, Bond, Briggs & Davey, 1998 ; Breslow, 2001 ; Houdement, 2011, 2014 ; Muir et al., 2008 ; Schoenfeld, 1992). De plus, même quand la stratégie mise en œuvre se révèle inefficace, l'apprenant tend à persister avec cette même stratégie, démontrant ainsi une incapacité à réguler sa démarche (Muir et al., 2008).

2.2 Croyances et présupposés sous-jacents

Ces stratégies et comportements sont régis par un système de croyances, de règles et de normes à propos de différents aspects de la résolution de problèmes tels que la structure typique des problèmes, le but et le rôle des problèmes et un certain nombre de règles et d'accords implicites inhérents au « jeu » de la résolution de problèmes (Lester, Garofalo &

Kroll, 1989 ; McLeod, 1992 ; Schoenfeld, 1988, 1992 ; Verschaffel et al., 2000). Selon les champs de recherche, différentes terminologies ont été attribuées à ce système de croyances telles que schéma de résolution de problème (« *word problem schemata* ») (Verschaffel et al., 2000), contrat didactique (Brousseau, 1984) ou encore normes socio-mathématiques (Cobb, Yackel & Wood, 1992). Ci-dessous quelques exemples de croyances activées par les élèves lors des tâches de résolution de problèmes mathématiques et qui orientent leurs comportements et stratégies:

- supposer que la réponse à un problème verbal doit être obtenue en exécutant une ou plusieurs opérations arithmétiques au départ de l'ensemble des données numériques présentes dans l'énoncé ;
- supposer que résoudre un problème verbal ne prend pas plus que cinq minutes ;
- supposer que tous les problèmes proposés sont corrects, complets et ont du sens ;
- supposer qu'à chaque problème correspond une et une seule stratégie, interprétation et solution ;
- supposer qu'un problème contient toutes les informations nécessaires pour le résoudre correctement et qu'aucune information du monde réel ne doit être prise en compte ;
- supposer que la réalité décrite dans un problème est différente de la vie réelle ;
- supposer qu'il n'y a qu'une seule réponse correcte à chaque problème et qu'elle doit être précise et numérique.

2.3 Origine de ces croyances et présupposés

Les recherches montrent que ces croyances et présupposés se développent implicitement, tacitement et graduellement lorsque l'apprenant « vit » au sein de la classe (Fagnant, 2008 ; Verschaffel et al., 2000). En d'autres termes, ces croyances et présupposés résultent d'une immersion prolongée au sein des pratiques et de la culture de classe. Ce constat est appuyé par plusieurs études qui se sont attachées à montrer qu'en moyenne ces stratégies et croyances contre-productives ne sont pas mobilisées par les enfants avant l'âge de huit ans, âge qui marquerait le début de l'enculturation de l'apprenant dans les pratiques et la culture de classe (Barrouillet & Camos, 2003 ; Coquin-Viennot & Moreau, 2003 ; Fagnant & Demonty, 2004 ; Verschaffel & De Corte, 1997). Deux aspects des pratiques et de la culture de classe semblent être à l'origine de ces croyances et présupposés, d'une part, la nature appauvrie et stéréotypée des problèmes proposés – dans le sens où ils requièrent l'application routinière d'opérations arithmétiques simples – et, d'autre part, la manière dont ces problèmes sont considérés et traités par les enseignants (Depaepe, De Corte & Verschaffel, 2015 ; Verschaffel et al., 2000).

A propos de la nature des problèmes, les chercheurs dénoncent une batterie de problèmes très peu diversifiés, stéréotypés et artificiels qui, une fois déshabillés de leur contexte, se révèlent, ni plus ni moins, de simples exercices d'application des procédures apprises (Blum, 2011 ; Fagnant, 2008 ; Verschaffel et al., 2000). Plus précisément, les problèmes traditionnellement proposés dans les classes répondent principalement aux caractéristiques décrites ci-après.

- durant les premières années d'école, les problèmes proposés peuvent être directement résolus par l'application d'une des quatre opérations arithmétiques de base au départ des nombres proposés dans l'énoncé ;
- la présentation et la formulation des problèmes rendent efficace l'application de stratégies superficielles (indices dans le titre du chapitre, congruence entre la structure induite par la recherche de mots-clés dans l'énoncé et la structure mathématique du problème, etc.) ;
- les problèmes ne contiennent pas d'information manquante ou superflue. Résoudre le problème s'apparente alors à faire quelque chose avec tous les nombres de l'énoncé ;
- les problèmes bafouent les connaissances du monde réel (données peu réalistes) ;
- les problèmes indéterminés, équivoques, insolubles ou requérant une estimation sont très rares. Ils appellent plutôt une réponse précise ;
- les problèmes ne permettent pas des interprétations et chemins de résolution variés, mais cautionnent un seul chemin de résolution.

Concernant la manière dont les tâches de résolution de problèmes sont traitées par les enseignants dans les classes, plusieurs pratiques couramment répandues ont été épinglées. Une première pratique consiste à proposer, dès le départ, une analyse collective du problème, durant laquelle, très souvent l'enseignant guide les élèves vers les attendus de la tâche avant de laisser les élèves traiter les aspects plus techniques de la résolution (Fagnant, Dupont & Demonty, 2016 ; Ginsburg, Cooke, Leinwand & Pollock, 2005). Une seconde pratique consiste à décomposer les tâches complexes en micro-tâches. L'apprenant n'a alors plus qu'à appliquer les procédures requises par chacune d'elles (Demonty & Fagnant, 2014 ; Houdement, 2017 ; Julo, 2002 ; Monnier et Amade-Escot, 2009). En pensant ainsi le problème à la place de l'élève, ce dernier ne travaille que les aspects procéduraux de la démarche et n'accède pas aux enjeux cognitifs de la tâche globale. Donc, même quand les tâches proposées sollicitent des processus cognitifs de haut niveau, l'activité réelle de l'élève est de nature procédurale. Dans une étude menée auprès de plusieurs enseignants de sixième primaire, Demonty et Fagnant (2014) ont observé un guidage très directif de la part de l'enseignant vers la démarche de résolution qu'il a choisi de privilégier et qui s'avère être la plus efficace au regard du problème donné, sans explicitation des raisons qui l'ont conduit à valoriser cette démarche plutôt qu'une autre. Ce cadrage étroit empêche l'émergence de démarches alternatives et ainsi aux élèves de pouvoir déconstruire leurs conceptions et croyances erronées. Ce constat rejoint les études qui ont montré que l'enseignement des contenus mathématiques est centré sur l'enseignement de connaissances déclaratives (quoi ?) et procédurales (comment?) sans accorder d'importance aux connaissances conditionnelles (quand ? et pourquoi ?). En d'autres termes, l'accent est mis sur le « comment on fait » telle ou telle procédure, mais sans y joindre une explication des fondements conceptuels sous-jacents (Depaepe et al., 2010 ; De Smedt, Torbeyns, Stassens, Ghesquière & Verschaffel, 2010 ; Mevarech & Fridkin, 2006 ; Montague, Warger & Morgan, 2000). Une troisième pratique est l'absence d'un enseignement explicite de stratégies cognitives et métacognitives de résolution de problèmes. Les enseignants n'apprennent pas aux élèves comment on résout un problème non-routinier (Depaepe et al., 2010, 2015 ; Vlassis, Mancuso & Poncelet, 2014).

Ces différents constats plaident en faveur d'un changement des pratiques d'enseignement de la résolution de problèmes mathématiques. Et cela est d'autant plus important que, comme évoqué dans l'introduction, un rôle central a été assigné à la résolution de problèmes dans le programme de mathématiques de l'enseignement primaire (Administration générale de l'Enseignement et de la Recherche scientifique, 2003) non seulement pour son potentiel à motiver les élèves, à favoriser le développement de stratégies cognitives et métacognitives et, la construction de nouveaux concepts mathématiques, mais aussi pour sa capacité à développer chez l'apprenant la compétence à savoir quand et comment appliquer ses connaissances et compétences mathématiques dans la vie de tous les jours, dit autrement, à pouvoir faire face aux situations complexes du quotidien (Greer, 1997 ; Verschaffel et al., 2000).

2.4 Synthèse des comportements cognitifs et métacognitifs des résolveurs « novices » et « experts »

Les comportements cognitifs et métacognitifs adoptés par les résolveurs « novices » et « experts » les plus saillants sont repris dans le tableau 2 (Bassok, 2003; Booker et al., 1998; Breslow, 2001; Muir et al., 2008 ; Pretz, Naples, Sternberg, 2003; Schoenfeld, 1992 ; Zimmerman & Campillo, 2003). Plusieurs auteurs (Barrody & Dowker, 2003 ; Verschaffel, Greer & De Corte, 2007), reprenant Hatano et Inagaki (1986), résument ces différences en distinguant l'expertise routinière ("routine expertise") c'est-à-dire la simple habileté à effectuer les tâches scolaires rapidement et avec précision sans chercher à comprendre, de l'expertise adaptative ("adaptive expertise") c'est-à-dire la capacité à utiliser, de façon pertinente, flexible et créative, dans une variété de contextes et de situations, les connaissances et compétences apprises (Barrody & Dowker, 2003 ; Hatano, 1982, 2003 ; Verschaffel, Greer & De Corte, 2007).

Si dans la littérature diverses terminologies sont utilisées pour désigner ces deux profils d'élèves (« faibles » vs. forts ; « en-dessous de la moyenne » vs. « au-dessus de la moyenne »), toutes départagent les élèves sur la base de leur performance. Dans cette thèse, à l'instar de plusieurs chercheurs (Bassok, 2003 ; Brand, Reimer & Opwis, 2003 ; Zimmerman & Campillo, 2003), nous utilisons les terminologies « novice vs. expert » et « faible vs. fort » de façon interchangeable pour désigner les élèves qui présentent des performances faibles ou élevées en résolution de problèmes non-routiniers. En ce sens, comme le souligne Novick (1988), notre conceptualisation d'élève « novice » et d'élève « expert » est relative.

Tableau 2. Synthèse des comportements cognitifs et métacognitifs des résolveurs « experts » et « novices »

	Novices	Experts
Stratégies heuristiques	Stratégies de résolution superficielles : - Non prise en compte des connaissances du monde réel dans la résolution du problème - Résolution guidée par l'interprétation de traits de surface - Lecture rapide, linéaire, centrée sur les données numériques - Répertoire de stratégies pauvre et peu diversifié - Identification de problèmes semblables sur la base de caractéristiques de surface	Stratégies de résolution adaptées : - Prise en compte des connaissances du monde réel dans la résolution du problème - Résolution guidée par la structure mathématique du problème - Lecture attentive et approfondie - Répertoire de stratégies étendu et diversifié - Identification de problèmes semblables sur la base de leur structure mathématique
Autorégulation	Incapacité à réguler sa démarche de résolution : - Se lance directement dans les calculs sans aucune planification préalable - Ne questionne pas la pertinence des stratégies mises en œuvre - Persiste avec la même stratégie même quand celle-ci se révèle inadéquate - N'interroge ni la pertinence ni l'exactitude de sa réponse	Utilisation de stratégies visant à autoréguler sa démarche de résolution : - Planifie les procédures et stratégies à mettre en œuvre - Questionne la pertinence des stratégies mises en œuvre - Change de stratégie quand celle initialement choisie se révèle inadéquate - Contrôle l'adéquation entre l'énoncé et la démarche adoptée - Interroge la pertinence et l'exactitude de sa réponse
Temps alloué	Temps principalement alloué à la recherche de la solution	Temps principalement alloué à la construction d'une représentation appropriée du problème et à la planification des actions à mener pour résoudre le problème
Croyances relatives à la résolution de problèmes	Croyances inappropriées	Croyances appropriées

3. Favoriser le développement d'une expertise adaptative (versant cognitif) en résolution de problèmes

Comme nous l'avons souligné précédemment, le développement d'une expertise adaptative requiert d'apporter des ajustements aux pratiques enseignantes. Ces ajustements consistent en une reconceptualisation des tâches de résolution de problèmes, un enseignement de stratégies heuristiques, une sensibilisation à une utilisation flexible et

pertinente de ces dernières, la promotion des interactions entre pairs, une révision de la nature des problèmes proposés et une redéfinition des normes socio-mathématiques en vigueur dans la salle de classe (De Corte, 2012 ; Verschaffel et al., 2000).

3.1 La modélisation mathématique

La modélisation renvoie à la construction d'un modèle qui permet de donner sens à une situation, à un problème concret ou non (phase de formulation) et à la mise à l'épreuve de ce modèle (phase de validation) (Burkhardt, 1981 ; De Lange, 1987 ; Janvier 1996). Comme l'explique la typologie des différentes perspectives sur la modélisation, proposée par Kaiser et Sriraman (2006), le développement de compétences de modélisation au départ de problèmes au contexte réaliste n'est qu'une des approches possibles de la modélisation (« *realistic modelling* »). En d'autres termes, la modélisation n'est pas uniquement associée à un travail sur une mathématisation du réel.

Dans le cadre de cette thèse, nous avons fait le choix d'une perspective qui considère les problèmes verbaux comme des exercices de modélisation mathématique (« *mathematical modelling* »), en d'autres termes, comme la description d'une situation de la vie de tous les jours, modélisable mathématiquement (Blum, 2011 ; Houdement, 2014 ; Verschaffel et al., 2000). L'enjeu majeur de ce type de tâche est de trouver « a proper balance between taking seriously into account the elements of the real world evoked by the problem statement, on the one hand, and finding an underlying mathematical structure that allows the use of the power of mathematics to efficiently understand and solve the problem, on the other hand » (Depaepe et al., 2015, p.148).

A l'heure actuelle, les chercheurs s'accordent pour dire que la modélisation mathématique des problèmes verbaux est un processus complexe qui implique un certain nombre d'étapes (Fagnant et al., 2003 ; Van Dooren, Verschaffel, Greer & De Bock, 2006 ; Verschaffel et al., 2000). Si plusieurs modèles de modélisation mathématique coexistent au sein de la littérature (Blum & Niss, 1991 ; Burkhardt, 1994 ; Mason, 2001 ; Verschaffel et al., 2000 ; voir Ferri, 2006 pour une synthèse partielle), précisons qu'ils sont assez similaires (Van Dooren et al., 2006) et qu'ils reposent, pour la plupart, sur les premiers travaux dans ce domaine (Lester et al., 1989 ; Polya, 1957 ; Schoenfeld, 1985, 1992). Pionnière en la matière, Polya propose, en 1957, un modèle comprenant quatre étapes : (1) comprendre le problème, (2) concevoir un plan, (3) mettre en œuvre le plan en effectuant des allers-retours et (4) examiner la solution obtenue. Plus de 20 ans après, ce modèle est revu par Lester et ses collègues (1989) qui lui donnent une tonalité métacognitive et proposent une définition plus complète de chaque étape. La résolution du problème y est conceptualisée par quatre activités, que sont, l'orientation, l'organisation, l'exécution et la vérification. A la fin des années 90, Verschaffel et ses collègues revisitent ces travaux et, sur la base de nombreuses expérimentations menées dans des classes de fin du primaire, proposent un modèle du processus de modélisation en cinq étapes (Verschaffel & De Corte, 1997 ; Verschaffel, De Corte, Lasure, Van Vaerenbergh, Bogaerts, et al., 1999; pour une synthèse, voir Verschaffel et al., 2000) (Figure 2):

- (1) comprendre la situation décrite via la construction d'un modèle de situation (**compréhension**). Ce dernier consiste à faire ressortir les agents, les actions ainsi que les relations tant causales que temporelles entre les entités présentes dans l'énoncé du problème (Hegarty, Mayer & Monk, 1995 ; Staub & Reusser, 1995 ; Van Dijk & Kintsch, 1983). À ce stade, l'apprenant doit identifier les éléments indispensables à inclure dans son modèle de ceux qui ne le sont pas. Pour ce faire, il s'avère essentiel d'activer les connaissances du monde réel liées au phénomène à investiguer.
- (2) mathématiser le modèle de situation, c'est-à-dire traduire les quantités et relations clés en langage mathématique (**modélisation**). À ce stade, l'apprenant s'appuie sur les concepts, formules, procédures et stratégies heuristiques dont il dispose.
- (3) manipuler le modèle mathématique pour arriver au résultat mathématique (**analyse mathématique**).
- (4) interpréter le résultat mathématique à la lumière du modèle de situation et interroger sa plausibilité (**interprétation**). L'objectif étant d'apporter une solution à un problème ancré dans le monde réel. C'est ici que l'apprenant prend conscience de la distinction entre une réponse stéréotypée et une réponse réaliste. Précisons que, selon le degré d'adéquation trouvé entre le résultat mathématique et le modèle de situation, l'apprenant évalue la pertinence de réviser ou d'affiner son modèle de sorte à prendre en compte les petits écarts observés ou d'abandonner son modèle au profit d'un autre.
- (5) Communiquer le résultat interprété et validé (**communication**).

Notons que, si les deux boîtes les plus à droite réfèrent à des aspects purement mathématiques du processus ; les quatre autres boîtes réfèrent à des aspects du processus nécessitant une confrontation avec le monde réel (Verschaffel et al., 2000). Par ailleurs, ce processus de modélisation doit être vu comme cyclique et non comme une progression linéaire (Verschaffel et al., 2000). Effectivement, le résolveur expert ne suit pas les étapes dans l'ordre, mais génère plusieurs cycles de modélisation qui lui permettent de, progressivement, affiner, réviser voire, rejeter son modèle initial (Van Dooren et al., 2006).

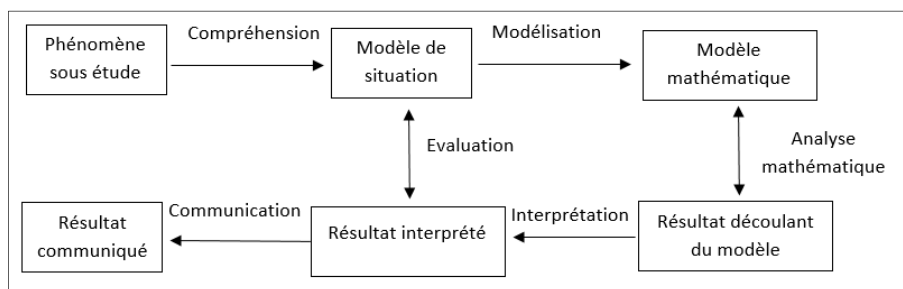


Figure 2. Diagramme schématisant le processus de modélisation
(Fagnant et al., 2003, p. 30)

Afin de faciliter la mise en œuvre de ce processus de résolution, à chaque étape, une ou plusieurs stratégie(s) heuristique(s) (ou stratégie cognitive) peut(vent) être implémentée(s). Rappelons ici que les stratégies heuristiques sont des stratégies de recherche pour l'analyse et la résolution de problèmes qui ne garantissent pas, mais augmentent significativement la

probabilité de trouver une réponse correcte en ce qu'elles induisent une approche systématique de la tâche (De Corte & Verschaffel, 2008). Verschaffel et ses collègues en ont identifié quatre particulièrement pertinentes pour l'étape de compréhension et quatre autres pour l'étape de modélisation (Tableau 3, les stratégies heuristiques apparaissent en italique). A la suite des travaux de Polya, d'autres équipes de chercheurs se sont penchées sur les processus cognitifs et métacognitifs à mettre en œuvre pour résoudre un problème. Le tableau 3 reprend cinq conceptualisations du processus de modélisation. Comme nous pouvons le constater en comparant ces différentes conceptualisations, il n'est pas toujours évident de distinguer l'étape du processus de modélisation de la stratégie heuristique permettant de favoriser la mise en œuvre de cette étape.

Tableau 3. Conceptualisations contemporaines du processus de modélisation mathématique⁸

Verschaffel et al. (2000)	Fagnant (2008)	Hohn et Frey (2002) (the programme SOLVED)	Blum et Leiß (2007)	Lucangeli, Tressoldi & Cendron (1998b)
- Compréhension - <i>Réalisation d'un dessin</i> - <i>Réalisation d'une liste, un tableau ou un schéma</i> - <i>Distinction entre les données utiles et les données inutiles</i> - <i>Utilisation des connaissances du monde réel</i> - Modélisation - <i>Construction d'un organigramme</i> - <i>Méthode test-retest</i> - <i>Recherche de similitudes</i> - <i>Simplification des nombres</i> - Analyse mathématique - Interprétation - Communication	- Construction d'une représentation du problème - Estimation du résultat attendu - Réalisation des calculs nécessaires à l'obtention de la solution - <i>Décomposition du problème en sous-étapes</i> - <i>Démarche de type « essais-erreurs »</i> - <i>Chercher des régularités</i> - Interprétation du résultat mathématique obtenu - Communication de la solution en contexte - Vérification de la démarche et des calculs	- Clarification des données et de la question posée - Identification du type de problème - Identification de problèmes similaires déjà résolus et établissement d'un plan de résolution - Utilisation de diagrammes ou de représentations schématiques - Réalisation des calculs nécessaires - Contrôle de sa démarche de résolution en faisant des retours en arrière	- Construction d'un modèle de situation - Construction d'un modèle réel de situation⁹ - Construction d'un modèle mathématique - Réalisation des calculs nécessaires - Interprétation du(des) résultat(s) mathématique(s) obtenu(s) - Validation de la solution - Communication de la solution	- Compréhension de l'énoncé - Représentation du problème (estimation) - Catégorisation du problème - Planification des étapes de résolution - Auto-évaluation de la démarche et des calculs

Parmi ces stratégies heuristiques/étapes de résolution, celles qui ont unanimement été documentées au sein de la littérature comme cruciales pour la résolution de problèmes ont été intégrées au sein du modèle initial de Verschaffel et al. (2000). Le nouveau modèle est constitué de 8 étapes/stratégies heuristiques (Figure 3).

- (1) **Représenter** le problème. La représentation du problème, comme le souligne Houdement (2017), « ne se réduit pas à la compréhension de son énoncé » (p.5). Il s'agit, comme mentionné plus haut, d'analyser la structure causale et temporelle des actions et événements décrits dans l'énoncé et de construire une représentation cumulative de ces

⁸ Les stratégies heuristiques désignées comme telles par l'auteur sont indiquées en italique.

⁹ Le modèle réel de situation se distingue du modèle de situation en ce qu'il prend en compte des informations de la vie de tous les jours qui sont nécessaires pour résoudre le problème mais qui ne sont pas explicitement mentionnées dans l'énoncé.

actions et événements, en d'autres mots, de construire un modèle de situation approprié (Kintsch & Greeno, 1985 ; Staub & Reusser, 1995). Précisons que la construction d'un tel modèle met en jeu les connaissances du monde réel et les expériences personnelles du sujet. Cette étape est cruciale lorsqu'il s'agit de résoudre des problèmes pour lesquels l'induction sémantique et la combinaison des nombres présents dans l'énoncé s'avèrent inefficaces, c'est-à-dire pour résoudre des problèmes non-routiniers (Leiss, Schukajlow, Blum, Messner & Pekrun, 2010). Effectivement, la compréhension que nous nous faisons du problème conditionne la réussite des étapes ultérieures et donc la réussite du problème (Blum, 2011 ; Blum, & Niss, 1991 ; Dewolf, Van Dooren, Hermens & Verschaffel, 2015 ; Fagnant, 2008 ; Lucangeli et al., 1998b ; Verschaffel et al., 2000 ; Voyer, 2011).

- (2) **Anticiper le résultat**¹⁰. L'anticipation consiste à réaliser une analyse préalable des propriétés que devra posséder le résultat. Il s'agit non seulement d'estimer l'ordre de grandeur du résultat mais également d'identifier la nature de celui-ci et ses conditions de validité au regard du contexte (Saboya et al., 2015). Cette anticipation peut ensuite servir d'outil de vérification via une comparaison entre le résultat attendu et le résultat obtenu (Fagnant, 2008 ; Saboya et al., 2015).
- (3) **Faire appel à ses connaissances antérieures**. Cela consiste en l'identification de problèmes semblables sur la base de leur structure mathématique, l'application d'un traitement analogue aux problèmes d'une même catégorie et le traitement de chaque nouvel énoncé non pas comme un problème inédit, mais comme un problème pouvant présenter des similitudes avec un problème déjà résolu (Cooper & Sweller, 1987 ; Fuchs, Fuchs, Prentice, Burch, Hamlett, et al., 2003). Pour reprendre les termes de Julo (1995, 2002), suite à l'identification d'analogies avec le problème cible, il s'agit d'activer ou d'adapter le schéma de problème retenu parmi ceux stockés en mémoire. Ces schémas de problèmes (ou mémoire des problèmes) résultent d'une construction explicite par l'élève du lien entre des ensembles de problèmes et le raisonnement sous-jacent à mettre en œuvre pour les résoudre. Cette étape est cruciale en ce qu'elle conduit à une résolution correcte du problème (lorsqu'un schéma adéquat est activé) et contribue à enrichir la mémoire des problèmes résolus de l'apprenant (Houdement, 2017).
- (4) **Planifier les étapes qui mènent à la solution et les stratégies à mettre en œuvre**. Comme nous le verrons au chapitre 2, la planification permet de penser le problème avant de se lancer dans les calculs, favorisant ainsi la sélection de procédures et de stratégies adéquates (Focant & Grégoire, 2008 ; Lucangeli et al., 1998b ; Zimmerman, 2001, 2011).
- (5) **Exécuter les calculs nécessaires**. Il s'agit de traduire chaque étape du plan de résolution par une opération adéquate et de l'effectuer.
- (6) **Vérifier la pertinence de la démarche mise en œuvre et la justesse des calculs**. Cette stratégie peut être utilisée en fin de processus de résolution, ou, plus localement, tout au long de celui-ci (Saboya et al., 2015). Dans les études quasi-expérimentales présentées plus loin (voir chapitres 7, 9, 10, 12, 13), nous avons fait le choix de situer la vérification en fin de résolution. Ce choix a été guidé par deux constats : la pratique peu courante de l'enseignement explicite de stratégies heuristiques dans les classes du primaire

¹⁰ Précisons que si, comme mentionné dans le Tableau 3, certains auteurs parlent d'« estimation » (Fagnant, 2008 ; Lucangeli et al., 1998 ; Montague, 2003, 2007), d'autres suggèrent de parler plutôt d'« anticipation » afin de rendre mieux compte de l'ensemble des composantes de l'heuristique (Coppé, 1993 ; Saboya et al., 2015). Cette seconde conceptualisation a été adoptée ici.

(Depaepe et al., 2010 ; Vlassis et al., 2014) et la surcharge cognitive que représente la mobilisation simultanée de plusieurs de ces stratégies par les élèves de cet âge (Focant, 2004). Cette heuristique est abordée plus en détail au chapitre suivant.

- (7) **Interpréter le résultat mathématique.** Lorsque les problèmes sont conceptualisés comme des exercices de modélisation mathématique, il est important de questionner le sens du résultat mathématique à la lumière des données contextuelles de l'énoncé (Houdement 2011, 2014 ; Saboya et al., 2015).

- (8) **Communiquer la solution.**

Ce processus de modélisation mathématique cyclique complète celui proposé par Verschaffel et ses collègues en ce qu'il creuse la question du « comment faire ».

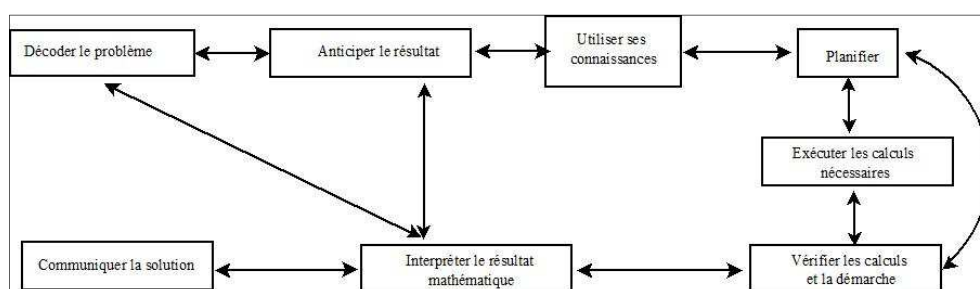


Figure 3. Diagramme schématique des stratégies heuristiques clés de résolution de problèmes

Cependant, comme nous l'avons souligné plus haut, le simple apprentissage de procédures et stratégies heuristiques et l'entraînement de celles-ci conduisent, tout au plus, à une expertise « routinière » qui s'avère inefficace pour résoudre des problèmes non-routiniers. Il est indispensable d'être capable d'utiliser ces stratégies de façon flexible et adaptative.

3.2 Adaptabilité et flexibilité

Dans leur modèle descriptif de l'évolution des stratégies d'un individu en termes de rapidité et de précision, Lemaire et Siegler (1995) identifient quatre paramètres :

- (1) le répertoire de stratégies, c'est-à-dire les différents types de stratégies utilisés par l'individu pour résoudre un ensemble de problèmes dans un domaine donné;
- (2) la fréquence à laquelle chaque stratégie est utilisée et l'étendue des problèmes dans lesquels elles sont mises en œuvre;
- (3) la précision et la rapidité – ou l'efficacité – avec lesquelles chaque stratégie est exécutée;
- (4) la pertinence des stratégies sélectionnées au regard des caractéristiques de la tâche et du sujet.

Faire preuve d'une expertise « adaptative » c'est donc être capable d'appliquer les stratégies et procédures apprises de façon signifiante, en faisant preuve d'adaptabilité et de flexibilité (Barrody, 2003 ; Elia et al., 2009 ; Verschaffel, Torbeyns, De Smedt, Luwel & Van Dooren, 2007). Plusieurs conceptualisations de ces deux termes coexistent au sein de la littérature. Nous avons retenu la conceptualisation proposée par Elia et al. (2009) en ce

qu'elle est contextualisée à la résolution de problèmes non-routiniers. Pour ces chercheurs, l'adaptabilité désigne la capacité à sélectionner et utiliser, consciemment ou non, la stratégie la plus appropriée pour résoudre un problème donné, par une personne spécifique, dans un contexte socio-culturel donné tandis que, la flexibilité reflète l'usage de stratégies multiples et la permutation entre elles pour s'aligner aux modifications de ressources ou d'exigences de la tâche (Barrody, 2003 ; Elia et al., 2009 ; Verschaffel et al., 2007). Elia et al. (2009) distinguent deux formes de flexibilité : la flexibilité intra-tâche qui consiste à permuter de stratégies au sein de la même tâche de résolution et la flexibilité inter-tâche qui consiste à changer de stratégies d'une tâche de résolution à l'autre.

Cependant, les recherches montrent, d'une part, que les élèves ne mobilisent pas spontanément des stratégies heuristiques pertinentes pour faire face à des problèmes non-routiniers et, d'autre part, qu'ils ne s'interrogent pas naturellement sur l'efficacité et la pertinence de la stratégie choisie (« *inflexible behavior* ») (Elia et al., 2009 ; Muir & Beswick, 2005 ; Schoenfeld, 1992). Le développement d'une expertise « adaptative » requiert donc un enseignement explicite des aspects procéduraux (comment mettre en œuvre la stratégie ?) et conceptuels (dans quel type de problème est-il pertinent de mobiliser la stratégie ?, à quel moment de la résolution ?, quelle est l'utilité de cette stratégie ?) des stratégies heuristiques (Mevarech & Kramarski, 1997 ; Torbeyns et al., 2009 ; Veenman, Van Hout-Wolters & Afflerbach, 2006). A ce sujet, soulignons la règle instituée par Veenman et ses collègues selon laquelle tout programme efficace d'enseignement de stratégies heuristiques et métacognitives doit répondre aux questions : quoi ?, quand ?, pourquoi ? et comment ? (« *the WWW&H rule* »). Une observation menée dans deux classes de sixième primaire révèle que les élèves mobilisent plus fréquemment des stratégies heuristiques pour résoudre des problèmes non-routiniers s'ils sont immergés dans un environnement de classe qui met l'accent sur les aspects procéduraux et conceptuels de ces stratégies comparativement à un environnement de classe dans lequel les stratégies heuristiques sont rarement utilisées (Depaepe et al., 2010).

3.3 Les pairs comme ressource

S'il existe plusieurs manières de travailler la résolution de problèmes mathématiques en classe, celle consistant à privilégier les interactions entre pairs a largement fait ses preuves. De nombreuses études en ont souligné les bénéfices cognitifs, sociaux et psychologiques, et ce, particulièrement face aux tâches complexes susceptibles de générer une réelle coopération entre pairs (Buchs, Lerhaus & Crahay, 2013). Au niveau cognitif – ce qui nous préoccupe dans ce chapitre –, les travaux d'Allal (2007) et de Mottier-Lopez (2007, 2012) montrent que les interactions entre pairs en ce qu'elles questionnent l'apprenant, l'amènent à réfléchir sur sa propre démarche de résolution constituent des sources potentielles d'hétérorégulation susceptibles d'induire un processus d'autorégulation chez l'apprenant (voir chapitre 2). Plusieurs études à visée « interventionniste » conduites auprès d'élèves du primaire ont confirmé l'intérêt d'encourager de telles interactions lors des tâches de résolution de problèmes (Demonty, Dupont & Fagnant, 2014 ; Jaegers et al., 2016 ; Kramarski &

Mevarech, 2003 ; Verschaffel et al., 2000). Concrètement, ces interactions sont encouragées via la constitution de groupes hétérogènes.

Cependant, une telle approche de la résolution de problèmes n'a de sens que si les problèmes requièrent la mise en place d'un processus de modélisation pour être résolus et qu'ils sont suffisamment complexes que pour nécessiter un traitement en groupe.

3.4 Des énoncés de problèmes réalistes, complexes et ouverts

Selon Verschaffel et ses collègues, dans une perspective de modélisation mathématique au service du réel, les problèmes doivent répondre à trois caractéristiques principales : réaliste, complexe et ouvert (Verschaffel et al., 1999 ; Verschaffel et al., 2000). Réalistes, en ce sens que les problèmes doivent évoquer des contextes ancrés dans la vie de tous les jours des élèves auxquels ils s'adressent et poser des questions porteuses de sens pour ces derniers. Complexes, dans le sens où les problèmes doivent vivement encourager les apprenants à recourir à la modélisation mathématique, c'est-à-dire à la mise en place d'un processus de résolution en étapes et à recourir à des stratégies heuristiques pertinentes au regard de la situation donnée. Cette définition fait écho à celle mise en évidence par Bednarz et Lajoie (2018). Ouverts, en ce sens que les problèmes proposés doivent pouvoir être correctement représentés, modélisés, résolus et solutionnés en empruntant des chemins différents.

Cependant, comme évoqué précédemment, les démarches adoptées par les élèves en résolution de problèmes sont guidées par leurs croyances, elles-mêmes modelées par les normes socio-mathématiques en vigueur au sein de la classe (Fagnant, 2008 ; Greer, Verschaffel & De Corte, 2002 ; Schoenfeld, 1992 ; Verschaffel et al., 2000). À ce sujet, plusieurs études (Dewolf, Van Dooren & Verschaffel, 2011 ; Palm, 2007 ; Reusser & Stebler, 1997 ; Van Dooren, De Bock, Janssens & Verschaffel, 2005) ont montré que, placés dans un contexte différent de celui de la classe de mathématiques, et donc soumis à des normes socio-mathématiques différentes, les élèves troquent aisément leurs stratégies superficielles et routinières pour une démarche de résolution plus réaliste et approfondie. Par contre, lorsque, peu après, ces mêmes élèves sont placés dans le contexte traditionnel du cours de mathématiques, ils résolvent les mêmes énoncés en adoptant une démarche routinière et superficielle. Le contexte et, plus précisément, les normes socio-mathématiques véhiculées dans la classe de mathématiques conditionnent les démarches de résolution des élèves. D'où la nécessité, lorsqu'on souhaite favoriser le développement d'une expertise adaptative chez les élèves, de redéfinir ces normes.

3.5 Une redéfinition des normes en vigueur dans la classe

L'établissement de nouvelles normes socio-mathématiques à propos de l'enseignement et de l'apprentissage de la résolution de problèmes et le développement de croyances positives constituent un autre pilier fondamental d'un dispositif d'enseignement-apprentissage orienté vers le développement d'une expertise adaptative. Concrètement, ce

changement requiert, premièrement, d'encourager les élèves à réfléchir sur leurs croyances, conceptions, stratégies et ressentis par rapport à la résolution de problèmes. Deuxièmement, il est important de débattre avec eux de ce qu'est un bon problème (e.g., beaucoup de problèmes peuvent être résolus correctement en empruntant des chemins différents), une bonne réponse (e.g., dans certains cas, il est plus pertinent de répondre par une estimation que par la réponse numérique précise) et une bonne démarche (e.g., dans certains cas, la méthode d'essais-erreurs est la plus efficace). Troisièmement, il est nécessaire de reconsidérer collectivement le rôle de l'enseignant et des élèves. A ce sujet, on encouragera une évaluation collective des « pour » et des « contre » des différentes stratégies proposées pour résoudre un problème donné et l'identification collective de la stratégie optimale plutôt que ces décisions prises par l'enseignant, seul (Gravemeijer, 1994 ; Schoenfeld, 1991 ; Verschaffel et al., 1999 ; Yackel & Cobb, 1996). Une observation menée dans deux classes de sixième primaire confirme le lien étroit entre les normes en vigueur au sein de la classe (les stratégies heuristiques ne sont utiles que pour les élèves faibles et pour des tâches spécifiques), les croyances des élèves (les stratégies heuristiques sont inutiles) et leurs comportements (utilisation très rare de stratégies heuristiques) (Depaepe et al., 2010).

Ces différentes composantes se retrouvent dans la plupart des dispositifs d'enseignement-apprentissage visant le développement d'une expertise adaptative en résolution de problèmes. L'efficacité de ces dispositifs à effectivement favoriser le développement d'une expertise adaptative à fait l'objet de nombreuses études empiriques. Quatre d'entre eux sont présentés au point suivant.

4. Que disent les recherches interventionnistes ?

Si dans la partie théorique de cette thèse, nous avons volontairement tenté de séparer les dimensions cognitives et métacognitives de la résolution de problèmes afin de pouvoir mieux dépeindre leurs contributions respectives, dans les dispositifs d'enseignement-apprentissage ces deux dimensions sont très souvent étroitement liées. Et cela en raison de la définition même de l'expertise adaptative qui couvre tant les stratégies heuristiques que les stratégies d'autorégulation cognitive. Plusieurs études empiriques ont d'ailleurs confirmé la présence de plus grands effets lorsque les dispositifs sont mixtes (Artzt & Armour-Thomas, 1992 ; Dignath, Buettner & Langfeldt, 2008 ; Fuchs et al., 2003 ; Perels, Gürtler & Schmitz, 2005).

Verschaffel et ses collègues ont réalisé une série d'études empiriques, en Flandres, auprès d'élèves en fin d'enseignement primaire, afin d'évaluer l'efficacité de dispositifs d'enseignement-apprentissage à promouvoir le développement d'une expertise adaptative (De Corte, 2010 ; De Corte & Verschaffel, 2002 ; De Corte, Verschaffel & Masui, 2004 ; Verschaffel et al., 1999). Ces dispositifs se caractérisent par la reconceptualisation des problèmes comme des exercices de modélisation mathématique, un enseignement explicite de stratégies cognitives et d'autorégulation cognitive reposant sur la règle « WWW&H », la promotion d'une utilisation flexible et adaptative de ces dernières, une redéfinition de la nature des problèmes proposés, la promotion des interactions entre pairs et la renégociation des normes socio-mathématiques en vigueur dans la classe. Leurs résultats montrent que,

comparativement aux élèves du groupe contrôle, les élèves immergés dans un tel environnement ont de meilleures performances en résolution de problèmes non-routiniers, persistent davantage quand ils rencontrent des difficultés, mobilisent davantage de stratégies heuristiques et ont davantage une vision de la résolution de problème orientée vers le processus plutôt que vers la solution. Soulignons également que les élèves du groupe expérimental devancent significativement leurs pairs du groupe contrôle à un test standardisé mesurant les connaissances et compétences mathématiques générales. Notons que ces résultats se maintiennent six semaines après la fin de l'intervention et concernent tant les élèves forts, moyens, que faibles en mathématiques.

Le programme pédagogique SOLVED, construit par Hohn et Frey (2002), recouvre, pour sa part, trois des composantes présentées plus haut, à savoir l'enseignement explicite de stratégies heuristiques (voir Tableau 3 pour une description), des énoncés de problèmes réalistes et ouverts et la promotion des interactions entre pairs. Précisons que la visée principale de ce programme, destiné aux élèves de la troisième à la cinquième primaire, est d'organiser la résolution de problèmes des élèves en leur fournissant une marche à suivre. Les résultats montrent que les élèves placés dans la condition SOLVED ont de meilleures performances en résolution de problèmes, et ce, tant à court-terme (juste après l'intervention) qu'à long-terme (deux semaines après la fin de l'intervention), comparativement à leurs camarades qui ont suivi l'approche traditionnelle (manuel).

Le projet DISUM, porté par une équipe de chercheurs allemands, cherche, quant à lui, à décrire et à comprendre la façon dont les élèves et les enseignants traitent les tâches de modélisation qui sont cognitivement exigeantes et, plus précisément, à identifier des interventions pédagogiques appropriées pour aider les élèves à résoudre seuls ce type de tâche. Dans ce cadre-là, un de leur objectif est de développer la capacité des élèves du début du secondaire (14-16 ans) à modéliser mathématiquement une situation. Pour ce faire, ils ont mis en place une intervention qui met l'accent sur l'importance de la modélisation mathématique, qui promeut une utilisation flexible et adaptative de stratégies heuristiques et métacognitives (voir Tableau 3 pour une description), qui encourage les interactions entre pairs, qui met l'accent sur l'authenticité des tâches et qui, par effet boule de neige, souhaite modifier les croyances des élèves et favoriser des attitudes plus positives à l'égard de la résolution de problèmes (Blum, 2015 ; Blum & Ferri, 2009 ; Blum & Niss, 1991). Plusieurs études empiriques montrent que les élèves qui ont bénéficié d'une telle approche (appelée « opérationnelle-stratégique ») affichent de meilleures performances en résolution de problèmes (pour lesquels une modélisation mathématique est requise), comparativement aux élèves placés dans l'approche classique de la résolution de problème (appelée « directive »), et ce tant à court-terme qu'à long-terme (trois mois après la fin du dispositif) (Blum & Ferri, 2009).

Finalement, le programme « Realistic Mathematics Education » (RME), développé par une équipe de chercheurs de l'institut Freudenthal, aux Pays-Bas partage plusieurs points communs avec les dispositifs d'enseignement-apprentissage décrits ci-avant (Gravenmeijer, 1994 ; Hough & Gough, 2007 ; Van den Heuvel-Panhuizen, 1996, 2003). Tout d'abord, ce programme – qui est ensuite devenu une théorie de l'enseignement spécifique au domaine

des mathématiques – s’est développé en réponse, d’une part, à un enseignement des mathématiques, mécanique, répétitif, ennuyeux et laissant peu de traces dans la mémoire des élèves et, d’autre part, à l’atomisation des tâches et contenus. En réponse à ces pratiques inefficaces, la RME a donné une place de choix aux problèmes en les considérant à la fois comme un médium pour développer de nouveaux concepts, outils et procédures mathématiques et comme un contexte dans lequel les élèves peuvent appliquer ce qu’ils ont appris précédemment. Si les concepteurs accordent une place importante à la nature réaliste des situations proposées, ils promeuvent également les situations tirées de la fiction, des contes de fées ou du monde formel des mathématiques. Ce qui importe c’est que la situation fasse sens pour l’apprenant. De plus, ses concepteurs défendent l’idée que les mathématiques ne doivent pas être apprises comme un système fermé, mais comme une activité de mathématisation de la réalité (utiliser les outils mathématiques pour résoudre des situations de la vie de tous les jours) et des mathématiques (progresser au sein du monde abstrait du symbolisme mathématique via le développement de connexions entre concepts, stratégies). En outre, ils encouragent une utilisation réfléchie d’outils et de procédures mathématiques (stratégies heuristiques) et la mise en œuvre de démarches variées pour résoudre une même situation. Ils promeuvent les interactions et échanges entre pairs. Les données empiriques, recueillies tant au niveau de l’enseignement primaire que secondaire, soulignent les bienfaits du programme (Hough & Gough, 2007 ; Van den Heuvel-Panhuizen, 2003 ; Van den Heuvel-Panhuizen & Drijvers, 2014).

5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons montré que les recommandations formulées par les programmes de mathématiques qui souhaitent former de futurs citoyens dotés de compétences d’analyse et de résolution de tâches complexes ne trouvent que peu d’écho sur le terrain. En effet, les pratiques et la culture de classe favorisent le développement, par les élèves, de stratégies de résolution superficielles et de croyances relatives aux différents aspects de la résolution de problème qui se révèlent inappropriées pour résoudre de « vrais problèmes ». En bref, l’école favorise le développement d’une expertise routinière, là où la société a besoin d’individus pourvus d’une expertise adaptative. Le développement d’une telle expertise requiert donc d’apporter des ajustements aux pratiques de classe. Plusieurs ajustements ont été proposés à cet effet, comme reconceptualiser les activités de résolution de problèmes comme des exercices de modélisation mathématique, enseigner des stratégies heuristiques qui guident le processus de résolution, en recourant à la règle « WWW&H », encourager un usage flexible et adaptatif de ces stratégies, promouvoir les interactions entre pairs, proposer des énoncés de problèmes authentiques, complexes et ouverts ainsi qu’établir de nouvelles normes socio-mathématiques. L’efficacité de ces nouvelles pratiques de classe à développer chez les élèves une expertise adaptative a été confirmée au travers de nombreuses études empiriques. Cependant, les études actuelles souffrent de plusieurs limites qui ne permettent pas de circonscrire complètement les processus en jeu dans l’acquisition d’une expertise adaptative, dit autrement, de concevoir un dispositif d’enseignement-apprentissage qui garantit son développement intégral.

Une première limite réside dans le fait que les effets de ces dispositifs sur la fréquence d'utilisation des stratégies heuristiques et métacognitives enseignées sont très souvent mesurés de façon globale. Ainsi, les recherches concluent à l'augmentation de la fréquence d'utilisation entre le prétest et le post-test mais sans préciser si cette augmentation concerne toutes les stratégies ou pas. Or, comme nous l'avons expliqué dans ce premier chapitre, chaque stratégie heuristique joue un rôle clé dans le processus de résolution. Il est donc important de s'assurer que le dispositif mis en place favorise le développement et l'appropriation, par l'apprenant, de chacune d'elle. A ce propos, plusieurs éléments nous laissent penser que ces stratégies heuristiques empruntent des trajectoires développementales différentes (à durée et intensité d'enseignement égales). Tout d'abord, plusieurs études portant sur l'analyse de manuels scolaires ont montré que ces derniers encouragent plusieurs processus cognitifs associés à la construction d'une représentation du problème (e.g., distinguer les éléments importants des éléments inutiles, souligner les informations importantes, construire un schéma/dessin de la situation, mettre les informations dans un tableau) (Coppe & Houdement, 2002). Ensuite, l'analyse des épreuves externes (non) certificatives révèle une emphase sur la communication de la réponse via des consignes telles que « communique clairement ta réponse par une phrase » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, 2015, 2016, 2017). Il semblerait donc que les stratégies heuristiques consistant à représenter le problème et à communiquer la solution ne soient pas complètement nouvelles pour les élèves. Cela ne semble pas être le cas de toutes les stratégies heuristiques. Effectivement, plusieurs recherches conduites auprès d'élèves du primaire et du début du secondaire soulignent le faible usage dans les classes et la difficulté que représentent pour les élèves la planification des actions à mettre en œuvre pour résoudre le problème (Focant, 2008), l'identification de la structure mathématique du problème (Fuchs et al., 2003) et l'anticipation du résultat (Montague & Van Garderen, 2003). La planification nécessite de projeter mentalement les actions à mener et d'en évaluer les potentielles retombées. L'identification de la structure mathématique du problème suppose d'avoir en mémoire des descriptions généralisées de problèmes (schémas) qui permettent de trier les problèmes dans différents groupes partageant les mêmes caractéristiques. Or, posséder de telles descriptions n'est possible qu'après avoir rencontré un grand nombre de problèmes semblables et distincts (Fuchs et al., 2003). L'anticipation, quant à elle, présuppose la maîtrise du sens du nombre (Montague & Van Garderen, 2003), l'analyse d'un problème en termes de structure mathématique (Lucangeli et al., 1998b), la prise en compte du contexte (Saboya et al., 2015) et la disposition de stratégies pour estimer (Zimmerman & Campillo, 2003). Concernant la stratégie de vérification, une étude menée par Focant (2008) auprès d'élèves de cinquième primaire montre que déjà dans une tâche où la seule consigne est la mise en œuvre simultanée de deux types de vérification (vérification de la démarche et des calculs), la surcharge cognitive amène l'apprenant à se centrer sur un seul type de vérification ou à mener les deux avec une charge cognitive diminuée. On peut donc supposer que dans une tâche de résolution de problème où ces vérifications ne sont pas explicitement demandées et où la résolution exige déjà un investissement cognitif notable de la part de l'apprenant, la stratégie de vérification sera peu utilisée. S'agissant de la stratégie d'interprétation, elle nécessite que l'apprenant reconsidère la croyance selon laquelle la réalité décrite dans les problèmes n'est

pas la même que celle du monde réel. Or, nous savons, par ailleurs que les croyances sont relativement stables et résistantes au changement (Kloosterman, Raymond & Emenaker, 1996 ; Op't Eynde, De Corte & Verschaffel, 2002). Ces différentes informations justifient la nécessité de questionner le développement individualisé de chaque stratégie heuristique.

Une deuxième limite des études à visée « interventionniste » menées jusqu'ici, réside dans le fait que, bien souvent, elles concluent à l'efficacité du dispositif mis en place tant pour les élèves faibles, moyens que forts, mais sans apporter aucune nuance. Or, nous avons montré que les élèves « novices » (« faibles ») et « experts » (« forts ») n'amorcent pas les tâches de résolution de problèmes avec le même bagage de stratégies et de croyances. On peut dès lors, raisonnablement penser qu'ils ne retireront pas les mêmes bénéfices de l'intervention. Se pencher sur cette question permettrait de mieux cerner leurs besoins respectifs et, par l'identification des besoins non satisfaits, d'ajuster l'intervention initiale afin de la rendre plus efficace.

Une troisième limite de ces études est que les chercheurs évaluent classiquement les effets des dispositifs d'enseignement-apprentissage via une comparaison prétest-post-test. On sait donc peu de choses sur ce qui se passe durant l'intervention, c'est-à-dire sur la façon dont les changements s'opèrent et sur l'origine de ces changements. Répondre à ces questions permettrait, d'une part, de mieux comprendre le processus de développement d'une expertise adaptative et, d'autre part, d'identifier la(les) composante(s) du dispositif qui contribue(nt) quantitativement et qualitativement le plus aux effets observés. Ensemble, ces informations permettraient d'affiner nos interventions.

Nous reviendrons plus en détail sur ces différentes limites au chapitre 5. Nous avons évoqué, à plusieurs reprises dans ce premier chapitre, que l'expertise adaptative ne se limitait pas au fait de disposer d'un répertoire de stratégies heuristiques appropriées et variées, mais qu'une telle expertise requérait également et principalement la capacité à les utiliser de façon flexible et de pouvoir exercer un contrôle réfléchi et délibéré sur les produits de leur implémentation, en d'autres termes, de pouvoir autoréguler sa démarche de résolution. Cet aspect fait l'objet du chapitre 2.

Chapitre 2

Métacognition et autorégulation cognitive

Métacognition et autorégulation cognitive

Comme nous l'évoquions dans l'introduction, une autre composante clé de l'expertise adaptative est la capacité à utiliser ses connaissances disciplinaires et ses stratégies heuristiques de façon flexible et adaptative. Cette utilisation flexible et adaptative est rendue possible grâce à l'acquisition de connaissances métacognitives et de stratégies d'autorégulation cognitive. Dans ce chapitre, après plusieurs clarifications conceptuelles, nous nous attèlerons à décrire les deux composantes clés de la métacognition. Ensuite, nous traiterons du développement naturel et stimulé de ces dernières et des instruments de mesure les plus couramment utilisés. Nous clôturerons ce chapitre en détaillant le rôle de plusieurs croyances motivationnelles dans le développement et le maintien de conduites d'autorégulation cognitive.

1. Cognition et métacognition : où est la frontière ?

Comme le mentionnent plusieurs chercheurs (Berger & Büchel, 2012 ; Van der Stel, Veenman, Deelen & Haenen, 2010 ; Veenman et al., 2006), la distinction entre ce qui relève du cognitif et du métacognitif n'est pas évidente en raison de leur étroit parentage conceptuel. Veenman et al. (2006) de dire que « there is a higher-order agent overlooking and governing the cognitive system, while simultaneously being part of it ». Pour comprendre en profondeur ces deux construits, il ne s'agit donc pas de chercher à les démêler, mais plutôt d'éclaircir leurs contributions respectives au sein de cette relation symbiotique. A ce propos, les chercheurs inscrivent les activités cognitives et métacognitives au sein d'un processus circulaire. La métacognition y est vue comme un ensemble d'auto-instructions (décisions autonomes et réfléchies) auxquelles les activités cognitives donnent sens. Ces activités cognitives sont, à leur tour, soumises à des processus métacognitifs tels que le contrôle et la régulation. Comme le soulignent Berger et Büchel (2012, p.110), « ce qui justifie le qualificatif de métacognitif attribué à ces stratégies est la décision ou le choix de les utiliser ainsi que la décision d'arrêter de les utiliser ou d'en changer, de les appliquer plus précisément, etc. ». Ainsi, la décision autonome de planifier la procédure et les stratégies à mettre en œuvre pour résoudre un problème donné (métacognitif) suppose l'identification préalable de la structure mathématique du problème et des outils mathématiques adaptés au traitement d'une telle structure (cognitif). Le choix autonome de vérifier le résultat obtenu (métacognitif) ne peut se faire sans opérer de nouveaux calculs (cognitif). L'action délibérée de vérifier la pertinence de la démarche mise en œuvre au regard de l'énoncé du problème (métacognitif) requiert, pour sa part, une analyse approfondie de l'énoncé et une compréhension du sens des opérations arithmétiques (cognitif).

2. Clarifications conceptuelles

Le domaine de la métacognition est reconnu pour son flou conceptuel et son incohérence (Berger & Büchel, 2012 ; Veenman et al., 2006). Au fil des années, une prolifération de termes ont été associés indistinctement au concept de métacognition tels que croyances métacognitives, conscience métacognitive, expériences métacognitives, méta-mémoire, compétences de niveau supérieur, stratégies d'autorégulation, stratégies heuristiques, stratégies d'apprentissage, etc. Si certains relèvent purement de processus métacognitifs, d'autres recouvrent également des processus cognitifs ou motivationnels. Dinsmore, Alexander et Loughlin de dire que « the more we read, the more researchers' language left us confused » (2008, p.32).

Si notre ambition n'est pas de démêler et ensuite de classer ces différents vocables, il nous a semblé important de clarifier les concepts les plus empruntés dans le champ de la métacognition, à savoir, métacognition, (auto)régulation et apprentissage autorégulé. Précisons d'emblée que l'apprentissage autorégulé, ou *self-regulated learning* (SRL) réfère à l'étude de l'autorégulation dans le champ scolaire et est développé au chapitre 4. Concernant les concepts de métacognition, de régulation/autorégulation, on discerne à l'heure actuelle trois conceptualisations théoriques distinctes. Si certains chercheurs utilisent les deux termes de façon interchangeable, d'autres considèrent ces deux concepts comme étant hiérarchiquement liés (Veenman et al, 2006). Parmi ces derniers, certains chercheurs (Brown & DeLoache, 1978 ; Kluwe, 1987) envisagent la métacognition comme un concept de niveau supérieur, tandis que d'autres (De Corte, Mason, Depaepe & Verschaffel, 2011 ; Pintrich et al., 2000 ; Wigfield, Klauda & Cambria, 2011; Winne, 1996 ; Zimmerman, 2001) considèrent la métacognition comme une sous-composante de l'autorégulation. Les partisans de cette dernière conceptualisation s'alignent sur la définition de Zimmerman (2001, p.5) selon laquelle « students are self-regulated to the degree that they are metacognitively, motivationally and behaviorally active participants in their own learning process ». Dans le cadre de cette thèse nous adoptons cette dernière perspective en considérant l'autorégulation comme un processus de régulation pouvant s'appliquer aux différentes dimensions en jeu dans l'apprentissage – cognition, émotions, motivation, comportement – et la métacognition comme la régulation d'une de ces dimensions, à savoir, la régulation de la cognition.

Mais pourquoi parle-t-on tantôt de régulation, d'autorégulation ou d'hétérorégulation ? La régulation renvoie aux « mécanismes qui assurent le guidage, le contrôle, l'ajustement des activités cognitives, affectives et sociales, favorisant ainsi la transformation des compétences de l'apprenant » (Allal, 2007, p.9). Lorsque la régulation est stimulée par des facteurs externes tels que les interactions entre élèves (E-E), entre l'élève et le maître (E-M) ou entre l'élève et les outils mis à sa disposition (E-O), on parle d'hétérorégulation ou de régulation interactive. Tandis que lorsque la régulation relève purement du chef de l'élève, d'efforts internes, on parle d'autorégulation. Ces interactions constituent des « sources de régulations potentielles qui ont une fonction de médiation à l'autorégulation » (Mottier Lopez, 2012, p. 31). S'il ne faut pas sous-estimer l'importance de ces interventions externes, dès lors que les conduites d'autorégulation ne s'acquièrent pas spontanément et automatiquement (Schunk, 2001), il ne faut pas non plus perdre de vue que ce sont les conduites d'autorégulation, seules,

qui assurent l'apprentissage (Allal, 2007). En outre, si la visée de l'enseignement est de faire progresser les élèves d'une conduite hétéroréglée vers une conduite autoréglée, cette dernière ne se départit jamais entièrement des régulations contextuelles. Ce qui fait dire à Allal (2007) que la progression de l'apprentissage des élèves est le résultat d'un processus de co-régulation, c'est-à-dire d'une interdépendance entre des conduites autoréglatives et des formes de régulation externe (figure 4).

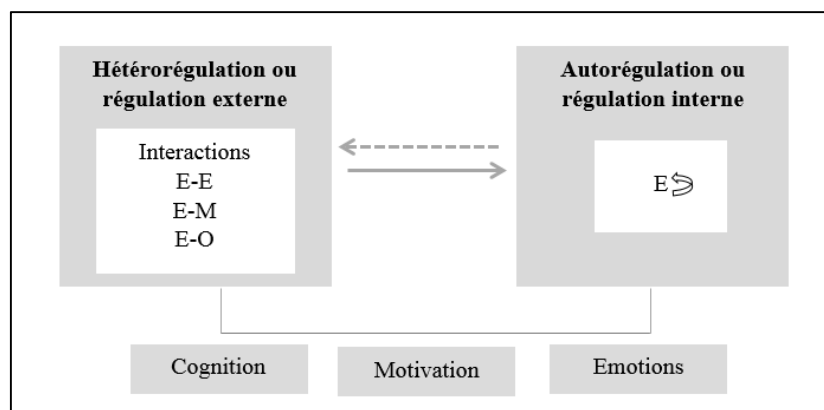


Figure 4. Schématisation du processus de co-régulation

3. La métacognition

3.1 Survol historique

Les écrits sur les méta-processus comme la méta-mémoire, réalisés en grande partie par Flavell (Flavell, 1971 ; Flavell & Wellman, 1977) ont contribué à l'émergence, dans les années 70, du concept de métacognition. Flavell opérationnalise alors la métacognition comme étant « la réflexion sur la réflexion ». En d'autres mots, la métacognition est considérée comme un phénomène unitaire qui décrit divers « méta » portant sur tous les processus cognitifs envisageables, tels que l'attention, la mémoire ou la compréhension (Focant, 2004). Plus précisément, il définit la métacognition comme l'intégration de deux composantes principales. D'une part, les connaissances que l'individu a de ses propres processus cognitifs, ainsi que des facteurs favorables et défavorables à ces processus. Et, d'autre part, le contrôle actif, la régulation et l'orchestration de ces processus dans le but d'atteindre un but déterminé. Quelques années plus tard, Baker et Brown (1984) font de ces deux composantes des construits à part entière. Depuis lors, chaque auteur y a été de sa touche personnelle en incluant ou excluant certaines composantes, ce qui a conduit à une multitude de définitions et à une confusion du concept, comme mentionné plus haut (Berger & Büchel, 2012 ; Dinsmore et al., 2008 ; Veenman et al. 2006). Malgré des désaccords conceptuels, la majorité des chercheurs en sciences de l'éducation s'accordent pour reconnaître deux dimensions principales au sein de la métacognition, à savoir, les connaissances métacognitives et les stratégies métacognitives (Allaire, Pallascio, Lafortune et Mongeau,

1998 ; Colognesi & Van Nieuwenhoven, 2016 ; Focant & Grégoire, 2008 ; Noël, Romainville et Wolfs, 1995 ; Pallascio, Benny & Patry, 2001 ; Pintrich et Schrauben, 1992 ; Winne, 1996). Bien qu'une description des autres composantes de la métacognition, distinguées au sein de la littérature et dont la nature est source de désaccords entre les chercheurs, ne soit pas l'objet de ce travail, il nous a semblé important d'en mentionner une qui a particulièrement été développée au sein de la littérature, à savoir, les expériences métacognitives. Introduit en 1979 par Flavell, comme une des composantes de la métacognition, le concept d'expériences métacognitives a ensuite été développé par plusieurs chercheurs. Les travaux d'Efklides sont bien connus à ce sujet (Efklides 2001, 2006, 2008). Cette dernière identifie trois types d'expériences métacognitives : les sentiments métacognitifs (familiarité, difficulté, compétence, satisfaction par rapport à la tâche), les jugements métacognitifs (estimation de l'effort à fournir ou du temps requis, jugement d'exactitude de la tâche réalisée) et les connaissances spécifiques à la tâche (ce que l'apprenant prend en compte pour effectuer une tâche). Si certains chercheurs considèrent ces expériences comme métacognitives du fait qu'elles se rapportent à l'activité cognitive en cours (Efklides, 2006 ; Gagnière, 2010), beaucoup d'autres y voient un élargissement du concept de métacognition à des aspects motivationnels et affectifs (Berger & Büchel, 2012 ; Boekaerts, 1999 ; Pintrich, 2000 ; Zimmerman, 2001). Cet élargissement est critiqué par ces derniers non seulement parce que traiter ces aspects motivationnels et affectifs comme des objets métacognitifs accroît le flou conceptuel déjà bien présent dans ce domaine, mais aussi parce qu'il réduit le pouvoir explicatif des croyances motivationnelles et des aspects affectifs, reconnus comme des entités distinctes agissant non seulement sur l'activité d'apprentissage, mais aussi sur des activités concurrentes qui traversent l'esprit de l'apprenant (Berger & Büchel, 2012).

Dans les lignes qui suivent nous présentons plus en détail les deux composantes centrales de la métacognition, à savoir, les connaissances métacognitives et les stratégies métacognitives.

3.2 Connaissances métacognitives

Les connaissances métacognitives désignent les connaissances et croyances de l'individu portant sur les différents aspects de l'activité cognitive, à savoir les caractéristiques des individus, de la tâche et des stratégies cognitives et métacognitives (Brown, 1987 ; Flavell, 1979, 1987). Ces connaissances peuvent être de type déclaratif (e.g., connaître une stratégie), procédural (e.g., savoir comment on peut mettre en œuvre cette stratégie) ou conditionnel (e.g., savoir dans quelle(s) condition(s) et à quel moment il est pertinent de la mobiliser) (Pintrich, Wolters & Baxter, 2000). Ces connaissances peuvent être correctes ou incorrectes, sont relativement stables et résistantes au changement (Veenman et al., 2006).

3.2.1 Les connaissances métacognitives relatives aux individus

Flavell (1979) distingue trois sous-catégories de connaissances relatives aux individus : les connaissances sur soi-même (e.g., « Je suis fort en calcul mental »), les connaissances sur d'autres personnes (e.g., « Christine est une excellente danseuse ») et les connaissances

universelles relatives au fonctionnement et aux caractéristiques de la cognition (e.g., « La mémoire est organisée en mémoire à court terme et à long terme »). Ces connaissances permettent de mettre à jour des différences intra-individuelles (e.g., « Je suis meilleur en calcul mental qu'en calcul écrit ») ainsi que des différences inter-individuelles (e.g., « Christine danse mieux que moi ») (Pintrich, 2002). Pintrich (2002) précise que les croyances motivationnelles (e.g., sentiment d'efficacité personnelle, orientation des buts, valeur perçue) font également partie de ces connaissances métacognitives.

3.2.2 Les connaissances métacognitives relatives aux tâches

Les connaissances métacognitives relatives aux tâches portent sur la quantité d'informations donnée, le degré de familiarité avec la tâche, le niveau de difficulté de la tâche, le niveau de structuration de la tâche et le type de traitement exigé par la tâche (Flavell, 1979). Une connaissance de ce type pourrait être la suivante : une tâche de rappel est plus difficile qu'une tâche de reconnaissance en ce que la première nécessite une recherche active en mémoire et l'extraction de l'information pertinente tandis que la seconde se « borne » à une discrimination entre plusieurs alternatives. Ces connaissances informent l'apprenant de la façon la plus appropriée d'accomplir une tâche donnée.

3.2.3 Les connaissances métacognitives relatives aux stratégies

Ce type de connaissance porte sur la nature des stratégies tant cognitives que métacognitives (quoi ?), la façon de les mettre en œuvre (comment ?), le type de tâche dans lequel il est pertinent de les mobiliser et le moment le plus opportun pour le faire (quand ?) ainsi que sur l'utilité de ces stratégies (pourquoi ?). Ces connaissances sont au service de l'atteinte d'un but (e.g., résoudre un problème) (Focant, 2004 ; Lester et al., 1989). Pour reprendre les termes utilisés plus haut, il s'agit des connaissances déclaratives (connaître une stratégie), procédurales (savoir comment on peut mettre en œuvre cette stratégie) et conditionnelles (savoir à quel moment on peut la mettre en œuvre et son utilité) relatives aux stratégies cognitives et métacognitives (Berger, 2008 ; Paris & Paris, 2001 ; Pintrich, 2002) ou de ce que Veenman et ses collègues (2006) ont appelé « la règle du WWW&H », évoquée au chapitre 1. Il s'agit donc de connaissances portant à la fois sur les stratégies elles-mêmes et sur leurs conditions d'activation (Flavell, 1979 ; Pintrich, 2002). Pintrich (2002) précise que ces connaissances portent à la fois sur les stratégies générales d'apprentissage, applicables à l'ensemble des disciplines et tâches scolaires (i.e. stratégies de répétition, d'élaboration et d'organisation), sur les stratégies cognitives spécifiques (e.g., stratégies heuristiques de résolution de problèmes) et sur les stratégies métacognitives (i.e. détermination du but, planification, contrôle et régulation).

3.3 Stratégies métacognitives

A l'origine, trois processus métacognitifs étaient distingués, à savoir, l'auto-observation, l'auto-jugement et l'auto-réaction (Bandura, 1986 ; Schunk, 1989, 1998 ; Zimmerman, 1989). Au fil du temps cette première modélisation a été adaptée, précisée, affinée. Les travaux de Pintrich (2000), qui identifient quatre phases clés dans un processus

d'autorégulation (phase d'anticipation, planification et activation ; phase de monitoring ; phase de contrôle ; phase de réactions et de réflexion), y ont largement contribué. Si, à l'heure actuelle, plusieurs modèles de stratégies d'autorégulation coexistent, le modèle quadripartite est celui qui partage le consensus le plus large au sein de la communauté de chercheurs (Berger, 2008 ; Focant & Grégoire, 2008 ; Pintrich, 2004 ; Schunk & Zimmerman, 2013 ; Winne, 2001 ; Zimmerman, 2001, 2011). Dans ce modèle, la détermination du but et la planification sont considérées comme des stratégies de préparation de l'action, tandis que, le contrôle et la régulation comme des stratégies d'évaluation de l'action. C'est ce dernier modèle que nous avons retenu dans le cadre de cette thèse. Précisons que nous y avons intégré le modèle de « l'activité de contrôle¹¹ mathématique », développé par Saboya et ses collègues (2015), dans le champ de la didactique des mathématiques, afin de nuancer et d'enrichir notre modèle initial.

3.3.1 Stratégies de préparation de l'action

Les stratégies de préparation de l'action sont au nombre de deux : la détermination du but et la planification.

À travers la **détermination du but**, l'individu décide du point d'aboutissement, de l'état final désiré (Focant, Grégoire & Desoete, 2006 ; Zimmerman, 2001, 2011). Précisons que, dans les tâches scolaires, les buts sont rarement déterminés par l'apprenant lui-même, mais plutôt fournis par l'environnement – l'enseignant ou le manuel –, la stratégie consiste alors à s'approprier la demande externe (Ridley, Schutz, Glanz & Weinstein, 1992). Cette appropriation peut passer par ce que Saboya et al. (2015) appellent un « engagement réfléchi », c'est-à-dire par une prise de distance par rapport à l'énoncé. Il s'agit ainsi de s'approprier le problème en donnant du sens au contexte, en faisant le choix d'une interprétation parmi d'autres interprétations possibles (Saboya, 2012). Le but joue un double rôle. D'une part, le but sert de cadre pour l'activation de connaissances jugées utiles par l'individu pour accomplir le type d'activité proposé (Boekaerts & Niemivirta, 2000 ; Pintrich, 2000 ; Winne, 2001). Si certaines connaissances sont délibérément récupérées en mémoire (e.g., « Qu'est-ce que je connais à ce sujet ? ; ai-je déjà rencontré une situation similaire ? »), d'autres sont activées automatiquement lors de la reconnaissance du type de tâche (Focant, 2004 ; Pintrich, 2000). D'autre part, le but sert de référent sur la base duquel l'individu évalue ses actions et décide de poursuivre sur la même voie ou de réaliser des ajustements (Focant & Grégoire, 2008 ; Focant et al., 2006 ; Pintrich, 2000 ; Zimmerman, 2001, 2011). Cet aspect est développé plus en profondeur dans la partie consacrée aux stratégies d'évaluation de l'action. En ce qui concerne la nature des buts, les recherches montrent que les buts proximaux sont plus efficaces pour la performance immédiate, comparativement aux buts plus distants, qui sont moins opérationnels (Bandura, 1997 ; Schunk, 2001 ; Zimmerman, 2001). Les buts proximaux sont habituellement utilisés comme des étapes permettant d'atteindre des buts plus distants, s'inscrivant dans un système ordonné de buts (Zimmerman, 2001, 2011). Notons que ces buts proximaux en ce qu'ils transmettent

¹¹ A comprendre dans son sens large comme un regard « méta » exercé sur le processus de résolution.

des preuves de progression sont réellement investis par l'individu et ne se limitent donc pas à des points de contrôle mécanique (Zimmerman, 2001).

La **stratégie de planification** consiste, pour sa part, en l'élaboration d'un plan d'action permettant d'atteindre le but (Focant & Grégoire, 2008). Pour ce faire, l'apprenant doit sélectionner les stratégies qui seront nécessaires à l'exécution de la tâche et définir leur ordre d'exécution. Cette stratégie rejoint, selon nous, la composante de « discernement/choix éclairé » dans le modèle de Saboya et al. (2015). Ce dernier désigne la capacité de l'apprenant de voir différentes stratégies pour résoudre le problème et d'effectuer, parmi celles-ci, une sélection judicieuse, efficace et peu coûteuse en temps. Comme le souligne Focant (Focant & Grégoire, 2008), la planification est une stratégie utile en ce qu'elle requiert la construction d'une représentation proactive de l'action. La projection mentale des actions et l'évaluation de leurs potentielles retombées avant leur implémentation mettent à jour des erreurs dans la sélection des procédures. Dans le contexte de la résolution de problèmes non routiniers, l'apprenant ne peut s'appuyer sur un algorithme ou sur une procédure acquise précédemment pour solutionner le problème, il doit créer une séquence d'actions qui lui permet de passer de l'état initial à l'état de but désiré (Focant & Grégoire, 2008).

3.3.2 Stratégies d'évaluation de l'action

Les chercheurs distinguent communément deux types de stratégies d'évaluation de l'action : les stratégies de contrôle et les stratégies de régulation. Les premières permettent de surveiller et d'évaluer le cours de l'action et ses résultats (Focant & Grégoire, 2008). Quatre types de contrôle ont été distingués en contexte de résolution de problèmes mathématiques : le monitoring, le contrôle de la poursuite du but, le contrôle des opérations et la vérification des résultats (Focant & Grégoire, 2008). Les secondes, mobilisées de façon concurrentielle, se basent sur les informations récoltées par les stratégies de contrôle pour ajuster les actions et l'attribution des ressources et, ainsi, maintenir une efficacité optimale (Focant & Grégoire, 2008). Dans le modèle de Saboya et ses collègues (2015), les stratégies de régulation nous semblent renvoyer à la composante de « dépassement de la contradiction », c'est-à-dire à la mise en place, par l'apprenant, d'une action pour rétablir l'équilibre entre l'état actuel non satisfaisant et le résultat attendu.

« Le **monitoring** correspond à une sorte de veille constante, inconsciente ou semi-consciente, qui déclenche un signal d'alerte lorsque nous nous rendons compte que le cours de l'activité ne mène pas où nous l'avions prévu, ou que les résultats transitoires obtenus diffèrent de ce qui était attendu. Le monitoring indique l'existence d'un problème non clairement défini au moment du contrôle, tandis que les autres types de contrôle identifient une erreur précise » (Focant & Grégoire, 2008, p. 205). En l'absence de signal d'alerte provenant du monitoring, l'action se poursuit telle que planifiée. Dans le cas où un signal est envoyé, un processus de régulation peut être déployé (Focant & Grégoire, 2008). Ce dernier consiste à ralentir l'action afin de l'évaluer (Baker & Brown, 1984 ; Focant & Grégoire, 2008). Un traitement plus approfondi de l'anomalie relevée est effectué par l'un des trois autres types de contrôle.

Contrairement au monitoring, le **contrôle de la poursuite du but** est un processus intentionnel dont la mise en œuvre est généralement consciente (Focant & Grégoire, 2008). Plus précisément, il s'agit de faire le bilan de la résolution du problème dans son état actuel afin d'organiser la suite des actions (e.g., « Où en suis-je dans ma résolution ? » ; « Ai-je répondu à la question posée dans l'énoncé du problème ? »). Il s'agit de comparer l'état actuel avec l'état désiré ou le but fixé (Focant & Grégoire, 2008 ; Winne, 1996). Ce type de contrôle nous semble faire écho tant à la composante d'« engagement réfléchi » (prise de distance par rapport au problème, réflexion sur l'action) qu'à celle de « vérification » (vérification du processus et du résultat) dans le modèle de Saboya et al. (2015). Suite à ce contrôle, l'individu décide de conserver ou d'amender les actions planifiées ou déjà mises en œuvre. Dans le cas où il constate que les procédures mises en œuvre ne sont plus cohérentes par rapport au but, l'individu doit revoir son approche et planifier d'autres procédures qui remplacent ou s'ajoutent à celles existantes (régulation) (Focant & Grégoire, 2008).

Le **contrôle des opérations** est également un processus intentionnel et conscient au moment de sa mise en œuvre. Ce type de contrôle vise à vérifier l'adéquation entre, d'une part, le but (dans le cas de la résolution de problèmes mathématiques, il s'agit de la question posée) et les intentions de l'individu et, d'autre part, entre les intentions de l'individu et l'(les) opération(s) mathématique(s) choisie(s) (Focant & Grégoire, 2008). Le *contrôle de l'adéquation entre le but et les intentions* du sujet peut être mené tant sur des actions planifiées (contrôle prospectif) que sur des actions déjà implémentées (contrôle rétrospectif). Le contrôle prospectif peut être mis en œuvre avant le démarrage de toute action et fusionner avec la stratégie de planification. Il consiste alors à vérifier l'adéquation entre le plan d'action élaboré et le but fixé. Ainsi, l'apprenant pourrait se demander si l'action qu'il a en tête (soustraire le nombre de personnes pouvant rentrer dans un bus du nombre total de personnes devant prendre le bus) est bel et bien ce qu'il doit faire pour atteindre le but (déterminer le nombre de bus nécessaires pour amener x personnes au zoo). Le contrôle prospectif peut également être mené en cours de résolution, entre deux actions, par exemple (Focant & Grégoire, 2008). Cette forme prospective nous semble pouvoir être rattachée à la composante « discernement/choix éclairé » mise en évidence par Saboya et ses collègues en ce qu'il s'agit de questionner la stratégie privilégiée au regard des caractéristiques du problème. Par ailleurs, l'individu peut se demander rétrospectivement si, pour déterminer le nombre de bus nécessaire(s) pour emmener x personnes au zoo, il a bien fait de soustraire le nombre de personnes pouvant rentrer dans un bus du nombre total de personnes devant prendre le bus ou s'il fallait plutôt diviser le nombre total de personnes devant prendre le bus par le nombre de personnes que peut contenir un bus. Dans sa forme rétrospective, le contrôle de l'adéquation entre le but et les intentions nous semble également renvoyer à la composante de « vérification » (vérification partielle de la démarche) (Saboya et al., 2015). Le *contrôle de l'adéquation entre les intentions et l'(les) opération(s) arithmétique(s) choisie(s)* consiste à se questionner sur la pertinence du passage de l'intention à l'opération arithmétique. Ce type de contrôle repose sur les connaissances relatives à la compréhension du nombre et des opérations et sur les connaissances relatives aux conditions d'application des stratégies cognitives (connaissances déclaratives et conditionnelles) (Focant & Grégoire, 2008). Dans l'exemple proposé ci-dessus, un tel contrôle consisterait à se demander si la soustraction est

la bonne opération pour identifier le nombre de bus nécessaire(s) pour amener les x personnes au zoo. Ce type de contrôle réfère, selon nous, dans le modèle de Saboya et ses collègues (2015), à une vérification partielle de la démarche adoptée. Dans le cadre de la résolution de problèmes, le contrôle des opérations requiert de faire des allers-retours entre l'énoncé et la procédure de résolution. Quand la stratégie de contrôle met en évidence une inadéquation entre l'intention et le but ou, entre l'intention et l'opération arithmétique choisie, la régulation consiste à supprimer l'étape contenant une erreur et à planifier une nouvelle séquence d'actions au départ de cette étape corrigée. La correction se fait donc pendant l'exécution de la tâche (« online ») (Focant & Grégoire, 2008). Ainsi, si nous reprenons l'exemple du bus, l'élève qui se rend compte qu'il ne devait pas soustraire, mais diviser (contrôle de l'adéquation entre l'intention et l'opération choisie), annule l'opération de soustraction et la remplace par une procédure de division (régulation).

La **vérification des résultats** est un contrôle rétrospectif, intentionnel et conscient au moment de sa mise en œuvre qui consiste, pour Focant et Grégoire (2008) à mettre à jour de potentielles erreurs liées à l'application des procédures arithmétiques, autrement dit, de vérifier les calculs réalisés. En ce sens, ce type de contrôle fait appel aux connaissances des procédures arithmétiques. Plusieurs types de contrôle des résultats peuvent s'opérer complémentirement. Premièrement un *contrôle empirique* qui consiste à refaire le calcul ou à faire la preuve (Focant & Grégoire, 2008). Deuxièmement, un *contrôle logique* qui consiste à évaluer la plausibilité mathématique de la réponse (en se basant sur la logique selon laquelle une somme de deux nombres naturels donne un nombre plus grand que chacun des nombres de départ, on peut dire que le calcul suivant est erroné : $152 + 32 = 120$). D'autres chercheurs y ajoutent un troisième type de contrôle : le *contrôle pragmatique* (Houdement, 2011, 2014) ou *interprétation en contexte* (Saboya et al., 2015). Ce dernier consiste à opérer un retour au problème de départ afin de questionner la nature de la réponse et ses conditions de validité au regard du contexte. Se demander si 23,2 bus est une réponse pertinente à la question du nombre de bus nécessaires pour amener x personnes au zoo en est un exemple. La réponse trouvée à la suite de ces différents contrôles est ensuite comparée à l'anticipation effectuée au début. La vérification des résultats induit une régulation « on-line » (Focant & Grégoire, 2008). Ainsi, l'élève qui refait ses calculs et obtient un résultat différent ou qui questionne la plausibilité mathématique ou pragmatique de sa réponse et se rend compte d'un non-sens corrige directement sa réponse initiale ou utilise une seconde fois la stratégie de contrôle pour s'assurer que la nouvelle réponse obtenue est correcte (Focant, 2004 ; Focant & Grégoire, 2008).

Comme nous pouvons le constater, la mise en œuvre de ces stratégies d'autorégulation cognitive demande à l'apprenant de mobiliser des ressources cognitives de nature différente. Ainsi, la planification en requérant de la part de l'apprenant une projection mentale des actions à mener et de leurs retombées potentielles semble être cognitivement plus coûteuse que, par exemple, le contrôle empirique des résultats qui consiste à refaire les calculs ou à faire la preuve. Ces différences laissent présager des trajectoires développementales distinctes de ces stratégies métacognitives. Une autre question qui se pose est de savoir si les connaissances métacognitives constituent des prérequis indispensables au développement

des stratégies métacognitives ou si ces deux composantes se développent de façon autonome. Ces questions sont abordées dans la section suivante.

4. Le développement des stratégies et connaissances métacognitives

4.1 Le développement naturel des connaissances et stratégies métacognitives

En ce qui concerne le développement naturel des connaissances métacognitives, plusieurs études ont montré que déjà les enfants d'âge préscolaire disposent de connaissances métacognitives, principalement de nature déclarative (Blöte, Van Otterloo, Stevenson & Veenman, 2004 ; Schneider, 1998 ; Schneider & Pressley, 1997). Les stratégies d'autorégulation cognitives seraient également acquises précocement. A ce sujet, des chercheurs ont montré que les enfants âgés entre 3 et 5 ans manifestent déjà des comportements d'autorégulation tels que demander des précisions sur la tâche à réaliser, chercher et collecter l'information nécessaire, auto-commenter leurs actions, retirer une pièce du puzzle et la poser ailleurs, etc. (Blair & Razza, 2007; Schneider, 1998; Whitebread, Coltman, Pasternak, Sangster, Grau, et al., 2009). Par ailleurs, plusieurs études confirment que les connaissances métacognitives ne constituent pas un prérequis pour la mise en œuvre de la stratégie concernée (Baker & Brown, 1984; Cavanaugh & Borkowski, 1980). Veenman (2010) avance plutôt l'existence d'un développement parallèle des connaissances et stratégies métacognitives, et ce, dès le préscolaire.

Ces stratégies et connaissances deviennent plus sophistiquées et scolairement plus adaptées au fur et à mesure que l'enfant avance dans la scolarité du fait que les tâches proposées requièrent alors l'utilisation explicite d'un répertoire de stratégies et de connaissances métacognitives (Veenman et al., 2006). A ce propos, Focant (2004) s'est penché sur l'état du développement des diverses stratégies d'autorégulation cognitives chez des enfants de cinquième primaire dans le contexte de la résolution de problèmes mathématiques. Les résultats indiquent que si la détermination du but est acquise, la planification est encore très limitée. Les deux formes de contrôle sont, pour leur part, réussies majoritairement, mais pas complètement (toutes les erreurs ne sont pas détectées). Plus précisément, il semblerait que la vérification des résultats arithmétiques soit plus aisée pour l'apprenant que le contrôle des opérations. De plus, l'augmentation de la complexité des problèmes (nombre d'étapes nécessaires à la résolution) engendre une diminution substantielle des capacités de planification de l'apprenant, mais n'a aucun effet sur la stratégie de contrôle. Cependant, l'augmentation de la complexité du traitement demandé (absence de calculatrice, consigne d'effectuer conjointement deux sous-stratégies de contrôle) diminue la performance de mise en œuvre d'un contrôle par l'apprenant. Ces constats, appuyés par de nombreuses autres recherches qui ont mis à jour la présence d'un fonctionnement métacognitif déficient tant chez les élèves du primaire que du secondaire (Lucangeli, Cornoldi & Tellarini, 1998a ; Lester et al., 1989; Muir et al., 2008 ; Schoenfeld, 1992), rendent saillant la nécessité de soutenir le développement naturel des connaissances

et stratégies métacognitives des élèves. Cela est d'autant plus important que des relations étroites entre les stratégies d'autorégulation cognitive et les performances scolaires sont observées (Dignath et al., 2008 ; Dinsmore et al., 2008 ; Focant, 2008 ; Tzohar-Rozen & Kramarski, 2017 ; Veenman & Spaans, 2005).

4.2 Stimulation du développement de connaissances et stratégies métacognitives via des interventions ciblées

Moyennant un programme d'interventions ciblées, il est possible de stimuler le développement des connaissances et compétences métacognitives, déjà auprès d'enfants du début du primaire (Brown, Pressley, Van Meter & Schuder, 1996 ; Desoete, Roeyers & Buyse, 2001 ; Kernaghan & Woloshyn, 1995). Dans le cadre de cette thèse, nous nous sommes particulièrement intéressée aux enfants en fin d'enseignement primaire (pour une méta-analyse voir Dignath et al., 2008). Nous donnons, ci-dessous, un aperçu de ces programmes.

Un premier exemple est le programme **IMPROVE** proposé par une équipe de chercheurs israéliens (Kramarski & Mevarech 2003 ; Mevarech & Kramarski, 1997). L'acronyme IMPROVE renvoie aux différentes étapes d'enseignement impliquées dans le programme : introduction du nouveau matériel (« Introducing the new material »), questionnement métacognitif (« Metacognitive questioning »), entraînement (« Practicing »), révision (« Reviewing »), maîtrise des processus cognitifs de niveaux supérieurs et inférieurs (« Obtaining mastery on higher and lower cognitive processes »), vérification (« Verification ») et, enrichissement-remédiation (« Enrichment and remedial »). Ce programme vise à induire l'activation par l'apprenant de processus métacognitifs qui, en retour, auront pour effet d'améliorer son raisonnement et ses performances en résolution de problèmes mathématiques. Pour ce faire, les élèves apprennent à guider leur résolution par l'utilisation de quatre types de questions métacognitives : des questions de compréhension (e.g., de quoi parle le problème ? ; qu'est-ce qu'on me demande ?) ; de liens (e.g., en quoi ce problème est-il différent/similaire des problèmes que j'ai déjà résolus ?), de stratégies (il s'agit de questionner le quoi, pourquoi et comment de la stratégie sélectionnée) et de réflexion (e.g., que suis-je en train de faire ? ; comment puis-je vérifier la solution ?). Notons que ce programme accorde une place centrale à l'apprentissage coopératif. Les résultats des études empiriques menées auprès d'élèves du primaire indiquent des effets positifs immédiats et différés du programme en termes de raisonnement mathématique, de connaissances et stratégies métacognitives et de performances en résolution de problèmes (Kramarski, Mevarech, & Arami, 2002; Mevarech, Terkieltaub, Vinberger & Nevet, 2010).

Le programme « **Solve it !** » constitue un deuxième exemple de ce type de programmes. « Solve it » a été construit pour remédier aux déficiences en matière d'autorégulation dont sont sujets les adolescents présentant des troubles d'apprentissage en mathématiques – répertoire de stratégies limité, compétences métacognitives immatures et difficulté à détecter et à corriger spontanément ses erreurs (Montague, 2003, 2007). Pour y remédier, Montague propose un enseignement explicite d'un processus de résolution de problème en sept étapes

(lire, paraphraser, visualiser, conjecturer, estimer, calculer et vérifier) qui prend sens via l'enseignement de trois stratégies d'autorégulation : auto-verbalisation (se dire quoi faire (« SAY »)), auto-questionnement (se questionner durant la résolution (« ASK »)) et auto-évaluation (appliquer un processus de vérification tout au long de la résolution (« CHECK »)). Que les activités se réalisent individuellement ou avec le groupe entier, les élèves reçoivent régulièrement des feedbacks de la part de l'enseignant sur leur progression, leur démarche et leur performance. Les études empiriques conduites avec des élèves du début du secondaire (grades 7 et 8) montrent des effets bénéfiques du programme en termes d'utilisation de stratégies cognitives et métacognitives, mais également de performance en résolution de problèmes mathématiques (Krawec, Huang, Montague, Kressler & Melia de Alba, 2013 ; Montague, 1992, 2008 ; Montague, Applegate & Marquard, 1993 ; Rosenzweig, Krawec & Montague, 2011).

Si les deux programmes décrits supra mettent l'emphasis sur le développement de stratégies spécifiques et l'auto-questionnement, d'autres investissent de façon privilégiée les différentes formes de **régulations interactives**. Plus précisément, dans la continuité des travaux portant sur l'observation de séquences d'enseignement-apprentissage en mathématiques sous la loupe des régulations interactives (Fagnant et al., 2016 ; Lepareur, Gandit & Grangeat, 2017 ; Mottier Lopez, 2007), plusieurs chercheurs ont mis sur pied des dispositifs d'enseignement-apprentissage qui cherchent à maximiser les différentes modalités de régulations interactives comme sources potentielles d'autorégulation cognitive (Fagnant & Jaegers, 2017 ; Jaegers et al., 2016). Concrètement, ces régulations interactives sont encouragées via la résolution de problèmes en petits groupes hétérogènes (E-E), des interactions individualisées et collectives avec l'enseignant (M-E), une grille de co-évaluation et des indices (E-O). Les résultats mettent en évidence une amélioration substantielle des performances en résolution de problèmes et une utilisation plus fréquente des stratégies enseignées par le groupe expérimental entre le prétest et le post-test, comparativement au groupe contrôle, appuyant ainsi l'intérêt de proposer diverses modalités de régulation interactive et de maximiser leur présence.

Capturer les effets des régulations interactives ou de la pratique de l'auto-questionnement stratégique n'est pas chose aisée. Effectivement, saisir les activités d'autorégulation d'un individu suppose non seulement d'accéder à ce qu'il pense, mais également à leur fréquence, au contexte dans lequel elles se produisent et au moment où elles se produisent (Dinsmore et al., 2008 ; Greene, Robertson, Croker Costa, 2011 ; Veenman et al., 2006 ; Zimmerman, 2001). On l'aura compris, le choix de l'instrument de mesure constitue un enjeu particulièrement important. Et, comme le soulignent plusieurs chercheurs, trouver un instrument de mesure approprié pour appréhender les processus métacognitifs n'est pas évident (Perry & Winne, 2006 ; Winne & Perry, 2000). Dans la section qui suit, nous présentons les outils les plus couramment utilisés.

5. Mesurer les mécanismes d'autorégulation cognitive

De nombreuses méthodes sont utilisées pour mesurer les mécanismes d'autorégulation cognitive ou stratégies métacognitives utilisés par les individus. Veenman (2006) propose une classification de ces instruments de mesure selon qu'ils sont administrés prospectivement, simultanément ou rétrospectivement à la tâche d'apprentissage ou de performance. Les six outils de mesure les plus couramment utilisés, dégagés par Dinsmore et ses collègues (2008) à travers leur méta-analyse, permettent d'étayer la typologie proposée par Veenman (2006). Ainsi, les questionnaires auto-rapportés de même que les entretiens peuvent être administrés à la fois prospectivement et rétrospectivement à la tâche. Par contre, les protocoles de pensée à voix haute et l'observation sont utilisés de façon concomitante à la tâche. Quant aux mesures d'exactitude et au journal de bord, ils croisent des informations recueillies avant, pendant et après la tâche. Dans les lignes qui suivent, nous présentons les avantages et limites de cinq¹² de ces six outils de mesure.

Dans leur méta-analyse, Dinsmore et al. (2008) pointent un usage préférentiel des chercheurs pour les **mesures auto-rapportées** et, plus spécifiquement, pour les questionnaires. Bien que ce type de mesure soit facile à administrer et à convertir en résultats, les mesures auto-rapportées ne sont pas exemptes de défauts. En effet, les études qui se sont penchées sur la comparaison de données observées et de mesures auto-rapportées révèlent une discordance entre ce que l'individu dit penser ou faire et ce qu'il pense ou fait réellement, et ce, même quand la mesure est prise juste après la tâche (Baker & Brown, 1984 ; Perry & Winne, 2006 ; Winne & Jamieson-Noel, 2002 ; Zimmerman, 2008). Ce constat peut être expliqué par la nature même des mesures auto-rapportées. Premièrement, ces mesures sont rétrospectives et reposent donc sur la capacité de l'individu à se souvenir, sans biais, des processus et conduites autorégulés qu'il a déployés durant la tâche (Cleary, 2011 ; Greene et al., 2011). Une telle mesure suppose donc que l'individu est conscient de ses propres activités métacognitives. Or, ce n'est pas toujours le cas. Plusieurs chercheurs (Corno, 2011 ; Focant, 2004 ; Schunk & Zimmerman, 1998 ; Veenman et al., 2006) précisent que les activités métacognitives peuvent être exécutées tantôt consciemment et intentionnellement tantôt, suite à une pratique répétée, s'être automatisées. Deuxièmement, les mesures par questionnaire demandent aux individus de choisir parmi un nombre limité de propositions. Le risque est alors que l'individu ne s'y retrouve pas et qu'il sélectionne un comportement qui ne correspond pas exactement au sien (Dinsmore et al., 2008 ; Greene et al., 2011). Troisièmement, ce type de méthode sonde l'individu ponctuellement, et n'est donc pas adéquat pour mesurer la nature processuelle des mécanismes d'autorégulation (Greene et al., 2011 ; Winne & Perry, 2000). Quatrièmement, la plupart des échelles reposent sur un score global de capacité autorégulatrice et ne permettent pas de distinguer chacune des composantes constitutives de ce score global (Cleary, 2011). Finalement, les techniques auto-rapportées sont connues pour être sujettes au biais de désirabilité sociale (Perry & Winne, 2006 ; Winne & Perry, 2000).

¹² Le passage par l'écrit étant une tâche cognitivement coûteuse pour les élèves du primaire, nous avons choisi d'écarter le journal de bord.

Les **protocoles de pensée à haute voix**, pour lesquels il est demandé à l'individu de décrire ses pensées et processus cognitifs au moment où il effectue la tâche, permettent de dépasser plusieurs limites des mesures auto-rapportées (Greene et al., 2011). Effectivement, ce type de mesure rend compte du caractère dynamique de l'autorégulation, ne repose pas sur les capacités mnésiques de l'individu, permet d'accéder aux processus d'autorégulation de chaque individu spécifiquement et permet d'adresser séparément chacune des composantes de l'autorégulation. Cependant, le travail de pensée à haute voix ajoute une charge cognitive supplémentaire à celle requise pour la réalisation de la tâche (Focant, 2004). De plus, la mise en œuvre des processus d'autorégulation pouvant être totalement ou partiellement inconsciente, le rapport réalisé par l'individu peut n'être que partiel (Focant, 2004 ; Greene et al., 2011).

Quant aux **entretiens**, les chercheurs distinguent l'entretien prospectif, pour lequel il est demandé au sujet de décrire des comportements typiques sous des circonstances spécifiques, de l'entretien rétrospectif ou entretien en rappel stimulé, durant lequel l'individu est invité à décrire son comportement, sur base de sa production et/ou d'un support vidéo, après avoir réalisé une tâche donnée (Dinsmore et al., 2008). S'ils permettent tous deux d'accéder à la dimension processuelle des conduites d'autorégulation, aux différentes composantes de ce processus et aux spécificités inter-individuelles, ils nécessitent, tout comme les questionnaires, une récupération des informations en mémoire et une reconstruction de ce qui s'est passé (Focant, 2004 ; Greene et al., 2011). Un risque d'interprétation n'est donc pas à exclure.

Contrairement aux mesures précédentes, les **mesures comportementales** (enregistrement par un ordinateur des comportements d'autorégulation) ou **l'observation directe** (l'enseignant observe l'élève pendant qu'il réalise une tâche donnée) des actions posées par l'individu ne sont pas affectées par une déformation potentielle de la réalité (Bouffard, 1998 ; Greene et al., 2011). Les mesures comportementales portent essentiellement sur les mouvements oculaires, le comportement général, l'utilisation de supports et le temps de passation. Cependant, ces dernières ne permettent pas d'avoir accès aux processus purement mentaux (Focant, 2004).

Les **mesures d'exactitude**, quant à elles, réfèrent à la corrélation entre le jugement subjectif de l'individu quant à ses habiletés cognitives (e.g., prédiction d'une performance future, évaluation du niveau de difficulté d'un item, degré de certitude) et la mesure réelle de ses habiletés cognitives (Azevedo, Moos, Johnson & Chauncey, 2010 ; Schwartz, 1994 ; Thiede & Dunlosky, 1994). Ce type de mesure repose sur l'idée que les individus autorégulés sont conscients de l'état de leurs connaissances et capables de contrôler leurs connaissances et processus. Les jugements d'apprentissage ou de rétention (*judgments of learning*) ainsi que les sentiments de connaître ou de savoir la réponse sans pouvoir la rappeler (*feelings of knowing*) constituent deux exemples de telles mesures. Les premiers réfèrent aux jugements faits par les individus, à la fin d'une activité d'apprentissage, à propos de la probabilité de se souvenir des informations apprises lors d'un test de mémorisation futur. Les seconds désignent les jugements faits par les individus concernant la probabilité d'identifier un item dont ils ne se souviennent plus parmi d'autres items. Lorsque le jugement de l'individu

corrèle positivement et étroitement avec les mesures cognitives réelles, l'individu est jugé bon régulateur. Inversement, lorsque la mesure de la corrélation est forte et négative, signe d'une discordance entre jugement subjectif et mesure réelle, l'individu est jugé mauvais régulateur. Cependant, Focant (2004) recommande de rester prudent avec ces mesures, car l'écart est parfois grand entre la mesure subjective et la mesure objective de l'habileté.

Comme nous pouvons le constater, chaque technique a ses forces et ses faiblesses. Afin de pallier les défauts d'une mesure isolée et ainsi appréhender avec plus d'exactitude les mécanismes d'autorégulation utilisés par les individus, les chercheurs s'appuient de plus en plus sur une combinaison de méthodes (Veenman et al., 2006). À ce propos, les chercheurs insistent, lorsque des mesures auto-rapportées sont utilisées, de ne pas s'y cantonner, mais de les croiser avec des traces des pensées et comportements réels des individus (Dinsmore et al., 2008 ; Greene et al., 2011).

6. Rôle des croyances motivationnelles dans les conduites d'autorégulation

Disposer d'un répertoire de connaissances et de stratégies cognitives et métacognitives n'induit, cependant, pas automatiquement leur mise en œuvre. Encore faut-il que l'apprenant soit motivé à les activer, dit autrement, à s'engager dans la tâche et à y persévérer quand il rencontre une difficulté (Ahmed, 2017 ; Berger & Büchel, 2012 ; Boekaerts, 1997 ; Pintrich & De Groot, 1990 ; Zimmerman, 2011). L'apprenant peut ne pas s'engager dans la tâche s'il ne voit aucune raison de le faire (valeur de la tâche), s'il ne pense pas avoir les compétences suffisantes (sentiment d'efficacité personnelle), s'il veut éviter d'apparaître incompétent (but de performance-évitement), etc. A l'heure actuelle, les chercheurs s'accordent pour reconnaître le rôle central joué par les croyances motivationnelles non seulement dans l'initiation du processus d'autorégulation, mais également dans le maintien des efforts déployés tout au long de ce dernier (Ahmed, 2017 ; Boekaerts, 2010 ; Cosnefroy, 2004 ; Pintrich, 1999 ; Zimmerman, 2001, 2011).

Le terme de « croyances motivationnelles » réfère aux facteurs qui permettent de décrire la motivation des élèves (Berger, 2008). Plusieurs chercheurs arguent que la motivation des apprenants doit être considérée à deux niveaux d'analyse distincts : comme des croyances relativement stables relatives à un domaine spécifique (« trait ») et comme des appréciations à court terme d'une tâche ou d'une activité spécifique (« state ») (Ahmed, Minnaert, van der Werf & Kuyper, 2010 ; Boekaerts, 1996, 2001). Une étude conduite par Ahmed et al. (2010), auprès d'enfants de première secondaire, montre que les croyances relativement stables que les élèves ont par rapport à leur compétence et à la valeur des tâches mathématiques sont activées lors des tâches spécifiques et colorent l'appréciation qu'ils s'en font. Si diverses croyances motivationnelles ont retenu l'attention des chercheurs, cinq ont été particulièrement documentées dans le domaine des mathématiques, à savoir, le sentiment de compétence, la valeur de la tâche, l'orientation des buts, les attributions causales et la persévérance (Figure 5). Le rôle joué par ces dernières dans les processus d'autorégulation est dépeint dans les paragraphes ci-dessous.

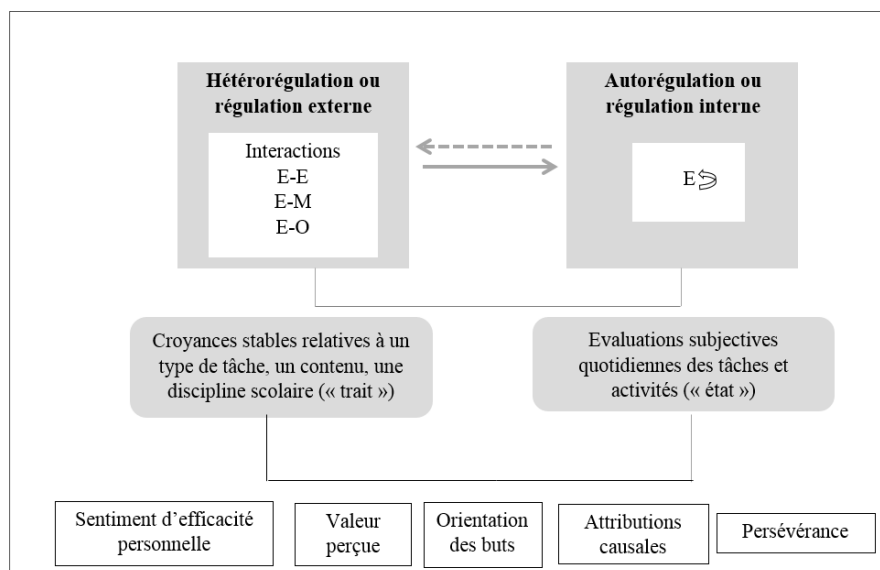


Figure 5. Schématisation des variables motivationnelles investiguées dans cette thèse

6.1 Le sentiment d'efficacité personnelle

Avant d'entrer dans le vif du sujet, soulignons la kyrielle de termes associés dans la littérature au concept de sentiment d'efficacité personnelle (SEP) (Schunk & Pajares, 2009 ; Valentine, DuBois & Cooper, 2004). Pour ne citer que les plus fréquents : concept de soi, perception de compétence, confiance en soi, estime de soi et attentes de résultats. Si jusque dans les années 90, une distinction claire était faite entre le SEP et la perception de compétence – le premier se rapportait à une tâche spécifique, tandis que le second couvrait un champ plus large, comme un domaine –, leur conceptualisation a évolué au fil du temps si bien qu'actuellement, comme le précisent Bouffard et Vezeau (2010), ces deux concepts sont souvent utilisés de façon interchangeable. Dit autrement, ils sont tous les deux utilisés aux différents niveaux de spécificité (tâche, sujet, matière, discipline scolaire). D'autres chercheurs se sont penchés sur les similarités conceptuelles entre le SEP et le concept de soi (Jansen, Scherer & Schroeders, 2015 ; Pajares, 1996 ; Parker, Marsh, Ciarrocho, Marshall & Abduljabbar, 2013 ; Schunk & Zimmerman, 2006). Si certains arguent que le SEP et le concept de soi réfèrent au même construit (Ahmed, Minnaert, Kuyper & van der Werf, 2012 ; Pajares 2006 ; Pietsch, Walker, & Chapman, 2003 ; Valentine et al., 2004), d'autres les considèrent comme des construits distincts, tant théoriquement qu'empiriquement (Jansen et al., 2015 ; Parker et al., 2013). Ainsi, là où le SEP est une description des compétences de l'individu, le concept de soi est une évaluation de ces mêmes compétences. Si la description est guidée par les performances antérieures du sujet, l'évaluation, elle, repose sur des comparaisons normées et internes (performances antérieures de l'individu dans la même discipline, performances de l'individu dans les autres disciplines, performances des autres

élèves). Dans cette thèse, nous nous intéressons essentiellement au SEP ou perception de compétence, défini comme la perception qu'à l'individu de ses capacités à entreprendre les actions nécessaires pour mener avec succès une tâche donnée (Bandura, 1997).

L'information sur la base de laquelle l'individu apprécie sa compétence provient de quatre sources : les expériences actives de maîtrise, les expériences vicariantes (observer quelqu'un de semblable réussir la tâche), la persuasion verbale (reconnaissance par autrui des compétences de l'autre) et les états émotifs (interprétation des signes physiologiques tels que la transpiration, l'accélération des battements cardiaques et l'hyperventilation) (Artino, 2012 ; Bandura, 1997 ; Bouffard & Vezeau, 2010). Précisons que les performances actives de maîtrise représentent la source la plus influente d'information de sa compétence (Artino, 2012 ; Bandura, 1997). Artino (2012) précise que l'effet d'un échec dépend de la solidité du SEP existant et du moment de l'échec par rapport à l'ensemble des expériences vécues (un échec qui arrive à la suite de nombreuses expériences de succès n'aura pas le même effet que s'il arrive dès le début). Notons également la présence d'un lien étroit entre le SEP et la perception de la difficulté de la tâche (Ahmed et al., 2010 ; Berger, 2008 ; Boekaerts, 2000 ; Malmberg, Walls, Martin, Little & Lim, 2013). Plus la tâche est perçue comme facile par l'apprenant, plus son SEP sera élevé.

Le SEP est indispensable au développement de conduites autorégulées (Ahmed, 2017 ; Berger & Büchel, 2012 ; Zimmerman, 2001, 2011). D'ailleurs, comme mentionné plus haut, il fait partie des connaissances métacognitives liées à soi (Pintrich et al., 2000). De façon générale, un nombre important d'études ont montré que les élèves qui se sentent compétents sont plus disposés à utiliser des stratégies d'autorégulation cognitives que ceux qui doutent de leur compétence (Ahmed, 2017 ; Berger & Karabenick, 2011 ; Pajares, 2008 ; Wolters & Pintrich, 1998). Plus précisément, il apparaît que les individus avec un SEP élevé se définissent des objectifs plus ambitieux, restent plus fermement engagés envers leurs buts, choisissent des tâches plus difficiles, ont davantage tendance à planifier les stratégies qu'ils vont mettre en œuvre pour accomplir la tâche, contrôlent et régulent plus efficacement leur processus d'apprentissage, redoublent d'efforts quand leur objectif est mis à mal que ceux qui présentent un SEP faible (Bouffard-Bouchard, Parent & Larivee, 1991 ; Pajares, 2008 ; Zimmerman 2011, 2011). De plus, ils persévèrent davantage lorsqu'une difficulté se fait sentir comparativement aux individus qui évaluent négativement leur compétence. Plusieurs études empiriques conduites auprès d'enfants du primaire attestent de l'impact d'un SEP élevé sur l'utilisation de stratégies métacognitives dans le contexte de la résolution de problèmes mathématiques (Marcou & Philippou, 2005 ; Metallidou & Vlachou, 2007 ; Stoeger & Ziegler, 2011).

Cette relation étroite et positive entre le SEP et le développement de conduites autorégulées s'étend aux performances scolaires (Berger, 2008). A ce propos, un nombre impressionnant de recherches ont montré que le SEP en mathématiques est un prédicteur puissant des performances dans ce même domaine, et ce tant pour les élèves du primaire (Frenzel, Pekrun & Goetz, 2007 ; Justicia-Galiano, Martin-Puga, Linares & Pelegrina, 2017 ; Peixoto et al., 2017) que du secondaire (Pajares & Graham, 1999 ; Peixoto et al., 2017 ; Seaton, Parker, Marsh, Craven & Yeung, 2014).

6.2 La valeur perçue

Eccles et Wigfield (2002) conceptualisent la valeur de la tâche comme recouvrant quatre composantes distinctes : (1) l'intérêt ou la valeur intrinsèque qui représente le plaisir que l'on peut avoir à s'engager dans une tâche (« *intrinsic value* »), (2) l'importance qui réfère à ce que représente la tâche au regard des valeurs personnelles et de l'image que l'individu a de lui-même (« *attainment value* »), (3) l'utilité qui désigne l'instrumentalité de la tâche par rapport aux buts actuels et futurs de l'individu (« *utility value* ») et le coût qui réfère à ce que l'individu a perdu en choisissant de s'engager dans la tâche (« *cost* »).

Ces composantes sont conceptualisées de bien des façons au sein de la littérature. Ainsi, l'intérêt est tantôt assimilé aux construits de plaisir et de motivation intrinsèque (Ahmed, 2017 ; Eccles & Wigfield ; 2002 ; Fredrickson, 2001) et tantôt distingué de ces derniers (Hidi & Ainley, 2002 ; Ryan & Deci, 2000). La distinction entre plaisir et intérêt est expliquée par le fait que l'intérêt comprend non seulement une composante affective (émotions qui accompagnent l'engagement du sujet) mais également une composante cognitive (connaissances de la tâche, de l'objet ou du domaine qui accompagnent l'engagement du sujet) (Ainley, 2007 ; Ainley & Ainley, 2010 ; Hidi & Renninger, 2006 ; Renninger & Hidi, 2011). Ces deux composantes occupent une place plus ou moins importante selon le type d'intérêt. Deux types d'intérêt sont classiquement distingués : l'intérêt situationnel et l'intérêt individuel ou personnel (Hidi & Ainley, 2002 ; Hidi & Renninger, 2006 ; Schiefele, 2009). L'intérêt situationnel est déclenché par la situation, par certaines caractéristiques de l'environnement (conditions, objets concrets, etc.), et implique une réaction affective. Ce type d'intérêt peut, par exemple, être déclenché chez un élève qui n'a pas d'intérêt pour les mathématiques, mais qui trouve le problème qu'on lui a soumis intéressant. L'intérêt individuel, à l'inverse, est défini comme une prédisposition relativement stable qui se développe par des engagements répétés qui permettent à l'individu de vivre des expériences affectives positives, d'améliorer ses connaissances et de valoriser plus fortement le type de tâche ou le domaine concerné (Hidi, 2006 ; Hidi & Ainley, 2002). Ainsi, l'intérêt qu'un élève manifeste pour les mathématiques est conceptualisé comme un intérêt individuel ou une prédisposition. Notons que l'intérêt manifesté par un élève pour une tâche peut être suscité à la fois par la tâche et par sa prédisposition pour celle-ci. L'intérêt se distingue également, pour certains, du concept de motivation intrinsèque. Plusieurs chercheurs soulignent que, là où l'intérêt réfère à la relation entre un individu et un contenu spécifique, la motivation intrinsèque renvoie à la façon dont l'individu approche un ensemble d'objets à la fois sur le moment et au cours du temps. Ryan et Deci (2000) précisent que l'intérêt n'est qu'un indicateur parmi d'autres de la motivation intrinsèque.

S'agissant de la composante « utilité » ou « instrumentalité » de la valeur, elle est confondue par de nombreux chercheurs (Eccles & Wigfield, 2002 ; Lens, Simons & Dewitte, 2002 ; Wigfield & Cambria, 2010) avec le concept de motivation extrinsèque. Ce dernier renvoie à la volonté de réaliser une tâche, non pas pour la tâche elle-même, mais pour les conséquences extérieures qui en découlent (Deci & Ryan, 2008).

Quel rôle joue la valeur perçue dans les conduites d'autorégulation ? Les études empiriques menées auprès d'élèves en fin d'enseignement primaire et du secondaire mettent en évidence un lien positif entre la valeur globale accordée par l'apprenant aux tâches mathématiques et l'utilisation, par ces derniers de stratégies d'autorégulation cognitive (Berger & Karabenick, 2011 ; Metallidou & Vlachou, 2007, 2010 ; Wigfield, Hoa, Klauda, 2008 ; Wolters, Yu & Pintrich, 1996). Une étude conduite par Wolters et Pintrich (1998) indique que la valeur accordée aux tâches mathématiques explique 22% des variations dans la fréquence d'utilisation des stratégies d'autorégulation cognitive observées. De leur côté, Lee, Lee et Bong (2014) ont montré que l'intérêt individuel pour les tâches mathématiques prédit l'utilisation par l'apprenant de stratégies d'autorégulation cognitive et cela, même quand on contrôle pour le sentiment d'efficacité (R^2 entre 2% et 3% selon le genre). De plus, une série d'études conduites auprès d'élèves du secondaire ont montré que lorsque ces derniers associent les tâches et activités scolaires à la réalisation de leurs objectifs futurs (utilité ou instrumentalité), ils sont plus enclins à mettre en œuvre des stratégies d'autorégulation cognitive et à traiter en profondeur l'information (Miller & Brickman, 2004 ; Miller, Greene, Montalvo, Ravindran & Nichols, 1996). Les recherches s'accordent donc pour reconnaître l'importance de la valeur accordée par l'apprenant aux tâches et activités scolaires dans l'adoption de conduites d'autorégulation et ce, même si l'apprenant a confiance dans sa capacité à accomplir correctement la tâche. Une question demeure cependant, de savoir s'il est préférable d'encourager la valeur intrinsèque ou extrinsèque de la tâche. Si l'on peut raisonnablement penser que se lancer dans une tâche que l'on considère comme un moyen de parvenir à une fin, conduit à un engagement métacognitif moindre que si l'activité est valorisée intrinsèquement, une étude conduite auprès d'élèves de 15 ans montre que la valeur intrinsèque et la valeur extrinsèque, accordées aux activités mathématiques, agissent de façon similaire sur la fréquence d'utilisation des stratégies d'autorégulation cognitive (Ahmed, 2017).

6.3 L'orientation des buts d'accomplissement¹³

Un but est une représentation cognitive des motifs qui poussent un individu à s'engager dans une tâche et des référents qu'il utilise pour apprécier ses accomplissements (Cosnefroy, 2004 ; Dupeyrat, Escribe, & Mariné, 2006 ; Elliot & Thrash, 2001 ; Pintrich, 2000). Un but est donc composé d'un motif et d'un référent qui sert à évaluer l'atteinte du but. Comme mentionné au point consacré aux stratégies métacognitives, le but crée un cadre de référence sur la base duquel l'individu interprète, réalise des expériences et agit dans les situations d'accomplissement (Elliot & Church, 1997). Dweck (1986) et Nicholls (1984) sont considérés comme étant à l'origine de la théorie de l'orientation des buts. A l'origine, deux types de buts étaient distingués : d'une part, les buts d'apprentissage ou de maîtrise (« *learning goals* » ou « *mastery goals* ») par lesquels l'apprenant cherche à améliorer ses compétences, à comprendre ou maîtriser une tâche ou un contenu nouveau et, d'autre part,

¹³ Il est à noter que les buts de maîtrise et les buts de performance ne constituent pas les seules raisons qui poussent un apprenant à s'engager dans une tâche, Wentzel (2000) distingue également des buts sociaux. Cependant les deux premiers sont ceux qui influent le plus substantiellement sur l'engagement et le fonctionnement cognitif et métacognitif de l'apprenant (Berger, 2008).

les buts de performance (*performance goals*) par lesquels l'apprenant cherche à obtenir un jugement favorable sur sa compétence ou à éviter un jugement défavorable sur cette dernière (Ames, 1992). Si dans le cas d'un but d'apprentissage, la réussite est jaugée sur la base de référents intra-personnels, dans le cas d'un but de performance, elle est appréciée au moyen de référents interpersonnels. Ce modèle de l'orientation des buts a, par la suite, été élargi par Elliot et McGregor (2001). Ces derniers ont démontré empiriquement que chacun des buts peut prendre soit une forme d'approche (chercher le succès) soit une forme d'évitement (essayer d'éviter l'échec). Quatre types de buts ont ainsi été distingués : maîtrise-approche, maîtrise-évitement, performance-approche et performance-évitement (Elliot, 1999 ; Elliot & McGregor, 2001 ; Pintrich, 2000). Au niveau des buts de maîtrise, un comportement d'approche reflète le désir d'apprendre, de progresser, de développer ses compétences tandis qu'un comportement d'évitement traduit le souhait d'éviter de perdre ses connaissances et compétences, d'oublier ce qu'on a appris, de mal comprendre la matière ou de laisser une tâche inachevée. Concernant les buts de performance, un comportement d'approche indique le désir de démontrer ses performances et de surpasser les autres tandis qu'un comportement d'évitement traduit le souhait de ne pas apparaître incompetent aux yeux des autres.

Que disent les recherches empiriques qui se sont penchées sur les élèves du primaire et du début du secondaire dans le contexte des apprentissages mathématiques ? Les résultats montrent, de façon consistante, que la poursuite de buts de maîtrise-approche est positivement associée à l'utilisation de stratégies métacognitives et à un traitement en profondeur de l'information (Ames, 1992 ; Bong, 2009 ; Dowson, 2000 ; Madjar, Kaplan & Weinstock, 2011 ; Wolters et al., 1996). Les quelques études qui ont examiné les buts de maîtrise-évitement rapportent une relation non significative (Bong, 2009 ; Madjar et al., 2001). Du côté des buts de performance-approche, si certaines études mettent en évidence un lien positif avec l'utilisation de stratégies cognitives et métacognitives (Bong, 2009), d'autres statuent sur la non-significativité de ce lien (Madjar et al., 2011). Du côté des buts de performance-évitement, là où certains observent une relation négative avec l'utilisation de stratégies cognitives et métacognitives (Madjar et al., 2011), d'autres concluent à la non-significativité de ce lien (Bong, 2009). L'inconsistance de ces résultats illustre la complexité de l'orientation des buts. Cette complexité est confirmée par l'existence de patterns de buts adaptatifs et moins adaptatifs. Citons, à ce propos, l'étude conduite par Madjar et al. (2011) auprès d'enfants du secondaire (grades 7 à 11) qui montre que lorsque les buts de maîtrise-évitement sont combinés à des buts de maîtrise-approche, ces derniers sont plus fortement corrélés avec l'utilisation de stratégies cognitives et métacognitives. En d'autres mots, les élèves qui s'inquiètent d'oublier les connaissances et compétences apprises et de ne pas savoir suivre le rythme du cours s'engageront d'autant plus dans des conduites autorégulatrices et dans un traitement en profondeur de l'information qu'ils souhaitent améliorer leur compétence et apprendre. Ces inconsistances poussent les chercheurs à affiner la modélisation existante de l'orientation des buts et à proposer des modèles plus complexes (Elliot, Murayama & Pekrun, 2011) dont la validation empirique est encore en cours à l'heure actuelle.

6.4 Les attributions causales

La théorie de l'attribution proposée par Weiner¹⁴ (1979, 1985) repose sur le postulat selon lequel les individus ressentent le besoin de comprendre les événements et comportements survenant dans la vie de tous les jours, en d'autres mots, d'identifier les causes de ces événements (Weiner 1979, 2014). Plus précisément, à la suite d'un résultat négatif ou inattendu, l'individu entreprend d'en rechercher les causes (e.g., « Pourquoi ai-je échoué à l'examen ? ») (Figure 6). Les attributions réalisées par les individus se définissent selon trois caractéristiques : la stabilité (stable vs. instable), l'internalité (interne vs. externe) et la contrôlabilité (contrôlable vs. incontrôlable) (Weiner, 1979, 2014). Le tableau 4 reprend les causes les plus fréquemment invoquées par les individus pour expliquer leurs résultats (Graham & Taylor, 2016 ; Graham & Williams, 2009 ; Weiner, 1979). Notons que ces attributions sont colorées tant par les performances antérieures, les valeurs et croyances de l'individu que par les performances des autres (Weiner, 1985). De nombreux chercheurs en éducation y ajoutent la nature des feedbacks adressés par les enseignants aux élèves (Caprara, Pastorelli & Weiner, 1997 ; Graham & Williams, 2009 ; Hattie & Timperley, 2007 ; Schunk & Rice, 1987).

¹⁴ Nous avons choisi le modèle de Weiner, d'une part parce qu'il est plus complet que les autres conceptualisations de l'attribution et, d'autre part, parce que c'est le modèle le plus utilisé par les chercheurs en éducation (Graham & Williams, 2009).

Tableau 4. Classification selon les trois dimensions des principales causes invoquées par les élèves pour expliquer leurs résultats

	Stabilité	Internalité	Contrôlabilité
Habileté	Stable	Interne	Incontrôlable
Effort fourni	Instable	Interne	Contrôlable
Chance	Instable	Externe	Incontrôlable
Niveau de difficulté de la tâche	Instable	Externe	Incontrôlable
Aide reçue	Instable	Externe	Incontrôlable
Humeur	Instable	Interne	Contrôlable
Qualité de l'enseignant	Stable	Externe	Incontrôlable
Stratégie utilisée	Instable	Interne	Contrôlable

Comme illustré à la figure 6, l'attribution causale génère des réactions affectives spécifiques aux dimensions de la cause retenue. Par exemple, une attribution à une cause contrôlable et interne comme le manque d'effort génère de la colère tandis que l'évocation d'une cause incontrôlable et externe suscite de la pitié. Ces réactions affectives agissent à leur tour sur l'engagement, les choix, la persévérance et les performances de l'individu.

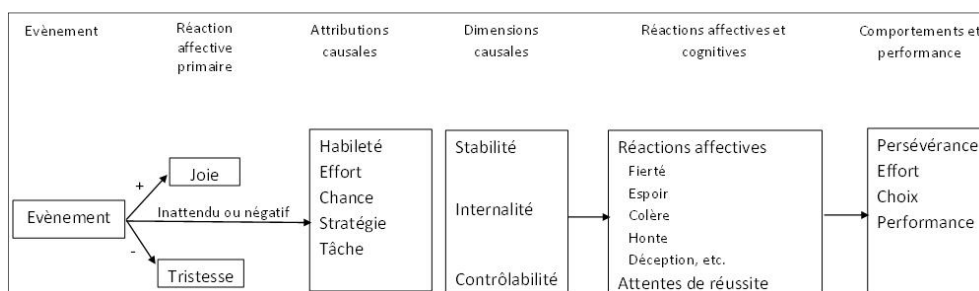


Figure 6. Théorie de l'attribution causale

Qu'en est-il au niveau des conduites autorégulées ? Les élèves qui attribuent leurs résultats à des causes internes, instables et contrôlables sont plus enclins à mettre en œuvre des conduites d'autorégulation lorsqu'ils sont confrontés à des tâches semblables (Graham & Williams, 2009 ; Zimmerman, 2011). Ainsi, en attribuant son échec à un manque d'effort, l'apprenant se dit qu'il peut faire mieux la prochaine fois à condition d'y mettre davantage du sien. Une telle attribution encourage donc la mise en œuvre de stratégies métacognitives et un traitement en profondeur de l'information. Par contre, en invoquant une faible habileté, l'apprenant se dit que les efforts déployés ne permettront pas de réussir la tâche et ne s'y investira donc pas en profondeur (Graham & Williams, 2009 ; Wigfield et al., 2011). Cependant, si attribuer son résultat uniquement à un manque d'aptitude est délétère pour la motivation et les conduites autorégulatives ultérieures, Wigfield et al. (2011) précisent qu'une attribution à la fois à l'aptitude et à l'effort est adaptative. Les études qui se sont particulièrement intéressées au domaine des mathématiques confirment le rôle déterminant joué par les attributions causales effectuées par les élèves du primaire (Desoete et al., 2001 ; Horner & Gaither, 2006 ; Middleton & Spanias, 1999).

6.5 La persévérance

Préalablement, il est à noter que si les croyances motivationnelles présentées ci-dessus interviennent déjà dans l'initiation du processus de résolution, la persévérance, elle, n'intervient qu'en cours de processus. La persévérance, très souvent conceptualisée comme une sous-dimension de l'engagement comportemental¹⁵ (Appleton, Christenson, & Furlong, 2008 ; Christenson, Reschl & Wylie, 2012 ; Skinner, Kindermann, & Furrer, 2009), est communément définie comme la force comportementale qui favorise en dépit des obstacles, difficultés et découragements rencontrés la poursuite des actions vers le but (Barber, Grawitch & Munz, 2012 ; Brault-Labbé & Dubé, 2008 ; Peterson & Seligman, 2004 ; Schaefer & McDermott, 1999). Echouer une tâche porte un coup à l'estime de soi et à l'image de l'individu, raison pour laquelle les individus optent bien souvent pour l'abandon de la tâche (Peterson & Seligman, 2004). Montague et Applegate (2000) de dire que « some students "shut down" cognitively when they perceive problems as difficult or when information-processing demands seem excessive » (p. 225). Persister suppose de surmonter cette tendance naturelle de l'individu à abandonner la tâche et donc les facteurs à l'origine de ce choix. À ce sujet, les études soulignent le rôle clé joué par les attributions causales, le sentiment de compétence et la nature des feedbacks de l'enseignant. Les élèves qui invoquent des causes stables et externes, en d'autres mots, qui se convainquent qu'ils vont échouer quoi qu'ils fassent (Peterson & Seligman, 2004; Reihel & Dembo, 1984), qui doutent de leur compétence à réussir la tâche (Bandura, 1977 ; Eccles & Wigfield, 2002 ; Zimmerman & Ringle, 1981) et qui reçoivent des feedbacks en termes d'aptitude intellectuelle (Medway & Venino, 1982 ; Mueller & Dweck, 1998 ; Nichols, Whelan & Meyers, 1991) persistent significativement moins dans les tâches scolaires que ceux qui invoquent des causes instables et internes, qui ont un sentiment de compétence élevé et qui reçoivent des feedbacks orientés vers l'effort. Persister suppose donc une forme d'auto-contrôle, d'auto-régulation pour se forcer à continuer la tâche (Peterson & Seligman, 2004). Ce qui conduit de nombreux chercheurs à considérer la persévérance comme un indicateur comportemental de la capacité de l'individu à s'autoréguler (Drake, Belsky & Fearon, 2014 ; Skinner, Furrer, Marchand & Kinderman, 2008 ; Wigfield et al., 2011), notamment, dans le domaine des mathématiques (Blair & Razza, 2007; Geary, Hoard, & Nugent, 2012). Plusieurs auteurs soulignent tout particulièrement l'importance de la persévérance dans les tâches de résolution de problèmes mathématiques, considérées par les élèves, comme complexes et difficiles et donc avec un risque d'abandon élevé (Jogi & Kikas, 2016 ; Montague & Applegate, 2000). Une recherche conduite avec des élèves du début du primaire met en évidence un lien étroit entre les performances en résolution de problèmes mathématiques et la persévérance des élèves dans ce type de tâche (Jogi & Kikas, 2016). De leur côté, Depaepe, De Corte et Verschaffel (2007) rapportent que les élèves de sixième primaire qui ont une vision de la résolution de problèmes orientée vers le processus (par opposition à une orientation vers le produit) persévèrent davantage dans les tâches de résolution de problèmes. Sur la base de ce qui précède, on peut

¹⁵ Nous avons choisi ici de développer uniquement le concept de persévérance et ce, parce que la majorité des études conduites dans le cadre de cette thèse ont pris pour objet d'étude la persévérance plutôt que l'engagement comportemental. Ce dernier est, toutefois, développé dans le cadre théorique de l'étude 1 (chapitre 6).

raisonnablement penser que lorsque l'apprenant sait que sa démarche de résolution est valorisée, sa probabilité d'échouer diminue et, par voie de conséquence, l'intérêt qu'il a à persévérer augmente.

Cependant, le désengagement n'est pas toujours le signe d'un manque d'autorégulation. Effectivement, le constat d'un manque de progression, de l'impossibilité d'atteindre le but qui a été fixé ou encore d'un manque de ressources est la manifestation d'une conduite autorégulée (Barber et al., 2012; Paterson & Selligman, 2004). Pour reprendre les termes de Barber et al. (201, p.76) : « effective self-regulation entails knowing when to give up and when to keep going based on realistic perceptions of progress ».

7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons montré que l'apprentissage est le fruit d'un processus de co-régulation c'est-à-dire de la combinaison de processus d'autorégulation et de formes de guidages par des facteurs contextuels (les pairs, les outils mis à disposition de l'apprenant et l'enseignant). Ces processus de régulation reposent, d'une part, sur des connaissances métacognitives (relatives aux personnes, aux tâches et aux stratégies) et, d'autre part, sur des stratégies métacognitives de préparation de l'action (détermination du but, planification) et d'évaluation de l'action (monitoring, contrôle de la poursuite du but, contrôle des opérations, vérification des résultats). Si ces connaissances et stratégies se sophistiquent au fur et à mesure que l'individu progresse en âge, les recherches montrent de façon consensuelle que le développement naturel est totalement insuffisant. Ces recherches plaident pour une stimulation via un enseignement explicite. Les résultats des études empiriques menées à ce sujet sont d'ailleurs très encourageants. Notons que si divers instruments sont utilisés pour mesurer les mécanismes d'autorégulation, ils ont chacun leurs avantages et leurs inconvénients. C'est donc davantage vers une triangulation des données qu'il faut aller. En outre, si ces deux premiers chapitres nous amènent à la conclusion qu'il faut promouvoir les interventions centrées sur l'enseignement explicite de stratégies cognitives et métacognitives, il ne faut pas perdre de vue que l'activation de ces stratégies de même que l'effort supplémentaire requis par la mise en place d'un processus d'autorégulation et le choix de persévérer face aux difficultés est fonction des croyances motivationnelles de l'individu. Nous avons à ce propos évoqué le rôle central joué par le sentiment de compétence, la valeur perçue, l'orientation des buts d'accomplissement, les attributions causales et la persévérance.

La littérature présentée dans ce chapitre fait émerger plusieurs questions qui sont d'un intérêt particulier pour la conception d'interventions visant le développement d'une expertise adaptative intégrale en résolution de problèmes mathématiques. Premièrement, les travaux menés par Focant (2004) attirent l'attention sur la charge cognitive élevée que représente le traitement simultané de plusieurs stratégies cognitives et métacognitives, pour des élèves de cinquième primaire. Nous pourrions dès lors nous demander si l'enseignement explicite et simultané d'un nombre important de stratégies heuristiques (chapitre 1) et métacognitives (chapitre 2) ne constitue pas une charge cognitive trop importante pour l'apprenant. Cette question à tout son intérêt dès lors que l'on souhaite favoriser l'appropriation par l'apprenant

de l'ensemble des stratégies enseignées, chacune ayant un rôle spécifique à jouer dans le processus de résolution. Cependant, les études à visée interventionniste présentées dans les deux premiers chapitres de cette thèse ne permettent pas de trancher cette question. Effectivement, si certaines prônent un enseignement simultané de ces stratégies (Blum & Leib, 2007 ; Hohn & Frey, 2002 ; Mevarech & Kramarski, 1997), d'autres préconisent un enseignement individualisé (Fagnant & Demonty, 2005 ; Verschaffel et al., 2000), mais toutes aboutissent à des résultats prometteurs. Si l'on se penche sur les recherches conduites dans le champ théorique de la charge cognitive, il semblerait qu'un enseignement individualisé soit plus adapté pour les apprenants « novices » (Blayney, Kalyuga & Sweller, 2010 ; Pollock, Chandler & Sweller, 2002 ; Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011). Notons toutefois que ces recherches ont essentiellement été conduites auprès d'étudiants universitaires et qu'elles vont à l'encontre des travaux en didactique des mathématiques, évoqués au chapitre 1, qui recommandent de traiter les tâches de résolution de problèmes dans toute leur complexité, et ce, quel que soit le profil de l'apprenant au risque sinon de demander aux élèves d'appliquer des procédures qui n'ont plus de sens dans la version réduite de la tâche (Blum, 2011 ; Coppé & Houdement, 2002 ; Demonty & Fagnant, 2014 ; Depaepe et al., 2010 ; Mevarech & Kramarski, 1997). La question reste donc entière. Deuxièmement, comme c'était le cas des études à visée interventionniste centrées sur l'enseignement explicite de stratégies cognitives, les études à visée interventionniste qui s'attachent à développer les stratégies d'autorégulation cognitive des élèves ne s'intéressent pas à ce qui se passe durant l'intervention, c'est-à-dire à la façon dont ces stratégies s'acquièrent. Troisièmement, comme on peut le constater à la suite de ces deux premiers chapitres, l'efficacité des dispositifs quasi-expérimentaux mis en place est essentiellement mesurée via des variables cognitives (niveau de performance, fréquence d'utilisation des stratégies cognitives et métacognitives enseignées). Or, comme nous l'avons vu, les croyances motivationnelles jouent un rôle central non seulement dans l'initiation du processus de résolution, mais également tout au long de ce dernier. Nous verrons, au chapitre suivant, que c'est également le cas des émotions.

Nous reviendrons sur ces divers questionnements et sur les études empiriques que nous avons conduites dans le cadre de cette thèse pour tenter d'y répondre dans le chapitre 5.

Chapitre 3

Des émotions aux compétences émotionnelles

Des émotions aux compétences émotionnelles

Comme nous l'avons mentionné dans l'introduction, disposer de connaissances métacognitives, de stratégies heuristiques et de stratégies d'autorégulation cognitive ainsi que de croyances motivationnelles appropriées n'est pas suffisant pour acquérir une expertise adaptative en résolution de problèmes. En effet, les émotions ressenties par l'élève peuvent également entraver son processus de résolution. Dans ce chapitre, après avoir présenté la manière dont les émotions sont conceptualisées et opérationnalisées par les chercheurs, nous dépeindrons l'influence exercée par ces dernières sur les mécanismes cognitifs et motivationnels sous-tendant l'apprentissage. Ensuite, juste avant de décrire les cinq compétences émotionnelles principales, nous brosserons les grandes lignes de l'historique des compétences émotionnelles. La question du développement naturel et stimulé de ces compétences clôturera ce chapitre.

1. Perspective componentielle de l'émotion

Comme le souligne Scherer (2005 ; Schuman & Scherer, 2014), à la question « qu'est-ce qu'une émotion ? », les chercheurs fournissent rarement la même réponse. Malgré la présence de divergences conceptuelles, la plupart adhèrent à une approche componentielle des émotions (Damasio, 2004 ; Frijda, 1986, 2007 ; Pekrun, 2006 ; Roseman, Wiest & Swartz, 1994 ; Scherer, 2005). Cette approche conçoit une émotion comme un épisode dynamique de changements étroitement liés et coordonnés au sein de cinq sous-systèmes ou composantes, en réponse à un stimulus, interne ou externe. Ces cinq sous-systèmes ou composantes sont : l'évaluation cognitive de l'élément déclencheur, les modifications physiologiques, les modifications expressives et comportementales, les tendances à l'action et l'expérience subjective (Ellsworth & Scherer, 2003 ; Scherer, 2001).

1.1 L'évaluation cognitive

C'est à Arnold (1960) et Lazarus (1966) que nous devons le premier essai de conceptualisation du processus d'évaluation ou d'interprétation cognitive (« *cognitive appraisal* »). Selon ces derniers, une émotion résulte de la transaction qui s'opère entre une personne et son environnement dans une situation source de stress. Cette transaction consiste en l'évaluation subjective par l'individu de la situation ou de l'événement à la lumière de ses buts, valeurs et besoins (Ellsworth & Scherer, 2003 ; Sander, Grandjean, & Scherer, 2005 ; Scherer, 1999). Le fait que ce ne soit pas l'événement ou la situation qui suscite l'émotion, mais l'évaluation de sa signification par l'individu constitue le postulat central des théories de l'évaluation cognitive (« *appraisal theories* »). Une même situation peut donc générer des émotions différentes selon la signification que lui attribue l'individu. Cette évaluation subjective est guidée par des critères. A ce sujet, les chercheurs s'accordent pour reconnaître

l'existence d'un certain nombre de critères indispensables à l'évaluation de l'événement : l'importance et les conséquences de celui-ci pour le bien-être de l'individu, le caractère soutenant ou entravant de l'événement au regard des plans et buts de l'individu ainsi que la capacité de ce dernier à faire face à l'événement et à ses conséquences (Roseman & Smith, 2001 ; Sander, Grandjean & Scherer, 2005). Ce processus d'évaluation se fait en deux temps. La première évaluation porte sur le caractère bénin, menaçant ou non pertinent de l'événement pour le bien-être de l'individu. Dans la seconde évaluation, l'individu se demande s'il a les ressources nécessaires pour faire face à l'événement. Si la première évaluation est principalement liée à l'intensité et à la valence de l'émotion, la seconde, pour sa part, détermine la nature de l'émotion (Gross & Thompson, 2007 ; Lazarus, 1991).

1.2 Les modifications physiologiques

Un épisode émotionnel active deux sous-systèmes du système nerveux : le système nerveux périphérique et l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien (Figure 7) (Mikolajczak & Belzung, 2012 ; Mikolajczak, Quoidback, Kotsou & Nelis, 2009).

Plus précisément, le système nerveux somatique (composante du système nerveux périphérique) va relayer l'information au cerveau. L'évaluation de la situation comme non familière et dangereuse va activer l'amygdale cérébrale. Cette dernière active, en retour, le système nerveux somatique qui préparera le corps à réagir (voir point 1.4 de ce chapitre). Ce dernier entraîne la mobilisation des muscles des membres inférieurs et supérieurs (préparation à l'action) et des muscles faciaux. Parallèlement à l'activation du système nerveux somatique, l'amygdale cérébrale active le système nerveux sympathique, composante du système nerveux autonome, lui-même constitutif du système nerveux périphérique. Le système nerveux sympathique innerve nos organes. Son activation par l'amygdale déclenche la libération de deux neurotransmetteurs (hormones), l'adrénaline et la noradrénaline, lesquelles agissent sur les organes (dilatation des bronches, accélération du rythme cardiaque, constriction des vaisseaux sanguins). L'objectif est de faciliter la respiration et d'augmenter la quantité de sang irriguant les organes et les muscles afin d'être prêt à agir si besoin est. L'activation du système nerveux sympathique est également responsable de l'érection des poils et de l'activité des glandes sudoripares. C'est donc le système nerveux sympathique qui est responsable des manifestations physiologiques d'une émotion. De son côté, l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien veille à ce que les tissus qui en ont le plus besoin aient suffisamment d'énergie. Pour ce faire, il libère du cortisol (hormone) qui déclenche la transformation des graisses en sucre au niveau du foie et met au repos les systèmes qui n'ont pas une utilité directe dans la situation (e.g., système digestif, système reproducteur).

Cependant, si à court terme, l'action du système nerveux sympathique est incontestablement fonctionnelle, son action prolongée ou répétée (émotions trop intenses, trop rapprochées ou mal régulées) est délétère pour l'organisme (e.g., déclenchement et aggravation de maladies cardio-vasculaires, dérèglement de la glycémie, troubles gastro-intestinaux). La régulation de l'émotion par l'organisme s'avère donc essentielle. Durant la régulation de l'émotion, le cortex préfrontal active le système nerveux parasympathique

(composante du système nerveux autonome) afin de rétablir l'homéostasie. Le système parasympathique opère donc un retour au calme (e.g., rétrécissement des bronches, diminution du rythme cardiaque, vasodilatation, réactivation du système digestif) (Mikolajczak & Belzung, 2012 ; Mikolajczak et al., 2009).

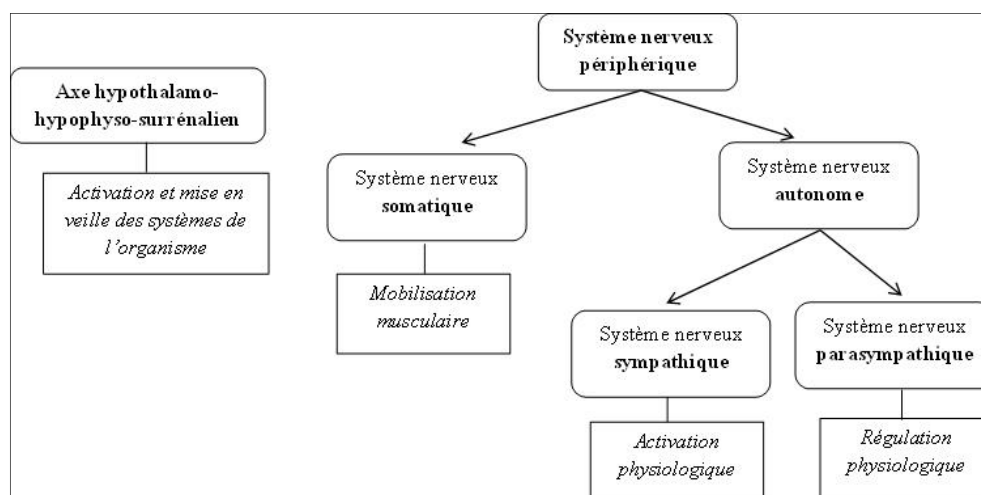


Figure 7. Schématisation des composantes du système nerveux impliquées dans les modifications physiologiques associées à une émotion (Inspirée de Mikolajczak & Belzung, 2012)

1.3 Les manifestations motrices

Les réactions motrices accompagnant une émotion concernent à la fois l'expression faciale, la prosodie (modulation du ton de la voix), la gestuelle et la posture. Il s'agit de la composante émotionnelle la plus apparente pour l'œil extérieur. Ainsi, l'expression de la joie s'accompagne, au niveau facial, d'un relèvement des pommettes, d'un plissement au coin des yeux et d'un retrait des coins des lèvres vers l'arrière ; vocalement, d'une voix plus aiguë et plus forte ; gestuellement, de frappe dans les mains et de tape des pieds et d'une position plus droite (Mikolajczak et al., 2009).

Notons, cependant, qu'en tant que canal de communication privilégié, les expressions faciales constituent les réactions motrices les plus documentées au sein de la littérature (Ekman, 1992 ; Luminet, 2002 ; Scherer, 2009). À ce propos, Ekman (1999) a montré que les émotions de base (surprise, joie, peur, colère, tristesse, dégoût) présentent un pattern neuro-moteur prototypique. La manifestation de ce pattern prototypique est fonction de différentes variables telles que la personne, le contexte et la culture qui doivent être prises en compte pour être en mesure d'interpréter correctement un comportement non verbal (Mikolajczak et al., 2009). Ceci est d'autant plus important que l'on sait que les individus peuvent générer facticement une émotion ou inhiber leurs manifestations motrices. C'est pourquoi, afin d'identifier avec le plus de précision possible les expressions faciales caractéristiques de chaque émotion de base, Ekman, Friesen et Hager (1978) ont mis au point

un système nommé FACS (Facial Action Coding System) qui repose non seulement sur un programme neuro-moteur (répertoire des mouvements des muscles du visage caractéristiques de chaque émotion de base), mais également sur des données culturelles concernant les expressions faciales qu'il est d'usage de manifester.

1.4 Les tendances à l'action

Les émotions induisent une impulsion, une envie pressante de faire quelque chose (Frijda, 1986). Ainsi, la tristesse suscite l'envie de pleurer ou d'appeler à l'aide, la peur pousse à s'enfuir et la colère fait naître l'envie de se battre. Les modifications physiologiques décrites supra préparent l'organisme à effectuer ces actions. Cependant, si l'émotion encourage l'action, elle ne cautionne pas son passage à l'acte. Ce dernier dépend de la faisabilité, des contraintes sociales et du degré de contrôlabilité de l'émotion par l'individu (Mikolajczak & Desseilles, 2012). Ainsi, la joie ressentie par un élève qui a obtenu une bonne note peut susciter en lui l'envie de sauter, mais ce dernier peut décider de ne pas passer à l'action (régulation de son émotion) pour ne pas blesser son camarade de classe qui a échoué.

1.5 L'expérience subjective

L'expérience subjective désigne le ressenti (e.g., « Je ressens que je suis en colère ») ce que, à tort, nous appelons émotion, dans le langage courant (Mikolajczak et al., 2009).

Si, bien souvent, ces composantes vont de pair, ce n'est pas toujours le cas. Effectivement, l'individu peut, par exemple, réfréner ses larmes ou masquer l'expression faciale de l'émotion. Cet aspect est abordé plus en détail au point dédié à la régulation des émotions.

2. Perspective componentielle temporelle de l'émotion

Dans son modèle modal d'une émotion (« *the modal model of emotion* »), Gross (1998 ; Gross & Thompson, 2007) propose une organisation temporelle de ces composantes (Figure 8). Ce modèle propose une vision séquentielle des processus impliqués dans la génération d'une émotion. A l'instar des théoriciens de l'évaluation cognitive, Gross postule que tout épisode émotionnel est déclenché par une évaluation faite par l'individu d'un stimulus ou d'une situation (e.g., réception d'un feedback par rapport à un examen, l'approche d'un événement important), perçu consciemment ou inconsciemment, se produisant dans un contexte spécifique. Comme mentionné plus haut, cette évaluation est guidée par un certain nombre de critères. Cette évaluation déclenche des interactions synchronisées et interdépendantes au sein des différentes composantes de l'émotion – décrites supra – afin de préparer l'organisme de l'individu à gérer la situation rencontrée. Une réponse émotionnelle clôt ce processus (Gross & Thompson, 2007 ; Sander & Scherer, 2009). Notons l'aspect récursif du modèle : la réponse émotionnelle ainsi induite modifie la situation, l'environnement, donnant ainsi lieu à une nouvelle évaluation et, partant, à une nouvelle réponse émotionnelle et ainsi de suite.

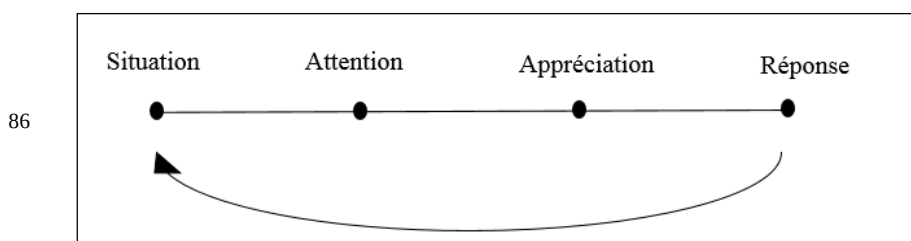


Figure 8. Modèle modal de l'émotion (Gross & Thompson, 2007)

3. Clarifications conceptuelles

Depuis son émergence en tant qu'objet de recherche, la sphère affective s'est vue affublée d'une myriade de termes tels qu'humeur, tempérament, affect, émotion, attitude, croyance et sentiment, dont les contours sont assez nébuleux. Si certaines terminologies relèvent du domaine affectif dans son sens le plus strict, d'autres sont à mi-chemin entre les sphères affectives et motivationnelles. Price (2012) de dire que « the descriptions of the affective domain are rather vague, lacking a universal, operationalized definition ». Les chercheurs distinguent classiquement l'humeur, l'affect, le tempérament de l'émotion.

A propos du concept d'« **affect** », il est utilisé dans deux sens différents au sein de la littérature (Pekrun & Linnenbrink-Garcia, 2014). Dans la littérature plus large en éducation, le terme affect est utilisé pour désigner une large variété de construits non-cognitifs, incluant non seulement les émotions, mais aussi le concept de soi, les croyances, la motivation, etc. Au sein de la littérature sur les émotions, le terme affect renvoie spécifiquement aux émotions et aux humeurs. Plus précisément, il est utilisé pour désigner une compilation de divers états, tantôt positifs (affect positif), tantôt négatifs (affect négatif). Le terme « **sentiment** », quant à lui, renvoie spécifiquement à la composante cognitive-expérientielle de l'émotion (Luminet, 2002 ; Scherer, 2005), ce que nous avons appelé plus haut, l'expérience subjective. Le **tempérament** désigne, pour sa part, l'ensemble des dimensions héritaires que l'on peut observer dès la naissance. Le tempérament couvre un champ plus large que l'humeur ou l'émotion en s'adressant à la fois aux dimensions affectives, cognitives et comportementales. Finalement, l'**humeur** se distingue de l'émotion sur trois points principaux (Luminus, 2002 ; Pekrun & Linnenbrink-Garcia, 2014 ; Scherer, 2005). Premièrement, là où l'émotion présente une intensité modérée à forte, l'humeur est un phénomène plus diffus. Deuxièmement, si l'émotion prend appui sur l'évaluation d'un stimulus, d'une situation, l'humeur, elle, est sans référent particulier. Troisièmement, contrairement à la réponse émotionnelle qui est relativement courte, variant de quelques secondes à quelques minutes, l'humeur est un état plus persistant, variant de quelques heures à quelques jours.

Dans le cadre de cette thèse, nous avons choisi de nous centrer sur les émotions et, plus particulièrement celles expérimentées à l'école.

4. Les émotions académiques

4.1 Différents types d'émotions académiques

Si les recherches en éducation ont négligé les émotions jusque dans les années 90, deux exceptions sont toutefois à épingle. D'une part, les recherches menées sur l'anxiété de test¹⁶ (Zeidner, 1998 pour une synthèse) et, d'autre part, les travaux de Weiner (1985) sur les émotions résultant des processus d'attribution causale, présentés au chapitre 2. Concernant l'anxiété de test, elle a, pendant longtemps, été la seule émotion à retenir l'attention des chercheurs en éducation (Elliot & McGregor, 1999 ; Liebert & Morros, 1967 ; Spielberg, Anton & Bedell, 1976) et ce, notamment dû à la prédilection des recherches en éducation pour les produits cognitifs de l'apprentissage (Pekrun & Linnenbrink-Garcia, 2014). Précisons que l'anxiété de test est ressentie lorsque l'individu pressent que ses capacités, cognitives, motivationnelles et sociales sont insuffisantes pour satisfaire aux exigences de la situation de test (Zeidner, 2007). Par ailleurs, s'il est vrai que dans son modèle de l'attribution causale, Weiner (1985) inclut une variété d'émotions, tant positives que négatives, ces dernières sont principalement considérées comme le produit du processus attributionnel et non comme une composante à part entière. Il faut attendre les années 2000 pour que d'autres émotions que l'anxiété de test soient investiguées en tant que composante à part entière du processus d'apprentissage. C'est en grande partie à Pekrun et à ses collaborateurs que nous devons l'élargissement des recherches à d'autres émotions et à d'autres situations scolaires que la passation de tests.

Si les chercheurs en éducation se sont traditionnellement intéressés aux émotions ressenties lors de l'accomplissement d'activités (e.g., l'ennui ressenti pendant une tâche routinière et monotone) et à celles associées aux résultats de l'accomplissement de ces dernières (e.g., la fierté d'avoir résolu correctement un problème complexe) (« *achievement emotions* »), les émotions qui jouent un rôle dans les apprentissages scolaires s'étendent bien au-delà de ces deux objets. Pekrun a identifié trois types d'émotions supplémentaires à considérer lorsqu'on s'intéresse aux apprentissages scolaires : les émotions thématiques, les émotions épistémiques et les émotions sociales (Pekrun, 2010 ; Pekrun & Linnenbrink-Garcia, 2014). Les émotions thématiques (« *topic emotions* ») sont générées par le contenu des activités d'apprentissage et des leçons et par là influencent fortement l'engagement et la motivation des apprenants. Par exemple, l'apprenant peut ressentir de la compassion pour un personnage de roman. Les émotions épistémiques (« *epistemic emotions* ») sont induites par le traitement de l'information cognitive. Par exemple, lors de la résolution d'un problème mathématique, l'apprenant peut ressentir de la confusion ou de la frustration quand il expérimente une impasse cognitive. Les émotions sociales (« *social emotions* »), pour leur part, résultent des interactions actives et passives de l'apprenant avec ses pairs et avec

¹⁶ L'intérêt des chercheurs pour l'anxiété de test s'explique, pour partie, par les changements qui ont touché la scène scolaire. Effectivement, l'évaluation chiffrée de plus en plus fréquente du niveau d'instruction des élèves et des programmes a créé une atmosphère chargée de pression au sein des systèmes scolaires et universitaires. Cette pression de résultats et de performances est à l'origine de l'anxiété des élèves et étudiants pour les situations de tests (Zeidner, 1998).

l'enseignant. Ainsi, un élève peut éprouver de la tristesse lorsque sa démarche de résolution n'est pas écoutée par ses pairs. Notons que ces catégories peuvent se chevaucher.

Dans le cadre de cette thèse, nous avons choisi de nous centrer sur les émotions d'accomplissement.

4.2 De la théorie des émotions de base à la taxonomie tridimensionnelle de Pekrun

Pendant longtemps, la théorie qui a dominé les recherches en psychiatrie et en neuroscience postulait que les émotions sont des construits indépendants les uns des autres dans leurs manifestations comportementales, psychologiques et physiologiques (Posner, Russel & Peterson, 2005). Cette théorie, connue sous le nom de « *theory of basic emotions* » considérait qu'à chaque émotion correspondait un ensemble unique de voies neuronales du système nerveux. Cependant, les découvertes empiriques qui vont suivre – notamment le fait qu'un individu rapporte rarement ne ressentir qu'une seule émotion positive spécifique et la mise à jour de bases physiologiques communes aux expériences affectives – ont remis en question cette théorie (Posner et al., 2005). Les modèles dimensionnels prennent alors le pas en avançant que les états affectifs découlent de chevauchements entre plusieurs systèmes neurophysiologiques. Dans ces modèles, les expériences affectives sont considérées comme un continuum d'états intercorrélés. Le modèle circomplexe des expériences affectives (« *circumplex model of affect* ») est le plus largement adopté par les chercheurs en éducation. Ce modèle considère que tous les états affectifs proviennent de deux systèmes neurophysiologiques indépendants : la valence (continuum allant d'une expérience plaisante à une expérience déplaisante) et l'activation ou l'éveil (continuum allant d'une expérience à faible activation physiologique à une expérience à forte activation physiologique) (Feldman Barrett & Russell, 1998). Ainsi, la joie est conceptualisée comme une expérience affective résultant d'une forte activation dans les systèmes neuronaux associés à une valence positive et d'une activation modérée dans les systèmes neuronaux associés à l'éveil. Les autres émotions positives résultent également d'une forte activation dans les systèmes neuronaux associés à une valence positive, mais se distinguent par leur degré d'activation/éveil.

Partant du modèle circomplexe des émotions, Pekrun (2006 ; Pekrun & Linnenbrink-Garcia, 2014) propose une taxonomie tridimensionnelle des émotions. Les émotions y sont classées selon leur valence, leur niveau d'activation physiologique et leur objet d'attention (l'accomplissement d'une activité, le sujet de la leçon, le traitement de l'information cognitive ou les interactions sociales). Le tableau 5 propose une classification des émotions d'accomplissement selon cette typologie.

Tableau 5. Taxonomie tri-dimensionnelle des émotions d'accomplissement (Pekrun & Stephens, 2010, p.259)

Objet d'attention	Valence positive		Valence négative	
	Activante	Désactivante	Activante	Désactivante
Activité	Plaisir	Relaxation	Colère Frustration	Ennui
Résultat prospectif de l'activité	Espoir Joie	Soulagement	Anxiété	Désespoir
Résultat rétrospectif de l'activité	Joie Fierté Gratitude	Soulagement Satisfaction	Honte Colère	Tristesse Déception

4.3 Emotion « état » ou émotion « trait » ?

Comme c'est le cas pour les croyances motivationnelles, les émotions d'accomplissement peuvent être conceptualisées de deux manières : comme un état (« *state-achievement emotions* ») ou comme un trait (« *trait-achievement emotions* ») (Pekrun, 2006 ; Watson & Clark, 1992). Les émotions d'accomplissement sont considérées comme un « état » lorsqu'elles sont momentanées, surviennent dans des situations spécifiques et sur des périodes de temps courtes et, comme un « trait », quand il s'agit d'émotions typiques, vécues de façon répétée, associées à des situations ou contenus spécifiques, les rendant ainsi plus stables. Ainsi, l'apprenant peut considérer, globalement, les tâches de résolution de problèmes mathématiques comme une source d'anxiété (« trait ») et ressentir du plaisir lorsqu'on lui propose, pour une fois, de résoudre un problème en groupe (« état »).

4.4 L'émotion, un construit situé

Une autre caractéristique des émotions d'accomplissement est leur degré variable de spécificité. Théoriquement, les émotions peuvent être conceptualisées comme un construit général (les émotions ressenties par rapport à l'école en général) ou comme un construit spécifique à un domaine (les émotions expérimentées en mathématiques), à un sous-domaine (e.g., l'algèbre), à une compétence (e.g., démontrer et argumenter) ou à un type de tâche (e.g., la résolution de problèmes). Cependant, de nombreuses recherches empiriques ont montré que les croyances motivationnelles des individus prédisent plus solidement les produits de l'apprentissage lorsqu'elles sont mesurées au niveau de spécificité d'un domaine (Bong, 2001 ; Marsh, 1986) ou d'une tâche (Bandura, 1997 ; Seegers & Boekaerts, 1996). Or, comme nous l'avons mentionné plus haut, les appréciations que font les individus des situations et événements prennent appui sur des critères, parmi lesquels se trouvent leurs croyances motivationnelles (Pekrun, 2006 ; Pekrun & Linnenbrink-Garcia, 2014 ; Roseman & Smith, 2001 ; Scherer, 2005 ; Weiner, 1985). Par souci de cohérence, les émotions qui résultent de ces processus d'appréciation subjective devraient être considérées au même niveau de spécificité que les croyances émotionnelles qui ont servi à ces appréciations. Cette conceptualisation situationnelle des émotions a été confirmée par plusieurs études empiriques qui ont révélé de faibles relations entre les émotions expérimentées dans des domaines scolaires différents (Goetz, Frenzel, Lüdtke & Hall, 2010 ; Goetz, Frenzel, Pekrun, Hall, & Lüdtke, 2007 ; Goetz, Pekrun, Hall & Haag, 2006).

5. Fonctions des émotions

Les émotions remplissent une fonction d'aide à l'adaptation, c'est-à-dire qu'elles aident l'individu à s'adapter aux exigences de l'environnement et à ses buts personnels. Ainsi, les émotions informent l'individu en regard de ses besoins, buts et valeurs, l'aident à prendre ses décisions, encouragent vivement certains comportements et en inhibent d'autres et guident ses interactions sociales (Hannula, 2012 ; Luminet, 2002 ; Mikolajczak, 2009; Pekrun & Perry, 2014). Cependant, si les émotions ont retenu l'attention des chercheurs en éducation, c'est entre autre parce qu'elles influencent les processus cognitifs et motivationnels sous-tendant l'apprentissage (Clore & Husting, 2007 ; Parrott & Spackman, 2000 ; Pekrun, 2006). A ce propos, les travaux empiriques de Fredrickson (2001) qui ont donné lieu à la « *broaden-and-build theory* » ont mis en évidence la capacité des émotions positives à élargir le répertoire de pensées et d'actions momentanée de l'individu et celle des émotions négatives à réduire ce même répertoire. L'intérêt, par exemple, élargit le répertoire habituel de pensées et d'actions de l'individu, en créant le besoin d'explorer, de trouver de nouvelles informations et de vivre de nouvelles expériences. Dans les lignes qui suivent, nous développons trois processus cognitifs particulièrement importants pour l'apprentissage (l'attention, la mémoire et le traitement de l'information) ainsi que l'impact des émotions sur la motivation d'accomplissement et sur les performances scolaires.

5.1 Emotion et attention

Les émotions fonctionnent comme une torche, en sélectionnant les éléments à éclairer. Ce mécanisme s'appelle l'attention sélective (Mikolajczak, 2012). Les émotions positives canalisent l'attention de l'individu sur les aspects positifs d'une situation tandis que les émotions négatives la canalisent sur les aspects négatifs. Si ce mécanisme est adaptatif en situation de danger en permettant, par exemple, un traitement rapide de la menace, il ne l'est pas toujours en salle de classe. Effectivement, les émotions négatives et un grand nombre d'émotions positives, en ce qu'elles détournent une partie de l'attention de l'apprenant de la tâche en cours, réduisent ses performances (Pekrun, 2006 ; Pekrun & Perry, 2014). Ainsi, l'ennui détourne l'attention de l'apprenant dans des rêveries, l'anxiété suscite des pensées ruminatives et la joie de partir bientôt en vacances projette l'attention de l'apprenant déjà sur place. Par contre, le plaisir lié à l'accomplissement d'une activité en ce qu'il concentre l'attention de l'apprenant sur la tâche en elle-même est bénéfique pour l'apprentissage.

5.2 Emotion et mémoire

Les émotions influencent la mémoire. Pensons aux souvenirs inaltérés que nous avons d'épisodes scolaires humiliants ou flatteurs. Quand l'enseignant nous a appelés au tableau pour résoudre cette terrible équation ou quand il a lu notre copie devant toute la classe. Mais, comment expliquer que nous nous en souvenons comme si cela s'était produit hier ? Les effets des émotions sur la mémoire sont de trois types : les effets de congruence, les effets de mémoire-flash et les effets de centralité (Brasseur, 2013 ; Govaerts, 2006).

Les effets de congruence renvoient à l'influence de l'état émotionnel d'une personne sur le type d'information dont elle va pouvoir se rappeler (Brasseur, 2013 ; Govaerts, 2006). Ainsi, un état émotionnel positif favorise la récupération de souvenirs à caractère positif. Inversement, lorsque la personne est dans un état émotionnel négatif, l'accès aux souvenirs chargés d'émotions négatives est privilégié (Bower & Cohen, 1982). On comprend dès lors mieux l'importance d'instaurer un climat de classe favorable à l'émergence d'émotions positives. A cet effet, plusieurs études ont montré que la perception que les élèves ont du climat de classe explique pour partie les émotions qu'ils ressentent (Bieg, Goetz, Sticca, Brunner, Becker et al., 2017 ; Frenzel et al., 2007; Roeser, Eccles & Sameroff, 2000). Les effets de mémoire-flash, quant à eux, désignent les souvenirs détaillés des caractéristiques contextuelles personnelles entourant une nouvelle à fort impact émotionnel (e.g., l'endroit précis où l'on se trouvait au moment de l'annonce de l'événement, ce que nous étions en train de faire et avec qui, etc.) (Finkenauer, Luminet, Gisle, El-Ahmadi, van der Linden et al., 1998 ; Luminet & Curci, 2009). Ces souvenirs sont encodés à très long terme et concernent principalement les événements publics importants (e.g., l'assassinat du Président John F. Kennedy, l'attentat à l'aéroport de Zaventem). Si ces événements sont longtemps conservés en mémoire, c'est, entre autres parce qu'ils impliquent émotionnellement l'individu (Curci, Luminet, Catrin, Finkenauer & Gisle, 2001). Notons que plusieurs études ont montré que ces souvenirs sont sujets à des distorsions significatives au fil du temps (Curci et al., 2001 ; Kensinger & Schacter, 2008 ; Luminet & Curci, 2009). Finalement, les effets de centralité réfèrent au fait qu'un événement associé à une émotion forte entraîne l'encodage en mémoire de détails dont on ne se serait pas rappelé si l'événement avait été émotionnellement neutre (Brasseur, 2013 ; Govaerts, 2006). Précisons que l'attention de l'individu est davantage portée sur les détails centraux de l'événement que sur les détails périphériques (Christianson & Loftus, 1991). Lors d'une agression, par exemple, la personne retiendra en priorité la taille du couteau, plutôt que la couleur des cheveux de l'agresseur.

5.3 Emotion et traitement de l'information

Les émotions influencent les modes de traitement de l'information. Si, les émotions positives promeuvent un traitement de l'information déductif, heuristique, flexible et relationnel, les émotions négatives, pour leur part, favorisent un traitement inductif, isolé, analytique et plus rigide (Pekrun, 2006 ; Pekrun & Perry, 2014). Ce mode de traitement de l'information colore le type de stratégies d'apprentissage utilisé. A ce propos, plusieurs recherches expérimentales ont montré que les émotions positives d'activation promeuvent l'usage de stratégies d'apprentissage flexibles, créatives et approfondies, telles que l'élaboration ou l'organisation des contenus d'apprentissage, tandis que les émotions négatives d'activation encouragent l'utilisation de stratégies plus rigides telles que la répétition (Ahmed et al., 2013 ; Isen, 2000 ; Pekrun, 2006 ; Pekrun & Perry, 2014). Les émotions de désactivation, pour leur part, sapent tout effort stratégique et encouragent uniquement un traitement superficiel de l'information. En outre, rappelons que l'autorégulation présuppose de pouvoir adapter ses actions aux exigences de la tâche, c'est-à-dire de faire preuve de flexibilité. En ce qu'elles favorisent la flexibilité de la pensée et de l'action, les émotions positives d'activation soutiennent donc l'autorégulation de

l'apprentissage. À l'inverse, les émotions négatives favorisent une régulation externe de l'apprentissage (Ahmed et al., 2013 ; Pekrun, 2006 ; Pekrun & Perry, 2014). De leur côté, Ahmed et ses collègues (2013) ont mis en exergue, lors d'une étude conduite auprès d'élèves de première secondaire, dans le domaine des mathématiques, un parallélisme entre les changements émotionnels et les changements de stratégies cognitives et métacognitives opérant chez ces derniers.

5.4 Emotion et motivation

Les émotions influencent la motivation d'accomplissement des apprenants (Peixoto et al., 2017 ; Pekrun, 2006 ; Pekrun & Perry, 2014). Les émotions positives activantes (e.g., le plaisir d'apprendre, l'espoir de réussir, la fierté de ses accomplissements) soutiennent la motivation. Les émotions négatives désactivantes (e.g., ennui, désespoir), sapent la motivation d'accomplissement de l'apprenant en véhiculant l'idée que la tâche manque d'incitant ou qu'elle est hors de portée de l'apprenant. Par contre, les effets des émotions positives désactivantes et des émotions négatives activantes sont plus complexes. Ainsi, si les émotions positives désactivantes (e.g., soulagement) ont tendance à miner la motivation immédiate à poursuivre la tâche en cours, elles soutiennent un engagement à long-terme. Du côté des émotions négatives activantes (e.g., anxiété et honte), si elles affaiblissent l'intérêt et la motivation intrinsèque de l'individu, elles peuvent induire une motivation extrinsèque forte pour éviter l'échec.

5.5 Emotion et performances

Les études empiriques conduites auprès d'enfants du primaire mettent en évidence une relation positive entre les émotions d'accomplissement positives et les performances scolaires. Plus précisément, le plaisir et la fierté se sont avérés positivement liés aux performances en mathématiques (Frenzel et al., 2007 ; Peixoto et al., 2017 ; Pekrun, Lichtenfeld, Marsh, Murayama & Goetz, 2017). Par contre, les émotions positives de désactivation ne semblent pas encore avoir fait l'objet d'étude à ce niveau-là. Tant les émotions négatives d'activation telles que l'anxiété, la honte et la colère que de désactivation comme l'ennui et le désespoir apparaissent négativement liées aux performances mathématiques (Frenzel et al., 2007 ; Peixoto et al., 2017 ; Pekrun et al., 2017). Il est à noter que les recherches conduites auprès d'élèves du primaire sont peu nombreuses comparativement à celles menées auprès d'étudiants universitaires. Ces dernières présentent des résultats plus nuancés. Effectivement, si les émotions négatives d'activation peuvent avoir un effet délétère sur les performances académiques, comme observé sur un public plus jeune, elles peuvent également, comme nous l'avons mentionné plus haut, inciter l'étudiant à faire plus d'effort, à s'engager davantage pour éviter de futurs échecs et ainsi améliorer ses performances (Lane, Whyte, Terry & Nevill, 2005 ; Pekrun, Goetz, Titz & Perry, 2002 ; Turner & Schallert, 2001).

6. De l'intelligence émotionnelle aux compétences émotionnelles

6.1 Aperçu historique

S'il faut attendre les années 90 pour que naisse le concept d'« intelligence émotionnelle » (IE) et avec lui les recherches sur les compétences émotionnelles, des construits voisins sont déjà investigués dès le début du vingtième siècle. Effectivement, plusieurs psychologues tels que Gardner (1983) et Thorndike (1920) ont remis en question la conception selon laquelle l'intelligence est une donnée génétiquement déterminée et non modifiable (QI), prévalent jusqu'alors, et ont proposé une conceptualisation plurielle de l'intelligence.

Les premières recherches ont débuté avec les travaux de Thorndike sur l'intelligence sociale, en 1920. Ce dernier distingue trois types d'intelligence : mécanique, abstraite et sociale. Si les dimensions mécanique – aptitude à comprendre et à manipuler des objets et mécanismes concrets – et abstraite – aptitude à comprendre et à gérer des idées et symboles – s'apparentent à la définition classique de l'intelligence, le concept d'intelligence sociale est nouveau pour l'époque. Cette dernière réfère à l'habileté à identifier ses propres humeurs, motivations et comportements ainsi que ceux d'autrui et à s'appuyer sur ces informations pour interagir le plus favorablement possible avec autrui (Thorndike, 1920). Outre cette nouvelle conception de l'intelligence, Thorndike (1920) défend également l'idée de la possibilité de l'intelligence de se développer via l'apprentissage. Plusieurs années plus tard, Gardner (1983) propose le concept d'« intelligence personnelle » recouvrant, d'une part, l'intelligence intrapersonnelle et, d'autre part, l'intelligence interpersonnelle. Si, la première désigne « la capacité à distinguer ses sentiments et, en fin de compte, à les étiqueter, à les capter dans des codes symboliques, à en tirer un moyen pour comprendre et guider son comportement » (Gardner, 1997, p.251), la seconde réfère à « l'aptitude à remarquer chez les autres leurs humeurs, leurs tempéraments, leurs motivations et leurs intentions et à bien les distinguer » (1997, p.251). Dans cette mouvance, Salovey et Mayer fondent, en 1990, le concept d'intelligence émotionnelle. Ils la décrivent comme « la capacité à identifier les émotions, à générer les émotions adéquates pour faciliter la pensée, à comprendre les émotions et à gérer ses émotions de manière à promouvoir la croissance émotionnelle et intellectuelle » (Mayer, Salovey & Caruso, 2004, p.197 ; traduit par Mikolajczak, 2009).

Parallèlement, les travaux sur l'intelligence sociale débutés par Thorndike ont instigué des recherches sur les émotions dans le domaine psychiatrique (McLean, 1949 ; Sifneos, 1973). Ces dernières ont contribué de façon notable à la compréhension des différences interindividuelles concernant la capacité à identifier et à exprimer ses émotions. Notons, à ce sujet, l'introduction, en 1972, par Sifneos, du concept d'alexithymie pour désigner la difficulté à différencier, exprimer et verbaliser ses émotions.

Cependant, les recherches effectuées par Salovey et Mayer ainsi que les travaux sur l'alexithymie seraient probablement restés entre les mains des psychologues et n'auraient pas connu le retentissement scientifique que nous connaissons aujourd'hui sans leur vulgarisation par Daniel Goleman. Dans son ouvrage « Emotional Intelligence », publié en 1995, Goleman

remet en question la conception classique de l'intelligence vue comme rigide et monolithique et prône une conception plurielle de l'intelligence. Plus précisément, s'appuyant sur les travaux existants, il défend que l'intelligence émotionnelle joue un rôle comparable si pas plus important que le QI dans la vie d'un individu. Précisons que son ouvrage a connu un énorme succès et a donné lieu à un véritable engouement pour le concept d'intelligence émotionnelle tant au sein de la recherche que du secteur marchand.

Comme c'est souvent le cas avec les domaines de recherche émergents, l'intelligence émotionnelle (IE) a été examinée avec des lentilles théoriques et méthodologiques variées. À l'heure actuelle, on recense deux approches principales : l'IE habileté et l'IE trait.

Les partisans de l'approche concevant l'IE comme une habileté restent fidèles à la définition proposée par les fondateurs du concept (Mayer et Salovey). L'IE y est considérée comme une forme d'intelligence parmi d'autres et, plus précisément, comme l'aptitude à traiter l'information émotionnelle. Dans le modèle proposé par Mayer et Salovey (1997), l'IE se décline en 4 branches organisées hiérarchiquement, de la capacité la plus simple à la plus complexe :

- La capacité à percevoir, décoder et exprimer ses émotions ;
- La capacité à utiliser les émotions pour faciliter la pensée ;
- La capacité à raisonner au sujet des émotions et à en appréhender la complexité ;
- La capacité à gérer/réguler ses émotions et celles d'autrui.

Conceptualisée comme une forme d'intelligence, l'IE-habileté est mesurée par l'intermédiaire de tests de performance standardisés. C'est donc le niveau de performance de l'individu à des tâches spécifiques qui fait ici l'objet d'attention. À l'instar des tests de performance classiques, les aptitudes émotionnelles de l'individu sont calibrées au moyen de critères normatifs permettant de situer l'individu au sein de la population de référence (Mayer, Caruso & Salovey, 1999 ; Mayer et al., 2004).

Les défenseurs de la seconde approche soutiennent que l'IE est liée aux dimensions de la personnalité (e.g., névrosisme et alexithymie) (Petrides & Furnham, 2000, 2001, 2003). Plus largement, ils définissent l'IE comme une constellation de dispositions et de perceptions de soi liées aux émotions. Ces dispositions et perceptions varient d'un modèle à l'autre. Si certains modèles s'en tiennent à des variables de la personnalité (e.g., optimisme, empathie, impulsivité), d'autres, plus larges, incluent également des concepts plus flous comme la motivation, la conscience de soi ou le bonheur. Cette approche mesure donc la façon dont l'individu met typiquement en œuvre ses aptitudes émotionnelles, et ce, via des mesures auto-rapportées. Au sein de cette seconde approche, un sous-groupe de chercheurs (Bar-on et Schutte, par exemple), peut être distingué. Ces derniers se focalisent sur le développement d'outils de mesure de l'IE. Si ces outils incluent également des mesures de traits de personnalité et s'intéressent aussi au comportement typique de l'individu, ils se distinguent des outils proposés par d'autres chercheurs de cette même approche (Petrides & Furnham, 2003) en n'étant pas fondés sur un modèle théorique (approche a-théorique).

Ces deux approches de l'IE renvoient à la distinction bien courante entre trait et état, déjà évoquée pour les construits motivationnels et pour les émotions. Comme c'est le cas pour ces

derniers, ces deux conceptualisations de l'intelligence émotionnelle sont complémentaires. C'est pourquoi Mikolajczak et ses collègues (2009) ont entrepris de les rassembler au sein d'un modèle théorique unique. Soulignons la préférence de ces derniers pour le terme de « compétences émotionnelles »¹⁷ plutôt que pour celui d'« intelligence émotionnelle » en ce que le premier permet de dépasser la nature historiquement incompatible de l'intelligence et des émotions et fait ressortir le potentiel développemental des compétences émotionnelles (Kotsou, Nelis, Grégoire & Mikolajczak, 2011). Au sein de ce modèle intégratif, les compétences émotionnelles se déclinent sur trois niveaux : les connaissances, les habiletés et les traits (Mikolajczak et al., 2009). Le premier niveau, celui des connaissances, réfère à l'étendue des connaissances, tant implicites qu'explicites, de l'individu au sujet des émotions. Le second niveau, celui des habiletés, désigne la capacité de l'individu à appliquer (donc sur demande) ses connaissances dans des situations réelles. Le troisième niveau, celui des dispositions ou des traits, renvoie à la propension de l'individu à se comporter d'une certaine façon dans les situations émotionnelles du quotidien. Si au niveau 2, on s'intéresse à ce que l'individu est capable de faire ; au niveau 3, on s'intéresse à ce qu'il fait réellement (Brasseur, Grégoire, Bourdu & Mikolajczak, 2013 ; Mikolajczak, Petrides, Coumans & Luminet, 2009). Ces trois niveaux fonctionnent en interaction, mais ne sont que faiblement corrélés (Lumley, Gustavson, Partridge & Labouvie-Vief, 2005). En d'autres termes, à l'instar des connaissances métacognitives qui n'induisent pas automatiquement la mise en œuvre de stratégies métacognitives, les connaissances émotionnelles ne se transforment pas nécessairement en habiletés, lesquelles ne sont pas toujours réinvesties spontanément au quotidien.

6.2 Les compétences émotionnelles

Si le nombre et la nature des compétences émotionnelles (CE) varient d'un modèle à l'autre, les chercheurs s'accordent sur cinq CE desquelles découlent toutes les autres (Mikolajczak & Bausseron, 2013 ; Mikolajczak et al., 2009). Plus précisément, les chercheurs s'accordent sur le fait que les « compétences émotionnelles réfèrent aux différences dans la manière dont les individus identifient, expriment, comprennent, utilisent et régulent leurs émotions et celles d'autrui » (Mikolajczak, 2009, p.7). Comme nous pouvons le constater, ces cinq CE s'inspirent largement du modèle de l'intelligence émotionnelle à quatre branches proposé par Mayer et Salovey (1997). La seule différence est la distinction entre les compétences d'identification et d'expression. Cette distinction repose sur les études menées sur l'alexithymie qui ont factoriellement montré qu'il s'agit de deux construits distincts (Parker, Bagby, Taylor, Endler & Schmitz, 1993). Notons également que, si les deux versants – intrapersonnel et interpersonnel – apparaissaient déjà dans le modèle original, leur présence est maintenant accentuée. Ces cinq compétences sont définies dans le tableau 6.

Tableau 6. Description des cinq compétences émotionnelles de base
(Mikolajczak, 2009, p.7)

¹⁷ Précisons que ce terme avait déjà été utilisé par Saarni en 1988.

	Versant intra-personnel (soi)	Versant interpersonnel (autrui)
	Les personnes ayant des compétences émotionnelles élevées....	
Identification	sont capables de prendre conscience et d'identifier leurs émotions	sont capables d'identifier les émotions d'autrui
Compréhension	comprennent les causes et conséquences de leurs émotions	comprennent les causes et conséquences des émotions d'autrui
Expression	sont capables d'exprimer leurs émotions, et de le faire de manière socialement acceptable	...permettent aux autres d'exprimer leurs émotions
Régulation	sont capables de réguler leur stress et leurs émotions lorsque ceux-ci sont inadaptés au contexte	sont capables de gérer les émotions et le stress d'autrui
Utilisation	utilisent leurs émotions pour accroître leur efficacité (au niveau de la réflexion, des décisions, des actions)	...utilisent les émotions des autres pour accroître leur efficacité (au niveau de la réflexion, des décisions, des actions)

Ces CE, dans leur versant intrapersonnel, se situent au cœur de l'intervention que nous avons conçue pour l'une de nos études empiriques (voir chapitre 10). Le versant interpersonnel, pour sa part, bien qu'il ne soit pas directement travaillé, y est partiellement présent au travers des interactions E-E et M-E. Dans les lignes qui suivent, chacune de ces CE est décrite en détail.

6.2.1 Identifier ses émotions et celles d'autrui

L'identification de ses émotions est une compétence socle sur base de laquelle se développent les compétences plus complexes de régulation et d'utilisation des émotions (Mikolajczak et al., 2009). Pourquoi est-ce si important d'être capable d'identifier ses émotions ? Les recherches menées dans le domaine de l'alexithymie ont montré qu'une carence de ce type était dommageable tant pour la santé mentale (augmentation de la vulnérabilité de l'individu aux psychopathologies telles que la dépression, l'anxiété, les troubles alimentaires, etc.), physique (augmentation du risque de pathologies physiologiques telles que l'hypertension, les problèmes intestinaux, les douleurs chroniques, etc.) que sociale (tendance à l'isolement, à tisser peu de relations et, par voie de conséquence, aux relations sociales difficiles).

La capacité à identifier ses émotions repose sur deux prérequis. Un premier prérequis est l'ouverture aux émotions, tant positives que négatives ; dit autrement, le fait d'accepter leur existence et d'écouter le message qu'elles véhiculent. Notons que les individus sont souvent plus ouverts aux émotions positives qu'aux émotions négatives. Certains préfèrent ignorer totalement ces dernières pensant que cela est préférable pour préserver leur bien-être. Cependant, en agissant de la sorte, ils se privent du message véhiculé par l'émotion négative et se retrouvent avec une situation problématique non résolue. Un second prérequis indispensable pour pouvoir discriminer, avec nuance, ce que l'on ressent est la nécessité de disposer d'un vocabulaire émotionnel suffisant (Mikolajczak et al., 2009).

Dans le cas où l'identification des émotions pose problème, autrement dit, quand la composante subjective de l'émotion fait défaut, comme c'est le cas chez les patients alexythimiques, Bellinghausen (2007) recommande d'utiliser les autres composantes de l'émotion (i.e. l'évaluation cognitive de la situation, les modifications physiologiques et

motrices ou les tendances à l'action) comme indicateurs de l'émotion en jeu. Notons, toutefois, que l'identification des émotions n'est pas un processus « du tout ou rien », mais une compétence qui se développe (Lane & Schwartz, 1987). À ce propos, Lane et Schwartz (1987) distinguent plusieurs niveaux de conscience émotionnelle de complexité croissante.

L'identification des émotions d'**autrui**, de son côté, réfère à la capacité de l'individu à décoder les messages verbaux et non verbaux (les expressions faciales, les gestes, la posture, le regard, le paralangage et la distance) qui accompagnent l'émotion d'autrui (Mikolajczak et al., 2009). Cependant, la prudence doit être de mise, car cette identification peut être biaisée notamment par la tendance de l'individu à projeter son propre ressenti émotionnel sur son interlocuteur (concept d'« *affect congruence* ») (Forgas, 2002). Ainsi, si nous sommes d'humeur positive, nous aurons tendance à interpréter un petit sourire comme une marque de bienveillance tandis que ce même sourire, en cas d'humeur négative, peut être jugé narquois et rabaissant.

6.2.2 Comprendre ses émotions et celles d'autrui

La compréhension de ses émotions consiste à comprendre les causes de nos émotions, ce qui les déclenche. Cette compétence implique deux sous-compétences : la capacité à accueillir nos émotions et la capacité à identifier les besoins sous-jacents à ces émotions (Mikolajczak et al., 2009). Pour que l'individu soit en mesure de comprendre réellement ses émotions, il doit nécessairement d'abord les accueillir. Or, comme évoqué précédemment, les individus ont tendance à éviter leurs émotions négatives. Cependant, ce n'est qu'en les accueillant qu'il pourra comprendre pourquoi il a réagi comme il l'a fait. Ensuite, l'individu doit essayer de comprendre les causes de son émotion. Rappelons ici que les émotions sont porteuses d'un message relatif au degré de satisfaction ou d'insatisfaction de nos besoins, tant physiologiques que psychologiques. Il s'agit donc pour l'individu de décoder le(s) besoin(s) associé(s) à l'émotion. Toutefois, comme le souligne Mikolajczak et al. (2009), cette reconnaissance des besoins insatisfaits (dans le cas des émotions négatives) n'est pas évidente, car elle nécessite de pouvoir distinguer le déclencheur de l'émotion du besoin insatisfait. Or, bien souvent, lorsque nous ressentons des émotions déplaisantes, nous nous focalisons sur le déclencheur de l'émotion (e.g., la remarque d'un proche, les coups reçus) en le considérant comme la cause de l'émotion au lieu d'identifier le besoin en jeu ; réelle cause d'apparition de l'émotion (e.g., le besoin de reconnaissance, le besoin d'estime, le besoin de sécurité, le besoin d'affection).

La compréhension en profondeur de son vécu émotionnel est bénéfique pour l'individu (Kotsou, 2008). Effectivement, les émotions négatives en ce qu'elles informent l'individu de ce qui contribue à son bien-être ne sont plus perçues comme un élément dont il faut se débarrasser, mais comme une source d'information utile. De plus, l'identification, par l'individu, du besoin insatisfait lui donne des clés pour mieux le satisfaire et ainsi être moins exposé à ce type d'émotion négative dans le futur.

La compréhension des émotions **d'autrui** repose sur les deux mêmes sous-compétences. Elle requiert donc de pouvoir accueillir les émotions d'autrui et d'identifier les besoins sous-jacents à ses émotions (Kotsou, 2009b).

6.2.3 Exprimer ses émotions et celles d'autrui

Exprimer ses émotions a du bon. En effet, il a été montré que la suppression de l'expression émotionnelle est dommageable tant pour la santé sociale (atteinte à la régulation des relations interpersonnelles, à la construction de liens affectifs, à l'intimité entre individus et à la cohésion sociale) (Collins & Miller, 2004 ; Rimé, 2009), physique (augmentation de la réponse physiologique accompagnant l'émotion) (Berry & Pennebaker, 1993 ; Gross, 2002) que mentale (qualité de vie diminuée et augmentation des épisodes émotionnels négatifs) (Gross & John, 2003). Toutefois, dans certaines circonstances l'expression émotionnelle peut avoir des conséquences délétères. La capacité à exprimer ses émotions réfère donc plutôt à la flexibilité à adopter le comportement le plus adapté au contexte (Bonanno, 2001 ; Kotsou, 2009). Un individu doté d'une telle compétence est donc à même d'évaluer s'il est judicieux ou non d'exprimer ses émotions et dispose des clés pour les exprimer de la manière la plus recevable pour autrui. A ce propos, Rimé (2005) précise qu'une telle compétence suppose de tenir compte de ce qui doit être exprimé, de l'interlocuteur auquel l'information émotionnelle est adressée et de la façon dont l'information est exprimée. Plusieurs critères favorisant une expression émotionnelle socialement acceptable ont été recensés (Mikolajczak et al., 2009). Premièrement, le fait de s'exprimer en son nom (e.g., Je me sens) permet d'en assumer la responsabilité et d'éviter la généralisation. Deuxièmement, la capacité à décrire sans jugement ce qui provoque l'émotion. Troisièmement, la capacité à décrire ses émotions de manière adaptée. Il s'agit de centrer son message sur ce que l'on ressent réellement (les émotions) et non sur les pensées qui accompagnent nos émotions (impressions, suppositions et jugements).

L'écoute de l'expression des émotions **d'autrui** réfère à la capacité à écouter, à accueillir le message et à faciliter l'expression émotionnelle de nos interlocuteurs (Mikolajczak et al., 2009). Cependant, plusieurs études montrent que cette compétence n'est pas évidente, surtout, quand il est question d'émotions négatives (Herbette, 2002 ; Rimé, 1999). Effectivement, les émotions négatives rapportées par notre interlocuteur ont tendance à nous renvoyer à notre propre vulnérabilité. L'individu a alors tendance à adopter une conduite de protection telle que la non-écoute ou la prise de distance. Porter et Dutton (1987) ont mis en évidence six façons habituelles de réagir quand une personne nous partage son vécu émotionnel: proposer des solutions, juger, interpréter, consoler, investiguer et comprendre. Seule la dernière façon de réagir est adaptée en ce qu'elle cherche à entendre et à comprendre véritablement le vécu de l'autre (Mikolajczak et al., 2009).

6.2.4 Réguler ses émotions et celles d'autrui

Lorsque l'émotion est en désaccord avec les besoins ou objectifs de l'individu et/ou inappropriée au contexte, il est nécessaire de la réguler (Mikolajczak et al., 2009). La régulation émotionnelle désigne les processus par lesquels les individus tentent d'influencer la nature des émotions qu'ils ressentent, le moment où ils les ressentent et la manière dont ils les ressentent et les expriment (Gross, 1998). La régulation est un processus qui peut être automatique ou contrôlé, conscient ou inconscient (Gross, 1998) et qui peut porter sur différents objets : le type d'émotion, l'intensité de l'émotion, la durée de l'émotion, son temps

d'incubation, ses composantes comportementales ou physiologiques (e.g., modifier uniquement la composante expressive afin que le vécu émotionnel ne soit pas visible extérieurement) (Gross & Thompson, 2007). Précisons également que selon l'objectif de l'individu, la régulation émotionnelle peut viser l'accentuation (« *up-regulation* ») ou l'atténuation (« *dow-regulation* ») des émotions positives comme négatives (Gross & Thompson, 1997). Ainsi, un élève peut vouloir réduire le stress provoqué par une tâche de résolution de problème (atténuation d'un état émotionnel négatif) ; cacher la joie d'avoir réussi un contrôle difficile de mathématiques pour ne pas causer de peine à son ami qui a échoué (atténuation d'un état émotionnel positif) ; renforcer son plaisir de n'avoir aucun échec à son bulletin (accentuation d'un état émotionnel positif) ou encore augmenter l'expression de sa tristesse à l'annonce du mauvais état de santé d'une personne qui ne lui est pas familière (accentuation d'un état émotionnel négatif). Dans le cadre de cette thèse, nous avons choisi de nous centrer sur l'atténuation des émotions négatives et cela, en raison des nombreuses études ayant documenté un vécu émotionnel particulièrement négatif en mathématiques et dans les tâches de résolution de problèmes, plus spécifiquement (D'Mello & Graesser, 2011; Frenzel et al., 2007; Op't Eynde, De Corte & Mercken, 2004 ; Peixoto et al., 2017 ; Prawat & Anderson, 1994).

Contrairement aux autres CE, la régulation émotionnelle et, plus exactement, les stratégies utilisées par les individus pour atténuer leurs émotions négatives ont fait l'objet d'un nombre important de recherches et cela certainement parce que c'est la compétence qui permet de traiter (de façon appropriée ou inappropriée) le problème soulevé par l'émotion. Pour cette raison et parce que la régulation émotionnelle constitue le cœur de notre recherche, nous avons choisi de la développer dans une section distincte (voir section 6.3).

La régulation des émotions d'**autrui** a comme préalable de pouvoir accueillir et comprendre les émotions de l'autre (Brasseur, 2013.). Cette compétence consiste à amener l'autre à prendre conscience de l'existence de diverses stratégies lui permettant de réguler adéquatement ses émotions dans la situation rencontrée et de les mettre en œuvre.

6.2.5 Utiliser ses émotions et celles d'autrui

Comme nous l'avons mentionné plus haut, les émotions influencent les processus cognitifs. Nous avons évoqué l'attention, la mémoire et le traitement de l'information. Nous avons également souligné que les émotions influencent également nos comportements via des tendances à l'action (e.g., la peur prédispose à la fuite tandis que la colère prédispose à l'agressivité). La capacité à utiliser adéquatement les effets des émotions afin d'optimiser son fonctionnement renvoie à la compétence d'utilisation des émotions (Mikolajczak et al., 2009). En d'autres termes, il s'agit de tirer le meilleur parti de nos émotions dans chacune des situations que nous rencontrons.

L'utilisation des émotions d'**autrui** repose sur un principe analogue, à savoir, maximiser la probabilité de faire réaliser une tâche ou d'avoir un échange positif avec quelqu'un en se basant sur ses émotions ou sur son humeur (Brasseur, 2013). Ainsi, l'enseignant peut utiliser les émotions de ses élèves pour les motiver à s'engager dans une tâche, en la présentant, par exemple, comme une intrigue à résoudre.

6.3 La régulation émotionnelle

6.3.1 Survol historique

De nombreux chercheurs en psychologie et en psychopathologie se sont penchés sur les réponses apportées, par les individus, aux situations émotionnelles (Ayers, Sandler, West & Roosa, 1996 ; Carver, Scheier & Weintraub, 1989 ; Endler & Parker, 1990 ; Freud 1896/2000 ; Garnefski, Kraaij, Spinhoven, 2001 ; Lazarus & Folkman, 1984 ; Parkinson & Totterdell, 1999). Chaque chercheur ayant investigué ces réponses en fonction de ses propres paradigmes de recherche, elles sont nombreuses et variées, rendant l'établissement d'une nomenclature commune difficile. Ces diverses approches relèvent, en réalité, de deux grands courants de recherche étroitement liés : d'une part, la théorie sur le stress et le coping, développée par Lazarus et ses collègues (Lazarus & Folkman, 1984) et, d'autre part, les travaux sur la régulation émotionnelle (Fredrickson, Mancuso, Branigan & Tugade, 2000 ; Gross, 1998 ; Mikolajczak et al., 2009 ; Parkinson & Totterdell, 1999).

Prenant sa source dans la tradition psychanalytique, la théorie sur le stress et le coping s'en distingue en s'intéressant aux réponses conscientes apportées par l'individu à des stressseurs externes (Luminet, 2002). De plus, ces réponses ne sont plus uniquement déterminées par des variables dispositionnelles (caractéristiques de l'individu), mais également par des variables situationnelles et par l'interaction entre ces deux types de variables (Luminet, 2002). Ces réponses, appelées stratégies de coping, ou stratégies d'ajustement, réfèrent « aux comportements et cognitions qu'un individu interpose entre lui et un événement perçu comme menaçant en vue de maîtriser, tolérer ou diminuer l'impact de celui-ci sur son bien-être physique et psychologique » (Luminet, 2002, p.47). Dans la littérature sur le stress et le coping ces stratégies ont classiquement été classées en deux groupes : les stratégies centrées sur le problème (« *problem-focused coping* ») et les stratégies centrées sur les émotions (« *emotion-focused coping* ») (Lazarus & Folkman, 1984). Les premières se penchent sur la résolution du problème (e.g., faire un plan d'action) tandis que les secondes visent la régulation de la détresse émotionnelle induite par l'agent stressseur (e.g., se distraire). Bien que cette classification figure parmi celles les plus utilisées dans la littérature sur le stress et le coping (Gross, 1998), elle souffre de plusieurs défauts (Skinner, Edge, Altman & Sherwood, 2003 ; pour une revue des modèles de coping voir Folkman & Moskowitz, 2004). Premièrement, les catégories proposées ne sont pas mutuellement exclusives : la plupart des stratégies de coping rapportées par les individus remplissent les deux fonctions. Deuxièmement, les deux fonctions sont conceptuellement mal définies. Troisièmement, cette classification n'est pas exhaustive : certaines stratégies de coping sont inclassables. Sur la base de ces constats, Endler et Parker (1990) ont ajouté une troisième famille de stratégies au modèle proposé par Lazarus et Folkman (1984), à savoir, les stratégies centrées sur l'évitement de l'agent stressant. La stratégie consistant à rechercher du soutien social, jusque-là inclassable, ne l'est ainsi plus. Ancrées dans la littérature sur le stress et le coping, les recherches sur la régulation émotionnelle s'en écartent en défendant une vision fonctionnelle des émotions, en s'intéressant tant aux situations stressantes qu'à celles qui ne le sont pas et, en portant tant sur les émotions négatives que positives (Gross, 1998 ; Gross & Thompson, 2007).

Si ces deux courants continuent d'emprunter des trajectoires différentes, plusieurs chercheurs se sont penchés sur des modèles intégrateurs (Mayer, Caruso & Salovey, 2002 ; Mikolajczak et al. 2009 ; Skinner et al., 2003). Dans le cadre de cette thèse, nous avons retenu le modèle proposé par Mikolajczak en ce qu'il rassemble les stratégies qui ont démontré les effets les plus forts, pour le plus grand nombre de personnes, dans un grand nombre de situations (Mikolajczak et al., 2009). Cette chercheuse a utilisé le modèle modal d'une émotion proposé par Gross (1998) pour sa classification. Comme le précise ce dernier, ce modèle met en évidence cinq aspects pouvant être la cible d'un processus de régulation, définissant ainsi cinq familles de stratégies de régulation émotionnelle (Figure 9) (Gross & Thompson, 2007). Selon Gross (Gross & Thompson, 2007 ; Jacobs & Gross, 2014) les stratégies qui visent à réguler les premières étapes du processus de génération d'une émotion (« *antecedent-focused* ») sont plus efficaces que celles qui ciblent les composantes de la réponse émotionnelle elle-même (« *response-focused* »).

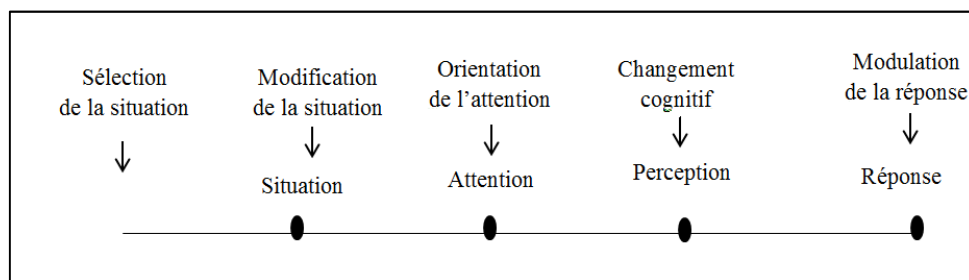


Figure 9. Modèle générique de la régulation émotionnelle (Mikolajczak, 2012)

Ces cinq familles de stratégies sont développées au point suivant. Précisons qu'en cohérence avec nos objets de recherche nous nous sommes centrée sur les stratégies visant la régulation des émotions négatives, uniquement (pour les lecteurs intéressés par un modèle de régulation des émotions positives, voir Quoidbach, 2012).

6.3.2 Description des stratégies de régulation des émotions négatives

Sur la base de leurs effets sur l'activation physiologique, la santé mentale et physique et les relations sociales, les stratégies de régulation émotionnelle ont été classées en stratégies adaptées et stratégies inadaptées. Toutefois, les recherches conduites récemment au sein de la sphère académique tendent à montrer que ces stratégies ne seraient pas en soi adaptées ou inadaptées, mais que cela dépendrait de l'individu, du contexte et du pattern de stratégies utilisé (Ben Eliyahu & Linnenbreink, 2013 ; Buric, Soric & Penezic, 2016 ; Leroy, Grégoire, Magen, Gross & Mikolajczak, 2012 ; Schmidt, Tinti, Levine & Testa, 2010). Buric et al. (2016) précisent à ce sujet que les stratégies de régulation émotionnelle ont « a two-sided nature regarding their appropriateness and adaptability in the academic domain » (p.145). Ainsi, si la suppression expressive est classiquement considérée comme une stratégie inadaptée, notamment parce qu'elle consomme une part importante des ressources cognitives de l'individu et parce qu'elle préjudicie la qualité de ses relations sociales (Gross & John,

2003 ; Jacobs & Gross, 2014), dans une étude conduite auprès d'étudiants universitaires, cette stratégie apparaît positivement liée au plaisir d'apprendre et à la fierté (Buric et al., 2016). Pour citer un autre exemple, dans une étude menée également auprès d'étudiants universitaires, Ben Eliyahu et Linnenbrink (2013) ont montré que la stratégie de rumination était significativement plus utilisée dans les cours dépréciés que dans les cours appréciés par les étudiants. A l'inverse, la suppression et la réévaluation cognitive se sont avérées significativement plus prégnantes dans les cours favorisés des étudiants. Relevons également l'existence de différences significatives dans l'utilisation des stratégies de régulation émotionnelle selon le genre. Comme ces résultats le laissent sous-entendre, les recherches menées dans le domaine académique n'en sont encore qu'à leur balbutiement et de nombreuses questions sont encore sans réponse. Cela est d'autant plus vrai pour les années de l'enseignement primaire et secondaire pour lesquelles plusieurs chercheurs déplorent le manque d'investigation (Jacobs & Gross, 2014).

Comme mentionné plus haut, notre travail de thèse s'est appuyé sur la typologie de stratégies proposée par Mikolajczak, en raison de sa robustesse. Les grandes lignes de cette typologie sont présentées dans le tableau 7 (voir Mikolajczak et al., 2009 ; Mikolajczak, 2012 pour une description plus complète).

Tableau 7. Stratégies de régulation des émotions négatives (Mikolajczak, 2012)

Famille de stratégies	Objectif global	Stratégies fonctionnelles	Stratégies dysfonctionnelles
Sélection de la situation	Réduire au maximum la probabilité de se retrouver dans une situation génératrice d'émotions déplaisantes. Il s'agit donc d'une forme de régulation, a priori, en ce qu'elle vise à neutraliser l'émotion avant son émergence.	La clarification de ses besoins, de ses valeurs et des sources de son bien-être. L' anticipation des émotions que des situations futures sont susceptibles de générer. L' évaluation des coûts et des bénéfices à court et à long terme de chaque situation.	La confrontation dysfonctionnelle ou se confronter à des situations, évitables, dont on sait qu'elles vont susciter des émotions désagréables en nous et aucun bénéfice notable à long terme. L' évitement dysfonctionnel ou éviter systématiquement des situations qui génèrent, à court terme, des émotions négatives, mais qui sont bénéfiques à long terme. La procrastination ou postposer à plus tard ce qui devrait être réalisé immédiatement.
Modification de la situation	Se départir de l'émotion déplaisante en résolvant le problème qui l'induit.	La modification directe (quand la source d'émotions déplaisantes est un problème d'ordre personnel) ou modifier directement la source de l'émotion désagréable La modification indirecte ou exposer, de façon appropriée, le problème à la personne impliquée.	L'impuissance acquise ou croyance de l'individu qu'il n'a aucun contrôle sur la situation et qu'il ne peut y remédier. L'expression inadéquate ou expression dont la forme et/ou le contenu est (sont) inacceptable(s) pour l'interlocuteur ou ayant lieu à un moment inopportun. Le retrait social ou se mettre à l'écart temporairement ¹⁸ .
L'orientation de l'attention	Contrecarrer le piège d'attention sélective induit par les émotions négatives. Pour rappel, les émotions négatives canalisent l'attention de l'individu sur les aspects négatifs de la situation, la rendant ainsi indisponible pour la tâche.	La distraction ou orienter son attention sur autre chose en pensant à autre chose ou en faisant autre chose. La pleine conscience ou le fait de focaliser son attention sur l'émotion elle-même et, plus précisément, sur ses manifestations corporelles.	La rumination ou ressasser inlassablement les mêmes pensées, les mêmes événements négatifs sans passer à l'action. Le déni ou le refus de reconnaître l'existence d'un problème, son importance ou ses effets potentiels.

¹⁸ Notons que si le retrait est mis à profit pour prendre du recul, ne perdure pas et ne blesse pas l'interlocuteur (e.g., l'interlocuteur est prévenu), il peut être fonctionnel.

Le changement cognitif	Repose sur le principe que c'est la perception que l'individu se fait de la situation et non la situation elle-même qui déclenche l'émotion. Cette stratégie vise donc à changer sa propre perception de la situation.	La réévaluation positive ou modifier la perception que nous avons d'une situation donnée en envisageant les arguments qui contredisent nos pensées et notre ressenti, en relativisant, en cherchant les points positifs, en défusionnant pensée et réalité ou en cherchant les bénéfices à long terme. L' acceptation ou accepter l'existence de choses que l'on ne peut pas changer et accueillir les émotions qui y sont associées en ayant conscience que cela n'augure en rien du futur.	La catastrophisation c'est-à-dire la dramatisation de la situation actuelle ou l'anticipation de conséquences négatives d'une situation. La recherche d'un bouc émissaire ou accuser, à tort, un tiers du problème lui-même ou de son incompetence à le résoudre.
La modulation de la réponse	Moduler la composante corporelle de l'émotion en agissant directement sur le corps afin de relâcher les muscles, diminuer le rythme cardiaque et la tension artérielle.	La relaxation dirigée ou technique de relaxation basée sur des protocoles comme ceux de Schultz ou Jacobson. La relaxation personnelle ou la pratique d'activités jugées relaxantes par l'individu (e.g., prendre un bain, écouter de la musique, faire du sport, etc.).	La suppression expressive ou masquer les manifestations visibles de l'émotion. L'abus d'alcool, d'anxiolytiques

Il est à noter que le **partage social** de l'émotion ne figure pas parmi les stratégies proposées et cela du fait que, contrairement à l'opinion générale, il n'a pas d'effet catharsis, dit autrement, il n'a pas le pouvoir de réduire l'émotion (Rimé, 2005, 2009). Cependant, cette stratégie est associée à plusieurs bénéfices indirects tels que le renforcement des relations sociales, l'obtention de soutien et de réconfort, etc.

Par ailleurs, comme aucune stratégie n'est efficace pour tout le monde ni dans toutes les situations, la capacité à réguler ses émotions requiert d'avoir à sa disposition un répertoire de stratégies varié et d'y recourir de façon flexible (i.e. identifier, pour une situation et un contexte donnés, compte tenu de ses propres valeurs, croyances et besoins, la stratégie la plus adaptée).

6.4 Perspective développementale des compétences émotionnelles

Les CE se développent dès la petite enfance et jusqu'à l'âge adulte (Housiaux & Lahaye, 2013). Globalement, ce développement se caractérise par l'augmentation du nombre de CE acquises, par le passage d'une régulation émotionnelle par synchronisation avec un co-régulateur à une autorégulation émotionnelle, par le développement de la capacité à discriminer les différentes composantes de l'émotion et par la complexification des expériences émotionnelles vécues (Housiaux & Lahaye, 2013). Selon plusieurs auteurs, ce développement suit une organisation séquentielle (Denham, 2005 ; Roskam, 2012 ; Saarni, 2000 ; Scharfe, 2000). En nous appuyant sur les travaux de Housiaux et Lahaye (2013) et ceux de Roskam (2012) sur le développement des CE, nous proposons, à la figure 10 une synthèse des recherches actuelles sur la trajectoire développementale des CE et, en particulier, de la régulation émotionnelle.

	Régulation émotionnelle	CE en général
0-3 mois	- Ébauche de stratégies de régulation intra-personnelle (i.e. stratégies conduites par le nourrisson lui-même comme la succion réflexe ou le détournement du regard) - Utilisation de stratégies de régulation interpersonnelle (i.e. régulation par synchronisation avec un co-régulateur)	- Expression émotionnelle indifférenciée (de type réflexe) puis progressivement, expression d'émotions de base sous forme de réactions corporelles - Prise de conscience progressive de ses propres émotions - Réactions différenciées par rapport aux émotions des adultes
3-24 mois	- Enrichissement du répertoire de stratégies de régulation intra-personnelle, principalement de nature comportementales réactives	
2-6 ans	- Autonomisation de la régulation intra-personnelle - Utilisation du langage comme outil de régulation émotionnelle (d'abord pour verbaliser son ressenti et la cause de ce dernier et, ensuite, pour s'autoguidé) - Début de l'utilisation de stratégies de régulation intra-personnelle plus cognitives, symboliques ou proactives - Réflexion sur ses émotions	- Expression d'émotions sociales (e.g., culpabilité, honte) - Début de la prise de conscience que certains sentiments sont socialement plus admis que d'autres - Expression d'émotions mixtes - Compréhension de situations et d'expressions des émotions de base
6-12 ans	- Miniaturisation de l'expression émotionnelle (i.e. capacité à masquer son émotion) - Utilisation de stratégies de régulation émotionnelle cognitive (e.g. réévaluation, distraction)	- Capacité à discriminer la composante expressive de l'émotion du ressenti subjectif - Compréhension des causes et fonctions des émotions - Intégration des règles sociales d'expression émotionnelle - Compréhension d'émotions complexes
6-12 ans	- Gamme élargie de stratégies de régulation émotionnelle intra-personnelle	- Expressions émotionnelles plus subtiles - Compréhension plus sophistiquée des émotions

Figure 10. Stades développementaux des CE (Hansiaux & Lahaye, 2013 ; Roskam, 2012 ; Scharfe, 2000)

Notons qu'outre des différences liées à l'âge, le développement des CE dépend également de facteurs intrapersonnels (i.e. le tempérament, le genre et les développements moteurs, cognitifs et neurologiques) et interpersonnels (i.e. contexte familial, social et culturel de l'enfant) (Calkins & Hill, 2007).

S'il faut attendre l'âge adulte pour que le développement des CE soit complètement achevé (notamment pour la maturation complète du cerveau), un enfant de 10 ans possède déjà les prérequis nécessaires à l'ensemble des CE (Brasseur, 2013). De plus, Bar-On (2003) a montré le caractère prédictif de ces compétences, mettant ainsi en avant la nécessité de les développer chez les enfants en âge scolaire. Ce développement est d'autant plus nécessaire que les recherches montrent que les CE ont, dès l'enfance, des répercussions dans plusieurs domaines cruciaux de la vie d'un individu. Cet aspect est développé au point suivant.

6.5 L'importance des compétences émotionnelles

Les recherches ont montré que la régulation émotionnelle joue un rôle crucial dans quatre grands domaines de la vie d'un individu, qu'il s'agisse d'un enfant, d'un adolescent ou d'un adulte. Ces domaines sont la santé mentale (bien-être), la santé physique, les relations sociales et la performance à l'école ou au travail (Mikolajczak & Bausseron, 2013 ; Mikolajczak & Desseilles, 2012 ; Mikolajczak et al., 2009). Précisons que les recherches concernant les enfants et adolescents sont nettement moins nombreuses que celles menées auprès d'un public plus âgé.

Au niveau de la **santé mentale**, les enfants et adolescents ayant des scores élevés de CE ont moins de problèmes de santé psychologique que les autres et un meilleur bien-être (Eisenberg, Cumberland, Spinrad, Fabes, Shepard et al., 2001 ; Extremera, Duran & Rey, 2007). Plus précisément, les études mettent en évidence un lien négatif entre des CE élevées et, d'une part, des comportements agressifs et délinquants (Santesso, Reker, Schmidt & Segalowitz, 2006) et, d'autre part, des symptômes dépressifs et anxieux (Lahaye, Luminet, Van Broek, Bodart & Mikolajczak, 2010).

Sur le plan de la **santé physique**, plusieurs chercheurs ont montré un lien entre des scores de CE faibles et une fréquence plus élevée d'expression de plaintes somatiques (Lahaye et al., 2010 ; Rieffe, Terwogt, Petrides, Cowan, Miers & Tolland, 2007). En outre, Housiaux, Luminet, Van Broeck et Dorchy (2010) ont montré que des CE faibles sont associées à un moins bon contrôle, par les enfants, des maladies chroniques (e.g., asthme, diabète).

Concernant la dimension **sociale**, des scores élevés de CE sont liés positivement aux comportements prosociaux (e.g., coopération) et négativement aux comportements antisociaux (e.g., agressivité) (Mavroveli, Petrides, Rieffe & Baker, 2007; Petrides, Sangareau, Furnham & Frederickson, 2006). En outre, plusieurs chercheurs ont montré que la qualité des relations entre pairs est liée à la capacité de compréhension émotionnelle de l'enfant (Denham, McKinley, Couchoud & Holt, 1990 ; Pons, Doudin, Harris & de Rosnay, 2002).

Concernant la **performance académique**, les recherches conduites auprès d'enfants du primaire et du secondaire mettent en évidence une relation positive entre CE et performances en mathématiques (Costa & Faria, 2015 ; Gumora & Arsenio, 2002 ; Hill & Craft, 2003 ; Tzohar-Rozen & Kramarski, 2017). Soulignons qu'une même relation est observée pour les étudiants universitaires (Buric et al., 2016 ; Leroy et al., 2012 ; Van der Zee, Tijs & Schakel, 2002).

Comme nous pouvons le constater, des niveaux élevés de compétences émotionnelles sont associés à des résultats désirables tant en termes de bien-être, de santé physique, de relation sociale que de performances scolaires. Mais est-ce possible d'améliorer le niveau de compétences émotionnelles des individus via l'enseignement ?

6.6 Enseignement des compétences émotionnelles

Plusieurs études quasi-expérimentales conduites auprès d'étudiants universitaires ont montré qu'il était effectivement possible d'améliorer les CE des individus via une intervention reposant sur le modèle de Salovey et Mayer (1997). En effet, les résultats montrent que suite à une intervention, s'étalant sur 4 à 18 semaines, les CE des participants s'améliorent à court et à long terme. Selon les compétences ciblées par l'intervention, ce sont tantôt la compréhension et la régulation qui évoluent positivement (Nelis, Quoidbach, Hansenne, Kotsou, Weytens, Dupuis & Mikolajczak, 2011 ; Pool & Qualter, 2012) et tantôt l'identification et la régulation (Nelis, Quoidbach, Mikolajczak & Hansenne, 2009). En outre, dans l'étude de Nelis et al. (2009), les participants affichent des scores légèrement plus élevés au test de rétention qu'au post-test. Ce constat laisse penser qu'une intervention plus longue ou des séances de coaching post-intervention auraient pu maximiser les effets observés.

Des résultats similaires ont été observés auprès d'un public plus jeune. Ainsi, dans une étude conduite auprès d'adolescents à haut potentiel en difficulté scolaire, Brasseur (2013) montre que les capacités de régulation émotionnelle et d'accueil des émotions des participants se sont significativement améliorées suite à une intervention – s'étalant sur 6 semaines – visant le développement des cinq CE de base et que ces changements persistent six mois après la fin de l'intervention. De leur côté, Viguer, Cantero et Banuls (2017) ont développé une intervention reposant sur le modèle de Bar-On. Cette dernière comprend quatre modules : le développement de l'intelligence intrapersonnelle (e.g., l'identification et la compréhension de ses émotions), le développement de l'intelligence interpersonnelle (compétence émotionnelle liée aux relations sociales), le développement de la régulation émotionnelle (accueil des émotions tant positives que négatives et stratégies de régulation) et la promotion d'humeurs positives (stratégies de pensée positive). Cette intervention a été implémentée dans plusieurs classes de cinquième primaire, sur une durée de 2 ans. Les résultats indiquent qu'après un an, les élèves qui ont bénéficié de l'intervention ont des scores significativement supérieurs à ceux du groupe contrôle en termes d'intelligence intra- et interpersonnelle, de gestion du stress et d'humeur générale. Notons la stabilité de ces changements six mois après la fin de l'intervention. A la fin de la deuxième année, s'ajoute à ces premiers changements, une amélioration de la compétence des élèves à réguler leurs émotions. Notons que les compétences développées à l'issue de la première année sont encore

mieux acquises à l'issue de la seconde année. Ensemble, ces résultats suggèrent que les compétences émotionnelles se développent sur des temps relativement longs. Leurs résultats montrent également que sans intervention les compétences émotionnelles des élèves n'augmentent pas, voire se détériorent (moins bonne gestion du stress). De leur côté, Qualter, Whiteley, Hutchinson et Pope (2007) se sont penchés sur la transition primaire-secondaire. Ces derniers ont montré que les élèves qui ont des CE élevées font mieux face à la transition en termes d'estime de soi, de comportement, de présence à l'école et de résultats scolaires que leurs pairs présentant des CE fragiles. Complémentairement, suite à une intervention d'une durée d'un an basée sur le modèle de Bar-On, les élèves recensés auparavant comme ayant des CE fragiles sont ceux qui profitent le plus de l'intervention (augmentation de leurs compétences émotionnelles et de leur estime de soi). Conjointement ces résultats font ressortir la nécessité de promouvoir les CE durant les dernières années de l'enseignement primaire, à tout le moins.

Pour terminer, mentionnons un autre type de programme visant cette fois le développement de compétences socio-émotionnelles chez les enfants et adolescents (« *social emotional learning* » (SEL)). Ces programmes se sont développés en réponse aux problèmes comportementaux (e.g., violence, consommation de drogue, décrochage scolaire) et de santé mentale des jeunes et visent la prévention des risques et la promotion d'un développement positif (voir la méta-analyse de ces programmes proposée par Durlak, Dymnicki, Taylor, Weissberg & Schellinger, 2011). Ces programmes sont axés autour de cinq grandes compétences que sont, la conscience de soi et des autres (identification de ses émotions, régulation de ses émotions, analyse critique des normes sociales, décentration), les attitudes et valeurs positives (perception de soi positive, sens des responsabilités, respect d'autrui, empathie), la prise de décision responsable (identification de situations problématiques, identification éclairée de solutions, définition d'objectifs adaptés), la capacité à communiquer (communication réceptive, expressive, claire et compréhensive) et les compétences sociales (coopération, négociation, aide et soutien). Si ces programmes produisent des résultats plutôt encourageants tels que l'amélioration des CE, le développement d'attitudes positives envers soi, les autres et l'école, une baisse de la détresse émotionnelle et des problèmes de comportement ainsi que de meilleures performances scolaires, ils présentent plusieurs limites. Matthews, Zeidner et Roberts (2002, 2007) pointent l'absence de cadre théorique solide et de méthodologie rigoureuse, la prise en compte de certaines compétences émotionnelles seulement et l'inclusion de nombreuses autres compétences qui n'en font pas partie, la non-considération des effets à long-terme, l'absence de groupe contrôle et des évaluations qui, quand elles existent, reposent sur l'impression subjective des enseignants.

Sur la base des travaux conduits dans le champ de l'autorégulation cognitive, présentés au chapitre 2, et des premiers travaux conduits sur le développement des connaissances et compétences émotionnelles dans le champ scolaire, nous proposons, à la figure 11, une modélisation des composantes émotionnelles impliquées dans l'expertise adaptative en résolution de problèmes.

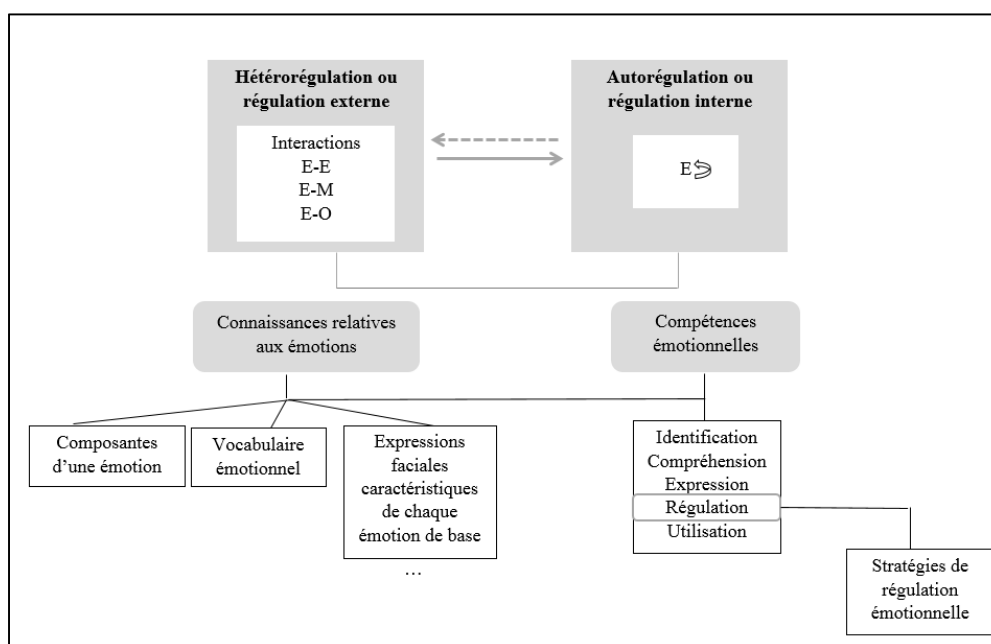


Figure 11. Modélisation des composantes émotionnelles impliquées dans l'expertise adaptative

7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons montré que l'émotion est généralement conceptualisée comme un phénomène multicomponentiel. Plus précisément, cinq composantes pouvant être positionnées sur un continuum temporel ont été identifiées : l'évaluation cognitive de l'élément déclencheur, les modifications physiologiques, les manifestations motrices, les tendances à l'action et l'expérience subjective. D'autres précisions conceptuelles ont été apportées telles que la distinction entre l'émotion « trait » et l'émotion « état », la classification tridimensionnelle des émotions et leur nature situationnelle. Le rôle central joué par les émotions dans les mécanismes cognitifs et motivationnels sous-tendant l'apprentissage a également été souligné. Nous avons ensuite mentionné la présence de différences inter-individuelles dans la capacité à identifier, comprendre, exprimer, réguler et utiliser ses émotions et celles d'autrui en évoquant le concept d'intelligence émotionnelle et, plus pertinemment, celui de compétences émotionnelles. Parmi ces compétences émotionnelles, les travaux se sont surtout penchés sur la régulation émotionnelle, compétence clé du changement. Ces derniers s'enracinent dans deux courants de recherche distincts : la théorie sur le stress et le coping et la régulation émotionnelle. Si ces deux courants continuent d'emprunter des trajectoires différentes à l'heure actuelle, plusieurs chercheurs ont tenté de les concilier au sein d'un modèle unique. A ce propos, nous avons retenu le modèle de stratégies de régulation émotionnelle proposé par Mikolajczak en raison de sa robustesse. Ce dernier postule que chaque dimension du processus de génération d'une émotion peut faire l'objet d'une régulation et propose ainsi cinq familles de stratégies : la sélection de la situation, la modification de la situation, l'orientation de l'attention, le changement cognitif

et la modulation de la réponse. Toutefois, bien que cette nomenclature regroupe les stratégies qui ont démontré les effets les plus forts, pour le plus grand nombre de personnes, dans un grand nombre de situations, ces validations concernent un public adulte et des situations de la vie de tous les jours. S'il existe plusieurs instruments pour enfants et adolescents, ces derniers présentent également plusieurs limites. Ainsi, le « CERQ-kids », instrument qui mesure ce que les enfants entre 9 et 12 ans pensent après avoir fait l'expérience d'événements stressants ou menaçants (Garnefski, Rieffe, Jellesma, Terwogt et al., 2007), propose des items décontextualisés. Les émotions mentionnées dans les items ne sont donc associées à aucun contenu précis. Or, nous avons relevé dans ce chapitre la nature situationnelle des émotions. De plus, la version pour enfant du CERQ repose sur la même structure factorielle que celle utilisée pour les adultes. Les stratégies de coping mesurées ne font donc pas nécessairement sens pour un public plus jeune et des stratégies de coping utilisées spécifiquement par les plus jeunes peuvent avoir été omises. Un second instrument est la version adaptée par De Corte, Depaepe, Op't Eynde et Verschaffel (2011) du COPE questionnaire – initialement élaboré par Carver et al. (1989) – au contexte scolaire et, plus spécifiquement, à trois types d'activité mathématiques (test, devoir, leçon) et aux élèves du secondaire. Bien que cet outil tienne compte de la nature situationnelle des émotions, cette adaptation repose, elle aussi, sur les dimensions de coping initiales, prévues pour un public adulte. Cet instrument ne couvre donc pas nécessairement la réalité des élèves du primaire. Finalement, précisons que les deux instruments reposent essentiellement sur les travaux conduits dans le champ théorique du stress et du coping et ne reflètent donc qu'une seule approche théorique. Il semblerait donc qu'il manque un instrument qui simultanément reflète la réalité des élèves du primaire et du début du secondaire, mesure les stratégies de régulation émotionnelle en contexte et considère les deux approches théoriques traditionnellement utilisées.

En outre, à l'instar des compétences métacognitives, nous avons montré que le développement naturel des compétences émotionnelles est insuffisant pour faire face aux situations scolaires quotidiennes. Dit autrement, considérant l'importance des émotions non seulement pour les performances scolaires mais, également, pour la santé mentale et physique de l'apprenant et pour la qualité de ses relations sociales, la stimulation de ses compétences émotionnelles via un enseignement explicite s'avère nécessaire. Les quelques études empiriques qui se sont penchées sur cette question affichent des résultats prometteurs en montrant qu'il est possible de développer et d'améliorer les compétences émotionnelles des élèves, dont leur capacité à réguler leurs émotions négatives. Cependant, les études de ce type sont peu nombreuses, ont principalement été conduites auprès d'étudiants universitaires et proposent un enseignement des compétences émotionnelles, décontextualisé. Si, à notre connaissance, cette question n'a pas encore fait l'objet de travaux empiriques dans le domaine des émotions, plusieurs études ont montré que les stratégies d'autorégulation cognitive sont mieux intégrées par les élèves lorsqu'elles sont travaillées en lien avec un sujet concret (Dignath & Büttner, 2008 ; Weinstein, Husman & Dierking, 2000). Le vécu émotionnel négatif des élèves vis-à-vis des tâches de résolution de problèmes mathématiques, documenté dans ce chapitre, suggère qu'une intervention centrée sur un enseignement explicite de

connaissances et compétences émotionnelles en lien avec la résolution de problèmes pourrait avoir des retombées positives sur le rapport affectif des élèves et sur leurs performances.

Les limites de la littérature actuelle évoquées ici sont à nouveau questionnées au chapitre 5 ainsi que les réponses que nous y avons apportées dans les études empiriques conduites dans le cadre de cette thèse.

Chapitre 4

Articulation des dimensions cognitives, motivationnelles et émotionnelles de l'apprentissage

Articulation des dimensions cognitives, motivationnelles et émotionnelles de l'apprentissage

L'intérêt récent porté par les chercheurs pour les émotions dans le domaine de l'éducation a conduit à revisiter les modèles cognitivo-motivationnels de l'apprentissage. Ainsi, de nombreux modèles de l'apprentissage incluant les émotions d'accomplissement ont vu le jour. A ce propos, deux types de modèles peuvent être distingués. D'une part, les modèles qui visent à expliquer les sources et les effets des émotions ressenties par les apprenants (modèles en pistes causales) (Meyer & Turner, 2006 ; Op't Eynde & Turner, 2006 ; Pekrun 2006 ; Schutz & Davis, 2000). Parmi ces modèles, la théorie du contrôle et de la valeur des émotions d'accomplissement (« *The control-value theory of achievement emotions* ») proposée par Pekrun (2006) s'avère être l'un des cadres théoriques les plus utilisés au sein de la littérature pour expliquer le rôle joué par les émotions dans les processus d'apprentissage (Ahmed et al., 2010 ; Daniels et al., 2009 ; Dettmers et al., 2011 ; Linnenbrink-Garcia & Barger, 2014 ; Peixoto et al., 2017). D'autre part, les modèles qui visent à décrire les processus cognitifs, motivationnels et émotionnels impliqués dans les différentes phases d'un cycle d'apprentissage autorégulé (modèles descriptifs) (Boekaerts, 1996, 1999 ; Efklides, 2011 ; Pintrich, 2000 ; Winne, 2004 ; Zimmerman, 2001, 2011).

Ce chapitre débute par la présentation du modèle de Pekrun et de plusieurs études empiriques associées. Dans un deuxième temps, nous décrirons trois modèles de l'apprentissage autorégulé, couramment utilisés dans le champ de l'éducation, qui retracent l'évolution des composantes de ces modèles. En nous appuyant sur ceux-ci, nous proposerons, dans un troisième temps, un modèle adapté au domaine de la résolution de problèmes et aux élèves en fin d'enseignement primaire. Ce chapitre se clôturera avec la description de deux études, inscrites dans le champ de l'apprentissage autorégulé, qui se sont penchées sur la résolution de problèmes mathématiques.

1. La théorie du contrôle et de la valeur des émotions d'accomplissement

Comme nous l'avons évoqué au chapitre 3, les émotions des individus sont déclenchées par les évaluations ou appréciations que les individus font des situations, événements ou tâches d'apprentissage. Ces dernières sont guidées par une variété de dimensions ou critères. Dans le cas spécifique des émotions d'accomplissement, Pekrun (2006) postule que les appréciations de contrôle et de la valeur sont les deux déterminants clés (Figure 12).

Le contrôle perçu désigne les évaluations que l'individu fait de sa propre compétence et comprend trois formes d'évaluation. Premièrement, un contrôle prospectif qui consiste en des attentes causales (« *causal expectancies* ») concernant la probabilité subjective que le

résultat souhaité soit atteint. Ces attentes causales reposent, d'une part, sur la perception qu'à l'individu de sa capacité à accomplir une action avec succès (pour reprendre les termes de Bandura, il s'agit du sentiment d'efficacité personnelle) et, d'autre part, sur sa perception que l'action menée permettra d'atteindre les buts visés. Deuxièmement, un contrôle rétrospectif qui renvoie aux attributions causales. Troisièmement, une évaluation de son concept de soi qui, pour rappel, désigne les jugements que l'individu fait de ses compétences dans un domaine donné. De son côté, la valeur perçue des activités d'accomplissement et de leurs résultats peut revêtir une forme intrinsèque ou extrinsèque. Ainsi, l'individu peut valoriser ces derniers en soi (par intérêt pour la tâche ou parce que le succès renforce intrinsèquement) ou pour leur fonction instrumentale (pour obtenir les conséquences désirées). Selon les évaluations subjectives du contrôle et de la valeur, ce sont des émotions différentes qui sont déclenchées. Il est supposé que des niveaux plus élevés de contrôle perçu suscitent des expériences émotionnelles positives telles que le plaisir, la fierté ou l'espoir, tandis que des niveaux inférieurs de contrôle perçu produisent l'effet inverse, déclenchant des expériences émotionnelles négatives comme la colère, l'anxiété ou le désespoir (Pekrun, 2006). Complémentairement, une évaluation positive de l'importance perçue des activités d'accomplissement et de leur résultat conduit à des émotions d'accomplissement positives tandis qu'une évaluation négative conduit au pattern inverse.

De nombreuses études empiriques ont confirmé l'importance des évaluations subjectives en termes de contrôle et de valeur pour la stimulation des émotions. Plus précisément, les études conduites auprès d'élèves du primaire et du secondaire mettent en évidence des associations positives entre les émotions d'accomplissement positives et la perception de compétence (Ahmed et al., 2010 ; Frenzel et al., 2007 ; Peixoto et al., 2017 ; Pinxten, Marsh, De Fraine, Van Den Noortgate & Van Damme, 2014), le concept de soi (Goetz et al., 2010 ; Goetz, Nett, Martiny, Hall, Pekrun, Dettmers & Trautwein, 2012) et un pattern inverse pour les émotions d'accomplissement négatives (Dettmers et al., 2011). Concernant la valeur perçue, les émotions d'accomplissement négatives apparaissent négativement liées à l'utilité perçue et au coût (Dettmers et al., 2010) et, à une mesure agrégée de la valeur perçue (Ahmed et al., 2010 ; Frenzel et al., 2007 ; Peixoto et al., 2017) tandis que les émotions d'accomplissement positives entretiennent des relations positives avec une mesure agrégée de la valeur perçue (Ahmed et al., 2010 ; Frenzel et al., 2007 ; Peixoto et al., 2017).

Ces évaluations subjectives de la valeur et du contrôle sont, elles-mêmes, sous l'influence de plusieurs facteurs qui constituent des antécédents plus distaux des émotions d'accomplissement. Parmi ces facteurs, notons les émotions « traits », l'orientation des buts d'accomplissement, les croyances plus stables de l'individu relatives au contrôle et à la valeur, les habiletés cognitives de l'individu et le genre. L'environnement d'apprentissage (e.g., environnement soutenant les besoins d'autonomie, de structure et d'affiliation de l'individu, enthousiasme de l'enseignant, structure de but, rétroactions sur la performance) et les tâches (e.g., potentiel de stimulation cognitive, niveau de difficulté) exercent également une influence sur les émotions par l'intermédiaire des évaluations du contrôle et de la valeur.

Selon la théorie du contrôle et de la valeur, l'impact des émotions d'accomplissement sur la performance est médiatisé par un certain nombre de mécanismes cognitifs et

motivationnels que nous avons déjà abordés au chapitre 3. Parmi ces mécanismes, citons les ressources cognitives disponibles, le type de stratégies cognitives et d'autorégulation cognitive adopté et la motivation à s'engager (Pekrun, 2006. Pekrun & Perry, 2014).

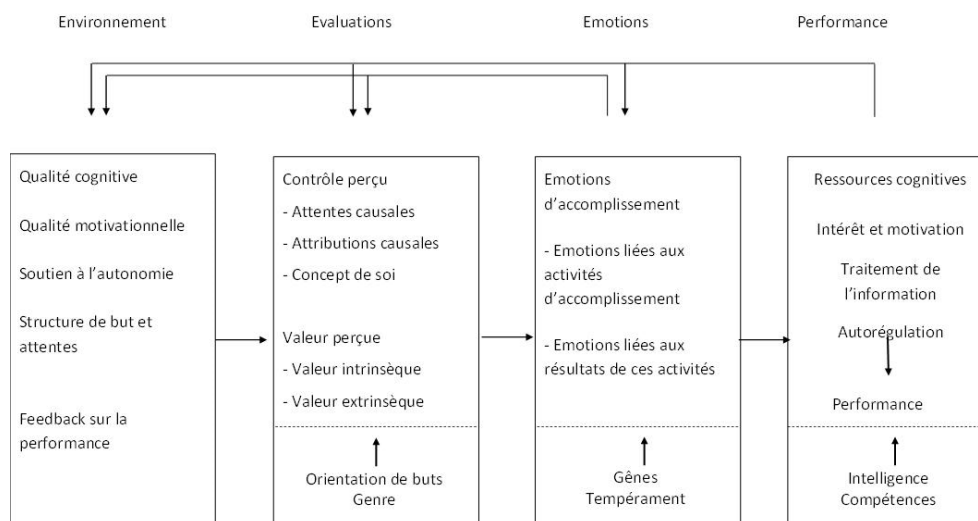


Figure 12. Modélisation de la théorie du contrôle et de la valeur des émotions d'accomplissement (adaptée de Pekrun & Perry, 2014)

2. Les modèles de l'apprentissage autorégulé

2.1 Comment en est-on arrivé aux modèles actuels ?

L'intérêt des chercheurs pour le rôle joué par les processus autorégulateurs dans le développement de l'individu s'est développé dans les années 1960-1970. À cette époque, les études investiguaient principalement l'effet de l'enseignement de stratégies cognitives sur l'apprentissage (Paris & Paris, 2001 ; Zimmerman, 2011). Ces stratégies permettaient effectivement d'améliorer l'apprentissage. Les chercheurs ont montré que ces stratégies cognitives pouvaient être apprises et transférées, avec fruit, juste après l'instruction, à des problèmes similaires (Pressley, Heisel, McCormick & Nakamura, 1982). Cependant, dans les faits, ces stratégies étaient rarement réinvesties, transférées ou utilisées spontanément par les élèves. Ce constat a été expliqué par l'incompétence métacognitive des élèves et, plus précisément, par leur incapacité à évaluer l'utilité d'une stratégie et à contrôler son implémentation durant la tâche (Zimmerman, 2011). Pour pallier cette lacune, plusieurs chercheurs ont entrepris d'ajouter à l'enseignement des stratégies cognitives, des aspects métacognitifs tels que des informations relatives à l'efficacité des stratégies cognitives enseignées ou l'auto-verbalisation (Brown, Bransford, Ferrara & Campione, 1983 ; Paris & Paris, 2001). Il en ressort que, si les élèves transfèrent efficacement les stratégies cognitives apprises lorsqu'ils reçoivent un soutien métacognitif de la part de l'enseignant, seuls face à la tâche, ces derniers ne surveillent et ne contrôlent plus l'efficacité des stratégies mises en

œuvre. Parallèlement à cela, plusieurs chercheurs (Kuhl & Goschke, 1994 ; Rabinowitz, Freeman & Cohen, 1992 ; Rheinberg, Vollmeyer & Rollett, 2000) ont montré que, conscient des choix qu'il pose et de l'efficacité d'une stratégie donnée pour une tâche donnée, l'apprenant n'est pas toujours disposé à investir les ressources nécessaires pour contrôler et réguler son apprentissage. Ce constat amène les chercheurs à considérer d'autres aspects de l'apprentissage pour expliquer pourquoi les élèves échouent à mettre en œuvre ces stratégies par eux-mêmes. Est-ce parce qu'ils n'en voient pas l'utilité ?, parce qu'ils ne se sentent pas capables ?, parce que le rapport coût-bénéfice est inintéressant ?, etc. Ainsi, les raisons du (non) déploiement d'efforts par l'apprenant pour autoréguler ses apprentissages sont aussi à chercher du côté des facteurs motivationnels et émotionnels. Rappelons également ici le poids des croyances et présupposés relatifs aux différents aspects de la résolution de problèmes dans les démarches adoptées par les élèves, évoqué au chapitre 1. Il est donc aussi important de considérer les normes socio-mathématiques véhiculées au sein de la classe dans l'explication de la non mise en œuvre spontanée de ces stratégies par les élèves. C'est ainsi que les modèles théoriques de l'apprentissage autorégulé (« *self-regulated learning* » (SRL)), initialement, centrés sur les processus cognitifs et métacognitifs se sont progressivement élargis aux composantes affectives, motivationnelles/volitives, comportementales et contextuelles (normes socio-mathématiques) de l'apprentissage. De nombreux modèles décrivant comment ces processus sont structurellement interreliés ont été développés au cours du temps. Si les théoriciens mettent des accents différents sur ces différents processus (Boekaerts, 1996, 1997, 1999 ; Efklides, 2011 ; Pintrich, 2000 ; Winne, 2004 ; Zimmerman, 1986, 1998, 2008, 2011), ils se rallient à la définition proposée par Zimmerman (2001) décrivant le SRL comme un processus actif par lequel l'apprenant détermine des buts pour ses apprentissages, et tente ensuite de surveiller et de réguler sa cognition, sa motivation et ses comportements en étant guidé et contraint par les caractéristiques contextuelles de l'environnement.

Nous présentons ici les modèles SRL de Zimmerman, Pintrich et Efklides parce qu'ils illustrent l'évolution des composantes des modèles SRL – chaque modèle s'appuyant sur le(s) modèle(s) précédent(s) et y intégrant les dernières recherches menées dans le champ de l'éducation – et qu'ils s'agit des modèles les plus utilisés au sein de la littérature en psychologie de l'éducation – en tout cas les deux premiers, le troisième est encore trop récent pour le dire – (Cosnefroy, 2011 ; De la Fuente, Amate & Gonzalez-Torres, 2015).

2.2 Le modèle de l'apprentissage autorégulé de Zimmerman

A la suite de la théorie sociale cognitive¹⁹, Zimmerman a été le premier à envisager un modèle global de SRL. Il propose un modèle cyclique comprenant trois phases : la phase d'anticipation ou de préparation de l'action (« *forethought phase* ») qui a lieu en amont de

¹⁹ Les modèles SRL se sont développés dans la tradition de la théorie sociale cognitive de Bandura. Cette théorie postule que le fonctionnement humain (l'autorégulation) est le produit d'interactions entre des facteurs personnels (l'auto-efficacité surtout), comportementaux (auto-observations, auto-jugements, auto-réactions) et environnementaux (contexte physique et expériences sociales). L'individu est donc considéré à la fois comme le produit et le producteur (concept d'agentivité) de son environnement (Bandura, 1986).

l'activité d'apprentissage, la phase de performance (« *performance phase* ») qui a lieu pendant la réalisation de l'activité d'apprentissage, et la phase d'auto-réflexion (« *self-reflexion phase* ») qui prend place en aval de l'activité d'apprentissage (Figure 13).

La phase de **préparation de l'action** se caractérise par la mise en place d'un processus d'analyse de la tâche et par l'activation de croyances motivationnelles, par l'apprenant. L'analyse de la tâche consiste, d'une part, à se fixer un ou plusieurs objectif(s) et, d'autre part, à planifier les actions à entreprendre (pour une description plus détaillée de ces deux stratégies d'autorégulation cognitive, nous renvoyons le lecteur au chapitre 2). La mise en oeuvre de ces deux processus d'autorégulation dépend des croyances motivationnelles de l'apprenant (SEP, attentes de résultats, valeur de la tâche et orientation des buts). La phase de **performance** se caractérise par la mobilisation de deux types de processus: les stratégies d'auto-contrôle et d'auto-observation (ou monitoring). Dans le premier cas, il s'agit pour l'apprenant de surveiller, contrôler et réguler ses processus cognitifs, sa volition et sa motivation en recourant à des stratégies appropriées, et ce, afin de se concentrer sur la tâche et d'optimiser ses efforts. Des stratégies de contrôle et de régulation liées à la tâche sont ainsi déployées. Cependant, l'apprenant ne peut y arriver sans conjointement mobiliser des stratégies visant à maintenir sa volition²⁰ — contrôle de l'action et stratégies empêchant la rumination²¹ — et sa motivation — se récompenser/se punir, structurer son environnement physique, augmenter son intérêt pour la tâche. Parallèlement à ces stratégies de contrôle-régulation, l'apprenant met en place des stratégies d'auto-observation. Il s'agit de réaliser un suivi de certains aspects de sa performance, les conditions qui l'entourent et les effets qu'elle produit, par exemple, via l'enregistrement des traces de l'activité (Zimmerman 2001, 2011). De la sorte, l'apprenant peut se constituer une base de données qui lui permet de mettre à jour des patterns de conduites dysfonctionnelles qui pourraient être changés. Ensuite, une fois l'activité d'apprentissage terminée, il est important, d'une part, de comprendre les résultats obtenus et, d'autre part, de réfléchir sur la situation d'apprentissage qui vient d'être vécue. C'est le rôle de la phase **d'auto-réflexion**. Deux grandes classes de processus d'auto-réflexion sont identifiées dans la littérature : les auto-jugements et les auto-réactions. Les auto-jugements consistent à autoévaluer sa performance et à attribuer une signification causale au résultat obtenu (pour les attributions causales, nous renvoyons le lecteur au chapitre 2). L'auto-évaluation consiste à comparer les informations recueillies via la stratégie d'auto-observation avec un critère qui peut prendre la forme d'une échelle de progression de l'apprentissage, de performances antérieures ou d'une norme (Zimmerman, 2001). Concernant le processus d'auto-réaction, deux types sont classiquement distingués : l'auto-satisfaction et la production d'inférences. L'auto-satisfaction désigne la perception de satisfaction ou d'insatisfaction et les affects associés qui sont générés par la performance accomplie par l'individu (e.g., résolution avec succès d'un problème complexe, abandon face à une tâche trop difficile). Les inférences, quant à elles, sont des conclusions portant sur la

²⁰ La volition est définie comme le processus du passage de l'intention à l'acte ; la mise à exécution de ses intentions. Ainsi, les processus volitifs se distinguent des processus motivationnels en ce que les premiers sont postdécisionnels et que les premiers sont prédécisionnels (Corno, 1989 ; Kuhl, 1984). Notons que si certains considèrent la volition comme une dimension de l'apprentissage à part entière, d'autres l'associent à la motivation ou aux affects.

²¹ Précisons que dans son modèle de SRL, Zimmerman associe les stratégies de régulation émotionnelle aux stratégies volitives.

façon dont l'individu doit modifier son approche lors des tâches ultérieures. Ces inférences peuvent être adaptatives (e.g., sélection d'une stratégie plus efficace) ou défensives (e.g., évitement de la tâche, procrastination, désengagement cognitif, impuissance, apathie) (« *self-handicapping strategies* »). Si les inférences défensives servent à protéger l'individu contre de futures insatisfactions et des émotions déplaisantes, en d'autres termes, à protéger son estime de soi, elles limitent la progression personnelle. Ces auto-jugements et auto-réactions influencent, en retour, la qualité et la quantité d'efforts qui seront déployés lors des tâches ultérieures en colorant le choix, l'orientation des buts et les croyances motivationnelles de l'apprenant.

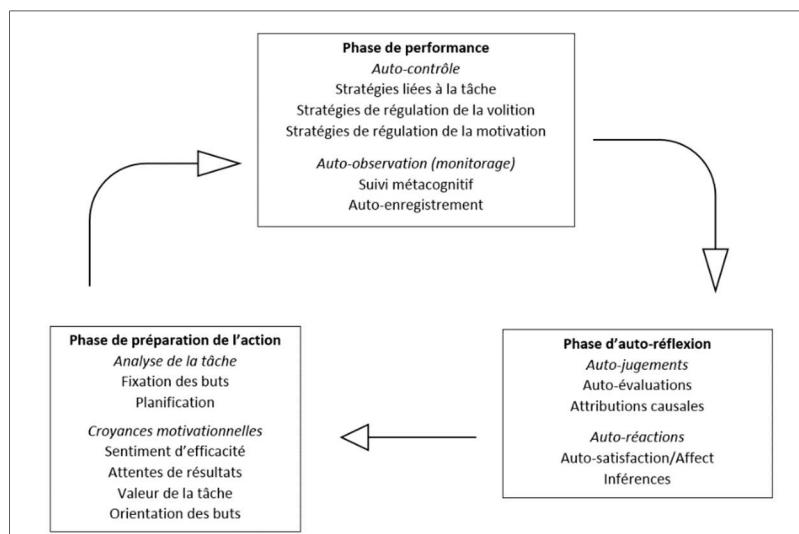


Figure 13. Phases et processus impliqués dans le modèle de l'apprentissage autorégulé de Zimmerman (Zimmerman, 2011)

Zimmerman propose une description des processus impliqués dans le SRL au niveau de l'individu. Or, comme le précise Efklides (2011), les processus d'autorégulation prennent place au niveau de l'interaction entre l'individu et la tâche. Pintrich (2000), lui, propose une description du SRL qui prend pour perspective cette interaction. De plus, s'appuyant sur les travaux montrant l'importance des affects, du comportement et de l'environnement pour l'apprentissage, Pintrich (2000) étend le champ de l'autorégulation à ces trois domaines.

2.3 Le modèle de l'apprentissage autorégulé de Pintrich

S'appuyant sur le modèle de Zimmermman, Pintrich (2000, 2004 ; Pintrich & Zusho, 2002) propose une vision plus large des processus et composantes en jeu lors des différentes phases d'un apprentissage autorégulé. Plus précisément, dans son modèle il distingue le monitoring du contrôle et propose ainsi un modèle en quatre phases : phase d'anticipation, planification et activation ; phase de monitoring ; phase de contrôle et phase de réactions et réflexion (Tableau 8). Ces phases représentent une séquence générale, théorique que les

individus traverseraient lorsqu'ils effectuent une tâche. En réalité, elles ne s'ordonnent pas nécessairement comme dans le modèle, mais peuvent être opérées simultanément et dynamiquement donnant lieu à de multiples interactions entre les processus et composantes constitutifs de chaque phase. De plus, il envisage quatre domaines de régulation, à savoir, la cognition, la motivation et l'affect et, le comportement et le contexte.

2.3.1 Phase d'anticipation, de planification et d'activation

Cette phase se caractérise par l'établissement d'un but ainsi que par l'activation de perceptions et de connaissances. Au niveau du domaine de la **cognition**, l'apprenant se définit un ou plusieurs but(s) et active, consciemment ou non, des connaissances pertinentes de contenu et des connaissances métacognitives (connaissances liées à la tâche et aux stratégies). Au niveau du domaine de la **motivation et de l'affect**, il s'agit de l'activation, par l'apprenant, d'une part, de jugements relatifs à son sentiment d'efficacité personnelle, à la difficulté perçue de la tâche, à la valeur de celle-ci et à son intérêt situationnel et, d'autre part, de sentiments et d'émotions. Au niveau du **comportement**, il s'agit, pour l'apprenant, de planifier son temps (réaliser un horaire) et ses efforts (réfléchir à la répartition de ses efforts, à l'intensité de son travail). Au niveau du **contexte**, il s'agit de l'activation ou de la perception, par l'apprenant, lorsqu'il entre en classe, des normes en vigueur au sein de celle-ci (e.g., travailler avec les autres est considéré comme de la triche, parler n'est pas autorisé, etc.) et du climat de classe. Ainsi, la (non) activation ou la (non) perception par l'apprenant des normes socio-mathématiques en vigueur au sein de la classe, évoquées au chapitre 1, influe sur ses apprentissages et ses performances. Ces normes nécessitent également la mise en oeuvre d'un processus de régulation.

2.3.2 Phase de monitoring

Cette phase concerne la mise en place de divers processus de monitoring qui ont pour fonction de rendre l'apprenant conscient des différents aspects de soi, de la tâche ou du contexte. Effectivement, pour être à même de contrôler et de réguler sa cognition, sa motivation, ses affects, ses comportements et son environnement, l'apprenant doit nécessairement être conscient de ces derniers. Les processus de contrôle sont donc engagés par l'individu à la suite du monitoring réalisé. Par rapport au domaine de la **cognition**, l'apprenant effectue des jugements pendant l'exécution de la tâche, par exemple, de sa compréhension. Ces jugements métacognitifs ont particulièrement été documentés par Nelson et Narens (1990) dans leur modèle explicatif du fonctionnement de la métamémoire. Citons le jugement d'apprentissage (« *judgment of learning* ») et le sentiment de connaître ou de savoir la réponse sans être capable de la rappeler (« *feeling-of-knowing judgment* »). Pour rappel, le premier permet à l'individu de se rendre compte qu'il n'a pas compris ce qu'il vient de lire ou d'entendre, qu'il lit trop longtemps par rapport à l'objectif qu'il s'est fixé ou qu'il est prêt ou non pour passer un test sur ce qu'il vient de réviser. Le second consiste à être conscient d'avoir lu ou entendu quelque chose dans le passé, mais de ne pas pouvoir le rappeler à la demande (e.g., à un test). Par rapport au domaine de la **motivation et de l'affect**, il s'agit pour l'apprenant de prendre conscience de sa propre motivation et de ses affects. Concernant le domaine du **comportement**, il s'agit pour l'apprenant de monitorer sa gestion

du temps et de l'effort en recourant à des processus d'auto-observation comme recueillir des traces de son activité. Du côté du **contexte**, afin de pouvoir bien fonctionner en classe, l'apprenant doit être conscient et monitorer les opportunités et les contraintes qui s'y opèrent. Les règles en vigueur au sein de la classe, les pratiques de notation, la structure de récompense, le niveau d'exigence des tâches, etc. sont autant d'aspects auxquels l'apprenant doit être attentif.

2.3.3 Phase de contrôle et de régulation

Cette phase concerne les efforts réalisés pour contrôler et réguler différents aspects de soi, de la tâche et du contexte qui se sont avérés inadaptés suite au monitoring effectué. Au niveau du domaine de la **cognition**, il s'agit de la sélection et de l'utilisation de stratégies cognitives diverses pour la mémorisation, l'apprentissage, le raisonnement ou la résolution de problèmes. Ce qui est en jeu ici n'est pas tant l'utilisation en tant que telle de ces stratégies mais, plutôt la décision ou le choix de les utiliser, d'arrêter de les utiliser ou d'en changer afin de réduire l'écart entre l'état désiré (le but fixé) et l'état actuel mis à jour par le monitoring. Au niveau du domaine de la **motivation et de l'affect**, il s'agit de sélectionner des stratégies appropriées pour contrôler et réguler sa motivation et ses affects. Pintrich (2000) évoque le fait de se parler à soi-même de manière positive et encourageante, de se promettre une récompense suite à la réalisation de la tâche ou encore de se répéter les conséquences positives de son travail. Au niveau du domaine du **comportement**, il s'agit, pour l'apprenant, de contrôler et de réguler le temps et les efforts alloués à l'étude ou à l'apprentissage. Sur la base du monitoring effectué et de la difficulté de la tâche, l'apprenant peut ainsi décider d'augmenter ses efforts ou de les diminuer, de persister ou d'abandonner et de demander ou non de l'aide. Concernant le domaine du **contexte**, le contrôle et la régulation des tâches et du contexte sont plus difficiles car ils ne sont pas sous le contrôle direct de l'apprenant. Cependant, ce dernier peut essayer de négocier à la baisse les exigences de la tâche comme demander de pouvoir utiliser la calculatrice pour résoudre un problème de mathématiques, de déplacer la date du test pour avoir le week-end pour réviser ou encore de n'avoir à effectuer en devoir que deux séries de calculs sur les trois. En dehors de la classe, l'apprenant a plus de contrôle sur son environnement de travail. Il peut ainsi limiter les distractions potentielles et rendre son environnement propice à l'apprentissage.

2.3.4 Phase de réactions et de réflexion

Cette phase concerne différents types de réactions et de réflexion sur soi, la tâche ou le contexte. Ces réactions et cette réflexion influencent les processus et croyances impliqués dans la phase d'anticipation, planification et activation et donc la réalisation des tâches ultérieures. En cela, le modèle de Pintrich est cyclique. Au niveau du domaine de la **cognition**, il s'agit pour l'apprenant d'effectuer des jugements (attributions causales) et évaluations relatifs à sa performance et à la façon dont il a résolu la tâche (e.g., l'efficacité des stratégies mises en œuvre). Par rapport au domaine de la **motivation et de l'affect**, il s'agit des réactions affectives de l'apprenant face à ses résultats et des attributions qu'il en fait. Concernant le domaine du **comportement**, il ne peut y avoir de réflexion sans cognition. Il s'agit donc plutôt ici de réflexions (cognitives) que l'apprenant a sur son comportement au

niveau de la quantité d'effort déployée et du temps alloué à la tâche. Ces réflexions peuvent amener l'apprenant à décider de faire à l'avenir des choix différents en termes de temps et d'effort. Finalement, au niveau du **contexte**, il s'agit d'effectuer une analyse générale de la tâche et/ou de l'environnement de la classe. Cela fait penser aux classes de l'enseignement primaire, dans lesquelles, très souvent des moments pour faire le point sur ce qui se passe bien et moins bien au sein de la classe sont institutionnalisés.

Tableau 8. Phases et domaines de l'apprentissage autorégulé selon Pintrich (2000)

Phases	Domaines de régulation			
	Cognition	Motivation/affect	Comportement	Contexte
Phase 1 : Anticipation, planification et activation	Etablissement d'un but cible Activation des pré- connaissances de contenu Activation des connaissances métacognitives	Adoption d'une orientation de but Jugements d'efficacité Perception de la difficulté de la tâche Activation de la valeur de la tâche Activation de l'intérêt	Planification du temps et de l'effort Planification de l'auto- observation du comportement	Perception de la tâche Perception du contexte
Phase 2 : Monitoring	Conscience métacognitive et monitoring de la cognition	Conscience et monitoring de la motivation et de l'affect	Conscience et monitoring de l'effort, de l'utilisation du temps, du besoin d'aide Auto-observation du comportement	Monitoring des changements de tâche et des conditions du contexte
Phase 3 : Contrôle	Sélection et adaptation des stratégies cognitives pour l'apprentissage et la pensée	Sélection et adaptation des stratégies pour le management de la motivation et de l'affect	Augmentation/diminution de l'effort Persistance, abandon Comportement de recherche d'aide	Changement ou renégociation de la tâche Changer ou quitter le contexte
Phase 4 : Réactions et réflexion	Jugements cognitifs Attributions	Réactions affectives Attributions	Comportements de choix	Evaluation de la tâche Evaluation du contexte

Si le modèle de Pintrich offre une vision plus complète des processus et composantes en jeu dans un apprentissage autorégulé, il présente, selon Efklides (2011) plusieurs limites. Premièrement, plusieurs processus et composantes appartenant à des domaines différents se chevauchent. Ainsi, la conscience et le monitoring de l'effort et du temps ne peuvent être dissociés des jugements d'efficacité et de la facilité d'apprendre, impliqués dans l'autorégulation de la cognition et de la motivation/affect. De façon similaire, les perceptions de la tâche et du contexte, activées lors de la phase d'anticipation, de planification et d'activation du contexte, sont étroitement liées aux connaissances métacognitives liées aux tâches qui relèvent, elles, du domaine de la cognition. En bref, il semblerait que la régulation du comportement et du contexte reposent, pour partie, sur certains processus impliqués dans la régulation de la cognition et de la motivation/affect. Pour éviter ces chevauchements, Efklides propose un modèle SRL centré sur deux domaines uniquement : la cognition et l'affect/motivation. Deuxièmement, le modèle de Pintrich (2000) ne prend pas en compte les travaux récents qui ont mis en évidence l'influence réciproque entre, d'une part, les caractéristiques relativement stables d'une personne qui se sont façonnées au cours des

différentes occasions d'apprentissage (« traits ») et, d'autre part, le traitement de la tâche et les expériences subjectives associées (Ahmed et al., 2010). Ces travaux ont par contre été considérés par Efklides qui propose un modèle SRL reposant sur deux processus d'autorégulation interdépendants. Un processus « top-down » guidé par les caractéristiques de la personne et, un processus « bottom-up », guidé par l'interaction entre la personne et la tâche. Son modèle est présenté au point suivant.

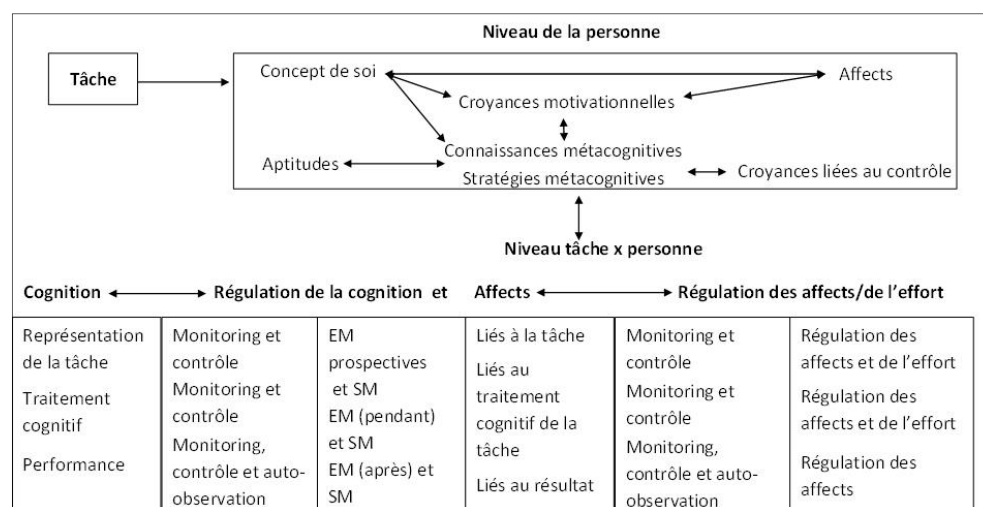
2.4 Le modèle de l'apprentissage autorégulé selon Efklides

Selon Efklides (2011) quand on parle d'autorégulation, il faut prendre en compte deux niveaux: le niveau de la personne et le niveau de l'interaction personne-tâche. L'instauration d'un dialogue dynamique et réciproque entre ces deux niveaux constitue le fondement du modèle métacognitif et affectif de l'apprentissage autorégulé proposé par Efklides (« *the Metacognitive and Affective Model of SRL* » (MASRL)) (Figure 14).

Au niveau de la personne, la tâche est perçue de façon générale, c'est-à-dire comme représentative d'une famille de tâches plutôt que comme une tâche spécifique. Par rapport à cette tâche, l'individu se lance dans une analyse brute, c'est-à-dire qu'il se fait une perception globale des exigences de la tâche, sans rentrer dans le détail ni dans le traitement de celle-ci. Pour cela, il active des caractéristiques relativement stables (ou traits) qui se sont formées au travers des différentes occasions d'apprentissage. Ces caractéristiques sont de nature cognitive (les compétences, connaissances et aptitudes de la personne), métacognitives (les stratégies métacognitives habituelles de la personne pour contrôler et réguler son apprentissage), motivationnelles (l'orientation des buts d'accomplissement, le sentiment d'efficacité personnelle, la valeur de la tâche, le concept de soi, etc.) , affectives (attitudes et émotions en tant que dispositions durables) et volitives (la perception de contrôle). Ainsi, face à un problème de mathématiques, l'apprenant pourrait, par exemple, se dire : « c'est une tâche de résolution de problèmes mathématiques ; c'est un problème de prix d'achat-prix de vente ; généralement, je me débrouille bien dans ce type de problème ; j'aime bien ce type de problème ; je vais être capable de le résoudre ». Cette analyse brute qui résulte de l'interaction entre les différentes caractéristiques plus stables de la personne, aboutit à des décisions concernant l'engagement de l'individu dans la tâche qui lui a été soumise, et plus spécifiquement, à l'effort à y investir et à la façon de la traiter. Cependant, les décisions prises peuvent être modifiées et annulées suite aux informations provenant du monitoring du traitement « online » de la tâche et des expériences subjectives associées (niveau de l'interaction personne-tâche). Ainsi, l'apprenant peut s'être engagé dans la tâche avec la croyance qu'il peut résoudre facilement le problème et tout en travaillant dessus, dû au sentiment de difficulté éprouvé, décider d'abandonner. Si la décision de traiter la tâche se fait au niveau de la personne, le traitement de la tâche en lui-même s'opère au niveau de l'interaction personne-tâche. Efklides identifie trois phases dans le traitement de la tâche : la représentation de la tâche, le traitement cognitif et la performance. Soulignons que contrairement aux deux modèles précédents, ici les processus de monitoring et de contrôle sont présents dans les trois phases.

La phase de représentation de la tâche comprend une inspection plus approfondie des spécificités de la tâche à accomplir qui affine ainsi l'analyse brute effectuée au niveau de la personne et aboutit à la définition d'un but et à la planification des actions à mettre en œuvre. Le monitoring ici se fait via des expériences métacognitives prospectives qui informent sur la maîtrise de la tâche demandée (sentiment de familiarité, « *ease-of-learning judgment* », « *feeling of knowing* »), ou le manque de maîtrise (sentiment de difficulté ou d'incompréhension). Ces expériences métacognitives induisent une espérance de succès ou d'échec ainsi que des réactions affectives positives ou négatives. Dans le cas où le processus de monitoring conclut au manque de maîtrise, des processus de contrôle sont mis en œuvre comme la recherche active en mémoire d'informations pertinentes, une estimation de l'effort à investir et du temps nécessaire pour accomplir la tâche. Notons que si les affects négatifs interfèrent avec la construction d'une représentation de la tâche, un processus de régulation peut être mis en œuvre. L'objectif est alors de recentrer l'attention sur le traitement de la tâche. La phase du traitement cognitif correspond, pour sa part, à l'exécution de la tâche. Le monitoring porte ici sur le traitement cognitif en tant que tel. Ce monitoring induit, à nouveau, des expériences métacognitives parmi lesquelles, le sentiment de difficulté (« *feeling of difficulty* »), le sentiment de connaître (« *feeling of knowing* ») et le jugement d'apprentissage (« *judgment of learning* ») qui informent l'individu de la qualité et des caractéristiques de son traitement cognitif. Dans le cas de la mise à jour d'une erreur ou d'un dysfonctionnement au niveau du traitement cognitif, les expériences métacognitives déclenchent des processus de contrôle et de régulation relatifs à l'utilisation des stratégies cognitives. Ces expériences métacognitives déclenchent également des réactions affectives. Dans le cas de réactions négatives, un processus de régulation peut être mis en œuvre. La fin du traitement cognitif marque le début de la dernière phase, la phase de performance. Des expériences métacognitives qui assument le monitoring du résultat du traitement cognitif sont alors induites. On y retrouve le jugement d'exactitude de la solution (« *estimate of solution correctness* »), le sentiment de confiance (« *feeling of confidence* ») et le sentiment de satisfaction (« *feeling of satisfaction* »). Des affects positifs (appréciation de la tâche dans le cas d'un traitement réussi) ou négatifs (anxiété dans le cas d'erreurs détectées) accompagnent également le monitoring du résultat du traitement cognitif. Dans le cas où le résultat du traitement cognitif est conforme à ce qui était attendu, l'individu peut se lancer dans une auto-observation de sa performance. Il s'agit alors de réfléchir aux expériences métacognitives et affectives vécues tout au long du traitement cognitif et d'attribuer des causes à sa performance. Dans la perspective du cycle suivant, les affects inadéquats, ressentis durant cette troisième phase, peuvent être soumis à un processus de régulation.

Précisons que si l'individu démarre la tâche avec des caractéristiques personnelles relativement stables, celles-ci s'affinent au contact de la tâche pour devenir des expériences subjectives et affectives spécifiques et transitoires, qui, en retour, informent et colorent les premières. Ces allers-retours entre le niveau personne et le niveau personne-tâche prennent place durant les trois phases.



Note. EM = expériences métacognitives ; SM = stratégies métacognitives.

Figure 14. Le MASRL modèle (Efklides, 2011)

En nous appuyant sur les apports théoriques de ces quatre premiers chapitres, nous proposons un modèle SRL adapté au domaine de la résolution de problèmes et aux élèves en fin d'enseignement primaire.

3. Vers un modèle adapté de l'apprentissage autorégulé

Le modèle que nous proposons ici repose à la fois sur les modèles SRL présentés au début de ce chapitre et sur les contenus théoriques présentés dans les trois premiers chapitres. Seules les composantes (méta)cognitives, (méta)motivationnelles et (méta)émotionnelles pertinentes pour la résolution de problèmes mathématiques et les élèves de cinquième et sixième primaire ont été retenues. Précisons que ce modèle est le point de départ des différentes études empiriques (chapitres 6 à 14) que nous avons conduites dans le cadre de cette thèse.

Contrairement au modèle d'Efklides (2011), le modèle que nous proposons comprend trois phases : une phase de préparation de l'action, une phase d'action et une phase de réactions et de réflexion (Figure 15). La phase de monitoring a été retirée en raison de la charge cognitive supplémentaire qu'elle représente. Effectivement, la surveillance continue de l'action s'effectue parallèlement à l'activité menée. Il y a donc, comme le précise Focant (2008), une charge cognitive double pour l'apprenant : ce dernier doit simultanément résoudre le problème et monitorer son processus de résolution. Or, lorsque les procédures cognitives ne sont pas automatisées, ce qui est souvent le cas chez les enfants du primaire, la stratégie de monitoring se révèle particulièrement difficile à mener (Focant, 2008).

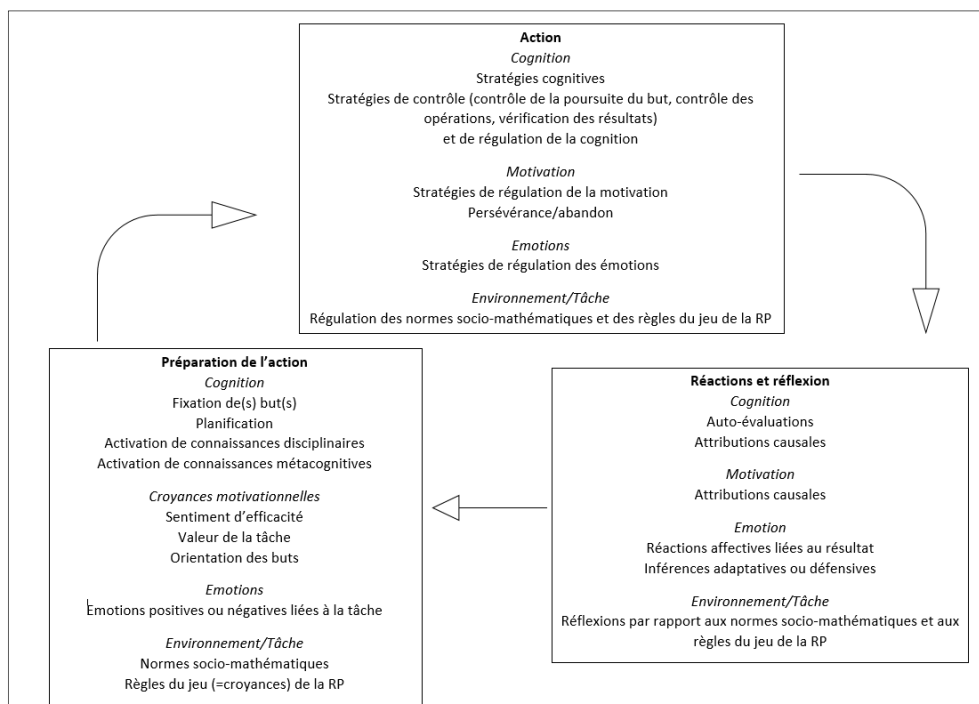
Durant la phase de **préparation de l'action**, l'apprenant se fixe un ou plusieurs buts (Efklides, 2011 ; Pintrich, 2000 ; Zimmerman, 2001, 2011). Si l'un des buts est de s'appropriier la question posée dans l'énoncé du problème (e.g., trouver le nombre de bus

nécessaires pour amener x personnes au zoo), l'apprenant peut se définir, de façon complémentaire, un autre but, davantage personnalisé (e.g., ne pas abandonner dès que je rencontre une difficulté ; ne pas utiliser la calculatrice ; réussir le problème sans me faire aider ; etc.). Le but « imposé » par la tâche donne un cadre qui permet d'activer les connaissances disciplinaires spécifiques au domaine et au type d'activité ainsi que les connaissances métacognitives que l'élève juge potentiellement utiles à la réalisation de la tâche (Efklides, 2011 ; Pintrich, 2000). Ensuite, l'apprenant anticipe et sélectionne les procédures et stratégies à mettre en œuvre pour mener à bien la tâche et planifie leur mise en œuvre (Efklides, 2011 ; Zimmerman, 2001, 2011). Parallèlement, au contact de la tâche, les croyances motivationnelles plus stables de l'apprenant concernant les tâches de résolution de problèmes en général (Efklides, 2011 ; Pintrich, 2000 ; Zimmerman, 2001, 2011) de même que des réactions affectives positives ou négatives (Efklides, 2011) sont activées. Des jugements relatifs à sa capacité à accomplir la tâche, à la valeur qu'il accorde à celle-ci, à son degré de contrôlabilité, etc. ainsi que des émotions sont donc présents dans sa tête. Par ailleurs, comme l'a souligné Pintrich, la tâche proposée à l'apprenant prend place dans un contexte spécifique, ici, la classe de mathématiques. L'enjeu est alors pour ce dernier d'activer les règles du jeu qui régissent les tâches de résolution de problèmes.

La phase d'**action** consiste à mettre en œuvre les stratégies cognitives et procédures planifiées (Efklides, 2011 ; Pintrich, 2000). Cette mise en œuvre doit, cependant, être surveillée et adaptée (si nécessaire) afin d'assurer une efficacité optimale (Efklides, 2011 ; Pintrich, 2000 ; Zimmerman, 2001, 2011). Ces fonctions sont assurées par les stratégies de contrôle (contrôle de la poursuite du but, contrôle des opérations et vérification des résultats, nous renvoyons le lecteur au chapitre 2 pour plus de précision) et de régulation. Cependant, il n'y a pas que le traitement cognitif de la tâche qui nécessite d'être contrôlé et régulé, la motivation (Pintrich, 2000 ; Zimmerman, 2001, 2011) et les émotions (Efklides, 2011 ; Pintrich, 2000) de l'apprenant également. Le contexte et, plus particulièrement les normes socio-mathématiques activées durant la phase de préparation de l'action doivent pouvoir être régulées, elles aussi, et non dicter les actions de l'apprenant. Ainsi, si après 5 minutes de recherche, l'apprenant n'arrive pas à résoudre le problème, plutôt que de se dire que ce n'est pas normal et d'abandonner – et cela sur la base de la croyance selon laquelle tout problème se résout en 5 minutes –, il doit remettre en question sa croyance et persévérer. Par ailleurs, la présence d'indices et l'utilisation libre de la calculatrice pourraient permettre à l'apprenant de moduler les exigences de la tâche.

Une fois la tâche achevée, il s'agit, pour l'apprenant, de se lancer dans une phase de **réactions et de réflexion** par rapport à sa performance et à la façon dont il a résolu la tâche (Efklides, 2011 ; Pintrich, 2000 ; Zimmerman, 2001, 2011). Plus précisément, il s'agit d'autoévaluer sa performance au regard du but fixé ainsi que l'efficacité des stratégies mises en place et, d'expliquer son résultat via un processus d'attributions causales. En parallèle, sur la base des réactions affectives induites par le résultat obtenu (Efklides, 2011 ; Zimmerman, 2001, 2011), l'apprenant réalise des inférences adaptatives ou défensives concernant les tâches de résolution de problèmes ultérieures (Zimmerman, 2001, 2011). En réfléchissant à la façon dont le traitement de la tâche s'est déroulé, l'apprenant pourrait s'interroger sur la

congruence entre les normes socio-mathématiques et règles activées lors de la phase de préparation de l'action et la manière dont la tâche s'est véritablement passée. Ainsi, il pourrait se rendre compte qu'un problème ne contient pas toujours toutes les informations nécessaires et qu'il faut parfois prendre en compte des informations du monde réel ou encore que la réponse à un problème n'est pas toujours précise et numérique ou qu'il est normal de prendre plus que cinq minutes pour résoudre un problème. De manière cyclique, cette réflexion et ces réactions amènent des changements au niveau des croyances motivationnelles, émotions, connaissances et normes socio-mathématiques qui seront activées, par l'apprenant, lors des tâches de résolution de problèmes ultérieures.



Note. RP= résolution de problèmes.

Figure 15. Modèle de l'apprentissage autorégulé adapté au contexte de la résolution de problèmes mathématiques et aux élèves en fin d'enseignement primaire

4. Qu'en est-il au niveau empirique ?

Comme le soulignent plusieurs chercheurs (Boekaerts, Pintrich & Zeidner, 2000 ; Dignath & Buettner, 2008 ; Stoeger & Ziegler, 2011) dans la plupart des études à visée interventionniste s'inscrivant dans le champ théorique de l'apprentissage autorégulé, seuls quelques processus sont systématiquement enseignés. Tzohar-Rozen et Kramarski (2014, 2017) précisent à ce propos que dans le domaine de la résolution de problèmes mathématiques, l'emphasis est presque exclusivement mise sur les processus de nature cognitive et métacognitive. Afin d'élargir la littérature sur le sujet, ces deux chercheuses ont

conduit, tout récemment, deux études, reposant sur le programme IMPROVE, auprès d'élèves de cinquième primaire. Dans une première étude (Tzohar-Rozen & Kramarski, 2014), ces chercheuses ont comparé deux interventions en résolution de problèmes mathématiques reposant sur l'enseignement direct et explicite de processus d'autorégulation de nature différente : une intervention métacognitive (connaissances et stratégies métacognitives) et une intervention motivo-émotionnelle (orientations des buts d'accomplissement, conscience émotionnelle et motivationnelle, stratégies de régulation émotionnelle et motivationnelle), toutes deux basées sur le modèle de l'apprentissage autorégulé de Pintrich²² (voir paragraphe 2.3). Deux pratiques méthodologiques guident ces interventions : l'enseignement explicite (accent sur le sens et l'utilité des stratégies) et l'auto-questionnement. L'enseignement explicite des stratégies métacognitives et des stratégies de régulation motivo-émotionnelles s'axe tant sur la composante déclarative (quoi), procédurale (comment) que conditionnelle (quand et pourquoi) et s'inscrit donc dans l'approche préconisée par Veenman et ses collègues (2003). Comme mentionné dans la présentation du programme IMPROVE, au chapitre 1, l'auto-questionnement porte sur quatre types de questions métacognitives – des questions de compréhension, de connexion, de stratégies et de réflexion – et a pour but d'augmenter la conscience qu'à l'apprenant de ce qu'il fait, des raisons qui guident ses actions et de sa propre compréhension du processus de résolution. Concrètement, chaque groupe a reçu une intervention de dix heures réparties sur cinq semaines durant lesquelles les stratégies apprises lors de la première leçon sont réinvesties dans de nouveaux problèmes et discutées avec l'ensemble de la classe. Leurs résultats montrent que chaque condition devance l'autre sur certaines dimensions pour lesquelles elle a été formée. Ainsi, les apprenants dans la condition « métacognition » s'en sortent mieux au niveau des stratégies métacognitives tandis que les apprenants dans la condition « motivo-émotionnelle » affichent moins de buts de performance, tant de type « approche » que de type « évitement ». Cependant, aucune différence entre les deux conditions n'a été observée tant au niveau des connaissances métacognitives, des émotions ressenties que des buts de maîtrise. Concernant les connaissances métacognitives, Tzohar-Rozen et Kramarski (2014) précisent que ces dernières sont développées avant que l'apprenant n'entre à l'école. Arrivés en cinquième primaire, les élèves en sont donc déjà dotés. S'agissant des émotions et des buts de maîtrise, les auteurs rappellent que plusieurs études ont montré que favoriser une prise de conscience métacognitive conduit à une amélioration des processus d'autorégulation dans leur ensemble (Hoffman, 2010 ; Kramarski & Gutman, 2006 ; Kramarski & Mizrachi, 2006). Ce constat est appuyé par l'évolution similaire des deux groupes au niveau de leurs performances en résolution de problèmes et de leur capacité à transférer les compétences acquises dans une nouvelle tâche.

Ces résultats ont été approfondis dans une seconde étude (Tzohar-Rozen & Kramarski, 2017). L'objectif était à nouveau de comparer plusieurs interventions en résolution de problèmes, basées sur le modèle de l'apprentissage autorégulé de Pintrich (2000), auprès d'élèves de cinquième primaire. A la différence que cette fois, outre la condition

²² Notons que la phase de monitoring et la phase de contrôle ont été rassemblées, par les auteurs, en une seule et même phase et ce en raison de la difficulté, pour des élèves de cinquième primaire, de distinguer les deux.

« métacognition » (MC) et une condition « méta-émotionnelle » pure (ME), s'ajoute un groupe contrôle (C). Notons que le contenu de la condition « méta-émotionnelle » vise maintenant le développement de compétences émotionnelles²³, principalement, l'identification, la compréhension et la régulation. L'intervention d'une durée de dix heures, réparties sur cinq semaines, repose à nouveau sur l'enseignement explicite et l'auto-questionnement. A la comparaison quantitative classique des trois conditions, Tzohar-Rozen et Kramarski ont ajouté, après la fin de l'intervention, un focus groupe avec 30 élèves (10 de chaque condition) durant lequel les élèves ont été amenés à verbaliser leurs actions et pensées durant la résolution d'un nouveau problème. L'analyse quantitative révèle l'absence de différence de performance, tant au niveau de la tâche classique de résolution de problèmes qu'au niveau de la tâche de transfert, entre les deux conditions expérimentales. Par contre, ces dernières se distinguent toutes deux positivement du groupe contrôle. L'analyse qualitative, quant à elle, fait ressortir un usage, par les trois groupes, de processus métacognitifs dont la fréquence est significativement différente. Ainsi, le groupe MC est celui qui présente l'utilisation la plus importante, suivi du groupe ME et, loin derrière, du groupe contrôle. Si le groupe MC (100% des sujets) recourt aux processus métacognitifs tant à la phase de planification, de contrôle et monitoring que de réflexion, le groupe ME (80% des sujets) n'y recourt qu'aux deux premières phases et le groupe contrôle (50% des sujets) qu'à la première. Il est à noter que si le groupe MC mobilise les processus de contrôle et de monitoring de façon intégrative, le groupe ME y recourt de façon séparée. Au niveau des processus méta-émotionnels, seul le groupe ME y fait référence et ce, de façon substantielle, aux trois phases.

5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons débuté par la présentation du modèle de la valeur et du contrôle des émotions d'accomplissement, proposé par Pekrun, qui illustre l'étroite relation entre les caractéristiques du contexte, les spécificités individuelles, la motivation, les émotions d'accomplissement et les mécanismes cognitifs sous-tendant l'apprentissage. Si de nombreuses études empiriques ont confirmé le postulat de base de cette théorie, à savoir le rôle de la motivation comme antécédent proximal des émotions (Frenzel et al., 2007 ; Govaerts, 2006 ; Op't Eynde, De Corte & Verschaffel, 2007 ; Pekrun et al., 2009 ; Pekrun et al., 2010), très peu se sont intéressées à la relation inverse (Kim & Hodges, 2012) et ce malgré la bidirectionnalité de la relation posée par le modèle. Or, comme nous l'avons précisé au chapitre 3, les émotions jouent un rôle important dans la motivation et l'engagement des élèves. Mieux comprendre l'influence des émotions d'accomplissement sur les différentes croyances motivationnelles des apprenants pourrait constituer un levier supplémentaire pour faire face aux problèmes de démotivation et de désengagement observés à tous les niveaux de la scolarité. On pourrait ainsi isoler des émotions déterminantes pour la motivation de l'apprenant et travailler prioritairement leur régulation.

²³ Précisons que les chercheurs ne parlent pas explicitement de compétences émotionnelles mais s'appuient sur les différentes phases du modèle de Pintrich qui se rapprochent fortement des cinq compétences émotionnelles décrites au chapitre 3.

Dans un second temps, nous avons souligné le rôle central joué par les émotions et la motivation dans l'initiation d'un apprentissage autorégulé ainsi que dans le maintien des efforts déployés tout au long de ce dernier. Si les chercheurs reconnaissent qu'à l'heure actuelle il n'est plus pertinent de se pencher sur des processus d'apprentissage sans prendre en compte le rôle conjoint joué par les facteurs (méta)cognitifs, (méta)motivationnels et (méta)émotionnels, dans les faits, cela est peu fait. Effectivement, tant les études à visée compréhensive que celles à visée interventionniste mettent l'emphasis uniquement sur une voire, deux dimensions de l'apprentissage. Si l'on s'attarde sur les premières, les études à visée compréhensive se penchent principalement sur les comportements et stratégies cognitifs et métacognitifs adoptés par différents profils d'élèves, n'adressant les dimensions motivationnelles et émotionnelles que très superficiellement, voire pas (Breslow, 2001 ; Hannula, 2002 ; Muir et al., 2008 ; Op't Eynde et al., 2006 ; Schoenfeld, 1992 ; Zimmerman & Campillo, 2003). Or, comme le soulignent les modèles SRL c'est justement la compréhension de la manière dont ces processus interfèrent les uns avec les autres qui permet d'accéder à la complexité de l'apprentissage en question, dans notre cas, aux enjeux de l'acquisition d'une expertise adaptative. Si l'on se penche maintenant, sur les études à visée interventionniste, à l'exception des deux études, au statut exploratoire, conduites tout récemment par Tzohar-Rozen et Kramarski (2014, 2017), la plupart des études de ce type se centrent sur l'enseignement explicite soit de contenus (méta)cognitifs soit de contenus (méta)émotionnels et évaluent les effets de cet enseignement sur un seul type de variables (cognitives ou émotionnelles). Or, comprendre comment en travaillant sur une dimension de l'autorégulation, on affecte les autres dimensions semble crucial pour concevoir des interventions pédagogiques efficaces. Ainsi, on peut se demander si un enseignement centré sur le développement de conduites d'autorégulation cognitive induit chez l'apprenant des conduites d'autorégulation de ses émotions. Ou si ces dernières doivent être explicitement enseignées. Et dans ce dernier cas, quelle serait alors la plus-value d'une intervention cognitivo-émotionnelle ? Si les études de Tzohar-Rozen et Kramarski adressent, en partie, ces questions, leurs résultats ne sont pas consistants. Des études supplémentaires semblent donc nécessaires pour éclairer davantage ces questions.

Ces limites et questionnements sont repris au chapitre suivant. Dans ce dernier, nous expliquons comment nous comptons, dans la partie empirique de cette thèse, traiter les limites et questionnements soulevés au travers des différents chapitres théoriques de cette thèse.

Chapitre 5

Questions de recherche

Questions de recherche

A la suite de chaque chapitre théorique, plusieurs limites et questionnements ont été épinglés. Dans ce chapitre, nous revenons sur ces derniers et nous exposons la manière dont nous envisageons d'y apporter des éléments de réponse au travers des différentes études conduites dans le cadre de cette thèse (pour une synthèse de ces études, voir tableau 9).

1. Les émotions, un antécédent important de la motivation ?

A la lecture des différents chapitres théoriques de cette thèse, on comprend que favoriser l'acquisition par l'apprenant d'une expertise adaptative intégrale nécessite d'avoir bien cerné la façon dont ses différentes composantes s'influencent mutuellement. Effectivement, ce n'est qu'en comprenant en profondeur les imbrications étroites entre les processus (méta)cognitifs, (méta)motivationnels et (méta)émotionnels que l'on peut saisir les enjeux d'une telle acquisition et ainsi concevoir des dispositifs d'enseignement-apprentissage réellement efficaces. A ce sujet, nous avons souligné au chapitre 4 que si le rôle de la motivation (notamment le contrôle et la valeur perçus) en tant qu'antécédent des émotions avait été largement documenté au sein de la littérature portant sur le domaine des mathématiques, ce n'était pas le cas de la relation inverse. Et pourtant, éclairer le rôle des émotions d'accomplissement comme antécédents de la motivation permettrait, d'une part, de produire de nouvelles connaissances sur la relation bidirectionnelle entre ces deux dimensions et, d'autre part, de mettre à jour des leviers supplémentaires pour faire face aux attitudes de désengagement et de démotivation des apprenants. Ainsi, identifier le(s) prédicteur(s) émotionnel(s) spécifiques des différentes croyances motivationnelles des individus contribuerait à la conception d'interventions motivo-émotionnelles plus ciblées. Cet objectif est adressé dans l'étude présentée au **chapitre 6** (étude 1). Plus précisément, à travers cette étude, nous avons cherché à mettre en évidence les patterns d'émotions (émotions associées à l'accomplissement d'activités vs. émotions associées aux résultats de ces activités) qui prédisent le mieux la valeur perçue, le sentiment de compétence et l'engagement comportemental en mathématiques, des élèves de première secondaire. En outre, afin d'enrichir nos connaissances sur la relation entre les différentes émotions d'accomplissement et les performances en mathématiques, nous nous sommes également penchée sur la capacité de différentes émotions d'accomplissement à expliquer les performances des élèves. Cette première étude, par la mise à jour d'émotions prégnantes, sert de point de départ aux études ultérieures (n°1, figure 16).

Comme nous l'avons souligné dans l'introduction générale de cette thèse, la résolution de problèmes est l'un des objets mathématiques qui posent le plus de difficultés aux élèves et qui questionnent beaucoup les enseignants. Pour cette raison, dans les études suivantes, nous avons choisi de nous intéresser à cet objet mathématique en particulier.

2. Impact d'une intervention cognitive et métacognitive en résolution de problèmes ? Zoom sur les émotions, les stratégies heuristiques enseignées et les bénéfices retirés par différents profils d'élèves

Au chapitre 1, nous avons montré, preuves empiriques à l'appui, que moyennant l'instauration d'un dispositif d'enseignement-apprentissage approprié il était possible d'encourager l'usage par les élèves de stratégies heuristiques et d'améliorer leurs performances en résolution de problèmes. Pour rappel, nous entendons par « dispositif d'enseignement-apprentissage approprié », un dispositif qui met l'accent sur la reconceptualisation des tâches de résolution de problèmes comme des exercices de modélisation mathématique, l'enseignement explicite de stratégies heuristiques selon la règle WWW&H, la promotion d'une utilisation flexible et adaptative de ces dernières, la modification de la nature des problèmes proposés, la promotion des interactions entre pairs et l'établissement de nouvelles normes socio-mathématiques. Au chapitre 2, nous avons vu que lorsque ces dispositifs s'adjoignent à un enseignement explicite de stratégies d'autorégulation cognitive, les résultats sont encore meilleurs. Cependant, si ces résultats sont encourageants, ces études présentent plusieurs limites qui ne permettent pas de circonscrire complètement les processus en jeu dans l'acquisition d'une expertise adaptative.

Trois limites ont été pointées. Premièrement, les effets de ces interventions en termes de fréquence d'utilisation des stratégies heuristiques enseignées sont souvent mesurés de façon globale. Les recherches concluent ou non à l'augmentation de la fréquence d'utilisation entre le prétest et le post-test mais sans préciser si celle-ci concerne toutes les stratégies ou non. Or, nous avons mentionné, en fin de chapitre 1, plusieurs arguments qui laissent penser que les stratégies heuristiques se développent à des rythmes différents. Dès lors que chaque stratégie joue un rôle spécifique au sein du processus de résolution de problème, répondre à cette question s'avère essentiel pour être en mesure de concevoir des interventions qui sont efficaces dans le développement de chacune d'elles. Deuxièmement, ces mêmes études concluent bien souvent à l'efficacité du dispositif mis en place tant pour les élèves faibles, moyens que forts, sans apporter aucune nuance. Or, au chapitre 1, nous avons souligné que ces différents profils d'élèves n'abordent pas les tâches de résolution de problèmes avec le même bagage de stratégies et de croyances. On peut dès lors raisonnablement penser qu'ils ne retireront pas les mêmes bénéfices de l'intervention. Se pencher sur cette question permettrait de mieux cerner leurs besoins respectifs et, par l'identification des besoins non satisfaits, d'ajuster l'intervention initiale afin de la rendre encore plus efficace. Troisièmement, dans ces études, les effets du dispositif d'enseignement-apprentissage mis en place sont principalement mesurés en termes cognitifs. Or, comme nous l'avons vu au chapitre 3, les émotions influencent de nombreux processus cognitifs dont la manière de traiter l'information. Pekrun (2006), dans sa théorie du contrôle et de la valeur des émotions d'accomplissement, précise que les émotions et les processus cognitifs sont bidirectionnellement liés. Ces différentes informations suggèrent qu'une intervention cognitive et métacognitive pourrait avoir un effet sur les émotions de l'apprenant. Soumettre cette hypothèse à l'épreuve des faits, c'est adopter une vision holistique de la résolution de

problème, comme préconisé par les modèles SRL. Le vécu émotionnel particulièrement négatif des élèves vis-à-vis des tâches de résolution de problèmes renforce la pertinence de tester cette hypothèse.

Ces trois limites sont traitées dans l'étude présentée au **chapitre 7** (étude 2). Cette étude porte sur l'implémentation, auprès d'élèves de première secondaire, d'un dispositif quasi-expérimental (prétest, post-test, classes expérimentales et contrôles) en résolution de problèmes mathématiques. Ce dispositif répond à la majorité des caractéristiques dépeintes au chapitre 1 : reconceptualisation des tâches de résolution de problèmes, enseignement explicite de stratégies cognitives et métacognitives reposant sur la règle WWW&H, promotion d'une utilisation flexible et adaptative de ces dernières, modification de la nature des problèmes proposés et établissement d'un climat de classe qui favorise l'établissement de nouvelles normes socio-mathématiques. Cette étude tente de dépasser les limites précitées, d'une part, en mesurant les effets du dispositif mis en œuvre sur la fréquence d'utilisation de chacune des stratégies heuristiques enseignées et sur les émotions positives et négatives expérimentées et, d'autre part, en se penchant sur les bénéfices spécifiques retirés par les résolveurs « novices » et « experts ».

3. Quelle est la charge cognitive d'une telle intervention et quel est l'effet de cette dernière sur la nature des stratégies de régulation émotionnelle utilisée par l'apprenant ?

Deux éléments nous ont conduite à approfondir l'étude précédente. Premièrement, dans l'étude 2 nous cherchions à savoir si travailler les dimensions cognitives et métacognitives de la résolution de problèmes a un effet sur la dimension affective et cela, en mesurant les émotions ressenties par les élèves. Cependant, qui dit changement d'émotions, dit mise en place d'un processus de régulation émotionnelle. Afin de mieux comprendre le lien entre les processus (méta)cognitifs et (méta)émotionnels impliqués dans le développement d'une expertise adaptative en résolution de problèmes, il semble nécessaire de se pencher non seulement sur les émotions des élèves, mais également sur la nature des stratégies qu'ils utilisent pour réguler ces dernières. C'est notamment l'objet de l'étude présentée au **chapitre 9** (étude 4). Cette étude repose sur un dispositif quasi-expérimental semblable à celui utilisé pour l'étude 2. Aux variables mesurées dans l'étude 2, nous avons ajouté le type de stratégies de régulation émotionnelle utilisé par l'apprenant. Deuxièmement, les travaux de Focant (2004), présentés au chapitre 2, ont mis en évidence la charge cognitive élevée induite par un traitement simultané de plusieurs stratégies d'autorégulation cognitive. La question se pose ici de savoir si l'enseignement explicite et simultané d'un nombre élevé de stratégies heuristiques et de stratégies d'autorégulation cognitive ne constitue pas une charge cognitive trop importante pour l'apprenant. Comme nous l'avons soulevé dans la conclusion du chapitre 2, les recherches empiriques reposant sur la théorie de la charge cognitive et les travaux en didactiques des mathématiques tiennent des discours opposés sur cette question. Pour rappel, si les premières recommandent un enseignement individualisé de ces stratégies pour les élèves « novices », les seconds conseillent de traiter les tâches de résolution de

problème dans toute leur complexité et cela, quel que soit le profil de l'apprenant. Les études à visée interventionniste, décrites dans les deux premiers chapitres, ne permettent pas non plus de trancher cette question puisque tant celles prônant un enseignement simultané de ces stratégies que celles préconisant un enseignement individualisé rapportent des résultats encourageants. Et pourtant, identifier la méthode d'enseignement la plus efficace est important dès lors que l'on souhaite améliorer l'efficacité des dispositifs actuels. L'étude 4 poursuit cet objectif en comparant trois conditions : une condition contrôle, une condition dans laquelle les stratégies heuristiques et métacognitives sont enseignées simultanément et une condition dans laquelle ces mêmes stratégies sont enseignées séparément.

Toutefois, comme nous l'avons signalé dans le chapitre 3, il n'existe pas, à l'heure actuelle, d'instrument approprié pour mesurer les stratégies utilisées par les élèves en fin d'enseignement primaire pour réguler leurs émotions négatives lors des tâches de résolution de problèmes (n°2, figure 16). Préalablement à l'étude 4, nous nous mettrons donc en charge de concevoir un tel instrument et de récolter des preuves de sa validité et fidélité (étude 3 présentée au **chapitre 8**).

Par ailleurs, il est à noter qu'à partir de l'étude 3, nous nous sommes intéressée à un public plus jeune, à savoir, aux élèves de cinquième et de sixième primaire, et ce, pour plusieurs raisons. Premièrement, plusieurs chercheurs ont mis en évidence une relation positive entre l'efficacité des interventions métacognitives et le jeune âge des individus (Dignath et al., 2008 ; Hattie, Biggs & Purdie, 1996 ; Mevarech, Terkieltaub, Vinberger & Nevet, 2010). Ainsi, il semblerait qu'au plus les apprenants avancent dans la scolarité, au moins ils en bénéficieraient, et cela du fait qu'il est plus aisé d'implanter des comportements et attitudes adéquats que de devoir désapprendre des stratégies et attitudes contre-productives qui se sont automatisées. Deuxièmement, les émotions négatives ressenties susciteraient des sentiments d'aliénation vis-à-vis des apprentissages et de l'école dès la cinquième primaire (Artino, 2009 ; Kramarski et al., 2010 ; Pekrun, Goetz, Daniels, Stupnisky & Perry, 2010). Troisièmement, la période allant de 9 à 11 ans semble être la plus importante pour le développement d'attitudes et de réactions émotionnelles envers les mathématiques (Artino, 2009). Ensemble, ces différents constats soulignent l'intérêt voire, la nécessité d'intervenir dès l'école primaire. Mais à quel moment ? Notre choix s'est porté sur le public de la fin de l'enseignement primaire. Les écrits sur la transition du primaire au secondaire mettant en exergue les nombreux défis organisationnels, éducatifs et pédagogiques auxquels l'apprenant doit faire face (Robutti, Cusi, Clark-Wilson, Jaworski et al., 2016 ; Topping, 2011) ainsi que les travaux en didactique des mathématiques soulignant la difficulté particulière de cette transition au niveau des apprentissages mathématiques (Bednarz, Lafontaine, Auclair, Morelli, & Leroux, 2009 ; Savoie-Zajc, & Bednarz, 2007) ont orienté notre choix. Nous faisons ainsi l'hypothèse que doter l'apprenant, dès le primaire, d'une expertise adaptative en résolution de problèmes, c'est-à-dire de connaissances et compétences (méta)cognitives, (méta)motivationnelles et (méta)émotionnelles, contribue à faciliter sa transition.

4. Impact d'une intervention qui agit directement sur les compétences émotionnelles des élèves ?

Si la question de savoir si une intervention purement cognitive et métacognitive a un effet sur les émotions ressenties et sur la nature des stratégies de régulation émotionnelle utilisées n'a pas encore reçu suffisamment de preuves empiriques que pour être tranchée, ce qui a déjà été démontré à plusieurs reprises, c'est qu'en travaillant isolément les dimensions (méta)cognitives et (méta)émotionnelles, ces dernières s'améliorent significativement. Les différentes études empiriques présentées dans les chapitres théoriques de cette thèse en attestent. L'usage par les élèves de stratégies cognitives inadaptées, l'absence de conduites d'autorégulation et un rapport affectif négatif vis-à-vis des tâches de résolution de problèmes nous laissent penser que les élèves ont tout à gagner d'une intervention mixte. Plus encore, au vu des connaissances théoriques et empiriques actuelles, nous faisons l'hypothèse qu'une intervention mixte constitue une plus-value par rapport à des interventions « pures ». Cette hypothèse est testée dans l'étude présentée au **chapitre 10 (étude 5)**. Cette étude à visée interventionniste menée auprès d'élèves en fin d'enseignement primaire teste la plus-value d'un dispositif quasi-expérimental mixte. Plus précisément quatre conditions y sont comparées : (1) une condition centrée sur l'enseignement explicite de stratégies heuristiques et métacognitives de résolution de problèmes, (2) une condition centrée sur l'enseignement explicite de connaissances et compétences émotionnelles, (3) une condition couvrant les deux conditions précédentes et, une condition contrôle. Les effets sont mesurés en termes de stratégies heuristiques, d'émotions, de stratégies de régulation émotionnelle et de performances. Dans cette étude, nous proposons également une mesure plus complète de la compétence cognitive de résolution de problèmes. En effet, non seulement l'usage des stratégies heuristiques y est mesuré, mais également la justesse et la flexibilité de ce dernier.

5. Qu'en est-il du caractère dynamique et processuel des composantes (méta)cognitives, (méta)motivationnelles et (méta)émotionnelles impliquées dans l'expertise adaptative ?

Si l'évaluation de l'efficacité de dispositifs d'enseignement-apprentissage au contenu modulé nous éclaire sur la manière de promouvoir l'acquisition d'une expertise adaptative en résolution de problèmes, chez un élève « moyen », l'éclairage n'est que partiel (n°3, figure 16) (Dignath & Büttner, 2008). En effet, ces études quantitatives à visée interventionniste ne permettent pas, à elles seules, de rendre compte de la nature dynamique, processuelle et relationnelle des composantes (méta)cognitives, (méta)motivationnelles et (méta)émotionnelles en jeu lors de la résolution de problèmes (n°3, figure 16), en d'autres termes de cerner le phénomène à l'étude dans toute sa complexité. De nombreuses questions restent en suspens : comment le sentiment de compétence et les émotions de l'apprenant interfèrent-ils avec sa persévérance et son engagement ? ; les caractéristiques motivationnelles et émotionnelles du résolveur « novice » et du résolveur « expert » sont-elles, respectivement, tout aussi inappropriées ou appropriées que leurs stratégies

cognitives ou ces profils sont-ils plus nuancés ? ; comment ces stratégies et comportements évoluent-ils au cours d'un dispositif d'enseignement-apprentissage ? ; les composantes motivationnelles et émotionnelles soutiennent-elles le développement de stratégies cognitives et métacognitives appropriées ? ; etc. Comme le soulignent les modèles SRL, c'est justement la compréhension de la manière dont ces composantes et processus se déploient au cours d'une tâche ou d'une séquence, la façon dont ils s'organisent en cycles de régulation et interagissent entre eux qui permet de saisir les processus en jeu dans l'acquisition d'une expertise adaptative. C'est pourquoi, afin de cerner plus précisément notre objet d'étude, nous avons complété nos premières études à visée interventionniste par plusieurs études à visée compréhensive. Ces dernières prennent appui sur le modèle de l'apprentissage autorégulé conçu par nos soins et présenté à la Figure 15.

Une première étude, conduite auprès d'apprenants de cinquième et de sixième primaire, présentée au **chapitre 11** (étude 6), vise à documenter les comportements et stratégies (méta)cognitifs, (méta)motivationnels et (méta)émotionnels adoptés par les résolveurs « novices » et « experts » lors de la résolution de problèmes et à clarifier la façon dont ces comportements et stratégies interagissent les uns avec les autres pour guider les conduites de l'apprenant. Ce faisant, cette étude souhaite répondre à une partie des limites adressées aux études à visée compréhensive actuelles, soulevées plus haut. Pour rappel, ces dernières se sont principalement penchées sur une voire, deux dimensions de l'apprentissage avec une prédilection pour les comportements et stratégies de nature cognitive et métacognitive (Breslow, 2001 ; Hannula, 2002 ; Muir et al., 2008 ; Op't Eynde, De Corte & Verschaffel, 2006 ; Schoenfeld, 1992 ; Zimmerman, 2011 ; Zimmerman & Campillo, 2003).

Dans une deuxième étude (**chapitre 12**, étude 7), nous avons cherché à comprendre comment ces stratégies et comportements (méta)cognitifs, (méta)motivationnels et (méta)émotionnels évoluent au cours d'une intervention cognitive et métacognitive chez un élève « novice » et chez un élève « expert » de cinquième primaire. Dit autrement, nous avons voulu éclairer les effets mis en évidence par les comparaisons pré-pos classiques en nous penchant sur ce qui se passait durant l'intervention (n°4, figure 16). Répondre à cette question est important pour mieux comprendre le processus de développement d'une expertise adaptative et pour affiner nos interventions.

Outre une meilleure compréhension des changements qui surviennent tout au long d'une intervention, il semble également important de comprendre ce qui déclenche ces changements, dit autrement, d'identifier la (les) composante(s) de l'intervention qui est (sont) à l'origine de ces derniers. Parmi les composantes présentées au chapitre 1, certaines pourraient contribuer de façon plus notable au développement d'une expertise adaptative que d'autres. Nous pensons ici tout particulièrement aux interactions entre pairs qui font l'unanimité des interventions. Une telle information permettrait d'améliorer l'efficacité de nos dispositifs. Cependant, les études à visée interventionniste en ce qu'elles évaluent l'efficacité des dispositifs dans leur ensemble ne permettent pas de répondre à cette question. La contribution spécifique des interactions entre pairs aux effets observés n'y est pas examinée (n°5, figure 16). De leur côté, les travaux menés dans le champ théorique des régulations interactives, dans le domaine des mathématiques, ont montré que les interactions

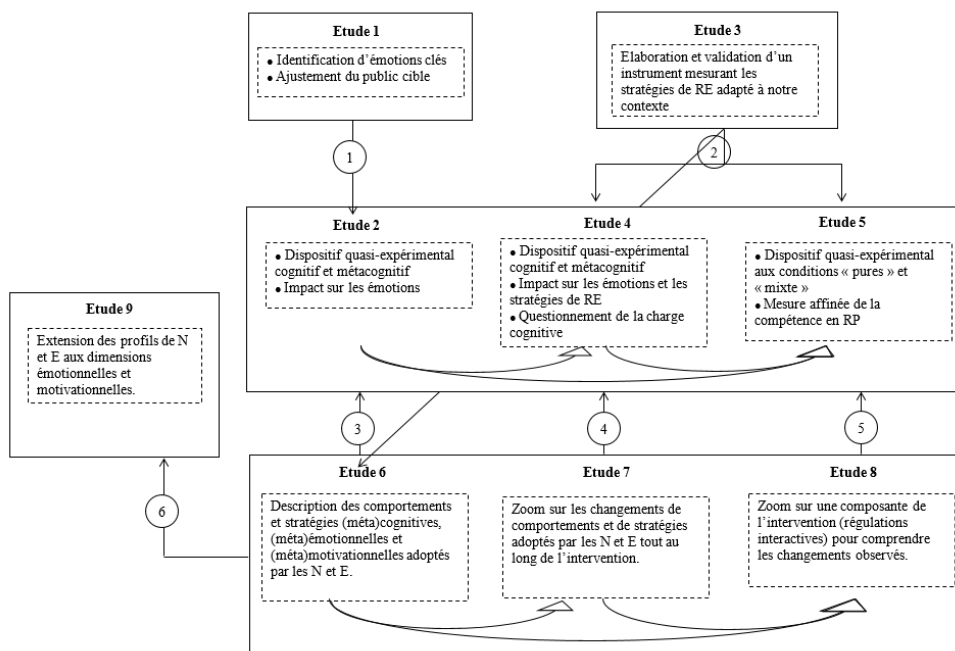
entre élèves, entre l'apprenant (ou un groupe d'apprenants) et l'enseignant ainsi qu'entre l'apprenant et les outils mis à sa disposition constituaient des sources potentielles de régulation pouvant conduire à des processus d'autorégulation (Fagnant et al., 2016 ; Lepareur et al., 2017 ; Mottier Lopez, 2007). Ces constats suggèrent que les interactions entre pairs pourraient expliquer une partie des changements observés entre le prétest et le post-test. Cette hypothèse est testée dans l'étude présentée au **chapitre 13** (étude 8). Cette dernière cherche à mettre en lumière la contribution des interactions entre pairs, soutenues par les interactions maître-élève et outil-élève, dans les changements de comportements (méta)cognitifs, (méta)émotionnels et (méta)motivationnels observés chez un résolveur « novice » de cinquième primaire tout au long d'une intervention en résolution de problèmes mathématiques.

6. Quelle(s) place(s) pour les dimensions motivationnelles et émotionnelles dans la définition des profils d'élèves?

Les études à visée compréhensive et interventionniste qui s'intéressent à des profils distincts d'élèves départagent classiquement ces derniers sur la base de leurs performances (« faible vs. fort », novice vs. expert », « au-dessus de la moyenne vs. « en deçà de la moyenne »). Or, nous avons mentionné, à plusieurs reprises, que les élèves entrent dans les tâches d'apprentissage avec des croyances motivationnelles et des émotions spécifiques qui conditionnent leur engagement et persévérance dans la tâche. Le rôle central de ces facteurs appelle à nuancer les profils classiquement utilisés (n°6, figure 16). Si la question de la variabilité inter-individuelle sur le plan comportemental et psychologique s'est surtout posée par rapport à la problématique du décrochage scolaire (Archambault, Janosz, Fallu & Pagani, 2009 ; Janosz, LeBlanc, Boulerice & Tremblay, 2000), certains chercheurs ont investigué cette question au niveau de domaines scolaires spécifiques tels que les mathématiques. Ainsi, Nardi et Steward (2003) se sont penchés sur les caractéristiques affectives (attitudes des élèves par rapport aux mathématiques) et cognitives (performances) d'un profil de « désengagement silencieux » (« *quiet disaffection* »), par opposition à un profil de « désengagement manifeste ». Les élèves qui présentent un profil de « désengagement silencieux » perçoivent les tâches mathématiques comme ennuyeuses, répétitives, isolées du monde réel, des besoins et préoccupations de l'apprenant, limitées à la mémorisation et à l'application correcte des procédures enseignées et indicatives du niveau d'intelligence de l'apprenant. Si cette étude permet d'élargir les profils classiques, fondés sur la performance, elle ne rend pas compte de la diversité des profils existants, mais propose plutôt l'analyse d'un profil spécifique. A l'heure actuelle, nous savons donc peu de choses sur la variété des profils motivationnels et émotionnels des élèves dans le domaine des mathématiques. Et pourtant, répondre à cette question permettrait d'identifier avec plus de précision les besoins réels des élèves et ainsi de concevoir des interventions davantage adaptées. L'étude présentée au **chapitre 14** (étude 9) tente, via une approche centrée sur l'individu, d'identifier des sous-groupes distincts d'élèves présentant des combinaisons spécifiques de caractéristiques émotionnelles (plaisir, fierté, honte, peur, inquiétude, nervosité, ennui, désespoir) et motivationnelles (perception de compétence) dans le domaine de la résolution de problèmes.

Cette étude examine également les différences en termes de performances et de stratégies de régulation émotionnelle entre ces différents sous-groupes.

Une schématisation de l'articulation et de la complémentarité de ces neuf études est proposée à la figure 16.



Note. RP= résolution de problèmes ; RE = régulation émotionnelle ; N = résolveur novice ; E = résolveur expert.

Figure 16. Schématisation de l'articulation et de la complémentarité entre les neuf études menées dans le cadre de cette thèse

Les études esquissées dans ce chapitre 5 sont synthétisées au tableau 9 et présentées, sous la forme d'articles, dans les chapitres suivants (chapitres 6 à 14).

Tableau 9. Récapitulatif des différents recueils de données

Etude	Type d'approche	Echantillon	Profils	Objectifs
-------	-----------------	-------------	---------	-----------

Etude 1	Quantitative Régressions linéaires	115 élèves de 2 ^e secondaire	/	Caractériser les émotions et la motivation en mathématiques des élèves de deuxième secondaire. Mettre en évidence les patterns d'émotions qui prédisent le mieux la valeur perçue, le sentiment de compétence, l'engagement comportemental et les performances en mathématiques.
Etude 2	Quantitative Dispositif quasi- expérimental	107 élèves de 1 ^{re} secondaire	Novices et experts	Mesurer l'efficacité (en termes de fréquence d'utilisation des stratégies enseignées, de persévérance, d'émotions et de performances) d'un dispositif quasi-expérimental promouvant l'acquisition de stratégies cognitives et métacognitives en résolution de problèmes.
Etude 3	Quantitative Validation d'instrument	2206 élèves de 5 ^e et de 6 ^e primaire	/	Développer et apporter des preuves de la validité et de la fidélité d'un instrument permettant de mesurer les stratégies utilisées par les élèves en fin d'enseignement primaire pour réguler leurs émotions négatives lors des tâches de résolution de problèmes mathématiques.
Etude 4	Quantitative Dispositif quasi- expérimental	267 élèves de 5 ^e et de 6 ^e primaire	Novices et experts	Mesurer l'efficacité (en termes de fréquence d'utilisation des stratégies enseignées, de persévérance, d'émotions, de <u>stratégies de régulation émotionnelle</u> et de performances) d'un dispositif quasi-expérimental promouvant l'acquisition de stratégies cognitives et métacognitives en résolution de problèmes. Comparer l'efficacité de deux méthodes d'enseignement de ces stratégies (simultanée vs. individualisée). Identifier les bénéfices d'un tel dispositif pour des résolveurs « novices » et « experts ».
Etude 5	Quantitative Dispositif quasi- expérimental	428 élèves de 5 ^e et de 6 ^e primaire	/	Mettre à jour la plus-value d'une intervention mixte : combinaison d'un enseignement explicite de stratégies cognitives et métacognitives avec un enseignement explicite de connaissances et compétences émotionnelles. Proposer une conceptualisation plus complète de la compétence « cognitive » de résolution de problèmes.
Etude 6	Qualitative Etudes multi-cas	22 élèves de 5 ^e et de 6 ^e primaire	Novices et experts	Caractériser les comportements et stratégies (méta)cognitifs, (méta)motivationnels et (méta)émotionnels adoptés par les élèves « novices » et « experts » durant les tâches de résolution de problèmes et comprendre la façon dont ces derniers interagissent les uns avec les autres pour guider les conduites globales de l'apprenant.
Etude 7	Qualitative Etudes de cas	2 élèves de 5 ^e primaire	Novice et expert	Décrire l'évolution des stratégies et comportements (méta)cognitifs, (méta)motivationnels et (méta)émotionnels adoptés par un élève « expert » et par un élève « novice » tout au long d'une intervention cognitive et métacognitive en résolution de problèmes.
Etude 8	Qualitative Etude de cas	1 élève de 5 ^e primaire	Novice	Mettre à jour le rôle des interactions entre pairs dans l'appropriation par un élève « novice » des stratégies cognitives enseignées et dans le développement de conduites autorégulées.
Etude 9	Quantitative Approche centrée sur l'individu	354 élèves de 5 ^e et de 6 ^e primaire	/	Identifier différents profils émotionnels et motivationnels de résolveurs de problèmes. Mettre à jour la manière dont ces profils se distinguent en termes de stratégies de régulation émotionnelle utilisées et de performances en résolution de problèmes.

Chapitre 6

The influence of motivational and emotional factors in mathematical learning in secondary education²⁴

While motivation has, for decades, been investigated as a key component of academic learning and performance, academic emotions have often been left out of the scope of investigation. According to several researchers, mathematics learning seems to be particularly affected by students' emotions. This paper is aimed at characterizing the emotions and motivation of eighth grade students in a mathematical setting and highlighting the cluster of emotions— activity emotions vs outcome emotions—which best predict math value, math self-concept, behavioral engagement and math performance. Data were collected through questionnaires from 115 students and analyzed through means comparisons and linear regressions. Results indicated that eighth grade students give a relatively high value to mathematics, have a positive mathematics self-concept and are moderately engaged in mathematical tasks. Regression analysis showed that mathematics value and behavioral engagement are better explained by activity emotions while mathematics self-concept and performance are better predicted by outcome emotions. The implications of these findings in terms of educational practices are discussed at the end of this study.

Hanin, V., & Van Nieuwenhoven, C. (2016a). The influence of motivational and emotional factors in mathematical learning in secondary education. *European Review of Applied Psychology/Revue européenne de psychologie appliquée*, 66(3), p 127-138.

²⁴ Une précision concernant le test de compétence en algèbre a été apportée, sous la forme d'une note en bas de page, par rapport à la version publiée de l'article.

The influence of motivational and emotional factors in mathematical learning in secondary education

1. Introduction

Mathematics achievement in both international and national tests shows insufficient mastery of basic skills for a large number of students. Pisa 2009 data show that 22% of 15-year-old students from OECD countries face severe difficulties in mathematics (OECD, 2010). In addition, students' emotional relationship to mathematics is also a cause of concern: more than half of 15 years old OECD students frequently experienced anxiety in this domain (OECD, 2010). Moreover, more than 40% of OECD students do not perceive the value of mathematical subjects (Demonty, Blondin, Matoul, Baye, & Lafontaine, 2013) and more than an half have a negative mathematics self-concept (OECD, 2010). Such observations raise the question of the joint role played by motivational, affective and cognitive factors in mathematics learning and performance.

The crucial role played by motivational factors in students' learning and performance has been highlighted by researchers for decades. Many results have confirmed the need to take these dimensions into account when addressing academic achievement (Boekaerts, 1997; Eccles & Wigfield, 2002; Govaerts, 2006; Pekrun & Perry, 2014, Pelgrims, 2006; Viau, 2009). Even if emotions area more recent topic of investigation, it is already clear that their impact on key areas of individual life, such as, academic performance, social relationships, physical health and psychological well-being (Mikolajczak, Quoidbach, Kotsou, & Nélis, 2009), make them a compulsory dimension when addressing the educational field (Govaerts, 2006; Linnenbrink, 2006; Op't Eynde, De Corte, & Verschaffel, 2007; Pekrun & Perry, 2014; Pekrun, Elliot, & Maier, 2009). Recent studies agree on a plural conceptualization of learning, which brings into play motivational, cognitive and affective processes in close interaction. The cognitive dimension refers to academic outcomes with academic achievement as the most studied. The Control-Value theory of achievement emotions proposed by Pekrun (Pekrun, 2006; Pekrun & Perry, 2014) shares this conceptualization.

However, if motivation as an antecedent of academic emotions has been quite well documented (Frenzel, Pekrun, & Goetz, 2007; Goetz et al., 2008; Govaerts, 2006; Op't Eynde et al., 2007; Pekrun et al., 2009; Pekrun, Goetz, Daniels, Stupnisky, & Perry, 2010; Pekrun & Stephens, 2010), the role played by academic emotions as antecedents of motivation have received little empirical attention to date (Kim & Hodges, 2012). Yet, as several researchers have highlighted (Kim & Hodges, 2012; Op't Eynde & Turner, 2006; Pekrun & Perry, 2014), academic emotions, academic achievement and motivation interact in bidirectional ways so that it is of major importance to address the issue of academic emotions as antecedents of motivation to gain a more accurate picture of mathematical learning.

Moreover, most of the studies on motivation and/or emotions addressing the mathematical domain focus on typical achievement situations –such as attending class, doing homework and taking tests and exams– (Govaerts, 2006; Goetz, Frenzel, Pekrun, & Hall, 2005) or on specific mathematical content such as problem solving (Focant, 2004; Govaerts, 2006; Marcoux, 2012; Op’t Eynde et al., 2007). It seems less common to study the discipline of mathematics as a whole, that is, to investigate cognitive, motivational and emotional dimensions of mathematical learning in general. And yet, according to several researchers (Adihou, 2011; McLeod, 1992; Op’t Eynde, De Corte, & Verschaffel, 2002; Schoenfeld, 1985), students develop a global relationship to mathematics which guides their classroom behaviors and interactions. Furthermore, if mathematics self-concept (Goetz, Cronjaeger, Frenzel, Lüdtke, & Hall, 2010; Guay, Marsh, & Boivin, 2003; Parker, Marsh, Ciarrochi, Marshall, & Abduljabbar, 2013; Pinxten et al., 2015) and academic emotions (Goetz et al., 2010; Pekrun, Goetz, Frenzel, Barchfeld, & Perry, 2011; Pekrun, 2014) have been studied on a varied and international public, to our knowledge none of these studies concern Belgian elementary students. Additional research is therefore required to gain a more accurate picture of the motivational and emotional relationship of Belgian eighth grade students with mathematics in general. The aim of the present study is, on the one hand, to measure the motivation and the emotions that eighth graders experienced with mathematics and, on the other hand, to produce insights into the capacity of academic emotions to predict motivation, behavioral engagement and mathematics performance. These objectives are studied through the Control-Value Theory, proposed by Pekrun and Perry (2014), which is outlined below.

2. The Control-Value theory of achievement emotions

The Control-Value theory of achievement emotions (Pekrun & Perry, 2014) is worth studying for several reasons. Firstly, this model (see Figure 12) covers many previous models and therefore takes the main motivational dimensions into account while including the academic emotions in their own right. More precisely, it reconciles the Expectancy-Value theories, attributional theories of achievement emotions, perceived control theories and models showing the impact of emotions on learning and performance (Pekrun, 2006). Secondly, it highlights the relationships between emotional and motivational dimensions from a perspective of understanding learning and achievement behaviors. More precisely, perceived value of and perceived control over achievement activities and their outcomes are the key determinants of academic emotions, which, in turn, affect learning and achievement. Furthermore, appraisals of a given activity or outcome regarding perceived control and perceived value are shaped by the social environment in which the learning takes place, such as the quality of instruction, autonomy support, goal structures, etc. (Pekrun & Perry, 2014).

So, in this model, emotions mediate, on the one hand, the relation between motivational appraisals and learning and achievement behaviors –that is, cognitive resources, use of learning strategies, learning regulation and academic achievement– and, on the other hand, the relation between social environment and those behaviors. Last, but not least, this model takes emotions as antecedents of motivation and social environment, meaning that emotions can also affect appraisals and shape social environment (Pekrun & Perry, 2014).

In order to shed light on our twofold research objectives, we focused only on several variables presented in Pekrun's model, namely self-concept of ability, which is one dimension of perceived control, perceived value, academic emotions and academic achievement. Given its crucial role in student learning and achievement (Fredricks, Blumenfeld, & Paris, 2004; Rumberger & Rotermund, 2012), behavioral engagement has also been investigated. Those variables are presented in the following paragraphs.

3. Motivational dimensions

Among the different motivational variables presented in the literature, self-beliefs and perceived value are the most determining variables in terms of academic learning and performance (Eccles & Wigfield, 2002; Govaerts, 2006; Marcoux, 2012; Parker et al., 2013; Pekrun & Perry, 2014; Pelgrims, 2006).

Regarding self-beliefs two main constructs have been commonly investigated in the literature, namely, self-concept –also named self-concept of ability– and self-efficacy (Jansen, Scherer & Schroeders, 2015; Parker et al., 2013). If both of them address an individual's self-perceptions of their competence, they differ by the object on which they focus (Parker et al., 2013). More precisely, self-efficacy focuses on descriptions of an individual's capabilities and, reflects an individual's perception of his or her capabilities to undertake actions that are necessary to successfully carry out the task. Self-concept consists in evaluations of an individual's capabilities and is defined as self-perceptions of the degree of matching between one's behavior and self-set standards of worth and capabilities (Parker et al., 2013). As highlighted by several studies (Marsh et al., 2015; Möller & Marsh, 2013; Möller, Retelsdorf, Köller, & Marsh, 2011; Niepel, Brunner, & Preckel, 2014) in the Dimensional Comparison Theory (DCT) –which is an extension of the internal/external model (Marsh et al., 2015; Möller & Marsh, 2013)–, self-concepts are based on two main sources of information. First, self-concepts are shaped by social and temporal comparisons, that is, comparisons of an individual's current accomplishments with those of others and with his own past performances, respectively. Second, self-concepts are built on dimensional comparisons namely, comparisons between an individual's performance in one academic domain and those related to other academic domains (Marsh et al., 2015; Parker et al., 2013). For the present study, we assessed students' self-concept regarding mathematics in general. Data collected by Marcoux (2012) with fifth grade Genevan students and by Goetz et al. (2010) from a German sample of eighth graders, indicate that students have a positive mathematics self-concept.

According to Pekrun and Perry (2014), the concept of perceived value refers to the perceived value of actions and outcomes. If the quadripartite conceptualization of Eccles and Wigfield (2002) in which subjective value is defined by four sub-components (attainment value, intrinsic value, utility value and cost) is shared worldwide (Frenzel, Pekrun et al., 2007; Gaspard et al., 2014 ; Govaerts, 2006; Hidi & Renninger, 2006; Watt, 2004), most researchers use an aggregated measure of this concept (Govaerts, 2006; Pekrun & Perry, 2014; Pekrun et al., 2010). According to several researchers (Desmarets et al., 1997; Develay,

1996; Legrand, 2006), it seems that students express little interest in mathematical content and have a low opinion of the subject. Legrand (2006) notes that, for most individuals, mathematical knowledge taught in school remains unused in everyday life. However, some empirical studies such as the one conducted by Frenzel et al. (2007) with German fifth graders show that students moderately value mathematics (mean score of intrinsic value: 3.36 ; mean score of achievement value or extrinsic value: 3.89 on a 5 point Likert scale).

In the present paper, we examine the level of motivation in mathematics of eighth graders, and more precisely the value they give to mathematics and their mathematics self-concept in the light of the above results.

4. Academic emotions

The emotions studied in educational contexts pertain to achievement activities or achievement outcomes and therefore are called academic emotions (Pekrun, 2006). These can be classified according to several criteria such as the object on which we focus, the valence and the level of psychological activation (Pekrun & Perry, 2014). For the present study we selected the object criterion which splits emotions into two groups: the first, activity emotions, refers to activities fulfilled and encompasses frustration, enjoyment, boredom and anger while the second, outcome emotions, relates to the outcome of fulfillment and covers, among others, hope, joy, pride, anxiety, hopelessness, anger, shame. More recently, Pekrun (2014) gathered these two groups into one called achievement emotions, which pertains to achievement activities and to the consequences of these activities. Alongside achievement emotions, he defined, among others, the social emotions, which are related to teachers and peers and to their interactions. Sympathy, admiration, envy and anger are some examples. As we can see, anger can be triggered by different sources: the task, the outcome of the task, the teacher or peers.

While academic emotions in areas such as mathematics learning and the context of achievement have been studied in depth for about ten years, most researchers (Ahmed, Minnaert, van der Werf, & Kuyper, 2013; Goetz et al., 2010; Kim & Hodges, 2012) rely on the results obtained by Goetz (2004, quoted by Pekrun, Goetz, & Frenzel, 2005). The latter conducted longitudinal studies with German students aged between 10 and 16 and observed that seven emotions are overwhelming in math classrooms, namely: pride, enjoyment, boredom, anxiety, shame, anger and hopelessness. According to Pallascio and Lafortune (2000), enjoyment with regards to mathematics refers to the satisfaction felt after the fulfillment of a mathematical task. Pride denotes a sense of self-satisfaction after a success (Legendre, 1993). Anxiety consists in « [...] an affective state characterized by a feeling of worry, insecurity, a physical and psychic distress and expectation of an undefined danger in front of which we are powerless » (Sillamy, 1980, p. 80). Pekrun (2006) adds that anxiety shows itself in the individual who expects to fail. Pekrun (2006) defines anger as a negative affect experienced as a result of awareness of failure. This can be triggered by academic situations harming a student's attainment of his or her goals and well-being (Pekrun, 2007). Like anger, shame is a negative emotion experienced after failure. It stands at the heart of the

negative affects of self-esteem involving frequently devastating emotions of self-degradation (Pekrun, 2007). Hopelessness is experienced when the expectations of success are weak or when the expectations of failure are high. Finally, boredom is reported in routine, non-challenging tasks as well as in activities where the demands are too high (Pekrun et al., 2010).

A brief overview of the literature shows that empirical evidence concerning the emotions mostly experienced by students in mathematical settings are not consistent. In her paper, Govaerts (2006) reports that eleventh grade students experienced negative emotions as much as positive ones in mathematics classrooms. More precisely, she notices that pride is reported as much as enjoyment and that frustration (which covers anger and boredom) is the most negative emotion of the three studied, namely: shame, anxiety and frustration. In a more recent study conducted by Goetz et al. (2014) with eighth and eleventh graders, a different trend is observed. Firstly, negative emotions seem to be experienced more in mathematics than positive ones. Secondly, pride appears to be reported more than enjoyment by both grades. Finally, boredom is the most negative affect reported out of anger and anxiety by eighth graders and anger the most negative one reported by eleventh graders.

In the present paper, we tried to shed light on these inconsistencies by questioning the emotions mostly experienced in mathematics by Belgian eighth graders.

5. Academic outcomes

Two outcomes variables have been retained for the current study: engagement and mathematics achievement. In most motivational models, engagement is conceptualized as a learning behavior influenced by contextual factors such as perceived value and self-beliefs (Eccles & Wigfield, 2002; Marcoux, 2012; Pekrun & Perry, 2014) and is defined as a multidimensional concept. Several researchers (Archambault, Janosz, Fallu, & Pagani, 2009; Fredricks et al., 2004; Fredricks & McColskey, 2012; Jimerson, Campos, & Greif, 2003) distinguish cognitive, behavioral and emotional dimensions. The current study addresses the behavioral dimension which refers to involvement in learning and academic activities and, more precisely, can be observed through effort, persistence, participation and so on. This dimension has been taken on because it has been rarely investigated to date. Most researchers have addressed the cognitive dimension of engagement mainly through the study of learning strategies and self-regulation processes (Cleary & Zimmerman, 2011; Op't Eynde et al., 2007; Pekrun & Perry, 2014; Pekrun et al., 2011). To have a more complete picture of the motivation in mathematics of eighth graders, we examine their level of behavioral engagement alongside perceived value and their mathematical self-concept.

Secondly, to be consistent with Pekrun's model and, more widely, with most of the models of academic motivation, we have added mathematical performance to our model.

6. Relationships between motivation and academic emotions

According to Pekrun's control-value theory of achievement emotions, control appraisals –which includes self-concept of ability– and value appraisals are the two main predictors of students' academic emotions (Pekrun & Perry, 2014). This assumption has been supported by several empirical studies. Researchers (Frenzel et al., 2007; Goetz et al., 2010; Goetz, Frenzel, Hall, & Pekrun, 2008) have shown that mathematics self-concept of fifth to eleventh grade German students is positively related to enjoyment and pride and negatively correlated to unpleasant emotions, such as, anxiety, anger, boredom, hopelessness and shame. As far as perceived value of achievement activities are concerned, several studies (Frenzel et al., 2007; Govaerts, 2006) found that, with fifth and eleventh grade students, mathematics value of achievement activities correlates positively with positive emotions – enjoyment, hope, pride– and negatively with negative ones –anxiety, boredom, anger, shame, hopelessness.

If academic emotions have mostly been studied as outcomes, some researchers have integrated them entirely with motivational process and thus perceived academic emotions as precursors too. Some researchers (Meyer & Turner, 2006; Turner, Meyer, & Schweinle, 2003) have shown that the affective climate or teacher's discourse is tightly linked to students' motivation. For instance, Linnenbrink and Pintrich (2002) have highlighted that a student's mood initiates the goal cycle by influencing the perception he/she has about the classroom goal structure. Others, such as Pekrun and Perry (2014), proposed a model in which emotions can arouse, maintain, or reduce academic motivation. They found that positive activating emotions usually enhance academic motivation while negative deactivating emotions are detrimental to it. The effects of positive deactivating and negative activating emotions are more complex. More precisely, the first (e.g., relief) can damage the immediate motivation to continue to work and thus encourage disengagement. But, at the same time, positive deactivating emotions can strengthen long-term motivation. Concerning negative activating emotions (e.g., anger), they are known to reduce intrinsic motivation and, at the same time, reinforce extrinsic motivation to overcome obstacles or avoid failure.

Nonetheless, although current models of academic emotions consider emotions as an integral part of the motivational process, to our knowledge the impact of specific academic emotions on both perceived mathematics value and on mathematics self-concept has never been questioned. The present study aims to fill this gap.

7. Relationships between academic emotions and academic outcomes

Concerning behavioral engagement, several researchers (Linnenbrink, 2007; Pekrun et al., 2002 ; Pekrun & Linnenbrink-Garcia, 2012) have found that positive emotions, especially activated ones –enjoyment, hope and pride–, are positively linked to student's behavioral engagement while negative deactivating emotions –hopelessness and boredom– are detrimental for their behavioral engagement. If the impact of negative activating emotions such as anger, anxiety and shame on engagement is more complex, in most cases, they are

detrimental to it. However, those emotions can sometimes support behavioral engagement by energizing students (Pekrun & Linnenbrink-Garcia, 2012).

To go a step farther and complete those findings, the present study examines the specific academic emotion(s) that best pre-dict(s) behavioral engagement. In addition, emotions are reported to be of major importance for students' achievement, and academic learning (Efklides & Volet, 2005; Linnenbrink-Garcia & Pekrun, 2011; Mikolajczak et al., 2009; Schutz & Pekrun, 2007). In general, positive activating emotions are assumed to have beneficial effects on academic performance, unlike negative deactivating emotions (Pekrun & Perry, 2014; Pekrun & Linnenbrink-Garcia, 2012). However, the impact of positive deactivating and negative activating emotions on achievement is more complex (Pekrun & Perry, 2014). Indeed, the former can damage immediate performance while stimulating effort and enhancing long-term motivation. The latter are, for their part, known to simultaneously decrease intrinsic motivation and increase extrinsic motivation. This general assumption is, on the whole, supported by several empirical studies such as the one conducted by Govaerts (2006) in which positive emotions are positively related to academic performance and negative emotions are negatively correlated to mathematics achievement.

Moreover, research on the influence of specific academic emotions on academic achievement is scarce. Regarding test anxiety, it seems that high levels of test anxiety are connected with low math performance whether it be elementary, secondary or university students (Ahmed et al., 2013; Govaerts, 2006; Pekrun et al., 2009; Zeidner, 2007). Data collected about boredom show consistent negative and significant correlations between boredom and students' academic performance (Pekrun et al., 2010; Pekrun et al., 2009). Additionally, high levels of pride or enjoyment are correlated with high levels of mathematics performance (Frenzel, Pekrun et al., 2007; Frenzel, Thrash, Pekrun, & Goetz, 2007; Goetz, Frenzel, Pekrun, Hall, & Lüdtke, 2007; Govaerts, 2006). In line with those studies, we examine, in the present paper, which specific emotions best predict mathematics achievement.

8. The present study

This paper's goals are twofold. First, to measure the emotions and motivation that eighth grade students experienced in mathematics. Second, to examine the emotions that best predict math value, math self-concept and academic outcomes, namely, behavioral engagement and mathematics performance. Our hypotheses are described in the following paragraphs.

Our first hypothesis is interested in the level of value given by students to mathematics, in their belief in their ability to carry out a mathematical task successfully and their degree of behavioral engagement. According to previous empirical studies (Frenzel, Pekrun et al., 2007; Goetz et al., 2010; Marcoux, 2012), we expected that eighth graders would have a positive self-concept in mathematics and would moderately value that domain. Given the lack of empirical evidence regarding behavioral engagement, our investigation takes an exploratory approach. Concerning academic emotions, we investigate the emotions most commonly experienced by eighth graders in math (hypothesis 2). More precisely, we would

like to shed light on the above-mentioned inconsistencies existing among current empirical findings (Goetz et al., 2014; Govaerts, 2006; Pekrun et al., 2002).

Our third and fourth hypotheses deal with academic emotions as antecedents of motivation. More precisely, with respect to the perceived value, as this construct refers to the appraisal of a content –pedagogical task, academic field or domain– (Viau, 2009), we could expect that mathematics value will be mainly predicted by activity emotions such as boredom, enjoyment and anger (hypothesis 3). For the mathematics self-concept, we assume that it will be mainly explained by the outcome emotions i.e. pride, anxiety, shame and hopelessness as this construct refers to « judgments about whether one's behavior matches self-set standards of worth and competence » (Parker et al., 2013, p. 3) (hypothesis 4). In this respect, this concept pertains to the outcome of an accomplishment rather than to the accomplishment itself.

Finally, concerning the capacity of academic emotions to predict academic outcomes, we postulate that behavioral engagement would be better predicted by activity emotions such as enjoyment, boredom and anger because, in essence, engagement is linked to the accomplishment of academic tasks (hypothesis 5). With regard to mathematics performance, we assume that outcome emotions, that is, pride, shame, anxiety and hopelessness, are the best predictors of mathematics achievement (hypothesis 6).

9. Method

9.1 Sample

This quantitative research was conducted with 115 French-speaking eighth graders, 56% of whom were girls, from three Belgian schools located in different cities and having different socio-economic backgrounds and levels of performance. The participants were between 13 and 15 years old ($M = 13.5$) and were all studying in a general educational track.

9.2 Procedure and measures

In November 2012, the students were given three questionnaires during mathematics lessons, assessing their level of motivation in mathematics, the emotions they mostly experienced in that domain and their mathematics skills. The scales were given and explained by the teacher and confidentiality was guaranteed.

9.2.1 Motivation

Motivation was assessed using an instrument designed on the basis of the model of motivational dynamics proposed by Viau (2009), the contributions of Lafortune and Mongeau (2002) about the affectivity in learning and a questionnaire examining the possible representations students can hold about mathematics (DeVriendt & Van Nieuwenhoven, 2010). This 12-item tool measures students' perception of the mathematics value, their mathematics self-concept and behavioral engagement. Students were asked to indicate for each item on a five point Likert scale to what extent they approved of it. Internal validity of

the instrument was confirmed by principal component factor analyses with varimax rotation and Cronbach's alphas: they ranged between .62 and .71.

9.2.2 Academic emotions

Academic emotions were assessed using an adapted version of the Academic Emotions Questionnaire-Mathematics designed by Pekrun et al. (2005). More precisely, we endorse the items pertaining to attending class as we assessed the emotions experienced in math in general. In addition, in order to homogenize the number of items by emotion, we created new items. The questionnaire includes seven scales: pride (four items, e.g., "After the completion of a mathematical task, I'm proud of what I have done"), enjoyment (four items, e.g., "I take a lot of pleasure during mathematical lessons"), boredom (four items, e.g., "Mathematical tasks bore me"), anxiety (four items, e.g., "When I think about mathematics lessons, I become anxious"), shame (four items, e.g., "During the mathematics lessons, I'm embarrassed at myself"), anger (four items, e.g., "I'm irritated during the math course") and hopelessness (four items, e.g., "During the math course, I feel desperate"). Students were invited to note, for each of the 28 items, to what extent they agreed with the statement on a scale ranging from 1 (strongly disagree) to 5 (strongly agree). Principal component analyses and internal consistency were satisfactory (Cronbach's alphas ranging from .64 to .89).

9.2.3 Mathematics skills

Mathematics skills were assessed through 22 multiple-choice questions²⁵ with unique answers and one open question. The items measure, on the one hand, algebraic skills –literal calculation and first-degree equations with one unknown– taught in grade 7 and, on the other hand, arithmetical skills learned in primary school and considered as prerequisite for the studying of algebra. The content was chosen by the teachers according to their year planning. This instrument was designed on the basis of our expertise of mathematics teacher and on several mathematics textbooks. Students' performance is appraised by a global score obtained by summing up the correct answers on a binary scale: 0 = wrong answer, 1 = right answer.

²⁵ Précisons que les questions portant sur l'algèbre ne sollicitent pas des habiletés techniques et opératoires pures mais ont été pensées de sorte à susciter une réelle réflexion chez l'apprenant. Ces questions ont été construites sur la base des difficultés rencontrées par les élèves en algèbre, pointées dans la littérature (Baton, Giot, & Noël, 1997 ; Demonty, 2005 ; Demonty & Vlassis, 1999). Quatre thématiques ont ainsi été épinglées : sens et statuts de la lettre dans une expression algébrique et dans une équation ; sens d'une expression algébrique dans un contexte géométrique ; construction d'une expression littérale et valeur numérique et, transformation d'une expression littérale.

10. Results

10.1 Motivation, behavioral engagement and academic emotions

Before presenting our findings, it is important to note that we used the Bonferroni correction for our t-tests in order to avoid a potential alpha error inflation. Consequently, as we conducted three tests, we used a .017 criterion for significance (Field, 2013).

To answer the first two hypotheses, descriptive analysis (Table 1) and means comparisons were conducted. As no comparison with other domains were made, it is not relevant to interpret means with precision. However, these results give us an overview of the motivational profile in math of Belgian students compared to their German and Genevan counterparts.

Table 1. Descriptive statistics for the studied variables

Variable	<i>M</i>	SD
Value	4.09	0.85
Self-efficacy	4.00	0.88
Engagement	3.31	0.83
Positive emotions	3.08	0.99
Enjoyment	2.87	1.07
Pride	3.28	1.09
Negative emotions	2.18	0.81
Boredom	2.60	1.22
Hopelessness	2.20	1.08
Anxiety	2.09	0.92
Shame	1.99	0.86
Anger	2.05	0.98

First, eighth graders gave relatively high value to their math course and have a positive self-concept in mathematics which is consistent with previous findings (Table 1). With respect to behavioral engagement, it appears that eighth grade students engage themselves moderately in mathematical tasks, which can be partially explained by the educational practices in effect in math classrooms. These first results are looked at in greater detail in the discussion. Concerning the emotions, our data (Table 1) point out that, in mathematics, positive emotions are significantly more experienced than negative ones ($t(114) = 6.072$, $p < .001$), which is not in line with the data collected by Goetz et al. (2014) and Govaerts (2006). However, this result is in accordance with the Control-Value theory, which says that emotions and motivation are strongly related. As it is the case for academic emotions, the data regarding motivation highlighted a positive pattern –relatively high value and positive self-concept. Moreover, pride seems to be more experienced than enjoyment ($t(114) = 5.112$,

$p < .001$) and, boredom appears to be the most negative emotion reported by students (boredom and hopelessness: $t(114) = -3.873$, $p < .001$). These findings are discussed later in this paper.

In order to shed light on the empirical findings presented in the theoretical framework and, to set the stage for regression analysis, we performed bivariate correlations (Table 2). As outlined in Table 2, the results are in line with previous findings (Goetz et al., 2010; Govaerts, 2006; Pekrun & Perry, 2014). More precisely, mathematics value, mathematics self-concept and mathematical engagement correlate, on the whole, positively with pleasant emotions and negatively with unpleasant emotions.

10.2 Emotions as predictors of math value and math self-concept

To test the last four hypotheses dealing with the clusters of emotions –namely, activity and outcome– that best predict students’ perceived value, math self-concept, behavioral engagement and math performance, three steps’ multiple regression analyses were performed after controlling for gender and age. The first step consisted in testing the predictive effects of activity emotions –enjoyment, boredom and anger. The second step aimed at testing the predictive effects of outcome emotions –pride, shame, anxiety and hopelessness. The final step includes all the emotional components. We did so in order to examine the specific contribution of each predictor’s cluster. Before presenting the results, it is important to note that normality assumption, multi-collinearity²⁶ and standardized residual value have been found to be in an acceptable range.

²⁶ To avoid colinearity between the predictors, we considered anger only as an activity emotion. We did so in order to balance the two clusters.

Table 2. Pearson's correlations for the studied variables

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Math value	-										
2. Math self-concept	.414**	-									
3. Engagement	.389**	.403**	-								
4. Enjoyment	.536**	.509**	.411**	-							
5. Pride	.430**	.476**	.317**	.674**	-						
6. Anger	-.367**	-.476**	-.349**	-.456**	-.167	-					
7. Anxiety	-.320**	-.536**	-.302**	-.326**	-.197*	.669**	-				
8. Shame	-.170	-.476**	-.261**	-.284**	-.139	.422**	.698**	-			
9. Boredom	-.530**	-.531**	-.507**	-.706**	-.546**	.567**	.479**	.288**	-		
10. Hopelessness	-.285**	-.613**	-.366**	-.456**	-.414**	.644**	.661**	.596**	.544**	-	
11. Math achievement	.181*	.268**	.245**	.137	.043	-.314**	-.264**	-.329**	-.234**	-.366**	-

Note. N = 115; *p<.05; **p<.01.

Table 3. Multiple regression analysis for "activity" emotions and "outcome" emotions predictors of math value, math self-concept and behavioral engagement

	Mathematics value			Mathematics self-concept			Behavioral engagement		
Steps	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Activity									
Enjoyment	.32**		.25t	.24**		.08	.10		.05
Boredom	-.27**		-.22	-.23		-.09	-		-
							.39*		.38**
Anger	-.07		-.12	-.24**		-.05	-.08		-.06
Outcome									
Pride		.40*	.17		.31*	.22**		.22*	.04
Shame		.09	.05		-.13	-.15		-.05	-.12
Anxiety		-.34**	-.18		-.21t	-.14		-.11	.06
Hopelessness		.05	.18		-	-.22t		-.18	-.05
					.28**				

Note. * $p \leq .001$ ** $.001 < p < .05$; t = tendency to be significant.

10.2.1 Mathematics value

As we can see in Table 3, two activities emotions, enjoyment ($\beta = .32$, $p = .005$) and boredom ($\beta = -.27$, $p = .026$) (step 1), and two outcome emotions, pride ($\beta = .32$, $p < .001$) and anxiety ($\beta = -.34$, $p = .009$) (step 2), stand out as predictors of mathematics value. However, when activity and outcome emotions are put within the same model (step 3), no emotion remains significant, which is not in line with the third hypothesis. But, it is important to note that enjoyment tends to be a significant predictor of math value ($\beta = .25$, $p = .058$) and that, boredom ($\beta = -.22$, $p = .074$), unlike pride ($\beta = .17$, $p = .163$) and anxiety ($\beta = -.18$, $p = .203$), should also be considered. With all due caution, this tendency shows that students who experience enjoyment during mathematics courses, tend to grant value to this discipline.

10.2.2 Mathematics self-concept

Regarding mathematics self-concept, the regression analysis (Table 3) revealed that this dimension is predicted, on the one hand, by enjoyment ($\beta = .24$, $p = .028$) and anger ($\beta = -.24$, $p = .012$) (step 1) and, on the other hand, by pride ($\beta = .31$, $p < .001$) and hopelessness ($\beta = -.28$, $p = .008$) (step 2). Note that anxiety tends to be a significant predictor as well ($\beta = -.21$, $p = .055$). Nonetheless, the integrative model (step 3) shows that, pride ($\beta = .22$, $p = .035$) is the only emotion which remains significant. But, hopelessness tends to be a significant predictor as well ($\beta = -.22$, $p = .055$). Those findings partially confirmed our supposition. In short, it appears that students who are proud of themselves and probably not hopeless, have positive self-perceptions of their mathematics skills.

10.3 Emotions as predictors of academic outcomes

10.3.1 Behavioral engagement

The first step highlighted that boredom ($\beta = -.39$, $p = .002$) significantly predicts the behavioral engagement (Table 3). When we focused only on the outcome emotions (step 2),

pride ($\beta = .22$, $p = .026$) appears to be a significant predictor as well (Table 3). Yet, when all the emotions are taken into account, only boredom ($\beta = -.38$, $p = .005$) turned out to be a significant and negative predictor of engagement (Table 3). In short, students will engage themselves in mathematical tasks if they are not bored by them.

10.3.2 Mathematics performance

With regard to performance in algebra, the first step analysis reveals that, among activity emotions, only anger ($\beta = -.27$, $p = .014$) appears to significantly predict mathematics performance (Table 4). As far as outcome emotions are concerned (step 2), only pride ($\beta = .22$, $p = .024$) and hopelessness ($\beta = -.41$, $p = .002$) turned out to be two significant predictors. However, the third steps stated that only pride ($\beta = .31$, $p = .021$) and hopelessness ($\beta = -.33$, $p = .023$) remain significant, which does not totally support our hypothesis. In brief, according to our results, it seems that algebraic performance is positively predicted by pride and negatively predicted by hopelessness.

Table 4. Multiple regression analysis for "activity" emotions and "outcome" emotions predictors of math performance

	Step 1	Step 2	Step 3
Activity			
Enjoyment	.09		.03
Boredom	-.14		-.19
Anger	-.28**		-.07
Outcome			
Pride		.22**	-.31**
Shame		-.18	-.22
Anxiety		.09	.19
Hopelessness		-.41**	-.33**

Note. * $p \leq .001$ ** $.001 < p < .05$

11. Discussion

The present study had two major goals. First, we aimed at measuring the emotions and motivation that eighth grade students experienced in mathematics. Our second aim was to update the best emotional predictors of math value, math self-concept, behavioral engagement and math performance.

11.1 Motivation and academic emotions

Regarding motivation, our data support what other researchers have found with students of the same age (Goetz et al., 2010) and with younger students (Frenzel et al., 2007 ; Marcoux, 2012) namely that eighth graders grant some value to mathematics and evaluate positively their mathematics capabilities. However, the data do not allow us to express an opinion on the dimension(s) of the perceived value, as defined by Eccles and Wigfield (2002), that is (are) granted by students: attainment value, utility value, intrinsic value or cost. Yet, according to several researchers, it seems that students express little interest in mathematical

content and consider this domain as useless (Desmarets et al., 1997; Develay, 1996; Legrand, 2006). Additionally, data collected by Simpkins, Davis-Kean, and Eccles (2006) reveal that sixth and tenth graders perceive mathematics as a more useful discipline than an interesting one.

Moreover, we suggest that the similarities between the mathematics curricula of seventh and eighth graders partly explain the positive valence of eighth graders' self-concept. Indeed, the eighth grade mainly deepens what has been learned during previous year. In this respect, Fayol (2006) underlines that « the repeated practice of an activity or the regular company of a set of knowledge improves the performance » (p. 58, free translation). According to Fayol, this familiarization with concepts supports students' achievement. And, as previously underlined, the experiences of success and failure constitute one of the main sources of mathematics self-concept (Marsh et al., 2015; Parker et al., 2013). On the basis of these statements, it seems that the presence of familiar concepts is beneficial for student's self-concept.

As far as academic emotions are concerned, our data show that boredom is the most experienced negative emotion and pride the most felt positive emotion. The prevalence of boredom could be partly explained by the educational practices in force in mathematical classrooms nowadays (Goetz et al., 2010). Those practices are described as transmissive, predictable and technical. More precisely, researchers criticize the mechanical execution of algorithms, a form of teaching based on formalization and excessive symbolization (Demonty, 2005; Marcoux, 2012). As a result, calculations are decontextualized, the symbols used refer to nothing, students execute blindly the algorithms taught, trying to avoid confusing the authorized operations with the forbidden ones (Demonty, 2005; Desmarets et al., 1997). Regarding pride, several pieces of evidence shed light on the fact that it is the most felt positive emotion in mathematics settings. First, unlike enjoyment, pride is an outcome emotion and it is well-known that students place great importance on math grades compared to other academic domains (Baumard et al., 2006) and therefore, experience more outcome emotions than activity emotions. Secondly, defined as a sense of self-satisfaction after a success (Legendre, 1993), pride is associated with self-image; several researchers, such as Huguet (2006), have pointed out that self-representation is crucial in mathematics.

11.2 Emotions as predictors of motivation

With respect to math value, it appears that when activity and outcome emotions are put within the same model, the effects of enjoyment, boredom, pride and anxiety on math value are no more significant. However, given the similarity between the p-value and the critical threshold, we posit that, with a larger sample, enjoyment and, less surely, boredom, would have been emphasized as significant predictors of math value. Consequently, we could expect that activity emotions better explain mathematics value than outcome emotions. Besides, several assumptions can be proposed to shed light on the fact that anger, unlike boredom and enjoyment, is not predictive of math value. First, unlike boredom and enjoyment considered as academic achievement emotions only, anger also has a social dimension (Pekrun, 2014 ; Pekrun & Linnenbrink-Garcia, 2012), which means that the interactions between individuals

can contribute to explain the anger felt. Secondly, anger as an activating negative emotion maintains complex relationships with motivation and so with perceived value, which is one of the motivational dimensions (Eccles & Wigfield, 2002; Govaerts, 2006; Pekrun & Perry, 2014). Indeed, if enjoyment is assumed to strengthen students' interest and extrinsic motivation and boredom to impair them, anger can at the same time be detrimental to intrinsic motivation and generate a strong extrinsic motivation to overcome obstacles (Pekrun, 2007; Pekrun & Perry, 2014).

These first results open the door to discussion in terms of educational practices. Given that enjoyment has a tendency to predict math value and that this emotion is not often experienced by students in mathematics, it seems of great importance for teachers to modify their educational approach by putting emphasis on the intrinsic interest of mathematical knowledge. The role played by mathematics in the development of spirit, logic and reasoning could, in this way, be invoked. Although concepts like integrals or algebraic equations are not used daily, they are nevertheless included in many university courses. In addition, as we think that a student's relationship with mathematics is strongly affected by social representations such as the "bump of math" or the direct relation between intelligence and math performance, it seems important to demythologize them in order to be wide open to the intrinsic potential of mathematics. A way could be to establish a moment during the time of class to discuss and to put those representations in perspective.

About math self-concept, our results showed that it is significantly predicted by pride and almost by hopelessness. As for math value, we assume that with a larger sample, hopelessness would have been a significant predictor. In other words, a sense of self-satisfaction and high expectations of success or weak expectations of failure lead to a positive evaluation of our own mathematics abilities. However, unlike our supposition, shame and anxiety did not predict math value. As with anger, these two emotions are negative activating emotions which imply complex relationships with motivation, and so with self-concept (Pekrun & Perry, 2014). These unexpected results are in line with those observed by Goetz et al. (2010). More specifically, they noticed that pride is the emotion most strongly correlated with math self-concept while anxiety, surprisingly, correlates only moderately with it.

Those results, pertaining to math self-concept, have important implications for educational practices. First, it seems important to present each new mathematical subject by putting it in connection with close concepts or with concepts on which it leans in order to not damage students' self-concept. Secondly, it seems of great importance to encourage students to be proud of their achievement. In this respect, teachers should pay attention to students who do not feel self-confident and therefore prefer to restrain this kind of positive emotion.

11.3 Emotions as predictors of behavioral engagement and mathematics performance

With respect to behavioral engagement, our data highlighted a moderate involvement of eighth graders in mathematics and supported our assumption according to which activity emotions better explain behavioral engagement than outcome emotions. On this point,

regression analysis says that boredom is the sole emotion predicting significantly behavioral engagement. Yet it is also the most negative emotion experienced by students in mathematics.

Currently, boredom can be explained by three main sources (Goetz et al., 2010). Firstly, boredom is reported in routine, non-challenging tasks. But, Viau (2009) mentions that a transmissive, routine and technical mathematics teaching is more a source of boredom than motivation to engage, which can partially explain the average level of engagement observed with eighth graders. This assumption questions teachers' educational practices. Secondly, boredom is also experienced in activities where demands are too high (Goetz et al., 2010). This assertion is supported by the concept of "zone of proximal development", suggested by Vygotsky, which claims that the student is more productive if learning tasks are situated in this zone (UNESCO, 1994). Once again, teacher's educational practices are questioned. Note that individual dispositions also contribute to explain the level of boredom experienced in classrooms settings (Nett, Goetz, & Daniels, 2010), but this is beyond the scope of this article.

In terms of practical implications, these results seem to say that offering tasks enabling real engagement –challenging but not too much– from the students leads to lower levels of boredom. Pekrun et al. (2010) support our results by reporting that several studies have shown how boredom relates negatively with attention and effort in academic tasks, which are two components of behavioral engagement. Among these studies, Jarvis and Seifert (2002) point out that student withdrawal of effort at school is the consequence of a feeling of boredom. Watt and Vodanovich (1999), for their part, found that boredom correlates negatively with educational involvement. With regard to the prevention of or decrease in boredom and in line with our previous advice, Pekrun et al. (2010) claim that « it would be important to provide a sufficient match between task demands and individual competencies [. . .] a perfect match would require tasks that are cognitively challenging for all students, but that do not exceed any individual student's capabilities » (p. 546).

With regard to performance in algebra, we assumed that outcome emotions would significantly predict students' math achievement. This hypothesis has been partially confirmed. Indeed, only pride and hopelessness explained significantly algebraic performance. As underlined previously, shame is a negative activating emotion, which implies complex relationship with academic performance. Indeed, if pride encourages the academic performance and hopelessness impairs it, shame can, at the same time, damage the immediate performance and support the long-term motivation to invest effort (Pekrun & Perry, 2014). Regarding anxiety, several suppositions can be proposed to shed light on the fact that, surprisingly, this emotion is not predictive of math performance. First, as with shame, anxiety is a negative activating emotion. Secondly, although the correlation between anxiety and math performance is no longer in doubt (Ahmed et al., 2013; Govaerts, 2006; Pekrun & Perry, 2014), empirical findings are less clear about the predictive power of math anxiety. For instance, Ashcraft and Krause (2007) posit that math anxiety affects cognitive processing by diverting a student's attention away from the task at hand, toward worries and negative thoughts which in turn influences mathematic performance. Moreover, the test used to assess students' performance was not undertaken in the usual conditions. More specifically, students were told that they would not be graded and that they would have

enough time to complete the test. In such a context, emotions associated with the expectation of failure are not likely to arise.

Nowadays, students' mathematical performance is of concern to many governments who have proposed various reforms aimed at improving the scores at both national and international tests. The present results suggest that they should aim to preserve and encourage students' pride and to avoid hopelessness. Regarding the hopelessness feeling, we hypothesize, that it is important that teachers, educators and parents' messages and feedback convey hope, for example, by underlining the good points of the work, by proposing concrete suggestions to do better the next time and by appealing to internal, unstable and controllable causes such as an attempt to explain the student's successes and failures (Weiner, 1985). In addition, parents' and teachers' expectations must be adapted to each student by taking into account his or her initial level. Indeed, excessive expectations could discourage the student and affect his or her mathematics self-concept.

11.4 Limitations and areas of future research

To conclude, our results support previous findings regarding academic emotions (Govaerts, 2006 ; Op't Eynde et al., 2007 ; Pekrun & Perry, 2014) by highlighting the primary importance of emotions in educational settings and are in line with the Control-Value theory by showing a tight relationship between motivational, emotional and cognitive variables. This relationship sheds light on the two possible ways to enhance mathematical performance: by acting on motivation or on emotions. If motivational interventions have been widely developed (Ainley & Ainley, 2010 ; Gaspard et al., 2014 ; Reeve, 2009; Schunk & Ertmer, 2000), the emotional field has been less investigated. On this point, given the importance of emotions not only for academic and professional performance but also for social relationships, psychological well-being, and physical health (Mikolajczak et al., 2009), several researchers have only recently investigated the potential of developing individuals' emotional competencies. In the academic context, the studies conducted on this topic focus mainly on undergraduates (Goetz, Frenzel, Pekrun, & Hall, 2006; Nelis, Quoidbach, Mikolajczak, & Hansenne, 2009) with the exception of Brasseur's study (2013) conducted with high intellectual potential teenagers. This study has very promising results since the author observed an improvement in students' emotional skills following the training, changes which remained. These findings and our own data have convinced us to now examine the impact of training targeting the development of fifth grade students' emotional competencies in mathematics on their motivation, task persistence and math performance.

A few limitations of this study should be noted. First, given the numbers of items used to measure mathematics value (4 items) it was not possible to examine each dimension separately. But this study can be seen as a foundation for conducting more accurate measures to confirm or not our hypothesis regarding the importance granted by eighth graders to the instrumental value of the mathematics. Moreover, the size of our sample requires putting our results into perspective. Therefore, it would be relevant to confirm these results with another study. Additionally, as we worked with a clustered data set, multilevel modelling would have shed a more accurate light on the data. Another limitation of the current study is that teachers'

educational practices were not examined; this could have shed light on several results such as those pertaining to engagement and boredom. A fruitful area for future research could be to further investigate the link between engagement and boredom from the perspective of educational practices. In this regard, we think that resolution of problems could help pupils learn how to solve a mathematical problem. The final limitation involves the variables studied. We focused only on some motivational and emotional variables without taking into account the classroom's social environment which, according to the Control-Value theory, influences individual appraisal of the task in terms of value, controllability and capacity to achieve it (Pekrun & Perry, 2014). So, it is also important for future research to include measures of social environment –such as quality of instruction, goal structures, feedback, autonomy support, etc. (Pekrun & Perry, 2014)– in order to better understand the source of the emotions experienced in mathematical classrooms. Along the same lines, we focused on the emotions more often experienced in mathematical settings according to a German study. However, the data collected regarding mathematics performance and, with some caution, math self-concept, suggest that hope, the positive twin of hopelessness, could also be a significant predictor of those dimensions and thus, could also question educational practices, especially as it is mentioned by several researchers (Op't Eynde et al., 2002, Pekrun et al., 2002 ; Turner, Husman, & Schallert, 2002) as frequently experimented in mathematics.

Chapitre 7

Evaluation d'un dispositif pédagogique visant le développement de stratégies cognitives et métacognitives en résolution de problèmes en première secondaire²⁷

Les scores aux épreuves évaluatives externes tant nationales qu'internationales montrent que la résolution de problèmes mathématiques constitue une réelle pierre d'achoppement pour les élèves. Les chercheurs qui se sont penchés sur cette problématique ont mis en évidence l'usage, par les élèves, de stratégies de résolution superficielles, résultat d'une enculturation prolongée dans la culture de classe. Ces stratégies se révèlent inadéquates pour résoudre de véritables problèmes. Le développement de stratégies plus approfondies requiert de reconceptualiser les problèmes mathématiques comme des exercices de modélisation mathématique, autrement dit, de passer par des phases clés, de mobiliser des heuristiques et d'autoréguler sa démarche de résolution. Plusieurs études menées en Flandre, auprès d'élèves de grades 5 et 6 ont montré l'efficacité d'un dispositif de reconceptualisation des problèmes. Cet article présente les effets d'un tel dispositif sur un échantillon d'élèves bruxellois de première secondaire. Les résultats indiquent une plus grande utilisation d'heuristiques de résolution par les élèves ayant suivi le dispositif ainsi qu'une augmentation partielle de leurs performances et ce, comparativement aux élèves du groupe témoin. Les retombées de ces résultats, tant pédagogiques que scientifiques, sont également discutées.

Hanin, V., & Van Nieuwenhoven, C. (2016b). Évaluation d'un dispositif pédagogique visant le développement de stratégies cognitives et métacognitives en résolution de problèmes en première secondaire. *Evaluer. Journal international de Recherche en Éducation et Formation*, 2(1), p 53-88.

²⁷ Les analyses relatives à la dimension émotionnelle sont présentées en annexe 1. Nous avons choisi de ne pas les rapporter dans le texte d'origine. En annexe 1, nous proposons également un approfondissement des différences non significatives. Notons également qu'une précision concernant la mesure des stratégies heuristiques a été ajoutée, sous la forme d'une note de bas de page, par rapport à la version publiée de l'article.

Evaluation d'un dispositif pédagogique visant le développement de stratégies cognitives et métacognitives en résolution de problèmes en première secondaire

1. Introduction

Dans un contexte sociétal mettant de plus en plus en avant la nécessité de disposer de compétences d'analyse et de résolution de situations et de tâches complexes (Marcoux, 2012 ; Verschaffel, Greer & Van Dooren, 2008), il est nécessaire de s'interroger sur leur développement et acquisition au sein de la sphère scolaire. Comme le mentionnent les Socles de Compétences (Administration générale de l'Enseignement et de la Recherche scientifique, 2013), « c'est par la résolution de problèmes que l'élève développe des aptitudes mathématiques, acquiert des connaissances profondes et se forge une personnalité confiante et active » (p.23).

A ce propos, Artigue (2011) souligne que, « les évaluations tant nationales qu'internationales montrent qu'à la fin de la scolarité de base, les connaissances et compétences mathématiques de beaucoup d'élèves ne sont pas celles attendues » (p.9). Ainsi, les données de Pisa 2012 indiquent que 23% des jeunes de 15 ans appartenant à l'OCDE sont en grande et très grande difficulté en mathématiques (OECD, 2011). Si ces derniers sont capables d'appliquer des algorithmes mathématiques, la formulation d'un énoncé en langage mathématique constitue une réelle pierre d'achoppement (Demonty, Blondin, Matoul, Baye & Lafontaine, 2013). Or, cette compétence est la clé de voûte du processus de résolution de problèmes (Fagnant & Demonty, 2004 ; Houdement, 2011 ; Julo, 2002 ; Marcoux, 2012 ; Moreau & Coquin-Viennot, 2003 ; Schoenfeld, 1992; Verschaffel, Greer & De Corte, 2000).

Cette tendance s'observe également au niveau national : les données du Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles (2014), indiquent que 40% des élèves de deuxième secondaire n'ont pas atteint les compétences de base en mathématiques. Plus précisément, le pourcentage de réussite de ces derniers aux items relatifs à la résolution de problèmes s'élève à 51,4% (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, 2014a). Il semblerait donc, comme le soulignent Barrouillet et Camos (2003), que « la résolution de problèmes demeure l'activité dans laquelle les élèves rencontrent le plus de difficultés » (p.330). Ce constat rejoint les résultats d'une étude menée par Marcoux (2012) auprès d'enfants genevois de cinquième primaire qui indiquent que les élèves semblent maîtriser les habiletés élémentaires nécessaires à la résolution de problèmes mais éprouvent de la difficulté à les appliquer dans ce type d'activité.

Ces faibles performances ont conduit de nombreux chercheurs (Fagnant et al., 2003; Fagnant & Demonty, 2004 ; Gamo, Taabane & Sander, 2011 ; Houdement, 2011 ; Verschaffel *et al.*, 2000) à examiner, de façon approfondie, les stratégies adoptées par les élèves en résolution de problèmes. Ces derniers ont, notamment, mis à jour l'usage, par les élèves, de démarches de résolution superficielles telles que la non prise en compte des connaissances du monde réel dans la résolution (Verschaffel *et al.*, 2000) et une résolution reposant sur la recherche d'indices sémantiques (Gamo, Nogry & Sander, 2014 ; Gamo *et al.*, 2011). Or, ces démarches s'avèrent inefficaces pour résoudre de véritables problèmes au sens où l'individu ne connaît pas d'emblée la démarche à adopter pour solutionner le problème (Fagnant *et al.*, 2003). A cet effet, les chercheurs qui se sont penchés sur cette problématique préconisent un changement au niveau des pratiques d'enseignement et d'apprentissage de la résolution de problèmes. Plus précisément, ces derniers s'accordent sur la nécessité de reconceptualiser les activités de résolution de problèmes comme des exercices de modélisation, de proposer des recueils de problèmes variés, d'adopter une méthodologie ouverte, autrement dit, de favoriser la diversité des démarches et des stratégies de résolution et d'introduire de nouvelles normes socio-mathématiques, plus appropriées (Verschaffel *et al.*, 2000).

Cependant, peu d'articles se sont penchés sur l'évaluation de l'efficacité des pratiques d'enseignement et d'apprentissage précitées. Notons les études menées, en Flandre, par Verschaffel et ses collègues (De Corte & Verschaffel, 2002 ; De Corte, Verschaffel & Masui, 2004 ; Verschaffel & De Corte, 1997 ; Verschaffel, De Corte, Lasure, Van Vaerenbergh, Bogaerts & Ratinckx, 1999) auprès d'enfants de cinquième primaire. Ces études mettent en évidence des résultats prometteurs en montrant qu'il est effectivement possible d'améliorer la capacité des élèves à autoréguler leur propre processus de résolution de même que leurs performances en résolution de problèmes.

Néanmoins, ces résultats concernent la partie flamande de la Belgique dont les méthodes d'enseignement des mathématiques diffèrent de celles en vigueur dans la partie francophone (d'après une comparaison de plusieurs manuels scolaires menée par nos soins). Il est donc pertinent et utile d'évaluer l'efficacité de l'instauration de pratiques d'enseignement et d'apprentissage semblables au regard des spécificités des méthodes pédagogiques en vigueur en Fédération Wallonie-Bruxelles. De plus, la littérature empirique à ce sujet concerne principalement les élèves du primaire. Or, sur la base des résultats encourageants obtenus par Verschaffel et ses collègues, il est tentant de vouloir instaurer de telles pratiques dans les classes supérieures. En outre, jusqu'à présent, aucune étude ne s'est penchée sur les effets bénéfiques de ces pratiques pour des profils d'élèves affichant de faibles performances en résolution de problèmes. Or, ces derniers présentent des besoins pédagogiques différents. A ce sujet, les auteurs (Muir et al., 2008 ; Schoenfeld, 1992) soulignent le manque d'habiletés métacognitives et d'heuristiques de résolution – définies comme des stratégies de recherche pour la résolution de problèmes qui ne garantissent pas, mais augmentent significativement, la probabilité de trouver une solution correcte en induisant une approche systématique de la tâche (De Corte & Verschaffel, 2005 ; Verschaffel *et al.*, 2000) – des résolveurs novices, en comparaison aux résolveurs experts.

Finalement, les chercheurs sont formels sur le rôle clé joué par l'heuristique « représenter le problème » dans la résolution de problèmes (Coquin-Viennot & Moreau, 2003 ; Gamo *et al.*, 2011 ; Kintsch & Greeno, 1985 ; Riley, Greeno & Heller, 1983 ; Thevenot, Devidal, Barrouillet & Fayol, 2007 ; Thevenot & Oakhill, 2008). Cependant, le rôle joué par les autres heuristiques comme associer des problèmes sur base de leur structure mathématique, réaliser un plan de résolution, anticiper le résultat, vérifier ses calculs et sa démarche, interpréter le résultat obtenu à la lumière de l'énoncé, etc. est moins clair. Or, plusieurs auteurs (Fagnant & Demonty, 2004 ; Houdement, 2014 ; Verschaffel *et al.*, 2000) insistent sur l'importance d'interpréter le résultat obtenu à la lumière de l'énoncé.

C'est dans ces perspectives que s'inscrit la présente recherche. Cette dernière poursuit un triple objectif. Tout d'abord, nous souhaitons évaluer les effets d'un dispositif pédagogique couvrant les pratiques d'enseignement et apprentissage proposées par Verschaffel *et al.* (2000) et décrites plus tôt sur la persévérance et les performances d'élèves de première secondaire. Ce dispositif vise le développement d'une stratégie d'autorégulation cognitive globale combinée à l'enseignement d'heuristiques de résolution par le biais d'une méthodologie ouverte et d'un recueil de problèmes variés. Ensuite, nous souhaitons identifier le(s) profil(s) d'élève à qui profite ce dispositif. Est-il bénéfique tant aux élèves « faibles » en résolution de problèmes qu'aux élèves « forts ». Finalement, nous voulons vérifier la primauté d'une heuristique « représenter le problème ».

2. Cadre théorique

Afin de mieux saisir l'intérêt d'adopter les pratiques d'enseignement et apprentissage préconisées par Verschaffel *et al.* (2000), fruit d'une opérationnalisation d'un modèle théorique de résolution de problèmes mathématiques, il est nécessaire d'identifier les stratégies de résolution de problèmes adoptées par la plupart des élèves.

2.1 Stratégies de résolution superficielles observées chez le résolveur novice

Une stratégie couramment mise en œuvre par les élèves, en résolution de problèmes, est la non prise en compte des connaissances du monde réel dans la résolution de problèmes (Baruk, 1985 ; Greer, 1993 ; Verschaffel *et al.*, 2000). Le célèbre problème de l'âge du capitaine²⁸ a fait couler beaucoup d'encre à ce sujet. Effectivement, de nombreuses études réalisées tant auprès d'enfants du primaire que du début du secondaire (Greer, 1993 ; Palm, 2007 ; Verschaffel, De Corte & Lasure, 1994 ; Verschaffel *et al.*, 2000) ont montré qu'un nombre impressionnant d'apprenants répondent à ce problème insolvable en combinant les données numériques de l'énoncé sans même se rendre compte du caractère insensé du problème et de leur solution. Ce comportement reflète le contrat didactique, c'est-à-dire, le système de normes, règles et attentes implicites qui évoluent réciproquement entre l'enseignant et les élèves (Greer, 1997). Concrètement, si l'enseignant propose un problème à ses élèves, c'est qu'il est soluble. Or, la construction d'une représentation du problème et

²⁸ « Sur un bateau, il y a 26 moutons et 10 chèvres. Quel est l'âge du capitaine ? » (Baruk, 1985).

donc, la prise en compte du contexte de ce dernier, conditionne la réussite des phases de résolution ultérieures et donc la réussite du problème (Fagnant *et al.*, 2003 ; Reusser, 1990 ; Thevenot *et al.*, 2007 ; Verschaffel *et al.*, 1999).

Houdement (2011, 2014), s'intéresse aux connaissances nécessaires à la réussite des problèmes, souvent ignorées tant par les institutions d'enseignement que par les études didactiques. A ce propos, des premières connaissances cachées se situent au niveau des contrôles sémantiques et pragmatiques. Le contrôle sémantique s'appuie sur l'interprétation de l'énoncé du problème et la représentation (mentale) que l'apprenant se fait du problème (Houdement, 2011, 2014). L'association « partager, c'est diviser » en est une illustration. Le contrôle pragmatique réfère à l'analyse de la pertinence du résultat obtenu à la lumière des connaissances relatives au monde réel (Houdement, 2011, 2014). Se demander si cinq euros est un prix raisonnable pour un bâton de chocolat en est un exemple. La qualification ou capacité à contextualiser les résultats numériques fait partie des connaissances ignorées. A ce propos, Houdement observe que certains élèves ont des difficultés à identifier la grandeur correspondant à la valeur numérique obtenue et encore plus à transformer le résultat obtenu en une réponse qui satisfait l'énoncé du problème. Or, ces contrôles ainsi que la qualification s'avèrent indispensables pour résoudre correctement un problème mathématique. Effectivement, ces compétences sont observées chez les résolveurs experts et leur carence génère de réelles difficultés chez les apprenants qui en sont dépourvus (Houdement, 2011, 2014).

Par ailleurs, plusieurs études centrées sur les effets de contenus de l'énoncé des problèmes ont montré que, chez les élèves du primaire et du début du secondaire, la résolution est guidée par l'interprétation de traits de surface, de mots présents dans l'énoncé pouvant être considérés comme des mots-clés ou des indices par les individus (Gamo *et al.*, 2011 ; Hakem, Sander & Labat, 2005 ; Sander, Levrat, Brissiaud, Porcheron & Richard, 2003). Ces indices sémantiques et linguistiques peuvent orienter fortement le choix de la stratégie de résolution et donc l'issue de la résolution (réussite vs échec). Ainsi, la présence d'effectifs ou de prix induirait une stratégie de résolution de type « cardinal » tandis que la présence de données temporelles favoriserait une résolution de type « ordinal » (Gamo *et al.*, 2014). Cependant, les indices épinglés ne fournissent qu'une vision partielle du problème, faisant fi des autres objets et agents et surtout des relations entre ces éléments. De plus, il semble que l'interprétation de ces indices repose davantage sur les connaissances du monde réel et beaucoup moins sur des connaissances mathématiques. Or, les premières ne sont pas toujours compatibles avec la structure mathématique du problème. Il semblerait que les élèves aient tendance à s'appuyer sur des caractéristiques de surface et à appliquer les procédures mémorisées induites par ces caractéristiques sans avoir examiné en profondeur la structure mathématique du problème.

La suspension de construction de sens, l'absence de contrôle sémantique ainsi qu'une démarche de résolution reposant sur le prélèvement d'indices sémantiques dans l'énoncé sont des caractéristiques d'une démarche superficielle de résolution, dit autrement, non fondée sur une analyse approfondie de l'énoncé. Ce type de démarche s'avère inefficace pour résoudre de véritables problèmes (Fagnant *et al.*, 2003).

D'après Verschaffel *et al.* (2000), deux facteurs sont à l'origine de telles stratégies : d'une part, les croyances et connaissances relatives à la résolution de problèmes ou Word Problem Schemata (WPS) qui résultent d'une immersion prolongée dans la culture de classe (De Corte & Verschaffel, 1985) et, d'autre part, la nature stéréotypée et artificielle des problèmes proposés dans les classes. Ces deux facteurs relèvent du contrat didactique, déjà évoqué précédemment (Coquin-Viennot, 2001 ; Greer, 1997). Ce constat est appuyé par plusieurs recherches (Barrouillet & Camos, 2003 ; Coquin-Viennot & Moreau, 2003 ; Fagnant & Demonty, 2004 ; Verschaffel & De Corte, 1997) qui se sont attachées à montrer, qu'en moyenne, ces stratégies superficielles ne sont pas mobilisées par les enfants, avant huit ans, âge qui marquerait le début de l'enculturation de l'élève dans les pratiques de classe (Coquin-Viennot, 2001). En conclusion, ces constats semblent indiquer que le développement de stratégies de résolution plus approfondies et plus appropriées pour résoudre de véritables problèmes requiert un changement des pratiques d'enseignement et d'apprentissage. Cet aspect est abordé au point suivant.

2.2 La modélisation mathématique au service de la résolution de problèmes

Afin de favoriser l'usage de démarches de résolution expertes, les chercheurs (Fagnant *et al.*, 2003 ; Fagnant & Demonty, 2004 ; Mukhopadhyay & Greer, 2001 ; Verschaffel & De Corte, 1997 ; Verschaffel *et al.*, 2000) s'accordent sur la nécessité de reconceptualiser les problèmes comme des exercices de modélisation mathématique. Cette dernière désigne « l'inférence puis l'opérationnalisation de mathématiques pour résoudre un problème issu du réel » (Houdement, 2014, p.10). Si plusieurs modèles de modélisation mathématique co-existent au sein de la littérature, ces derniers distinguent les mêmes phases de résolution de problèmes (notamment Burkhardt, 1994 ; Verschaffel *et al.*, 2000).

Pour la présente étude, nous avons retenu le modèle proposé par Verschaffel *et al.* (2000) qui propose une synthèse des modèles existants. Ce modèle promeut le développement d'une stratégie globale d'autorégulation de ses propres activités cognitives couplé à l'apprentissage d'heuristiques. Par stratégie d'autorégulation globale, Verschaffel et ses collègues entendent les compétences métacognitives impliquées dans le « monitoring » et la régulation de son propre processus de résolution. Plus précisément, cette stratégie d'autorégulation se traduit par la mise en œuvre d'une démarche de résolution impliquant cinq phases que sont la compréhension, la modélisation, l'analyse mathématique, l'interprétation et la communication (Figure 1²⁹). Précisons que cette démarche de résolution doit être vue comme cyclique et non comme une progression linéaire (Verschaffel *et al.*, 2000). La disposition linéaire constitue une chronologie pour l'enseignement du processus de modélisation.

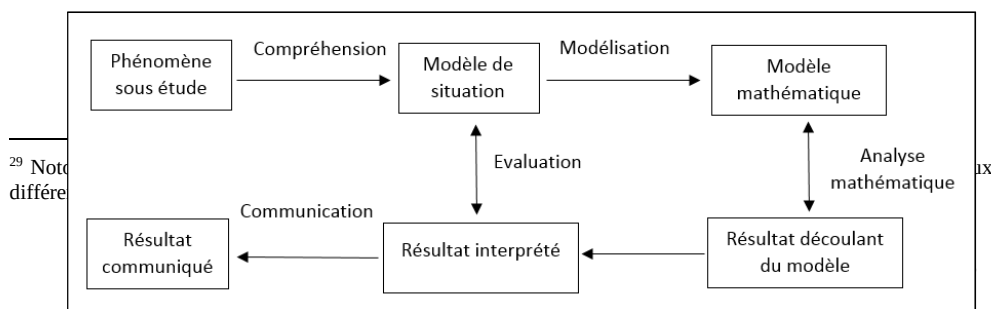


Figure 1. Diagramme schématique du processus de modélisation
(Fagnant et al., 2003, p.30)

Le point de départ est la situation à traiter. La première phase est la **compréhension** du problème à traiter. Plus précisément, cette première phase consiste, pour l'élève, à faire ressortir les éléments importants mentionnés dans l'énoncé du problème et les relations tant causales que temporelles entre ces éléments. Cela suppose que ce dernier dispose de connaissances relatives au phénomène sous étude, autrement dit de connaissances du monde réel. Cette première phase aboutit à la **construction d'un modèle de situation** (Staub & Reusser, 1995 ; Van Dijk & Kintsch, 1983) et fait intervenir plusieurs heuristiques telles que « représenter le problème », autrement dit faire un dessin, un schéma, un tableau ou reformuler le problème ; « distinguer les données utiles des données inutiles » et « utiliser ses connaissances du monde réel » (Verschaffel *et al.*, 2000). Dans la deuxième phase, l'apprenant est invité à « transformer » le modèle de situation en un **modèle mathématique**, on parle alors de modélisation. Cela suppose d'exprimer les éléments et relations clés dans un langage mathématique. Des ressources mathématiques – connaissances, savoir-faire et stratégies de résolution – sont ici nécessaires. La troisième phase consiste à appliquer une **analyse mathématique** au modèle mathématique. En s'appuyant sur le modèle mathématique et sur les connaissances mathématiques connexes, l'apprenant effectue les opérations nécessaires et aboutit à un ou plusieurs résultats. Les heuristiques « test et re-test », « recherche de régularités », « réaliser un organigramme » et « simplifier les nombres » peuvent être utilisées à cette étape-ci. Il s'agit ensuite, pour l'apprenant, d'**interpréter** le ou les résultat(s) à la lumière du modèle de situation (phase 4). Plus précisément, l'apprenant doit examiner le sens de son résultat au regard des informations contextuelles retenues comme pertinentes de même que la plausibilité et l'aspect réaliste de la solution. Finalement, l'apprenant **communique** les résultats interprétés (phase 5). Si l'apprenant considère la solution comme appropriée, il la communique. Dans le cas contraire, il doit réexaminer le modèle de situation ce qui le conduira à un modèle mathématique adapté si le nouveau modèle de situation est cette fois-ci approprié.

Ce modèle théorique de résolution de problèmes a donné lieu à de nouvelles pratiques d'enseignement et d'apprentissage consignées au sein d'un dispositif pédagogique. Ce dernier comprend, tout d'abord, l'enseignement d'une démarche de résolution de problèmes en cinq phases –compréhension, modélisation, analyse mathématique, interprétation et communication – combinés à huit heuristiques – faire un dessin ; faire un schéma, un tableau ; distinguer les données pertinentes des données non pertinentes ; utiliser ses connaissances du monde réel ; faire un organigramme ; appliquer le test et retest, chercher

des régularités et simplifier les nombres. Ensuite, ce dispositif rompt avec la batterie de problèmes stéréotypés et peu diversifiés proposée habituellement dans les classes en suggérant des problèmes plus réalistes et non-routiniers qui rendent nécessaires et pertinents le passage par la modélisation mathématique. Ensuite, ce dispositif invite à modifier nos méthodes d'enseignement en favorisant la résolution des problèmes par petits groupes afin de tirer profit du conflit socio-cognitif et d'encourager le développement d'habiletés métacognitives via les échanges. La comparaison des démarches de résolution et des solutions est également vivement encouragée en ce qu'elle permet de construire la démarche de résolution sur base de ce que les élèves ont produit. De surcroît, pendant toute la durée de l'implémentation du dispositif, l'enseignant est invité à intervenir afin de déconstruire les croyances et présupposés erronés et instaurer de nouvelles normes socio-mathématiques, pour reprendre les termes de Cobb, Yackel et Wood (1992), plus compatibles avec les nouvelles pratiques instaurées (Verschaffel et al., 2000).

Comme nous pouvons le constater, l'idée de la modélisation mathématique est donc bien de rompre avec le développement d'une expertise technique laquelle, bien souvent, aliène les apprenants à l'autorité des mathématiques et les prive d'autonomie. L'accent est plutôt porté sur le développement d'une habileté et d'une disposition à utiliser les mathématiques comme un outil critique permettant d'analyser les problématiques du monde réel (Mukhopadhyay & Greer, 2001 ; Van Dooren, Verschaffel, Greer, De Bock & Crahay, 2010).

Comme précisé dans l'introduction, ce dispositif a fait l'objet de plusieurs études empiriques auprès d'enfants de cinquième primaire, principalement (Verschaffel & De Corte, 1997 ; Verschaffel *et al.*, 2000). Les résultats indiquent que, comparativement aux élèves du groupe contrôle, ceux qui ont bénéficié d'un tel dispositif ont développé des croyances et présupposés plus appropriés à l'égard de la résolution de problèmes, recourent significativement plus aux heuristiques enseignées et, ont de meilleures performances suite à l'intervention.

Par ailleurs, bien que la persévérance, définie par Brault-Labbé et Dubé (2008) comme « la force comportementale qui favorise en dépit des obstacles rencontrés, la poursuite des actions que nécessite l'engagement » (p.731) ait surtout été investiguée au niveau de la scolarité non obligatoire en lien avec l'abandon des études, Verschaffel et ses collègues se sont également brièvement intéressés aux effets de leur dispositif sur la persévérance des élèves. Il en ressort que, les élèves du groupe expérimental font preuve de davantage de persévérance à la fin du dispositif qu'avant le début de son implémentation et ce, comparativement à leurs homologues du groupe contrôle (Verschaffel *et al.*, 2000). En outre, une étude menée en sixième primaire montre que les élèves qui persévèrent le plus dans la résolution de problèmes mathématiques sont également ceux qui ont une vision processuelle de la résolution de problèmes, dit autrement, ceux dont les croyances et présupposés relatifs à la résolution de problèmes sont en phase avec les pratiques d'enseignement et apprentissage décrites plus tôt (Depaepe, De Corte & Verschaffel, 2007).

2.3 Hypothèses basées sur ces constats

Notre première question de recherche porte sur l'évaluation de l'effet d'un dispositif (figure 2), semblable à celui proposé par Verschaffel *et al.* (2000) en ce qu'il propose des problèmes plus réalistes et non routiniers, comprend l'enseignement d'une démarche de résolution basée sur des heuristiques proches des phases et heuristiques figurant dans le modèle de Verschaffel et de ses collègues et rompt avec les méthodes d'enseignement traditionnelles en encourageant la résolution par groupe et la comparaison des productions d'élèves. Plus précisément, sur la base des résultats présentés plus tôt, nous émettons l'hypothèse que la mise en place d'un tel dispositif devrait aboutir à des résultats prometteurs tant en termes de fréquence d'utilisation des heuristiques enseignées qu'en termes de performances. Par ailleurs, bien que les recherches présentées plus tôt s'attardent peu sur la persévérance, plusieurs auteurs (Bouchard & Viau, 2000 ; Linnenbrink, 2007) ont mis en avant la présence d'un lien positif étroit entre les stratégies cognitives et métacognitives et la persévérance. Fiedler et Beier (2014), pour leur part, présentent la persévérance comme une condition préalable fondamentale à la performance académique. Sur la base de ces constats, nous postulons que le développement de stratégies cognitives et métacognitives promu au sein de notre dispositif devrait également favoriser la persévérance des apprenants face à une tâche de résolution de problèmes.

De plus, en prenant appui sur la littérature distinguant les résolveurs novices des résolveurs experts (Houdement, 2014 ; Muir *et al.*, 2008 ; Schoenfeld, 1992), nous postulons que ce dispositif sera plus bénéfique aux élèves qualifiés de « faibles » en résolution de problèmes qu'à ceux définis comme « forts ». Effectivement, ces derniers, contrairement aux premiers, sont reconnus pour contrôler activement leur processus de résolution, pour identifier des problèmes semblables sur base de leur structure mathématique, pour résoudre les problèmes en mobilisant les phases du processus de résolution de problème suggéré par Verschaffel *et al.* (2000) et pour utiliser de façon pertinente une variété d'heuristiques telles que représenter le problème, utiliser ses connaissances, vérifier ses calculs et sa démarche et interpréter le résultat obtenu au regard de l'énoncé. Cette hypothèse colore notre deuxième question de recherche qui s'intéresse au(x) profil(s) d'élèves à qui bénéficie le dispositif mis en place.

Finalement, concernant notre troisième question de recherche portant sur la primauté de l'heuristique « représenter le problème », en accord avec les recherches antérieures sur le sujet (Coquin-Viennot & Moreau, 2003 ; Gamo *et al.*, 2011 ; Kintsch & Greeno, 1985 ; Riley *et al.*, 1983 ; Thevenot *et al.*, 2007 ; Thevenot & Oakhill, 2008), nous postulons que, parmi les différentes heuristiques du processus de résolution, la construction d'une représentation du problème constituerait le meilleur prédicteur des performances en résolution de problème.

3. Méthodologie

Dans la présente partie, nous présentons l'échantillon, le dispositif expérimental, les outils de récolte de données ainsi que les modalités de passation.

3.1 Echantillon

Cette étude a été menée auprès de cinq classes (107 élèves) de première secondaire issues d'un établissement situé en Belgique francophone présentant un indice socio-économique³⁰ plutôt faible. Pour la présente étude, deux groupes ont été constitués. Le groupe expérimental ($N = 65$; *Garçons* = 33; *Age moyen* $\pm$ *ET* = $12,1 \pm 0,39$) a bénéficié d'une intervention ciblée sur la résolution de problèmes. Le groupe contrôle ($N = 42$; *Garçons* = 20; *Age moyen* $\pm$ *ET* = $12,4 \pm 0,74$), pour sa part, a travaillé les mêmes problèmes que le groupe expérimental mais sans consigne prédéfinie.

3.2 Dispositif expérimental

Le dispositif (figure 2) couvre cinq semaines auxquelles s'ajoutent trois semaines de prétest, post-test et test de rétention (3 mois après l'intervention).

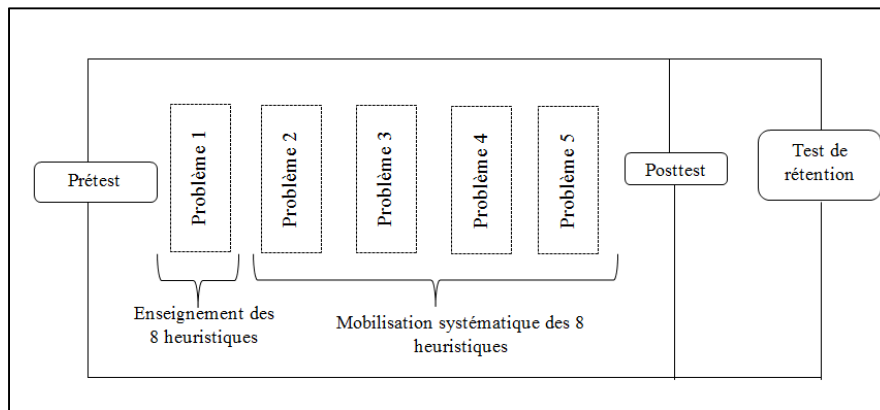


Figure 2. Schématisation du dispositif expérimental

³⁰ Cet indice varie entre 1 et 20 et prend en compte cinq facteurs : le revenu par habitant, le niveau de diplôme des parents, le taux de chômage, les activités professionnelles et le confort des logements (Ministère de la Communauté française, 2009).

Chaque semaine du dispositif, deux heures sont consacrées à la résolution d'un problème³¹ selon une démarche de résolution bien précise qui consiste à mobiliser huit heuristiques que sont « représenter le problème », « estimer³² la solution », « utiliser ses connaissances pour identifier le type de problème », « faire un plan de résolution », « faire les calculs nécessaires », « vérifier ses calculs et sa démarche », « interpréter le résultat obtenu » et « communiquer la solution » (Tableau 1). Ces heuristiques sont largement inspirées du modèle de Verschaffel *et al.* (2000), de la démarche de résolution suggérée par Fagnant et Demonty (2004) dans leur guide méthodologique et de la littérature sur les résolveurs experts (Houdement, 2014 ; Muir *et al.*, 2008 ; Schoenfeld, 1992). A ce propos, si les seconds mettent en avant l'importance d'estimer la solution a priori et de confronter cette estimation au résultat obtenu de même que l'importance de vérifier sa démarche et ses calculs ; les derniers attirent l'attention sur la nécessité de prendre le temps de décoder le problème et d'identifier, sur base de sa structure mathématique, de quel type de problème il s'agit. La figure 3 propose une modélisation de la démarche de résolution figurant dans notre dispositif. Les doubles flèches indiquent l'aspect circulaire de la démarche.

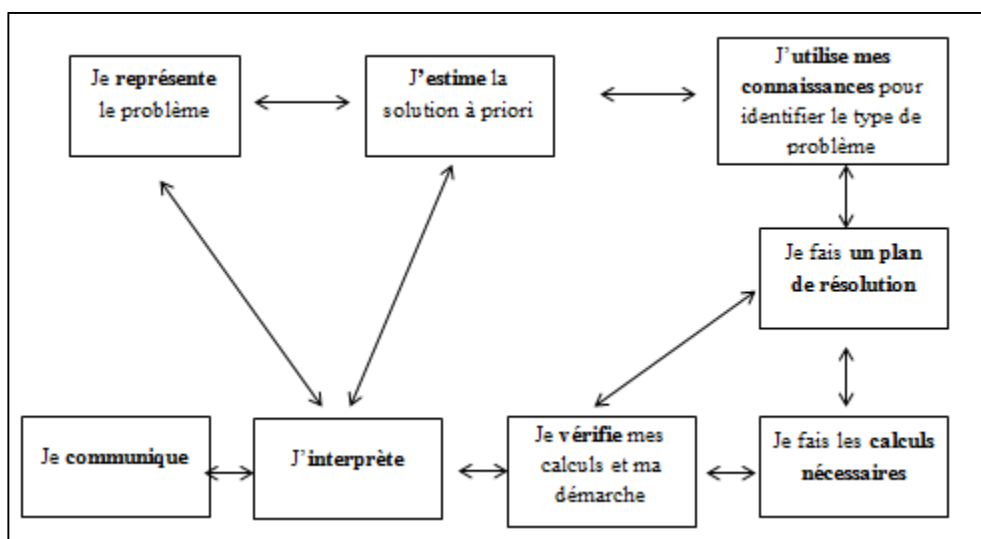


Figure 3. Modélisation de la démarche de résolution enseignée

Les problèmes, pour leur part, sont tirés du guide méthodologique construit par Fagnant et Demonty (2005) qui, lui-même repose sur le processus de modélisation de Verschaffel *et al.* (2000). Les problèmes ont été sélectionnés de sorte à mettre l'accent sur les huit heuristiques enseignées. Par ailleurs, nous avons également veillé à varier les concepts mathématiques sous-jacents (traitement de données, solides et figures, partages inégaux, proportionnalité et calculs de coûts).

³¹ Les énoncés des problèmes sont repris en annexe 5.

³² Si, dans cet article, le terme « estimation » a été utilisé, il réfère au même construit que ce que nous avons appelé « anticipation », à la suite des travaux de Saboya *et al.* (2015), au chapitre 1.

Tableau 1. Parallélisme entre le modèle de Verschaffel et al. (2000) et les heuristiques de notre dispositif

Phases du modèle de Verschaffel et al.(2000)	Heuristiques de notre démarche de résolution	Questions « Guide »
Compréhension	Faire un dessin, schéma, tableau de la situation ou reformuler l'énoncé	Ma représentation du problème contient-elle: - les éléments du contexte (= de quoi on parle) ? - les données importantes ? - la question (= ce qu'on cherche) ? - les relations entre les données et la question ?
	Estimer la solution a priori	- Quel type de réponse vais-je avoir (un prix, une mesure, etc.) ? - Quelle pourrait être approximativement la réponse ? - Dans quelle fourchette la réponse va-t-elle se trouver ?
Modélisation mathématique	Utiliser ses connaissances	- Ai-je déjà résolu un problème semblable - De quel type de problème s'agit-il (proportionnalité, traitement de données, solides et figures, etc.) ? - Quel(s) outil(s), formule(s), propriété(s) mathématique(s) vais-je utiliser pour le résoudre ?
	Faire un plan de résolution	- Ai-je bien indiqué toutes les étapes intermédiaires me permettant de répondre à la question de départ ? - Ai-je bien indiqué les étapes dans le bon ordre ?
Analyse mathématique	Faire les calculs nécessaires	- Ai-je bien respecté les étapes de mon plan de résolution ?
	Vérifier ses calculs et sa démarche	- Ai-je fait ce qui était demandé ? - Est-ce que j'ai suivi mon plan de résolution ? - Est-ce que j'ai vérifié mes calculs ?
Interprétation	Interpréter le résultat obtenu	- Ma solution a-t-elle du sens par rapport à l'énoncé ? - Ma solution est-elle plausible ? - Mon estimation est-elle proche de la solution obtenue ?
Communication	Communiquer la solution	- La solution est-elle exprimée par une phrase claire ? - Les unités sont-elles présentes ?

En termes de méthodologie, nous nous sommes inspirés des propositions faites par Fagnant et Demonty (2005) dans leur guide méthodologique et de celles de Verschaffel *et al.* (2000). Plus précisément, un premier problème est résolu par groupe de 3-4 élèves et les productions de chaque groupe sont comparées afin de faire émerger les huit heuristiques. Ces heuristiques sont ensuite enseignées aux élèves selon la règle WWW&H (What, Why, When and How) suggérée par Veenman, Van Hout-Wolters et Afflerbach (2006). L'enseignant explique en quoi consiste l'heuristique, l'utilité de celle-ci, à quel moment dans la démarche de résolution cette heuristique doit être convoquée et la manière de la mettre en œuvre. Quatre autres problèmes sont ensuite résolus individuellement et corrigés avec toute la classe selon une méthodologie ouverte selon laquelle les différentes représentations du problème, démarches de résolution et solutions sont confrontées et analysées. Pendant la correction l'enseignant insiste sur l'importance de mobiliser les huit heuristiques. On peut également y voir l'évolution des productions de deux élèves entre le prétest et le post-test.

En outre, si encourager les élèves à se poser d’eux-mêmes les questions « guide », recensées dans le tableau 1, pendant la résolution d’un problème, stimule et renforce leur capacité à autoréguler leurs activités cognitives, ces derniers ont, dans la même optique, été invités à réfléchir sur leurs propres processus mentaux. A cet effet, plusieurs questions leur ont été posées, pour certains par écrit et, pour d’autres oralement, tantôt, pendant la résolution du problème (ex. Qu’est-ce que je fais pour le moment ? ; Pourquoi je le fais ?) tantôt, une fois celle-ci terminée (ex. Comment t’y es-tu pris pour résoudre le problème ? Quelles sont les difficultés que tu as rencontrées pendant la résolution du problème ? A ton avis à quoi sont-elles dues ?) (Colognesi, 2015).

Notons que, dans un souci de validité écologique, le dispositif a été implémenté par les enseignants eux-mêmes qui, préalablement, avaient été formés à la démarche de résolution et à la méthodologie proposée au sein du dispositif.

3.3 Mesures

Afin de répondre aux trois objectifs qui sous-tendent la présente recherche, les élèves ont été invités à compléter trois questionnaires et ce, à trois moments clés : avant l’intervention (prétest), après l’intervention (post-test) et trois mois après la fin de l’intervention (test de rétention).

Un premier questionnaire nous a permis de mesurer la persévérance au travers de 8 items. Ces derniers sont inspirés de l’échelle de persévérance de l’« Attitude Toward Mathematics Survey (ATM) », un des seuls outils existant proposant une échelle de persévérance isolée de l’engagement comportemental (Fredricks & McColskey, 2012). Une étude menée sur des élèves du secondaire met en évidence des propriétés psychométriques satisfaisantes (Fredricks & McColskey, 2012). Les items de l’ATM ont été traduits en français et adaptés, par nos soins, au contexte de la résolution de problèmes mathématiques. Les élèves ont été invités à indiquer la fréquence avec laquelle ils adoptent le comportement décrit à l’aide d’une échelle de Likert en 4 points (1 = « Jamais » ; 4 = « Presque toujours »).

Un deuxième questionnaire nous a permis d’appréhender les performances en résolution de problèmes. Ce dernier revêt la forme d’un test classique comportant trois problèmes³³ insistant chacun un peu plus sur une heuristique de résolution. A ce propos, l’heuristique « représenter le problème » est mise à l’honneur dans le problème 1 du prétest, du post-test et du test de rétention ; l’heuristique « faire un plan de résolution » est en jeu dans le deuxième problème et, l’heuristique « interpréter la solution » est, quant à elle, incontournable pour résoudre le problème 3 tant du prétest, du post-test que du test de rétention. Précisons que pour chaque temps de mesure, ce sont les trois mêmes structures mathématiques qui ont été utilisées pour concevoir les énoncés des problèmes. Par ailleurs, les élèves ont reçu comme consignes d’indiquer toute leur démarche et tous leurs calculs sur la feuille, de ne rien effacer mais de barrer si nécessaire. Chaque problème a été évalué selon une échelle binaire (1 : réponse correcte ; 0 : réponse incorrecte). Les heuristiques, ont, quant à elles, été mesurées

³³ Les énoncés des problèmes sont repris en annexe 5.

sur base des productions écrites. Plus précisément, nous avons relevé la présence³⁴ ou non de chacune des huit heuristiques dans chacune des productions du prétest, du post-test et du test de rétention, ce qui, nous a permis d'obtenir un score par heuristique (1 : présent ; 0 : absent) ainsi qu'un score global. Notons que c'est la présence des heuristiques qui a été évaluée et non leur justesse.

Précisons que pour chaque temps de mesure (prétest, post-test et test de rétention), les élèves ont d'abord résolu les trois problèmes (entre 15 min et 1h15) avant de compléter le questionnaire sur la persévérance et ce, afin d'avoir une représentation commune d'un problème mathématique.

Par ailleurs, comme le soulignent Durlak et DuPre (2008), on ne peut interpréter les résultats d'un dispositif sans s'être assuré préalablement que les composantes du dispositif ont été effectivement et correctement administrées. C'est pour cette raison que nous avons recueilli des informations relatives à la fidélité de l'implémentation. Plus précisément, les enseignants du groupe expérimental ont été invités à compléter, de façon hebdomadaire, un carnet de bord avec leur ressenti, le vécu des élèves, les modalités de travail utilisées ainsi que les adaptations éventuelles effectuées. Par ailleurs, s'il est possible de mesurer, en aval, la fidélité de l'implémentation, il est également possible de favoriser une bonne implémentation en amont. A cet effet, suite aux recommandations de plusieurs chercheurs (Dusenbury, Brannigan, Falco & Hansen, 2003 ; Saddler & Graham, 2005), nous avons formé, durant une journée, les enseignants au processus de modélisation mathématique et à la méthodologie ouverte et nous leur avons fourni un guide de consignes détaillé. De plus, nous les avons rencontrés à trois reprises afin de discuter des difficultés rencontrées, de faire le point sur les activités réalisées et de planifier la suite de l'intervention.

4. Résultats et discussion

4.1 Evaluation du dispositif

Pour traiter notre première question qui est d'évaluer les effets d'un dispositif visant le développement d'une démarche de résolution et d'habiletés métacognitives chez les élèves, des analyses de variance (ANOVAs) à deux facteurs ont été menées. Un facteur « temps » à trois niveaux (prétest, posttest et test de rétention) et un facteur « condition » (expérimentale versus contrôle) ont été définis. Les huit heuristiques enseignées, la persévérance et les performances ont, tour à tour, constitué la variable dépendante.

Pour les cas où l'analyse de variance a mis à jour une différence significative d'évolution entre les groupes, nous avons mené une analyse conjointe, des tests-t pour mesures appariées, afin d'être en mesure de caractériser cette différence avec plus de précision. De surcroît, afin d'éviter une potentielle inflation de l'erreur alpha, nous avons appliqué la correction de

³⁴ Notons que seules les mises en oeuvre pertinentes (soutenant le processus de résolution) des stratégies heuristiques ont été prises en compte. Cependant, et cela constitue une limite à la présente étude, il aurait été intéressant, comme nous l'avons fait dans l'étude 5, d'étayer cette pertinence en examinant non seulement la présence de l'heuristique mais également sa validité.

Bonferroni aux tests-t (Field, 2013) et rapportons ici les p-valeur corrigées. Par ailleurs, notons que la normalité des distributions ainsi que l'égalité des variances satisfont les conditions requises. Notons l'équivalence entre les groupes en termes de genre ($\chi^2(1, N = 107) = 0.006, n.s.$), d'âge ($t(41,028) = 1.089, n.s.$)³⁵, de performances initiales ($F(1,105) = 0.140, n.s.$), de fréquence d'utilisation des heuristiques ($F(1, 105) = .638, n.s.$) et de persévérance ($F(1, 105) = 3.899, n.s.$).

Tout d'abord, comme illustré à la figure 4, les deux groupes présentent une évolution différente dans la fréquence d'utilisation des heuristiques enseignées entre le prétest (1), le post-test (2) et le test de rétention (3) ($F(1,105) = 31.11, p < .001, \eta^2 = .24$).

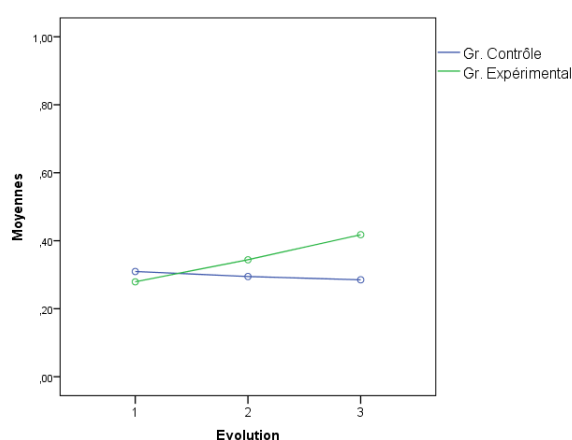


Figure 4. Evolution de la fréquence d'utilisation des heuristiques

Plus précisément, le groupe ayant suivi le dispositif mobilise significativement plus les huit heuristiques enseignées lors du post-test ($M = 0.38, ET = 0.12$) que lors du prétest ($M = 0.28, ET = 0.13$) ($t(64) = -4.1, p < .002$) et cette augmentation se poursuit trois mois après l'intervention – test de rétention – ($M = 0.45, ET = 0.12$) ($t(62) = -4.7, p < .002$).

Une analyse plus fine permet d'identifier les heuristiques sur lesquelles ces deux groupes se distinguent. Une première distinction entre les groupes s'observe pour l'heuristique « représenter le problème » ($F(1,105) = 37.7, p < .001, \eta^2 = .27$) (Figure 5). Plus particulièrement, les élèves du groupe expérimental représentent davantage le problème lors du post-test ($M = 0.62, ET = 0.36$) que lors du prétest ($M = 0.28, ET = 0.27$) ($t(64) = -8.5, p < .001$) et cette augmentation se poursuit trois mois après la fin de l'implémentation du dispositif ($M = 0.78, ET = 0.33$) ($t(62) = -4.2, p < .001$). Cela traduit une propension plus importante des élèves du groupe expérimental à représenter le problème que ce soit via une schématisation, un dessin, un tableau, ou une reformulation de l'énoncé.

³⁵ Le test de Levene est significatif ($F=7.655, p=.007$). Donc nous avons opté pour le test-t pour variances non homogènes.

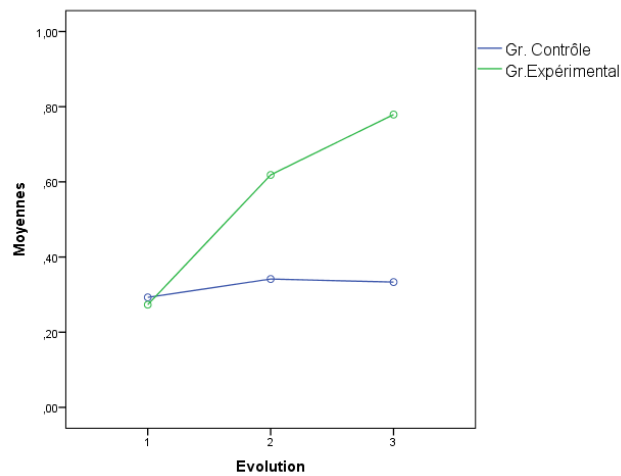


Figure 5. Evolution de la fréquence d'utilisation de l'heuristique « représenter le problème »

L'heuristique qui consiste à utiliser ses connaissances antérieures³⁶ constitue une deuxième distinction entre les deux groupes ($F(1,105) = 20,16, p < .001, \eta^2 = .17$). Effectivement, comme l'illustre la figure 6, l'évolution entre les trois temps de mesure de la fréquence d'utilisation de cette heuristique n'est pas semblable pour les deux groupes.

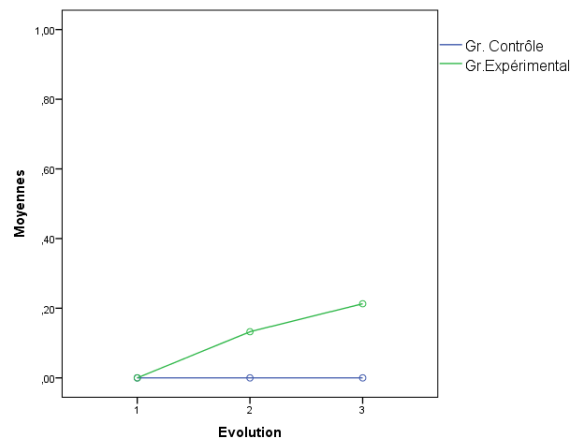


Figure 6. Evolution de la fréquence d'utilisation de l'heuristique « utilisation de ses connaissances »

Plus précisément, les élèves du groupe expérimental mobilisent significativement plus cette heuristique au post-test ($M = 0.13, ET = 0.26$) qu'au prétest ($M = 0.0, ET = 0.0$) ($t(64) = -4.5, p < .002$). Cette augmentation a tendance à se maintenir trois mois après la fin de l'implémentation ($M = 0.22, ET = 0.35$) ($t(62) = -2.1, p = .072$). En d'autres termes, les

³⁶ L'heuristique « connaissances antérieures » consiste à faire appel aux concepts, algorithmes et formules mathématiques appris au cours des leçons précédentes pour résoudre un problème donné.

élèves du groupe expérimental s'interrogent davantage au post-test qu'au prétest, sur le type de problème qu'ils ont face à eux, sur leur degré de familiarité avec ce type de problème et sur les outils à mobiliser pour le résoudre.

Une évolution différente entre les deux groupes s'observe également pour l'heuristique « faire un plan de résolution » ($F(1,105) = 10.26, p = .002, \eta^2 = .09$) (Figure 7). Si les deux groupes présentent une évolution comparable entre le prétest et le post-test, les élèves du groupe expérimental se démarquent des élèves du groupe contrôle au niveau du test de rétention. Plus précisément, au test de rétention ($M = 0.19, ET = 0.32$), le plan de résolution est significativement plus mobilisé par les élèves du groupe expérimental qu'au post-test ($M = 0.09, ET = 0.17$) ($t(62) = -2.8, p = .021$). Soulignons que le score au test de rétention a tendance à être significativement plus élevé que celui au prétest ($M = 0.10, ET = 0.17$) ($t(63) = -2.3, p = .072$).

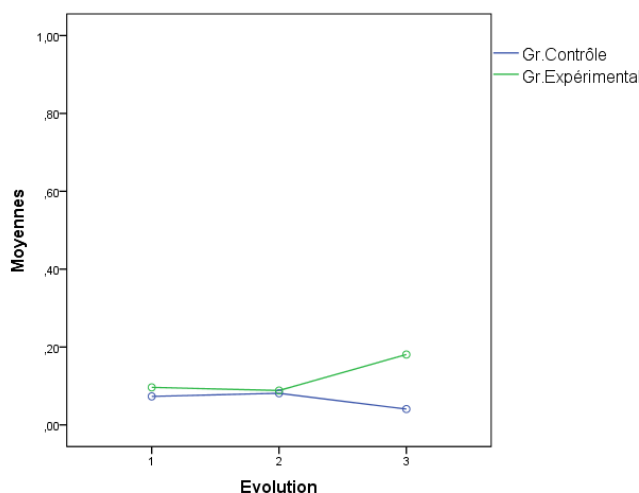


Figure 7. Evolution de la fréquence d'utilisation de l'heuristique « faire un plan de résolution »

Ces premiers résultats traduisent la mobilisation spontanée, par les élèves, de certaines heuristiques, signe d'une forme d'autorégulation par l'élève de son processus de résolution. Ce résultat quantitatif est appuyé par quelques données qualitatives extraites d'entretiens entre l'enseignant et certains élèves venant ainsi conforter les observations de Verschaffel *et al.* (2000). Plus précisément, si lors du premier problème, les apprenants ont manifesté de la difficulté à verbaliser leurs activités cognitives, ils traduisent plus précisément les étapes de leur raisonnement au fur et à mesure que le temps passe. Ce constat est appuyé par les deux extraits suivants :

Enseignant : *Es-tu satisfait de ta production par rapport à la demande ? Explique.*

Yassine (Problème 1) : *Non car je n'ai pas bien calculé.*

Yassine (Problème 2, une semaine plus tard) : *Non, car je me suis trompé dans la part de Yassine et Walid, j'ai inversé leur argent, j'ai donné 6€ à Yassine et 4€ à Walid ».*

Sarah (Problème 1) : *Non, car je n'ai pas réussi à le faire.*

Sarah (Problème 2, une semaine plus tard) : *Non, parce que j'ai fait une faute de calcul qui a tout fait bousculer.*

En ce qui concerne la persévérance, notons, en guise de préalable, que la validité interne du questionnaire opérationnalisant cette variable a été confirmée par une analyse factorielle confirmant la présence d'une seule dimension ($KMO = .74$; 32,2% de variance expliquée) et par des alphas de Cronbach (entre 0.69 et 0.81). Cependant, contrairement à notre hypothèse, aucune différence significative d'évolution entre les groupes n'a pu être observée ($F(1,105) = .90, p = .50$).

Par ailleurs, si, les deux groupes présentent une évolution comparable de leur performance globale entre les trois temps de mesure ($F(1,105) = 2.04, p = .17$), ils se distinguent au niveau du problème 1 ($F(1,105) = 6.63, p = .011, \eta^2 = .06$) (Figure 8). Rappelons que l'heuristique « représenter le problème » est d'une grande aide pour solutionner ce problème. Plus précisément, les performances des élèves du groupe ayant bénéficié du dispositif augmentent significativement entre le post-test ($M = 0.42, ET = 0.48$) et le test de rétention ($M = 0.58, ET = 0.37$) ($t(62) = -2.7, p = .027$). Notons que le score atteint au test de rétention est significativement supérieur à celui du prétest ($M = 0.41, ET = 0.35$) ($t(63) = -3.4, p = .003$).

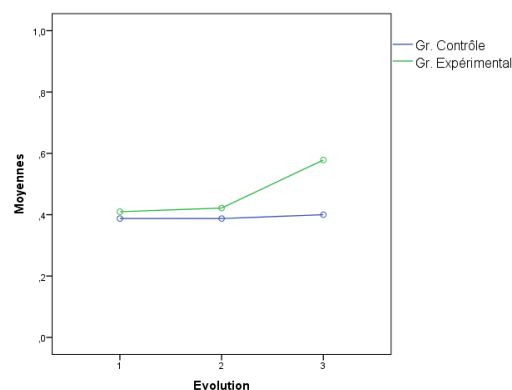


Figure 8. Evolution des performances au problème 1

Ces résultats sont analysés de façon plus approfondie dans la discussion.

4.2 Bénéfices du dispositif pour les élèves « faibles » et « forts »

Le second objectif poursuivi par la présente étude était de voir dans quelle mesure le dispositif proposé bénéficie tant aux élèves « faibles » qu'aux élèves « forts » en résolution de problèmes. Ces deux profils d'élèves ont été définis comme tels sur la base de leur performance au prétest, les élèves présentant un score moyen inférieur à 0.5 ont été qualifiés de « faibles » tandis que ceux présentant une note moyenne supérieure à 0.8 ont été qualifiés

de « forts ». Afin de traiter ce second objectif, nous avons réalisé des analyses de variance univariées (ANOVAs) avec deux facteurs. Un facteur « temps » à trois niveaux (prétest, post-test et test de rétention) et un facteur « condition » à deux niveaux (condition expérimentale versus condition contrôle) ont été définis. Ces analyses n'ont été menées que sur une partie de l'échantillon, dans un premier temps sur les élèves listés comme « faibles » en résolution de problèmes et, dans un second temps, sur les élèves listés comme « forts ». Les huit heuristiques enseignées, la persévérance et les performances ont, à nouveau, joué le rôle de variable dépendante. De surcroît, des analyses de variance multivariées (MANOVAs) attestent de l'absence de différence initiale entre les élèves « forts » des deux conditions et les élèves « faibles » des deux conditions (Tableau 2).

Tableau 2. Analyse de l'équivalence initiale entre les élèves « forts » des deux conditions et les élèves « faibles » des deux conditions

	Comparaison entre les élèves « forts » des deux conditions	Comparaison entre les élèves « faibles » des deux conditions
Genre	$\chi^2(1, N = 17) = 0.14, n. s$	$\chi^2(1, N = 70) = 0.15, n. s$
Age	$F(1,15) = 3.00, n. s$	$F(1,68) = 0.002, n. s$
Stratégies heuristiques	$F(1,15) = 0.51, n. s$	$F(1,68) = 0.36, n. s$
Persévérance	$F(1,15) = 1.06, n. s$	$F(1,68) = 5.53, n. s$
Performances antérieures	$F(1,15) = 4.41, n. s$	$F(1,68) = 0.31, n. s$

Tout d'abord, il apparaît que, les élèves « faibles » du groupe expérimental présentent une évolution significativement différente concernant l'heuristique « représenter le problème » comparativement aux élèves « faibles » du groupe contrôle ($F(1,68) = 22.5, p < .001, \eta^2 = .30$). Une analyse plus détaillée montre que les élèves « faibles » du groupe avec dispositif recourent significativement plus à cette heuristique entre le prétest ($M = 0.27, ET = 0.28$) et le post-test ($M = 0.37, ET = 0.35$) ($t(46) = -6.1, p < .002$) et que cette augmentation se poursuit trois mois après l'implémentation du dispositif ($M = 0.47, ET = 0.38$) ($t(45) = -3.2, p = .004$). Les deux groupes se distinguent également sur l'heuristique « utiliser ses connaissances » ($F(1,68) = 9.13, p = .004, \eta^2 = .15$). Les élèves « faibles » du groupe expérimental mobilisent significativement plus cette heuristique au post-test ($M = 0.03, ET = 0.17$) qu'au prétest ($M = 0.0, ET = 0.0$) ($t(46) = -2.7, p = .020$) et cette tendance se maintient trois mois après l'implémentation du dispositif ($M = 0.04, ET = 0.18$) ($t(45) = -1.9, n.s.$).

En ce qui concerne les élèves « forts », ceux ayant suivi le dispositif se distinguent des « forts » du groupe contrôle sur une seule dimension : l'heuristique « représenter le problème » ($F(1,15) = 4.3, p = .06, \eta^2 = .27$). Soulignons que, bien qu'il s'agisse d'une différence à tendance significative, la taille d'effet confirme la présence d'une différence digne d'intérêt. Le petit nombre de sujets explique sans doute les résultats obtenus. Plus précisément, les élèves du groupe expérimental tendent à utiliser significativement plus l'heuristique « représenter le problème » entre le prétest ($M = 0.28, ET = 0.25$) et le post-test ($M = 0.65, ET = 0.34$) ($t(11) = -3.2, p = .018$) et cette augmentation à tendance à se poursuivre trois mois après la fin de l'implémentation du dispositif ($M = 0.75, ET = 0.35$) ($t(11) = -2.5, p = .064$).

4.3 Heuristiques prédictrices des performances en résolution de problèmes

Afin d'identifier la contribution spécifique de chaque heuristique au sein du dispositif expérimental, nous avons réalisé des régressions linéaires multiples. Précisons que la normalité, la multicollinéarité ainsi que la valeur des résidus standardisés sont acceptables. En contrôlant pour le genre et les performances antérieures, l'analyse de régression révèle que seule l'heuristique « interpréter le résultat obtenu » prédit significativement les performances en résolution de problèmes ($\beta=.65$, $p<.001$) (Tableau 3). Cette dernière explique 42% des performances. Ce résultat est en contradiction avec les études antérieures qui mettent en avant l'heuristique « représenter le problème ».

Tableau 3. Analyse de régression des heuristiques prédisant les performances à l'ensemble des problèmes

Etapas	Performances au problème n°2	
	1	2
Représenter	.15	
Faire un plan	.04	
Faire les calculs	.01	
Vérifier	.01	
Interpréter	.64*	.65*
Communiquer	.14	

Note. * $p\leq.001$; ** $.001<p<.05$.

Par ailleurs, nous souhaitons compléter ce résultat par une analyse des heuristiques spécifiques à chaque problème. Effectivement, cette démarche nous permet de voir si les élèves adaptent leurs stratégies de résolution et donc le type d'heuristiques utilisé au type de problème proposé. L'analyse montre qu'aucune heuristique ne prédit les performances au problème n°1, centré sur l'heuristique « représenter le problème » (Tableau 4).

Tableau 4. Analyse de régression des heuristiques prédisant les performances au problème n°1

Performances au problème n°1	
Représenter	.02
Faire un plan	.10
Faire les calculs	.06
Interpréter	.16
Communiquer	.02

Note. * $p\leq.001$; ** $.001<p<.05$.

Les performances au problème n°2, centré sur l'heuristique « faire un plan de résolution », sont expliquées par cette même heuristique ($R^2=4,4\%$) ainsi que par l'heuristique « communiquer la solution » ($R^2=6,5\%$) (Tableau 5). Notons que les pourcentages de variance expliqués sont assez faibles.

Tableau 5. Analyse de régression des heuristiques prédisant les performances au problème n°2

Performances au problème n°2	
------------------------------	--

<i>Etapas</i>	1	2
Représenter	.005	
Faire un plan	.205**	.206**
Faire les calculs	.004	
Communiquer	.267**	.268**

Note. * $p \leq .001$; ** $.001 < p < .05$.

Quant aux performances au problème n°3, elles sont expliquées pour 82% par l'heuristique « interpréter le résultat obtenu » (Tableau 6).

Tableau 6. Analyse de régression des heuristiques prédisant les performances au problème n°3

<i>Etapas</i>	Performances au problème n°3	
	1	2
Représenter	.020	
Faire un plan	.017	
Faire les calculs	.001	
Vérifier	.010	
Interpréter	.915*	.904*
Communiquer	.046	

Note. * $p \leq .001$; ** $.001 < p < .05$.

4.4 Discussion

Un premier constat qui ressort est l'effet bénéfique du dispositif en termes de fréquence d'utilisation des heuristiques enseignées, de développement d'habiletés métacognitives et, de façon moins notable, d'amélioration des performances. Nos résultats s'accordent donc avec les données recueillies en Flandres sur un public plus jeune (De Corte & Verschaffel, 2002 ; De Corte, Verschaffel & Masui, 2004 ; Verschaffel & De Corte, 1997 ; Verschaffel *et al.*, 2000). Cependant, les effets observés ne concernent que certaines heuristiques de résolution et une partie des performances.

Effectivement, aucune différence d'évolution entre les groupes n'a pu être observée pour les heuristiques « vérifier sa démarche et ses calculs », « interpréter le résultat obtenu » et « communiquer la solution ». Concernant l'heuristique « vérifier sa démarche et ses calculs », bien que figurant dans la démarche de résolution de problème enseignée, nous avons constaté qu'elle était souvent négligée, par l'enseignant, lors de la correction, ce qui pourrait expliquer l'absence de différence entre les groupes. Par ailleurs, les traces d'interprétation du résultat présentes sur les productions écrites des élèves laissent supposer que, contrairement à la vérification, l'interprétation a été exploitée par l'enseignant, lors des corrections. Cependant, le poids du Word Problem Schemata sur les démarches de résolution adoptées par les élèves et, l'absence, dans le dispositif, d'une déconstruction explicite des croyances et présupposés erronés concernant la résolution de problèmes et, plus précisément, concernant la nécessité de prendre en compte les connaissances du monde réel, peut expliquer, en partie, l'évolution semblable des deux groupes sur l'heuristique « interpréter le résultat obtenu ». Rappelons que cette heuristique consiste, entre autre, à vérifier si la solution a du sens par rapport au contexte du problème. Finalement, nous pensons que l'importance

accordée par les épreuves externes certificatives (le certificat d'études de bases (CEB) et le certificat d'études du premier degré de l'enseignement secondaire (Ce1d)) à la communication du résultat a « popularisé » cette heuristique au sein des pratiques enseignantes. Cette hypothèse repose sur la présence, pour chaque item de résolution de problèmes du CEB (Figure 9) et du Ce1d (Figure 10), d'une demande explicite de communiquer le résultat.

ÉCRIS toute ta démarche et tes calculs, étape par étape.

COMMUNIQUE clairement ta réponse par une phrase.

Figure 9. Case de réponse proposée pour les items de résolution de problèmes du CEB (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, 2014b)



Figure 10. Exemples de phrases lacunaires proposées au CE1D (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, 2014a)

Ainsi, l'usage fréquent de cette heuristique en résolution de problèmes pourrait expliquer, du moins partiellement, l'évolution semblable observée au sein des deux groupes.

Par ailleurs, les résultats mettent en évidence une augmentation de la fréquence d'utilisation de l'heuristique « représenter le problème » à court et à long terme pour les élèves du groupe expérimental. Rappelons que cette heuristique est déterminante pour les phases ultérieures du processus de résolution et donc pour la réussite du problème (Coquin-Viennot & Moreau, 2003 ; Gamo *et al.*, 2011 ; Kintsch & Greeno, 1985 ; Riley *et al.*, 1983 ; Thevenot *et al.*, 2007 ; Thevenot & Oakhill, 2008). De plus, contrairement aux heuristiques « utiliser ses connaissances » et « faire un plan de résolution », l'heuristique « représenter le problème » est une heuristique qu'il est pertinent de mobiliser à chaque problème. Cette heuristique a donc été mobilisée lors des cinq séances de résolution de problème. A l'inverse, l'heuristique « faire un plan de résolution », ne sera pas invoquée si le problème ne requiert qu'une étape pour être solutionné, comme c'est le cas pour le problème n°3 du prétest. De son côté, l'heuristique « utiliser ses connaissances » ne sera pleinement utilisé qu'à partir du moment où l'élève aura rencontré des problèmes présentant des structures mathématiques différentes, aura eu l'opportunité de les identifier et de se frotter plusieurs fois à chaque type de problème afin de se constituer un répertoire de type de problèmes. A ce stade-ci, ce sont davantage les prémisses de l'heuristique qui sont observées. De plus, ces deux heuristiques n'étant ni familières aux enseignants du groupe expérimental, ni aux élèves eux-mêmes – cette heuristique ne figure pas dans les Socles de Compétences relatifs à la formation mathématiques (Administration générale de l'Enseignement et de la Recherche scientifique, 2013) –, il a fallu un temps d'appropriation à la fois aux enseignants et aux élèves. Effectivement, les modalités d'enseignement de la résolution de problèmes préconisées par

le document « Socles de Compétences » sont plutôt générales, centrées sur les compétences à développer et dépourvues de conseils méthodologiques: « quatre grandes compétences transversales interagissent dans la résolution de problèmes : analyser et comprendre un message ; résoudre, raisonner et argumenter ; appliquer et généraliser ; structurer et synthétiser » (Administration générale de l'Enseignement et de la Recherche scientifique, 2013, p. 23). Ces constats nous laissent penser que les heuristiques « faire un plan de résolution » et « utiliser ses connaissances » ont été moins mobilisées tout au long du dispositif, rendant plus difficile une mobilisation à long terme. Les élèves éprouveraient des difficultés à le mobiliser de façon autonome ou n'en percevraient pas encore entièrement le sens.

Nous pensons que la durée trop courte du dispositif explique, pour partie, l'absence d'évolution des performances. Effectivement, les interventions menées par Verschaffel et De Corte (1997) et par Verschaffel *et al.* (1999) couvrent entre quinze et vingt-cinq heures tandis que la nôtre se limite à dix heures. De plus, ces chercheurs invoquent, la durée trop courte de l'intervention pour expliquer les petits effets obtenus. Cette hypothèse rejoint la précédente en soulignant la nécessité d'une intervention plus longue, afin de faire évoluer davantage les heuristiques, habituellement non mobilisées, de même que les performances. Cependant, en s'inspirant du guide méthodologique proposé par Fagnant et Demonty (2005), une autre alternative se dégage, celle d'un dispositif qui proposerait à la fois des problèmes à résoudre et des activités ciblant, plus particulièrement, une heuristique, pourquoi pas celles avec lesquelles les enseignants et les élèves sont les moins familiers afin de favoriser leur intégration et mobilisation en situation.

De plus, il apparaît que les performances au premier problème de même que la fréquence d'utilisation de l'heuristique « représenter le problème » évoluent dans le même sens entre le post-test et le test de rétention. L'évolution positive de la fréquence d'utilisation de la représentation observée chez les apprenants du groupe expérimental pourrait expliquer, en partie, l'augmentation de leurs performances à ce problème, pour lequel le passage par une représentation favorise grandement la réussite de ce dernier. Cependant, comme l'atteste l'analyse de régression, cette heuristique n'est pas un prédicteur des performances. Certains enfants résolvent donc correctement le problème sans nécessairement représenter le problème sur leur feuille.

Concernant les élèves à profils spécifiques, il apparaît que, tant les élèves « faibles » que les élèves « forts » ayant bénéficié du dispositif mobilisent significativement plus l'heuristique « représenter le problème » au post-test qu'au prétest. Il semblerait donc que cette heuristique était, avant l'implémentation du dispositif, peu utilisée, par les élèves quel que soit leur niveau de performance initial, ce qui est confirmé par les statistiques descriptives. Ce constat laisse supposer que cette heuristique n'est pas indispensable pour résoudre correctement un problème, infirmant ainsi les résultats antérieurs. Cette hypothèse est soutenue par le fait que la représentation ne prédit pas les performances en résolution de problèmes. Soulignons toutefois que nous n'avons pas pu comptabiliser les représentations qui ont été effectuées mentalement. Nos résultats doivent donc être interprétés avec prudence. Par ailleurs, il semblerait que les heuristiques non indispensables, mais facilitant la résolution de problèmes telle que « utiliser ses connaissances » sont davantage mobilisées par les élèves « faibles » que par les élèves « forts » du groupe expérimental. Comme le soulignent Muir *et al.* (2008), les élèves « experts » maîtrisent déjà toute une série d'heuristiques de façon adaptative comme, par exemple, la capacité à identifier des problèmes semblables sur base de leur structure mathématique. Soulignons, toutefois, le peu de différence entre les deux profils d'élèves.

Finalement, tout en gardant à l'esprit que l'importance des heuristiques dans la résolution de problèmes dépend en partie de la nature du problème donné, il semblerait que l'heuristique « interpréter le résultat obtenu » soit un prédicteur important d'une résolution réussie. Ce constat corrobore les propos de plusieurs auteurs (Fagnant & Demonty, 2004 ; Houdement, 2014 ; Verschaffel *et al.*, 2000).

Les limites et les perspectives, tant pédagogiques que théoriques font l'objet du point suivant.

5. Limites et perspectives

Les résultats, présentés plus haut, ont d'importantes retombées, notamment, en termes de pratiques pédagogiques. Effectivement, au vu des résultats prometteurs, le dispositif testé devrait permettre d'aiguiller davantage les pratiques enseignantes sur le terrain dans le sens d'une plus grande prise en compte de l'importance de la modélisation mathématique, de la nécessité d'enseigner des heuristiques qui facilitent la résolution de problèmes et de la dimension métacognitive inhérente à l'apprentissage de la résolution de problèmes. De plus, la mise à jour de l'interprétation comme heuristique expliquant le mieux les performances en résolution de problème devrait servir de guide aux enseignants, d'autant plus que nos résultats, avec les précautions qui sont de mises, infirment les études antérieures à ce sujet.

Cependant, plusieurs limites sont à épingle. Tout d'abord, l'échantillon n'est issu que d'un établissement bruxellois à indice socio-économique faible (ISE). Afin de nous assurer de pouvoir associer les résultats obtenus au dispositif mis en place et non aux caractéristiques de l'échantillon, il serait judicieux de couvrir une certaine diversité en termes d'ISE. Ensuite, comme l'attestent certains résultats, la durée de l'implémentation du dispositif et/ou la nature peu diversifiée des activités proposées ne semblent pas permettre une appropriation complète

de certaines heuristiques de même qu'une évolution significative en termes de persévérance et de performances.

Par ailleurs, l'heuristique « interpréter le résultat obtenu » est ressortie comme prédisant les performances en résolution de problèmes cependant, aucune amélioration significative concernant cette heuristique n'a pu être observée suite à l'implémentation du dispositif. Une amélioration du dispositif en ce sens serait donc nécessaire. De plus, il serait intéressant d'approfondir l'étude de l'heuristique « représenter le problème » afin de comprendre pourquoi nos résultats sont en contradictions avec les études antérieures. Finalement, plusieurs études empiriques (Colognesi, 2015 ; Demonty, Dupont & Fagnant, 2014 ; Verschaffel & De Corte, 1997 ; Verschaffel *et al.*, 2000) se sont attachées à mettre en évidence les bénéfices des interactions entre pairs dans la résolution de tâches complexes notamment en termes de compétences métacognitives, variable peu exploitée dans la présente étude (Colognesi, 2015 ; Verschaffel *et al.*, 2000). Sous l'angle du recueil d'informations, les échanges entre pairs constituent également un matériau riche au niveau de ce que pense l'apprenant, de la manière dont il perçoit la tâche et dont il la réalise (Colognesi, 2015). Ils permettraient de pallier certaines limites rencontrées par d'autres instruments utilisés pour appréhender les processus mentaux – déformation de la réalité ; surcharge cognitive ; biais de désirabilité sociale ; surestimation ; validité écologique faible, etc. – (Focant, 2004 ; Veenman, Elshout & Groen, 1993 ; Veenman *et al.*, 2006 ; Winne & Jamieson-Noël, 2002). Sur la base de ces informations, il semblerait pertinent de tester notre dispositif avec une méthodologie qui privilégie davantage les échanges entre pairs.

Chapitre 8

Children's Emotion Regulation Scale in Mathematics (CERS-M)

Development and validation of a self-reported instrument³⁷

This article introduces the development and validation of a self-report questionnaire: the Children's Emotion Regulation scale in Mathematics (CERS-M). Results highlighted (a) through exploratory and confirmatory factor analyses a meaningful six-factor model (emotion expression, task utility self-persuasion, help-seeking, negative self-talk, brief attentional relaxation, and dysfunctional avoidance); (b) satisfactory internal reliabilities; (c) test-retest reliability scores indicative of a satisfactory stability of the measures over time; (d) preliminary evidence of convergent and discriminant validity with CERS-M being very weakly linked to verbal skill and moderately to emotion regulation strategies measured through the Flemish version of the COPE-questionnaire; (e) preliminary evidence of criterion validity, with CERS-M scores predicting math anxiety, and to a lesser extent, students' performance; (f) preliminary evidence of incremental validity, with the CERS-M predicting math anxiety and performance over and above emotion regulation measured by the COPE-questionnaire. Findings constitute encouraging preliminary psychometric characteristics in favor of the use of the CERS-M.

Hanin, V., Grégoire, J., Mikolajczak, M., Fantini-Hauwel, C. & Van Nieuwenhoven, C. (2017). Children's Emotion Regulation Scale in Mathematics (CERS-M) : development and validation of a self-reported instrument. *Psychology*, 8(13), 2240-2275.

³⁷ Des preuves additionnelles de la validité de l'instrument ont été apportées en testant la version finale de l'instrument auprès d'autres échantillons (voir annexe 2).

Children's Emotion Regulation Scale in Mathematics (CERS-M)

Development and validation of a self-reported instrument

1. Introduction

International mathematics tests have showed insufficient mastery of basic skills for a large number of primary and secondary school students (OECD 2014; OECD 2016). This alarming observation drove researchers to investigate the dimensions at the core of mathematical learning and achievement. There is general agreement that mathematical learning brings into close interaction motivational, cognitive and affective processes and their regulation (Ahmed, Minnaert, van der Werf & Kuyper, 2013 ; Hanin & Van Nieuwenhoven, 2016a ; Linnenbrink, 2006 ; Op' t Eynde, De Corte & Verschaffel, 2006). Although researchers began to study emotions only recently, compared to motivational and cognitive dimensions, the impact of emotions on students' learning and performance has been largely demonstrated (Ahmed et al., 2013; Hanin & Van Nieuwenhoven, 2016a ; Isen, 2000; Pekrun, 2006). In this respect, emotions are known to influence the quantity of cognitive resources available, the intrinsic and extrinsic motivation to learn, the kind of learning strategies used and the development of self-regulation skills (Isen, 2000; Mikolajczak, 2012; Pekrun, 2006). More precisely, regarding the cognitive dimension, on the whole, positive emotions promote the use of flexible and creative learning strategies, in-depth cognitive processing, and self-regulated behaviors. In contrast, negative emotions are associated with the use of more rigid strategies, superficial cognitive processing and external guidance. As emotions are organized in a domain-specific way (Goetz, Frenzel, Pekrun & Hall, 2006; Goetz, Frenzel, Pekrun, Hall & Lüdtke, 2007), one academic domain, particularly affected by emotions, i.e., mathematics, has been retained for the present study.

Researchers have shown that students almost always experience negative emotions in mathematical settings, e.g., anxiety, anger, hopelessness, shame, boredom, frustration, concern and nervousness (Ahmed et al., 2013; Goetz, Haag, Lipnevitch, Keller et al., 2014 ; Op't Eynde, De Corte & Mercken, 2004). Since negative emotions impair academic achievement, it is of great importance to help students regulate them, that is, to « influence which emotions they have, when they have them, and how they experience and express these emotions » (Gross, 1998, p.275). Yet, according to a study conducted by De Corte, Depaepe, Op't Eynde & Verschaffel (2011), students between the ages of 14 and 16 have a poor track record of emotion regulation when solving complex mathematical tasks. « As a consequence, they risk ending up in a negative spiral where the use of inappropriate regulation strategies results in weak performance, and, thus in experiencing even more stress » (De Corte et al., 2011, p.490). Emotion regulation affects not only students' academic performance but also the main domains of their life, i.e. mental health (Eisenberg,

Cumberland, Spinrad, Fabes, et al., 2001 ; Extremera, Duran & Rey, 2007), physical health (Housiaux, Luminet, Van Broeck & Dorchy, 2010 ; Rieffe et al., 2007), and social relationships (Denham, McKinley, Couchoud & Holt, 1990 ; Pons, Doudin, Harris & de Rosnay, 2002).

The significant position filled by emotions in an individual's life is attracting the attention of an increasing number of researchers. More and more scholars are becoming interested in how individuals cope with emotion-eliciting situations. As a result, several instruments measuring emotion regulation in adults have emerged in recent years (Freudenthaler & Neubauer's Emotion Management Abilities test, 2007; Garnefski & Kraaij's Cognitive Emotion Regulation Questionnaire, 2007; Mayer, Salovey & Caruso's Emotional Intelligence Test, 2002; Nelis, Quoidbach, Hansenne & Mikolajczak's Emotion Regulation Profile-Revised, 2011). But such instruments are more scarce for children and teenagers. Indeed, to our knowledge, only two such instruments exist. One is the self-reported Cognitive Emotion Regulation Questionnaire (CERQ-kids) which appraises what children aged between 9 and 12 years think after the experience of threatening or stressful events (Garnefski, Rieffe, Jellesma, Terwogt et al., 2007). This scale measures nine emotion regulation strategies, namely, self-blame, other-blame, rumination, catastrophizing, positive refocusing, planning, positive reappraisal, putting into perspective, and acceptance, through 36 items. The second instrument is the Flemish version of the COPE-questionnaire. This coping inventory was initially drafted by Carver, Scheier & Weintraub (1989) and has been adapted by Op't Eynde et al. (2011) to the school context, specifically to school-related mathematical activities – a difficult test, a difficult mathematics homework and a difficult mathematics lesson – and to secondary graders. This instrument encompasses 15 coping dimensions, namely, active coping, planning, suppression of competing activities, restraint coping, seeking social support for instrumental reasons, seeking social support for emotional reasons, positive reinterpretation and growth, acceptance, turning to religion, focus on and venting emotions, denial, behavioral disengagement, mental disengagement, alcohol-drug disengagement, and joking, operationalized through 60 items.

However, these two scales display several limits. First, the CERQ-kids is context-less. Yet, as emotions are context-dependent (Frijda, 1993; Goetz et al., 2007; Goetz, Pekrun, Hall & Haag, 2006), emotion regulation strategies need to be considered in this way as well. Second, the design of this instrument retains the same factorial structure as the one used for the adult version. This implies that the nine coping strategies appraised may not necessarily be meaningful for children or that specific child-related coping strategies might have been overlooked. This observation also concerns the Flemish version of the COPE-questionnaire. Although this questionnaire takes the situational nature of emotion regulation strategies into account, in that it rests on the original coping dimensions, it doesn't entirely fit elementary and secondary children's reality. Above all, the two scales are based on a single theoretical approach, i.e., the literature on stress and coping, so covering only one area of research on emotion regulation. Hence there is a lack of an instrument that simultaneously reflects elementary and secondary students' reality, that assesses emotion regulation strategies in context, and that considers the variety of the theoretical approaches used to investigate this

subject. Such an instrument would be valuable for both educational research and practice. Regarding the former, as mentioned previously, emotional competencies and, particularly, emotion regulation occupy an increasingly important place in academic learning and achievement research. So it becomes important to have adequate and valid instruments to measure these constructs. Concerning educational practice, given the key role played by emotion regulation in an individual's life, it appears important to have a more fine-grained knowledge of student's emotion regulation strategies in order to help them in an effective way. The present paper endorses this perspective by describing the development and the process of validation of a self-reported scale which assesses the emotion regulation strategies used by upper elementary students to manage their emotions when solving a math problem. This scale has been named: "Children's Emotion Regulation Scale in Mathematics (CERS-M)".

In the following sections, we first outline the theoretical framework underlying the construction of the CERS-M. Next, we describe the procedure of construction of the CERS-M. A first study then examines the descriptive properties, the internal consistency, and the factor structure of the CERS-M. Subsequently, a second study aims to provide additional evidence of both the reliability and the validity of the scale. Finally, a discussion about the findings closes this paper.

2. Brief background to inventories of emotion regulation strategies

Numerous researchers in psychology and psychopathology have examined the responses of individuals in coping with emotion-filled situations (Ayers, Sandler, West & Roosa, 1996; Carver et al., 1989; Endler & Parker, 1990; Freud 1896/2000; Garnefski, Kraaij Spinhoven, 2001; Lazarus & Folkman, 1984; Parkinson & Totterdell, 1999). Each scholar has investigated and categorized these responses based on his/her own research paradigm(s). Consequently, the literature abounds in different nomenclatures. These various nomenclatures fall, in reality, within three main research traditions, namely, the psychoanalytic tradition (Freud 1896/2000), the stress and coping tradition (Lazarus & Folkman, 1984), and the emotion regulation tradition (Fredrickson, Mancuso, Branigan & Tugade, 2000 ; Gross, 1998 ; Mikolajczak, Quoidbach, Kotsou & Nélis, 2009 ; Parkinson & Totterdell, 1999). Note that the second research tradition has its roots in the first and that the last borrowed heavily from the first two (Gross, 1998).

Recently, Mikolajczak (2012) attempted to integrate, within a unique model, these various nomenclatures. Selected strategies are those presenting the strongest effects for the biggest number of individuals, in the widest range of situations. These strategies have been classified on the basis of the emotion-generative process defined by Gross (1998) because this wins unanimous support among scholars. According to Gross (1998), each component of an emotional experience can be the object of regulation. Five families of strategies were so defined: situation selection, situation modification, attentional deployment, cognitive change, and response modulation. Mikolajczak *et al.* (2009) added a sixth family called

“emotion expression”. Each family includes both functional strategies, that is, strategies that are beneficial in maintaining mental health, physical health, quality of social relationships and academic performance and dysfunctional strategies, namely, strategies that impair these dimensions (Gross, 1998; Mikolajczak *et al.*, 2009). In addition, it is noteworthy that the strategies belonging to the same family are independent constructs.

3. Emotion regulation strategies inventory used in the present study

In order to stay consistent with an academic context of compulsory schooling, we made some adjustments to Mikolajczak’s inventory. Firstly, we removed two functional strategies (i.e. mindfulness, and directed relaxation) and three dysfunctional strategies (i.e. dysfunctional confrontation, denial, and alcohol-anxiolytic abuse). Secondly, we reconceptualized the acceptance dimension, which was initially associated to painful events (e.g., rape, genocide). Finally, we split the distraction dimension into a functional side and a dysfunctional side. Table 1 summarizes the nineteen strategies selected for the present study. These strategies are detailed hereafter.

Table 1. Emotion regulation strategies examined in the present study

Family of strategies	Functional strategy	Dysfunctional strategy
Situation selection	- Functional confrontation	- Dysfunctional avoidance - Procrastination
Situation modification	- Direct modification - Indirect modification	- Learned helplessness
Attentional deployment	- Positive distraction	- Negative distraction - Rumination
Cognitive change	- Positive reappraisal - Acceptance	- Catastrophizing - Blaming others
Response modulation	- Relaxation	- Emotion deletion - Unsuitable expression
Emotion expression	- Social sharing	- Verbal aggression - Social withdrawal

3.1 Situation selection

This family of strategies aims to reduce as much as possible the probability of being in a situation that, at the same time, generates unpleasant emotions and lacks long-term benefits (Gross, 1998; Mikolajczak, 2012). Functional confrontation consists in confronting oneself with short-term negative emotion-eliciting situations that are associated with long-term benefits (e.g., concentrating on math exercises even if it makes one angry, anxious or bored because it will be useful for the exam). The corollaries are the systematic avoidance of situations that generate short-term negative emotions but that are beneficial in the long run, namely, dysfunctional avoidance (e.g., watching TV instead of doing one’s homework) or postponing what could be done immediately, namely, procrastination (e.g., postponing math exercises so as not to experience an unpleasant time).

3.2 Situation modification

The aim of this second family of strategies is to get rid of unpleasant emotions by solving the problem that causes them (Gross, 1998; Lazarus & Folkman, 1984; Mikolajczak, 2012). Direct modification involves the undertaking of practical actions to influence the situation directly (e.g., to change a solving strategy when one realizes that the current one isn't working). When the intervention of a third person is necessary, we talk about indirect modification (e.g., seeking help from the teacher to solve the problem at hand). However, some individuals are convinced that they have no control over the situation and that any attempt to get by will be fruitless. This dysfunctional strategy is called learned helplessness.

3.3 Attentional deployment

This third group aims at escaping the trap of selective attention induced by emotions. In this respect, positive emotions are known to focus the individual's attention on positive aspects of the situation whereas negative emotions focus it on negative aspects (Borkovec, William & Stöber, 1998; Gross, 1998). Positive distraction can be a functional strategy when it is used for a short period of time to relax attention (e.g., to take short breaks, such as looking out the window or stretching during a task's achievement). However, distraction can also be used in a damaging way when the student chooses deliberately to occupy his mind with something else or to undertake another activity than the one suggested by the teacher (e.g., talking, drawing, looking out the window for a long time). Further, when the learner constantly repeats the same negative thoughts and events without acting (e.g., finding it difficult to focus on the math problem because of negative thoughts such as "I'll fail"; "I suck at math"), we speak of rumination.

3.4 Cognitive change

Strategies belonging to the cognitive change family are based on the principle that it is the perception that the individual makes of the situation and not the situation itself that triggers emotions (Frijda, 1986; Lazarus & Folkman, 1984). Positive reappraisal involves altering one's perception of a given situation by considering the arguments that contradict one's thoughts and feelings, by putting things into perspective, by looking for positive aspects, by separating thought and reality or by seeking long-term benefits (e.g., when struggling with a math exercise, saying to oneself that it is not the end of the world, that it is only an exercise). If it is not possible for the individual to positively reappraise the situation, he might accept it. Acceptance involves accepting the experience of negative emotions while solving math tasks, and listening to the message conveyed by these unpleasant emotions (e.g., thinking that feeling angry, sad or disappointed is normal and is due to the fact that one didn't practice enough). Conversely, catastrophizing involves dramatizing the current situation or predicting the bad sides of future situations (e.g. thinking that it is terrible to not be able to solve a math problem and that we are the only one in that situation). Blaming others consists in unjustly blaming someone for the situation itself or for one's inability to solve it (e.g.,

thinking that if one cannot solve the problem it is because it is too hard) (Mikolajczak *et al.*, 2009).

3.5 Response modulation

This family involves the modulation of the bodily component of the emotion by acting directly on the body itself (Gross, 1998). Relaxation is apparent through taking a deep breath, neck relaxation, stretching arms, etc. Conversely, some individuals hide the visible manifestations of their emotions; this is called emotional deletion.

3.6 Emotion expression

This last family of strategies consists in sharing one's emotions with others. It is noteworthy that, unlike the public opinion, social sharing of emotions doesn't have any cathartic effect (i.e., getting it off one's chest) (Rimé, 2005). However, this behavior is beneficial because it is associated to several indirect effects such as the construction or consolidation of social bonds, the expression of esteem, the transmission of affection and warmth, and assistance (Rimé, 2005). Unsuitable expression refers to expressing oneself in a way that is unacceptable to the interlocutor or at the wrong time (e.g., crying or panicking visibly when one cannot solve a math task). A particular and rather common kind of unsuitable expression is verbal aggression (e.g., expressing anger by crumpling sheets of paper, responding aggressively, by kicking one's desk). Social withdrawal consists in withdrawing from the situation. This strategy is judged harmful when the withdrawal endures and is not used to put things into perspective (e.g., refusing the teacher's help in solving a math task).

4. Study 1

This first study describes the procedure of construction of the CERS-M and investigates the validity of construct as well as the reliability of the instrument.

4.1 Method

4.1.1 Participants

Data collection took place in October 2014. A first sample of 63 French-speaking 5th and 6th graders (29 girls, mean age: 10.5 ± 0.62 years) (sample 1) from two Belgian elementary schools took part in the preliminary procedures. Two other samples of French-speaking 5th and 6th graders were then created. One was for the exploratory analysis ($N = 561^{38}$, 275 girls, mean age: 11 ± 1.1 years) (sample 2) and the other for the confirmatory analysis ($N = 568$, 390 girls, mean age: 10.8 ± 1.1 years) (sample 3). Individuals from both samples came from 15 schools which best represent the population in terms of geographical localization (five out of the six French-speaking geographical areas were represented), educational network (the

³⁸ We opted for the suppression of missing data.

three existing networks - that is, free subsidized education, officially subsidized education, and education organized by the Wallonia-Brussels federation - were represented) and socioeconomic index (low, moderate and high index³⁹ were covered).

4.2 Procedure for items generation

As a first step, and in order to illustrate the emotion regulation strategies by situations and terms which speak to 5th and 6th graders, and, thereby, provide ecological validity, we interviewed 40 5th and 6th graders in groups of five to six students, drawn from sample 1. Then, on the basis of these interviews, on Mikolajczak's theoretical conceptualization of emotion regulation strategies, and on existing instruments (i.e. the CERQ-child, the COPE-questionnaire and the Emotion Regulation Profile-Revised), a first draft of the CERS-M was generated. It was submitted to the whole sample 1 of students to check for understandability and clarity. The items were adapted in the light of students' comments, which were mostly about the vocabulary used, and a new draft of the questionnaire was produced. This self-reported instrument measures nineteen strategies (11 dysfunctional and 8 functional), through 57 items. Each strategy is defined by three items in order to have a correct measure of it while keeping the questionnaire an accessible length. Students were asked to indicate on a 4 point Likert scale (1 = *never* to 4 = *almost always*) to what extent a statement was representative of their behavior during mathematical problem solving.

4.3 Procedure for items completion

The respondents were solicited by their teacher, during the math course, to fill in the CERS-M in a paper and pencil format. After explaining the aim of the study and the instructions, the teacher read the items, one by one, leaving a few second between two items for students to respond. It makes it possible no to disadvantage students with reading difficulties. The duration of completing the CERS-M did not exceed 15 minutes. The teacher was allowed to answer any questions.

4.4 Results

4.4.1 Descriptive analysis

Mean and standard deviation as well as the Skewness and the Kurtosis of the 19 subscales of the CERS-M are reported in Table 2. First, it appears that functional strategies are quite often used by 5th and 6th graders in math problem solving whereas dysfunctional strategies are used only occasionally. The most often used functional strategies were functional confrontation, direct modification and positive reappraisal, all of which focus on the task; the least used functional strategies were social sharing and acceptance, which concentrate on the emotion itself. With respect to dysfunctional strategies, these are used at with a similar

³⁹ This index ranges between 1 and 20 and is based on five factors: per capita income, parents' educational level, the unemployment rate, occupational activities and comfort of housing.

frequency by the students. In addition, the statistics of distribution shape reveal, on the whole, a normal distribution of the data (Field, 2009; Gravetter & Wallnau, 2014).

Table 2. Mean and standard deviations, Skewness, and Kurtosis of the 19-factor structure of the CERS-M

Subscale	<i>M</i>	<i>SD</i>	Skewness	Kurtosis
Functional strategies	2.31	.37	.04	.37
Functional confrontation	2.94	.74	-.38	-.45
Direct modification	2.82	.67	-.29	-.24
Indirect modification	2.31	.70	.33	-.29
Positive distraction	2.18	.75	.43	-.32
Positive reappraisal	2.79	.69	-.27	-.41
Acceptance	1.81	.71	.80	.08
Relaxation	2.19	.71	.37	-.39
Social sharing	1.46	.58	1.47	1.98
Dysfunctional strategies	1.73	.44	.89	.64
Dysfunctional avoidance	1.46	.60	1.67	2.00
Procrastination	1.80	.69	.80	.19
Learned helplessness	1.69	.69	1.12	.84
Negative distraction	1.69	.65	1.04	.77
Rumination	1.68	.70	1.19	.96
Catastrophizing	1.95	.80	.87	.06
Blaming others	1.98	.59	.58	.47
Emotion deletion	1.97	.80	.62	-.031
Unsuitable expression	1.62	.61	1.23	1.43
Verbal aggression	1.40	.57	1.86	2.66
Social withdrawal	1.76	.62	.88	.59

Note. N = 561. M = mean; SD = standard deviation

4.4.2 Exploratory factor analysis

The exploratory factor analysis examines the internal structure of the questionnaire and, more precisely, checks the adjustment between the data collected and the theoretical model on which the questionnaire is based (Laveault & Grégoire, 2014). In the present study, the exploratory factor analysis tests if the nineteen subscales is a valid structure for upper elementary school students, using the second sample (N = 561). Principal axis factoring was selected as the method of extraction. As we expected the nineteen factors to be correlated, we chose Oblimin with Kaiser normalization for factor rotation (Field, 2009). At first, we did not limit the number of factors extracted so as not to influence the data's structure. The Scree plot and Kaiser's eigenvalue extraction criteria suggested the presence of between six and eight factors. In order to determine the correct number of factors, we applied parallel analysis to our data set. This method is considered as the most reliable procedure to determine the correct number of factors (Hayton, Allen & Scarpello, 2004). The analysis highlighted 6 factors (the first six eigenvalues were 11.4, 4.2, 2.4, 2.2, 1.7, 1.6) accounting for 41.2% of the total variance. On the basis of this information, we once again subjected the 57 items to a principal axis factor and, this time, we limited to six the number of factors extracted. The factor pattern matrix is presented in Table 3.

The following criteria were used to refine our results. First, an item was judged to belong to a factor if its loading on this specific factor was above or equal to .50. Second, if an item was loading above .30 on more than one factor, it was removed (Brown, 2006). The six factors extracted were labeled according to the items they covered. The first group of items (see Table 3) pertains to the expression of emotions either in an appropriate way (social sharing) or in an inappropriate way (unsuitable expression and verbal aggression), and therefore was called "emotion expression". The second group of items, was labeled "task utility self-persuasion", in reference to Eccles and Wigfield's (2002) conceptualization of task value because it gathers items which aim at convincing oneself of the personal utility of the task despite the fact that the latter generates unpleasant emotions. The third group of items covers strategies that focus on the negative aspects of the situation, by dramatizing them (catastrophizing), by constantly thinking them over (rumination) or by convincing oneself that they are beyond one's control (learned helplessness) and this third group was therefore called "negative self-talk". The fourth group of items is about seeking or rejecting peer and teacher assistance and, therefore, was labeled "help seeking". The fifth group was named "brief attentional relaxation" because it encompasses strategies⁴⁰ aiming to release attention for a few seconds by distracting or by relaxing. The sixth and last group of items includes strategies that consist in avoiding dealing with the task, despite the fact that its completion is beneficial in the long run, and therefore was called "dysfunctional avoidance".

The discrepancy between the internal structure highlighted by the previous analysis (6 factors) and our theoretical expectations (19 factors) is discussed later on in this paper.

⁴⁰ The fact that the item "Unsuitable expression 3" is loading on the "brief attentional relaxation" factor could seem odd at first sight but is, actually, quite relevant when we looked at the wording of the item: "I breathe a lot when I try to solve a math problem".

Table 3. Factor pattern matrix for the CERS-M items

Item	Factor					
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6
Social sharing 2	.69	.03	.17	.07	-.05	.10
Social sharing 1	.62	.02	.14	.10	-.03	.08
Unsuitable expression 2	.57	-.14	-.05	.11	.21	.21
Verbal aggression 1	.53	-.21	.11	-.10	.20	.26
Functional confrontation 3	-.04	.70	.04	.05	.07	.05
Functional confrontation 2	.04	.67	.02	.09	.03	.05
Positive reappraisal2	.00	.66	.01	.18	.03	-.01
Direct modification3	-.07	.58	-.07	.03	.06	-.15
Direct modification 2	-.15	.58	-.09	.00	.07	-.01
Catastrophizing3	.12	.04	.72	.06	.14	.11
Catastrophizing2	.13	-.03	.69	-.04	.17	.16
Learned helplessness1	.17	-.16	.63	.06	.05	.09
Learned helplessness3	.16	-.16	.62	.12	.06	.25
Rumination1	.23	-.09	.60	.19	.11	.15
Catastrophizing1	.11	-.10	.60	.09	.09	.06
Rumination3	.37	-.05	.50	-.13	.11	.24
Indirect modification1	.14	.10	.11	.69	.07	.19
Indirect modification2	.15	.27	.02	.68	.10	.18
Social withdrawal1	.14	-.01	-.02	-.64	.05	.00
Positive distraction1	.04	.00	.16	.16	.65	.04
Positive distraction2	-.00	.07	.19	.06	.64	.19
Relaxation3	.08	.03	.01	-.13	.63	-.01
Positive distraction3	.10	-.02	.17	.10	.60	.24
Unsuitable expression3	.29	-.04	.24	.10	.53	.15
Relaxation2	.12	.15	.01	-.12	.52	.12
Procrastination2	.00	-.17	.15	.11	.17	.60
Procrastination1	.06	-.17	.17	.10	.05	.58
Dysfunctional avoidance2	.37	-.31	.18	-.02	.10	.56
Procrastination3	.04	-.06	.32	.01	.21	.54
Dysfunctional avoidance1	.24	-.23	.16	.01	.01	.51

Note. N= 561.

4.4.3 Internal consistency

The internal consistency of the CERS-M global score was good ($\alpha = .82$). Cronbach's alphas performed on the six subscales indicated satisfactory to good internal consistency (see Table 4).

Table 4. Internal consistency of the six factors extracted

Factor	Alpha
Emotion expression	.68
Task utility self-persuasion	.76
Negative self-talk	.83
Help seeking	.67
Brief attentional relaxation	.75
Dysfunctional avoidance	.76

Note. N= 561.

4.4.4 Confirmatory factor analysis

Confirmatory factor analysis was applied to our third data set (N=568) in order to assess if the structure in six factors, highlighted by the exploratory factor analysis, fitted best with the data, as compared to alternative models. Therefore confirmatory analyses were performed using Maximum Likelihood estimations with AMOS 22 (IBM Inc.). Scholars recommend the use of several fit indices to gauge the quality of the adjustment (Byrne, 2016; Hu & Bentler, 1999; Laveault & Grégoire, 2014). In this respect, they distinguish, among others, absolute fit indices which compare the hypothesized model with no model at all, comparative or incremental indices of fit which use a baseline model for assessing model fit, and parsimony fit indices which penalize for model complexity (Byrne, 2016). The most commonly used goodness-of-fit statistics were used in the present study (Byrne, 2016; Laveault & Grégoire, 2014), that is, the chi-square to its degrees of freedom (χ^2/df ; a χ^2/df close to or less than 2.0 was considered to be indicative of a good model fit, and close to or less than 5.0 as indicative of a satisfying fit); the Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA; good fit <.05, satisfying fit <.08); the Standardized Root Mean Square Residual (SRMR; good fit <.05, satisfying fit <.08); the Comparative Fit Index (CFI; good fit $\geq .95$; satisfying fit $\geq .90$), and the adjusted goodness of fit index (AGFI; good fit $\geq .95$; satisfying fit $\geq .90$) (Hu & Bentler, 1999).

Before presenting the different models, let us note that on the basis of high modification indices and low items factor loadings (Byrne, 2016) several items were removed from the model that emerged from the exploratory factor analysis. This made it possible to have an equivalent number of items per factor, three to be precise, which is recommended by Laveault and Grégoire (2014).

Model 1 is a model with six first-order factors (i.e., emotion expression, task utility self-persuasion, negative self-talk, help seeking, brief attentional relaxation, dysfunctional avoidance). This model encompasses three items per factor for a total of 18 items (see Figure 1, left upper part).

Model 2 is a model with two second-order factors (i.e., functional strategies, and dysfunctional strategies) and nineteen dimensions (i.e., functional confrontation, direct modification, indirect modification, positive distraction, positive reappraisal, acceptance, relaxation, social sharing, dysfunctional avoidance, procrastination, learned helplessness, negative distraction, rumination, catastrophizing, blaming others, emotion deletion, unsuitable expression, verbal aggression, and social withdrawal), each operationalized by three items. This model represents the theoretical model of Mikolajczak (2012) in all its complexity (see Figure 1, right upper part).

Model 3 is a model with nineteen first-order factors (the same as for model 2). This model reflects the theoretical model of Mikolajczak (2012) as it is commonly used by scholars (Leroy, Boudrenghien & Grégoire, 2013; Nelis et al., 2011) (see Figure 1, left lower part).

Model 4 encompasses the six families of emotion regulation strategies as defined by Gross (1998) as second-order factors (i.e. situation selection, situation modification,

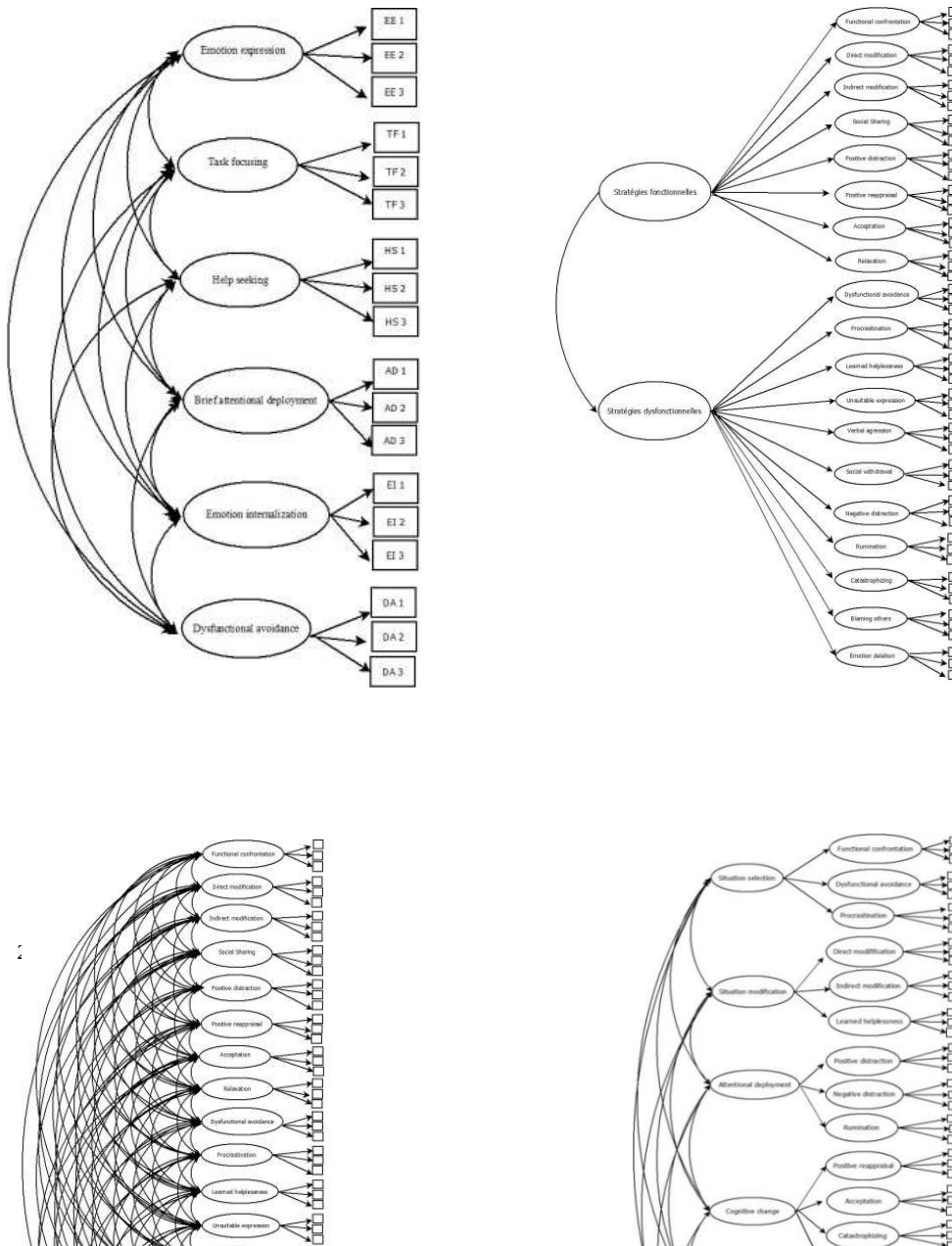
attentional deployment, cognitive change, response modulation, emotion expression) and nineteen first-order dimensions (the same as for model 2 and model 3) (see Figure 1, right lower part).

Table 5 shows the goodness-of-fit statistics for the four models. Model 1 is the only one that displays fit indices of acceptable range indicating that the model fitted the data well. This finding supports the exploratory factor structure.

Table 5. Summary of goodness-of-fit statistics for confirmatory factor analysis

Model	χ^2	df	χ^2/df	RMSEA	SRMR	CFI	AGFI
Model 1	595.747	308	1,934	.046	.052	.940	.927
Model 2	4049.375	1519	1.144	.054	.077	.723	.749
Model 3	2971.821	1372	2.166	.045	.082	.825	.812
Model 4	4138.043	1507	2.746	.055	.153	.712	.756

Note. N = 568; χ^2 = chi-square; df = degrees of freedom; χ^2/df = ratios of the chi-square to its degrees of freedom; RMSEA = Root Mean Square Error of Approximation; SRMR = Standardized Root Mean Square Residual; CFI = Comparative Fit Index; AGFI = Adjusted Goodness of Fit Index.



Note. Left upper part: Model 1 (six first-order factors). Right upper part: Model 2 (two second-order factors). Left lower part: Model 3 (nineteen first-order factors). Right lower part: Model 4 (six second-order factors)

Figure 1. Model for component structures of emotion regulation strategies.

4.5 Discussion

In the present section the main findings regarding both the psychometrical properties of the CERS-M and the emotion regulation behavior of fifth and sixth graders are discussed.

First, both exploratory and confirmatory factor analyses have shown that neither the bipolar structure (i.e. functional and dysfunctional strategies) nor the theoretical 19 factor structure was suited for upper elementary students. Rather, it follows from this first study that the model that best fit the data encompasses six factors, i.e. emotion expression, task utility self-persuasion, negative self-talk, help seeking, brief attentional relaxation, and dysfunctional avoidance. Although this finding is at odds with our theoretical expectations, it is congruent with previous empirical studies which have shown that both students and adults are not able to discriminate among all strategies theoretically defined (De Corte et al., 2011; Nelis et al., 2011). In that respect, in their study, conducted with students aged between 14 and 16, De Corte et al. (2011) were not able to replicate the original structure of the COPE questionnaire (15 subscales) but instead identified six reliable factors. In addition, these results confirm that scales designed for (young) adults are not suited, as they stand, for children and teenagers.

Second, the six dimensions resulting from this first study address all the components of the emotion generative process suggested by Gross (1998). In this connection, "task utility

self-persuasion” addresses two components of this process, that is, situation selection, by deciding to launch into the problem despite the fact that it generates unpleasant emotions and cognitive change by convincing oneself of the utility of the task. With regard to “help seeking”, it aims to get rid of unpleasant emotions by asking someone’s help and thereby modifies the situation. Regarding “brief attentional relaxation”, it can be used either to modify one’s attentional focus or to modulate the bodily component of the emotion through relaxing behaviors. “Dysfunctional avoidance”, insofar as it consists in avoiding mathematical tasks as a source of negative emotions but that are associated to long-term benefits, is associated with the situation selection component. “Negative self-talk” addresses three components of the emotion generative process: situation modification, by convincing oneself that the situation is hopeless; attentional deployment, by dwelling on negative thoughts and emotions; and cognitive change, by catastrophizing the situation. Finally, as one might expect, “emotion expression” addresses the emotion expression component. This suggests that fifth and sixth graders have strategies, at least one of them functional, that allow them to control their emotions at each step of the process of emotion generation. Thus, an instrument whose ambition is to measure the strategies used by 5th and 6th graders to regulate the negative emotions emerging during problem-solving tasks has to cover all the components involved in the emotion generative process. In this respect, both the CERQ-child and the Flemish version COPE-questionnaire appear to be incomplete instruments (voir annexe 2).

Third, functional strategies appeared to be more often used than dysfunctional strategies by 5th and 6th graders in the context of math problem solving. This is good news. However, for both kinds of strategies this use remains limited, which is congruent with previous findings showing that students have a poor track record of emotion regulation during problem-solving tasks (De Corte et al., 2011). Further, the factor pattern matrix shows that social sharing loads with the same valence on the same factor as two dysfunctional strategies, namely, unsuitable expression and verbal aggression. This suggests that expressing one’s emotions during problem-solving tasks is considered inappropriate by upper elementary students. In addition, it turned out that the most-used strategy (task utility self-persuasion) is centered on the task while most of the least-used strategies focused on the emotion(s) felt (i.e. emotion expression, negative self-talk, dysfunctional avoidance). These last two observations align closely with those of several scholars (Desmarets, Jadin, Rouche & Sartiaux; Pallascio & Lafortune, 2000) according to which mathematics is viewed as a “cold” discipline where emotions do not belong.

5. Study 2

This second study aims at providing additional evidence of the validity and reliability of the CERS-M by examining the differential, convergent, discriminant and criterion validity of the instrument as well as its test-retest reliability (Laveault & Grégoire, 2014).

5.1 Method

5.1.1 Participants and procedure

Data collection took place from October 2015 until December 2015. The 19-items instrument was administered to 1014⁴¹ fifth and sixth graders (502 girls, mean age: 10.7 ± 0.66 years) drawn from 20 elementary schools. The latter are located in five out of the six French-speaking geographical areas. In doing so, our sample tends to be as representative as possible of the population of interest. It is also worth noting that 43 additional students were involved in a pilot study whose objective was to ensure the clarity and understanding of all questionnaires. In addition, students filled in the CERS-M during a mathematical class, along with several other measures (during separate sessions). As for study 1, all items were read aloud by the teacher. In case of misunderstanding, the problematic words or sentences were rephrased by the teacher. In addition, in order to document the test-retest reliability and the predictive validity, several measures were taken twice at an interval of three months.

5.1.2 Measures

Emotion Regulation was appraised through the CERS-M described in study 1 (voir annexe 2) and through a French version of the Flemish COPE-questionnaire also presented in study 1. This translation was made by a bilingual Flemish native speaker. Except for active coping ($\alpha = .51$), and restraint coping ($\alpha = .37$), the subscales of the COPE-questionnaire showed satisfactory internal consistency in our sample, with Cronbach's alphas ranging from .62 to .88.

Verbal skill was assessed by means of the syntactico-semantic test "E.C.O.S.S.E", designed by Lecocq (1996). In this study, this test appraises the comprehension of 25 oral statements. The subject had to choose from four pictures the one that was the exact illustration of the sentence just read by the teacher.

Global mathematics anxiety was appraised using an adapted version of the Abbreviated Math Anxiety Scale (AMAS) of Hopko, Mahadevan, Bare and Hunt (2003). For ten school-related mathematics activities (i.e., solving a math problem alone, doing a math exercise alone, thinking about the math test tomorrow, watching the teacher solving a math problem on the board, answering a math exam, dealing with a difficult math homework, listening to the math lesson, listening to another student explaining a math exercise, getting a surprise math test, and starting a new math chapter), the respondent was asked to indicate his level of anxiety using a 5-point Likert scale (1 = *null* to 5 = *very high*). This information was collected at two points. The internal consistency of the scale was excellent (Time 1: $\alpha = .89$, Time 2: $\alpha = .89$).

Math test anxiety was evaluated via a translated version of the revised version of the "Children's Test Anxiety Scale (CTAS)" (Nyroos, Korhonen, Linnanmaki & Svens-Liavag, 2012). This instrument assesses the individual's level of anxiety about testing. It includes three dimensions: thoughts (11 items, e.g., "I think I'm going to get a bad grade"); autonomic

⁴¹ We opted for the suppression of missing data.

reactions (3 items, e.g., “During a math test, I feel warm”), and off-task behaviors (5 items, e.g., “During a math test, I look around me”). Participants indicated the frequency of each of these thoughts, autonomic reactions, and off-task behaviors using a 4-point Likert scale (1 = *(almost) never* to 4 = *(almost) always*). Again, this information was collected at two points. The internal consistency of the global score of anxiety in our sample was excellent (Time 1: $\alpha = .90$, Time 2: $\alpha = .91$).

Problem-solving anxiety was measured by transforming the CTAS into an anxiety problem-solving scale. Concretely, the term “math test” was replaced by “problem solving”. Apart from this change, the rest remained unchanged. The internal consistency of the global score of problem-solving anxiety was excellent too (Time 1: $\alpha = .92$, Time 2: $\alpha = .92$).

Problem-solving performances were assessed by means of a performance test made up of three problems. These were designed on the basis of our expertise as mathematics teachers and on one textbook, “To solve problems: no problem!” written by Fagnant and Demonty (2005). Student performance was appraised by a global score obtained by summing up the correct answers on a binary scale (0 = *wrong answer*, 1 = *right answer*).

Global performances were collected from teachers in June 2015 and in December 2015 for Mathematics, and only in December 2015 for French. This information allows us to control for previous math performance and simultaneous French performance.

5.2 Results

5.2.1 Evidence of the CERS-M’s reliability

The internal consistency of four subscales, namely, emotion expression, task utility self-persuasion, help seeking, and dysfunctional avoidance was substantially improved with the removal of one item. This choice was confirmed by correlational analysis on every trio of items. As shown in Table 6, the internal consistency of the CERS-M’s subscales are of acceptable range. It is also worth noting the presence of a substantial increase of the value of the Cronbach’s alphas between the two times of measure.

Table 6. Internal consistencies for the six subscales of the CERS-M

Factors	Cronbach’s Alpha	
	Time 1	Time 2
CERS-M Global score (14 items)	.70	.76
Emotion expression (2 items)	.66	.75
Task utility self-persuasion (2 items)	.67	.74
Negative self-talk (3 items)	.76	.84
Help seeking (2 items)	.77	.83
Brief attentional relaxation (3 items)	.65	.76
Dysfunctional avoidance (2 items)	.62	.66

Note. N = 1014; Time 1 = October 2015; Time 2 = December 2015.

With respect to the test-retest reliability, the score after three months is good (Pearson’s $r = .63$, $p < .01$) which indicates a satisfactory stability of the CERS-M global score over time. The stability of the CERS-M’s subscales is satisfactory to good (Pearson’s r ranging between .39 and .63).

5.2.2 Evidences of the CERS-M's construct validity

Goodness-of-fit indices for the six-factor model with 14 items indicate a well-adjusted fit to the data ($\chi^2/df = 1.427$, RMSEA = .019, SRMR = .021, CFI = .992, AGFI = .982) which confirms study 1's findings. In addition, the six-factor model appears to better fit the data than an alternative model made up of two second-order factors (functional strategies and dysfunctional strategies) and of six first-order factors (emotion expression, task utility self-persuasion, negative self-talk, help seeking, brief attentional relaxation, and dysfunctional avoidance) ($\chi^2/df = 1.860$, RMSEA = .027, SRMR = .033, CFI = .981, AGFI = .977).

5.2.3 Evidence of the CERS-M's differential validity

Let us start by remembering that when differential validity is addressed, « it is the lack of observed difference that should be problematic and question the quality of a test and not the opposite » (Laveault & Grégoire, 2014, free translation, p.93). In fact, the presence of a significant difference between the two groups reflects the ability of the test to take into account reality. As depicted in Table 7, there is a significant gender difference in the use of emotion regulation strategies. This difference concerns, more specifically, four emotion regulation strategies, namely, emotion expression, task utility self-persuasion, negative self-talk, and help seeking. Even so, whether it is a functional or a dysfunctional strategy, girls score higher than boys, supporting the idea that emotions are more a concern of girls than of boys (Brody, 2000).

Table 7. Means, standard deviations and t-test comparisons for boys and girls

Subscales	Boys (N = 512)		Girls (N = 502)		Gender differences t-test
	M	SD	M	SD	
CERS-M global score	1.95	.40	2.10	.41	$t(1015) = -5.83^{***}$
Emotion expression	1.44	.58	1.52	.57	$t(1015) = -2.06^*$
Task utility self-persuasion	2.86	.93	3.00	.80	$t(1015) = -2.52^*$
Negative self-talk	1.58	.69	1.91	.84	$t(1015) = -6.69^{***}$
Help seeking	2.16	.72	2.32	.76	$t(1015) = -3.56^{***}$
Brief attentional relaxation	2.08	0.74	2.14	.73	$t(1015) = -1.38$
Dysfunctional avoidance	1.69	.76	1.76	.76	$t(1015) = -1.59$

Note. N = Sample size ; M = mean; SD = standard deviation.

*** $p \leq 0.001$; ** $p \leq 0.01$; * $p \leq 0.05$.

5.2.4 Evidence of the CERS-M's discriminant validity

Discriminant validity refers to the degree to which scores on a test do not correlate with variables they are not supposed to correlate with given the nature of the concept (Laveault & Grégoire, 2014; Messick, 1995). It was assessed by examining Pearson correlations between CERS-M and verbal skills. Table 8 shows that the relationship between the CERS-M global score and verbal skills is very tenuous ($r = -.09$). Furthermore, this relationship concerns only two subscales out of the six, that is, negative self-talk, and dysfunctional avoidance. Such findings are not surprising as these two emotion regulation strategies are known to redirect, partially or totally, the individual's cognitive resources, initially available for the task, to his/her emotions and thoughts (negative self-talk) or on another task (dysfunctional avoidance).

5.2.5 Evidence of the CERS-M's convergent validity

Convergent validity pertains to the degree to which scores on a test are closely related to measures of a similar construct (Laveault & Grégoire, 2014; Messick, 1995). It was appraised by examining Pearson correlations between the CERS-M and another measure of emotion regulation, namely, the Flemish version of the COPE-questionnaire (Op't Eynde et al., 2011). As shown in Table 8, the CERS-M global score is strongly associated with the COPE global score ($r = .52$). As can be seen from Table 8, this association is mostly attributable to five dimensions of the COPE – i.e., seeking social support for emotional reasons, seeking social support for instrumental reasons, focus on and venting emotions, mental disengagement and behavioral disengagement –, those who present relevant conceptual overlaps with the CERS-M subscales.

Table 8. Correlations of the CERS-M subscales and indicators of discriminant, convergent and concomitant validity

	CERS-M Global score	Emotion expression	Task utility self- persuasion	Negativ e self- talk	Help seeking	Brief attentional relaxation	Dysfunctional avoidance
Discriminant validity							
E.C.O.S.S.E. Global score	-.094**	-.044	.026	-.137**	-.049	.001	-.091**
Convergent validity							
COPE Global score	.519**	.326**	.261**	.303**	.275**	.289**	.250**
Planning	.107**	-.032	.301**	-.078*	.139**	.025	.030
Suppression of competing activities	.059	-.099**	.329**	-.037	.104**	-.044	-.060
Seeking social support for emotional reasons	.415**	.302**	.149**	.266**	.228**	.211**	.219**
Seeking social support for instrumental reasons	.422**	.296**	.109**	.224**	.286**	.270**	.219**
Positive reinterpretation and growth	.235**	.097**	.301**	.053	.145**	.125**	.060
Acceptance	.238**	.144**	.187**	.130**	.076*	.116**	.128**
Turning to religion	.172**	.099**	.109**	.143**	.146**	.027	.043
Focus on and venting emotions	.420**	.322**	.055	.354**	.163**	.211**	.262**
Denial	.277**	.188**	.066*	.230**	.094**	.162**	.141**
Behavioral disengagement	.348**	.285**	-.106**	.379**	.113**	.206**	.217**
Mental disengagement	.422**	.303**	.005	.269**	.134**	.363**	.274**
Joking	.178**	.206**	.032	.025	.062*	.202**	.084**
Concomitant validity							
Global math anxiety	.357**	.216**	.067*	.400**	.163**	.098**	.180**
Math test anxiety	.559**	.347**	.051	.560**	.212**	.310**	.252**
Problem-solving anxiety	.477**	.296**	.030	.521**	.152**	.238**	.229**
Problem-solving performance	-.180**	-.075**	.043	-.210**	-.097**	-.022	-.119**

Note. N = 1014. *** $p \leq 0.001$; ** $p \leq 0.01$; * $p \leq 0.05$.

5.2.6 Evidence of the CERS-M's criterion validity

Criterion validity refers to the extent to which an instrument is associated with or predicts a given concept or an external criterion (Bryant, 2000). When the two measures are collected concurrently we speak about concomitant validity whereas when a temporal delay separates the two measures we talk about predictive validity. In the present study, criterion validity has been examined in the light of two criteria, anxiety and performance.

CERS-M and Anxiety. Not surprisingly, scholars have highlighted a close relationship between emotion regulation and anxiety (Amstadter, 2008; Gross & Munoz, 1995; Mikolajczak, Luminet, Leroy & Roy, 2007; Nelis et al., 2011). More precisely, individuals who cannot regulate their emotions experience more anxiety than those who display emotion regulation skills. In other words, functional strategies are supposed to correlate negatively with anxiety whereas dysfunctional strategies are supposed to correlate positively with it. Regarding **concomitant validity**, findings revealed a positive relationship between CERS-M global score and indicators of anxiety (Table 8). Among the different measures of anxiety, the strongest correlations are observed for math test anxiety and problem-solving anxiety. This finding is congruent with the conceptualization of emotions as task-related objects (Goetz et al., 2007; Goetz et al., 2006). In addition, these strong correlations concern only one emotion regulation strategy, namely, “negative self-talk”. Thus, these findings indicate, on the one hand, that emotion regulation as assessed by the CERS-M and math task anxiety are two distinct constructs, and, on the other hand, that one of the CERS-M’s subscales, i.e. negative self-talk, shares with math tasks anxiety between 27% and 31% of the common variance. With respect to **predictive validity**, regressions sought to examine whether the CERS-M is able to predict indicators of anxiety, measured three months later and in doing so, to complement the concomitant validity analysis. As depicted in Table 9, CERS-M global score is a significant predictor of anxiety. Again, the predictions are more powerful when measures of anxiety are related to well-defined mathematical tasks (i.e., a test or a problem to solve). Congruent with the correlational analyses, negative self-talk is the CERS-M subscale that best predicts math tasks anxiety (Adjusted $R^2 = 26\%$).

CERS-M and math performance. Findings are ambivalent as far as the effects of emotion regulation on academic performance are concerned. While several researchers have put forward tenuous correlations or no correlation at all (Jordan, McRorie & Ewing, 2010 ; Mavroveli, Petrides, Shove & Whitehead, 2008 ; Petrides Frederickson & Furnham, 2004), others have emphasized the predictive power of emotion regulation for academic achievement (Di Fabio & Palazzeschi, 2009 ; Van der Zee, Tijs & Schakel, 2002). Regarding **concomitant validity**, as shown in Table 8, the relation between CERS-M global score and problem-solving performance is negative and tenuous ($r = -.18$) indicating that there are clearly two distinct constructs that have little in common. This finding is strengthened by the analysis of the **predictive validity**, which highlights that the CERS-M accounts for less than 2% of problem-solving performance variance (Table 9). Negative self-talk appeared to be the strongest predictor of problem-solving performance, accounting for 4% of the total variance. Additionally, we examined if the CERS-M global score was a significant predictor of global math performance (measured three months after the administration of the CERS-M), when controlling for both French performance (measured three months after the administration of the CERS-M) and previous math performance (measured three months before the administration of the CERS-M). Hierarchical regression analyses using the “Enter” procedure were therefore computed. In line with our findings regarding problem-solving performance, the CERS-M contributes marginally ($R^2 = 2\%$) in the prediction of global math performance, mainly through negative self-talk ($R^2 = 2\%$) and emotion expression ($R^2 = 1.8\%$) (see Table 10).

Table 9. Hierarchical regression analyses predicting anxiety and problem-solving performance by the CERS-M

Dependent variable	Global math anxiety		Math test anxiety		Problem-solving anxiety		Problem-solving performance	
Predictor variables	Adj. R ²	Bêta	Adj. R ²	Bêta	Adj. R ²	Bêta	Adj. R ²	Bêta
CERS-M global score	.12	.35***	.25	.50***	.22	.47***	.016	-.13***
Emotion expression	.04	.20***	.08	.28***	.07	.26***	.001	-.044
Task utility self-persuasion	.005	.07**	.00	.02	.001	.05	-.001	-.012
Negative self-talk	.16	.41***	.26	.51***	.26	.51***	.04	-.20***
Help seeking	.02	.16***	.03	.19***	.03	.17***	.004	-.07*
Brief attentional relaxation	.004	.07*	.07	.27***	.05	.22***	-.001	.013
Dysfunctional avoidance	.04	.21***	.08	.28***	.06	.25***	.008	-.09***

Note. N = 1014. *** $p \leq 0.001$; ** $p \leq 0.01$; * $p \leq 0.05$.

Table 10. Hierarchical regression analyses predicting global math performance, measured three months later, over and above French performance and previous math performance, by the CERS-M

Criterion variable	Forced hierarchical order	Predictor variable	R	Adjusted R ² change	F change
Math performance	1	Previous math performance	.265	.068	37.308***
	2	French performance	.303	.021	23.036***
Math performance	1	CERS-M scores	.079	.004	3.136*
	2	Previous math performance	.158	.018	18.904***
Math performance	1	Emotion expression	.067	.002	2.206
	2	French performance	.073	.00	.900
Math performance	1	Task utility self-persuasion	.296	.086	47.322***
	2	French performance	.330	.02	23.910***
Math performance	1	Negative self-talk	.150	.021	11.412***
	2	French performance	.162	.002	3.546
Math performance	1	Help seeking	.104	.009	5.349**
	2	French performance	.145	.009	10.398***
Math performance	1	Brief attentional relaxation	.159	.023	12.754***
	2	French performance	.165	.001	2.076
	2	Dysfunctional avoidance			

Note. N = 1014. Adjusted R² change = change in R² resulting from the inclusion of a new predictor. *** $p \leq 0.001$; ** $p \leq 0.01$; * $p \leq 0.05$

The CERS-M and the COPE-questionnaire. Additional evidence of the CERS-M's criterion validity consists in examining its ability to account for additional variance in the prediction of anxiety and problem-solving performance, over and above the COPE scores (MacCann, Roberts, Matthews, & Zeidner, 2004; Schulte, Ree, & Carretta, 2004). It should be remembered that the COPE-questionnaire appraises emotion regulation too. To answer this question we performed hierarchical regression analyses. More precisely, scores from the COPE were entered as the first block, and scores from the CERS-M were entered as the second block. The analysis was computed twice, the first time with anxiety as dependent

variable and, the second time, with problem-solving performance as dependent variable. Regarding indicators of anxiety, as depicted in Table 11, the CERS-M significantly predicted global math anxiety, math test anxiety and problem-solving anxiety over and above the COPE-questionnaire. Again, the prediction power is higher both in the math test ($R^2 = 16\%$) and in the problem-solving (12%) condition than in the global math context ($R^2 = 6\%$). With respect to problem-solving performance, Table 11 shows that this is also significantly predicted, but to a lesser extent ($R^2 = 2\%$), by the CERS-M scores over and above the effects of COPE scores.

Table 11. Hierarchical regression analyses testing the criterion validity of the CERS-M over and above COPE's scores to predict global math anxiety

Criterion variable	Forced hierarchical order	Predictor variable	R	Adjusted R^2 change	F change
Global math anxiety	1	COPE total score	.282	.078	87.35***
	2	CERS-M total score	.379	.064	76.054***
Math test anxiety	1	COPE total score	.426	.181	224.85***
	2	CERS-M total score	.583	.157	242.98***
Problem-solving anxiety	1	COPE total score	.366	.133	156.95***
	2	CERS-M total score	.500	.116	157.26***
Problem-solving performance	1	COPE total score	.092	.008	9.83**
	2	CERS-M total score	.179	.022	27.99***

Note. N= 1014. Adjusted R^2 change = change in R^2 resulting from the inclusion of a new predictor. *** $p \leq 0.001$; ** $p \leq 0.01$; * $p \leq 0.05$

5.3 Discussion

The second study pursued a twofold objective. A first objective consisted in confronting the factor structure of the CERS-M, resulting from the first study, with another sample, and by doing so, to consolidate the construct validity of the instrument. In this connection, the second study globally confirmed that the six-factor model presents a good adjustment to the data.

A second objective was to question the validity and reliability of the CERS-M from different perspectives in order to provide additional evidence of the psychometrical properties of the scale. On this point, and although collecting evidence of the validity of an instrument is a process always in progress (Laveault & Grégoire, 2014), this study provided differential, discriminant, convergent and criterion preliminary evidence of the CERS-M's validity. With respect to the discriminant validity, unexpectedly, our findings stressed a tenuous relationship between two subscales of the CERS-M, namely, negative self-talk and dysfunctional avoidance, and verbal skills. It is probably not insignificant that it is the same two strategies that correlate most strongly with students' problem-solving performance. If these two strategies particularly affect performance scores, it may be because these strategies prevent the individual from doing the task. Thus, the theory according to which individual

differences in typical behavior in emotional situations are independent of cognitive intelligence is only partially corroborated (Freudenthaler & Neubauer, 2005, 2007). With respect to convergent validity, a significant and strong relation was found between the global score of the COPE and the CERS-M. A fine-grained analysis revealed that it is five dimensions in particular of the COPE that are concerned. This finding may be explained by the presence of conceptual overlaps between the two instruments. However, the CERS-M cannot be reduced to the five overlapping constructs of the COPE for two main reasons. First, the intensity of the correlations of these five constructs is only moderate. Second, the CERS-M appeared to predict measures of anxiety as well as problem-solving performance over and above COPE scores. This evidence of criterion validity points out that scales measuring close constructs, such as the COPE, cannot do the job, at least not as efficiently as the CERS-M. With regard to the CERS-M reliability, if the test-retest reliability suggests that emotion regulation strategies are relatively stable constructs the internal consistency of the CERS-M subscales indicates that the instrument would benefit from improving the reliability of one of its subscales, namely, dysfunctional avoidance.

In addition, from the standpoint of gaining a better understanding of emotion regulation, two findings deserve to be analyzed more thoroughly.

A first interesting result concerns gender difference. On this point, it is useful to recall that four emotion regulation strategies stood out as being more used by girls than by boys, namely, emotion expression, negative self-talk, help seeking, and task utility self-persuasion. Findings regarding the first three strategies are coherent with Western norms according to which girls are more likely to express their emotions and to use internalization strategies to cope with emotionally loaded situations than are boys (Brody, 2000). It is also congruent with findings showing that girls score lower on alexithymia than boys (Joukamaa, Taanila, Miettunen, Karvonen, et al., 2007; Levant, Hall, Williams & Hasan, 2009). This difference between genders could also be explained by the stereotype threat (i.e. girls have weaker math ability than boys) (Ambady, Shih, Kim & Pittinsky, 2001). The apprehension caused by this threat may disrupt girls' problem-solving performance and, in doing so, entail the use of emotional expression, negative self-talk, and help seeking. Furthermore, the greater need for girls than for boys to convince themselves of the utility of the task to be engaged in it was already noted by Eccles, Wigfield, Harols & Blumenfeld (1993). Further light may be shed on this observation by the stereotype threat girls are victims of and the behaviors ensuing from it, namely, their preference for careers with little mathematics (Plante, Théorêt & Favreau, 2010).

A second worthwhile observation relates to the “negative self-talk” subscale. In fact, this subscale maintains the strongest relationships with both anxiety and performance. On this point, we should remember that while negative self-talk accounts for no more than 2% in students' math performance – previous math performance ($R^2=7\%$) remaining the strongest predictor – it nevertheless explains 26% of students' levels of anxiety in math tests and in problem-solving. This suggests that helping students not to dwell on problems, catastrophize or feel hopeless would decrease their levels of anxiety and, to a lesser extent, improve their math performance. Such findings would argue in favor of an intervention aiming to develop students' emotional competencies, that is, teach students how to identify their emotions (identification), how to interpret the information conveyed by their emotions (comprehension), how to express their emotions (expression), how to control them (regulation), and how to use them (utilization) (Mayer & Salovey, 1997; Mikolajczak et al., 2009).

6. General discussion and conclusion

This set of studies represents the most systematic published psychometric analysis of a questionnaire within the children's emotion regulation research field. What is more, it constitutes the first attempt to develop an instrument that both takes into account the various existing theoretical approaches in this area and that also reflects the reality of elementary students' emotion regulation. The present results provide modest but encouraging evidence in favor of the validity, reliability and usefulness of the CERS-M.

What stood out, from both studies, was that neither the bipolar distinction – functional versus dysfunctional strategies — nor the 19 factor structure model was suited for 5th and 6th graders. Rather, the findings emphasized that the latter discriminate between six strategies, that is, task utility self-persuasion, emotion expression, help seeking, brief attentional relaxation, negative self-talk, and dysfunctional avoidance. In addition, both studies shed light on the way fifth and sixth graders regulate their negative emotions when dealing with problem-solving tasks. First, if on the whole emotion regulation strategies are only used from time to time, one strategy stands out by virtue of being most often used; this is “task utility self-persuasion”. This consists in motivational reflection focused on the task and, as such, deals with unpleasant emotions in a “colder” way than the least used strategies (i.e. emotion expression, negative self-talk, dysfunctional avoidance and brief attentional relaxation). These handle unpleasant emotions in a “hot” way, that is, by focusing on listening to one's emotions. Second, the factor structure analysis pointed out that emotion expression is considered by upper elementary students as dysfunctional while this strategy appears among the functional strategies within the theoretical model. These two observations give credibility to the idea that there is no place for the learner's feelings in mathematics. Third, the negative self-talk strategy stood out as predicting a substantial part of student anxiety. All these findings support the need to integrate within the math class a sequence of lessons on emotional competencies with a special focus on emotion regulation.

Several limitations do have to be acknowledged. First, participants were 5th and 6th graders, which restrict range and generalization, both regarding age and students' emotional relationship to mathematics. Therefore, future research should be extended to other grades and to secondary level. For instance, it would be interesting to validate the CERS-M with two kinds of secondary students samples: one with secondary 1 students to test the influence of the transition from primary school through secondary school, and the other with secondary 3 students to highlight the major changes regarding emotion regulation that operate during adolescence. Second, it would be interesting to develop the findings regarding performance by examining variables that are at the same time strongly associated with performance and in a non-ambivalent way to emotion regulation, such as the way students process information (superficial versus in-depth), the way students regulate their learning (self-regulation versus external guidance) and the kind of cognitive strategies used (i.e. among a list of problem-solving heuristics) (Pekrun, 2006). In the same vein, in order to provide additional evidence of the validity of the CERS-M, future studies should be set up to study the predictive power of the CERS-M on dimensions for which a relation with emotion regulation has been demonstrated (e.g. the propensity to experience various discrete emotions, happiness and mental health, Nelis et al. (2011)). Fourth, all study variables were measured through self-reported evaluations and this may have caused a certain bias. In effect, because of the retrospective character of such instruments (Cleary, 2011; Greene, Robertson & Croker Costa, 2011) and their sensibility to social desirability (Perry & Winne, 2006 ; Winne & Perry, 2000), students may have under-or overestimated their level of anxiety or the extent to which they used emotion regulation strategies in math problem-solving. So in order to overcome the social desirability bias, future studies should be launched to examine the susceptibility of CERS-M responses to social desirability. In sum, although these exploratory findings call for replication, they supply preliminary evidence that the CERS-M can be a valuable tool for clinical, educational and research purposes.

Chapitre 9

Teaching the problem-solving process in a progressive or in a simultaneous way

A question of making sense?⁴²

Over the past two decades, the perennial low success rates of elementary students in math problem solving and the difficulties experienced by teachers in helping their students with this type of task has become quite a hot topic. In response, several instructional interventions aiming to develop an expert and reflexive approach to problem solving have been designed. However, these interventions are based on two contrasting teaching approaches, either teaching the components of the problem-solving process at the same time or teaching them one at the time. A meticulous analysis of the literature indicates that studies that have compared these two teaching approaches have focused primarily on undergraduate students. Moreover, they have mainly been assessed in terms of cognitive outcomes. Yet, recent studies stress the importance of analyzing the cognitive, motivational and emotional processes involved in problem-solving learning together in order to gain a full understanding of the process. Addressing these limitations is essential to enhance our understanding of problem-solving learning and to design more effective interventions. This paper focuses on this issue by investigating whether teaching the problem-solving process in all its complexity or one component at a time is preferable in terms of cognitive, motivational and emotional outcomes. This issue is handled for both novice and expert solvers. Data were gathered among 267 upper elementary students. Findings showed that both teaching approaches support the short- and long-term acquisition of cognitive problem-solving strategies, regardless of the student's profile. However, beneficial emotional and motivational outcomes occur only when the problem-solving process is taught in all its complexity, that is, makes sense for the learner. Novice solvers made less use of the help-seeking strategy and persisted more.

Hanin, V. & Van Nieuwenhoven, C. (2018c). Teaching the problem-solving process in a progressive or in a simultaneous way: a question of making sense? *Frontline Learning Research*, 6(2), 39-65.

⁴² L'annexe 3 questionne les différences non significatives. Plus précisément, nos analyses complémentaires cherchent à savoir si cette non significativité reflète une absence d'évolution entre les trois temps de mesure ou une évolution semblable des trois conditions.

Teaching the problem-solving process in a progressive or in a simultaneous way

A question of making sense?

1. Introduction

In a societal context that lays increasing emphasis on the need for analytical and complex task-resolution skills (Depaepe, De Corte, & Verschaffel, 2010; NTCM, 2010), it is important to question their development and acquisition in the academic context. In terms of mathematics education, curriculum designers have stressed that students develop meaningful mathematical skills, motivate themselves and learn how to deal appropriately with situations encountered in their everyday life through problem-solving tasks (NTCM, 2010). However, both research studies (Demonty, Blondin, Matoul, Baye, & Lafontaine, 2013; Demonty & Fagnant, 2014) and international tests (OECD, 2016) have brought to light students' perennial low success rates in math problem solving.

The alarming international test scores stimulated researchers to design educational interventions that aim to develop an expert and reflexive approach to problem solving. Most educational research (Blum, 2011; De Corte, 2012; Fagnant & Jaegers, 2018; Tzohar-Rozen & Kramarski, 2014) agrees that the development of an expert and reflexive approach to problem solving occurs through the mastery of specific heuristic strategies embedded in an overall metacognitive approach. Yet, different assumptions concerning the importance of facilitating realistic meaningful experiences, as opposed to facilitating cognitive processing, lead to different pedagogical approaches. On the one hand, research on the development of an expert and reflexive approach to mathematical problem solving conducted in the field of mathematics instruction stresses the importance of giving all students, whether they are experts or novices, realistic, meaningful, challenging and complex problem-solving tasks, supporting a “simultaneous” teaching approach (Blum, 2011; Depaepe et al., 2010; Van Dooren, Verschaffel, Greer, De Bock, & Crahay, 2010). On the other hand, studies conducted in the field of cognitive psychology and, more specifically, anchored within the framework of cognitive load theory, have shown that, for novice learners, it is preferable to teach one element at a time to avoid overwhelming their working memory (Blayney, Kalyuga, & Sweller, 2010; Pollock, Chandler, & Sweller, 2002). Thus, if research in mathematics instruction supports approaching the problem-solving process in its full complexity, the work carried out in the field of cognitive psychology supports the opposite approach. In addition, there is a lack of understanding of the role of affective components and motivational aspects in the problem-solving process, as both of the traditions mentioned above focus (more or less widely) on cognitive aspects. Such understanding therefore appears crucial for the integration of the two approaches. And this is especially the case given that recent studies have pointed out the necessity of considering cognitive, emotional and motivational dimensions when

dealing with teaching and learning issues (Ahmed, van der Werf, Kuyper, & Minnaert, 2013; Pekrun, 2014; Tzohar-Rozen & Kramarski, 2014).

The present study aims to extend previous research by overcoming these limitations and enhancing our understanding of the effects on cognitive, motivational and emotional dimensions of teaching the problem-solving process to upper elementary students. More precisely, this paper aims to test the effects of these two teaching approaches (“simultaneous” versus “gradual-all together”) on the frequency of use of heuristic strategies, the valence of the emotions felt, the kind of emotion regulation strategies used and the level of persistence. In addition, given that novice and expert solvers may differ regarding their learning process, a comparison between the two teaching approaches was made for these two learner profiles (Muir, Beswick, & Williamson, 2008; Zimmerman & Campillo, 2003).

2. Theoretical foundations

First, we examine the problem-solving process. Then, the relation of cognitive load theory to the two teaching approaches studied in the present paper is described. Subsequently, the role played by emotions in problem-solving tasks and the necessity of developing functional emotion regulation strategies are examined. This section closes with discussion of one important motivational dimension for problem-solving learning, that is, persistence.

2.1 The problem-solving process

Nowadays, scholars acknowledge that the development of expertise in mathematical problem solving requires the reconceptualization of mathematical problems as exercises in mathematical modeling; that is, considering the statement of a problem as the description of a situation in everyday life that can be modeled mathematically (Blum & Niss, 1991; De Corte, Verschaffel, & Masui, 2004; Fagnant, Demonty, & Lejonc, 2003). Mathematical modeling is viewed as a complex and cyclic process involving a number of phases. In this regard, based on a thorough analysis of the existing literature in the problem-solving field (Blum, 2011; Fagnant & Demonty, 2005; Fuchs, Fuchs, Prentice, Burch, Hamlett, et al., 2003; Lucangeli, Tressoldi, & Cendron, 1998), Hanin and Van Nieuwenhoven (2016) identified, eight heuristic strategies of particular importance in solving non-routine problems that delineate the problem-solving process (Figure 1): (1) *building a representation of the problem*, that is, specifying the relevant contextual and numerical information, the unknown (what we are looking for), and the relationships between these elements via a drawing, a table or a reformulation (situation model); (2) *estimating⁴³ the answer a priori*, that is, approximating the solution of the problem by identifying the kind of response that is needed (a measure, a price, etc.), by rounding the numbers, by imagining what the solution is not or by giving an order of magnitude; (3) *using one’s knowledge*, namely, identifying the mathematical structure of the problem, asking whether one has already solved a similar problem and how one did it (identification of the mathematical model); (4) *planning*, that is,

⁴³ Si, dans cet article, le terme « estimation » a été utilisé, il réfère au même construit que ce que nous avons appelé « anticipation », à la suite des travaux de Saboya et al. (2015), au chapitre 1.

breaking down the problem into steps; (5) *executing the necessary calculations*, that is, translating each step of the solution plan by an appropriate mathematical operation and executing it to arrive at a final mathematical result; (6) *verifying* the relevance of the operations chosen, ensuring compliance with instructions and checking the accuracy of the calculations; (7) *interpreting the outcome*, that is, making sure that the solution makes sense with regard to the problem statement (plausibility of the solution) and that the solution is congruent with the a prior estimate; (8) for a satisfactory interpretation, the solution is *communicated*. The two teaching approaches compared in the present study are based on this problem-solving process. It should also be noted that the linear arrangement gives a timeline to be used in the teaching of the solving process. The problem-solving process must be seen as cyclical and constituted of a back-and-forth between the different heuristic strategies.

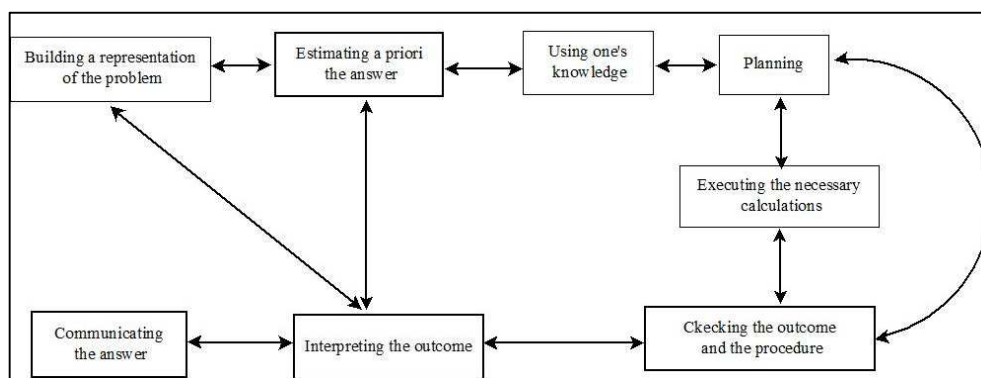


Figure 1. Schematic diagram of the problem-solving process

2.2 The contribution of cognitive load theory

Cognitive load theory views the resolution of complex, non-routine⁴⁴ mathematical problems as high in element interactivity, where the elements are the heuristic strategies (Pollock et al., 2002; Van Merriënboer & Sweller, 2005). In such tasks students must process the different heuristic strategies in working memory simultaneously for learning to occur, since these heuristic strategies are all tightly linked. As many elements must be processed in working memory simultaneously, there is high intrinsic cognitive load⁴⁵. Yet we know that working memory is limited. Usually the individual's cognitive architecture constructs schemas in order to handle the problem of working memory overload. Schemas organize a large number of elements and take their interactivity into account, while acting as a single element, that is, without overloading working memory. However, these schemas result from a preliminary construction. And therein lies the problem. The construction of such schemas

⁴⁴ The term "non-routine" is used to designate problems for which the solution does not appear immediately and for which the resolution is not based on the application of a procedure that was just seen in class (Elia, van den Heuvel-Panhuizen, & Kolovou, 2009; Fagnant et al., 2003).

⁴⁵ Note that *intrinsic cognitive load* is to be distinguished from *extraneous cognitive load*. The former is imposed by the intellectual complexity of the information, while the latter results from the way the information is presented to the students (Pollock et al., 2002).

is the result of the simultaneous processing of all of the elements and therefore includes the elements' interactivity. However, due to working memory limitations, novice⁴⁶ learners can only process a few of the elements in working memory simultaneously, which prevents the construction of schemas, that is learning, from taking place. Thus, as processing all of the elements simultaneously in working memory is not effective (in the case of elements that are high in interactivity), there remains the option of processing element by element in working memory and thereby eliminating the interactions among them, but at the cost of a reduced understanding. On this point, empirical evidence has shown that it is more beneficial for non-expert learners to begin with a "one-by-one element" approach and, once each element has been examined in isolation, to deal with the full set of elements in an interactive way (what we call the "gradual-all together" approach) rather than to present, from the outset, the material in its full complexity (what we call the "simultaneous" approach) (Pollock et al., 2002; Van Merriënboer & Sweller, 2005). Regarding expert learners, empirical studies have highlighted that they perform equally well regardless of the teaching approach used, because they already possess relevant problem-solving schemas (Pollock et al., 2002).

2.3 The contribution of emotion theory

Complex math tasks are known to generate negative emotions (Hanin, & Van Nieuwenhoven, 2018; Op't Eynde, De Corte, & Mercken, 2004). However, tasks lacking sufficient challenge also generate negative emotions, mostly boredom (Pekrun, Goetz, Daniels, Stupnisky, & Perry, 2010). Thus, depending on the teaching approach implemented, both "novice" and "expert" problem-solvers might be affected by negative emotions. Negative emotions are known to be detrimental to learning. More precisely, studies have reported that negative emotions foster the use of rigid, detail-oriented, and analytical approaches, divert a part of the available cognitive resources from the task, and promote external regulation (Pekrun, 2014). Not only do students feel negative emotions when dealing with complex math problems but, in addition, they do not regulate these emotions (De Corte, Depaepe, Op't Eynde & Verschaffel, 2011). On this point, Hanin et al. (2017) highlighted six strategies used by upper elementary school children to regulate their negative emotions when solving math problems. "Negative self-talk" involves focusing on the negative aspects of the situation, by dramatizing them, by constantly thinking them over or by convincing oneself that they are beyond one's control. "Dysfunctional avoidance" involves task avoidance, despite the fact that task completion is beneficial in the long run. "Emotion expression" refers to the social sharing of one's emotions. "Task utility self-persuasion" involves convincing oneself of the personal utility of the task despite the fact that the task generates unpleasant emotions. "Help seeking" concerns seeking peer and teacher assistance. Finally, "brief attentional relaxation" involves releasing attention for a few seconds through distraction or relaxation. This strategy covers two sub-strategies, namely, a positive form of distraction and physical relaxation. Of these six, students considered the first three to be

⁴⁶ Like several authors (Bassok, 2003; Brand, Reimer, & Opwis, 2003), we use the terms "novice" and "expert" to designate students with poor and good word problem-solving skills, respectively. In this sense, it is a relative concept of "expert" and "novice" (Novick, 1988).

maladaptive and the other three were judged to be adaptive (Hanin, Gregoire, Mikolajczak, Fantini-Hauwel, & Van Nieuwenhoven, 2017). However, although scholars agree on the crucial role played by emotions in problem-solving learning and performance, to our knowledge, no study so far has examined the effect of cognitive training programs on emotions and emotion regulation strategies.

2.4 The contribution of motivation theory

Alongside emotions, a motivational variable of particular interest when solving mathematical problems is persistence (Montague & Applegate, 2000), that is, “the behavioral strength that fosters, despite the impediments encountered, the continuation of the actions required by the engagement” (Brault-Labbé & Dubé, 2008, p. 731, our translation). Studies conducted by Montague and Applegate (2000) suggested that task difficulty has a direct influence on middle school students’ persistence. They postulated that “some students “shut down” cognitively when they perceive problems as difficult or when information-processing demands seem excessive” (p. 225). Although little research has examined this concept in the context of compulsory schooling, on the basis of the above findings, we assume that learning all the heuristic strategies within the same problem-solving task, that is, as interactive, will raise more difficulties than learning them one at a time. Consequently, the “simultaneous” approach might undermine students’ persistence, where the “gradual-all together” approach may have no effect or even support students’ persistence. Nevertheless, no study has examined the effect on students’ persistence of specific cognitive teaching approaches to problem solving.

3. Research questions and hypotheses⁴⁷

This study investigates whether taking into account motivational and emotional dimensions leads to the same results as those observed in studies comparing the same two teaching methods but from a purely cognitive perspective. In other words, this study seeks to clarify the following question: “are the principles of cognitive load theory still valid when motivational and emotional dimensions come into play?”.

This general issue is dealt with through two research aims. The first aim seeks to clarify whether it is better for learning to handle the problem-solving process in its full complexity – the “simultaneous” approach – or to teach one heuristic strategy at the time - the “gradual-all together” approach. Studies undertaken within the framework of cognitive load theory have stressed that the “simultaneous” approach consumes much more of the student’s cognitive resources than the “gradual-all together” approach. Moreover, studies have also shown that complex tasks give rise to negative emotions. Therefore, we expected that the “gradual-all together” group would display a better understanding of the heuristic strategies

⁴⁷ Suite aux résultats obtenus et, plus spécifiquement, au constat d’une différence de tailles d’effet relativement substantielle entre le groupe des experts et celui des novices, nous avons mené des analyses complémentaires. Ces dernières se sont données pour objectif de comparer, d’une condition à l’autre (« simultanée » vs. « progressive »), l’évolution de chaque groupe d’élèves, l’un par rapport à l’autre. Ces analyses sont présentées en annexe 3.

taught, persist longer in the face of difficulties, feel fewer negative emotions, use appropriate emotion regulation strategies and perform better in problem solving than the “simultaneous” group and the control group (traditional approach⁴⁸).

The second aim examines whether it is appropriate to adopt a different teaching approach according to the learner’s level of expertise in problem solving.

- Consistent with cognitive load theory, we hypothesized that the “gradual-all together” approach would lead to better learning outcomes for “novice” problem-solvers as compared to the “simultaneous” approach and the traditional approach. More precisely, we expected “novices” in the “gradual-all together” group to benefit more from the training program than their peers in the “simultaneous” and control groups.

- With regard to “expert” problem-solvers, as tasks lacking sufficient challenge are a source of negative emotions (Pekrun, 2014; Pekrun et al., 2010), we supposed that the “simultaneous” approach would suit them better.

These hypotheses were tested through the implementation of a cognitive training program in mathematical problem-solving (section 4.2).

As mentioned in the introduction, this comparison fits into a larger project. By examining the role of the motivational and emotional aspects of the problem-solving process, this paper also seeks to integrate otherwise disconnected lines of inquiry and, thereby, to contribute to advancing existing knowledge in the learning research field. It seems crucial to better understand the processes at work during mathematical problem-solving tasks in order to provide practitioners with the most adaptive solutions.

4. Method

4.1 Participants

A sample of 267 upper elementary students took part in the first part of the present study. They came from seven French-speaking Belgian schools located in different cities and had different socio-economic backgrounds and levels of performance. The “gradual-all together” group was made up of 86 students (M age = 10.8; SD = 0.89), 48.8% of which were girls; the “simultaneous” group consisted of 79 students (M age = 10.5; SD = 0.66), of which 53.2% were girls. With respect to the control group, it was composed of 102 students (M age = 10.7; SD = 0.87), of which 45.1% were girls. For the second part of the present study, only students with a “novice” or “expert” problem-solver profile, defined on the basis of their problem-solving performance at Time 1 (pretest), were sampled. Students with an average score below 0.5 out of 1 were called “novice” problem-solvers whereas those with an average score above or equal to 0.8 out of 1 were labelled “expert” problem-solvers. This selection was consistent

⁴⁸ Teachers for the control group were selected on the basis of their traditional instructional practices for problem-solving consisting of brief individual reflection followed by collective correction carried out by the teacher.

with the teachers' assessments. In each group, 43 novice problem-solvers and 12 expert problem-solvers participated in this second study.

4.2 Training program

The two teaching approaches examined in the present study are based on a similar training program aiming at developing among students an expert and reflexive approach to problem solving.

With respect to the two teaching approaches tested, as described above, they differed in how the heuristic strategies were taught. The "gradual-all together" approach consisted in teaching one heuristic at a time. In each problem, between one and two heuristics were addressed. It was only when all the heuristic strategies had been examined individually that the learner had to implement, within the same problem, the full set of heuristics, that is, to address them as interactive. Conversely, in the "simultaneous" approach, the heuristic strategies were all taught in the first problem while solving it. Then, for each subsequent problem, the student had to apply the full set of strategies in a flexible way. During the same period, with a similar frequency, the students in the control group worked on the statement of the same problems. However, unlike the teachers of the "gradual-all together" and of the "simultaneous" groups, the teachers of the control group received no methodological instructions. The problems were therefore handled according to the teacher's usual instructional practices for problem solving.

The intervention extended over five weeks at the rate of two non-routine problems a week plus three weeks of pretest, post-test, and follow-up assessment (see Table 1). In addition, note that, for the sake of ecological validity, the training programs were implemented by the regular classroom teachers.

As outlined by Durlak and Dupre (2008), one cannot interpret the results of the implementation of a training program without first ensuring that it has been delivered as planned. Therefore, the fidelity of implementation of the training program was evaluated. First, a check-list that contained step-by-step instructions was provided for each lesson. As the teacher completed a step, he or she had to check it off. Examination of the checklists showed that teachers completed 95% of the steps as prescribed. Second, teachers were asked to keep a diary with their feelings, students' responsiveness, potential amendments, and any other piece of information considered to be relevant. On this point, while the teachers reported being convinced of the relevance of the training program, they also pointed out that it was too intense. This observation was seen in particular from the teachers of the "simultaneous" group, who reported: *"I think that what we did has had an impact, I mean I saw a change, changes in behavior, such as greater ease getting to work, greater autonomy, etc. But, we were very restricted in terms of time and thus I think that it did not leave them the time to digest the information because it was too fast, I think that it was the main problem. This must be done in the longer term"*. Third, the teachers received a half-day's training during which the components of the training program were outlined. A manual containing the description of the training program components and the lesson plans as well as detailed

examples of anticipated correct representations, procedures and solutions was given to each teacher. Finally, meetings were organized to exchange positive experiences and difficulties encountered as well as to take stock of the past lessons and to plan those to follow.

Table 1. Illustration of the research design

	« Gradual-all together » condition	« Simultaneous » condition	« Control » condition
W1	Pretest	Pretest	Pretest
W2	How to make a representation and an estimation?	Explicit teaching of the problem-solving process (part 1)	Problem 1
W2	Reinvestment in a new problem	Explicit teaching of the problem-solving process (part 2)	Problem 2
W3	How to use one's knowledge?	Explicit teaching of the problem-solving process (part 3)	Problem 3
W3	Reinvestment in a new problem	Explicit teaching of the problem-solving process (part 4)	Problem 4
W4	How to plan?	Reinvestment of the whole process in a new problem	Problem 5
W4	Reinvestment in a new problem + how to check the calculations and the procedure?	Reinvestment of the whole process in a new problem	Problem 6
W5	How to interpret and communicate?	Reinvestment of the whole process in a new problem	Problem 7
W5	Reinvestment of the whole process in a new problem	Reinvestment of the whole process in a new problem	Problem 8
W6	Reinvestment of the whole process in a new problem	Reinvestment of the whole process in a new problem	Problem 9
W6	Reinvestment of the whole process in a new problem	Reinvestment of the whole process in a new problem	Problem 10
W7	Post-test	Post-test	Post-test
W13	Retention test	Retention test	Retention test

Note. W1 = week 1; W2 = week 2, etc.

4.3 Measures

First of all, it is important to point out that the three groups completed all of the measures presented below on three occasions: prior to the intervention, immediately after it, and then six weeks later.

Problem-solving performance was assessed by means of a performance test made up of three non-routine problems. This test was designed on the basis of our expertise in mathematics teaching and on Fagnant and Demonty's (2005) textbook. The students' performance was appraised by a global score obtained by averaging their scores for the three items on a binary scale (0 = *wrong answer*, 1 = *right answer*). The test took on average 30 minutes to complete. It is noteworthy that for each measurement point, the same three mathematical structures were used to design the problem statements, and only the presentation of the problem was modified. In addition, students were asked to indicate all their reasoning and calculations on their sheet, not to erase anything, but to cross out if necessary.

Heuristic strategies were measured on the basis of students' written products. More precisely, we scrutinized their pre-test, post-test, and follow-up tests for traces of the

application of five⁴⁹ of the eight heuristic strategies taught, namely, building a representation, using one's knowledge, planning, checking the outcome and the procedure, and interpreting the outcome. A score for each heuristic strategy was computed according to a binary scale (0 = *missing*; 1 = *present*). Note that the presence of each heuristic strategy was measured and not the accuracy.

Persistence was appraised by means of an adapted and translated version of the "Attitude Toward Mathematics Survey" scale (Fredricks & McColskey, 2012), one of the few existing instruments offering a persistence scale that is isolated from behavioral engagement. The adapted version measures persistence in mathematical problem solving through 8 items (e.g. "When I have trouble understanding a math problem, I re-examine it until I understand it") rated on a 4-point Likert scale (1 = (*almost*) *never* to 4 = (*almost*) *always*). The internal consistency of the global score was satisfactory to good (pretest: $\alpha = .65$, post-test: $\alpha = .87$, follow-up test: $\alpha = .81$).

The *emotions* experienced by the students while solving a mathematical problem were evaluated through a questionnaire presenting facial expressions. These latter included positive emotions (enjoyment, pride, relief), and negative emotions (boredom, fear, anger, hopelessness, shame, worry, frustration, and nervousness) most frequently experienced by elementary and secondary students when dealing with problem-solving tasks (Op't Eynde et al., 2004; Pekrun, Goetz, & Frenzel, 2005). Students were asked to indicate to what extent they felt each emotion when solving a math problem using a 5-point Likert scale (1 = *never* to 5 = *always*). The internal consistency of the global score for positive emotions (pretest: $\alpha = .78$, post-test: $\alpha = .74$, follow-up test: $\alpha = .74$) as well as that of the global score for negative emotions (pretest: $\alpha = .82$, post-test: $\alpha = .82$, follow-up test: $\alpha = .87$) was good.

Emotion regulation strategies were appraised using the Children's Emotion Regulation Scale in Mathematics (CERS-M) designed and validated by Hanin et al. (2017). This questionnaire has shown good psychometric properties with Belgian upper elementary students. It consists of 14 items, rated on a 4-point

Likert scale (ranging from 1 = (*almost*) *never* to 4 = (*almost*) *always*) and targets six strategies used by 5th and 6th graders to regulate their emotions when solving math problems, namely, task utility self-persuasion (e.g. "Even if I do not like solving math problems, I tell myself that it is important to do so in order to be able to understand them and thereby to succeed"), help-seeking (e.g. "I ask the teacher to help me to solve the problem"), brief attentional relaxation (e.g. "I put down my pencil for a few seconds and stretch my arms"), emotion expression (e.g. "I tell my neighbor that the problem makes me angry, sad, hopeless, or bored"), negative self-talk (e.g. "I tell myself that it is terrible not being able to solve the problem and that I am sure that it only happens to me"), and dysfunctional avoidance (e.g. "In order not to experience an unpleasant moment, I tell myself that I will solve the problem

⁴⁹ We chose not to report the results pertaining to the estimation, execution of the calculations and communication strategies. First, students' estimations were very broad and vague, making the data unexploitable. Second, as shown in a previous study (Hanin, & Van Nieuwenhoven, 2016), the execution of calculations and the communication strategies are used relatively frequently by students even before any intervention. These strategies did not therefore discriminate well between the three conditions.

later”). The CERS-M subscales showed acceptable internal consistency for the three measurement times in the present sample with scale reliabilities ranging from .64 to .84.

4.4 Analysis

To achieve our two research goals, three procedures were carried out. First, mixed-model group (“gradual-all together” vs. “simultaneous” vs. control) x Time (Time 1 vs. Time 2 vs. Time 3) repeated measures analyses of variance (ANOVAs) were performed on each measure, with time as the within-subject factor and group as the between-subjects factor. This gave us a general overview of the variables for which the three groups were distinguishable. Second, these first results were refined by examining, for all of the variables under consideration, short-term changes (between Time 1 and Time 2), long-term changes (between Time 1 and Time 3) and post-intervention changes (between Time 2 and Time 3). Repeated measures ANOVAs⁵⁰ were therefore performed. Third, for each of the variables presenting a significant short-term, long-term or post-intervention development, paired *t*-tests were performed in order to characterize the development of each group. We used the Bonferroni correction for the *t*-tests in order to avoid a potential alpha error inflation (Field, 2013). We report here the corrected *p*-values. In addition, in order to have a more accurate understanding of the effects, we reported the effect sizes. The latter were computed on the basis of Cumming’s (2012) recommendations, that is, the calculation of Cohen’s *d* to which we applied a correction to remove the effect size’s bias. Cohen’s *d* was calculated using the standard formula: $d_{unb} = \left(1 - \frac{3}{4df-1}\right) \cdot d$ with $d = \frac{M_{pre} - M_{pos}}{\frac{s_{pre} + s_{pos}}{2}}$.

5. Results

5.1 Question 1 : In terms of learning, would it be better to teach non-routine problem-solving according to a “simultaneous” approach or to a “gradual-all-together” approach?

In order to check for any baseline differences at pretest between the three groups, a univariate ANOVA was performed for the variables under consideration. The three groups differed regarding only the emotion expression strategy (Annexe 3).

5.1.1 Overall effect of the problem-solving intervention

Significant Group x Time interactions were found in respect of persistence ($F(2, 264) = 4.244, p = .002, \text{partial } \eta^2 = .06$). With respect to heuristic strategies, findings revealed significant Group x Time interactions for three out of the five strategies measured, namely, building a representation of the problem ($F(2, 264) = 25.778, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .19$); using one’s knowledge ($F(2, 264) = 12.971, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .10$) and

⁵⁰ We ensured beforehand that the assumptions were met for using ANOVA. These assumptions are the independence of the observations, the homogeneity of variance, the normality of residuals and the sphericity of the variance-covariance matrices (Field, 2013).

planning ($F(2, 264) = 10.588, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .09$). Regarding the emotion regulation strategies, two of them presented a significant Group x Time interaction, namely, help-seeking ($F(2, 264) = 3.643, p = .006, \text{partial } \eta^2 = .04$) and negative self-talk ($F(2, 264) = 2.747, p = .028, \text{partial } \eta^2 = .03$). However, it is noteworthy that while the effect sizes of the heuristic strategies are moderate to large, they are quite small as regard to emotion regulation strategies.

5.1.2 Short-and long-term effects and change dynamics

With respect to **short-term changes (between Time 1 and Time 2)**, the three groups distinguished themselves on persistence; on three heuristic strategies, namely, building a representation of the problem, using one's knowledge and planning; and on two emotion regulation strategies, help-seeking (significant trend) and negative self-talk (Annexe 3).

A finer analysis showed that, contrary to our expectations, only the "simultaneous" group stood out regarding the persistence variable ($t(78) = -4.816, p < .001, d = .78$) by displaying a significant increase. However, this finding has to be put into perspective given the relatively small effect size. With respect to heuristic strategies, the three groups presented a significant increase in the use of the strategy building a representation of the problem. On this point, the "gradual-all together" group ($t(85) = -10.184, p < .001, d = .157$) and the "simultaneous" group ($t(78) = -13.711, p < .001, d = 2.09$) displayed larger effect sizes as compared to the control group ($t(101) = -3.494, p = .003, d = .42$). With regard to the planning strategy, both the "gradual-all together" group ($t(85) = -5.809, p < .001, d = .92$) and the "simultaneous" group ($t(78) = -6.538, p < .001, d = 1.02$) displayed a significant improvement. The same results were observed regarding the strategy "using one's knowledge", that is, a significant increase for both the "gradual-all together" group ($t(85) = -5.706, p < .001, d = .99$) and the "simultaneous" group ($t(78) = -7.633, p < .001, d = 1.21$). As far as emotion regulation strategies are concerned, it turned out that the "simultaneous" group resorted less frequently to the help-seeking strategy at Time 2 than at Time 1 ($t(78) = 3.155, p = .006, d = .40$). Furthermore, while a significant Group x Time interaction was found regarding the negative self-talk strategy, fine-grained *t*-tests analyses revealed that none of the three groups presented a significant development.

With regard to **long-term changes (between Time 1 and Time 3)**, four out of the six significant differences found at Time 2 compared with Time 1 were also significant at Time 3 (Annexe 3). Specifically, the same three heuristic strategies that were highlighted in short-term changes also presented a significant increase in Time 3. The same behavior was observed for the three strategies, that is, a significant increase for both the "gradual-all together" group (Building a representation of the problem: $t(85) = -7.671, p < .001, d = 1.08$; using one's knowledge: $t(85) = -5.023, p < .001, d = .81$; planning: $t(85) = -4.815, p < .001, d = .77$) and the "simultaneous" group (Building a representation of the problem: $t(78) = -12.972, p < .001, d = 1.88$; using one's knowledge: $t(85) = -6.189, p < .001, d = .98$; planning: $t(85) = -5.251, p < .001, d = .79$). Finally, with regard to emotion regulation strategies, results pointed out a significant decrease in the use of the help-seeking strategy by both the "gradual-

all together” group ($t(85) = 3.341, p = .003, d = .40$) and the “simultaneous” group ($t(78) = 5.440, p < .001, d = .69$). However, it is noteworthy that the effect sizes are rather small.

In order to capture solely what happened **after the intervention** and in doing so to distinguish clearly between short and long-term changes, the difference between Time 2 and Time 3 was investigated (Annexe 3). On this point, it appeared that the “gradual-all together” group made substantially less use of the heuristic strategy of building a representation ($t(85) = 3.428, p = .003, d = .38$). Nevertheless, effect sizes are very tenuous. Finally, a significant decrease in the use of the emotion expression strategy by the “gradual-all together” group must be noticed too ($t(85) = 2.621, p = .033, d = .25$).

5.1.3 Discussion

Our first research question investigated whether it is better for learning to teach the problem-solving process in its full complexity, that is, to teach all of the problem-solving heuristic strategies within the same problem-solving task (the “simultaneous” approach), or to teach one heuristic strategy at a time and only after that to implement them simultaneously within the same task (the “gradual-all together” approach).

Findings suggest that solving two non-routine mathematical problems weekly without specific methodological instructions is already effective, as reflected in the control group’s increased use between Time 1 and Time 2 of the ‘building a representation of the problem’ heuristic strategy. However, this change did not persist after the end of the training program (no significant difference between Time 1 and Time 3). In this respect, Hanin and Van Nieuwenhoven (2016) have shown that this heuristic is one of the few to be traditionally taught in math classrooms, which is confirmed by the descriptive statistics at Time 1 (annexe 3). Consequently, this strategy is not new for the students; they have already practiced it. On this point, scholars have shown that repeated practice and confrontation with the learning material promote knowledge and skills assimilation and internalization (Anderson, 1981; Piaget, 1978). Thus, when students become familiar with the representation heuristic strategy, which occurs faster thanks to previous practice, they may no longer feel the need to write their representation down and may prefer to do it mentally.

Teaching problem solving according to a “gradual-all together” approach appeared to be more effective at the cognitive, metacognitive and emotional levels than the traditional approach. At the cognitive level, results highlighted a short-term significant increase in the use of three heuristic strategies, namely, building a representation of the problem, using one’s knowledge, and planning. While the improvement in the two last strategies persisted over time, a decrease in the use of the ‘building a representation of the problem’ heuristic strategy was recorded between Time 2 and Time 3. This observation supports the familiarization-internalization assumption put forward earlier. In effect, through the training program proposed, not only did students have the opportunity to implement this strategy many times, they also received information about how to implement it, when it is the most convenient strategy, and what it is used for (the WWW & H rule; Veenman, Van Hout-Wolters, & Afflerbach, 2006). This method of instruction is known to promote students’ understanding

and familiarization with the learning material (Tzohar-Rozen & Kramarski, 2017; Veenman et al., 2006). As a result, we may wonder why the other two strategies, namely, using one's knowledge and planning, were not also internalized by the students. In this regard, let us mention that the 'building a representation of the problem' strategy is relevant for each problem. Therefore, students had implemented it on many occasions. Moreover, descriptive statistics at Time 1 (annexe 3) showed that of the three heuristic strategies, 'building a representation of the problem' was the only one that had really been exploited in the traditional classrooms before the beginning of the training program. Consequently, students had had more opportunities to practice it. Conversely, the planning strategy will not be invoked if the problem requires only one or two stage(s) to be solved. With respect to the 'using one's knowledge' strategy, as claimed by Fuchs et al. (2003), this will be fully used only at the point when the learner has encountered problems presenting different mathematical structures, has had the opportunity to identify these structures and has attempted these types of problems several times in order to build a typology of the problems' mathematical structures. At this stage, it is thus more the premises of the strategy that are observed. At the emotional level, the help-seeking strategy appeared to be used to a lesser extent in the long run by the students in the "gradual-all together" group. Such a finding would suggest that the "gradual-all together" approach, through appropriate tooling and scaffolding, fostered among students a more responsible and autonomous approach to problem solving, in other words, a self-regulated approach. In effect, in such an approach, students rely less on their teacher and peers (help-seeking strategy) (Allal, 2007). Nonetheless, contrary to our supposition, the "gradual-all together" approach did not enhance students' level of persistence.

The "simultaneous" approach to problem solving stood out as beneficial not only in terms of the cognitive and metacognitive aspects but also at the emotional and motivational levels. In effect, a short-term increase in the use of three heuristic strategies, namely, building a representation of the problem, using one's knowledge, and planning, as well as maintenance over time of the level reached were observed among the students of the "simultaneous" group. Thus, unlike their counterparts in both the control and the "gradual-all together" groups, the students in the "simultaneous" group seemed to still need to write down their representation of the problem at Time 3. This observation, although surprising at first sight, does not invalidate the familiarization-internalization hypothesis. As reported by the teachers, the intensity of the training program, especially in its "simultaneous" version, may not have given students the opportunity to assimilate and internalize entirely the heuristic strategies taught. In this respect, several scholars have pointed out that the duration, the intensity and the frequency of the intervention's activities impact the findings (Durlak, Weissberg, Dymnicki, Taylor, & Schellinger, 2011; Greenberg, Domitrovich, Graczyk, & Zins, 2005). In addition, the teaching approach itself may, in a complementary way, explain this observation. In the "simultaneous" approach, students' awareness was raised to deal with the various heuristic strategies in a coordinated way. More precisely, in this approach the representation strategy is viewed as a step determining all the others, that is, the step on which the subsequent heuristic strategies are built. Consequently, writing down one's representation may facilitate the continuation of the problem-solving process. In addition, a short-term

decrease in the use of the help-seeking strategy as well as a maintenance over time of this lower level were observed among the “simultaneous” group. Contrary to the “gradual-all together” group, for which the decrease appeared only at Time 3, in the “simultaneous” group, the same decrease was already observed at Time 2. So, contrary to our supposition, approaching the problem-solving process in its full complexity is more beneficial than a step-by-step approach. In other words, it is not enough to equip the learner adequately; the problem-solving approach must make sense for him/her. In this respect, not only did the “simultaneous” approach lead to faster changes in the development of self-regulated behaviors as compared to the “gradual-all together” approach, it was also associated with a short-term increase in persistence. This finding suggests that students are able to handle and to overcome the difficulties encountered, which in turn supports the hypothesis that the “simultaneous” approach contributes to the development of self-regulated behaviors.

It follows from this first investigation that the “simultaneous” approach stands out as the most promising one in that it impacts the cognitive, metacognitive, emotional and motivational dimensions of problem-solving learning. However, is the “simultaneous” approach to problem solving appropriate for all profiles of students?

5.2 Question 2: Is it appropriate to adopt a different teaching approach according to the learner’s level of expertise in problem solving ?

5.2.1 Overall effect of the problem-solving intervention on novices

Significant Group x Time interactions were found in respect of three heuristic strategies, namely, building a representation of the problem ($F(2,126) = 12.830, p < .001, \text{partial } \eta^2 = .18$), using one’s knowledge ($F(2,126) = 4.651, p = .001, \text{partial } \eta^2 = .07$), and planning ($F(2,126) = 5.054, p = .001, \text{partial } \eta^2 = .08$). Additionally, significant interactions were also found regarding two emotion regulation strategies, namely, help-seeking ($F(2,126) = 4.949, p = .001, \text{partial } \eta^2 = .09$) and negative self-talk ($F(2,126) = 3.484, p = .009, \text{partial } \eta^2 = .06$). Finally, the persistence dimension is also concerned by a significant interaction ($F(2,126) = 3.294, p = .013, \text{partial } \eta^2 = .09$).

5.2.2 Short-and long-term effects and change dynamics regarding novices

Regarding **short-term changes**, the three groups of novice problem-solvers differ in terms of three heuristic strategies (building a representation of the problem, using one’s knowledge, and planning). In addition, the three groups are also distinguishable on three emotion regulation strategies (that is, task utility self-persuasion, help-seeking, negative self-talk) as well as on persistence (Annexe 3).

In-depth analyses highlighted the same behaviors for the three heuristic strategies presenting a significant increase, that is, a substantial improvement, for both the “gradual-all

together” group (Building a representation of the problem: $t(42) = -6.525, p < .001, d = 1.36$; using one’s knowledge: $t(42) = -3.925, p < .001, d = .98$; planning: $t(42) = -4.702, p < .001, d = 1.17$) and the “simultaneous” group ($t(42) = -10.898, p < .001, d = 2.31$; $t(42) = -4.611, p < .001, d = .99$; $t(42) = -4.370, p < .001, d = .94$; respectively). As regards emotion regulation, a significant decrease in the use of the help-seeking strategy was recorded among the “simultaneous” group ($t(42) = 3.204, p = .009, d = .59$). Subsequently, and unexpectedly, the control group displayed a significant decrease in the use of the negative self-talk strategy ($t(42) = 2.727, p = .030, d = .44$). However, the magnitude of the effects regarding emotion regulation strategies is rather weak. In addition, note that if repeated measures analyses of variance have pointed out a significant interaction regarding the task utility self-persuasion strategy, a finer examination by means of t -tests showed that none of the three groups presented a significant development on this dimension. Finally, and contrary to our expectations, only the “simultaneous” group displayed a significant rise in persistence ($t(42) = -4.026, p = .003, d = .98$).

With regard to **long-term changes**, four out of the six significant differences found at Time 2 compared with Time 1 were also significant at Time 3 (Annexe 3). First, the two experimental groups displayed a significant improvement regarding the use of heuristic strategies. More precisely, both the “gradual-all together” group ($t(42) = -6.561, p < .001, d = 1.14$; $t(42) = -3.415, p = .003, d = .74$; $t(42) = -4.760, p < .001, d = 1.10$; respectively) and the “simultaneous” group ($t(42) = -8.545, p < .001, d = 1.70$; $t(42) = -4.128, p < .001, d = .86$; $t(42) = -3.553, p = .003, d = .71$; respectively) displayed a significant improvement in the use of three heuristic strategies, namely, building a representation of the problem, using one’s knowledge, and planning. In addition, regarding emotion regulation strategies, the “simultaneous” group used the help-seeking strategy much less ($t(42) = 5.509, p < .001, d = .88$).

With respect to what happened **after the intervention**, if repeated measures analyses of variance have put forward significant Group x Time interactions regarding persistence and the negative self-talk strategy, a finer examination via t -tests revealed that there were no significant differences between Time 2 and Time 3, for any of the three groups.

Regarding **expert** problem-solvers, there is no baseline difference between the three groups except for the emotion expression strategy (Annexe 3).

5.2.3 Overall effect of the problem-solving intervention regarding experts

Significant Group x Time interactions were found in respect of two heuristic strategies, i.e., building a representation of the problem ($F(33,2) = 5.072, p = .002, \text{partial } \eta^2 = .28$), and planning ($F(33,2) = 3.026, p = .026, \text{partial } \eta^2 = .19$). Note that interactions with a significant trend were observed for both the using one’s knowledge strategy ($F(33,2) = 2.533, p = .051^t, \text{partial } \eta^2 = .16$) and persistence ($F(33,2) = 2.841, p = .07^t, \text{partial } \eta^2 = .49$).

5.2.4 Short-and long-term effects and change dynamics regarding experts

As regards **short-term changes**, the three groups of expert problem-solvers differ on the same cognitive and motivational variables as the novice problem-solvers, that is, persistence, building a representation of the problem, using one's knowledge and planning (Annexe 3). However, unlike novices, the three groups of expert learners are not distinguishable on the emotional dimension.

Both the "gradual-all together" group ($t(11) = -10.757, p < .001, d = 3.96$) and the "simultaneous" group ($t(11) = -6.280, p < .001, d = 2.47$) displayed a significant improvement as regard to the heuristic strategy building a representation of the problem. The same findings were found regarding the using one's knowledge strategy ("Gradual-all together" group: $t(11) = -3.985, p = .009, d = 1.66$; "Simultaneous" group: $t(11) = -5.063, p < .001, d = 1.92$). With respect to the planning strategy, a substantial improvement was observed within the "simultaneous" group ($t(11) = -4.710, p = .001, d = 2.03$). In addition, a significant improvement in persistence was recorded among the "simultaneous" group ($t(11) = -4.977, p = .048, d = 1.84$).

With respect to **long-term changes**, the four significant differences found at Time 2 compared with Time 1 were still significant at Time 3 (Annexe 3). As regards the heuristic strategies, both the "gradual-all together" group and the "simultaneous" group used the same three strategies significantly more: building a representation of the problem ("Gradual-all together" group: $t(11) = -4.183, p = .006, d = 1.83$; "Simultaneous" group: $t(11) = -8.848, p < .001, d = 2.99$), using one's knowledge ("Gradual-all together" group: $t(11) = -3.40, p = .021, d = 1.35$; "Simultaneous" group: $t(11) = -3.644, p = .012, d = 1.38$) and planning ("Gradual-all together" group: $t(11) = -3.191, p = .027, d = 1.12$; "Simultaneous" group: $t(11) = -2.809, p = .048, d = 1.38$). Finally, a significant increase in persistence was observed among the "simultaneous" group ($t(11) = -4.314, p = .006, d = .74$).

5.2.5 Discussion

Our second research question examined whether it is productive for the teacher to adopt a different teaching approach ("gradual-all together" vs "simultaneous") according to the learner's level of expertise in non-routine problem solving.

Contrary to what we expected, our findings revealed that while the "gradual-all together" approach and the "simultaneous" approach are equally beneficial regarding the cognitive and metacognitive dimensions, the second approach is more effective with regard to the emotional and motivational aspects of problem-solving learning, regardless of the student's profile.

First, with respect to the cognitive dimension, novice and expert problem-solvers in both approaches displayed a significant increase and maintenance over time of the level reached for three heuristic strategies (building a representation of the problem, using one's

knowledge, and planning). However, only these three heuristic strategies showed this positive development. Several assumptions may be put forward to explain why the heuristic strategies of “checking the outcome(s) and the procedure” and “interpreting the outcome” did not experience greater impact by the intervention. With respect to the former, checking is both time-consuming and cognitive resource-consuming in that the student must repeat calculations (outcome checking) and read over his work (procedure checking). The “interpreting the outcome” heuristic strategy, according to the descriptive statistics, presented a steady but not significant increase between the three times of measurement. This slower growth may be partially explained by teachers’ beliefs. Nowadays it is widely acknowledged that teachers’ beliefs influence their teaching (Beswick, 2006; Van Der Sandt, 2007; Wilkins, 2008). In this respect, several scholars have shown that a substantial proportion of teachers, when confronted with non-routine problems for which a realistic answer is expected, display a strong tendency to exclude realistic considerations; in other words, they believe that realistic considerations have no place in math classrooms (Depaepe et al., 2010). On this basis, we hypothesize that if, before presentation of the problem-solving process to the teachers, we had carried out a critical analysis of their misconceptions, the heuristic strategy of “interpreting the outcome” would have been used significantly more by their students. However, the positive growth in the use of this heuristic strategy within the three groups suggests that the nature of the problems proposed (requiring students to make sense of the outcome), had already brought about a change, although a slower one than if the problems had been preceded by an analysis. In a complementary way, these two strategies of checking and interpreting are located at the end of the problem-solving process. In this respect, teachers of both the “simultaneous” and the “gradual-all together” groups reported that the training program schedule was very intense, leaving little time for students to master each of the heuristic strategies. Consequently, it is possible that the last heuristic strategies were less developed.

Second, as for emotion regulation strategies, only novice learners experienced significant changes. On this point, it appeared that novices in the “simultaneous” group made less use of the help-seeking strategy. This finding suggests that, as previously mentioned, the “simultaneous” approach supports the development of more autonomous management of the problem-solving process. Moreover, a short-term significant decrease in the use of the “negative self-talk” strategy was observed among the novices in the control group. However, this decrease did not last over time. If this observation may sound a little surprising at first sight, as previously mentioned, scholars have shown that the repeated practice of an activity or of a set of knowledge improves the learner’ skills and performance (Anderson, 1981; Fayol, 2006) and, as a result, diminishes anxiety and emotional internalization behaviors (Hampel, Meier, & Kümmel, 2008; Kanfer, Ackerman, & Heggestad, 1996). Thus, the simple weekly processing of two mathematical problems seems enough to reduce significantly the internalization of negative emotions. In our view, the intensity of both the “simultaneous” and the “gradual-all together” approaches may explain why such a decrease was not significant for these two approaches. Further, we hypothesize that the short duration of the intervention accounts for the non-maintenance over time of the decrease in “negative self-talk” observed within the control group.

Third, concerning the motivational dimension, a short-term significant increase in persistence was observed among both novice and expert “simultaneous” learners. Although this improvement faded after the end of the training program for the former, it persisted over time for the latter. This finding may be explained by both the intensity and the short duration of the training program. More vulnerable students, such as novice problem-solvers, may not have had sufficient time to deeply assimilate the heuristic strategies taught. Consequently, at the end of the training program, they may not have felt better equipped to solve mathematical problems and their persistence fell back to its baseline level. Additionally, the lack of challenge or, at least, the low level of challenge involved in the “gradual-all together” approach may account for the stability of the persistence level observed among both novice and expert problem-solvers experiencing this approach. In this connection, a study conducted among seventh grade students underscored a positive and quite strong relationship between persistence in problem-solving tasks and a taste for challenging tasks (Malmivuori, 2006). Similarly, Wolters and Rosenthal (2000) showed that enhancing eighth grade students’ interest in working on a task by making it more challenging or meaningful increased their persistence for the task.

In short, consistent with the work done on mathematics instruction, it is clear that a training program that approaches problem solving in its full complexity, and thereby puts the focus on an understanding of the process, is cognitively, metacognitively, motivationally and emotionally more fruitful for both the novice and the expert problem-solver than the “gradual-all together” approach.

6. General discussion and conclusion

For decades, problem solving has constituted a real stumbling block both for students and for teachers who report having difficulty helping their students with this type of task (Fagnant, Dupont, & Demonty, 2016). While many scholars have developed training programs that aim to develop an expert and reflexive approach to problem solving among elementary and secondary students, they have recommended different teaching approaches without identifying the most effective one (Blum, 2011; De Corte et al., 2004; Fagnant & Demonty, 2005; Tzohar-Rozen & Kramarski, 2017). Yet, in order to improve the teaching of non-routine problem solving and so improve students’ problem-solving learning and performance, it is important to compare the effectiveness of these various approaches. The present paper contributes to advancing the existing knowledge about problem-solving instruction by examining whether it is more fruitful to teach the problem-solving process in all its complexity (the “simultaneous” approach) or one heuristic strategy at a time (the “gradual-all together” approach).

First, our findings highlight that, while both learning approaches support the acquisition of cognitive strategies over the short- and the long-term, if student motivation and a positive emotional rapport with problem-solving tasks are taken into account, the “simultaneous” approach, and thus, the maintenance of complexity, is more beneficial, for both novice and expert students. In this sense, our results support the work done in mathematics instruction

that stresses the importance of proposing realistic, meaningful, challenging and complex problem-solving tasks. As these findings contradict current classroom practices, they are of particular importance. On this point, research has shown that in order to facilitate task completion for their students, teachers reduce complex tasks to micro-tasks, especially for students with a “novice” profile (Demonty & Fagnant, 2014; Depaepe et al., 2010). These micro-tasks require students to apply procedures that are meaningless for the task requested. For example, the task of making a representation of a problem does not make sense per se, unless the student then goes on to solve the problem afterward. So, this study draws attention to the fact that the difficulties experienced by students in problem solving have more to do with the inadequacy of the tasks proposed to prepare them for managing complexity than with the management of the complexity itself. Concretely, it emphasized that, for a novice to become proficient at solving complex tasks, such as mathematical problems, requires repeated confrontation with such tasks. In this respect, Ericsson’s theory of deliberate practice (Ericsson, 2008; Ericsson, Krampe, & Tesch-Römer, 1993) has shown, through several empirical studies, that considerable practice, in the sense of the number of hours devoted to the practice of the competence that one wishes to acquire, is a prerequisite for the automation of such competence. A practical spin-off would be to increase the practice of solving complex tasks in classes. A second contribution of our study to advancing existing knowledge regards heuristic strategies. It follows from our results that the strategies taught are not acquired at the same pace by the learner. Some strategies, less familiar, based on inadequate belief or requiring more cognitive resources, take longer to be integrated. This information is critical for designing more effective training programs, as each strategy occupies a specific and central place in the problem-solving process. A study conducted with students of the same age emphasized that to increase more rapidly students’ use of the “checking” and the “interpreting” strategies, it is necessary to add emotional and motivational support to the cognitive and metacognitive intervention (Hanin, & Van Nieuwenhoven, 2018b). This observation is in line with self-regulated learning theories, which postulate that motivational beliefs and emotions play a key role not only in initiating the learning process but also in sustaining the learner’s efforts throughout the process (Boekaerts, 2011; Zimmerman, 2011). A third contribution pertains to the emotional aspects of problem-solving tasks. Our findings reveal that differences regarding emotional variables between the three groups are quite limited. This study highlights that nurturing one aspect of self-regulation (in the present case, the cognitive one) has little effect on the other ones (here the emotional aspect). So, it would seem that to induce emotional regulation among learners, it is necessary to explicitly teach emotional knowledge and skills. This echoes and supports a recent exploratory study conducted among fifth graders by Tzohar-Rozen and Kramarski (2017). In this way, the present study adds nuance to the empirical studies conducted so far, which have shown that learners who receive metacognitive support for problem-solving tasks display greater general motivation as well (Hoffman, 2010; Kramarski & Gutman, 2006). This means, from a conceptual point of view, that if the processes involved in the regulation of cognition share common points with those involved in the regulation of motivation, they are distinct from those entangled in the regulation of emotions. This observation makes it possible to refine and add nuance to current literature on the subject. Fourth and last, we used

an original method that consists in establishing a dialogue between two research fields that deal with similar issues but that are not usually involved in an interdisciplinary context with the purpose of advancing existing knowledge about problem solving and allowing new empirical insights. Priolet (2014) talked about an “integrative theoretical framework” to designate “the mobilization of works related to mathematics instruction and to both the psychology of learning and of development” (p. 60, our translation). More precisely, in addition to being based on an instructional analysis, our findings underline the necessity of presenting to students teaching-learning situations that take into account their cognitive, emotional and motivational functioning and the contextual features in which the learning takes place in order to be truly functional (Maury, 2001; Priolet, 2014). The present study confirms that we cannot offer students a training program that has “just” been thought of “mathematically”. So, not only does adopting such an integrative perspective allow for better understanding of the processes at work during mathematical problem-solving tasks and thereby for drawing firmer conclusions for practical guidance, but it is also essential for understanding problem-solving competence in all its complexity.

In addition, this study draws attention not only to the importance of providing learning activities that make sense to the learner but also to the difference between “the learner’s academic fulfillment” and “the learner’s academic performance”. In other words, our findings suggest that developing students’ heuristic strategies, emotion regulation strategies and motivation, on the one hand, and increasing his/her performance on the other, are not always compatible processes. The weight placed by our politicians on both national and international tests is a good reflection of current concerns. However, the perennial low success rates, mentioned in the introduction, suggest that this may not be a very productive avenue. Maybe it is time to ask whether schools should be more concerned about educating “achievers” or long-term, engaged learners.

While the present study yields promising results for both the educational and research perspectives, several limitations that call for further investigations must be noted. First, several changes did not persist, took place quite slowly or were fairly weak. This suggests the need for a training program that is less intense (where the lessons are more spaced out in time), of longer duration (where the learner has more opportunities to implement what he/she has learned in new problem situations) and that directly addresses the emotional dimension (by including lessons on emotions and emotion regulation strategies). Such a training program might lead to better uptake of all the heuristic strategies taught, to better emotional regulation, and consequently to better performance. Second, as this is, to our knowledge, the first study to investigate these questions at the level of compulsory education, it would be interesting to replicate it with other samples in order to strengthen the stability of the present findings, especially as it partially questions the assumptions of cognitive load theory. Third, as previously mentioned, the study would benefit from a more fine-grained measure of the heuristic strategies. On this point, in order to have a better understanding of the link between the heuristic strategies and the performance score, adding a measure of the accuracy of the implementation of each heuristic strategy would be enlightening. Fourth, in the present study expert and novice solvers were assigned in terms of high and low performance, as is the case

in many studies of novice and expert learners (Bassok 2003; Brand et al., 2003; Muir et al., 2008). However, defining expertise in problem solving exclusively in terms of performance is restrictive. Consequently, it would be interesting in future studies to more thoroughly conceptualize these two learner profiles. Fifth and last, it is noteworthy that the results regarding the expert problem-solvers depend on the sample size. This was rather small, which makes it necessary to replicate the present study with a bigger sample of expert problem-solvers.

Chapitre 10

Developing an expert and reflexive approach to problem solving

The place of emotional knowledge and skills⁵¹

Nowadays it is widely accepted that mathematics and, especially, problem-solving tasks, are particularly concerned by the issue of emotions. Yet, educational interventions designed to improve students' problem-solving competence and performance still mainly focus on cognitive and metacognitive knowledge and skills. The main purpose of this study was to design and assess the benefit of a training program that promotes the development of not only cognitive but also emotional knowledge and skills. This benefit was assessed using four variables, namely, problem-solving performance, problem-solving competence, academic emotions and emotion regulation strategies. 428 fifth and sixth graders took part in the study, split into four conditions: (1) a "cognition" condition which received an intervention on an eight steps problem-solving process (2) an "emotion" condition in which emotional knowledge and skills were developed through various activities; (3) an "emotion and cognition" condition overlapping the two previous ones, and (4) a "control" condition. The findings showed that the "emotion and cognition" condition and the "cognition" condition had equivalent cognitive efficiency. However, only the former reduced negative emotions, aroused the emergence of positive ones, promoted the use of adaptive emotion regulation strategies and discouraged the use of maladaptive ones. The practical implications for educational practices and possible avenues for further research are discussed.

Hanin, V. & Van Nieuwenhoven, C. (2018a). Developing an expert and reflexive approach to problem solving: the place of emotional knowledge and skills. *Psychology*, 9(2), 280-309.

⁵¹ A deux endroits de l'article des précisions relatives au concept de « flexibilité » ont été apportées, sous la forme de notes de bas de page, par rapport à la version publiée.

Developing an expert and reflexive approach to problem solving

The place of emotional knowledge and skills

1. Introduction

Students' poor grades in mathematical problem-solving have preoccupied researchers for several decades now (Blum, 2011; De Corte & Verschaffel, 2008; Demonty & Fagnant, 2014; Hanin & Van Nieuwenhoven, 2016b; Mevarech & Kramarski, 1997; Polya, 1957; Schoenfeld, 1992; Verschaffel, De Corte, Lasure, Van Vaerenbergh, Bogaerts & Ratincx, 1999). So far, the focus has been on the development of cognitive and metacognitive strategies to overcome the difficulties observed. The accumulating evidence, collected during the last decade, of the profound effects exerted by emotions on students' learning behaviors and academic emotions have changed the perspective of educational psychologists. Emotions influence students' attention, choice of learning strategies, source of regulation (external vs. internal), motivation to learn and their interactions with peers and teachers (Pekrun, 2014; Schutz & Pekrun, 2007). Studies have shown that mathematics and, especially, problem-solving tasks, are particularly concerned by the issue of emotions (Ahmed, van der Werf, Kuyper, & Minnaert, 2013; Kim & Hodges, 2012; Op't Eynde, De Corte & Mercken, 2004). These findings have led to a reconceptualization of what expertise in mathematical problem solving requires. This is no longer limited to the mastery of cognitive and self-regulative knowledge and skills but also includes emotional components (De Corte & Verschaffel, 2008). However, just as the acquisition of cognitive and self-regulative skills does not occur spontaneously or automatically, the individual is not naturally endowed with emotional knowledge and skills. These latter need to be fostered and taught at school (Goetz, Frenzel, Pekrun, & Hall, 2005; Kim & Hodges, 2012). Since emotions are domain specific (Goetz, Frenzel, Pekrun, Hall, & Lüdtke, 2007; Goetz, Pekrun, Hall, & Haag, 2006), this apprenticeship has to be disciplinarily situated as well.

An overview of the available literature on this topic highlights the existence of two kinds of training-programs. On the one hand, programs that aim to develop an expertise in mathematical problem solving through the development of cognitive and self-regulative strategies (Blum, 2011 ; De Corte, Verschaffel & Masui, 2004 ; Mevarech & Amrany 2008 ; Perels, Gürtler & Schmitz, 2005) and, on the other hand, social and emotional learning (SEL) programs that aim to prevent risks and promote positive development among young people through the development of cognitive, affective, communication and behavioral competences (Payton, Wardlaw, Graczyk, Bloodworth, Tompsett & Weissberg, 2000). Yet, to our knowledge, no attempt has been made so far to integrate both dimensions within the same training-program. Moreover, studies that have looked at the first kind of training-programs have measured problem-solving improvement through students' use of the problem-solving

strategies taught, and through their performance. Yet, scholars (Elia, van den Heuvel-Panhuizen & Kolovou, 2009; Kaizer & Shore, 1995) have shown that being competent in problem solving requires not only knowing and applying various strategies correctly, but also being flexible, namely, being able to select the strategies to use depending on the problem given⁵². The present contribution attempts to palliate these limitations. Our first goal consists in designing and assessing a training-program that promotes the development of an expert and reflexive approach to mathematical problem-solving through the development of cognitive, emotional and regulative knowledge and skills among upper elementary students. Our second goal is to propose a more complete measure of problem-solving competence by taking into account not only the correctness of the use of strategies but also strategy flexibility.

2. Theoretical background

2.1 Cognitive dimension of problem-solving competence

Nowadays, scholars acknowledge that the development of an expertise in mathematical problem solving requires the reconceptualization of mathematical problems as exercises in mathematical modeling; that is, the consideration of a problem's statement as the description of a situation in everyday life that can be modeled mathematically (Blum & Niss, 1991; Verschaffel, Greer, & De Corte, 2000). Mathematical modeling is viewed as a complex and cyclic process involving a number of phases (Blum & Niss, 1991; Fagnant et al., 2003; Verschaffel et al., 2000). In a previous study (Hanin & Van Nieuwenhoven, 2016b), we gave an account of the main processes used to solve non-routine word problems⁵³ as well as recommendations resulting from empirical studies (Fuchs, Fuchs, Prentice, Burch, Hamlett, et al., 2003; Fagnant & Demonty, 2005) within an integrative eight-step cycle (Figure 1, for a complete description see Hanin & Van Nieuwenhoven, 2016b). In addition, the majority of the steps constituting this solution process are heuristic strategies, namely, « search strategies for problem analysis and transformation which do not guarantee, but significantly increase the probability of finding the correct solution of a problem because they induce a systematic approach to the task » (De Corte et al., 2004, p.372). However, as noted above, being competent in problem solving is not limited to the use of heuristic strategies, but requires using them correctly, flexibly and thoughtfully, that is to say, self-regulating one's problem-solving approach (De Corte & Verschaffel, 2008; Focant & Grégoire, 2008). In the present study, we focused on what Elia et al. (2009) called inter-task strategy flexibility, defined as the student's ability to select and adjust his or her strategies to the demands of the problem-

⁵² Il ne s'agit ici que d'une partie de la composante flexibilité. Effectivement, la flexibilité désigne à la fois les ajustements de stratégies opérés au cours de la résolution (flexibilité intra-tâche) et l'adaptation de(s) stratégie(s) utilisée(s) en fonction du problème (flexibilité inter-tâches). Dans la présente étude nous nous sommes penchée sur la flexibilité inter-tâches.

⁵³ In this study, we use the terms "non-routine word problem" and "problem" interchangeably, in the sense of Elia et al. (2009), to refer to word problems whose solution does not appear immediately and whose resolution is not based on the application of the procedure that has just been seen in class.

solving task. For instance, planning the steps of a problem that contains only two steps is an example of non-flexibility. Thoughtful use means the awareness, control and regulation of one's cognitive activities (Focant & Grégoire, 2008). So far, empirical studies have shown that cognitive and self-regulative interventions in mathematical problem-solving increase the use of heuristic strategies, support the development of a global self-regulative approach and improve performance (Blum & Leiß, 2007; De Corte, Verschaffel & Masui, 2004 ; Mevarech & Amrany 2008 ; Perels, Gürtler & Schmitz, 2005).

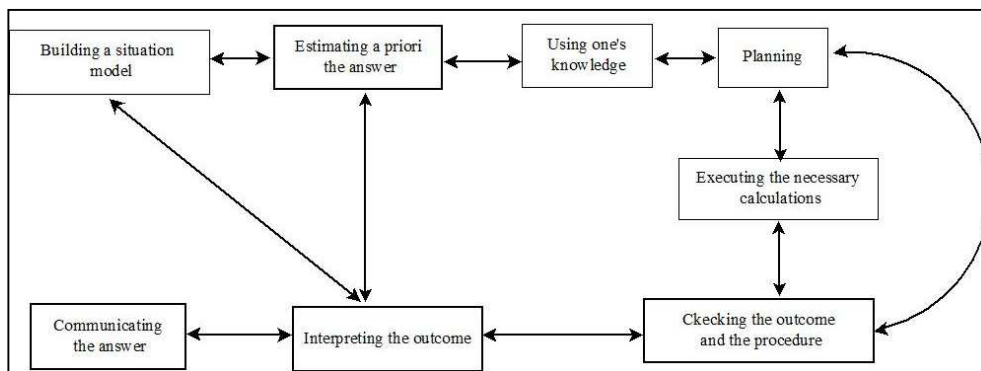


Figure 1. Schematic diagram of non-routine word problem-solving process

Supporting the development of an accurate, flexible and thoughtful use of heuristic strategies appears positively and strongly related to problem-solving performance (Baroody, 2003; Elia et al., 2009; Schoenfeld, 1992; Torbeyns, De Smedt, Stassens, Ghesquière & Verschaffel, 2009). People who develop such strategic behavior can modify their behavior according to changing situations and conditions, develop more refined strategies and procedures that are better adjusted to the special features of the situation and generate more creative and appropriate solutions to problems.

2.2 Emotional dimension of problem-solving competence

Academic emotions are emotions that pertain to learning, instruction and achievement in academic settings (Pekrun, 2006, 2014). On the whole, positive emotions have a beneficial effect on the student's attention, motivation to learn, choice of learning strategies, self-regulation of learning, academic performance and also on his/her psychological and physical health. Conversely, and globally, negative emotions have a deleterious effect on these dimensions (Ahmed, van der Werf, Kuyper & Minnaert, 2013; Peixoto, Sanches, Mata & Monteiro, 2017; Pekrun, 2006, 2014). Yet, empirical studies reported that students experienced mostly negative emotions during problem-solving tasks (Op't Eynde, De Corte & Mercken, 2004). So, just as it is of major importance for students to be aware of and control their cognitive activities, it is crucial that they do the same with their emotions. On this point, scholars agreed that students need to develop knowledge and skills related to emotions (Goetz et al., 2005; Mikolajczak, Quoidbach, Kotsou & Nelis, 2009; Pekrun, 2014). They agreed on

five core competencies, namely, emotion identification, emotion understanding, emotion expression, emotion regulation, and emotion utilization (Mikolajczak et al., 2009). The training-program designed in the context of this study aims to develop the first four competencies. Emotion identification consists in awareness and identification of one's own emotions (Mikolajczak et al., 2009). This presupposes openness to both positive and negative emotions and a sufficient emotional vocabulary. Emotion expression implies taking into account what is to be expressed, the interlocutor to whom emotional information is addressed, and the way information is expressed in order to do it in a socially acceptable way (Rimé, 2005). Emotion understanding pertains to the understanding of the causes of one's emotions. It is a question of identifying the unsatisfied or threatened needs underlying the emotions felt. Finally, emotion regulation consists in influencing which emotions we feel, when we feel them, and how we experience and express them (Gross, 1998). Both positive and negative emotions may be down- or up-regulated. In the current study, we focused on the down-regulation of negative emotions through six strategies used by upper-elementary students to regulate their negative emotions during problem-solving tasks: task utility self-persuasion, help-seeking, brief attentional relaxation, emotion expression, negative self-talk and dysfunctional avoidance (Hanin, Grégoire, Mikolajczak, Fantini-Hauwel & Van Nieuwenhoven, 2017).

3. The present study

In the current study, we sought to contribute to the growing knowledge base of the key cognitive and emotional ingredients of training-programs that aim to develop an expert and reflexive approach to problem solving. We designed and developed a training program⁵⁴ that aims to develop cognitive, regulative and emotional knowledge and skills, and assessed its effects on upper elementary students' academic emotions, emotion regulation strategies, problem-solving competence and problem-solving performance. More precisely, four conditions were contrasted (Figure 2). First, a "cognitive" condition where the problem-solving process presented above, embedded in an overall self-regulated approach, is taught according to the methodology suggested by Veenman, Van Hout-Wolters and Afflerbach (2006). This methodology consists, for each strategy, in specifying the "what" (what it consists of), the "why" (its usefulness), the "when" (the most relevant moment in the problem-solving process to implement it), and the "how" (the way to implement it correctly). Next, an "emotion" condition where a wide range of activities (video-clips, analyses of mini-case studies, drawing, Chinese portrait, short lectures, facial expressions analyses, group tasks and discussions, role play) are presented to question the learner's emotional relationship to problem-solving tasks and to develop his/her emotion knowledge and competencies. Then an "emotion and cognition" condition which overlaps the two previous conditions. Finally, a control condition which received no specific training program but solved the same problems, at the same rate. In addition, both the "emotion" and the control conditions performed, on a weekly basis, additional mathematics activities in order to spend as much time in mathematics as the two other conditions. Thereby, we controlled for the "time of task"

⁵⁴ Les énoncés des problèmes sont repris en annexe 5.

variable. For a question of ecological validity, the four conditions were carried out by regular teachers who had previously received two days' training from the first author.

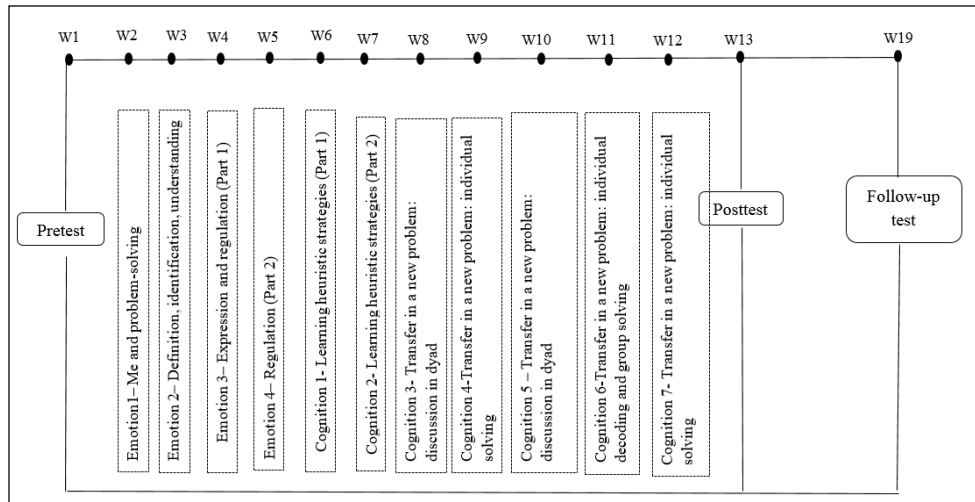


Figure 2. Schematization of the experimental design

Note. w1= week 1; w2 = week 2, etc.

On the basis of the literature presented above, we formulated the following hypothesis:

- The “emotion and cognition” condition will surpass the three other conditions regarding all the dependent variables (hypothesis 1);
- The “cognition” condition will surpass both the “emotion” and the “control” conditions on the cognitive dimensions (i.e., problem-solving competence and performance) (hypothesis 2);
- The “emotion” condition will surpass the “cognition” and the “control” conditions on the emotional dimensions (i.e., academic emotions and emotion regulation strategies) (hypothesis 3);
- The “emotion” condition will surpass the “control” condition in terms of problem-solving performance (hypothesis 4).

4. Method

4.1 Participants

428 upper elementary students⁵⁵ from nine French-speaking Belgian schools took part in the present study. We took care to make the four conditions as comparable as possible both regarding the schools' characteristics (i.e., geographical localization and socioeconomic level) and the teachers' characteristics (gender and years teaching) (Table 1). The “control” condition was made up of 148 students (M age = 10.7; SD = .63), 54.7% were girls; the “cognition” condition consisted of 131 students (M age = 10.1; SD = .36), of which 51.9%

⁵⁵ Those who were absent for one or more pretest, post-test or retention test were removed from the sample. They represent 15% of the sample.

were girls. The “emotion” condition was composed of 41 students (M age = 11; SD = .53), of which 58.5% were girls. Finally, the “emotion and cognition” condition comprised 108 students (M age = 10.8; SD = .59), of which 49.1% were girls. Participants provided data on three occasions: prior (Time 1), immediately after (Time 2) and six weeks after the training-program (Time 3).

Table 1. Characteristics of the sample constituting each condition

		Geographical localization	Socio- economic index	Teacher's gender	Teacher's years teaching (years)	Condition
School 1	Class 1	Brabant Wallon	19	F	8-15	Cognition
	Class 2	Brabant Wallon	19	F	16-25	Cognition
	Class 3	Brabant Wallon	19	F	16-25	Cognition
School 2	Class 1	Brabant wallon	20	F	8-15	Emotion and cognition
School 3	Class 1	Namur	9	F	16-25	Cognition
	Class 2	Namur	9	F	4-7	Cognition
	Class 3	Namur	9	M	16-25	Control
School 4	Class 1	Namur	19	F	16-25	Control
	Class 2	Namur	19	F	8-15	Control
	Class 3	Namur	19	F	16-25	Control
School 5	Class 1	Brussels	9	F	16-25	Emotion and cognition
	Class 2	Brussels	9	F	0-1	control
School 6	Class 1	Brussels	8	F	4-7	Emotion and cognition
	Class 2	Brussels	8	F	4-7	Emotion and cognition
	Class 3	Brussels	8	M	16-25	Emotion and cognition
	Class 4	Brussels	8	F	2-3	Control
School 7	Class 1	Brussels	8	F	16-25	Emotions
	Class 2	Brussels	8	F	8-15	Emotions
School 8	Class 1	Brussels	3	F	8-15	Cognition
School 9	Class 1	Brussels	1	F	8-15	Control

4.2 Measures

Problem-solving performance was assessed by means of a performance test made up of four non-routine word problems⁵⁶. This test was designed on the basis of the expertise of the first author and on Fagnant and Demonty's (2005) textbook. In selecting these problems, our main concern was to respect the three characteristics of openness, realism, and complexity, recommended by Verschaffel and his colleagues (2000) to develop, among students, an expert and reflexive approach to problem solving. Students' performance was appraised by a global score obtained by summing up the correct answers on a binary scale (0 = *wrong answer*, 1 = *right answer*). Interscorer agreement, computed on 40% of protocols, by two independent blind scorers, was 0.95. The test took on average 45 minutes to complete. It is noteworthy that for each measurement time, it was the same four mathematical structures

⁵⁶ Les énoncés des problèmes sont repris en annexe 5.

that were used to design the problems' statements, and only the "dressed-up" of the problems was modified.

Problem-solving competence was assessed through three indicators, namely, "strategy use", "correct strategy use" and "strategy flexibility". The heuristic strategies were measured on the basis of students' written productions. Regarding "strategy use", we scrutinized students' pretest, post-test, and retention test for traces of the application of five⁵⁷ out of the seven heuristic strategies taught, namely; building a situation model, using one's knowledge (i.e., searching for connections with familiar problem structures in order to identify the structure of the problem, and identifying the mathematical tool to be used to solve this type of problem), verifying the outcome and the procedure, interpreting the outcome and communicating the solution. Then, we computed a presence score for each heuristic strategy according to a binary scale (0 = *missing*; 1 = *present*). As for "correct strategy use", a ratio between the number of correct implementations and the total number of implementations was calculated for each heuristic. As regards "inter-task strategy flexibility", a ratio between the number of students who used the heuristic and the total number of students was computed. As a flexible use of heuristics requires to be familiar with heuristics, only the post-test and the retention test problems were analyzed, and that only for the "cognition" and the "emotion and cognition" conditions. The scoring of the use of heuristics and of their correct use had a high interrater reliability ($k = 0.89$).

Academic emotions experienced by students while solving non-routine mathematical problems were evaluated through a questionnaire presenting facial expressions. These included positive emotions (enjoyment, pride, relief), and negative emotions (boredom, fear, anger, hopelessness, shame, worry, frustration, and nervousness) most frequently experienced by elementary students when dealing with problem-solving tasks (D'Mello & Graesser, 2011; Frenzel, Pekrun & Goetz, 2007; Prawat & Anderson, 1994). Students were asked to indicate to what extent they felt each emotion when solving a math problem using a 5-point Likert scale (1 = *never* to 5 = *always*).

Emotion regulation strategies were appraised using the Children's Emotion Regulation Scale in Mathematics (CERS-M) (Hanin et al., 2017). This questionnaire consists of 14 items, rated on a 4 point Likert scale (ranging from 1= (*almost*)*never* to 4 = (*almost*) *always*) and targets six strategies used by 5th and 6th graders to regulate their emotions when solving mathematical problems (see Table 2).

⁵⁷ We chose not to report the results pertaining to the estimation and planning strategies. First, students' estimations were very broad and vague making the data unexploitable. Second, the planning strategy is not relevant given that the problems of the problem-solving tests require a maximum of two steps to be solved. "Executing the necessary calculations" is more a step than a heuristic strategy.

Table 2. Description of the emotion regulation strategies' scale

Scale name	Item number	Cronbach α	Sample item
Help-seeking	2	.74	"I ask the teacher to help me to solve the problem"
Brief attentional relaxation	3	.60	"I put down my pen a few seconds and stretch my arms"
Task-utility self-persuasion	2	.70	"Even if I do not like solving math problems, I tell myself that it is important to do so in order to be able to understand them and thereby to succeed"
Emotion expression	2	.65	"I tell my neighbor that the problem makes me angry, sad, hopeless, or bored"
Negative self-talk	3	.77	"I tell myself that it is terrible not being able to solve the problem and that I am sure that it only happens to me"
Dysfunctional avoidance	2	.66	"In order not to experience an unpleasant moment, I tell myself that I will solve the problem later"

Classroom social climate, one of the control variables, was assessed using a French version of the questionnaire designed by Patrick, Kaplan and Ryan (2007) for use with upper elementary students. Students responded to 27 items assessing their perception of teacher emotional and academic support, their peers' emotional and academic support, the promotion of mutual respect and the promotion of interaction (see Table 3). Responses ranged from 1 (*false*) to 4 (*true*). Due to poor internal consistency, the student academic support scale and the promotion of mutual respect scale were removed from the subsequent analysis.

Table 3. Description of the classroom social climate scale

Scale name	Item number	Cronbach α	Sample item
Teacher emotional support	5	.72	"My teacher really understand how I feel about things"
Teacher academic support	5	.63	"My teacher cares about how much I learn"
Student emotional support	6	.77	"In my class, other students are nice to me"
Student academic support	2	.47	"In my class, other students want me to do well in school"
Promotion of mutual respect	5	.50	"My teacher does not allow students to make fun of other students' ideas in class"
Promotion of interaction	4	.66	"My teacher often allows us to discuss our work withclassmates"

4.3 Fidelity of implementation

As outlined by Durlak and Dupre (2008), one cannot interpret the results of the implementation of a training-program without first ensuring that it has been delivered as planned. To monitor the program's fidelity of implementation, several tools were used. First, a check-list containing the prescribed instructions (activities, methodology and duration) was filled-in by each teacher at the end of each lesson. Examination of the checklists showed that teachers completed 95% of the steps as prescribed. Second, teachers were asked to keep a diary with their feelings, students' responsiveness, potential amendments, and any other item of information considered relevant. Third, at the end of their two-day training, teachers received a manual containing a full and detailed description of the training-program attributed

to them, that is, a number of theoretical aspects, a scenario of each lesson (goals, working methods, teacher's and student's activities, equipment and duration) and a detailed answer to each problem based on the heuristic strategies taught and highlighting the diversity of possible paths. Fourth, the researcher and the teachers met weekly to exchange views about positive experiences and difficulties encountered as well as to take stock of the past lessons and to plan the following ones.

4.4 Analysis

As significant baseline variations were found between the four conditions for several variables under investigation, the data were analyzed using normalized gain scores. Normalized gain scores are recommended when pretest scores differ widely between groups (Marx & Cummings, 2007; Gilley & Clarkston, 2014). By normalizing the gain score, that is, by dividing the absolute gain by the maximum possible gain, the variance in pretest scores is accounted for. Normalized change scores were calculated, using the formula developed by Marx and Cummings (2007):

$\frac{post - pre}{Max. - pre}$	if $post > pre$
$drop$	if $post = pre = \text{maximum or minimum}$
0	if $post = pre$
$\frac{post - pre}{pre}$	if $post < pre$

More precisely, when the pretest is lower than the post-test (or the retention test), we talk about normalized gain score which represents the amount students learned (post-pre) divided by the amount they could have learned (max-pre) (Marx & Cummings, 2007). However, when students score higher on the pretest than the post-test (or the retention test), it is a normalized loss score (post-pre divided by pre). Normalized scores were expressed as a percentage and so may reach a maximum of 100%. According to Marx and Cummings's formula, participants with the maximum or the minimum score on both the pretest and the post-test (or retention test) were dropped from the analysis, which explains why the sample size varies for each dependent variable.

To compare the mean normalized scores of the four conditions on each of the variable under study, univariate analyzes of variance were computed. These analyses were conducted controlling for gender, schools' socioeconomic level, students' perception of the classroom social environment and their previous problem-solving performance. Then, in order to refine our results, Bonferroni post-hoc procedures were applied.

5. Results

Table 4 summarizes the significant differences observed between the four conditions. It is noteworthy that we examined short-term changes (gains scores between Time 1 and Time 2) as well as long-term changes (gains scores between Time 1 and Time 3).

Table 4. Univariate analyses of variance of mean normalized gain scores⁵⁸

	Between time 1 and time 2			Between time 1 and time 3		
	<i>F(ddl)</i>	<i>p</i>	<i>eta</i> ²	<i>F(ddl)</i>	<i>p</i>	<i>eta</i> ²
Problem-solving performance	13.45 (3,372)	< .001	.10	12.25 (3,340)	< .001	.10
Situation model	4.77 (3,393)	.003	.04	15.35 (3,364)	< .001	.11
Verification	1.24(3,125)	.285		2.5(3,112)	.063 ^b	.07
Interpretation	7.02(3,268)	< .001	.07	13.10(3,262)	< .001	.13
Communication	15.94 (3,265)	< .001	.16	23.00	< .001	.22
Pride	2.47(3,310)	.062 ^a		6.44(3,295)	< .001	.06
Relief	2.65 (3,338)	.050 ^a		1.40 (3,323)	.242	
Boredom	4.47(3,320)	.004	.04	1.83(3,314)	.140	
Frustration	4.46(3,225)	.005	.06	3.37(3,207)	.019	.05
Hopelessness	1.99(3,243)	.116		2.66(3,240)	.050 ^a	
Task utility self-persuasion	1.80(3,360)	.146		4.10(3,312)	.007	.04
Help-seeking	2.74(3,390)	.043 ^a		1.80(3,338)	.147	
Brief attentional relaxation	6.23(3,400)	< .001	.05	5.14(3,343)	.002	.04
Negative self-talk	.71(3,332)	.549		2.61(3,280)	.052 ^b	.03
Dysfunctional avoidance	1.91(3,321)	.127		3.76(3,271)	.011	.04

^a The Bonferroni post-hoc procedure indicates that there is no significant difference between the four conditions.

^b The Bonferroni post-hoc procedure shows significant difference between the four conditions.

The results of the Bonferroni post-hoc tests are reported in the following text.

5.1 Problem-solving performance

Between Time 1 and Time 2 a significant difference of mean normalized gain score of problem-solving performance was observed between the “control” condition and both the “cognition” condition ($MD = -31.95, p < .001$) and the “emotion and cognition” condition ($MD = -34.85, p < .001$) (Figure 3). Further, a difference on the edge of significance was observed between the “emotion and cognition” condition and the “emotion” group ($MD = 23.49, p = .066$). Between Time 1 and Time 3, only the differences between the “control” condition and both the “cognition” ($MD = -31.58, p < .001$) and the “emotion and cognition” conditions ($MD = -35.92, p < .001$) were maintained. In terms of problem-solving performance, hypothesis 1 and 2 are thus only partly confirmed. As no significant difference between the “emotion” condition and the “control” condition was observed, hypothesis 4 was not corroborated.

⁵⁸ Une représentation graphique des différences non significatives de gains et de pertes normalisés entre les quatre conditions est proposée en annexe 4.

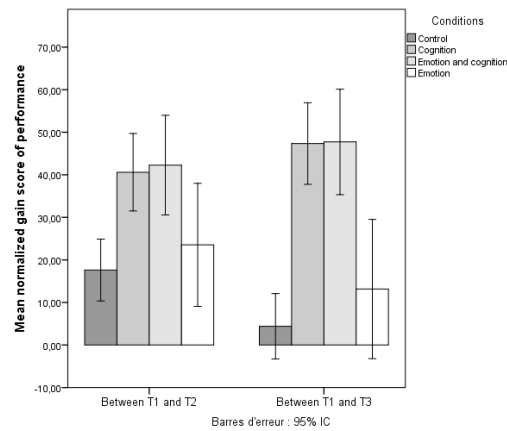


Figure 3. Mean normalized gain score and standard errors for the problem-solving performance for each condition per measurement time

5.2 Cognitive dimension of problem-solving competence

We start with the findings related to the “strategy use” indicator. First, regarding the “situation model” strategy, between Time 1 and Time 2, a significant difference of mean normalized gain score was found between the “cognition” condition and the “control” one ($MD = 20.49, p = .013$) as well as a difference at the limits of significance between the “emotion and cognition” condition and the “control” condition ($MD = 18.38, p = .070$) (Figure 4). Between Time 1 and Time 3, if the difference of mean normalized gain score between the “control” group and both the “cognition” group ($MD = -33.93, p < .001$) and the “emotion and cognition” group ($MD = -35.45, p < .001$) is maintained; the “cognition” group ($MD = 35.82, p = .003$) as well as the “emotion and cognition” group ($MD = 37.34, p = .003$) also differ from the “emotion” group.

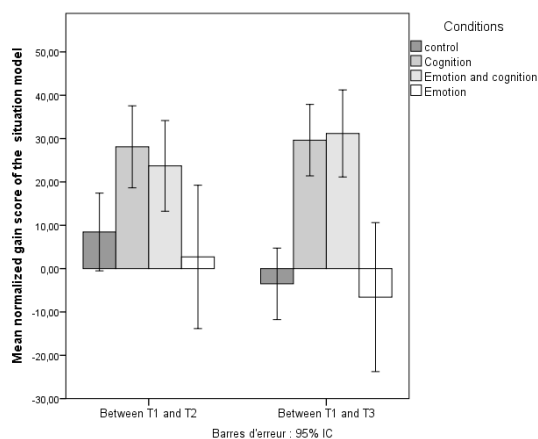


Figure 4. Mean normalized gain score and standard errors for the “situation model” strategy for each condition per measurement time

Second, a difference on the edge of significance, of mean normalized gain score regarding the “verification” strategy was observed between Time 1 and Time 3 to the benefit of the “emotion and cognition” group as compared to the “control” group ($MD = 72.96, p = .054$). Third, as regards the “interpretation” strategy, both the “cognition” ($MD = 38.69, p = .001$) and the “emotion and cognition” ($MD = 41.17, p = .002$) conditions stood out from the “control” condition, between Time 1 and Time 2. These differences are maintained between Time 1 and Time 3 (Between the “control” condition and the “cognition” condition: $MD = 52.31, p < .001$; between the “control” condition and the “emotion and cognition” condition: $MD = 51.49, < .001$) (Figure 5). Between Time 1 and Time 3, a significant difference was also found between the “emotion” condition and the “control” condition ($MD = 42.68, p = .041$).

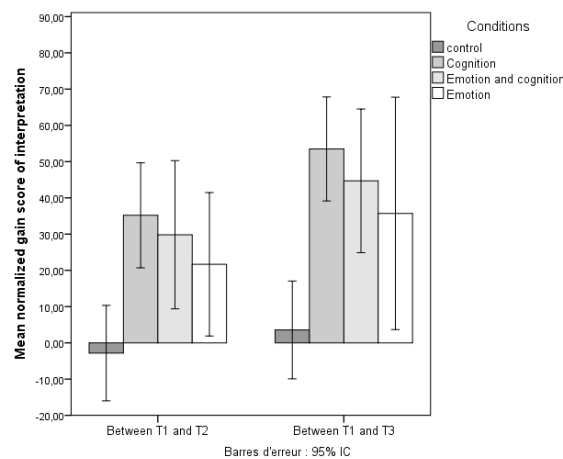


Figure 5. Mean normalized gain score and standard errors for the “interpretation” strategy for each condition per measurement time

Fourth, with respect to the “communication” strategy, the “cognition” and the “emotion and cognition” groups stood out from, on the one hand, the “control” group ($MD = 39.14, p < .001$; $MD = 31.66, p = .014$; respectively), and, on the other hand, from the “emotion” group ($MD = 68.58, p < .001$; $MD = 76.07, p < .001$; respectively) (Figure 6). These four differences were still observable at Time 3 (Between “cognition” and “control”: $D = 48.92, p < .001$; between “emotion and cognition” and “control”: $MD = 63.78, p < .001$; between “cognition” and “emotion”: $MD = 71.39, p < .001$; between “emotion and cognition” and “emotion”: $MD = 86.25, p < .001$).

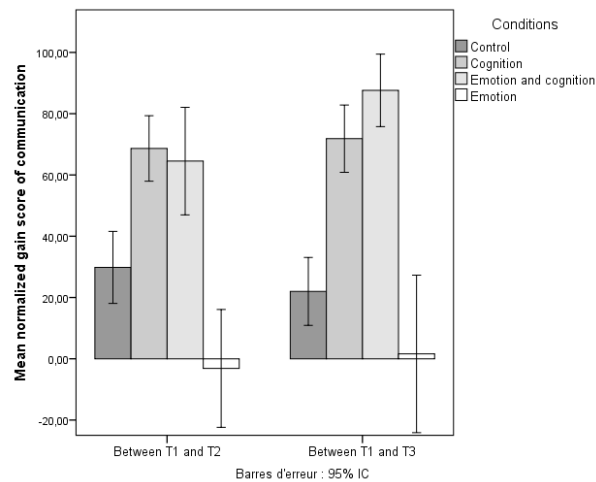


Figure 6. Mean normalized gain score and standard errors for the “communication” strategy for each condition per measurement time

We then examined a second indicator of problem-solving competence, namely, correct strategy use. In this regard, findings highlighted a significant improvement regarding the “situation model” and the “interpretation” strategies between Time 1 and Time 2, within the four conditions (Table 5). However, this improvement persists, at Time 3, mainly among the “emotion and cognition” condition as regards the “situation model” strategy and among the three experimental conditions (i.e. “cognition”, “emotion” and “emotion and cognition”) as regards the “interpretation” strategy. As for the strategies of “using one’s knowledge” and “verification”, findings showed that when used, they are used correctly. Finally, with respect to the communication strategy, it seemed more relevant to assess the completeness than the correctness of its implementation. Findings present no change between the three measurement times for both the “control” and the “emotion” conditions as well as a continuous increase between Time 1 and Time 3 for both the “cognition” and the “emotion and cognition” conditions.

Table 5. Ratio between the number of correct implementations and the total number of implementations per group and per heuristic

Condition	Control			Cognition			Emotion and cognition			Emotion		
	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)
Situation model	50	65	55	62	74	66	65	78	80	42	55	50
Using one’s knowledge	/	/	/	/	98	99	/	93	90	/	/	/
Answer’s verification	/	/	/	/	94	100	/	95	100	/	/	/
Interpretation	80	99	76	74	98	91	81	100	96	68	100	88
Communication	85	81	82	86	94	96	91	96	100	88	84	85

Note. T1 = pretest; T2= post-test; T3= retention test.

Finally, we are interested in “strategy flexibility”. On this point, it turned out that the “situation model” strategy is, by both the “cognition” and the “emotion and cognition” conditions, notably more used in problems 2 and 4, whether it be the post-test or the retention test (Table 6). This is not surprising since they both contain a lot of information, which is not the case of problems 1 and 3. As regards the “verification of the calculations”, this strategy seems, on the whole, more used in problems 1 and 3, both at the post-test and retention test. These latter problems are the only two that contain numerical data and thus that require calculations. As regards the “interpretation” and “communication” strategies, they seem to be used at a similar frequency for all the problems, both by the “cognition” and the “emotion and cognition” conditions. Nonetheless, as the analysis does not take into account students’ inner thinking, the results must be interpreted with caution.

Table 6. Ratio between the number of students who used the heuristic and the total number of students per group and per heuristic

		Post-test		Retention test	
		Cognition	Emotion and cognition	Cognition	Emotion and cognition
Situation model	P1	55	48	38	49
	P2	91	94	94	100
	P3	32	36	33	32
	P4	58	76	71	80
Answer’s verification	P1	39	44	31	41
	P2	23	24	28	27
	P3	33	24	34	33
	P4	16	13	16	25
Interpretation	P1	76	79	78	82
	P2	⁵⁹ /	/	/	/
	P3	70	71	85	85
	P4	/	/	/	/
Communication	P1	88	95	94	96
	P2	96	96	95	99
	P3	93	95	92	100
	P4	99	94	95	99

Note. P1= problem 1; P2= problem 2; P3= problem 3; P4= problem 4.

In sum, findings showed that the “emotion and cognition” condition surpassed both the “control” and the “emotion” conditions in terms of “situation model” and “communication” and only the “control” group in terms of “verification” and “interpretation”, thus partly corroborating hypothesis 1. Further, the “cognition” condition also surpassed both the “control” and the “emotion” conditions in terms of “situation model” and “communication” but only the “control” condition regarding “interpretation”, partly supporting hypothesis 2. Regarding correct strategy use, both the “cognition” and the “emotion and cognition” conditions seem to stand out. Further, while both conditions displayed a flexible use of the situation model strategy, they did not seem to use the verification strategy in a relevant way.

⁵⁹ Problems 2 and 4 do not make it possible to collect tangible traces of interpretation.

5.3 Emotional dimension of problem-solving competence

First, pride is the only positive emotion on which the four conditions stood out. More precisely, between Time 1 and Time 3, the “emotion and cognition” group as well as the “emotion” group distinguished themselves from both the “control” group ($MD = 19.9, p = .056^{60}$; $MD = 40.35, p = .003$; respectively) and the “cognition” group ($MD = 21.46, p = .032$; $MD = 41.90, p = .003$; respectively) (Figure 7).

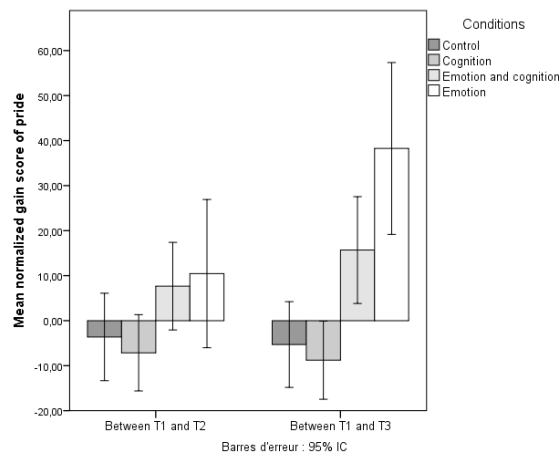


Figure 7. Mean normalized gain score and standard errors for pride for each condition per measurement time

Second, boredom and frustration are the two negative emotions on which the four conditions differed. With respect to boredom, the “emotion” group displayed a mean normalized loss score significantly higher than that of the “cognition” group ($MD = -23.63, p = .042$) and presented a difference on the edge of significance with the control group ($MD = -22.90, p = .058$). The “emotion and cognition” differed significantly from the “cognition” group as well ($MD = -17.86, p = .041$). However, these differences were only observed between Time 1 and Time 2 (Figure 8).

⁶⁰ On the edge of significance.

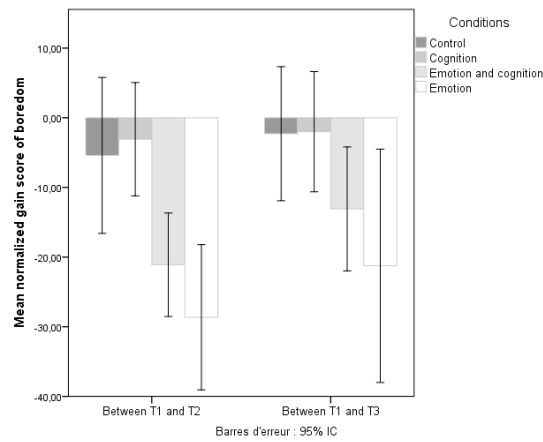


Figure 8. Mean normalized gain score and standard errors for boredom for each condition per measurement time

As regards frustration, the “emotion” group presented a mean normalized loss score significantly higher than the “control” group ($MD = -28.4, p = .025$). Quite surprisingly, the “cognition” group displayed a mean normalized loss score of frustration significantly higher as compared to the “control” group ($MD = -24.87, p = .011$). These differences did not persist at Time 3.

With respect to adaptive emotion regulation strategies, the “emotion and cognition” condition presented a mean normalized gain score between Time 1 and Time 2 of “brief attentional relaxation” significantly higher than that of the three other conditions (control: $MD = 21.70, p = .001$; “cognition”: $MD = 16.05, p = .024$; “emotion” $MD = 25.59, p = .007$). Between Time 1 and Time 3, only the difference with the “control” condition ($MD = 27.92, p = .001$) and, on the edge of significance, with the “cognition” condition ($MD = 17.31, p = .062$) were maintained (Figure 9).

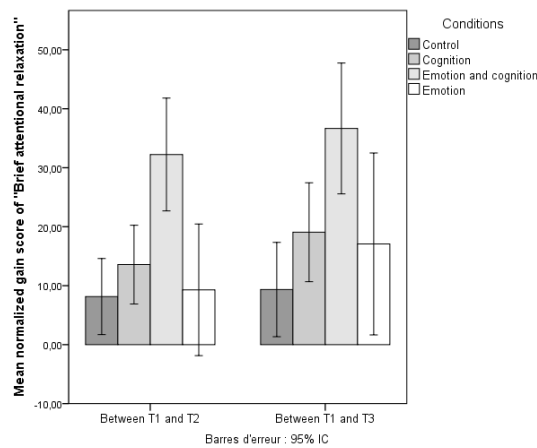


Figure 9. Mean normalized gain score and standard errors for the “brief attentional relaxation” strategy for each condition per measurement time

Still at Time 3, the “emotion and cognition” condition recorded a mean normalized gain score regarding the “task utility self-persuasion” strategy significantly higher than both the “control” condition ($MD = 22.77, p = .038$) and the “cognition” condition ($MD = 24.43, p = .012$). With respect to dysfunctional strategies, differences are observed from Time 3 as well. More precisely, the “emotion and cognition” group stood out, to its advantage, from the “control” group in terms of “dysfunctional avoidance” ($MD = -15.26, p = .024$). Further, a difference regarding the “negative self-talk” strategy approaching significance was observed between the “emotion” group and the “control” group to the benefit of the first ($MD = -26.21, p = .07$).

In sum, the “emotion and cognition” condition differs to its advantage from the “control” and the “cognition” conditions, both in terms of academic emotions and emotion regulation strategies, thereby partly supporting hypothesis 1. The “emotion” condition also differs from the “control” and the “cognition” conditions but mainly regarding academic emotions, so partly confirming hypothesis 3.

6. Discussion

The present study sought to demonstrate the benefit for upper elementary students of a mathematical problem-solving intervention that combines the development of cognitive, emotional and regulative knowledge and skills. Students’ academic emotions, emotion regulation strategies, problem-solving competence and problem-solving performance constitute the four dependent variables used to assess this benefit.

Our first research question was about the effects of such an intervention. We at first expected that the “emotion and cognition” condition would surpass the three other conditions regarding all the dependent variables (*Hypothesis 1*). This is partly supported by our data.

First, the “emotion and cognition” condition stood out, to its advantage, from the “control” condition regarding problem-solving performance, the frequency of use of four heuristic strategies (i.e., situation model, verification, interpretation, communication), pride, and three emotion regulation strategies (i.e., brief attentional relaxation, task utility self-persuasion, dysfunctional avoidance). Only the difference observed for pride was no longer observed after the end of the intervention. Second, the “emotion and cognition” condition distinguished itself from the “emotion” condition as well. Not surprisingly, the two groups differed mainly in cognitive terms, namely, regarding problem-solving performance and the frequency of use of two heuristic strategies (situation model, communication). However, the difference in performance did not last after the end of the intervention. Furthermore, and unexpectedly, the “emotion and cognition” condition differed advantageously from the “emotion” condition regarding the “brief attentional relaxation” strategy as well, but only during the intervention. This suggest that students may need to be cognitively and metacognitively well equipped to engage in brief attentional relaxation moments. This hypothesis is partly supported by a study conducted among upper elementary students that stressed that the brief attentional relaxation strategy is more used by expert than by novice problem solvers (Hanin & Van Nieuwenhoven, submitted). Third, quite logically, the

“emotion and cognition” group distinguished himself from the “cognition” group on emotional variables, namely, pride, boredom and on two functional regulation strategies, that is, “brief attentional relaxation” and “task utility self-persuasion”. If the differences regarding the two strategies are maintained after the end of the intervention, this is not the case of the emotions.

Second, we anticipated that the “cognition” condition would surpass the “control” and the “emotion” conditions in terms of problem-solving competence and performance (*Hypothesis 2*). This, too, has been partially corroborated. First, the “cognition” condition distinguished itself significantly and advantageously from the “control” condition regarding both problem-solving performance and the use of three heuristic strategies (i.e., situation model, interpretation, communication). These differences endured after the end of the intervention. Surprisingly, the “cognition” condition also displayed a significant decrease of frustration in comparison to the “control” condition. However, the latter decrease of frustration faded after the end of the intervention. Although surprising at first, the examination of the sources of frustration points out that they are partly cognitive, such as the use of inefficient strategies, a lack of resources available and the difficulty in grasping the mathematical reasoning (Misra & Castillo, 2004; Sierpinska, Bobos, Knipping, 2008). On that basis, the problem-solving process taught may have contributed to the reduction of the frustration of students in the “cognition” condition. A question remains, however, as to why no significant change of frustration was observed among the “emotion and cognition” condition. In this respect, several scholars have pointed out that duration, intensity and frequency of the intervention’s activities impact the findings (Durlak, Dymnicki, Taylor, Weissbergand, & Schellinger, 2011; Greenberg, Domitrovich, Graczyk & Zins, 2005). In the present case, the “emotion and cognition” condition was rather intense in that the “cognition” intervention followed immediately after the “emotion” intervention, leaving no time for the students to assimilate the information provided by the first intervention. In addition, four lessons on emotions knowledge and skills may not have been enough to allow them to fully appropriate this whole new academic content (Verschaffel et al., 2000). However, as this is only speculation, future research is warranted to clear up these inconsistent findings.

Hypothesis 3 stated that the “emotion” condition would surpass the “cognition” and the “control” conditions with respect to academic emotions and emotion regulation strategies. Several findings lend support to this hypothesis. First, the “emotion” condition differentiated itself, profitably, from the “cognition” condition in terms of pride and boredom. However, these differences did not last after the end of the intervention. Surprisingly, no significant difference was found regarding the emotion regulation strategies between these two groups. Second, the “emotion” condition outperformed the “control” condition regarding pride, boredom, frustration and the “negative self-talk” strategy. Again, the differences regarding the emotions did not last after the end of the intervention. In addition, and unexpectedly, at Time 3, the “emotion” condition outperformed the “control” group regarding the “interpretation” strategy. It should be recall that students in the “emotion” condition did not receive any training in heuristic strategies. One possible explanation may have to do with the students’ problem-solving-related belief system. On this point, scholars have shown that

students hold inadequate beliefs about problem solving, such as assuming that the reality described in a problem is different from real life (McLeod, 1992; Schoenfeld, 1988, 1992; Verschaffel et al., 2000). But to interpret correctly the mathematical result of a problem requires modifying one's beliefs system and, more precisely, breaking down the barriers between mathematical reality and everyday life. On that basis, we hypothesize that the "emotion" intervention, in that it invites students to become aware, to understand, to express and to regulate their emotions in the context of problem solving, made mathematics more human and thereby could have contributed to bring mathematical reality closer to everyday life.

Finally, hypothesis 4, based on Pekrun's control-value theory of achievement emotions (2006), which postulates a direct link between emotions and achievement, and supported by several empirical studies (Frenzel et al., 2007; Peixoto et al., 2017), was not corroborated. As a reminder, we postulated that the "emotion" group would have a higher problem-solving performance than the "control" group. The unfamiliarity of students with non-routine problems may be a possible explanation. Several scholars have shown that the strategies used by students to solve the problems traditionally presented in classes prove to be ineffective in solving non-routine problems (Depaepe, De Corte & Verschaffel, 2015; Fagnant et al., 2003). For novice students, solving non-routine problems required both emotional knowledge and skills and effective cognitive and metacognitive strategies (Hanin & Van Nieuwenhoven, 2018a, 2018b; De Corte & Verschaffel, 2008). And neither the "control" group nor the "emotion" group possessed the strategies required to solve non-routine problems. Another complementary explanation may be that the two conditions differ regarding two activity emotions (boredom, frustration) and one outcome emotion (pride). Yet, a study conducted by Hanin and Van Nieuwenhoven (2016a) showed that mathematics performance is only predicted by outcome emotions. Future research is warranted to clear up this finding.

Two related general observations deserve to be examined more closely. A first one is the few differences regarding the emotional variables between the groups who received an intervention on emotional knowledge and skills and those who did not. A second observation is the non-persistence after the end of the intervention of the differences in emotions observed at the end of the intervention. A first possible reason for these two observations could be the weight of motivational beliefs, direct antecedents of academic emotions (Ahmed, Minnaert, van der Werf & Kuyper, 2010; Pekrun, 2006, 2014; Tzohar-Rozen & Kramarski, 2014). As these motivational beliefs were not taken into account in the intervention, they may have remained fragile for some students and thereby may have countered the positive effects induced by the intervention on emotions. This observation is in line with the conclusion made by other researchers, that it is necessary to act on both fronts simultaneously to reach more optimally the learner's emotions (Dweck, 1992; Kim & Hodges, 2012; Pekrun, 2006). A second explanation may be the too short duration of the intervention on emotion, as outlined previously.

Our second research question looked at a more complete measure of the problem-solving competence. Therefore, building on the work of Elia et al. (2009), we took into account not only the use of heuristic strategies but also two additional indicators, namely, correct strategy

use and strategy flexibility. Findings provide additional confirmation of the cognitive effectiveness of the “emotion and cognition” condition, which made a more correct use of the “situation model” and the “interpretation” strategies both at the end of the intervention and after it. Moreover, this group showed a different frequency of use of two heuristic strategies between the four problems both at the post-test and at the retention test. As for the situation model, it was used more in the problem containing a large amount of information, whose format makes the construction of such a model necessary (problem 2), than in the problem that contains less information and presents it in such a way as to make possible a mental treatment or, at least, does not make necessary the construction of a situation model (problem 4) (Elia et al., 2009; Fagnant & Vlassis, 2013). This reflects a flexible use of the strategy. On the other hand, verifying one’s answer is a relevant strategy regardless of the problem. Yet, the “emotion and cognition” condition did not resort to it in all the problems. Two hypotheses may be put forward to explain this. First, as problems 2 and 4 do not imply calculations, the verification may have been carried out mentally by the learner. Second, as most problems usually dealt with in classes contain numerical data (Houdement, 2014), students may have associated the relevance of the verification strategy with the verification of calculations rather than with that of the whole resolution process. In this second case, our result would illustrate the influence of the didactic contract on the students’ approach to problem-solving tasks (Fagnant et al., 2003; Greer, 1997; Verschaffel et al., 2000).

In sum, our results showed that to act significantly on emotions and on emotion regulation strategies, a specific intervention on emotion knowledge and skills is needed just as acting on the problem-solving competence required a cognitive and self-regulative intervention.

7. Conclusion

To develop an expert and reflexive approach to mathematical problem solving supposes acting on each dimension of learning. While many researchers hold this view (Boekaerts, 2007; De Corte & Verschaffel, 2008; Kim & Hodges, 2012; Op’t Eynde, De Corte & Verschaffel, 2006), this study is the first to test it empirically. Findings show that a training program designed to develop in students heuristic strategies embedded in an overall self-regulative approach as well as emotional knowledge and competencies improves students’ problem-solving performance and competence, reduces their negative emotions, arouses the emergence of positive emotions, promotes the use of adaptive emotion regulation strategies and discourages the use of maladaptive ones. In this way, our results contribute to the progress of research in mathematics education. Furthermore, these findings are also important for the practice of teaching and learning how to solve non-routine problems. First, our conclusions draw the attention of educators to the benefit of developing the emotional knowledge and skills of their students. More precisely, it appears important to consider emotion as an academic topic in its own right with which most students are unfamiliar. This implies spending time developing their emotional knowledge and skills and giving them opportunities to take ownership of this new content. As shown by this study, such a classroom environment may lead to a change in attitude and beliefs regarding problem-solving tasks. This would be no small feat given the tenacity of students’ beliefs regarding problem-solving

tasks. Such beliefs include, assuming that the reality described in a problem is different from real life, that there is no place for emotions and feelings in mathematics or that solving a problem involves performing calculations with the numbers given and that the reasoning carried out is only secondary (Schoenfeld, 1992; Verschaffel et al., 2000). Second, our findings show that an accurate, flexible⁶¹ and thoughtful use of heuristic strategies may be enhanced through instruction that integratively fosters the development of strategic knowledge addressing the procedural (how?) and the conceptual (why? when?) dimensions. In this way, the findings align with previous studies (Baroody, 2003; Elia et al., 2009; Mevarech & Kramarski, 1997). Third, the close intertwining between emotions and motivational beliefs, extensively documented in the literature (Ahmed et al., 2010; Hanin & Van Nieuwenhoven, 2016a; Peixoto et al., 2017; Pekrun, 2006, 2014; Tzohar-Rozen & Kramarski, 2014), suggests that such an educational intervention could be even more fruitful by fostering students' emotional knowledge and skills simultaneously with their motivational beliefs (e.g., perceived competence, problem-solving tasks value).

However, the present study suffers from several limitations that may motivate future investigations. First, one important dimension of problem-solving learning has not been considered in our intervention, namely, students' motivational beliefs. In line with educational models of emotions that posit a direct and close relation between academic emotions and motivational beliefs (Meyer & Turner, 2006; Pekrun, 2006; Schutz, Hong, Cross & Osbon, 2006), our results suggest that providing a motivation enhancement intervention along with an emotional intervention will reinforce the effects induced by the latter. To our knowledge, such a training-program does not exist yet, and represents a useful direction for future research. Second, a number of studies have showed that students' reports of habitual emotions (trait-like) are biased by subjective beliefs, but that these subjective beliefs are much less likely to impact real-time reports of academic emotions (state-like) (Robinson & Clore, 2002). In order to access and to draw conclusions about the emotions experienced by students in the real-time, scholars suggest crossing the two measures. The present study could therefore be supplemented by a state-like measure of academic emotions. Third, data were self-reported, which raises the question of a possible social desirability bias. To address this social desirability issue and deepen our understanding of academic emotions, future studies should take a multi-method approach to include, among other factors, discussion, observation, survey and verbal report (Greene, Robertson & Croker Costa, 2011; Kim & Hodges, 2012). Fourth, despite our efforts, the four conditions were not totally equivalent in terms of school characteristics (i.e. geographical localization and socioeconomic level) as well as teacher characteristics (i.e. gender and years teaching), especially for the "emotion" condition. Given that both the "teacher effect" and the socioeconomic level impact academic learning and achievement (Nye, Konstantopoulos, & Hedges, 2004; Wayne & Youngs, 2003), it would be interesting to confirm our results with

⁶¹ Le ratio retenu comme indicateur de la flexibilité inter-tâches nous renseigne sur les stratégies heuristiques les plus utilisées, par l'ensemble des élèves d'une même condition, à chaque problème. Afin d'avoir une mesure plus fidèle, il faudrait comparer les stratégies qui ont été mobilisées d'un problème à l'autre, pour chaque individu séparément.

perfectly equivalent conditions. Fifth, in line with previous studies that showed that interventions benefited differently according to the learner's profile (novice vs. expert), it would be interesting to address this issue regarding an emotional and cognitive intervention (Montague, 2007; Muir, Beswick & Williamson, 2008). Sixth, the problems constituting the pretest, post-test and retention test do not necessitate the use of the planning strategy. However, with our objective of offering a more complete and accurate measure of problem-solving competence – by taking into account correct strategy use and strategy flexibility – it is necessary to vary even more the problems of these tests in terms of “unmissable” heuristic strategies to solve them. Last, if the intervention in its current state already leads to promising results, we believe that implementing it over the year would be even more fruitful (Durlak et al., 2011).

Chapitre 11

Exploration of cognitive, motivational, emotional and regulative behaviors of elementary-school novice and expert problem-solvers

While there is a general consensus among education scholars about the crucial role played by cognitive, emotional and motivational self-regulative processes in mathematics problem-solving learning and performance, so far, no study has looked at these dimensions at the same time. This paper explores the cognitive, motivational, emotional and regulative behaviors displayed by “above average” and “below average” elementary-school students to solve non-routine mathematical problems. Work on self-regulation, academic emotions and novice and expert achievers has been called on to gain a more fine-grained and complete understanding of these behaviors. This qualitative study is based on students’ verbal and written recordings. The data revealed that “below average” learners tend to handle mathematical problems in a superficial, linear and purely numerical way, which makes the use of metacognitive strategies irrelevant. Further, if their repeated past failures and the negative associated emotions worry them, they do not seem to jeopardize the students’ cognitive, motivational and emotional engagement in subsequent tasks. Conversely, it emerged that “above average” students display adaptive behaviors when dealing with non-routine mathematics problems, whether they be cognitive, motivational or emotional. The implications of these findings in terms of educational practices are discussed at the end of this study.

Hanin, V. & Van Nieuwenhoven, C. (soumis). Exploration of cognitive, motivational, emotional and regulative behaviors of elementary-school novice and expert problem-solvers. *European review of applied psychology/Revue européenne de psychologie appliquée*.

Exploration of cognitive, motivational, emotional and regulative behaviors of elementary-school novice and expert problem-solvers

1. Introduction

The evolutions of the end of the 20th century have made it necessary to provide future citizens with analytical and complex task resolution skills (Marcoux, 2012; NTCM, 2000; Verschaffel, Greer & Van Dooren, 2008). This requirement has been implemented in the field of mathematical education by putting mathematical problem-solving at the core of elementary-school educational curricula (NCTM, 2000). In this respect, both international and national tests have shown that a large number of elementary and secondary students perform weakly in mathematical problem-solving (OECD, 2014; 2016). The persistence of these alarming results drove researchers to investigate the requirements of an expert and reflexive approach to problem-solving. On this point, a substantial body of research has argued the crucial role played by self-regulation skills, that is, planning, controlling and regulating one's cognition, motivation and emotions (Boekaerts & Cascallar, 2006 ; Zimmerman, 2001, 2011). That being said, developing self-regulation skills in novice problem-solvers requires, on the one hand, understanding how they work cognitively, motivationally and emotionally in problem-solving; and, on the other hand, identifying accurately the behaviors that lead to mathematical expertise. We use the terms “novice” and “expert” to designate students with poor and good word problem-solving skills (Bassock, 2003; Brand, Reimer & Opwis, 2003). This conceptualization is therefore relative (Novick, 1988). While several studies have examined students' cognitive, regulative, emotional and motivational problem-solving behaviors, they all put more emphasis on one or two dimensions (Breslow, 2001; Hannula, 2002; Muir, Beswick & Williamson, 2008; Op't Eynde, De Corte & Verschaffel, 2006; Schoenfeld, 1992). Consequently, only a part of the processes identified as important for problem-solving success are broached and the way in which these dimensions interact is not investigated in depth. Moreover, the studies that take into account the most dimensions have only been conducted with secondary students and without being interested in the students' profile, that is, his/her problem-solving skills' baseline level. The present study sought to gain a better understanding of the cognitive, metacognitive, emotional and motivational functioning of fifth and sixth grade novice and expert problem-solvers when dealing with non-routine problem-solving tasks — problems for which the individual does not know, at once, the procedure to implement to solve it (Fagnant et al., 2003). To do so, we use Zimmerman's model of self-regulation (Zimmerman, 200, 2011) as a baseline because it embraces the main cognitive, regulative, motivational and emotional processes involved in learning (De Corte, Mason, Depaepe, & Verschaffel, 2011; Stoeger & Ziegler, 2011).

2. Conceptual clarifications

Over the years, the concepts of metacognition and self-regulation have been associated with a myriad of terms which have created inconsistency and confusion within the field (Veenman, Van Hout-Wolters & Afflerbach, 2006). In the present study we share the theoretical position of several scholars (De Corte *et al.*, 2011; Wigfield, Klauda & Cambria, 2011; Winne, 1996; Zimmerman, 2001) in considering metacognition as the cognitive sub-component of self-regulation. In this perspective, self-regulation addresses all the components of the learning, that is, cognition, motivation and emotions.

Socio-cognitivists agreed that a cyclical model of self-regulation encompasses three key phases, namely, action preparation, performance monitoring and self-reflection during which specific cognitive, motivational and emotional processes are taking place (Patrick, Ryan & Pintrich, 1999; Pintrich & Schrauben, 1992 ; Wigfield *et al.*, 2011; Zimmerman, 2001). Table 1 summarizes the processes selected for the purpose of the present study.

Table 1. Cognitive, motivational, emotional and regulative processes examined in the present study

Phases	Processes		
	Cognitive/Metacognitive	Motivational	Emotional
Action preparation	Goal setting Planning	Self-efficacy belief	Emotions associated with problem-solving tasks
Performance monitoring	Cognitive control strategies Cognitive regulation strategies		Emotion regulation strategies
Self-reflection	Cognitive inferences regarding subsequent tasks	Causal attributions Motivational inferences regarding subsequent tasks	Emotional inferences regarding subsequent tasks

2.1 The action preparation phase

This first phase involves processes that take place before any efforts to learn. Through **goal setting**, the individual decides the end point of the procedure he will carry out (Focant & Grégoire, 2008; Focant, Grégoire & Desoete, 2006; Zimmerman, 2001, 2011). As in academic tasks, goals are often supplied by the environment – teacher or textbook – and the strategy consists more in the appropriation of an external demand. In the present case, it is for the learner to appropriate the purpose of the mathematical problem he has to solve. On this point, expert problem-solvers are inclined to read carefully, to examine a problem deeply as a whole and to rely on the mathematical structure of the problem (Bransford, Brown & Coking, 1999; Breslow, 2001). Conversely, novices' reading of the problem is quick, linear, centered on numerical data and oriented towards surface features (Booker, Bond, Briggs and Davey, 1998; Breslow, 2001). However, this appropriation is of major importance for the two subsequent phases of the self-regulation cycle. In fact, goals serve as criteria on the basis of which individuals evaluate their actions and decide to continue as they are or to make adjustments (Focant *et al.*, 2006; Focant & Grégoire, 2008; Pintrich, 2000; Zimmerman,

2001, 2011). With regard to the nature of goals, scholars have shown that mastery-approach goals are suitable for both high- and low-ability learners in that these goals offer opportunities to improve and increase one's competence (Elliott, 2005; Pintrich, 2000; Zimmerman, 2011). Conversely, Zimmerman (2011) stressed that performance-approach goals are a source of motivation for high-ability learners as they provide an opportunity to demonstrate their skills but that they are a source of discouragement for low-ability learners as they could lead to feelings of helplessness due to unfavorable social comparisons.

Planning refers to the creation of a plan of action, that is, to the selection of relevant strategies and procedures to implement with regard to the problem (Focant & Grégoire, 2008; Focant *et al.*, 2006; Winne & Perry, 2000). In the context of non-routine mathematical problems, the learner cannot call upon an algorithm or upon a procedure previously acquired to find the answer; he has to create a sequence of actions allowing him to pass from an initial state to a goal state (Focant & Grégoire, 2008). Expert problem-solvers are known to engage in a strategic planning stage before attempting to work on a solution, while novices' tend to jump right into the problem with no plan at all or a haphazard plan (Breslow, 2001; Muir & Beswick, 2005; Muir *et al.*, 2008).

Nevertheless, possessing a set of appropriate cognitive and self-regulative strategies does not presuppose automatic implementation. The learner must still be motivationally disposed to engage in the task and to deploy the extra effort required by a self-regulated approach (Pintrich & De Groot, 1990; Zimmerman, 2011). In this respect, **self-efficacy belief** is acknowledged to be the most influent motivational process with regard to self-regulation (Bandura, 1997; Pajares, 1997). Bell and Kozlowski (2002) highlighted that as a consequence of doing poorly in complex tasks, low-ability students have a rather weak level of self-efficacy. With respect to the **emotional** dimension, complex math tasks, and more precisely, facing difficulties, obstacles or impasses, are known to trigger negative emotions such as anxiety, nervousness, anger, frustration and boredom (D'Mello & Graesser, 2011; Op't Eynde, De Corte & Mercken, 2004; Op't Eynde *et al.*, 2006). Although, to our knowledge, no study has yet investigated the emotions felt by specific profiles of students when dealing with mathematical problems, this finding suggests that negative emotions have much more to do with the reality of novices than with that of experts.

2.2 The performance monitoring phase

The processes involved in this second phase take place during the implementation of the actions planned. **Control** strategies are called on by the learner to detect potential errors. With the information highlighted by the control strategies, the learner can **regulate** his/her actions and so maintain optimum efficiency. Focant and colleagues (2006) distinguished four kinds of strategies of control that are relevant in the context of mathematical problem-solving. In the present contribution, we focused on three of them; that is, control of the achieved progress toward a goal, control of the operations carried out and verification of the results and the approach taken. The former consists of comparing the current state with the wanted state, either during the resolution process or at the end of it. In the case of problem solving tasks, it is about comparing the solution obtained and/or the resolution approach adopted with

the question asked in the problem and the information given. The identification of an inconsistency between the two states leads to an adjustment modifying actions already undertaken or still to be taken. The second control strategy is defined by two complementary sub-strategies: (1) control of the fit between the learner's intention(s) and the task's guidelines and (2) the control of the fit between the learner's intention(s) and the operation(s) chosen. In the case of lack of fit one form of regulation would be to delete the step containing the error and to plan a new sequence of actions from this fixed step (Focant & Grégoire, 2008; Focant *et al.*, 2006). The third control strategy encompasses three kinds of verification (Focant & Grégoire, 2008; Houdement, 2011; Saboya *et al.*, 2015). First, an empirical control, which consists in doing the same calculations again or the inverse calculations to make sure that the computations are correct. Second, a logical control, which consists in evaluating the arithmetical plausibility of the answer (e.g., When we add two terms is it normal to obtain a number lower than each of the starting terms?). Third, a pragmatic control, which questions the conditions of validity of the result in relation to the context (e.g., is 23.2 buses a relevant answer to the question of how many buses are necessary to take x people to the zoo?). In the three cases, the regulation is "on line". Goldberg and Bush (2003) have shown that, during the problem-solving process, novices tend to use the same strategy throughout the problem solving even if it is not working and do not question its relevance for the problem at hand nor the reasonableness of their answer(s). Further, Muir and Beswick (2005) showed among novice problem-solvers an overwhelming tendency to keep the strategy initially chosen throughout the problem, even when they noticed that it was not working. Expert achievers, on the other hand, are disposed to look back, to reflect on the appropriateness and effectiveness of the strategy(ies) initially chosen, to try an alternate strategy when the first is not working and to reflect on the relevance and accuracy of the answer(s) obtained (Muir & Beswick, 2005; Muir *et al.*, 2008; Selden & Selden, 1997).

It is just as important to **regulate one's negative emotions** as it is to regulate one's cognition, negative emotions being detrimental to learning and academic performance (Ashcraft & Krause, 2007; Clore & Hunstinger, 2009; Pekrun, 2006). On this point, Hanin *et al.* (2017) have highlighted six strategies used by upper elementary-school children to regulate their negative emotions when solving non-routine mathematical problems. "Negative self-talk" implicates to focus on the negative aspects of the situation, by dramatizing them, by constantly thinking them over or by convincing oneself that they are beyond one's control. "Dysfunctional avoidance" consists in avoiding dealing with the task, despite the fact that its completion is beneficial in the long run. "Emotion expression" refers to the social sharing of one's emotions. "Task-utility self-persuasion" consists in convincing oneself of the personal utility of the task despite the fact that the latter generates unpleasant emotions. "Help seeking" is about seeking peer and teacher assistance. Finally, "Brief attentional relaxation" resides in releasing attention for a few seconds by distracting or by relaxing. This strategy covers two sub-strategies, namely, a positive form of distraction and body relaxation. Let us note that in the adults' literature, a negative form of distraction is distinguished which consists in directing one's attention to something else than the task at hand, either by thinking of something else or doing something else (Mikolajczak, 2012). Thus, depending on the duration of the distraction, the latter may be positive (functional) or

negative (dysfunctional). Of these six, the first three are considered by students as dysfunctional and the three others are judged to be functional (Hanin et al., 2017). It is noteworthy that appropriate strategies can become deleterious when they are overused. Nevertheless, to our knowledge and to date, no study has examined the use of these strategies by specific profiles of students.

As we just seen, motivational processes play a crucial role in initiating self-regulation processes and in maintaining the efforts throughout these processes. But, that is not all, they also color substantially the next self-regulation cycle through the self-reflection phase (Zimmerman, 2011).

2.3 The self-reflection phase

The processes involved in the third phase of a self-regulation cycle take place after the accomplishment of the task. A first process pertains to the **attribution of causal explanations** to one's performance outcomes (Zimmerman, 2011). On this point, it has been shown that attributing outcomes to controllable causes fosters subsequent engagement while uncontrollable causes weaken the subsequent learning process (Graham & Williams, 2009; Weiner, 1979). However, to date, no study has looked at the causal attributions made by novice and expert achievers. A second process consists in **making defensive or adaptive inferences**, that is, « conclusions about altering one's approach during subsequent efforts to learn » (Zimmerman, 2011, p.58). Again, it would seem that no research has yet dealt with this aspect for specific profiles of students.

2.4 Aims of the study

The present study attempts to shed light on novice and expert problem-solvers' behaviors from a cognitive, motivational, emotional and regulative perspective and on the relationships between these. Since our research interests aim to capture the complexity of a phenomenon, that is, the way the specific profile of learners handle non-routine problems, a qualitative comprehensive research methodology, and more precisely a thematic analysis design, was adopted (Braun & Clarke, 2006; Vaismoradi, Turunen & Bondas, 2013; Willing, 2013). Thematic analysis allows those themes important to the understanding of the phenomenon under investigation to emerge (Braun & Clarke, 2006; Willing, 2013). As a result, the themes that we identify in the data are more likely to represent the participants' behaviors displayed when solving math problems. In this way, this contribution sought to deepen and refine previous quantitative studies that have emphasized a difference in performance between novice and expert problem-solvers. It is notable that the qualitative approach makes it possible to overcome the limitations of self-report measures such as social desirability bias, memory distortions, and weak ecological validity (Greene, Robertson & Croker Costa, 2011; Perry & Winne, 2006).

3. Method

3.1 Participants

Participants were 22 French-speaking upper elementary-school children (age: $M = 11.32$; $SD = 0.55$ year). They came from four Belgian schools which vary in terms of geographical location, size and socio-economic status. In addition, as this is the first time that these research questions have been addressed, we opted for a relatively large number of participants so as to be able to identify the representative behaviors of these two profiles of achievers. Teachers were asked to nominate the four students who would participate in the study, based on their problem-solving ability. More precisely, each teacher nominated, insofar as possible, two “below average” or “novice” and two “above average” or “expert” students as regard to their problem-solving competence (in two classrooms, only one “above average” student was nominated by the teacher). The terms “below average” and “above average” are used to specify the criteria according to which the pupils were divided into “novice” and “expert”. This nomination was consistent with students’ grades in a problem-solving test designed by the first author (see Hanin & Van Nieuwenhoven 2016b for more information). A summary of the participants’ characteristics is found in Table 2.

Table 2. Characteristics of the participants

Name	School	Class	Profile	Name	School	Class	Profile
Marie	1	5 th /6 th	Below	Sarah	2	5 th /6 th	Above
Jonathan	1	5 th /6 th	Above	Jean	3	5 th /6 th	Above
Manon	1	5 th /6 th	Below	Alice	3	5 th /6 th	Above
Rose	1	5 th /6 th	Below	Steve	3	5 th /6 th	Below
Claire	1	5 th /6 th	Above	Lise	3	5 th /6 th	Below
Lucie	1	5 th /6 th	Below	Anne	4	5 th /6 th	Below
Luc	1	5 th /6 th	Above	Simon	4	5 th /6 th	Below
Romane	1	5 th /6 th	Above	Jade	4	5 th /6 th	Above
Paul	2	5 th /6 th	Below	Diana	4	5 th /6 th	Above
Julie	2	5 th /6 th	Below	Mike	4	5 th /6 th	Below
Hugo	2	5 th /6 th	Above	Tom	4	5 th /6 th	Below

3.2 Data collection

Students were invited to answer, outside the classroom, a list of questions about the cognitive, motivational, emotional and regulative processes described above (Colognesi & Van Nieuwenhoven, 2016) (see Table 3). Answers were recorded by a digital voice recorder. This took place at two key times. Either immediately after becoming acquainted with the problem⁶², that is, after reading the problem but before solving it, or immediately after solving it but before the collective correction. In order not to overburden students with too many questions and thereby generate a bias in the data-collection, the questions were distributed over three problems. These problems were completed at weekly intervals, beginning with “Marbles games”, followed by “The Greedy child” and ending with “At the restaurant”. Note

⁶² Les énoncés des problèmes sont repris en annexe 5.

that the first problem is quite accessible to avoid discouraging the students right from the beginning. The problems were chosen based on the researcher's classroom teaching experience with regard to their relevance for the selected age group and their potential to be solved using a variety of strategies in Fagnant and Demonty's (2005) methodological guide. The problems were approved by the regular teachers involved in the study.

Table 3. Description of the data collection

Time	Problem	Phase of the self-regulation cycle	Processes measured
After	Marbles games	Action preparation phase (retroactively)	Solving procedure (e.g., <i>How did you proceed to solve it? Explain.</i>)
Before	The greedy child	Action preparation phase	Goal setting (e.g., <i>What is your personal objective with regard to this task? Where do you want to get to?</i>) Planning (e.g., <i>How are you going to proceed to solve the problem? What are you going to begin with? And then?</i>) Difficulty -self-efficacy belief (e.g., <i>Do you think you will encounter difficulties? If so, which?; Do you feel capable of solving the problem successfully?</i>) Emotions (You know that you are going to solve a problem. So, among the emotions offered below, which are those that you are feeling now. Explain.)
After	At the restaurant	Performance monitoring phase	Cognitive control and regulation strategies (e.g., <i>How did it go?; Did you write things and then cross out, erase or change it?</i>) Emotion regulation strategies (e.g., <i>When you met a difficulty or a block, what did you do?</i>)
After	At the restaurant	Self-reflective phase	Causal attributions (e.g., <i>Are you satisfied with your work? ; Do you think that your answer is correct?</i>) Inference regarding subsequent tasks (e.g., <i>How do you propose to solve the next problem?</i>)

Note. Before = After becoming acquainted with the problem but before solving it; After = right after having solved the problem but before the collective correction.

Note that, even if students verbalized their thinking and actions with a delay of no more than 5 to 10 seconds, to avoid memory distortion problems, they described their thinking processes with their written production in front of them. In addition, teachers' practices were controlled by implementing the same training program in all classrooms (see Hanin & Van Nieuwenhoven, 2016b for a description). On the question of a possible improvement due to the intervention, research suggests that it occurs only after repeated practice that extends over time (Fayol, 2006; Verschaffel, Greer & De Corte, 2000). Finally, in order to strengthen our findings, students' verbal explanations were cross-referenced with their written reasoning.

3.3 Data analysis

All audio recordings were transcribed verbatim. The development of the coding procedure followed an iterative process (Urdan, Solek & Schoenfelder, 2007). As recommended by several scholars (Fereday & Muir-Cochrane, 2006; Zhou, 2015), a combination of inductive and deductive approaches was used for the identification of codes and themes. This combination allows highlighting of the dynamic links between theory and data. Initially, a piece of the material was read several times and an initial coding proposal

emerged. Then, on the basis of self-regulation theories, work on academic emotions and the literature on novice and expert problem-solvers, as well as on the emerging codes and themes, a second piece of material was coded. The first two codings were compared and this comparison led to a specification and refinement of codes' and themes' definitions. Next, a new piece of material was coded into this set of themes. As more and more material was analysed, the initial set of codes was steadily enlarged and amended. Finally, we verified that the data within themes cohered meaningfully and that there were clear and discernable distinctions between themes (Braun & Clarke, 2006).

4. Results and discussion

In the present section, the most salient cognitive, motivational, emotional and regulative behaviors observed among novice and expert problem-solvers are reported according to the structure of a self-regulation cycle.

4.1 The action preparation phase

Regarding this first phase, significant trends were observed among both profiles of students for the two cognitive dimensions, i.e., goal setting and planning. Further, the analysis pointed out a third cognitive dimension that distinguishes the two profiles, i.e., the depth of the problem's analysis. Regarding the motivational and emotional dimensions, both self-efficacy belief and the emotions associated with problem-solving tasks allow us to distinguish between the two student profiles in a salient way.

4.1.1 Goal setting and self-efficacy belief

We should remember here that information was gathered with respect to the problem "The greedy child". Regarding goal setting, it became clear that "below average" learners, ten of the twelve, pursued goals which focused on the process while all of the "above average" learners set goals in terms of the result. For example, Marie, one of the "below average" students, told us that *"I want to be able to understand this problem, to know how to do problems and everything"*. Paul, sharing the same profile, said that *"I want to be able to do it well and to do good sums"*. These goals reflect a mastery-approach orientation (Pintrich, 2000). Students assert their desire to improve their problem-solving skills, to select good strategies and to implement them correctly. According to Zimmerman (2011), "below average" achievers seem to set adaptive goals. Conversely, the ten "above average" learners reported in the same words the same goal, namely, *"My personal goal is to get the right answer"*. Although, the desire to outperform others is not mentioned, the formulation in terms of success, and by extension, good grades, refers to a performance-approach goal which is, according to Zimmerman (2011), a source of motivation for higher achievers only.

In addition, ten of the twelve "below average" students mentioned their previous failures in problem-solving in their definitions of their goals; according to Bandura's theory (1997), this reflects a weak self-efficacy belief. For example, Julie explained that *"I want to get to solve this problem because I never manage to solve problems, because I'm really not very*

good at problems". Steve reported that *"so, I like to be able to understand the problem, to solve it because I'm pretty useless at problems, every time I try, I never get the right answer"*. These verbal explanations reflect both students' desire to be able to solve correctly the problem and their lack of confidence in their ability to solve it because of repeated failures. However, these past experiences with similar academic tasks do not seem to strongly determine students' self-efficacy belief which is in line with previous findings showing that elementary students tend to be optimistic regarding their self-efficacy belief (Muir *et al.*, 2008; Pajares & Valiante, 2002). The answers of "below average" learners to the question about their ability to solve a given problem successfully support this observation. On this point, the twelve students mentioned that they were not sure of being able to solve it correctly. In contrast, when "above average" students are asked the same question, they display more self-confidence. In this respect, they told us that *"I don't think I'll have any difficulties because I'm pretty good at problems"*; *"Well, it should be ok, because I'm very good at math"*. Thus, this profile of students began the problem with the conviction that they could tackle it given their previous experiences and performance levels.

4.1.2 Depth of the analysis

In line with previous research (Booker *et al.*, 1998; Bransford *et al.*, 1999; Breslow, 2001), our findings show that "above average" learners show a deep understanding of the problem whereas "below average" students grasp only a part of the information and report it with a lack of precision. Consider the problem: The greedy child.

The greedy child

Sarah and Mathieu are sharing a box of candies in the following way: Mathieu takes one, Sarah, who is greedier, takes two, then Mathieu takes three, but Sarah takes four and so on. Each one takes one candy more than the other.

Sarah is the last to take a candy. She then takes all the remaining candies. So she has 5 candies more than Mathieu. How many candies are there in the box?

This problem comprises three main items of information:

- (1) At every turn, each child takes one candy more than the other (information item 1)
- (2) Once the bag of candies is empty, Sarah has 5 candies more than Mathieu (information item 2)
- (3) We must find how many candies there are in the bag (information item 3)

When students were asked what they understood of the problem, six "above average" students mentioned the three items of information accurately and completely. For instance, Hugo said that *"What I understand is that Sarah is always going to take one candy more than Mathieu [item 1] and so you have to calculate the number of candies that there are in the packet [item 3] and work it out so that there are five candies left over [item 2]."* The other four reported, precisely, two out of the three items of information, mostly item 1 and item 3. So, for instance, Claire told us that *"What I understood is that each child is going to take 1 candy more than the other at each turn and that Mathieu starts and you have to know how*

many candies there are altogether in the packet”. However, although information item 2 was not verbalized, as shown in Figure 2, it was taken into account by Claire in her written reasoning. The written work of Hugo (Figure 1) and of Claire (Figure 2) highlights the integration of the three relevant items of information and thereby shows an in-depth understanding of the problem. Furthermore, in both pieces of work, the reference to the problem’s context is present throughout the mathematical development; it is not abstract quantities that are manipulated, but candies. Moreover, while “above average” achievers used a similar reasoning process; four of the ten opted for a schematization, as did Claire, and six for a numerical representation, like Hugo.

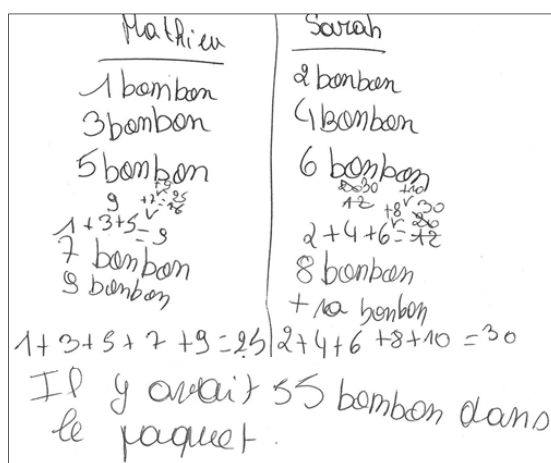


Figure 1. Hugo’s written reasoning to problem 2 (*There were 55 candies in the bag)

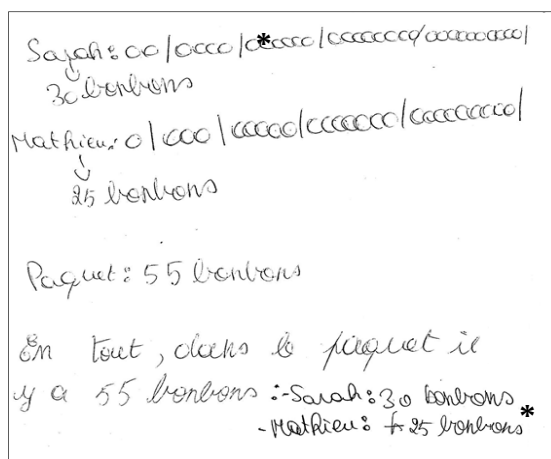


Figure 2. Claire’s written reasoning to problem 2 (*In total, there are 55 candies in the bag: Sarah has 30 candies and Mathieu 25)

Conversely, among “below average” students, none exploited the relevant information in compliance with the statement of the problem. More precisely, eight of the twelve answered

in the same way as Paul (Figure 3); that is, they dealt correctly with information item 1 but attributed the same meaning to both items 1 and 2. In other words, they associated both items of information with the process of sharing. Yet information item 2 does not give information on the way to distribute the candies between the two children but rather on the outcome of this distribution. Such a behavior illustrates the difficulty of taking into account all the relational calculations (numerical relationships at stake) involved in the problem and more precisely of distinguishing between the state-numbers (i.e., at the end Sarah has 5 candies more than Mathieu) and the transformation-numbers (i.e., at every turn, each child takes one candy more than the other) (Vergnaud, 1975). Paul's written reasoning supports this hypothesis. As can be seen from Figure 3, Paul began by assigning candies so that each child got one candy more than the other and, at the end, added five candies to Sarah in one go. In this respect, it should be noted that "five" is the only number written on a numerical form in the statement of the problem. Given that novice problem-solvers tend to focus exclusively on numerical data at the cost of contextual information (Verschaffel *et al.*, 2000), Paul and his counterparts may have understood the number without paying attention to the contextual information conveyed by the number "five".

Mathieu ⁴(1+3)

Sarah ¹¹(2+4+5)

Dans le sachet il y avait 15*

Figure 3. Paul's written reasoning to problem 2 (*In the bag there were 15)

SARAH

2
+4
~~11~~
+5
= 11

MATHIEU

1
+3
+5
= 4

11 + 4 = 15 bonbons*

Figure 4. Rose's written reasoning to problem 2 (*15 candies)

The written reasoning of these eight learners is consistent with their interview recordings. More precisely, half of them do not even mention information item 2 in their talk. So, for instance, Paul reported that: *“What I understood is that each time that last person is Sarah, each time she’ll have more candies than Mathieu”*. The other half mentioned it in line with the way they understood it. On this point, Rose told us that *“Mathieu and Sarah each take a candy in turn and Sarah takes five more”* and proceeded on this basis in her written reasoning (Figure 4).

The four other “below average” learners did not seem to have proceeded to a real distribution of the candies. By way of illustration, the numbers 10 and 5 offered in Julie’s reasoning (Figure 5), cannot be obtained by means of a distribution like the one described in the problem. Her resolution process also reflects a difficulty in taking into account the relational calculations involved in the problem. More precisely, it seems that Julie dealt only with the state-numbers.

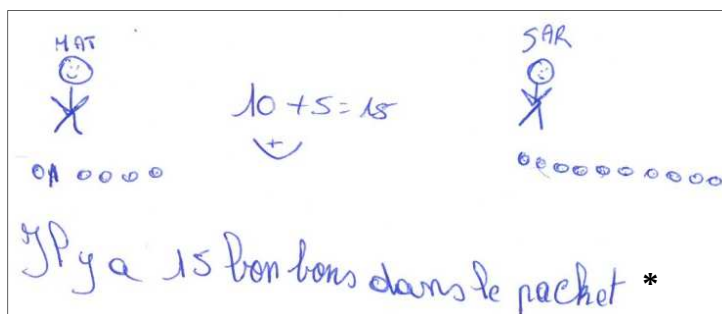


Figure 5. Julie’s written reasoning to problem 2 (* *There are 15 candies in the box*)

The missing information in Julie and her counterparts’ written reasoning is lacking in their verbal explanations as well. Julie reported that *“Well, I know that Mathieu took five candies less and that you have to find out how many there are”*. This observation supports what we observed with Paul and Rose, that is, that novice problem-solvers applied a purely numerical treatment to the problem, considering the problem context as superfluous.

Let’s strengthen these observations with another problem: “Marbles game”.

Marbles game

Rachid has a big bag of 20 marbles. Frederic, has 13 marbles. At recreation, both children play a first game together: Frederic wins 5 marbles. Both friends play a second game and Rachid loses 10 marbles. In the afternoon, they play another game together. When Rachid goes back home, he counts his marbles; he has 22 of them. What happened during the afternoon’s game?

When “above average” students were asked how they proceeded to solve it, their answers, without exception, insisted on the importance of understanding in depth the problem at hand before attempting to answer it. For instance, Jonathan explained that *“First of all I made a drawing to show what’s in my head, what I understood about the problem. All the*

calculations I want to do I put it the form of diagrams". In the same vein, Sarah brought up that "I wrote down how many marbles Rachid and Frederic had at the start and after I wrote down what happened for each game and how many marbles they had and at the end I found that in the third game Rachid won 17 marbles and Frederic had lost 17". With these words, both learners talked about the construction of a model of situation which consists in bringing out the relevant information and both the causal and temporal relations between them (Verschaffel *et al.*, 2000). Note that the construction of a model of situation has been pointed out by numerous scholars as a key step in the problem-solving process and a characteristic of expert problem solvers (Staub & Reusser, 1995; Verschaffel *et al.*, 2000). The relations between the data are visible in students' written reasonings too (figures 6 and 7) through the fact that information expressed for one child (e.g., Frederic wins 5 marbles) is handled as impacting both children's number of marbles (e.g., plus 5 marbles for Frederic and minus 5 marbles for Rachid). On this point, two different ways to present one's reasoning have been observed, namely, a schematic approach, like Jonathan's and a more verbalized approach, as with Sarah's.

	1 ^{re} parti	2 ^{de} parti	après-midi	après-midi
Rachid: 20	-5	-10	= 5	+17
Frédéric: 13	+5	+10	= 28	-17

Rachid a gagné 17 marbles l'après-midi *

Figure 6. Jonathan's written reasoning to problem 1 (*In the afternoon, Rachid won 17 marbles)

Rachid : 20 billes
 Frédéric : 13 billes

première partie:
 Frédéric : +5 billes (Frédéric a 18 billes)
 Rachid : -5 billes (Rachid a 15 billes)

deuxième partie:
 Rachid : -10 billes (Rachid a 5 billes)
 Frédéric : +10 billes (Frédéric a 28 billes.)

troisième partie:
 Rachid : +17 billes (Rachid a 22 billes.)
 Frédéric : -17 billes (Frédéric a 11 billes.)

Reste de Rachid : 22 billes

Réponse : Lors de la troisième partie,
 Rachid a gagné 17 billes et
 Frédéric en a perdu 17.

Figure 7. Sarah's written reasoning to problem 1 (* During the third game, Rachid won 17 marbles and Frederic lost 17)

Congruent with our previous observations, verbal explanations of “below average” students reflect the construction of a model of situation which takes into account only a part of the relations at stake. Furthermore, their explanations often lack consistency, clarity and structure which seems to denote a superficial and muddled understanding of the problem. So, for example, Manon said that “Well, I used calculation. First I did because there was an example... Rachid has 20 marbles so I did... and then they say that Rachid lost 10 marbles. So I did the calculation $20 - 10$, there you are, an example. In the same vein, Lucie reported that “I did numbers less... so, I did... for example, there were 20 minus 10 so I did the calculation. And after for... there were... after I did 13 plus 5 and so I found that Rachid had 22 marbles and Frederic 18”. In both explanations, the contextual information that makes it possible to structure the problem and to understand it are lacking; the focus is exclusively on the numerical information.

Students' written reasoning (Figures 8 and 9) make it possible to refine and nuance these first observations. Contrary to what we observed among “above average” achievers, in the computational phase of “below average” learners there is no further reference to the problem's context, such as the game's number or what happened, which is consistent with novices' numerical treatment of the information. In addition, a fine-grained examination revealed that both students handled the information in a linear way, using one element at the time without putting the elements in relation. For instance, the information “at the first game, Frederic wins five marbles” is mechanically translated, by both students, into a gain of 5 marbles for Frederic, Rachid's number of marbles remaining unchanged. Another example is given by Lucie. In her last step, she recopied mechanically the result of the addition $(10 + 12)$ instead of indicating the number of marbles won during the third game (12). So, if on the whole, they dealt correctly with the transformations explicitly stated for each child, they did not identify the relation between the marbles of the two children. Two

complementary hypotheses may be advanced to explain such resolution approach. First, “below average” students’ may have difficulty taking into account the relational calculations that are not explicitly mentioned in the problem but that need to be deduced by the learner. Second, the context of marbles game (the loss or gain of marbles of one child implies the opposite for the other) may be unfamiliar to some learners. Let us specify that such reasoning was observed among nine “below average” students; the three other solved the problem successfully.

20 Rachid
 $20 - 10 = 10$
 13 Frederic
 $13 + 5 = 18$
 Rachid en a gagnée 12 billes

Figure 8. Manon’s written reasoning to problem 1 (* Rachid won 12 marbles)

$20 - 10 = 10$ $13 + 5 = 18$
 $13 + 5 = 18$
 donc Rachid a 22 billes et Frédéric
 a 18 billes

Figure 9. Lucie’s written reasoning to problem 1 (* Thus, Rachid has 22 marbles and Frederic has 18 marbles)

4.1.3 Strategy planning

When “below average” students were asked how they planned to proceed to solve the problem, ten out of the twelve mentioned a general and vague method, valid for any problem and after getting stuck. So, for instance, Steve said that “I’m going to do some calculations, well, I don’t know yet”. Anne reported that “I’m going to read to find out how to do the calculation but ... I don’t know how to do it yet”. The latter explanation may suggest that Anne’s problem solving is guided by semantic cues drawn from the problem’s statement. This superficial strategy is extensively used by novice problem-solvers (Gamo, Taabane & Sander, 2011; Sander, Levrat, Brissiaud, Porcheron & Richard, 2003). The two other learners mentioned that they had no idea. Thus, it seems that “below average” students launch into

the problem with general cognitive strategies but without having thought about the specific mathematical strategies they need to call on to solve the problem at hand. This observation has to be put in relation to a superficial, linear and mechanical analysis of the problem. A partial understanding of the problem cannot lead to the identification of precise and relevant procedures or strategies. In this respect, when we asked “below average” students the specific nature of the problem at hand or the difference between a given problem and problems already solved, they mentioned superficial and contextual features. So, for instance, Anne told us “*They were in the recreation yard, now they’re in the house. They were talking about marbles and now they’re talking about candies*”. Steve reported that “*There was no difference between the problems, it’s all the same*”.

Conversely, while “above average” students also suggested general strategies such as drawing a picture, making a diagram or a table and doing the calculations, eight out of the ten adjusted it to the problem at hand. For instance, Jean mentioned that “*So, I’m going to start by drawing the candies until there are five candies left over*”. Alice stated that “*I’m going to write Mathieu and make a drawing where I’m going to put the candies, I’m going to write Sarah and put the candies, I’m going to divide + 1, +2, +3, and so on*”. This denotes a real appropriation of the problem and more precisely a recognition of its mathematical structure. In this respect, when “above average” students were asked what they would use to solve the problem “The greedy child” six out of the ten gave a targeted answer, such as, “*written calculation, addition*”, while the other four were less precise “*mental calculation and written calculation, the rule of three, all math*”.

4.1.4 Emotions

Ten of the twelve “below average” learners told us that they disliked problem-solving tasks; the other two put up with them. More precisely, as it can be seen in Table 4, the emotions most felt by “below average” achievers are mainly negative which is consistent with previous research (Goetz, Haag, Lipnevitch, Keller, Frenzel & Collier, 2014 ; Op’t Eynde *et al.*, 2004). As far as “above average” learners are concerned, they all mentioned liking or even adoring solving mathematical problems which is reflected in the emotions reported (see Table 4).

Table 4. Emotions most felt by « below average » and « above average » problem solvers

Emotions	“Below average” students (N = 12)	“Above average” students (N = 10)
Boredom	7	0
Fear	6	0
Hopelessness	8	0
Shame	7	0
Worry	7	1
Nervosity	6	2
Relief	7	8
Enjoyment	1	9
Pride	1	7

Note. Students could check as many emotions as they wished.

4.2 The performance monitoring phase

In this second phase of a self-regulation cycle, both profiles of students exhibited significant trends regarding the three types of cognitive control and regulation strategies previously described. For the analysis, we grouped them into two categories: the control on the resolution process (i.e., control of the achieved progress toward a goal, control of the operations carried out and, control of the whole process of problem solving adopted) and the control on the result obtained (i.e., verification of the result). Specific behaviors were also observed with respect to emotional control and regulation. Let us illustrate that with the problem “At the restaurant”.

At the restaurant

In a restaurant, drinks are unlimited. Two menus are offered: the “fish” menu and the “meat” menu. The “fish” menu costs 2 euros more than the “meat” menu. Jordan and Sylvain each take a different menu. Their total bill amounts to 31 euros. How much does each of the menus cost?

4.2.1 Control on the resolution process and its regulation

Although the data collected do not allow us to access with precision the intention underlying students’ procedures, their verbal and written explanations are quite informative on this point. In that matter, the written reasoning of three of the “below average” students seems to illustrate a problem at the level of intention (Focant & Grégoire, 2008; Focant *et al.*, 2006). Consider Lucie’s reasoning as an example (Figure 10). The intention underlying her procedure (dividing the total price in two equal parts after subtracting two euros from the total amount) is not in line with the question asked in the problem (finding the price of the two menus knowing that they differ by 2 euros). In connection with the trend observed among “below average” learners previously pointed out, Lucie’s written reasoning reflects a reading of the problem that focuses exclusively on numerical data without taking into account their contextual meaning. Figure 10 shows that she extracted from her reading two mathematical operations to be conducted. The first one is associated with the information “costs two euros more” and was translated by a subtraction of two euros and the other one was related to the question asked, i.e. “how much does each of the two menus cost?” and was translated by a division by two of the new total (29 euros). If the context is considered as decorative, it is not surprising that Lucie did not check the match between her intention and the wording of the problem. This statement is reinforced by the absence of a control of the plausibility of the answer obtained (a price of 14.5 for each menu does not match the contextual information available).

Handwritten reasoning for problem 3:

$$31 - 2 = 29$$

$$29 : 2 = 14,5$$

chaque menu coûte 14,5*

Figure 10. Lucie's written reasoning to problem 3 (* Each menu costs 14,5 euros)

For the eight other “below average” students (the 12th “below average” student obtained the correct answer), the intention underlying their procedure seems in compliance with the problem’s statement but not with the operations chosen (Focant *et al.*, 2006). By way of example, Steve’s written reasoning (Figure 11) seems to reflect her intention to divide 31 euros in two equal parts and then to create a difference of two euros between the two menus. Note that it is not because there is a fit between the learner’s intention and the problem’s statement that this consistency has been controlled. However, it appears that Steve did not evaluate the coherence between the intention underlying his procedure and the operation chosen. In fact, adding 2 euros to the first half and subtracting 2 euros to the other half does not result in a difference of two euros.

Handwritten reasoning for problem 3:

2 menu = poisson . 2€ + que viande *

31€

$$31 : 2 = 15,5 \text{ € chacun}$$

$$2 + 15,5 = 17,5 \text{ €}$$

Le poisson ***

$$15,5 - 2 = 13,5 \text{ €}$$

la viande **

Figure 11. Steve's written reasoning to problem 3 (* each; ** the meat; *** the fish)

With respect to “above average” achievers, they all found the correct answer. For three of the ten, no trace of control and regulation was found in their written reasoning. However, they reported orally having controlled their process in statements such as: “*I didn’t cross out anything because I didn’t find any mistakes of any kind*”; “*I didn’t cross anything out because I did some good calculation and in the end that gave the answer you had to give*”. The analysis of the seven other productions pointed out the use of control and regulation strategies. More precisely, four students realized that the strategy implemented was not appropriate and switched to another one. This behavior reflects both a control of the achieved progress toward the goal and a control of the operations (Focant, Grégoire, & Desoete, 2006), in other words, it denotes a control and regulation of the whole process of resolution. Let’s illustrate that observation with Diana’s written production (Figure 12). Diana began by decomposing 31 into 15 and 16 and then operated on these quantities. But, in doing so, she realized an inconsistency between the solution found and the constraints stated in the problem: there was not a 2-euro difference between her answers (17 and 14 ; 15 and 16). By crossing her reasoning out, she questions her approach. This questioning leads her to try another procedure. In this respect, she replaced the integral division of 31 by a division in equal parts. She began by subtracting and adding 1.5 euro to each half of 31 but realizing that the procedure carried out was not satisfying the problem’s constraints again, she tried something else. She set up several control-regulation loops, working by trial and error, until obtaining a difference of two-euros between the two menus. Her behavior is consistent with the observation made by Saboya et al. (2015) according to which the control’s activity exerts by the learner is a dynamic process.

$31:2 = 15.5$
 $\begin{array}{r} -1.5 \\ +1.5 \\ \hline 14 \end{array}$

$31:2 = 15.5$
 $\begin{array}{r} -1.5 \\ +1.5 \\ \hline 14 \end{array}$

$31:2 = 15.5$
 $\begin{array}{r} -1.5 \\ +1.5 \\ \hline 14 \end{array}$

le menu poisson
 coûte 16.5€
 le menu viande
 coûte 14€

Figure 12. Diana’s written reasoning to problem 3
 (* The fish menu costs 16.5 euros and the meat menu costs 14.5 euros)

4.2.2 Verification of the results and their regulation

None of the eleven “below average” learners who failed the problem controlled for the plausibility of the answer obtained (Focant & Grégoire, 2008; Focant *et al.*, 2006). As we can see in Figure 11, the fact that there is not a difference of two euros between the two prices suggests that the learner did not question the relevance of the mathematical result in the light of the contextual information presented in the problem’s statement. This observation is congruent with our previous findings showing that “below average” learners applied a purely numerical treatment to problem solving tasks. In addition, although the students were asked to erase nothing but to cross their errors out and to write their whole reasoning down, no written traces of empirical control of the calculations were found.

With respect to “above average” achievers, traces of empirical verification (verification of calculations), of pragmatic control (questioning the conditions of validity of the answer with regard to the contextual information given in the problem) and of regulation processes were found for three of the ten. Alice’s written reasoning shed light on this point (Figure 13). At the end of her problem-solving, she checked if the total of the two menus was in fact 31 euros. This behavior reflects the implementation by Alice of partial pragmatic control. Then, by way of regulation, she began to verify all her resolution process. While checking the correctness of her calculations, she noticed a mistake that she undertook immediately to fix. At the end, she controlled again for the conditions of validity of her answer.

Handwritten mathematical reasoning by Alice:

$$31\text{€} - 2\text{€} = 29\text{€}$$

$$29\text{€} : 2 = 14,5\text{€}$$

Reponse: menu poisson: 16,5€ (*)

menu viande: 14,5€ (**)

Preuve: 14,5€ + 16,5€ = 31,0€

Preuve: 16,5€ + 14,5€ = 31,0€ (***)

Figure 13. Alice’s written reasoning to problem 3
(* Fish menu; ** Meat menu; ***Proof)

4.2.3 Emotion regulation strategies

When students are asked how they proceeded when they encountered a difficulty or a block, in other words, how they dealt with the negative emotions that may have arisen, “above average” achievers, without exception, mentioned functional strategies. More precisely, in

addition to the five students who mentioned metacognitive strategies such as *“I’m going to re-read”*, four reported using the brief attentional relaxation strategy. For instance, Alice told us that *“When I can’t manage to do something, I need to have a break because I can’t manage to concentrate non-stop on the challenge, so when I can’t do it, I take a break and after I continue”*. In the same vein, Jean reported that *“I take a break from time to time to get rid of my stress and to gather my strength so I can deal with the problem better, with better concentration”*. Furthermore, six learners speak of concentrating. For example, Hugo told us *“When I’m blocked, I concentrate and try to solve it”*. Sarah confided to us *“Well, I’m always very focused so I don’t have any blocks”*. The “concentration” strategy consists in focusing all one’s attention on the task at hand, and, therefore is conceptually opposed to “negative distraction”, above defined. Even more, the “concentration” strategy is conceptually close to the “environmental structuring” motivational regulation strategy (Wolters, 2003; Zimmerman & Martinez-Pons, 1990). « This strategy is conceptualized as decreasing the possibility of off-task behavior by reducing the probability of encountering a distraction or by reducing the intensity of distractions that do occur » (Wolters, 2003, p. 196). In addition, while the task utility self-persuasion strategy is not mentioned by “above average” learners as a strategy to overcome a difficulty, they do question the utility of the task. In this regard, they pointed out that regularly solving problems allows them to *“be even better”*, *“do the problems even faster”*. These observations are congruent with the emotions felt by these students. By using exclusively functional strategies, they thwart any negative emotion.

Conversely most of the “below average” learners, eight of the twelve, called on both functional and dysfunctional strategies to regulate their negative emotions. So, for instance, Julie revealed that *“Well, when I’m blocked I tell myself that I’m not going to succeed, I tell myself that all the time and all at once I ask for help from Madame”*. Thus, Julie ruminated on negative thoughts and feelings (i.e. negative self-talk) but she was resilient in asking for help (i.e. help seeking). Steve stated that *“Well, when I’ve got a difficulty, I begin to look somewhere else, I look at the others, so I’m often distracted and sometimes I ask sir for help”*. Steve did not give up either. Although his negative emotions diverted a part of his available cognitive resources from the task (i.e. negative distraction) (Ashcraft & Krause, 2007; Pekrun, 2006), he tried to overcome his negative emotions by requesting the teacher’s assistance. Another example of association of a functional strategy (i.e. help-seeking) with a dysfunctional strategy (i.e. dysfunctional avoidance) is offered by Lise: *“Sometimes I ask Madame the question and sometimes I move on to the next question”*. As was the case for the self-efficacy belief, it looks like “below average” students are not prisoners of their past failures and of the associated negative emotions. If the latter tend to take them cognitively away from the task, they do not accept the situation passively but attempt to avoid this trap by calling on a functional strategy. This parallelism is not surprising given the close relationship between motivation and emotions (Op’ t Eynde *et al.*, 2006 ; Pekrun, Goetz, Titz & Perry, 2002). Furthermore, a fine-grained analysis showed that “negative distraction” was the most popular dysfunctional strategy (5 voices), followed by “negative self-talk” (4 voices) and in last position (2 voices), “dysfunctional avoidance”. Regarding the functional strategies, “help-seeking” occupies the top position (7 voices), followed by metacognitive strategies (2 voices) and finally by “brief attentional relaxation” (1 voice). Three other

“below” average students did not mention any strategy of any kind. Finally, one “below average” achiever focused exclusively on dysfunctional strategies. In addition, like their “above average” counterparts, four “below average” achievers wonder about the utility of the task through statements such as *“like that I do better in my exams”*; *“it’s important to practice, to get better at problems”*.

4.3 The self-reflective phase

In this third phase of a self-regulation cycle, the focus was on two main processes, namely, students’ explanations for their learning outcomes and the nature of the inference regarding subsequent tasks.

4.3.1 Students’ causal attributions

In our sample, all of the “below average” students appealed to uncontrollable causes to explain their perception of their performance outcomes whereas “above average” students, without exception, mentioned controllable causes. Information was collected for the problem “At the restaurant”. In this respect, lack of ability was reported by all of the “below average” students to explain their outcomes. Lise told us *“Well, I didn’t get the answer, I couldn’t do it. I’ve got problems with math. Every time I try, I don’t get the right answer”*. In the same vein, Rose reported that *“Well, they already take me for the dunce who comes last. I’m not very good at that, it’s hard for me”*. To a lesser extent, task difficulty was also reported by these students – by six of the twelve – by statements such as: *“That one was easy, so it was ok, but sometimes with problems I really find it hard, when they’re difficult”* or *“I didn’t succeed because it was more difficult, there wasn’t enough information to do it”*.

With respect to “above average” students, four of the ten attributed their perception of success to the use of an effective strategy: *“I’m happy with my work because I think that I did some good calculations and in the end they gave the answer they ought to give”*; *“Well, I think I did well because I paid attention to all the information they gave me, I read it carefully”*. Three of the ten invoked both an effective strategy and their own ability to explain their success: *“Well, yes, I think I’ve got the right answer, I re-read it carefully to be sure. I’m pretty good at math”*. Finally, the last three learners made attributional judgments in terms of effort deployed and also ability: *“Well, I concentrate hard and I’m pretty good at mathematical problems”*; *“I’m sure my answer is correct because I thought about the question really hard, I understood everything about the problem. And I’m really strong in mental arithmetic, in written calculation, in everything about math”*. As argued by Wigfield and colleagues (2011), certain patterns of attribution are beneficial for the subsequent motivation and self-regulation behaviors of higher achievers. On this point, when ability is combined with a controllable cause such as effort or strategy used, it is positively associated with higher achievers’ self-efficacy belief, conveying the idea that one can perform well in the future.

4.3.2 Nature of the inferences regarding subsequent tasks

Previous successes and failures, and more generally the learning task just experienced, did not seem to distort the way “below average” learners approached the subsequent task. In fact, all of them initiated the next problem positively even if they failed the preceding one. In this respect, at the end of the first problem, Rose reported that *“It was hard, I think I failed”* and at the beginning of the following problem she said that *“I’m going to try not to feel down, if there’s something I don’t understand, I’m going to read over it several times, to concentrate hard. I want to get a good answer”*. Tom, who failed the first problem too, began the following one by saying *“I’m going to try and apply myself, I’m going to read to understand how to do the calculation, I’m going to try to do the problem well”*. Thus, unlike what we might have expected, these students did not call on defensive inferences despite their negative past experiences but rather displayed willingness to succeed and cognitive engagement for the next problem. In this way, the nature of students’ inferences regarding the subsequent task are mostly cognitive and motivational.

With respect to “above average” students, they all reported assessing the problems as presenting more or less the same level of difficulty because they solved them quite easily. By way of example, Hugo stated that *“For me they are all pretty easy because I’m good at doing them”* and Diana reported that *“I find it’s always a little bit the same thing, it’s not harder or easier”*.

5. Conclusion

In this contribution, we attempted to bring to light the most salient cognitive, motivational, emotional and regulative behaviors that are characteristic of upper-elementary novice and expert non-routine problem-solvers. The present section sums up our main results by contrasting the two groups of learners. The contribution of this study to the existing knowledge about novice and expert problem-solvers’ behaviors are underlined. In addition, the implications of our findings in terms of educational practices are discussed. Finally, several limitations are pointed out.

With respect to the cognitive and metacognitive processes involved in the self-regulation cycle depicted in the background, our findings are in line with previous studies (Muir & Beswick, 2005; Muir *et al.*, 2008; Breslow, 2001; Verschaffel *et al.*, 2000) while refining and expanding them. First, it appeared that “below average” problem-solvers in our sample treat mathematical problems in a linear, mechanical and purely numerical way, base their problem’s reading on superficial features, have difficulty grasping all of the relational calculations at stake and launch into a problem with a general strategy or no strategy at all. Conversely, the “above average” problem-solvers of this study build an in-depth understanding of the problem expressed through the construction of a model of situation; give as much importance to numerical as contextual data and adjust their general strategies to the problem at hand, denoting a reading of the problem in terms of mathematical structure. Second, if it has been demonstrated that, overall, “below average” learners do not call control and regulation strategies in, and that “above average” do (Hanin & Van Nieuwenhoven,

2018b ; Muir *et al.*, 2008; Schoenfeld, 1992), to date no study has looked at these strategies in detail. In this connection, our findings revealed that “below average” achievers do not question the alignment between the problem’s statement, their intention and the arithmetic operation chosen neither they control the correctness of their computations or the plausibility of their answer. Contrarily, it has been showed that expert problem-solvers not only implement these three control strategies but also set up regulation processes when an error is detected. Yet, the superficial approach adopted by “below average” problem-solvers is acknowledged to be ineffective to solve non-routine problems (Fagnant *et al.*, 2003; Verschaffel *et al.*, 2000). As a consequence, we suggest that the pedagogical training-programs aiming to develop problem-solving cognitive and metacognitive strategies developed in recent years (Blum & Leiß, 2007 ; Mevarech & Amrany 2008 ; Perels, Gürtler & Schmitz, 2005; Verschaffel *et al.*, 2000), need to be particularly adapted to the needs of “below average” students rather than addressed to all students.

Further, this study has contributed new insights into the motivational processes involved in a self-regulation cycle. First, with respect to self-efficacy belief, our findings support those of Bell and Kozlowski (2002) by revealing that “below average” students have a low level of confidence in their ability to solve mathematical problems due to their repeated past failures unlike their “above average” peers who have a positive and strong self-efficacy belief. However, this study goes further by pointing out that “below average” problem-solvers’ behaviors are not dictated by their past experiences but rather are permeated with optimism and willingness to persist and succeed. This is supported by the adaptive inferences made by students regarding subsequent tasks which suggest that “below average” learners are more likely to stick at it for the next problem, to consider it as a new opportunity to break with their past experiences rather than to give up. This observation is consistent with studies that have looked at the development of the self-efficacy belief (Bouffard, Marcoux, Vezeau & Bordeleau, 2003; Martin, 2009; Roeser, Eccles, & Sameroff, 2000). The latter have shown that, at the beginning of schooling, children tend to have a higher self-efficacy belief than it should but that this optimistic attitude tends to disappear when students move to middle school. Second, although our findings regarding the nature of goals privileged by each group are not surprising – mastery approach goal for the “below average” and performance approach goal for the “below average” students – it documents the rare literature on the subject. Third, this study broadens the literature on causal attributions. In this connection, it stood out that “above average” achievers appealed to a favorable pattern of attribution (combination of controllable and uncontrollable causes) while “below average” learners’ explanations are detrimental for their learning process. Given the critical importance of self-efficacy belief and causal attributions for academic achievement, motivation and learning (Bandura, 1997; Graham & Williams, 2009; Perry, Stupnisky, Hall, Chipperfield & Weiner, 2010; Weiner, 1979), one challenge for educators consists in explicitly address students’ self-efficacy belief and engagement. In this respect, scholars recommend to help students set clear and specific goals, to provide constructive feedback that explicitly highlights the link between performance and the use of relevant strategies and effort (attributional retraining), to use peer modeling and to help students to self-evaluate accurately their progress and

performance (Artino, 2012; Hoffman & Spatariu, 2008; Joët, Usher & Bressoux, 2011; Perry *et al.*, 2010).

Finally, the major contribution of the present study pertains to the emotional processes. If the issue of emotions felt during problem-solving tasks have already caught the attention of some researchers (Ahmed, van der Werf, Kuyper & Minnaert, 2013; Op't Eynde *et al.*, 2004), it is the first time that it is arisen for specific profiles of students. Further, this study is also the first to examine the emotion regulation strategies used by elementary students in a specific academic context (i.e. problem-solving tasks) which is congruent with the assumption of the domain specificity of emotions (Goetz, Frenzel, Pekrun, Hall, & Lüdtke, 2007; Goetz *et al.*, 2014). Our findings informed that most of the “below average” learners experienced only negative emotions and called in both functional and dysfunctional emotion regulation strategies while “above average” students reported positive emotions and resorted exclusively on functional emotional and motivational strategies. On this point, note that, while “below average” problem-solvers make heavy use of the help-seeking strategy, a sign of an external regulation (Mottier Lopez, 2012), expert problem-solvers, as self-regulated learners, depend on other strategies, namely, concentration and brief attentional relaxation. Yet, a large body of research have shown that negative emotions impair learning and academic achievement by fostering the use of rigid, detail-oriented, and analytical approaches, diverting from the task a part of the available cognitive resources, and promoting external regulation (Pekrun, 2006, 2014). This underscores the need to review our pedagogical approaches to mathematical problem-solving and, mathematical content in general, which are over-centered on the cognitive and metacognitive aspects of learning, to take the learners’ emotions into account and to help them develop functional emotion regulation strategies.

The present study faces several limitations which call for other further investigation. First, as it is, to our knowledge, the first time that these questions have been investigated, it would be interesting to replicate it with other samples in order to strengthen the stability of the present findings. Second, as we know that boys and girls do not deal with mathematics in the same way (Frenzel, Pekrun & Goets, 2007; Rozendaal, Minnaert & Boekaerts, 2001), it would be interesting to add a gender distinction in order to refine our understanding of novice and expert problem-solvers. Further, as outlined by several scholars, students’ engagement and persistence in learning tasks decline over time (Anderman & Midgley, 1997; Martin, 2009). Therefore, it would be interesting to replicate the present study with older students and to compare the findings in order to identify those dimensions of learning at greatest risk, that is, those that have to be dealt with in the first instance. In addition, it would be interesting to deepen the analysis regarding the motivational processes by referring more explicitly to them in the interview guide. Finally, to document the development of “below average” behaviors throughout a cognitive intervention in problem-solving, would complement the present findings and allow the design of more targeted and hence, more efficient, pedagogical interventions.

Chapitre 12

Evaluation d'un dispositif d'enseignement-apprentissage en résolution de problèmes mathématiques⁶³

De nombreux chercheurs se sont penchés sur l'élaboration et l'évaluation de dispositifs d'enseignement-apprentissage en résolution de problèmes mathématiques. Cependant, ces études à visée interventionniste documentent essentiellement les changements d'ordre cognitif, métacognitif, motivationnel et émotionnel advenant entre le prétest et le post-test. Ce qui se passe tout au long de l'implémentation du dispositif n'est donc pas questionné. Or, une compréhension plus fine de ces changements permettrait de mieux saisir et de mieux répondre à l'hétérogénéité du public scolaire, notamment, par la conception de dispositifs plus ciblés. La présente étude s'inscrit dans cette perspective en évaluant les effets d'un dispositif d'enseignement-apprentissage au niveau des changements cognitifs, métacognitifs, motivationnels et émotionnels survenant chez un résolveur novice et un résolveur expert tout au long de son implémentation. Le dispositif promeut le développement de stratégies heuristiques et l'acquisition d'une démarche globale d'autorégulation. Une approche qualitative à visée explicative et, plus spécifiquement, l'étude de cas a été retenue. L'analyse croisée des traces écrites et des explications orales de Marie, résolveur novice, met en lumière une déconstruction progressive de stratégies et croyances inappropriées, le développement d'une analyse en profondeur du problème ainsi qu'une régulation pilotée essentiellement par des facteurs internes. Plus encore, on assiste à un renforcement et à une stabilisation de sa perception de compétence de même qu'à un basculement émotionnel complet. Luc, élève expert, développe une compréhension plus formelle de la résolution de problèmes et enrichit son répertoire de stratégies cognitives et métacognitives afin d'être plus efficace face aux problèmes plus complexes.

Hanin, V., & Van Nieuwenhoven, C. (2018b). Evaluation d'un dispositif d'enseignement-apprentissage en résolution de problèmes mathématiques : Evolution des comportements cognitifs, métacognitifs, motivationnels et émotionnels d'un résolveur novice et expert. *Evaluer. Journal international de recherche en éducation et formation*, 4(1), 37-66.

⁶³ Dans cet article, nous avons fait usage du terme « estimation » pour désigner ce que, dans la lignée des travaux de Saboya et al. (2015), nous avons appelé, au chapitre 1, « anticipation ». Quelques précisions ont été ajoutées à ce sujet, sous la forme de notes de bas de page, par rapport à la version publiée de l'article.

Evaluation d'un dispositif d'enseignement-apprentissage en résolution de problèmes mathématiques

Evolution des comportements cognitifs, métacognitifs, motivationnels et émotionnels d'un résolveur novice et expert

1. Introduction

Depuis qu'elles ont vu le jour en Fédération Wallonie-Bruxelles, les épreuves externes non certificatives en mathématiques montrent, de façon relativement stable, qu'environ la moitié des élèves de cinquième primaire éprouvent de grandes difficultés en résolution de problèmes mathématiques (Administration générale de l'Enseignement et de la Recherche scientifique, 2009, 2015). Ce constat est appuyé par de nombreuses recherches qui ont mis en évidence des performances faibles en résolution de problèmes chez les élèves de cinquième et sixième primaire (Crahay & Detheux, 2005 ; Demonty & Fagnant, 2014 ; Marcoux, 2012 ; Montague, Enders, & Dietz, 2011 ; Ozsoy, & Ataman, 2009). Effectivement, si ces derniers sont capables d'appliquer les procédures à la demande, ils rencontrent davantage de difficultés à identifier et mobiliser les procédures adéquates pour résoudre un problème donné (Crahay & Detheux, 2005 ; Marcoux, 2012). En d'autres termes, quand bien même les procédures mathématiques seraient maîtrisées, ce sont les compétences relatives à la mise en place d'une démarche experte et réflexive de résolution de problèmes qui semblent manquer. Ajoutons à cela les recherches récentes qui pointent les difficultés rencontrées par les enseignants pour aider leurs élèves face aux tâches de résolution de problèmes (Demonty & Fagnant, 2014 ; Ginsburg, Cooke, Leinwand & Pollock, 2005). Les recherches menées sur les activités de résolution de problèmes proposées dans les manuels scolaires ont mis le doigt sur un autre nœud (Coppé & Houdement, 2002 ; Van Dooren, Verschaffel, Greer, & De Bock, 2006). Effectivement, ces dernières montrent que la compétence de résolution de problèmes y est bien souvent morcelée en micro compétences traitées dans des activités distinctes avec une attention accrue pour le tri et le traitement d'informations, comme si la résolution de problèmes se réduisait à cette seule action. Le régime appauvri et stéréotypé des problèmes proposés y est également pointé.

Ces différents constats ont conduit de nombreux chercheurs à se pencher sur la conception et l'évaluation de dispositifs d'enseignement-apprentissage ayant pour visée le développement d'une démarche experte et réflexive de résolution de problèmes (Blum & Leiß, 2007 ; De Corte, Verschaffel & Masui, 2004 ; Hanin & Van Nieuwenhoven, 2016b ; Mevarech & Amrany 2008 ; Perels, Gürtler & Schmitz, 2005). Si ces études quantitatives

affichent des résultats prometteurs et répondent aux préoccupations soulevées plus haut, elles présentent plusieurs limites. Premièrement, comme le soulignent Tzohar-Rozen et Kramarski (2014) l'efficacité de ces dispositifs est évaluée principalement en termes cognitifs et métacognitifs, peu d'étude prennent conjointement en compte les dimensions émotionnelles et motivationnelles qui ont pourtant été pointées comme jouant un rôle central non seulement dans l'initiation du processus d'apprentissage mais également dans le maintien des efforts déployés tout au long de ce dernier (Bouffard & Vezeau, 2010 ; Op't Eynde, De Corte & Verschaffel, 2006 ; Pekrun, 2006). Deuxièmement, les données sont recueillies selon une procédure quantitative reposant sur une comparaison prétest-post-test. Par conséquent, s'il est possible de mettre à jour des différences significatives d'évolution entre les groupes contrôle et expérimental, les informations recueillies ne permettent pas de comprendre les changements advenus (comment ils se sont opérés, à quel moment de l'intervention ils se sont produits, etc.). En d'autres mots, les résultats ne nous informent pas sur ce qui s'est passé durant l'implémentation du dispositif. Une compréhension plus fine — en ce qu'elle s'intéresse à ce qui se passe durant l'intervention — et plus complète — en ce qu'elle porte à la fois sur les dimensions (méta)cognitives, motivationnelles et émotionnelles — des changements advenant suite à la mise en place d'un dispositif d'enseignement-apprentissage en résolution de problèmes non-routiniers⁶⁴ semble pourtant essentielle pour dégager des pistes didactiques susceptibles de soutenir plus efficacement et de façon plus personnalisée les apprentissages des élèves et, cela est d'autant plus important, à l'heure où l'hétérogénéité du public scolaire donne bien du fil à retordre aux enseignants (Lothaire, Dumay & Dupriez, 2012 ; Maroy & Cattonar, 2002). Effectivement, une telle approche permettrait d'affiner notre compréhension des comportements d'engagement versus non engagement et de persévérance versus d'abandon observés durant les tâches de résolution de problèmes mathématiques — sont-ils dus à une perception de compétence fragile, à l'emprise d'émotions négatives qui détournent l'attention de l'apprenant de la tâche, à un répertoire de stratégies heuristiques trop pauvre ou à une combinaison de plusieurs de ces facteurs ? — et, par voie de conséquence, d'y réagir de façon plus appropriée. C'est dans cette perspective que s'inscrit la présente recherche. En vue d'apporter un éclairage différent et complémentaire aux approches classiques de type pré-post, cette recherche aborde la problématique de l'évaluation de l'efficacité des dispositifs de façon originale, au travers de deux analyses de cas visant, d'une part, à décrire l'évolution des comportements cognitifs, métacognitifs, émotionnels et motivationnels d'un résolveur novice⁶⁵ et d'un résolveur expert, et, d'autre part, en tentant de comprendre ces changements. Précisons que notre choix d'explorer les comportements adoptés par un résolveur novice et un résolveur expert prend appui sur les travaux démontrant les spécificités de chaque profil (Muir, Beswick & Williamson, 2008 ; Pretz, Naples, & Sternberg, 2003 ; Zimmerman & Campillo, 2003).

⁶⁴ Problème dont la solution n'apparaît pas d'emblée et dont la résolution ne repose pas sur l'application de la procédure qui vient d'être vue en classe (Elia, van den Heuvel-Panhuizen & Kolovou, 2009).

⁶⁵ A l'instar de plusieurs chercheurs (Bassok, 2003 ; Brand, Reimer & Opwis, 2003), nous utilisons les termes "novice" et "expert" pour désigner les élèves avec de faibles ou bonnes compétences en résolution de problèmes non-routiniers. En ce sens, notre conception d'élève "novice" et d'élève « expert » est relative (Novick, 1988).

2. Cadre théorique

La présente partie débute par une brève description des dimensions cognitives et métacognitives impliquées dans la démarche de résolution de problèmes et se clôture par la mise en exergue du poids des variables motivationnelles et émotionnelles non seulement dans le choix de s'engager mais également de persévérer dans de telles tâches.

2.1 Dimensions cognitive et métacognitive de la résolution de problèmes

Actuellement, les chercheurs s'accordent pour dire que le développement d'une expertise en résolution de problèmes requiert de reconceptualiser les problèmes mathématiques comme des exercices de modélisation, dit autrement, de considérer l'énoncé d'un problème comme la description d'une situation de la vie quotidienne qui peut être modélisée mathématiquement (Blum & Niss, 1991 ; Verschaffel, Greer, & De Corte, 2000). La modélisation mathématique est vue comme un processus cyclique complexe impliquant un certain nombre d'étapes (Blum & Niss, 1991 ; Fagnant et al., 2003 ; Verschaffel *et al.*, 2000). A l'heure actuelle, plusieurs processus de résolution cycliques sont utilisés pour décrire les étapes mises en œuvre par les élèves pour résoudre un problème verbal non-routinier (Blum & Leiß, 2007; Galbraith & Stillman, 2006; Polya, 1957; Schoenfeld, 1992; Verschaffel *et al.*, 2000). Dans une étude précédente (Hanin & Van Nieuwenhoven, 2016b), nous proposons une intégration des principaux processus de résolution existant et des recommandations résultant d'études empiriques (Fuchs, Fuchs, Prentice, Burch, Hamlett, *et al.*, 2003; Fagnant & Demonty, 2005) au sein d'un processus de résolution cyclique unique (Figure 1). Notons que la majorité des étapes constituant ce processus de résolution sont des stratégies heuristiques, c'est-à-dire des stratégies de recherche pour l'analyse et la résolution de problèmes qui ne garantissent pas, mais augmentent significativement la probabilité de trouver une réponse correcte en ce qu'elles induisent une approche systématique de la tâche (De Corte & Verschaffel, 2005). Si la disposition linéaire constitue une chronologie pour l'enseignement du processus de résolution, des allers-retours entre les différentes stratégies heuristiques sont indispensables. De plus, le développement d'une démarche réfléchie de résolution de problèmes appelle à un usage flexible de ces dites stratégies. Ce processus de résolution constitue le socle du dispositif d'enseignement-apprentissage construit pour cette étude (voir point 3.2).

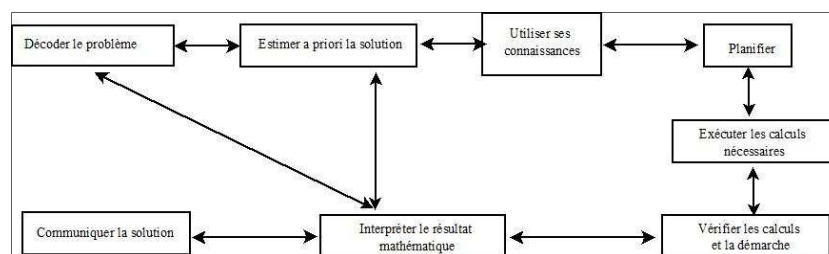


Figure 1. Modélisation du processus de résolution de problèmes verbaux non-routiniers

Cependant, disposer de connaissances disciplinaires et de stratégies heuristiques n'est pas suffisant, encore faut-il pouvoir les mobiliser de façon judicieuse et exercer un contrôle et une régulation réfléchis sur le(s) produit(s) de leur implémentation, dit autrement, autoréguler sa démarche de résolution (De Corte *et al.*, 2004 ; Mevarech & Amrany, 2008). Les stratégies de contrôle ont pour fonction de surveiller et d'évaluer le cours de l'action et ses résultats. Quatre types de contrôle ont été identifiés (Focant & Grégoire, 2008). Dans la présente contribution nous nous attardons sur deux d'entre eux : le contrôle des opérations et la vérification des résultats. Le contrôle des opérations consiste à vérifier, périodiquement, l'adéquation, d'une part, entre l'objectif du problème et notre intention et, d'autre part, entre notre intention et l'opération mathématique choisie (Focant & Grégoire, 2008). La vérification des résultats, pour sa part, consiste à vérifier la justesse des procédures entreprises (Focant & Grégoire, 2008) ainsi qu'à interroger la plausibilité du résultat mathématique obtenu à la lumière des informations contextuelles présentes dans l'énoncé (Houdement, 2011, 2014). Mobilisée de façon concurrentielle, la stratégie de régulation ajuste les actions et l'attribution des ressources sur la base des informations récoltées par les stratégies de contrôle et ce, afin de maintenir une efficacité optimale (Focant & Grégoire, 2008).

2.2 Dimension motivo-émotionnelle de la résolution de problèmes

Parmi les différentes variables motivationnelles impliquées dans l'apprentissage, nous avons retenu celle dont l'influence sur les comportements (méta)cognitifs, motivationnels et émotionnels et sur les performances scolaires est la plus déterminante, à savoir, la perception de compétence (Bandura, 1997 ; Bouffard, & Vezeau, 2010 ; Marcou & Philippou, 2005). Cette dernière désigne « une évaluation subjective par la personne de ses habiletés dans un domaine particulier et reflète sa croyance ou sa conviction d'avoir les ressources nécessaires pour mener à bien une activité » (Vaillancourt & Bouffard, 2009, p.151). Effectivement, la valence (positive vs. négative) de la perception de compétence de l'apprenant va déteindre, notamment, sur sa disposition à s'engager dans la tâche, à témoigner de l'intérêt pour cette dernière, à se fixer des buts ambitieux, à persister face à la difficulté, à redoubler d'effort quand la tâche l'exige, à utiliser des stratégies cognitives dites « profondes » et à autoréguler sa démarche de résolution (Bouffard, Marcoux, Vezeau & Bordeleau, 2003 ; Bouffard & Vezeau, 2010 ; Marcou & Philippou, 2005). Complémentairement aux variables motivationnelles, les émotions jouent un rôle clé dans l'apprentissage et les performances en résolution de problèmes (Ahmed, Minnaert, van der Werf & Kuyper, 2013 ; Hanin & Van Nieuwenhoven, 2018a; Pekrun, 2006). Plus précisément, il a été démontré que, globalement, à l'inverse des émotions positives, les émotions négatives détournent l'attention de l'apprenant de la tâche, diminuent sa motivation pour celle-ci et favorisent l'usage de stratégies rigides, un traitement superficiel de l'information de même que le recours à une régulation externe (Pekrun, 2006 ; Schutz & Pekrun, 2007).

3. Méthodologie

La présente recherche a pour objectif d'évaluer l'efficacité d'un dispositif d'enseignement-apprentissage en s'intéressant aux changements cognitifs, métacognitifs, motivationnels et émotionnels advenant tout au long de l'implémentation de ce dispositif. Afin d'être en mesure de saisir toute la complexité de ces changements, nous avons adopté une approche qualitative à visée explicative et, plus précisément, l'étude de cas (Baxter & Jack, 2008 ; Yin, 1994). Effectivement, cette approche permet d'accéder à une description et compréhension détaillées et contextualisées du cas qui nous préoccupe et de ses complexités. De plus, l'étude de cas est un format d'investigation qui se préoccupe, tout particulièrement, de changements et de processus de développement (Willig, 2013 ; Yin, 1994). Ce sont donc les changements de comportements qui constituent l'unité d'analyse retenue et non les individus eux-mêmes.

3.1 Sujets

L'intervention en résolution de problèmes mathématiques, dont il est question dans la présente étude, a été implémentée dans une classe de cinquième primaire située en Belgique francophone. Le choix des deux élèves retenus pour l'étude de cas repose sur deux critères. Premièrement, à l'instar des chercheurs qui se sont penchés sur les comportements adoptés par les élèves lors des tâches de résolution de problèmes, nous avons distingué les élèves présentant un profil « novice » de ceux présentant un profil « expert ». L'identification de ces profils repose sur le croisement de l'évaluation globale de l'enseignant avec les performances de l'élève à un test de résolution de problèmes non-routiniers conçu par nos soins (prétest). Deuxièmement, parmi les élèves présentant un profil de résolveur « novice » et « expert », notre choix s'est porté sur deux élèves, Marie et Luc, qui n'ont pas de difficulté à s'exprimer, n'hésitent pas à dire ce qu'ils pensent et qui se sont portés volontaires pour notre étude.

3.2 Dispositif d'enseignement-apprentissage

Le dispositif d'enseignement-apprentissage, objet de l'évaluation, s'étale sur sept semaines (à raison de deux à quatre heures de travail par semaine) et repose sur deux piliers majeurs. D'une part, il s'ancre dans les travaux de Veenman, Van Hout-Wolters et Afflerbach (2006) qui soulignent l'importance de non seulement expliciter en quoi consiste chacune des stratégies heuristiques reprises à la Figure 1, mais également leur utilité, à quel(s) moment(s) dans la démarche de résolution il est pertinent de les convoquer et la manière de les mettre en œuvre. D'autre part, ce dispositif prend appui sur les travaux d'Allal et Mottier Lopez relatifs aux régulations interactives et à la co-régulation (Allal, 2007 ; Mottier Lopez, 2012). A ce sujet, le dispositif comprend diverses modalités d'interactions sources de régulations potentielles telles que des interactions entre élèves, des interactions entre l'enseignant et les élèves ainsi que des interactions entre l'apprenant et divers outils mis à sa disposition. Précisons que l'analyse du rôle des régulations interactives entre pairs dans le développement d'une démarche experte et réflexive de résolution de problèmes a été développé dans une

autre étude (Hanin & Van Nieuwenhoven, 2018b). La méthodologie utilisée pour chaque problème est présentée au Tableau 1.

Tableau 1. Description de la méthodologie utilisée pour chaque problème

Problème	Méthodologie adoptée
Problème 1	- Résolution individuelle - Mise en commun des démarches individuelles en petits groupes (3-4 élèves) et élaboration d'une démarche de résolution et d'une solution communes - Exploitation des productions de groupe par l'enseignant en interaction avec les élèves avec pour objectif de faire ressortir les heuristiques caractéristiques d'une démarche experte de résolution - Etayage, par l'enseignante, de ces heuristiques en précisant en quoi elles consistent, quand il est opportun de les utiliser, leur utilité et comment il faut procéder pour les mettre en œuvre - Distribution à chaque élève d'un carnet de synthèse des heuristiques
Problèmes 2 et 4	- Résolution individuelle à l'aide du carnet de synthèse - Evaluation individuelle de sa propre démarche de résolution à l'aide d'une grille d'évaluation - Evaluation dyadique croisée sur la base de la même grille d'évaluation, discussion autour de la double évaluation (auto et co-évaluation) de chaque production et révisions conjointes - Correction collective
Problèmes 3 et 6	- Résolution individuelle à l'aide du carnet de synthèse - Evaluation individuelle de sa propre démarche de résolution à l'aide d'une grille d'évaluation - Correction collective
Problème 5	- Résolution individuelle à l'aide du carnet de synthèse - Mise en commun des démarches individuelles en petits groupes (3-4 élèves) et élaboration d'une démarche de résolution et d'une solution communes - Evaluation de la production par le groupe à l'aide de la grille d'évaluation - Evaluation de la production du groupe par l'enseignante à l'aide de la même grille d'évaluation

3.3 Collecte des données

L'évaluation du dispositif d'enseignement-apprentissage en termes de changements cognitifs, métacognitifs, motivationnels et émotionnels advenus tout au long de son implémentation repose sur la triangulation de données issues de sources variées, récoltées à différents moments. Tout d'abord, afin d'être en mesure de décrire ces changements, les deux apprenants choisis pour l'étude de cas ont été amenés à résoudre quatre problèmes⁶⁶ avant l'implémentation du dispositif (prétest), juste après son implémentation (post-test) et six semaines après la fin du dispositif (test de rétention). Précisons que, si au sein de chaque test (pré, pos, rétention), les problèmes proposés font appel à des objets mathématiques différents (proportionnalité, partage inégaux, logique, traitement de données), les objets mathématiques ont été conservés d'un test à l'autre. Ensuite, afin de comprendre plus finement ces changements, les deux participants ont été invités à répondre, librement, en dehors de la classe, dans un dictaphone à une série de questions (Tableau 2) et ce, à trois moments clés, i.e., avant de se lancer dans la résolution du problème mais après avoir pris connaissance de celui-ci ; au milieu de la résolution du problème et après avoir résolu le problème (mais avant sa correction) (Colognesi & Van Nieuwenhoven, 2016). Finalement, afin de décrire l'évolution du rapport émotionnel de chaque participant vis-à-vis de la résolution de problèmes mathématiques, un questionnaire sous la forme d'illustrations leur a été proposé après chaque problème. Ces illustrations couvrent les émotions positives (plaisir, fierté,

⁶⁶ Les énoncés des problèmes sont repris en annexe 5.

soulagement) et négatives (ennui, peur, colère, désespoir, honte, inquiétude, nervosité, frustration) les plus fréquemment ressenties en mathématiques (Frenzel, Pekrun & Goetz, 2007 ; Op't Eynde, De Corte & Mercken, 2004). Il était demandé à chaque apprenant d'indiquer la fréquence à laquelle il éprouve chacune de ces émotions à l'aide d'une échelle de Likert en 5 points (1= *jamais* à 5 = *toujours*).

Tableau 2. Questions types

Moment de la prise d'informations	Questions types	Problèmes concernés
Avant la résolution du problème	- Explique ce que tu as compris du problème ? - Comment comptes-tu t'y prendre pour résoudre le problème ? - Comment vas-tu procéder : par quoi vas-tu commencer ? Et ensuite ? - Quelles sont tes forces pour résoudre ce problème ? - Quelles vont être les difficultés que tu pourrais rencontrer ? - A quoi veux-tu arriver ? Quel est ton objectif pour cette tâche ? - Qu'as-tu déjà appris qui pourrait te servir pour résoudre ce problème ?	Problème 3 : « La gourmande » Problème 5 : « Le plein de vitamines »
Pendant la résolution du problème	- Explique-moi ce que tu as fait jusqu'à présent. Par quelles étapes es-tu passé(e) ? - Es-tu satisfait(e) de ton travail ? Pourquoi ? - As-tu écrit des choses et puis barré, effacé ou changé ? Pourquoi ? - Lorsque tu as rencontré une difficulté/un blocage qu'as-tu fait ? - Et maintenant, comment penses-tu t'y prendre pour continuer le problème ? Quelles vont être tes prochaines étapes ?	Problème 4 : « Un partage bien inégal » Problème 6 : « L'anniversaire »
Après la résolution du problème	- Peux-tu redire en tes mots la consigne ? - Es-tu satisfait(e) de ta production par rapport à la demande ? Pourquoi ? - De quoi aurais-tu besoin pour résoudre encore mieux un problème mathématique ? - Tu as maintenant résolu plusieurs problèmes. Qu'est-ce qui est différent entre tes différentes résolutions ? Comment as-tu effectué ces changements ? - Comment pourrais-tu aider quelqu'un qui doit faire la même activité que toi ? - Penses-tu avoir trouvé la bonne réponse ? Explique.	Problème 1 : « Jeu de billes » Problème 2 : « Au restaurant »

3.4 Méthode d'analyse des données

Les données d'enregistrement ont été retranscrites sous forme de verbatims (Fereday & Muir-Cochrane, 2006 ; Zhou, 2015). L'identification des codes et thèmes s'est faite en utilisant une combinaison d'approches inductive et déductive et ce, afin de mettre en exergue les liens dynamiques entre la théorie et les données. Par ailleurs, la procédure de codage a suivi un processus itératif (Urdan, Solek & Schoenfelder, 2007). Concrètement, un premier extrait de données est lu plusieurs fois et une première proposition de codage est réalisée. Ensuite, sur la base des composantes cognitives (stratégies heuristiques enseignées),

métacognitives (contrôle des opérations, vérification des résultats), motivationnelles (sentiment de compétence), et émotionnelles (émotions positives et négatives) recensées dans la littérature comme caractéristiques d'une démarche experte et réflexive de résolution de problèmes et des premiers thèmes qui ont émergé, un nouvel extrait de données est codé. Ces deux premiers codages sont ensuite comparés ce qui donne lieu à une spécification et à un affinement des thèmes et codes existant. Par la suite, de nouvelles données sont codées sur la base des thèmes et codes ainsi ajustés. Le système de codage initial s'amplifie donc progressivement au fur et à mesure que de nouvelles données sont analysées. Finalement, les données présentant un même codage sont rassemblées et la cohérence entre celles-ci est vérifiée (Braun & Clarke, 2006).

4. Résultats

Afin d'apporter des éléments de réponse à la question qui nous occupe ici, à savoir, l'évaluation d'un dispositif d'enseignement-apprentissage en termes de changements cognitifs, métacognitifs, émotionnels et motivationnels survenant chez un résolveur novice et un résolveur expert, deux analyses complémentaires ont été menées. D'une part, les productions écrites du prétest, post-test et du test de rétention ont été comparées et ce, tant pour le résolveur expert que pour le novice. Les changements observés ont ensuite été étayés par l'analyse des explications orales fournies par les deux apprenants tout au long de l'intervention.

4.1 Comparaison des productions écrites du prétest, post-test et du test de rétention

Le prétest de Luc (dont la démarche de résolution face à un des problèmes est illustrée à la Figure 2) montre que ce dernier dispose, préalablement à l'intervention, d'un répertoire de stratégies heuristiques adapté à la résolution de problèmes non-routiniers dont il fait usage de façon réfléchie et adaptée. A ce propos, il rapporte tant les informations numériques que contextuelles clés et les met en relation au travers de l'expression, « *à qui on doit les partager* » témoignant ainsi d'une compréhension approfondie du problème. Cette dernière est également illustrée par une analyse du problème en termes de structure mathématique (« *partager* »). De plus, le résultat mathématique est interprété à la lumière des données contextuelles du problème. Finalement, la réponse au problème est communiquée. Ces observations rejoignent les constats d'études antérieures (Muir *et al.*, 2008 ; Pretz *et al.*, 2003 ; Zimmerman & Campillo, 2003).

Pour fêter la naissance de ma sœur, mes parents ont organisé un goûter avec toute la famille. Ils avaient commandé 170 ballons à gonfler pour décorer le jardin. Après la fête, ils ont réparti les ballons entre les 8 cousin(e)s. Combien chacun a-t-il reçu de ballons ?

170 = nombre de ballon
 8 = nombre de person à qui on doit les partager
 $170 : 8 = 21$ r. 2 ballons
 Chacun a reçu 21 ballon et il est resté 2 ballons

Figure 2. Illustration d'une des quatre productions de Luc (expert) au prétest

Comme le montre la Figure 3, la démarche de résolution adoptée par Luc a évolué entre le prétest et le post-test. Dit autrement, son répertoire de stratégies heuristiques s'est enrichi. En effet, si, conformément au prétest, Luc a réalisé une analyse approfondie du problème (non seulement il rapporte les informations importantes mais il les met également en relation), une lecture en termes de structure mathématique, une interprétation réaliste du résultat mathématique et une phrase-réponse, il a également mobilisé de nouvelles stratégies heuristiques. Ainsi, il a estimé l'ordre de grandeur du résultat⁶⁷ et a projeté mentalement les actions à mener pour solutionner le problème avant leur implémentation. Cependant, aucune trace de comparaison de l'estimation avec la réponse obtenue ni de vérification n'est apparente.

Monsieur Dupont voit un sac de billes en promotion dans un magasin. Il décide de faire une surprise à ses petits-enfants et achète un sachet qui contient 210 billes. Il les partage entre ses 8 petits-enfants. Combien chacun a-t-il reçu de billes ?

Je décide
 Il a 8 petits enfants, Combien chacun a-t-il reçu ?
 Il y a 210 billes
 estimation: 25

Mes étapes	Mes calculs
1) Je cherche un multiple de 8 proche de 200	$8 \times ? = 200$ $8 \times 25 = 200$
2) Je soustraits 200	$210 - 200 = 10$
3) Je partage le reste	$10 : 8 = 1$ reste 2

Je communique
 Chacun a reçu 26 billes

⁶⁷ Précisons que Luc a également mené une réflexion, a priori, sur les conditions de validité du résultat au regard du contexte (il propose une réponse entière qui a été arrondie par défaut).

Figure 3. Illustration d'une des quatre productions de Luc (expert) au post-test

Comme illustré par la Figure 4, six semaines après la fin de l'intervention, non seulement, les stratégies heuristiques implémentées au post-test sont à nouveau convoquées mais des traces de vérification de la justesse des calculs effectués sont également présentes. Luc semble donc avoir intégré les stratégies enseignées dans son répertoire initial et se les être appropriées.

Pendant les vacances de Pâques, Emma fête ses 10 ans avec ses amis. Avant de se quitter, elle donne à chacun de ses 8 amis un sachet avec des œufs en chocolat. Le paquet acheté par Emma contient 180 œufs. Combien chacun de ses amis a-t-il reçu d'œufs ?

Je décode
 1 1 1 1 1 1 1 1
 180 œufs

Combien chacun de ses amis a-t-il reçu d'œufs ?

Je estime
 $180 \div 8 = 20$ œufs

Mon plan de résolution

Je divise le nombre d'œufs par le nombre d'amis	Mes calculs
Je retire les 4 œufs en plus	$180 \div 8 = 22$ œufs et $\frac{1}{2}$ œuf
	$180 \div 8 = 22$

Je vérifie
 $22,5 \times 8 = 180$

Je communique
 Chacun recevra 22 œufs et $\frac{1}{2}$ œuf.

Figure 4. Illustration d'une des quatre productions de Luc (expert) au test de rétention

Qu'en est-il de Marie, élève novice ?

Un premier constat qui se dégage de l'analyse du prétest de Marie (Figure 5) est l'absence de trace d'une analyse approfondie de la situation. Effectivement, conformément aux travaux menés par Gamo, Taabane et Sander (2011) et Sander, Levrat, Brissiaud, Porcheron et Richard (2003), il semblerait que Marie ait prélevé les données numériques et les ait retranscrites selon leur ordre d'apparition dans l'énoncé et se soit ensuite basée sur des indices sémantiques, dans ce cas-ci, le terme « réparti », pour inférer l'opération à réaliser. Cette stratégie, qualifiée de superficielle, qui consiste à traiter les tâches de résolution de problèmes comme des activités se limitant à « deviner » l'opération à effectuer avec les données numériques présentes dans l'énoncé sans se préoccuper des données contextuelles est typiquement utilisée par les résolveurs « novices » (Breslow, 2001; Muir *et al.*, 2008).

Un second constat, relatif aux stratégies heuristiques, montre que ces dernières sont très peu convoquées par Marie. Seule la communication de la solution semble avoir été mobilisée. Rien d'étonnant à cela quand on sait que la communication de la solution de même que la transcription des calculs effectués sont chaudement recommandées par les manuels scolaires et les épreuves externes certificatives (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, 2016). Ce constat est renforcé par les résultats d'une étude quasi-expérimentale qui montre que ces deux stratégies cognitives sont les seules à être utilisées relativement fréquemment par les élèves avant toute intervention (Hanin & Van Nieuwenhoven, 2016b). Finalement, le fait de proposer une réponse irréaliste caractérise également les élèves novices. En effet, ces derniers ont développé la ferme croyance que la réalité de la classe de mathématique n'est pas la même que celle de la vie de tous les jours (Lester, Garofalo & Kroll, 1989 ; McLeod, 1992 ; Schoenfeld, 1988, 1992 ; Verschaffel *et al.*, 2000).

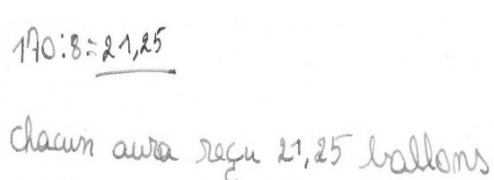
Pour fêter la naissance de ma sœur, mes parents ont organisé un goûter avec toute la famille. Ils avaient commandé 170 ballons à gonfler pour décorer le jardin. Après la fête, ils ont réparti les ballons entre les 8 cousin(e)s. Combien chacun a-t-il reçu de ballons ?
 170 : 8 = 21,25 chacun aura reçu 21,25 ballons.

Figure 5. Illustration d'une des quatre productions de Marie (novice) au prétest

La figure 6 témoigne de la progression de Marie au niveau de la démarche de résolution empruntée. Premièrement, plusieurs indices tels que la mise en fluo des informations importantes et la construction d'un modèle de situation – schématisation des informations tant numériques que contextuelles clés et mise en relation de ces dernières – témoignent d'une analyse approfondie de la situation. Ensuite, bien qu'assez imprécise et non comparée au résultat obtenu, une estimation de l'ordre de grandeur du résultat a été effectuée. En outre, le problème a été analysé en termes de structure mathématique et non de traits superficiels, comme en témoigne l'identification du type de problème et de l'opération mathématique à

utiliser. De plus, Marie vérifie l'adéquation entre ce qu'elle a trouvé et ce qui lui était demandé dans le problème. Cependant, la plausibilité du résultat mathématique obtenu n'est toujours pas questionnée.

Monsieur Dupont voit un sac de billes en promotion dans un magasin. Il décide de faire une surprise à ses petits-enfants et achète un sac qui contient 210 billes. Il les partage entre ses 8 petits-enfants. Combien chacun a-t-il reçu de billes ?

1^{re} décote

210 billes $\rightarrow$ 8 enfant $\Rightarrow$ ~~26,25~~

j'estime.

chaque enfant en aura un
peut-être 201

j'utilise mes connaissances

-il s'agit d'un défi de partage.
je s'ai déjà fait mais je sais
plus s'aurait le quel
il faudra divisé

je fais un plan

je vais devoir diviser 210 par
8.

je fais les calculs nécessaires

210 billes : 8 enfant (210 : 8)

210 : 8 = 26,25

je vérifie

j'ai trouver combien chaque
enfant allait avoir de billes.

je communique

Chaque enfant aura 26,25 billes.

Figure 6. Illustration d'une des quatre productions de Marie (novice) au post-test

Lors du test de rétention (Figure 7), la mise en évidence, dans l'énoncé, des données importantes indique que Marie a débuté par une analyse de la situation. Bien qu'elle se lance ensuite directement dans le calcul, les traces écrites qui suivent – le choix de l'opération et la formulation écrite de cette dernière – suggèrent une compréhension du problème en termes de structure mathématique et, par-là, une analyse approfondie de la situation. Notons la difficulté qu'a Marie à nommer la structure utilisée ici. A propos de l'estimation, le fait qu'elle fasse suite au calcul nous laisse penser qu'elle a été déduite de ce dernier et, en cela, ne peut vraisemblablement pas être considérée comme telle. Comme c'était le cas au post-test, Marie vérifie la congruence entre sa démarche et ce qui lui est demandé dans le problème. Par contre, aucune trace de vérification des calculs n'est visible. Finalement, elle communique une solution dont la plausibilité réaliste a, cette fois, été questionnée.

Pendant les vacances de Pâques, Emma fête ses 10 ans avec ses amis. Avant de se quitter, elle donne à chacun de ses 8 amis un sachet avec des œufs en chocolat. Le paquet acheté par Emma contient 180 œufs. Combien chacun de ses amis a-t-il reçu d'œufs ?

Je débute .
~~8.180=~~
 $180 : 8 = 22,5$

j'estime
 un peu près 22 œufs par sachet

Je fais un plan.

$\boxed{180 \text{ œufs}} : \boxed{8 \text{ pers.}} = \boxed{22,5 \text{ œufs}} \rightarrow 22$

? je ne sais pas comment ça s'appelle ?
 • je vais diviser 180 œuf par 8 personnes (sachet)

~~Vérifie mon raisonnement~~ calcule
 → j'ai fait le bon calcul.
 → ma phrase a du sens.

Je communique (avant, je vérifie).
 chaque enfant aura 22,5 œuf
 → donc 22 impu près.
 Mais il en restera.

Figure 7. Illustration d'une des quatre productions de Marie (novice) au test de rétention

4.2 Analyse des verbatims

Dans cette seconde partie, une compréhension plus fine des changements advenus entre le prétest et les deux tests subséquents est proposée à la lumière des explications orales formulées par les deux apprenants. L'analyse est construite autour de quatre grandes dimensions que sont : les stratégies heuristiques enseignées et, en particulier le décodage ; les conduites d'autorégulation cognitive ; la perception de compétence et les émotions.

4.2.1 Luc, résolveur « expert »

Premièrement, au niveau du décodage, dès le premier problème du dispositif d'enseignement-apprentissage, l'explication fournie par Luc témoigne d'une compréhension approfondie du problème. *« J'ai écrit combien ils avaient de billes au départ et après j'ai vu que Frédéric gagnait 5 billes à la première partie alors, donc j'ai fait pour Rachid 20 billes moins 5 billes ça fait 15 billes. Et Frédéric il avait 13 billes donc plus 5 ça fait 18. Et à la deuxième partie j'ai vu qu'il perdait 10 points, que Rachid perdait 10 billes donc j'ai fait 15 moins 10 ça faisait 5 et 18 billes plus 10 pour Frédéric ça faisait 28. Et la troisième partie et j'ai vu que Rachid en avait 20 à la fin et qu'au départ il en avait 5 alors 5 plus 15 évidemment ça fait 20. Donc j'avais même pas besoin de faire Frédéric »*. Luc retrace les trois parties de jeu et, pour chacune d'elles, les informations numériques et contextuelles clés sont mentionnées et mises en relation. Effectivement, une information concernant l'un des deux garçons est traitée comme ayant un impact sur le nombre de billes des deux garçons. On peut faire le même constat pour les problèmes suivants. Ainsi, à propos du problème 3, Luc rapporte : *« J'ai compris qu'il y en a un qui va prendre un bonbon mais que l'autre en prend plus [Information 1] et au final qu'il y en a un qui en aura 5 de plus que l'autre [Information 2]. Et il faut savoir le nombre de bonbons qu'il y a dans le sachet [Information 3]. »* A nouveau toutes les informations nécessaires à la résolution du problème sont évoquées. Un constat similaire peut être fait lorsque le problème comprend un nombre plus important d'informations, comme le problème 5 : *« J'ai compris que Nicolas part en camp scout pendant 7 jours [Information 1] et que sa mère a peur qu'il manque de vitamines, alors elle lui donne des sachets d'un certain nombre de grammes [Information 2 et 4b]. On doit savoir combien de sachet(s) de vitamines il devra emporter avec lui [Information 6] sachant que le premier jour il déjeune chez lui et le dernier il soupera à la maison [Information 5], c'est tous les matins et tous les soirs qu'il doit prendre une tasse [Information 3] »*. Comme le souligne Luc, décoder le problème est une « habitude ».

Deuxièmement, si Luc possédait préalablement à l'intervention un répertoire de stratégies heuristiques pour la résolution de problèmes, il l'a enrichi avec plusieurs des stratégies enseignées. Effectivement, avant de se lancer dans le problème 3, il annonce qu'il va estimer le résultat. Au problème 4, il explique comment il a procédé : *« J'ai estimé en disant qu'Aurélie avait deux fois moins d'argent que Céline et Céline à deux euros de plus que Béatrice et donc Céline a plus d'argent et Aurélie en a moins »*. A ce propos, précisons que son utilisation de la stratégie d'estimation n'est pas instrumentale mais réfléchie, comme en témoignent les propos suivant : *« je verrai si ma solution est en accord avec mon estimation »*. De plus, bien que capable d'identifier la structure mathématique d'un problème

préalablement à l'intervention, comme l'illustrent sa production du prétest et son explication du premier problème de l'intervention, le dispositif lui permet de se questionner plus explicitement sur cet aspect. Ainsi, au problème 4, il dit « *Je me suis dit que c'était un problème de partage* » ; au problème 5, il explique « *pour moi, il n'y avait rien qui était nouveau parce que j'ai déjà eu ce type de problème vendredi passé* ». Par contre, la projection des actions à mener semble être une stratégie plutôt difficile pour Luc. Ainsi, au problème 4, quand il explique comment il compte poursuivre la résolution du problème, il explique « *pour le plan de résolution je sais pas encore très bien ce que je vais faire, puis pour les calculs, je vais d'abord diviser 18 par 3 pour que ça fasse 6 et alors je verrai ce que je vais faire après* ». Par ses termes, il semble ne pas être au clair sur ce que recouvre la stratégie de planification ; diviser 18 par 3, est en soi la première action à mener. Cependant, s'il arrive à projeter mentalement la première action à mener, il en reste là. Par contre, au problème 6, qui, volontairement⁶⁸ était plus accessible que les précédents, Luc parvient à projeter l'ensemble des actions à entreprendre : « *Je vais d'abord regarder toutes les quantités qu'elle a mises pour le gâteau de six personnes et après je vais regarder toutes les quantités qu'elle a mises pour le gâteau pour les autres élèves et alors j'ai déjà vu qu'il y avait un élément qui n'était pas pour le même nombre d'élèves et alors je me suis dit que c'était celui-là* ». Finalement, si au début de l'intervention, Luc s'appuie sur son niveau de compétences en mathématiques pour justifier la justesse de sa réponse : « *oui, je suis satisfait de mon travail parce que je suis sûr que c'est bon* » [...] *Je suis fort en math* », sa conception de ce qui fonde la justesse de sa réponse évolue. En effet, les propos qu'il tient vers la fin du dispositif montrent qu'il perçoit l'utilité de la stratégie de vérification : « *J'ai quand même bien vérifié pour être sûr qu'il n'y en avait pas d'autre* [...] *Je vais faire « je vérifie » pour être sûr que je ne me suis pas trompé* ».

Troisièmement, plusieurs indices suggèrent que Luc contrôle et régule sa démarche de résolution de problèmes. Ainsi, dès le problème 1, il explique « *Non, j'ai rien barré car pour moi c'était bon* ». Son explication semble indiquer l'application d'une stratégie de contrôle. Cette hypothèse est confortée par les propos qu'il tient au problème 4, « *à un moment donné, je me suis rendu compte que je m'étais gouré qu'Aurélien n'avait pas 2 euros de moins que Céline mais qu'elle avait 2 fois moins alors j'ai refait mes calculs* », de même qu'au problème 6 où il fait preuve d'une utilisation flexible des stratégies heuristiques en soulignant « *ben pour celui-ci, comme il était facile, j'ai pas besoin de faire les étapes* ». Par ailleurs, en jugeant le niveau de difficulté des problèmes qui lui sont proposés, Luc montre qu'il dispose de connaissances métacognitives (Flavell, 1979) : « *j'ai compris que c'est un problème pas très facile* » ; « *Il était beaucoup plus facile que celui de la semaine passée, je trouve* ».

Finalement, quand on interroge Luc sur la perception qu'il a de sa capacité à résoudre avec succès un problème, sans surprise, il répond assez positivement. Ainsi, avant de se lancer dans les problèmes 3 et 5, il nous confie, respectivement, « *je ne pense pas rencontrer*

⁶⁸ Afin d'être en mesure de voir ce que les élèves se sont réellement appropriés durant le dispositif d'enseignement-apprentissage et ce qu'ils sont capables de transférer, nous leur avons proposé un problème de proportionnalité avec lequel ils sont plus familiers.

de difficultés car je suis fort en problèmes » et « ben ça va aller parce que je suis assez fort en calcul mental et en calcul écrit, je suis fort dans tout math ». Un constat semblable peut être fait au niveau de son ressenti émotionnel lors de la résolution de problèmes mathématiques. Effectivement, si avant le dispositif il mentionne ressentir tout le temps du plaisir et très souvent du soulagement, le plaisir reste ensuite la seule émotion ressentie tout au long de l'intervention et ce, y compris, lors du post-test et du test de rétention.

4.2.2 Marie, résolveur « novice »

Tout d'abord, l'explication fournie par Marie à la suite du premier problème de l'intervention est incomplète et imprécise : *« Ben j'ai d'abord mis sur ma feuille comment ... fin...partie 1 Frédéric gagne 5 billes puis j'ai mis le reste et après j'ai mis comment ça s'est passé lors de la partie de l'après-midi ils ont joué un par un et après j'ai mis combien en tout ils ont gagné, et j'ai trouvé qu'ils ont gagné 15 billes ».* Marie évoque directement l'information numérique associée à la première partie et donne le nombre de billes gagné à l'issue des trois parties. Ici, sans l'énoncé sous les yeux, il est difficile de comprendre le problème et ce, car les informations contextuelles et numériques clés sont absentes. L'incapacité de Marie à faire part de ces informations met en évidence une lecture superficielle du problème⁶⁹. Cependant, cette analyse superficielle du problème fait place, dès le deuxième problème, à une lecture plus approfondie qui tient compte des relations présentes entre les entités de l'énoncé, en témoignent les propos tenus par Marie : *« j'ai compris qu'à chaque fois la dernière personne, c'est Sarah, elle aura à chaque fois un bonbon de plus que Mathieu [Information 1], et il faut savoir combien il y a de bonbons dans le paquet [Information 3] ».* Plusieurs indices montrent que Marie a véritablement perçu l'importance de passer par une phase de décodage du problème : *« J'ai fait l'espèce de tableau pour décoder »* (problème 2) ; *« je vais essayer de relire plusieurs fois et après je vais souligner »* (problème 3); qui s'attarde sur l'identification des relations entre les données : *« je vais mettre dans un tableau, pour je décode, je vais mettre toutes les quantités pour les 6 personnes d'un côté et puis à côté les quantités pour la classe »* (problème 5).

Ensuite, le discours de Marie laisse penser qu'elle s'est approprié plusieurs des stratégies heuristiques enseignées. A ce propos, Marie propose une estimation dès le problème 4 : *« Moi ce que j'ai mis elles n'auront pas la même chose toutes les 3 parce qu'Aurélie elle en a 6, Béatrice elle en a -2 et Céline elle en a plus 2 ».* Si Marie semble avoir compris ce que signifie « estimer », l'estimation de l'ordre de grandeur du résultat est cependant trop imprécise que pour servir d'outil de vérification de la solution trouvée. C'est également à partir du problème 4 qu'elle évoque la structure mathématique du problème : *« Il s'agit d'un problème de partage puisqu'on partage Béatrice -2, Céline -2 et tout ».* Sa justification montre qu'elle a compris comment identifier la structure mathématique d'un problème. Ce constat est appuyé par les propos qu'elle tient au problème 6 : *« J'ai compris que déjà il fallait faire fois parce qu'au début on parle de 6 personnes et après de toute la classe ».* La projection des actions à mener semble, par contre, plus ardue. Ainsi, au problème 4, elle nous dit : *« je fais un plan*

⁶⁹ Et une difficulté à prendre en compte l'ensemble des calculs relationnels (relations numériques) en jeu dans le problème.

de résolution, ben là j'étais en train de le faire, donc je sais pas encore ». Par contre, lorsqu'il s'agit d'un problème plus familier, comme le problème 6, Marie parvient à projeter les actions à mener pour solutionner le problème : « *Par exemple, je vais d'abord faire la colonne avec 200g de farine et à côté la colonne avec 600g pour comparer et après je vais regarder qu'est-ce qui est pas logique pour trouver* ». Par ailleurs, notons que les stratégies de vérification, d'interprétation et de communication n'ont pas été explicitement mentionnées par Marie. Cependant, une phrase comme « *je vais faire les autres étapes après* », nous laisse penser que certaines de ces stratégies heuristiques ont bel et bien été mobilisées.

Ensuite, Marie dit à plusieurs reprises s'appuyer sur le correctif du problème précédent : « *puisque on a le correctif du problème 2 je vais essayer de pas faire comme le problème 2 puisque c'est un autre problème, mais de la même façon* ». Ses propos montrent qu'il n'y a pas instrumentalisation mais utilisation réfléchie du correctif. A ce propos, bien que la source de régulation, c'est-à-dire, le correctif du problème précédent, soit externe, le choix délibéré de Marie de s'appuyer sur ce correctif constitue une prémisse d'une conduite d'autorégulation. L'évolution de Marie entre le problème 1 et le problème 3 soutient cette analyse. Effectivement, au problème 1, Marie nous dit « *ben moi j'ai rien barré mais je crois pas que je devais barrer* », ce qui semblerait sous-entendre qu'elle n'a pas contrôlé sa démarche de résolution. Au problème 3, elle mentionne « *je vais essayer de me concentrer, d'essayer de ne pas regarder partout autour de moi, si il y a un truc que je comprends pas, je vais relire plusieurs fois* ». En parlant de se concentrer et de ne pas faire attention à ce qui se passe dans l'environnement de classe, Marie évoque l'usage d'une stratégie de régulation motivationnelle (désignée sous le terme de « *environmental structuring* » par Wolters, 2003) qui consiste à se prémunir contre toute distraction potentielle. Cependant, pour surmonter les difficultés auxquelles elle pourrait être confrontée, Marie ajoute qu'elle va relire plusieurs fois le problème, autrement dit, prendre le temps d'identifier et de s'appropriier l'objectif du problème, stratégie d'autorégulation cognitive mieux connue sous le terme de « *détermination du but* » (Focant & Grégoire, 2008 ; Zimmerman, 2011).

En outre, en concordance avec les travaux ayant montré que les performances antérieures constituent la source la plus déterminante de la perception de compétence en mathématiques (Lent, Lopez & Bieschke, 1991 ; Usher & Pajares, 2009), Marie présente une perception de compétence fragile. Ainsi, au problème 1, elle rapporte : « *je suis un peu bof satisfaite parce que je savais pas s'il fallait additionner les 20 billes, les 13 billes* ». Avant de débiter le deuxième problème, Marie nous confie, spontanément : « *je n'ai pas de force⁷⁰, j'arrive pas bien à faire les problèmes et tout ça* ». Cependant, à l'issue de ce dernier, elle nous dit « *je suis un peu plus satisfaite de moi qu'avant* ». Ainsi, bien que ses expériences antérieures d'échecs colorent sa perception de compétence pour les tâches futures, elles ne la déterminent pas. A ce propos, au problème 4, Marie nous dit, d'une part, « *j'ai peur que j'ai beaucoup de fautes, fin, que je ne réussis pas ou quoi* » et, d'autre part, « *je vais essayer de pas me décourager, je vais essayer de me concentrer* ». Finalement, les expériences de succès vécues tout au long du dispositif de même que l'enseignement d'une démarche de résolution de

⁷⁰ A comprendre comme « points forts ».

problèmes semblent avoir contribué à une amélioration de sa perception de compétence, en témoignent les propos tenus par Marie lors du dernier problème : « *je trouvais qu'il était quand même facile ce serait un peu bête de rater* ». Son ressenti émotionnel évolue de façon similaire (Tableau 3). Effectivement, si au début de l'intervention, Marie ressent exclusivement des émotions négatives, ces dernières disparaissent progressivement pour être remplacées, à la fin de l'intervention par des émotions positives. Ces résultats font écho aux recherches ayant mis à jour l'existence d'un lien bidirectionnel étroit entre émotions et motivation (Hanin & Van Nieuwenhoven, 2016a; Kim & Hodges, 2012 ; Pekrun, 2006).

Tableau 3. Evolution des émotions les plus fréquemment ressenties par Marie tout au long de l'intervention

	Désespoir	Ennui	Nervosité	Peur	Inquiétude	Colère	Soulagement	Fierté	Plaisir
P1	X	X	X	X	X				
P2			X		X	X			
P3									
P4									
P5									X
P6							X	X	X

Note. P1 = après la résolution du problème 1 ; P2 = après la résolution du problème 2 ; P3 = après la résolution du problème 3 ; P4 : après la résolution du problème 4 ; P5 : après la résolution du problème 5 ; P6 : après la résolution du problème 6.

5. Discussion

La présente étude s'est donnée pour objectif d'apporter un éclairage différent et complémentaire sur la problématique de l'évaluation de l'efficacité des dispositifs d'enseignement-apprentissage en résolution de problèmes mathématiques. Cette problématique est classiquement abordée via des comparaisons pré-post. Nous proposons ici une approche originale qui consiste à documenter l'évolution des comportements et des processus cognitifs, métacognitifs, motivationnels et émotionnels adoptés par un résolveur novice et un résolveur expert tout au long de l'implémentation d'un tel dispositif.

L'analyse croisée des traces écrites et des explications orales de Luc montre que ce dernier adopte, préalablement à l'intervention, une démarche de résolution réfléchie et approfondie. Effectivement, Luc réalise une analyse approfondie de l'énoncé, examine le problème en termes de structure mathématique, questionne la plausibilité de sa réponse et communique celle-ci. Cependant, et fort heureusement, le dispositif d'enseignement-apprentissage ne semble pas sans bénéfice pour lui. En effet, tout au long du dispositif de même que six semaines après la fin de celui-ci, il mobilise explicitement et judicieusement un répertoire de stratégies heuristiques plus étendu. Ainsi, s'ajoute l'estimation du résultat, la projection des actions à mener et la vérification de la justesse de ses calculs. Si, à première vue, un tel comportement pourrait refléter le respect, par Luc, du contrat didactique (« si je t'enseigne des stratégies heuristiques c'est pour que tu les utilises »), plusieurs indices tels que l'utilisation de l'estimation comme outil de vérification de la réponse trouvée ou le changement de critère (son niveau de performance versus la mise en place d'une procédure de vérification) pour s'assurer de la justesse de ses calculs témoignent d'une prise de conscience, par Luc, de l'utilité de ces stratégies heuristiques. En d'autres mots, il semblerait

que Luc ne mobilise pas les stratégies heuristiques parce que son enseignante le lui demande mais plutôt parce qu'il en perçoit l'utilité. Notons, cependant, la difficulté que représente la projection des actions à mener lorsque le problème est moins familier, rejoignant les constats de Focant et Grégoire (2008). Cependant, certains pourraient dire, à juste titre d'ailleurs, que ce n'est pas parce qu'il n'y a aucune trace de ces trois nouvelles stratégies au prétest qu'elles ne faisaient pas partie de la démarche mentale de résolution adoptée par Luc au prétest. A ce propos, l'enseignante impliquée dans le dispositif nous confirme que ce sont des stratégies heuristiques qui sont très rarement utilisées dans les classes *« estimer ça c'est quelque chose que je travaillais pas du tout dans les problèmes or c'est important pour voir si la réponse correspond [...] le plan de résolution, ça je faisais pas du tout, je trouve ça vraiment difficile car c'est voir comment tu t'y prends pour résoudre le problème, c'est mettre une théorie sur ce que tu fais concrètement en fait [...] vérifier, ça, moi je ne faisais pas toujours, pour être honnête je laisse souvent tomber, parce qu'on est souvent court au niveau du temps »*. Ses propos rejoignent les constats effectués par d'autres chercheurs (Desoete, 2007 ; Verschaffel et al., 2000). Concernant les dimensions motivationnelles et émotionnelles, peu de changements ont été observés et cela, probablement parce que les élèves experts, contrairement à leurs pairs novices, disposent déjà de croyances motivationnelles positives et d'un rapport émotionnel positif aux tâches de résolution de problèmes (Zimmerman & Campillo, 2003). Notons, toutefois, la disparition du soulagement. Cet amenuisement est peut-être à mettre en lien avec la prise de conscience par Luc de l'utilité de mettre en œuvre une procédure de vérification. Cette dernière lui permettant d'être certain de la justesse de sa solution, il ne ressentira probablement plus de soulagement lors de la validation de sa copie par l'enseignant. Par ailleurs, quand Luc donne son avis sur le dispositif, il confirme l'intérêt de ce dernier pour un résolveur expert : *« j'ai plus facile parce qu'il y a des étapes plus claires que je peux faire une par une, surtout pour les problèmes plus compliqués. Et oui, ça m'a aidé de résoudre régulièrement des problèmes car ils fonctionnent tous un peu de la même manière, fin c'est la même technique à chaque fois. Je sais comment ça marche maintenant [...] les questions, elles m'ont aidé à réfléchir, à mieux comprendre le problème, ce sont des questions que j'allais jamais me poser tout seul »*. Cet intérêt réside d'une part, dans le développement de la pensée formelle du résolveur expert, pour reprendre les termes de Piaget (1974), en témoigne la prise de conscience par Luc que les problèmes numériques verbaux sont sous-tendus par une même procédure de résolution et, d'autre part, dans l'élargissement de son répertoire de stratégies heuristiques et l'approfondissement de son questionnement métacognitif, qui le rendent plus efficace dans les problèmes plus complexes.

A l'inverse, la production de Marie au prétest montre l'emprise du contrat didactique ou des « règles du jeu », largement documentés au sein de la littérature (Fagnant, 2008 ; Fagnant et al., 2003 ; Verschaffel et al., 2000). Effectivement, la lecture superficielle, linéaire et plutôt numérique du problème, effectuée par Marie, illustre la règle selon laquelle un problème peut être directement résolu par l'application d'une des quatre opérations arithmétiques de base au départ des nombres présents dans l'énoncé et celle qui dit que le contexte n'est qu'un habillage sans incidence sur la tâche mathématique à réaliser. En communiquant une réponse dont la plausibilité n'a pas été questionnée, Marie montre qu'elle a fait sienne la croyance selon laquelle il existe un fossé entre les problèmes scolaires et le monde réel. De plus, elle

dispose d'un répertoire de stratégies heuristiques très pauvre. Cependant, dès le deuxième problème de l'intervention des changements sont déjà perceptibles. Tout d'abord, au niveau de l'analyse du problème, les données tant numériques que contextuelles sont mises en relation et la structure mathématique du problème est identifiée dénotant d'une compréhension approfondie. Ensuite, Marie s'est essayée plusieurs fois à l'estimation. Toutefois, les tentatives n'ont pas toujours été concluantes démontrant par-là la difficulté que représente cette heuristique pour des élèves novices (Montague & van Garderen, 2003). En outre, Marie vérifie l'adéquation entre sa démarche et ce qu'on lui demande, mettant ainsi en œuvre une procédure de vérification partielle. Néanmoins, aucune trace de vérification de ses calculs n'est apparente sur sa feuille, ce qui rejoint un constat fait dans un contexte et avec un public semblables (Hanin & Van Nieuwenhoven, 2018). A ce sujet, nous postulons que la résolution stricto sensu du problème ayant déjà sollicité une bonne partie des ressources temporelles et cognitives du résolveur novice, ce dernier pourrait ne plus trouver l'énergie cognitive nécessaire à la mise en place d'une procédure de vérification. D'autre part, il faut attendre le test de rétentio pour que Marie interprète le résultat mathématique à la lumière des données contextuelles de l'énoncé. Ce constat semble montrer combien les croyances des élèves vis-à-vis de la résolution de problèmes mathématiques et, en particulier, celle constituant à croire que la réalité décrite dans un problème est différente de la vie réelle, ont une portée négative forte sur le type de démarches mis en œuvre par les élèves pour résoudre des problèmes (Lester *et al.*, 1989 ; McLeod, 1992 ; Schoenfeld, 1992 ; Verschaffel *et al.*, 2000). De surcroît, plusieurs indices montrent que Marie progresse d'une régulation soutenue par des facteurs externes vers une autorégulation de sa démarche de résolution. En outre, l'analyse montre que si sa perception de compétence et son ressenti émotionnel sont dysfonctionnels, il est possible de les faire évoluer, en lui proposant un environnement d'enseignement-apprentissage qui, notamment, lui donne du contrôle sur la tâche et lui permet de vivre des expériences de succès, rejoignant ainsi les constats faits par d'autres recherches (Sorić, Penezić & Burić, 2013 ; Kim & Hodges, 2012 ; Tzohar-Rozen & Kramarski, 2014). Notons que ces changements motivationnels et émotionnels reflètent le développement, par Marie, de stratégies de régulation motivationnelle et émotionnelle, venant renforcer le constat fait plus haut du développement d'une conduite autorégulée. Cette dernière confirme nos constats : *« Oui, ça m'a aidée parce que quand j'étais avant je savais pas par quoi je devais passer, par quoi commencer. Le Mémo, il m'aide parce qu'il dit bien comment on doit faire chaque étape. Et surtout je décède aide à comprendre mieux, on voit les informations importantes, faire un tableau, c'est visuel et on a plus facile. [...] Oui, je me sens plus à l'aise car à force de faire des problèmes, je m'améliore. Avant j'aimais pas trop les problèmes et maintenant je commence à un peu plus aimer. [...] Les questions, ça m'aide parce que comme ça je comprenais mieux le problème ; je savais comment faire le problème après quand je rentrais en classe ».*

6. Conclusion

La présente étude montre qu'évaluer l'efficacité d'un dispositif d'enseignement-apprentissage en examinant les changements qui s'opèrent tout au long de son

implémentation permet de compléter et de nuancer les résultats provenant des évaluations classiques de type pré-post. Effectivement, si ces dernières concluent, bien souvent à des constats globaux, concernant tous les élèves (augmentation de la fréquence d'utilisation des stratégies heuristiques enseignées et amélioration des performances), notre approche affine et explique ces constats en mettant en avant une déconstruction de stratégies et croyances inappropriées pour résoudre des problèmes non-routiniers et le développement de stratégies d'analyse en profondeur et d'autorégulation, chez le résolveur novice ainsi que le développement d'un niveau de compréhension plus formel de la résolution de problèmes, chez le résolveur expert. Cependant, comme le soulignent de nombreux auteurs, cette approche souffre également de plusieurs limites. Effectivement, en se focalisant sur un nombre restreint de sujets, elle ne permet pas de généraliser les résultats obtenus à l'ensemble des résolveurs novices et experts de cinquième primaire ni de recenser les changements les plus fréquents (Paquay, De Ketele & Crahay, 2006 ; Pinard, Potvin, Rousseau, 2004). Cette approche de l'évaluation s'inscrit donc en complémentarité avec les approches classiques de type pré-post. Dit autrement, ce n'est que combinées, que ces approches permettent de circonscrire complètement l'efficacité des dispositifs d'enseignement-apprentissage (Amaratunga, Baldry, Sarshar & Newton, 2002).

Cette étude a d'importantes retombées pédagogiques. Effectivement, l'analyse montre qu'une perception de compétence fragile, des émotions essentiellement négatives détournant l'attention de l'apprenant de la tâche, un répertoire de stratégies heuristiques pauvre ainsi que des croyances erronées concernant les tâches de résolution de problèmes sont autant d'obstacles à l'engagement et à la persévérance de l'apprenant. En invitant les enseignants à observer davantage leurs élèves en situation de résolution de problèmes et à croiser leurs observations avec les constats qu'ils font lors de la correction des productions écrites de leurs élèves, ils deviennent à même d'identifier plus finement ce qui fait défaut chez chacun de leurs élèves en difficulté. Le recueil, par l'enseignant, d'indices lui permettant de réguler son enseignement est une des facettes de l'évaluation formative informelle (Mottier-Lopez, 2012). De plus, la présente étude souligne l'importance d'offrir aux élèves des dispositifs d'enseignement-apprentissage qui prennent en compte tant les dimensions cognitives (stratégies heuristiques de résolution de problèmes), que motivationnelles (perception de compétence) et émotionnelles (régulation émotionnelle) de l'apprentissage. Bien évidemment, de tels dispositifs supposent que l'enseignant ait, lui-même, des croyances et présupposés adéquats, vis-à-vis de l'enseignement de la résolution de problèmes et de ce qu'est un « bon » problème. Par ailleurs, nos résultats montrent que l'élève novice rencontre de la difficulté à anticiper le résultat, à identifier la structure mathématique d'un problème et à projeter les actions à mener pour résoudre un problème donné. Or, plusieurs recherches ont pointé l'importance de recourir à ces stratégies heuristiques pour parvenir à une solution correcte (Bassok, 2003 ; Muir *et al.*, 2008 ; Zimmerman & Campillo, 2003). Une piste pourrait être de travailler isolément ces trois stratégies mais seulement une fois la démarche globale de résolution présentée. Effectivement, une étude menée par Hanin et Van Nieuwenhoven (2018c) a montré qu'il était plus bénéfique pour l'apprentissage d'enseigner la démarche de résolution de problèmes dans toute sa complexité plutôt que d'aborder chaque heuristique isolément.

Outre les limites associées à l'approche de l'évaluation de l'efficacité de dispositifs d'enseignement-apprentissage choisie ici, d'autres limites sont à souligner. Premièrement, le manque de structure dans le test de rétention de Marie et la présence d'une estimation de l'ordre de grandeur du résultat « calculée » plaide pour une légère régression qui, selon nous, pourrait être expliquée par la durée trop courte du dispositif (7 semaines). Ce constat est appuyé par le fait que si Luc fait montre d'une utilisation flexible des stratégies heuristiques, ce n'est pas le cas de Marie. Le dispositif a permis à cette dernière de se familiariser avec les différentes stratégies heuristiques⁷¹ enseignées, de se les approprier dans différents problèmes non-routiniers et d'en comprendre l'utilité mais pas de questionner cette utilité au regard du type de problème proposé. Or, c'est sur une utilisation réfléchie de ces stratégies, par opposition à une utilisation instrumentalisée que se fonde l'expertise en mathématiques. Deuxièmement, les conclusions tirées de la présente étude reposent sur l'observation de deux sujets. Il est donc nécessaire, pour renforcer la qualité des données qualitatives recueillies, de les conforter et de les compléter par d'autres études de cas. Effectivement, comme le soulignent Mukamurera, Larcourse et Couturier (2006), les recherches qualitatives doivent pouvoir faire sens ailleurs (principe de transférabilité). Pour cela, il faut qu'au-delà des singularités locales et individuelles, des tendances plus générales puissent être dégagées. A ce propos, les études ayant montré des rapports différents à la discipline mathématique selon le genre (Frenzel et al., 2007 ; Rozendaal, Minnaert & Boekaerts, 2001), il serait intéressant de répliquer la présente étude avec des résolveurs novices et experts du même sexe. Ces études complémentaires permettraient de nuancer les changements observés. Troisièmement, afin d'avoir une compréhension plus pointue des changements qui se sont produits tant au niveau de la perception de compétence de Marie qu'au niveau de ses émotions, il serait intéressant de cibler davantage ces dimensions dans le guide de questions utilisé, en sollicitant, par exemple, les sujets sur les stratégies de régulation motivationnelle (Wolters, 2003) et émotionnelle utilisées (Hanin, Grégoire, Mikolajczak, Fantini-Hauwel & Van Nieuwenhoven, 2017). Quatrièmement, on le sait, le(s) type de problèmes proposé(s) dans les dispositifs d'enseignement-apprentissage joue(nt) un rôle important non seulement dans l'appropriation par l'apprenant des stratégies heuristiques enseignées, mais également dans sa capacité à les transférer dans d'autres problèmes (Fuchs et al., 2003). A l'avenir, il serait donc judicieux d'accorder une attention plus spécifique au choix des problèmes et à une éventuelle mesure de la capacité de transfert de l'apprenant. Finalement, les résultats de la présente étude gagneraient à être croisés avec une analyse du rôle des régulations interactives entre pairs dans le développement de conduites d'hétérorégulation et d'autorégulation afin d'avoir une compréhension encore plus complète des changements observés.

⁷¹ Afin d'affiner davantage notre compréhension de l'appropriation, par les élèves, des stratégies heuristiques enseignées et ainsi éclairer davantage leurs résolutions écrites, il serait judicieux de revenir en détail sur leurs productions lors de l'entretien.

Chapitre 13

Rôle des régulations interactives entre pairs dans le développement d'une expertise adaptative en résolution de problèmes : une étude de cas⁷².

Pour endiguer les difficultés rencontrées tant par les élèves que par les enseignants face aux tâches de résolution de problèmes mathématiques, les chercheurs se sont lancés dans la conception et l'évaluation de dispositifs d'enseignement-apprentissage favorisant le développement d'une expertise adaptative. Cependant, l'évaluation de l'efficacité de ces dispositifs repose essentiellement sur des comparaisons prétest-post-test, qui ne permettent pas de mettre à jour les changements plus diffus et de nature processuelle ni de comprendre les changements observés. Ces aspects supposent de se pencher sur ce qui se passe tout au long de l'intervention. L'identification des changements (méta)cognitifs, (méta)émotionnels et (méta)motivationnels advenant tout au long de l'intervention chez un résolveur « novice » et « expert » a déjà fait l'objet d'une recherche précédente, il s'agit maintenant de comprendre ces changements à la lumière des composantes du dispositif. Plus précisément, cette étude examine le rôle des régulations interactives dans le développement, chez un résolveur « novice », d'une expertise adaptative en résolution de problèmes. L'analyse croisée des traces écrites et des explications orales de l'apprenant témoigne d'une évolution progressive du statut de novice vers celui d'expert : analyse approfondie de la situation, appropriation réfléchie des stratégies heuristiques enseignées, développement de stratégies de contrôle et d'ajustement, adoption de croyances motivationnelles et d'émotions plus adaptées. Les résultats indiquent qu'en invitant l'apprenant à questionner et à réfléchir sur sa propre démarche de résolution, les interactions entre pairs, soutenues par les interactions avec l'enseignant et les outils mis à sa disposition, y ont largement contribué.

Hanin, V., & Van Nieuwenhoven, C. (soumis). Rôle des régulations interactives entre pairs dans le développement d'une expertise adaptative en résolution de problèmes : une étude de cas. *Evaluer. Journal international de recherche en éducation et formation*.

⁷² Article présenté lors du colloque du REF 2017 à Paris.

Rôle des régulations interactives entre pairs dans le développement d'une expertise adaptative en résolution de problèmes : une étude de cas.

1. Introduction

Le développement de compétences d'analyse et de résolution de tâches complexes est devenu un enjeu majeur de nos sociétés occidentales (NTCM, 2000 ; Verschaffel, Greer & Van Dooren, 2008). Au niveau des curricula en mathématiques, cette demande s'est traduite par la propulsion de la résolution de problèmes au cœur des apprentissages mathématiques. Depuis lors, force est de constater que la résolution de problèmes mathématiques constitue une véritable pierre d'achoppement pour les élèves tant du primaire que du secondaire (Crahay & Detheux, 2005 ; Demonty & Fagnant, 2014 ; Montague, Enders, & Dietz, 2011 ; Ozsoy, & Ataman, 2009). Effectivement, si, ces derniers ne rencontrent que très peu de difficulté à appliquer, mécaniquement, des procédures de calculs automatisées, la mobilisation réfléchie de ces mêmes procédures relève de l'impossible pour beaucoup (Demonty, Blondin, Matoul, Baye & Lafontaine, 2013; Perels, Gürtler & Schmitz, 2005). En outre, les recherches mettent en évidence des sentiments de compétence et de contrôlabilité fragiles ainsi qu'un rapport très souvent négatif vis-à-vis des tâches de résolution de problèmes chez ces mêmes élèves (OECD, 2017 ; Zimmerman & Campillo, 2003). Or, c'est justement sur une implémentation réfléchie, flexible et avisée de stratégies cognitives et d'autorégulation cognitive, sur des croyances motivationnelles positives et sur un rapport émotionnel positif que se fondent les tâches de résolution de problèmes. Ces différentes aptitudes recouvrent, ce que plusieurs chercheurs ont appelé l'expertise adaptative (Hatano et Inagaki 1986; Verschaffel, Greer & De Corte, 2000). Du côté des enseignants, plusieurs recherches soulèvent les difficultés qu'ils rencontrent pour aider les élèves face à ce type de tâche (Demonty & Fagnant, 2014 ; Ginsburg, Cooke, Leinwand & Pollock, 2005).

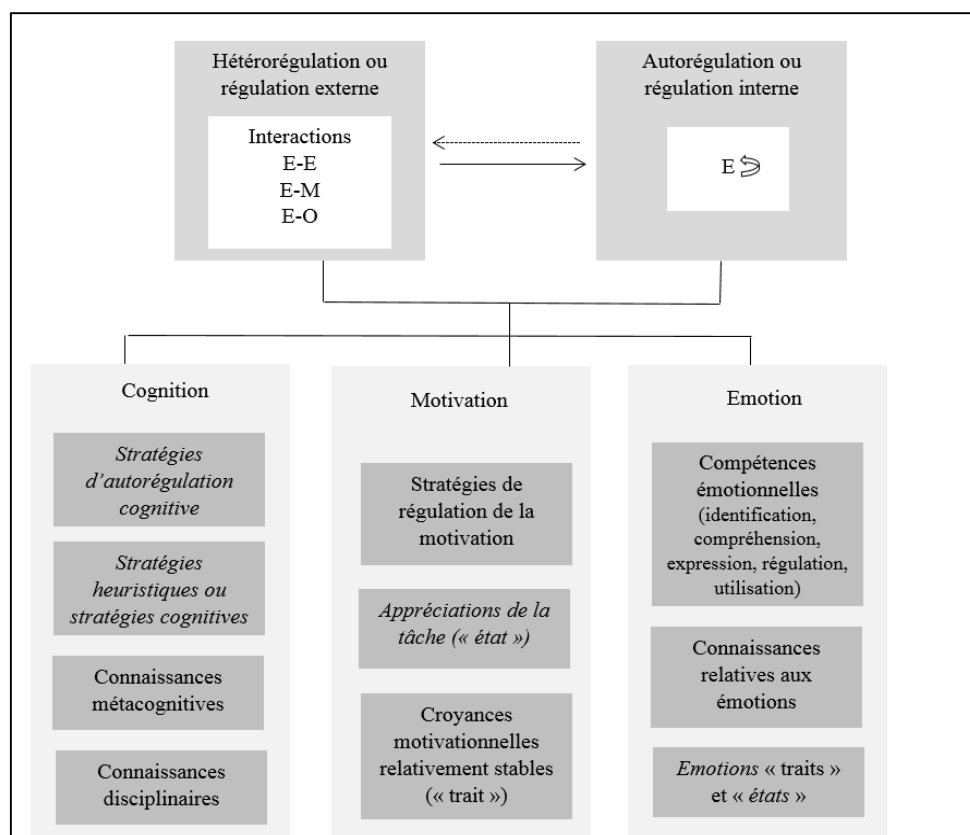
Les chercheurs se sont penchés sur la question et ont évalué l'efficacité de nombreux dispositifs d'enseignement-apprentissage visant à développer, une expertise adaptative (Blum & Leiß, 2007 ; Hohn & Frey, 2002 ; Mevarech & Kramarski, 1997 ; Tzohar-Rozen & Kramarski, 2014 ; Verschaffel *et al.*, 2000). Cette efficacité a, cependant, essentiellement été évaluée via des comparaisons prétest-post-test. Par conséquent, s'il est possible de mettre à jour de grandes tendances qui concernent l'ensemble des élèves, les changements plus diffus, plus lents, de nature processuelle sont plus difficiles à faire ressortir avec une telle approche. D'autre part, les informations recueillies ne permettent pas de comprendre les changements advenus. Pour éclairer ces aspects, il faut se pencher sur ce qui se passe durant l'intervention. A ce propos, nous avons souligné, dans une étude précédente, la nécessité de compléter ce type d'évaluation de l'efficacité des dispositifs d'enseignement-apprentissage par une évaluation reposant sur l'identification des changements (méta)cognitifs, (méta)émotionnels

et (méta)motivationnels qui s'opèrent, chez des élèves à profils spécifiques (« novice⁷³ » vs. « expert ») tout au long de l'implémentation d'un dispositif (Hanin & Van Nieuwenhoven, 2018b). Nous y avons dépeint l'évolution des comportements et stratégies adoptés par un résolveur « novice » et par un résolveur « expert » et montré que s'ils bénéficiaient tous deux de l'intervention, ils en retiraient des bénéfices de nature bien différente. Cependant, si cette approche a permis d'approfondir, d'affiner et de nuancer les constats généraux résultant des évaluations de type pré-post, elle ne documente pas l'origine des changements observés. Documenter cet aspect suppose d'adopter une autre approche de l'évaluation de l'efficacité des dispositifs centrée sur ses composantes. A ce sujet, les régulations interactives entre pairs constituent une des composantes centrales des dispositifs d'enseignement-apprentissage (Blum & Leiß, 2007 ; Hohn & Frey, 2002 ; Mevarech & Kramarski, 1997 ; Tzohar-Rozen & Kramarski, 2014 ; Verschaffel *et al.*, 2000). Si jusqu'à présent c'est le dispositif, dans son ensemble, qui fait l'objet de l'évaluation, les recherches conduites dans le champ théorique de l'analyse des régulations interactives ont mis à jour, dans le domaine des mathématiques, le potentiel des régulations interactives à induire, chez les élèves, des conduites d'hétérorégulation pouvant conduire à des conduites d'autorégulation (Fagnant, Dupont & Demonty, 2016 ; Lepareur & Grangeat, 2017 ; Mottier Lopez, 2007). La présente étude s'inscrit dans le prolongement de notre étude précédente, en évaluant le rôle joué par les régulations interactives, et, en particulier, celles intervenant entre pairs, dans les changements observés tout au long de l'intervention, dit autrement, dans l'appropriation des stratégies cognitives et métacognitives enseignées mais également dans l'adoption de croyances motivationnelles et d'émotions positives.

2. Composantes de l'expertise adaptative

Une modélisation des différentes composantes impliquées dans l'expertise adaptative en résolution de problèmes mathématiques est proposée à la Figure 1. Les variables examinées dans le cadre de cette étude sont présentées dans les paragraphes ultérieurs.

⁷³ A l'instar de plusieurs chercheurs (Bassok, 2003 ; Brand, Reimer & Opwis, 2003), nous utilisons les termes « novice » et « expert » pour désigner les élèves avec de faibles ou bonnes compétences en résolution de problèmes non-routiniers. En ce sens, notre conception d'élève « novice » et d'élève « expert » est relative (Novick, 1988).



Note. Les variables examinées dans le cadre de cette étude apparaissent en italique

Figure 1. Composantes (méta)cognitives, (méta)motivationnelles et (méta)émotionnelles impliquées dans l'expertise adaptative.

2.1 Les régulations interactives

Introduit en 1988 par Allal, le concept de régulation interactive désigne les régulations prenant place dans les interactions entre l'élève et les ressources de son environnement social et matériel (Allal, 2007). La régulation interactive intervient donc au cours de l'activité de l'élève, pour soutenir les processus de régulation. Trois principales modalités de régulation interactive ont été distinguées : l'interaction entre l'enseignant et un élève ou un groupe d'élèves (M-E), l'interaction entre élèves (E-E) et l'interaction entre l'élève et les outils matériels mis à sa disposition (E-O). Ces trois modalités de régulation interactive constituent des sources potentielles d'hétérorégulation pouvant déclencher des conduites d'autorégulation chez l'élève (Allal, 2007 ; Mottier-Lopez, 2012). Au niveau de l'interaction M-E, de nombreux travaux soulignent le rôle fondamental de l'enseignant en tant que « questionneur », encourageant ainsi les élèves à réfléchir sur leurs actions et démarches (Fagnant *et al.*, 2016 ; Lepareur & Grangeat, 2017 ; Mottier Lopez, 2007). Concernant l'interaction E-E, les gains, tant en termes cognitifs, que motivationnels et affectifs, d'une réelle coopération entre élèves dans la réalisation de tâches complexes et, de l'évaluation

mutuelle ont été soulignés par diverses études (Buchs, Lerhaus & Crahay, 2013 ; Laveault, 2007). Quant à l'interaction E-O, cette modalité de régulation est surtout utile pour soutenir les deux modalités de régulation précédentes (Allal, 2007). Cependant, s'il ne faut pas sous-estimer l'importance des régulations interactives, dès lors que les conduites d'autorégulation ne s'acquièrent pas spontanément ni automatiquement (Schunk, 2001), il ne faut pas non plus perdre de vue que ce sont les conduites d'autorégulation, seules, qui assurent l'apprentissage (Allal, 2007).

2.2 Les stratégies heuristiques et d'autorégulation cognitive

A l'heure actuelle, plusieurs processus de résolution cycliques sont utilisés pour décrire les étapes mises en œuvre par les élèves pour résoudre un problème verbal non-routinier⁷⁴ (Blum & Leiß, 2007; Galbraith & Stillman, 2006; Polya, 1957; Schoenfeld, 1992; Verschaffel *et al.*, 2000). Dans une étude précédente (Hanin & Van Nieuwenhoven, 2016b), nous proposons une intégration des principaux processus de résolution existants et des recommandations résultant d'études empiriques (Fuchs, Fuchs, Prentice, Burch, Hamlett, et al., 2003; Fagnant & Demonty, 2005) au sein d'un processus de résolution cyclique unique (Figure 2). Notons que la majorité des étapes constituant ce processus de résolution sont des stratégies heuristiques⁷⁵. Si la disposition linéaire constitue une chronologie pour l'enseignement du processus de résolution, des allers-retours entre les différentes stratégies heuristiques sont indispensables.

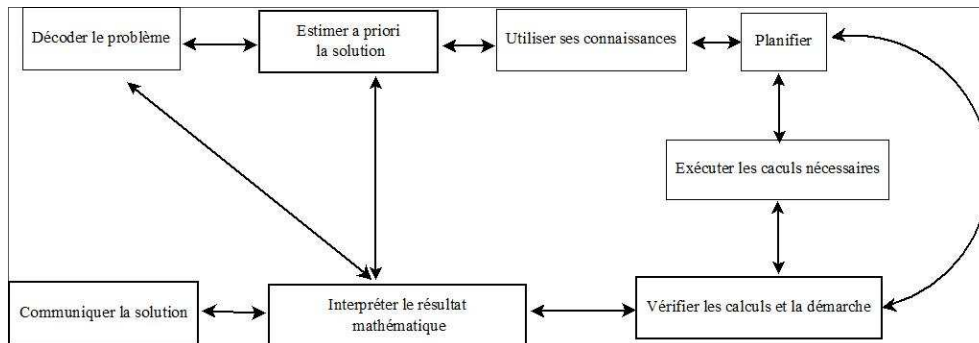


Figure 2. Modélisation processuelle des étapes clés d'une démarche experte de résolution de problèmes

Cependant, résoudre un problème requiert, d'une part, de pouvoir mobiliser ses connaissances et ses stratégies heuristiques avec discernement et flexibilité de façon à

⁷⁴ Dans la présente étude, nous utilisons les termes « problème non-routinier » et « problème » de façon interchangeable, au sens de Elia, van den Heuvel-Panhuizen et Kolovou (2009) pour désigner des problèmes dont la solution n'apparaît pas immédiatement et, dont la résolution ne repose pas sur l'application d'une procédure apprise quelques jours plus tôt.

⁷⁵ Dans cet article, nous avons fait usage du terme « estimation » pour désigner ce que, dans la lignée des travaux de Saboya et al. (2015), nous avons appelé, au chapitre 1, « anticipation ».

s'adapter au contexte donné et, d'autre part, de pouvoir contrôler le(s) produit(s) de leur implémentation (De Corte, 2012 ; Focant & Grégoire, 2008). Ces fonctions sont remplies par les stratégies d'autorégulation cognitive. A ce sujet, s'il n'y a pas de consensus à l'heure actuelle sur leur nombre et leur dénomination, beaucoup de spécialistes se rallient autour d'une typologie à quatre dimensions (Cartier, Butler & Janosz, 2007 ; Focant & Grégoire, 2008 ; Patrick, Ryan & Pintrich, 1999; Zimmerman, 2011). Si la détermination du but et la stratégie de planification concernent la préparation de l'action ; les stratégies de contrôle et d'ajustement, pour leur part, soutiennent l'action en cours et son résultat (pour une revue plus détaillée des stratégies d'autorégulation cognitive, voir Focant & Grégoire, 2008).

Comme nous pouvons le constater, les stratégies cognitives et d'autorégulation cognitive entretiennent un étroit parentage conceptuel. A ce sujet, Veenman, Van Hout-Wolters et Afflerbach (2006) précisent que « there is a higher-order agent overlooking and governing the cognitive system, while simultaneously being part of it » (p.5). Pour comprendre en profondeur ces deux construits, il ne s'agit donc pas de chercher à les démêler, mais plutôt d'éclaircir leurs contributions respectives au sein de cette relation symbiotique. A ce propos, les chercheurs inscrivent les activités cognitives et métacognitives au sein d'un processus circulaire. La métacognition y est vue comme un ensemble d'auto-instructions (décisions autonomes et réfléchies) auxquelles les activités cognitives donnent sens. Ces activités cognitives sont, à leur tour, soumises à des processus métacognitifs tels que le contrôle et la régulation. Comme le soulignent Berger et Büchel (2012, p.110), « ce qui justifie le qualificatif de métacognitif attribué à ces stratégies est la décision ou le choix de les utiliser ainsi que la décision d'arrêter de les utiliser ou d'en changer, de les appliquer plus précisément, etc. ». Ainsi, l'action délibérée de vérifier le résultat obtenu (métacognitif) ne peut se faire sans opérer de nouveaux calculs (stratégie cognitive).

Cependant, disposer d'un répertoire de connaissances et de stratégies appropriées n'induit pas de facto leur mise en œuvre. Encore faut-il que l'apprenant soit motivé et émotionnellement disposé à les activer et à maintenir les efforts déployés tout au long du processus d'apprentissage (Ahmed, 2017 ; Berger & Büchel, 2012 ; Cosnefroy, 2004 ; Zimmerman, 2011).

2.3 L'importance des croyances motivationnelles

Dans cette section, nous nous intéressons à trois croyances motivationnelles (« trait ») ou appréciations motivationnelles (« état ») — selon que l'on s'intéresse à la résolution de problèmes mathématiques, en général, ou à une tâche de résolution spécifique — qui jouent un rôle particulièrement déterminant dans le processus d'apprentissage : le sentiment d'efficacité personnelle (SEP), la perception de contrôlabilité et les attributions causales (Boekaerts, 1997 ; Zimmerman, 2011).

Le premier désigne la perception qu'à l'individu de sa capacité à entreprendre les actions nécessaires pour accomplir avec succès une tâche donnée (Bandura, 1997). A ce sujet, les recherches montrent que les apprenants qui ont un SEP élevé ont un recours plus fréquent aux stratégies cognitives et métacognitives, persévèrent davantage face aux difficultés,

déployaient plus d'effort et ont de meilleures performances en résolution de problèmes comparativement à ceux qui doutent de leurs capacités (Bandura, 1997 ; Pajares, 2008 ; Zimmerman, 2011). La perception de contrôlabilité, quant à elle, réfère à « la perception qu'à un élève du degré de contrôle qu'il peut exercer sur le déroulement et les conséquences d'une activité pédagogique » (Viau & Bouchard, 2000, p.18). Si cette dernière caractérise le degré de contrôle qu'a le sujet à l'entrée dans la tâche, les attributions causales, pour leur part, informent, de la perception qu'il a de son degré de contrôle sur le produit de ses actions (Weiner, 1979). Les études montrent qu'attribuer ses résultats à des causes incontrôlables (e.g., talent, chance) entrave l'initiation du processus d'autorégulation suivant tandis que la convocation de causes contrôlables (e.g., effort, stratégie utilisée) soutient l'engagement dans la tâche suivante et la mise en œuvre de conduites d'autorégulation (Graham & Williams, 2009; Weiner, 1979).

2.4 L'importance des émotions

Si les disciplines et tâches scolaires activent des croyances motivationnelles chez l'apprenant, elles font également émerger des émotions positives et négatives. Ces émotions influencent notablement la qualité de l'apprentissage. Plus précisément, il a été démontré que, globalement, à l'inverse des émotions positives, les émotions négatives détournent l'attention de l'apprenant de la tâche, diminuent sa motivation pour celle-ci et favorisent l'usage de stratégies rigides, un traitement superficiel de l'information de même que le recours à une régulation externe (Ashcraft & Krause, 2007; Clore & Hunstinger, 2009 ; Isen, 2000 ; Pekurn, 2014). Les études empiriques conduites auprès d'apprenants du primaire mettent à jour un ressenti plutôt négatif vis-à-vis de la résolution de problèmes mathématiques (D'Mello & Graesser, 2011 ; Frenzel, Pekrun & Goetz, 2007; Peixoto et al., 2017).

3. Objectif de l'étude

L'objectif de la présente étude est de proposer une nouvelle approche de l'évaluation de l'efficacité d'un dispositif d'enseignement-apprentissage qui s'inscrit en complémentarité des approches existantes. Ces dernières, comme nous l'avons mentionné dans l'introduction, sont de deux types : d'une part, les évaluations qui reposent sur des comparaisons pré-post (Hanin & Van Nieuwenhoven, 2016b ; Mevarech & Kramarski, 1997 ; Tzohar-Rozen & Kramarski, 2014 ; Verschaffel et al., 2000) et, d'autre part, les évaluations qui prennent appui sur une analyse des changements advenant tout au long de l'implémentation d'un dispositif (Hanin & Van Nieuwenhoven, 2018b). L'approche évaluative adoptée ici consiste à évaluer le rôle des régulations interactives, et particulièrement, celui des interactions entre pairs, dans le développement d'une expertise adaptative, c'est-à-dire, dans l'appropriation des stratégies cognitives et métacognitives enseignées et dans l'adoption de croyances motivationnelles et d'un rapport émotionnel positifs, tout au long de l'implémentation d'un dispositif. Il s'agit donc ici de comprendre les changements advenant tout au long de l'intervention à la lumière des différentes modalités de régulation interactives proposées au sein de l'intervention. Afin d'être en mesure de saisir toute la complexité du phénomène à l'étude, nous avons adopté

une approche qualitative à visée explicative et, plus spécifiquement, une étude de cas unique (Baxter & Jack, 2008 ; Yin, 1994). Cette approche permet d'accéder à une description et compréhension détaillées et contextualisées du cas qui nous préoccupe et de ses complexités. De plus, l'étude de cas est un format d'investigation qui se préoccupe, tout particulièrement, de changements et de processus de développement (Willig, 2013 ; Yin, 1994). L'unité d'analyse retenue est donc le rôle des régulations interactives dans le processus de développement d'une expertise adaptative et non l'individu lui-même.

4. Méthodologie

4.1 Participant

L'intervention en résolution de problèmes mathématiques, dont il est question dans la présente étude, a été implémentée dans une classe de cinquième primaire située en Belgique francophone. Le choix de l'élève pour l'étude de cas repose sur deux critères. Premièrement, la sélection a été réalisée parmi les élèves présentant un profil de résolveur « novice » et ce afin d'être en mesure de documenter le développement d'une expertise adaptative en résolution de problèmes. Effectivement, les recherches qui se sont penchées sur les comportements des résolveurs « experts » et « novices » ont montré que si les premiers mobilisent spontanément diverses stratégies heuristiques et d'autorégulation cognitive, ce n'est pas le cas des seconds (Hanin & Van Nieuwenhoven, 2018b ; Muir, Beswick & Williamson, 2008). L'identification du profil de résolveur « novice » repose sur le croisement de l'appréciation de l'enseignant avec les performances de l'élève à un test de résolution de problèmes conçu par nos soins. Deuxièmement, parmi les élèves présentant un profil de résolveur « novice », notre choix s'est porté sur une élève, Léa, qui n'a pas de difficulté à s'exprimer, n'hésite pas à dire ce qu'elle pense et qui s'est portée volontaire pour notre étude.

4.2 Dispositif d'enseignement-apprentissage

Le dispositif d'enseignement-apprentissage, objet de l'évaluation, s'étale sur sept semaines (à raison de deux à quatre heures de travail par semaine) et repose sur deux piliers majeurs. D'une part, il s'ancre dans les travaux de Veenman et ses collègues (2006) qui soulignent l'importance de non seulement expliciter en quoi consiste chacune des stratégies heuristiques, mais également leur utilité, à quel(s) moment(s) dans la démarche de résolution il est pertinent de les convoquer et la manière de les mettre en œuvre. D'autre part, ce dispositif prend appui sur les travaux d'Allal et de Mottier Lopez relatifs aux régulations interactives. La façon dont les trois modalités de régulations interactives sont promues au sein du dispositif est décrite dans le Tableau 1.

Tableau 1. Description de la méthodologie utilisée pour chaque problème

Problème ⁷⁶	Méthodologie adoptée

⁷⁶ Les énoncés des problèmes sont repris en annexe 5.

Problème 1 : Jeu de billes	- Résolution individuelle - Mise en commun des démarches individuelles en petits groupes (3-4 élèves) et élaboration d'une démarche de résolution et d'une solution communes - Exploitation des productions de groupe par l'enseignante en interaction avec les élèves avec pour objectif de faire ressortir les heuristiques caractéristiques d'une démarche experte de résolution - Etayage, par l'enseignante, de ces heuristiques en précisant en quoi elles consistent, quand il est opportun de les utiliser, leur utilité et comment il faut procéder pour les mettre en œuvre - Distribution à chaque élève d'un carnet de synthèse des heuristiques
Problème 2 : Au restaurant & Problème 3 : Un partage bien inégal	- Résolution individuelle à l'aide du carnet de synthèse - Evaluation individuelle de sa propre démarche de résolution à l'aide d'une grille d'évaluation - Evaluation dyadique croisée sur la base de la même grille d'évaluation, discussion autour de la double évaluation (auto et co-évaluation) de chaque production et révisions conjointes - Correction collective
Problème 4 : Le plein de vitamines	- Résolution individuelle à l'aide du carnet de synthèse - Mise en commun des démarches individuelles en petits groupes (3-4 élèves) et élaboration d'une démarche de résolution et d'une solution communes - Evaluation de la production par le groupe à l'aide de la grille d'évaluation - Evaluation de la production du groupe par l'enseignante à l'aide de la même grille d'évaluation

4.3 Récolte de données

Afin de mettre en lumière le degré d'implication des régulations interactives entre pairs dans le développement d'une expertise adaptative en résolution de problèmes et la manière dont elles y contribuent, une triangulation de données issues de sources variées, récoltées à différents moments clés de l'intervention a été opérée. Ainsi, les productions écrites de Léa ont été croisées avec ses explications orales, récoltées à deux moments clés – avant de se lancer dans la résolution du problème, mais après avoir pris connaissance de celui-ci et, après avoir résolu le problème, mais avant la correction collective –, ainsi qu'avec ses échanges avec d'autres pairs, lors des interactions en petit groupe et en dyade. En outre, afin de décrire l'évolution du rapport émotionnel de Léa vis-à-vis de la résolution de problèmes mathématiques, un questionnaire sous la forme d'illustrations lui a été proposé après chaque problème (voir Hanin & Van Nieuwenhoven, 2018b, pour une explication plus détaillée).

4.4 Analyse des données

Les données d'enregistrement ont été retranscrites sous forme de verbatims (Fereday & Muir-Cochrane, 2006; Zhou, 2015). L'identification des codes et thèmes s'est faite en utilisant une combinaison d'approches inductive et déductive, et ce, afin de mettre en exergue les liens dynamiques entre la théorie et les données. Par ailleurs, la procédure de codage a suivi un processus itératif (Urdan, Solek & Schoenfelder, 2007). Concrètement, un premier extrait de données est lu plusieurs fois et une première proposition de codage est proposée. Ensuite, sur la base des composantes (méta)cognitives, (méta)motivationnelles et (méta)émotionnelles de l'expertise adaptative, définies dans la littérature, et des premiers thèmes qui ont émergé, un nouvel extrait de données est codé. Ces deux premiers codages sont ensuite comparés ce qui donne lieu à une spécification et à un affinement des thèmes et

codes existant. Par la suite, de nouvelles données sont codées sur la base des thèmes et codes ainsi ajustés. Le système de codage initial s'amplifie donc progressivement au fur et à mesure que de nouvelles données sont analysées. Finalement, les données présentant un même codage sont rassemblées et la cohérence entre celles-ci est vérifiée (Braun & Clarke, 2006).

5. Analyse et interprétation des résultats

Dans la première partie, nous proposons une analyse chronologique et dialogique des productions écrites de Léa et d'extraits de ses interventions lors d'échanges entre pairs. La seconde partie complète la précédente en documentant l'évolution des changements d'ordre motivationnel et émotionnel apparus durant l'intervention.

5.1 Analyse des changements cognitifs et métacognitifs

5.1.1 Résolution individuelle du problème 1

Un premier constat qui se dégage de l'examen de la production de Léa (Figure 3) est l'absence d'une analyse approfondie du problème. Effectivement, tout porte à croire qu'après avoir prélevé les informations numériques dans l'énoncé, Léa s'est directement lancée dans les calculs. Cette stratégie, qualifiée de superficielle, qui consiste à traiter les tâches de résolution de problèmes comme des activités se limitant à deviner l'opération à effectuer avec les données numériques présentes dans l'énoncé sans se préoccuper des données contextuelles est typiquement utilisée par les résolveurs « novices » (Hanin & Van Nieuwenhoven, 2018b ; Breslow, 2001 ; Muir *et al.*, 2008). La succession de calculs décontextualisés inscrits sur sa feuille et la présence d'informations uniquement numériques en témoignent. Ces dernières sont traitées de façon linéaire, mécanique et isolée. Ainsi, l'information « A la première partie, Frédéric gagne 5 billes » est traduite par un bénéfice de 5 billes pour Frédéric sans aucune répercussion sur le nombre de billes de Rachid ; il en va de même pour l'information « Rachid perd 10 billes ». Aucun intérêt n'a été apporté aux informations contextuelles telles qu'« ensemble », « les deux amis jouent » qui permettent pourtant de saisir le sens du problème. Notons, cependant, que si une telle démarche peut refléter la difficulté de Léa à prendre en compte les calculs relationnels (relations numériques en jeu) non explicitement évoqués dans l'énoncé (i.e., une transformation regardant un enfant induit également une transformation chez l'autre enfant), elle peut également dénoter sa non familiarité avec le contexte du jeu de billes. Cette approche mécanique se reflète également dans la solution proposée par Léa. Effectivement, cette dernière mentionne le résultat de l'addition (10+12) au lieu du nombre de billes gagné lors de la troisième partie (12). Cette dernière observation suggère que Léa n'a pas contrôlé sa démarche. L'absence de traces d'ajustement nous laisse penser qu'elle ne l'a pas non plus régulée.

Rachid a un gros sachet de 20 billes. Frédéric, lui en a 13. A la récréation, les deux enfants jouent une première partie ensemble : Frédéric gagne 5 billes. Les deux amis jouent une deuxième partie et Rachid perd 10 billes. Après-midi, ils jouent encore une nouvelle partie tous les deux. Quand Rachid rentre chez lui, il compte ses billes, il en a 22. Que s'est-il passé lors de la partie de l'après-midi ?
$20 - 10 = 10$ $13 + 12 = 25$ $13 + 5 = 18$ donc Rachid a 22 billes et Frédéric a 18 billes

Figure 3. Résolution de Léa pour le problème 1 de l'intervention

Ces constats sont appuyés par les explications données par Léa après la résolution du problème : « Moi, j'ai fait les nombres moins ...il y avait par exemple 20 moins 10 donc j'ai fait le calcul. Et après pour Frédéric il y avait, après j'ai fait pour Frédéric 13 plus 5 puis j'ai fait le calcul et puis ils m'ont mis Rachid pourquoi il a ... quand il rentre chez lui pourquoi il a 22 et ils disent qu'est-ce qu'ils ont fait pour que Rachid a 22 au lieu de 10 donc moi j'ai fait tout le calcul et j'ai trouvé qu'il a gagné plus 12 ». Léa ne mentionne que les données numériques du problème et les opérations effectuées avec ces dernières. Il est d'ailleurs difficile de suivre ses explications quand les informations contextuelles clés (i.e. la présence de trois parties, ce qu'il se passe lors de chacune des parties et le fait que les 2 enfants jouent ensemble) sont absentes. Soulignons également qu'elle ne mentionne ni contrôle ni ajustement. Cette observation est renforcée par les propos suivants : « Ben moi j'ai rien barré mais je crois pas que je devais barrer ». Cette analyse met en lumière le faible outillage des résolveurs novices tant en termes de stratégies cognitives que d'autorégulation cognitive.

5.1.2 Interactions entre pairs autour des productions individuelles du problème 1

Comme l'illustre l'extrait ci-dessous, les échanges en petits groupes qui ont suivi la résolution individuelle constituent une source efficace d'hétérorégulation en ce qu'ils invitent Léa à revoir sa démarche de résolution (Allal, 2007). Effectivement, un des membres du groupe, Paul, attire son attention sur l'importance, d'une part, de lire attentivement l'énoncé du problème, en considérant tant les informations numériques que contextuelles et, d'autre part, de prendre en considération les relations entre ces informations, bref d'analyser la situation. Notons que ce processus d'hétérorégulation se solde par une conduite autorégulative de la part de Léa qui prend conscience de son erreur.

Léa : Ce que je comprends pas c'est que dans le texte ils mettent qu'il a perdu 10 billes et là tu mets qu'il a perdu 5 billes.

Paul : Mais non, regarde. Là il est mis : « A la récréation, les deux enfants jouent une première partie ensemble : Frédéric gagne 5 billes ».

Léa: Ben oui, c'est pour Frédéric les 5 billes.

Paul : Mais ils disent qu'ils jouent ensemble, donc ils jouent à deux.

Léa : Non ils jouent pas à deux, ils jouent l'un contre l'autre.

Paul : Ben oui, mais si toi...

Léa : Par exemple moi je gagne 5 billes et toi tu as perdu 10 billes.

Paul : Non 5 billes, elle a perdu 5 billes.

Léa : Mais moi je comprends pas pourquoi tu dis qu'elle a perdu 5 billes.

Paul : Attends je vais t'expliquer. Si tu gagnes 5 billes, c'est de Camille que tu les prends.

[Temps de réflexion chez Léa]

Paul: Donc Frédéric il gagne 5 billes, mais il gagne de Rachid les 5 billes. Comme ils sont l'un contre l'autre, donc si l'un perd 5 billes, l'autre gagne 5 billes aussi.

Léa: Aaaah, oui. Je viens de comprendre. J'ai complètement faux.

5.1.3 Résolution individuelle du problème 2

Comme on peut le voir à la figure 4, l'étayage théorique sur les stratégies heuristiques de résolution de problèmes, dispensé par l'enseignant, à l'issue du premier problème, de même que l'interaction entre Léa et Paul, ont influencé les conduites individuelles ultérieures de Léa. Effectivement, non seulement elle a souligné les informations importantes, tant numériques que contextuelles, mais elle les a également intégrées au sein d'un modèle de situation partiel (non prise en compte de l'ensemble des contraintes du problème). Une étape d'analyse de la situation a donc bel et bien été intégrée au sein de sa démarche de résolution. D'ailleurs, quand on lui demande par quoi elle a commencé, Léa explique « *J'ai commencé par bien lire, par souligner les données importantes, maintenant je le fais* ». Concernant l'utilisation des stratégies d'autorégulation cognitive, les propos de Léa nous éclairent à ce sujet : « *Moi je trouve que oui, j'ai bien fait parce que j'ai vérifié mes deux réponses. J'ai fait les deux réponses que j'avais mises, combien coûtait le menu poisson et combien coûtait le menu viande et je les ai calculées et ça faisait 31 euros* ». Si Léa semble n'avoir contrôlé la cohérence qu'entre une partie des informations de l'énoncé et sa réponse, cela témoigne déjà d'une conduite d'autorégulation. Notons ici que le contrôle se fait au départ d'une information non présente dans le modèle de situation transcrit sur sa feuille. Ce comportement suggère qu'elle ne s'est pas appuyée sur le modèle transcrit pour effectuer son contrôle, qu'elle n'a couché sur papier qu'une partie du modèle de situation construit mentalement ou qu'elle n'a verbalisé qu'une partie du contrôle effectué.

Dans un restaurant, les boissons peuvent être consommées à volonté. Deux menus sont proposés : le menu « poisson » et le menu « viande ». Le menu « poisson » coûte 2 euros de plus que le menu « viande ». Jordan et Sylvain prennent chacun un menu différent. Leur note totale s'élève à 31 euros. Combien coûte chacun des menus ?

le menu poisson coûte 2 euros de plus
que le menu viande.

menu viande coûte : 14 € 50 c.
menu poisson coûte : 16 € 50 c.

~~Sordom~~

menu viande coûte : 14 € 50 c.
menu poisson coûte : 16 € 50 c.

Figure 4. Résolution de Léa pour le problème 2 de l'intervention

5.1.4 Co-évaluation en dyade

A l'issue de la résolution individuelle du problème 2, Léa a été invitée, dans un premier temps, à évaluer sa production à l'aide d'une grille d'évaluation (autoévaluation). Dans un second temps, Léa et son voisin, Luc, ont reçu, pour consigne, d'évaluer leur production mutuelle sur la base de la même grille (co-évaluation). L'extrait ci-dessous illustre les échanges entre Léa et Luc autour de la double évaluation de la production de Léa. Comme nous pouvons le constater, les deux évaluateurs ne sont pas toujours sur la même longueur d'onde.

Luc : Après, là non plus on est pas d'accord. Regarde t'as pas écrit les étapes en français. T'as pas écrit en français 1, je fais ça..., 2, je fais ça...

Léa : Ben si, là j'ai mis le menu viande coûte autant et en dessous le menu poisson coûte autant.

Luc : Ben ça c'est la réponse, c'est pas un plan.

Léa : Ben si ça me dit ce que j'ai fait.

Luc : Madame, ce que Léa elle a mis [en montrant la production de Léa] c'est pas un plan ?

Enseignante : Alors c'est quoi pour vous faire un plan de résolution ?

Luc : Ben il est mis [il reprend son Mémo] « Identifier les étapes par lesquelles il faut passer pour résoudre le problème ».

Enseignante: C'est ça, donc c'est noter, en français, les étapes par lesquelles il faut passer pour résoudre le problème.

[...]

Léa : « Ok, je vais mettre ' Non' »

Luc : On passe à la vérification. J'ai mis non parce que t'as pas vérifié. Moi regarde j'ai mis « respect des consignes : Ok », « vérifier la démarche : ok », et j'ai fait les calculs inverses pour voir si j'avais pas de faute.

Léa : Ben je vais le faire là. [Elle prend sa calculatrice] Regarde si tu fais 16,50 moins 14,50 ça fait 2 et 16,5 plus 14,5 ça fait 31.

Luc : Moi j'ai vérifié avant et donc j'étais sûr que c'est bon.

Ainsi, Luc, épaulé par l'enseignante, conscientise Léa de sa mauvaise compréhension de l'heuristique qui consiste à élaborer un plan de résolution et l'aide à la corriger. De plus, il l'invite à contrôler tant le respect des consignes que la démarche implémentée et les calculs effectués en soulignant l'intérêt de cette stratégie. Si les interactions entre élèves et maître-élève constituent des sources d'hétérorégulation, certaines s'adjoignent de conduites autorégulatrices de la part de Léa. Effectivement, cette dernière non seulement rectifie ce qu'elle a coché sur la grille d'évaluation suite à la remarque de Luc, mais se propose de vérifier ses calculs suite à l'interpellation de Luc à ce sujet.

5.1.5 Résolution individuelle du problème 3

L'importance de débiter par une analyse approfondie de la situation a bel et bien été intégrée par Léa, en témoigne sa résolution du troisième problème (Figure 5). Effectivement, cette dernière a non seulement souligné les informations importantes, mais les a également rapportées au sein d'un modèle de situation complet. Ce dernier témoigne d'un intérêt porté non seulement aux informations contextuelles et numériques, mais également à leurs interrelations. Léa le confirme « *faire un tableau et mettre tous les noms, Aurélie, Céline et Béatrice et ce qu'il se passe pour chacune ça aide vraiment à comprendre le problème* ». D'ailleurs, si, au début de l'intervention Léa propose d'aider quelqu'un « *en lui disant les calculs qu'il faut faire* », à ce stade-ci de l'intervention elle procèderait « *en lui expliquant toutes les données, en lui expliquant qu'il n'y a pas que les chiffres qui comptent que tu dois bien tout lire, tu dois souligner et après faire les étapes que tu nous as données* ».

En outre, la réponse apportée par Léa au problème suggère que cette dernière n'a opéré qu'un contrôle partiel. Ses propos le confirment: « *non, j'ai rien barré parce que j'ai trouvé que c'était bon, j'ai fait les trois réponses que j'avais mises, et en tout ça faisait 18* ». Comme pour le problème 2, Léa n'a vérifié la congruence qu'entre une partie des données de l'énoncé et la solution obtenue. Cela démontre une conduite d'autorégulation partielle et reflète une intégration partielle des recommandations formulées par Luc lors des échanges autour du problème 2.

Un père partage une somme de 18 euros entre ses trois filles : Aurélie, Béatrice et Céline. Il donne 2 fois plus à Céline qu'à Aurélie et il donne 2 euros de moins à Béatrice qu'à Céline. Combien d'euros chaque fille a-t-elle reçu ?

4

18 €

6 €

4 €

8 €

18 : 3 = 6.

Aur.	Bea.	Céline.
6 €	6 €	6 €
+ 2 €	- 2 € = 4 €	+ 2 € = 8 €
= 6 €	= 4 €	= 8 €

Aurélie a 6 €
 Béatrice a 4 €
 car on a enlever 2 € à Béatrice.
 Céline a 8 € car
 elle a eu 2 € de plus.

Figure 5. Résolution de Léa pour le problème 3 de l'intervention

5.1.6 Interaction en dyade autour des productions individuelles du problème 3

A travers les échanges qui ont suivi la double-évaluation (auto et co-évaluation) des productions individuelles, Luc fait prendre conscience à Léa de son mauvais traitement des informations et attire son attention sur l'importance de contrôler le respect de l'ensemble des données de l'énoncé. La remarque de Luc suscite une conduite autorégulatrice chez Léa qui relit l'énoncé et se corrige : « attends ... [Elle relit l'énoncé]. Il faut mettre 2 fois plus à Céline qu'à Aurélie... Ah oui, c'est vrai ». Cette dernière, en fin d'échange, vérifie d'elle-même la solution proposée par Luc, faisant à nouveau preuve d'une conduite autorégulée: « et... attends [elle compte dans sa tête], j'ai vérifié ça fait 18 ». Voyons à présent, comment les apports de ces différentes sources de régulation sont réinvestis dans la démarche de résolution adoptée par Léa pour résoudre le quatrième problème de l'intervention.

5.1.7 Résolution individuelle du problème 4

Des changements sont perceptibles dans les propos tenus par Léa, juste après la résolution individuelle du problème 4 (Figure 6) : « en fait je suis sûre que c'est bon parce que j'ai bien lu la consigne, l'énoncé, j'ai bien tout lu, j'ai vérifié mes calculs et ma réponse elle est possible ». Cette dernière mentionne avoir contrôlé tant le respect des consignes, que sa démarche de résolution, la justesse de ses calculs et la pertinence de sa réponse. Il semblerait donc que les commentaires formulés par Luc à plusieurs moments de l'intervention aient bel et bien suscité un processus d'autorégulation chez Léa (Allal, 2007).

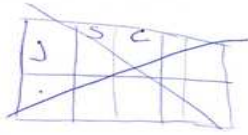
Nicolas part en camp scout pendant 7 jours. Sa maman a peur qu'il manque de vitamines alors elle lui donne des sachets contenant des vitamines en poudre à dissoudre dans l'eau. Nicolas doit en boire une tasse tous les matins et tous les soirs.

Pour préparer une tasse, il faut mélanger 2 cuillères à café de vitamines en poudre avec 20 cl d'eau.

Les vitamines en poudre se vendent par sachets de 30 grammes. Une cuillère à café de cette poudre pèse 10g.

Sachant que le premier jour Nicolas déjeunera chez lui avant de partir, et le dernier jour, il soupera à sa maison, combien de sachets de vitamines en poudre doit-il emporter avec lui ?

$C = \text{cuillère}$



$+1C = \text{le matin quand il part}$
 $-1C = \text{le soir quand il rentre}$

il part 4 jour il doit en prendre 2 fois par jour.

1 ^{er} J	2 ^{ème} J	3 ^{ème} J	4 ^{ème} J	5 ^{ème} J	6 ^{ème} J	7 ^{ème} J	TOTAL
20g	40g	40g	40g	40g	40g	20g	240g

Pour faire une tasse de vitamine il faut 2 cuillères de café de vitamine.
 Et comme il part le soir et le matin.

$20g \times 2 = 40g \text{ par jour}$

$20g + 20g = 40g = 1 \text{ jour}$

$240g : 30g = 8 \text{ sachet}$

Figure 6. Résolution de Léa pour le problème 4 de l'intervention

5.1.8 Interactions entre pairs autour des productions individuelles du problème 4

Si lors des interactions en petits groupes et en dyade, Léa a bénéficié des commentaires formulés par ses pairs lors de la mise en commun des démarches individuelles du problème 4, c'est elle qui clarifie le problème pour ses camarades, témoignant ainsi d'une compréhension approfondie du problème.

Camille : A quoi ça nous sert d'avoir les 30g et les 10g alors que la question c'est combien de sachets de vitamines doit-il emporter ?

Léa : Ben oui, si un sachet de vitamines pèse 30g et qu'une cuillère c'est 10g et qu'une tasse c'est 2 cuillères ... Attends, je relis.

Camille : Regarde, moi ce que je te dis c'est qu'on s'en fout des 10g et des 30g, parce que la cuillère c'est pour savoir combien, donc s'il doit prendre 30g, il doit prendre 3 cuillères de 10g, en gros.

Léa : Mais non. [Elle est coupée par Camille]

Camille : Mais si, regarde : « les vitamines en poudre se vendent par sachet de 30 grammes. Une cuillère à café de cette poudre pèse 10g ».

Léa : Oui, mais il faut 2 cuillères pour 1 tasse donc 20g et il faut faire fois deux parce qu'il doit prendre 2 fois des vitamines, donc 40g par jour.

Un peu plus tard, le groupe d'élèves interpelle l'enseignante une première fois afin d'être épaulé dans l'estimation a priori de la solution du problème et, quelques instants plus tard, pour identifier la structure mathématique du problème. Grâce aux questions de l'enseignante, Léa et Paul parviennent, ensemble, à anticiper la solution et à identifier la structure mathématique du problème. En cela, on peut dire que l'intervention de l'enseignante a favorisé un processus d'hétérorégulation.

Enseignante : Comment est-ce qu'on peut faire pour estimer la solution ?

Léa : Il est mis qu'on peut arrondir les nombres, on peut dire que c'est entre tatata et tatata.

Enseignante : Donc ici on doit estimer le nombre de sachets à partir du nombre de tasses. Combien de tasses il doit prendre en tout Nicolas ?

Léa : Ben [Elle additionne dans sa tête $1+2+2+2+2+2+1$] 12

Enseignante : TB, 12 tasses. Comment est-ce qu'on peut transformer ce nombre de tasses en un nombre de sachets ?

Léa : On sait que 1 sachet c'est 30g de vitamines.

Enseignante : Oui. Et du coup, 1 tasse c'est quoi par rapport à 1 sachet ?

Paul : Ben c'est un peu moins qu'un sachet parce que c'est 20g.

Enseignante : TB ! Et comme on sait qu'il a besoin de 12 sachets, que peut-on dire pour l'estimation⁷⁷ ?

Léa : Ben il aura besoin de 12 sachets.

[...]

Enseignante : C'est quel type de calculs que vous devez faire ? Par exemple, on sait que 1 cuillère c'est 10g, 2 cuillères c'est 20g, ... Comment on appelle quand on ...

Léa : Oh, c'est pas la règle de trois ?

Enseignante : Oui ! TB ! La règle de trois, c'est quand on vous donne pour 1 quantité et qu'on vous demande pour 2 quantités, 3 quantités, etc.

De surcroît, si jusqu'au problème 3, le contrôle appliqué par Léa sur son processus de résolution était partiel, l'extrait ci-dessous montre l'intégration, par celle-ci, de toutes les facettes de cette stratégie d'autorégulation.

Léa : Oui, tu peux mettre : 'respect des consignes : ok'. Donc maintenant on fait la démarche. Pour ça il faut vérifier le plan de résolution. Est-ce qu'on a su combien valait une tasse ?, oui ;

⁷⁷ Comprendre ici "anticipation".

est-ce qu'on a additionné les tasses ?, oui ; est-ce qu'on a transformé les tasses en grammes ? ; oui ; transformer les grammes en sachets ? : oui. Donc oui c'est bon, on a respecté la démarche.

Camille : Donc, je mets, démarche : ok ?

Paul : Oui et après on peut mettre qu'on a fait les calculs inverses. Moi j'ai fait 30 fois 8 est égal à 240.

Léa : On peut passer à j'interprète. Il faut voir si la réponse a du sens par rapport à l'énoncé.

Camille : Qu'est-ce que je mets ?

Léa : Ben oui parce que c'est un nombre entier.

Voyons, à présent, si les croyances motivationnelles et le rapport émotionnel de Léa relatifs à la résolution de problèmes empruntent un chemin analogue à celui de son raisonnement cognitif.

5.2 Analyse des changements motivationnels et émotionnels

5.2.1 Changements au niveau des croyances motivationnelles

Les propos tenus par Léa au début de l'intervention reflètent des croyances motivationnelles plutôt négatives et, plus précisément, un sentiment d'efficacité personnelle et une perception de contrôlabilité fragiles. Ainsi, avant de se lancer dans la résolution du premier problème de l'intervention, Léa explique « *je vais avoir difficile, fin moi j'ai des problèmes en problèmes, tout le temps quand j'essaie, j'ai pas la bonne réponse.* » [...] « *Moi, je suis assez nulle dans les calculs et tout ça* ». Elle ajoute, « *moi je me sens tout le temps 'je vais pas y arriver'* ». Ce constat n'est pas étonnant quand on sait que le sentiment d'efficacité personnelle prend, en grande partie, sa source dans les expériences passées (Bandura, 1997 ; Marsh, Lüdtke, Nagengast, Trautwein, Abduljabbar, *et al.*, 2015).

Cependant, si les expériences passées, réactivées par le type de tâche proposé à l'apprenante, la préoccupent, elles ne la paralysent pas. Effectivement, malgré avoir échoué au premier problème, Léa fait montre de courage et de détermination pour le problème suivant : « *je vais essayer de pas me décourager, s'il y a un truc que je comprends pas, je vais relire plusieurs fois, bien me concentrer. Je veux arriver à une réponse qui est bonne* ». Plus encore, ses propos suggèrent qu'elle se sent capable de mener à bien la tâche et d'exercer un contrôle sur son déroulement. Elle s'accroche à chaque réussite comme en témoignent les explications formulées suite au problème 2 : « *je suis satisfaite de mon calcul parce que je trouve que j'ai bien fait ça car j'ai fait des choses que je comprenais pas avant et que maintenant je comprends, donc, je fais les choses mieux qu'avant, je me suis améliorée* ». On sent une plus grande confiance dans sa capacité à réussir le problème et une plus grande maîtrise de ce type de tâche. D'ailleurs, son échec au problème 3 ne semble pas troubler son engagement dans le problème 4. Bien au contraire, elle fait preuve de persistance malgré les difficultés pressenties et semble croire non seulement en sa capacité à contrôler le déroulement de la tâche, mais également à réussir le problème : « *là, je le trouve un peu difficile, on l'a lu un peu vite je trouve, je dois encore plus réfléchir [...] je vais bien relire le problème, je vais écrire tout ce qui est important, si je comprends pas je vais relire et je vais vraiment essayer* ». Ces propos sont complétés par ceux formulés à l'issue de la

résolution du problème 4 : « *je suis satisfaite de ce problème parce que là j'ai réussi, j'ai eu plus facile que l'autre problème, car j'ai progressé parce que pour le problème 3 j'avais un peu plus de mal et j'arrivais pas trop* ». On comprend par-là que, bien que se consolidant au fur et à mesure des expériences de succès, les sentiments d'efficacité personnelle et de contrôlabilité restent précaires ; les échecs passés restent pesants surtout quand la tâche est jugée difficile. Notons, cependant, que s'il est important de consolider les expériences de succès, l'évolution positive qui se dégage de notre analyse est soutenue par les propos formulés par Léa à l'issue de l'intervention: « *il y a un mois, j'aurais pas su faire ce problème. Maintenant, j'ai confiance en moi, je me sens plus à l'aise, parce que j'ai des choses pour m'aider et que j'en ai fait beaucoup* ».

Par ailleurs, soulignons l'évolution synchronisée du sentiment de contrôlabilité et des causes invoquées par Léa pour expliquer son résultat (échec ou réussite). En effet, si au début de l'intervention, Léa s'appuie sur des causes incontrôlables telles que le manque d'habileté (e.g., « *je suis assez nulle* », « *je vais pas y arriver* »), très vite elle invoque également des causes contrôlables comme l'(in)efficacité de la stratégie/procédure implémentée ou l'effort (e.g., « *relire plusieurs fois* », « *bien me concentrer* » ; « *j'ai lu un peu vite* »).

5.2.2 Changements d'ordre émotionnel

Le tableau 2 illustre l'évolution du ressenti émotionnel de Léa tout au long de l'intervention, recueilli à l'aide d'un questionnaire. L'analyse de celui-ci met en exergue une diminution du nombre d'émotions négatives ressenties au profit d'émotions positives. Plus finement, si les émotions négatives ressenties au début de l'intervention se dissipent progressivement, le désespoir, lui se maintient. A ce sujet, précisons que cette émotion est ressentie lorsque les espérances de succès sont faibles ou quand les attentes d'échecs sont élevées (Pekrun, 2007). La persistance du désespoir tout au long de l'intervention pourrait donc s'expliquer par le poids encore important des expériences d'échecs comparativement aux succès accomplis par Léa. Au niveau des émotions positives, si la fierté et le soulagement sont des émotions couramment ressenties par Léa, le plaisir, lui, émerge vers la fin de l'intervention. Ainsi, à l'issue du problème 4, Léa confie « *avant j'aimais pas les problèmes et maintenant depuis qu'on a fait ça ben, j'aime bien* ». Précisons que cette émotion est ressentie quand la tâche est perçue comme intéressante et ayant de la valeur pour l'individu et suite à une amélioration de ses compétences (Pekrun, 2014).

Tableau 2. Evolution des émotions les plus fréquemment ressenties par Léa tout au long de l'intervention

	Désespoir	Ennui	Peur	Frustration	Soulagement	Fierté	Plaisir
P1	X				X	X	
P2	X		X		X		
P3	X		X		X		
P4	X				X	X	X

Note. P1 = après la résolution du problème 1 ; P2 = après la résolution du problème 2 ; P3 = après la résolution du problème 3 ; P4 : après la résolution du problème 4.

6. Discussion et conclusion

La présente étude s'est donnée pour objectif d'apporter un éclairage différent et complémentaire aux approches classiques de l'évaluation de l'efficacité des dispositifs d'enseignement-apprentissage (comparaison pré-post) en se penchant sur ce qui se passe durant le dispositif. Plus encore, cette étude souhaitait comprendre les changements (méta)cognitifs, (méta)émotionnels et (méta)motivationnels advenant tout au long de l'implémentation d'un dispositif, mis en exergue lors d'une étude précédente (Hanin & Van Nieuwenhoven, 2018b) et ainsi compléter cette dernière. Tant la place centrale occupée par les interactions entre pairs dans les dispositifs d'enseignement-apprentissage en résolution de problèmes que les travaux démontrant le potentiel des régulations interactives à induire des conduites d'hétérorégulation et d'autorégulation chez l'apprenant, nous ont conduites à analyser ces changements à la lumière des différentes modalités de régulations interactives promues au sein du dispositif et, particulièrement, celles entre pairs. Cette étude questionne donc le degré d'implication des interactions entre pairs, soutenues par les interactions M-E et O-E, dans le développement d'une expertise adaptative en résolution de problèmes mathématiques et la manière dont elles y contribuent.

L'analyse croisée des traces écrites et des explications orales de Léa a mis en exergue une évolution progressive des comportements de Léa du statut de novice vers celui d'expert (Hanin & Van Nieuwenhoven, 2018b; Muir *et al.*, 2008). Nos résultats indiquent que les interactions entre pairs y ont largement contribué en invitant Léa à questionner et à réfléchir sur sa propre démarche de résolution et in fine à l'autoréguler. On constate ainsi que, suite aux remarques formulées par l'un de ses pairs, Paul, Léa troque, dès le problème suivant, sa démarche mécanique, linéaire et superficielle contre une analyse approfondie de la situation prenant en compte tant les aspects numériques que contextuels. Cette nouvelle approche est ensuite adoptée à chaque nouveau problème. De plus, les échanges entre pairs portant sur la définition et la façon de mettre en œuvre les stratégies heuristiques d'estimation, d'identification de la structure mathématique et de planification ont également modifié la conception et la démarche de résolution initiale de Léa. En outre, les interactions avec ses camarades l'ont encouragée à mobiliser, de façon systématique et complète, deux stratégies d'autorégulation cognitive, à savoir, le contrôle et l'ajustement. A ce sujet, l'analyse montre que si au départ, aucun recours n'y était fait, ces deux stratégies sont utilisées au cours de l'intervention, d'abord imparfaitement puis de façon complète. Cependant, ces changements ne sont pas le seul fruit des régulations interactives entre pairs. En effet, le développement de conduites autorégulatrices n'aurait pas été possible sans les interventions de l'enseignante et la mise à disposition d'outils-soutiens tels que le carnet de synthèse des stratégies enseignées ou la grille d'évaluation (Allal, 2007 ; Mottier Lopez, 2012). Tous deux ont fait en sorte que les interactions entre pairs suscitent des conduites autorégulatrices en permettant de dépasser une difficulté, en résolvant un conflit-cognitif, en suscitant la réflexion, en étayant leurs explications, etc. Parallèlement, les résultats mettent en évidence une évolution positive tant des croyances motivationnelles que du rapport émotionnel de Léa au regard de la résolution de problèmes. Cette évolution suggère une régulation par Léa de sa motivation et de ses émotions. Bien que les données récoltées ne nous permettent pas de faire une

association directe entre les interactions entre pairs et le développement de conduites d'autorégulation motivationnelle et émotionnelle, le lien étroit entre les produits de ces interactions (i.e., les expériences de succès et le développement de stratégies heuristiques et d'autorégulation cognitive) et les variables motivationnelles et émotionnelles nous permettent de penser que ces interactions ont favorisé, non seulement le développement de conduites d'autorégulation cognitive, mais également motivationnelle et émotionnelle (Bandura, 1997 ; Pekrun, 2014).

En termes de retombées pédagogiques, l'analyse montre qu'un dispositif pédagogique présentant des modalités de régulation interactives diverses et nombreuses favorise l'appropriation d'heuristiques de résolution, le développement de stratégies d'autorégulation tant cognitives que motivationnelles et émotionnelles. Cependant plusieurs limites sont à souligner. Premièrement, les conclusions tirées de la présente étude reposent sur l'observation d'un seul sujet. Outre la nécessité de croiser nos résultats avec ceux issus d'études reposant sur des comparaisons pré-post afin de pallier les limites d'une approche qualitative (Paquay, De Ketele & Crahay, 2006 ; Pinard, Potvin, Rousseau, 2004), il serait nécessaire, d'asseoir nos résultats qualitatifs en conduisant d'autres études de cas (Mukamurera et al., 2006). A ce propos, les études ayant montré des rapports différents à la discipline mathématique selon le genre (Frenzel *et al.*, 2007; Rozendaal, Minnaert & Boekaerts, 2001), il serait intéressant de répliquer la présente étude avec des résolveurs novices de l'autre sexe. Ces études complémentaires permettraient de se faire une image plus complète du rôle joué par les interactions entre pairs dans le développement d'une expertise adaptative en résolution de problèmes. Deuxièmement, afin de pouvoir comprendre plus en profondeur les changements qui se sont produits tant au niveau des croyances motivationnelles de Léa qu'au niveau de ses émotions, il serait intéressant de cibler davantage ces dimensions dans le guide de question utilisé. Plus encore, l'évolution du type de stratégies utilisé par le résolveur novice pour réguler ses émotions (Hanin et al., 2017) et sa motivation (Wolters, 2003) permettrait d'éclairer les résultats obtenus. Finalement, les données recueillies auraient tout à gagner d'être croisées avec l'analyse et les observations faites par l'enseignant des effets des modalités de régulation interactive proposées.

Chapitre 14

Emotional and motivational relationship of elementary students to mathematical problem-solving

A person-centered approach

Recent literature has shown that achievement emotions, their regulation and perceived competence play a compelling role in mathematics learning and achievement. Studies that have looked at these variables have, for the most part, adopted a person-centered approach, which examines relationships between variables found to a similar degree in all individuals of the group. Yet, scholars have outlined motivational and emotional inter-individual differences, in particular, in terms of gender and past performance. The present study examined differences among upper-elementary students in how motivational and emotional variables are related to each other. Cluster analysis revealed four distinct profiles based on a sample of upper elementary students (N= 354): those with high levels of positive emotions and perceived competence and low levels of negative emotions (*confident*); those with low levels of both positive and negative emotions (*unengaged*), high levels of nervousness, worry and fear and low levels of both perceived competence and positive emotions (*anxious*); and those with high levels on the six negative distinct emotions assessed and low levels on both perceived competence and positive emotions (*resigned*). Analyses of variance showed that the first two profiles stood out advantageously from the remaining two regarding math performance. Findings regarding emotion regulation nuance the picture by pointing out a resilient side to the anxious profile and by confirming the risky nature of the resigned profile. Practical implications for educational practices and possible avenues for further research are discussed.

Hanin, V., & Van Nieuwenhoven, C. (accepted). Emotional and motivational relationship of elementary students to mathematical problem-solving : A person-centered approach. *European Journal of Psychology of Education*.

Emotional and motivational relationship of elementary students to mathematical problem-solving

A person-centered approach

1. Introduction

The last two decades have been marked by growing research on emotions and emotion regulation within the field of educational psychology, especially in the domain of mathematics. This growing interest has been partly fueled by the accumulating evidence of the profound effects exerted by emotions on students' mathematical learning processes and achievement (Ahmed, van der Werf, Kuyper & Minnaert, 2013; Authors, 2016; Frenzel, Pekrun & Goetz, 2007; Lichtenfeld, Pekrun, Stupnisky, Reiss & Murayama, 2012; Peixoto, Sanches, Mata & Monteiro, 2017) and, hence, of the need to regulate them appropriately (Authors, 2018a; De Corte, Depaepe, Op't Eynde & Verschaffel, 2011; Goetz, Frenzel, Pekrun & Hall, 2005).

The control-value theory (CVT) (Pekrun, 2006) is acknowledged as one of the most comprehensive theoretical frameworks depicting the role played by emotions in the learning processes (Peixoto et al., 2017). The CVT posits that perceived control and value are the closest determinants of achievement emotions. If numerous empirical studies have corroborated this assertion (Ahmed, Minnaert, van der Werf & Kuyper, 2010; Peixoto et al., 2017), they have especially favored a variable-centered approach, that is, one which describes the associations between variables found to a similar degree in all individuals. The same applies for studies that looked at the links between the strategies used by the students to regulate their emotions and the emotions felt (Ben Eliyahu & Linnenbrink, 2013; Schmidt, Tinti, Levine & Testa, 2010).

Yet, classroom composition is not homogeneous. Research points to the existence of different patterns in emotions and motivation for students with high and low performance in mathematics (Authors, 2018a; Monteiro, Peixoto, Mata & Sanches, 2017) and for boys and girls (Frenzel et al., 2007; Monteiro, Peixoto, Mata & Sanches, 2017). Taking into account inter-individual differences regarding the motivational-emotional profiles with which students begin to tackle mathematical tasks, that is, adopting a person-centered approach, is a critical issue not only for educational theorists but also for practitioners as the heterogeneity of the student body often poses significant challenges for teachers (Lothaire, Dumay & Dupriez, 2012; Maroy & Cattonar, 2002). At the conceptual level, a person-centered approach reflects students' diversity in a more comprehensive way. While at the practical level, it allows for a more accurate and personalized assessment of students' needs and, thereby, to tailor educational interventions accordingly.

The objectives of this research are twofold. The first is to identify distinct subgroups of upper elementary students (9-12 years) with specific combinations of emotional and motivational characteristics regarding problem-solving tasks. The second is to explore how these distinct subgroups differ regarding the strategies used in emotion regulation, problem-solving performance and gender.

With regard to the first objective, two rationales guided our decision to focus on problem-solving tasks. On the one hand, we wanted to align with studies highlighting the domains and sub-domains specificity of emotions and motivational beliefs (Justicia-Galiano, Martín-Puga, Linares & Pelegrina, 2017; Wu, Barth, Amin, Malcarne & Menon, 2012). On the other hand, we wanted to contribute to the seminal works that have developed during the last few decades in response to the observation of the difficulties encountered by both learners and teachers with problem-solving tasks (Depaepe, De Corte & Verschaffel, 2015; Fagnant, Demonty & Lejonc, 2003). With respect to upper elementary students, research has highlighted that negative emotions provoke feelings of alienation from learning and school from the fifth grade (Artino 2009; Kramarski, Weiss & Kololshi-Minsker, 2010) and that the 9 to 11 year period is the most important for developing attitudes and emotional reactions to mathematics (Artino, 2009).

Moreover, the examination of the developmental trajectories of middle and high school students' emotional and motivational characteristics highlighted a decline of positive emotions, perceived value and competence, as well as an increase of negative emotions over time (Ahmed et al., 2013; Sorić, Penezić & Burić, 2013) which calls into question what happens in the lower classes. Regarding the motivational component, the present study focuses on perceived competence as it is one of the most powerful predictors of mathematics achievement (Justicia-Galiano et al., 2017; Pajares & Graham, 1999; Seaton, Parker, Marsh, Craven & Yeung, 2014) and as it is more strongly correlated to emotions in the context of math class than is perceived value (Ahmed et al., 2010; Frenzel et al., 2007). These precisions naturally lead to our second objective, which is to explore how these distinct subgroups differ regarding the strategies used to regulate one's emotions, problem-solving performance and gender.

2. Theoretical background

2.1 Achievement emotions

Achievement emotions are emotions that are directly related to achievement activities or to achievement outcomes (Pekrun, Lichtenfeld, Marsh, Murayama & Goetz, 2017). Several critical issues regarding the conceptualization of emotions need to be cleared up here. First, a distinction is made between state and trait achievement emotions. State-achievement emotions are momentary emotional experiences that occur within specific situations and over brief periods of time, while trait-achievement emotions are typical emotional states, associated with specific situations which are relatively stable (Pekrun, 2006). Second, drawing on the circumplex model of affect (Feldman Barrett & Russell, 1998), Pekrun (2006)

defines emotions according to their degree of physiological activation (activating vs. deactivating) and their valence (positive vs. negative).

Empirical studies conducted with upper elementary students have consistently pointed out, that emotions related to mathematics are more positive than negative (Frenzel et al., 2007; Monteiro et al., 2017; Peixoto et al., 2017). More precisely, pride appears to be the emotion most felt while anger is the least felt. With regard to boredom, a study conducted with 5th to 10th graders reported that 44% of the participants were frequently experienced boredom in mathematics class. This was due to a sense that the subject matter was monotonous and lacking in meaning, as well as students being either over-challenged or under-challenged (Daschmann, Goetz & Stupnisky, 2011). The authors concluded that boredom is a common emotion among students. When problem-solving tasks are specifically targeted, findings show that novice problem-solvers experience mainly negative emotions such as hopelessness, nervousness, fear, worry and boredom (Authors, 2018b).

Based on these findings and on the recommendation of parsimony in the selection of clustering variables (Brusco & Cradit, 2001; Milligan, 1989), the present study focuses on eight trait-like achievement emotions commonly experienced by upper elementary students when dealing with problem-solving tasks. These include two activating positive emotions (pride, enjoyment), four negative activating emotions (fear, worry, nervousness, shame) and two negative deactivating emotions (hopelessness, sadness)⁷⁸. Trait-like emotions were chosen as the present study targets students' habitual, re-occurring emotions in problem-solving tasks. **Enjoyment** of mathematics refers to the satisfaction felt after the fulfillment of a mathematical task (Pallascio & Lafortune, 2000). **Pride** denotes a sense of self-satisfaction after a success (Legendre, 1993). **Fear** is felt when one is unsure about his/her ability to succeed on an upcoming task (Pekrun & Stephens, 2010). Worry and nervousness are two components of anxiety (Liebert & Morris, 1967). **Worry** is the cognitive component of anxiety and refers to cognitive concerns about doing well in mathematics (Wigfield & Meece, 1988) while **nervousness** covers the affective component of anxiety. **Shame** is a negative emotion experienced after failure. It stands at the heart of the negative affects of self-esteem which frequently involve devastating emotions of self-disparagement (Pekrun, 2007). **Hopelessness** is experienced when the expectations of success are weak or when the expectations of failure are high. Finally, **sadness** results from performing poorly (Pekrun, 2007).

What about the relationship between achievement emotions and mathematical performance? According to the control value theory (CVT) (Pekrun, 2006), the overall effects of emotion on academic achievement are assumed to be contingent on a set of motivational and cognitive mechanisms, such as the cognitive resources available, the kind of learning and self-regulation strategies adopted, learner effort and motivation, all of which are directly correlated to academic achievement. In line with the assumptions of the CVT, empirical research conducted with upper elementary students revealed that positive emotions have a

⁷⁸ Positive deactivating emotions are mainly retrospective (e.g., relief, satisfaction). However, the purpose of the present study is to identify the motivational-emotional profiles with which students launch into problem-solving tasks. Therefore, positive deactivating emotions were not assessed.

beneficial effect on students' mathematical achievement and that negative emotions impair it (Frenzel et al., 2007; Peixoto et al., 2017; Pekrun et al., 2017). More precisely, positive activating emotions (e.g., enjoyment and pride) were found to be positively related to mathematical achievement. However, it seems that the relationship between positive deactivating emotions and mathematical achievement has not yet been investigated. Anxiety and shame, two negative activating emotions, appeared to be negatively related to math achievement. The same relation was found for hopelessness, a negative deactivating emotion. Among the emotions most often experienced in an academic context, the strongest links were observed with hopelessness, shame and anxiety (which explains between 10% and 18% of the total variance).

2.2 Emotion regulation strategies

Since emotions can impair students' motivation, learning and academic achievement, it is important that students employ successful strategies in order to influence the occurrence, duration and intensity of the emotions experienced; in other words, that they regulate their emotions (Buric, Soric & Penezic, 2016; De Corte et al., 2011; Gross, 1998). In response to the lack of literature regarding the emotion regulation strategies used by students in compulsory educational settings, Authors (2018a) investigated, in a previous study, the strategies used by upper elementary students to regulate their negative emotions when solving mathematical problems. Based on the three major theoretical models in this field, those of Folkman and Lazarus (1988), Gross (1998) and Mikolajczak (2012), six emotion regulation strategies were revealed. **Negative self-talk or rumination** involves focusing on the negative aspects of the situation, by dramatizing them, by constantly thinking them over or by convincing oneself that they are beyond one's control. **Dysfunctional avoidance** consists in avoiding dealing with the task, despite the fact that its completion is beneficial in the long run. **Emotion expression** refers to the social sharing of one's emotions. **Task-utility self-persuasion or utility value reappraisal** consists in convincing oneself of the personal utility of the task despite the fact that the latter generates unpleasant emotions. **Help seeking** is about seeking peer and teacher assistance. Finally, **brief attentional relaxation** resides in releasing attention for a few seconds through distraction or by relaxing. Theoretically the first two are considered as maladaptive and the last four as adaptive (Eccles & Wigfield, 2002; Mikolajczak, 2012). If researchers generally agree that engaging in ruminative thoughts (Garnefski, Rieffe, Jellesma, Meerum Terwogt & Kraaij, 2007; Nolen-Hoeksema, Wisco & Lyubomirsky, 2008) and avoiding situations that generate short-term negative emotions but that are beneficial in the long run (De Corte et al., 2011; Mikolajczak, 2012) are maladaptive per se, this is not the case for the other four strategies. In this regard, recent research conducted with undergraduate students has shown that several emotion regulation strategies are not per se adaptive or maladaptive, but rather that this depends on the context, the frequency and intensity of use, the pattern of strategies used and on the individual (Ben Eliyahu & Linnenbreink, 2013; Buric et al., 2016; Schmidt et al., 2010).

What use do upper elementary students make of these strategies? Our findings showed that, apart from the task-utility self-persuasion strategy, students have a weak practice of

emotion regulation. This observation aligns with previous research (De Corte et al., 2011; Garnefski et al., 2007; Viguer, Cantero & Banuls, 2017).

The relation between emotion regulation and achievement emotions have mainly been investigated in high school and university students and has revealed inconsistent results. Ben Eliyahu and Linnenbrink-Garcia (2013) have found that reappraisal positively predicted positive emotions in both favorite and least favorite courses and negatively predicted negative emotions in favorite courses only. Rumination was found to predict positively negative emotions across contexts and to negatively predict positive emotions in the least favorite course only. Schmidt et al. (2010) examined the reverse association. They observed that anxiety/fear negatively predicted distancing⁷⁹ and positively predicted problem-focused strategies⁸⁰ and seeking social support. Frustration/powerlessness positively predicted distancing and seeking social support. Positive emotions positively predicted reappraisal, problem-focused strategies and seeking social support. Burić et al. (2016) observed a negative bidirectional link between respiration and positive emotions as well as a positive bidirectional relation between both respiration and reappraisal, and negative emotions. Similarly, Authors (2018a), in their study conducted with upper elementary students, found that problem-solving anxiety was predicted not only by dysfunctional avoidance and negative self-talk but also by the expression of emotion, brief attentional relaxation and help seeking. However, it is important to note that, except for negative self-talk, the explained variance was marginal. Taken together these findings echo the observation mentioned above, that the degree of adaptability and adaptivity of emotion regulation strategies are relative. This leads scholars to underline the challenge for educational literature to explore the factors, both background variables and motivational-emotional characteristics, that explain the use of one strategy over another.

As for perceived competence, no study has investigated the relationship between perceived competence and emotion regulation yet, with the exception of Buric and her colleagues (Buric et al., 2016; Soric, Penezic & Buric, 2013). In their correlational studies conducted with high school and university students, the authors observed that students' perception of academic control and self-efficacy correlates negatively with avoidance and venting. No significant relation was found for reappraisal, suppression, respiration, and seeking social support.

2.3 Perceived competence

In the CVT, control appraisals are determined by causal expectations of success or failure and by causal attributions (Pekrun, 2006). Among the determinants of causal expectations, perceived competence is the one that has received the greatest attention from scholars in the field of mathematics. Building on Bandura's (1997) theory, perceived competence is conceptualized in the CVT as an individual's judgment of his/her personal ability to organize

⁷⁹ Distancing consists in distancing oneself from the task by engaging in fun activities, trying to make one's mind off it. This strategy presents some overlap with the dysfunctional avoidance strategy.

⁸⁰ Problem-focused strategies cover strategies that consists in focusing on the task.

and execute a course of action in order to attain self-set goals. Like many scholars, we consider that when assessed at a domain level of specificity, self-concept, perceived competence and self-efficacy belief reflect the same reality (Ahmed, Minnaert, Kuyper & van der Werf, 2012; Bouffard & Vezeau, 2010; Valentine, DuBois & Cooper, 2004). As outlined above, according to the CVT, perceived competence is one of the most proximal determinants of achievement emotions. Thus, doubting or being confident about one's capabilities is assumed to lead the learner to experience different emotions (Pekrun, 2006). The little empirical research that has looked at the connection between upper elementary students' emotions and perceived competence in the mathematics context, aligned with the CVT assumptions demonstrating that perceived competence correlates negatively with negative emotions and positively with positive emotions (Authors, 2018b; Frenzel et al., 2007; Peixoto et al., 2017). The strongest relationships were observed for pride, hopelessness and anxiety.

What about the relationship between perceived competence and mathematical performance? As postulated in the self-efficacy theory, individuals acquire information to evaluate their competence from four sources (Bandura, 1997). Among them, mastery experiences proved to be the most influential source of efficacy information (Artino, 2012; Bandura, 1997). This theoretical assumption is supported by a substantial body of evidence highlighting that upper elementary students' perceived mathematical competence is a powerful predictor of their mathematical achievement (Arens, Marsh, Pekrun, Lichtenfeld, Murayama & vom Hofe, 2017; Justicia-Galiano et al., 2017; Murayama, Pekrun, Lichtenfeld & vom Hofe, 2013; Peixoto et al., 2017). This concurs with what has been found with older students. More precisely, in their meta-analysis covering elementary to university students, Möller, Pohlmann, Köller and Marsh (2009) found a mean correlation of 0.43 between mathematical achievement and mathematical self-concept.

3. Research questions

The literature reviewed above has pointed out the key role played by achievement emotions and perceived competence in mathematical settings and, more particularly, in problem-solving tasks. In line with the current literature (Fagnant, Dupont & Demonty, 2016; Schukajlow, Leiss, Pekrun, Blum, Müller & Messner, 2012; Tzohar-Rozen & Kramarski, 2017), we conceptualized problem-solving tasks as problems in which solutions are not immediately evident; and for which resolution is not based on the procedure that has just been seen in class, but rather requires the student to consider the problem as an everyday situation in life that can be modeled mathematically. These problems are described as “non-routine” given their sparsity in regular classrooms.

Although research conducted so far has produced important insights into the relationships between these variables, none of it has looked at their complex combinations within upper elementary students and the way these relate to emotion regulation and problem-solving performance. This issue requires a shift from a variable centered approach to a person-centered approach. Effectively, if the former approach takes the variables under study as the

focal point, the latter focuses on particular combinations of variables as they exist within groups of individuals (Hayenga & Corpus, 2010). The issue at stake here is to identify discriminable, homogeneous groups of students with similar motivational-emotional characteristics that may impact emotion regulation and problem-solving performance. As our approach is based on hypothetical predictions and not on a strong model, that is, it endorses an exploratory character, we opted for cluster analysis (Magidson & Vermunt, 2002; Muthén & Muthén, 2000).

The present study aimed to overtake the limitations of extant literature by addressing the following two research questions:

- Can meaningful distinct subgroups of upper-elementary problem solvers with specific combinations of emotional and motivational characteristics be identified?
- Do these distinct subgroups differ regarding emotion regulation strategies and problem-solving performance?

However, to leave it at this, would be to disregard a whole part of the educational literature on mathematics that has looked at gendered differences. More precisely, it appeared that girls experienced less positive emotions and more negative emotions (Frenzel et al., 2007; Pekrun et al., 2017), and are less confident in their capabilities than boys (Goetz, Bieg, Lüdtke, Pekrun & Hall, 2013; Jacobs, Lanza, Osgood, Eccles & Wigfield, 2002). This brings us to consider a third question:

- Do these distinct subgroups differ regarding gender?

Considering that no study to date has attempted such a cluster analysis, our predictions are speculative. Based on previous findings, we would expect there to be at least two groups of students: those presenting a disadvantageous profile who would feel mainly negative emotions and doubt about their problem-solving competence and those with an advantageous profile who would experience only positive emotions and be confident about their problem-solving capabilities. What is unclear is whether intermediate profiles exist or if there are a variety of advantageous and disadvantageous profiles. With regard to our second research question, based on the literature reviewed above, we anticipated that the advantageous profile would have the highest problem-solving performance, while the disadvantageous profile would display low performance.

With respect to emotion regulation strategies, considering the little empirical evidence on this subject and their relative nature, it is difficult to make strong assumptions. Nonetheless, as the six emotion regulation strategies presented above aim to down-regulate negative emotions, we might expect that the advantageous profile would rely less frequently on them than the disadvantageous profile. The latter is assumed to rely more heavily on the two less adaptive forms of emotion regulation, that is, dysfunctional avoidance and negative self-talk. Considering our third research question, based on the literature presented above, we postulate the presence of a larger proportion of boys with an advantageous profile and the reverse pattern for the disadvantageous profile.

4. Method

4.1 Sample and procedure

The study involved 354 upper elementary students (mean age: 10.5 ± 0.61 years⁸¹) from five different schools in the French-speaking part of Belgium (Table 1). In line with Leiss, Schukajlow, Blum, Messner and Pekrun's (2010) findings, students with reading difficulties were excluded from the data analysis; these included three participants scoring two standard deviations below the mean in Lobrot's Lecture 3 reading test (Lobrot, 1967). The sample represented a wide range of students in terms of socio-economic background. Students who were absent during data collection filled in the problem-solving test and the three self-reported scales once back in class so that no students were removed from the study. The respondents were solicited by their teacher, during the math course, to complete the questionnaires. The problem-solving test was given first so that students could answer the scales with examples of problems in mind. After ensuring the confidentiality of the data, items were read aloud by the teacher and students were encouraged to follow along instead of working ahead. They were invited to express themselves if they did not understand an item. The entire session lasted approximately one hour.

Table 1. Characteristics of the sample

	Grade 5	Grade 6	Total
Girls	90	82	172
Boys	91	91	182
Total	181	173	354

4.2 Measures

Problem solving perceived competence was assessed through seven items adapted from Boekaerts' (2002) Online Motivation Questionnaire (e.g., "How good do you think you are at problem solving tasks?", $\alpha = .88$). The items were rated on a 4-point scale.

Trait-achievement emotions typically experienced by upper elementary students in mathematical problem-solving tasks were evaluated through a questionnaire presenting facial expressions (one pictorial item per emotion). These included two positive activating emotions (enjoyment, pride), four negative activating emotions (shame, fear, worry, nervousness) and two negative deactivating emotions (sadness, hopelessness) (Frenzel et al., 2007; Lichtenfeld et al., 2012; Peixoto et al., 2017). Students were asked to indicate to what extent they felt each emotion when solving a math problem using a 5-point Likert scale.

Emotion regulation strategies were appraised using the Children's Emotion Regulation Scale in Mathematics (CERS-M) (Authors, 2018a). This questionnaire consists of 14 items, rated on a 4-point Likert scale and targets six strategies commonly used by 5th and 6th graders to regulate their emotions when solving mathematical problems (see Table 2). Exploratory

⁸¹ Similar data are observed within the reference population (General Service of the Management of the educational System, 2016).

factor analysis revealed six factors (eigenvalue higher than 1) explaining more than 71% of the variance. Factor loadings ranged from 0.71 to 0.89.

Table 2. Description of the emotion regulation strategies' scale

Scale name	Item number	Cronbach α	Sample item
Help-seeking	2	.75	"I ask the teacher to help me to solve the problem"
Brief attentional relaxation	3	.71	"I put down my pen a few seconds and stretch my arms"
Task-utility self-persuasion	2	.67	"Even if I do not like solving math problems, I tell myself that it is important to do so in order to be able to understand them and thereby to succeed"
Emotion expression	2	.71	"I tell my neighbor that the problem makes me angry, sad, hopeless, or bored"
Negative self-talk	3	.73	"I tell myself that it is terrible not being able to solve the problem and that I am sure that it only happens to me"
Dysfunctional avoidance	2	.57	"In order not to experience an unpleasant moment, I tell myself that I will solve the problem later"

Problem-solving performance was assessed by means of a standardized test made up of four non-routine word problems ($\alpha = .65$). This test was designed on the basis of the expertise of the first author in collaboration with five of the sixteen teachers involved in the present study. In order to measure students' competence in solving non-routine problems and not their mathematical knowledge or technical ability, only application problems were offered, and use of the calculator was permitted. Accuracy of problem responses was scored on a 0-1 continuum; 0 reflected a completely erroneous response, 0.5 reflected a partially correct response, and 1 reflected a completely correct response. For each student, a global score was computed by summing his/her four scores. Interrater reliability, computed by two independent blind scorers, was excellent ($k = 0.96$) (Cohen, 1960).

Students' previous problem-solving performance, included as a control variable, was assessed, three months before the start of the study, using a standardized test made up of four non-routine word problems similar to those used to assess students' actual performance. Accuracy of problem responses was scored using the same procedure ($k = 0.90$; $\alpha = .66$).

The schools' socio-economic index score, included as a control variable, was collected on the Ministry of the French Community of Belgium's website. This index classifies schools on a scale of 1 (the lowest index) to 20 (the highest index). It is calculated from five factors measured for each student: the per capita income, the level of qualification, the unemployment rate, the professional activities and the housing conditions. The index scores of each school is then defined on the basis of the average of the indices of its population.

5. Results

There was very little missing data in the self-reported measures due to the fact that, after the completion of each scale, the first author checked that students had not left particular items blank. When this was the case (2% of cases), she returned the scale to the student to complete the item(s) concerned.

5.1 Preliminary analysis

Table 3 displays the zero-order correlations and summary statistics of each variable under research. The sadness, shame and emotion expression present a leptokurtic distribution (positive kurtosis). Many scores are thus found in the tails and the distribution is pointy (DeCarlo, 1997). As expected, negative emotions correlated negatively with problem-solving performance. However, no significant correlation was found between positive emotions and problem-solving performance. As predicted, problem-solving perceived competence appeared to be positively related to problem-solving performance. As for emotion regulation strategies, our data pointed out a strong and negative relation between perceived competence and negative self-talk and a moderate association with dysfunctional avoidance. Positive emotions appeared to be moderately associated, positively to task-utility self-persuasion and negatively to negative self-talk. With regard to negative emotions, strong correlations were found for negative self-talk whereas low magnitudes were found for the other strategies. Positive emotions appeared to be less tied to emotion regulation strategies than negative ones, indicating that these strategies are better in increasing/decreasing the experience of negative emotions than in decreasing/increasing the experience of positive emotions. Overall, these results lend support to the relevance of the nine entrance variables to account for students' problem-solving performance and emotion regulation.

Table 3. Means, standard deviations, skewness, kurtosis and correlation matrix for the study variables

	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>S</i>	<i>K</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Cluster																				
1. Competence	2.70	.55	-.39	.41	1															
2. Pride	2.60	1.12	.70	-.36	.38**	1														
3. Enjoyment	2.82	1.37	.30	-1.14	.42**	.41**	1													
4. Hopelessness	1.87	1.01	1.25	1.20	-.29**	-.10	-.18**	1												
5. Worry	2.44	1.25	.76	-.40	-.43**	-.08	-.14**	.53**	1											
6. Sadness	1.68	1.01	1.63	2.12	-.24**	-.10	-.07	.58**	.50**	1										
7. Nervousness	2.51	1.29	.58	-.75	-.35**	-.11*	-.17**	.46**	.66**	.49**	1									
8. Fear	1.92	1.16	1.28	.78	-.36**	-.12*	-.09	.47**	.69**	.48**	.62**	1								
9. Shame	1.68	1.02	1.68	2.29	-.37**	-.08	-.10	.50**	.54**	.53**	.46**	.50**	1							
Emotion regulation strategies																				
10. Help-seeking	2.23	.75	.40	-.03	-.16*	.06	.06	.20**	.18**	.13*	.18**	.20**	.15*	1						
11. Brief attentional relaxation	2.30	.80	.38	-.57	-.15*	-.003	.001	.17**	.21**	.08	.17**	.15**	.10	.17**	1					
12. Task-utility self-persuasion	2.94	.86	-.53	-.57	.05	.26**	.17*	-.01	.12*	.04	.10*	.17**	.07*	.02	-.03	1				
13. Emotion expression	1.44	.62	1.57	2.33	-.17**	-.15**	-.07	.25**	.17**	.17**	.20**	.12*	.18**	.22**	.22*	-.12*	1			
14. Negative self-talk	1.84	.77	.71	-.25	-.53**	-.17**	-.20**	.44**	.50**	.41**	.44**	.48**	.50**	.22**	.16*	.08	.27*	1		
15. Dysfunctional avoidance	1.63	.65	.86	.16	-.25**	-.02	-.02	.22**	.19**	.23**	.18**	.14**	.24**	.17**	.32*	.06	.21*	.33**	1	
16. Problem-solving performance	.36	.28	.36	-.67	.35**	-.01	.06	-.15**	-.20**	-.12*	-.22**	-.18**	-.19**	-.10	-.10	-.12*	-.01	-.25**	-.15**	1

Note. N= 354. *p < .05; **p < .01

5.2 Cluster analysis

As the perceived competence scale and the achievement emotions scale have different metrics, each entrance variable was standardized through Z-transformations before starting the cluster analysis. Hierarchical cluster analysis using Ward's method of linkage and the squared Euclidean distances as the measure of similarity was then used to identify the number of clusters and to fix cluster centers (Aldenderfer & Blashfield, 1984). On examination of the dendrogram, it was determined that four clusters fit the data best. Furthermore, the four-cluster solution was interpretable and had a good distribution of cases across clusters. It explained 51% of the total variance. Next, a k-means cluster procedure with a 4-cluster solution was run to construct the final solution (Bergman, 1998). Specifically, the four clusters revealed by Ward's analysis were used as the initial cluster centers. Following the K-means procedure, the final solution of four clusters explained 56% of the total variance. The final cluster centroids for the four clusters are displayed in Table 4 and illustrated in Figure 1. Centroids reflect students' means in each of the achievement emotions and perceived problem-solving competence in each cluster. It is worth mentioning that, as scales were standardized, a positive centroid indicates a higher score than the overall sample mean and, a negative centroid reflects a lower score than the average student from the sample.

The reliability of this solution was also examined through MANOVA, as described below. It is worth mentioning that pre-existing individual differences were controlled for by including in the analyses four covariates acknowledged to predict students' achievement emotions and perceived problem-solving competence; specifically, students' previous problem solving performance (Pajares & Graham, 1999; Seaton et al., 2014), school level (5th, 6th) (Goetz, Cronjaeger, Frenzel, Lüdtke & Hall, 2010; Goetz, Frenzel, Pekrun, Hall & Lüdtke, 2007), gender (Frenzel et al., 2007; Lichtenfeld et al., 2012; Stipek & Gralinski, 1991) and the schools' position in the socio-economic index (Alivernini & Lucidi, 2011; Phinney, Dennis & Gutierrez, 2005).

5.3 Validation of the cluster solution

A one-way MANOVA was computed with cluster-membership as the between-subjects factor and the nine cluster variables as dependent variables. The overall MANOVA was significant, Pillai's Trace = 1.54, $F(27,957) = 37.49$, $p < .001$. Given the significance of the overall test, the univariate main effects were considered. As shown in Table 4, the univariate tests for each cluster variable were all significant and cluster-membership explains between 24% and 54% of the variance of the nine variables used to create the clusters. Results suggest that the composition of each cluster is significantly different from the others.

Further, a cross-validation procedure was set up to assess the replication of the four-cluster solution (Breckenridge, 2000; Tibshirani & Walther, 2005). To do so, the data set was randomly divided into two samples (sample 1, $n = 177$ and sample 2, $n = 179$). K-means clusters – specifying a four-cluster solution – were performed separately on samples 1 and 2 using the cluster centroid derived from the global sample. According to Cohen's work, the

agreement between the cluster solutions for the whole sample and for the two subsamples was substantial (average Kappa = .70).

Table 4. Cluster centroids and multivariate analysis of variance

Cluster patterns	Cluster 1: unengaged	Cluster 2: anxious	Cluster 3: resigned	Cluster 4: confident	<i>F</i>	η^2
<i>n</i>	131 (37%)	73 (20.6%)	40 (11.3%)	110 (31.1%)		
Competence	-.13 b	-.46 ab	-.86 a	.76 c	34.54***	0.24
Pride	-.60 a	.04 b	-.38 ab	.82 c	54.39***	0.33
Enjoyment	-.58 a	-.13 b	-.29 ab	.88 c	61.78***	0.36
Hopelessness	-.33 a	.32 b	1.72 c	-.44 a	72.89***	0.40
Worry	-.48 a	.84 b	1.55 c	-.55 a	120.40***	0.53
Sadness	-.38 a	.36 b	1.83 c	-.45 a	94.46***	0.47
Nervousness	-.44 a	.81 b	1.38 c	-.51 a	78.60***	0.42
Fear	-.47 a	.77 b	1.51 c	-.50 a	101.70***	0.48
Shame	-.38 a	.10 b	2.05 c	-.36 a	125.98***	0.54

Note. Letters indicate post hoc comparison grouping based on Bonferroni; cluster centroids with different letters differ significantly. * $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$.

5.4 Description of the clusters

The four-cluster solution, their relevance confirmed by both theoretical and statistical criteria, revealed meaningful motivational-emotional profiles highlighting specific patterns of variables. Background variables are described in order to refine the characterization of each cluster (Table 5).

- (1) *Unengaged* ($n = 131$; 37%). The first cluster was named the *unengaged profile* due to substantially low centroids on both positive and negative emotions. Students in this cluster feel less pride enjoyment, nervousness, fear, worry, sadness, shame, and hopelessness. They are slightly less confident in their problem-solving capabilities than the average student. This difference is slightly stronger for positive emotions than for negative ones. This cluster was composed of a few more boys (53.4%) and sixth graders (55.7%).
- (2) *Anxious* ($n = 73$; 20.6%). The second cluster was labeled the *anxious profile* due to it having higher positive centroids on worry, nervousness and fear in comparison to the other negative achievement emotions. As regards these other negative achievement emotions, scores above average were reported regarding hopelessness and sadness, and average scores regarding shame. As for positive emotions, this cluster was characterized by average pride and below average enjoyment. Lower scores on problem-solving perceived competence were also reported. A typical student from this cluster would thus feel more worry, nervousness and fear and has lower confidence in his/her ability to succeed when dealing with mathematical problem-solving than the average student. This cluster was composed mainly of girls (61.6%) and fifth graders (64.4%).

- (3) *Resigned* ($n = 40$; 11.3 %). The third cluster includes the students with the most at-risk profile, and hence was entitled the *resigned profile*. Compared to the anxious profile, these students reported not only higher positive centroids on worry, nervousness and fear but also the highest positive centroids on hopelessness, sadness and shame. As for positive emotions, students in this cluster displayed a similar score for enjoyment and pride as unengaged and anxious students. This profile was also characterized by a below average score on problem-solving perceived competence. Such students were mostly girls (80%) and sixth graders (55%).
- (4) *Confident* ($n = 110$; 31.1%). The final cluster included students with the highest positive centroid on perceived competence and, hence was labeled the *confident profile*. In contrast to the resigned profile, these students experienced more positive emotions and fewer negative emotions – whether activating or deactivating – and reported feeling competent in math problem solving. This cluster is predominantly composed of boys (68.2%).

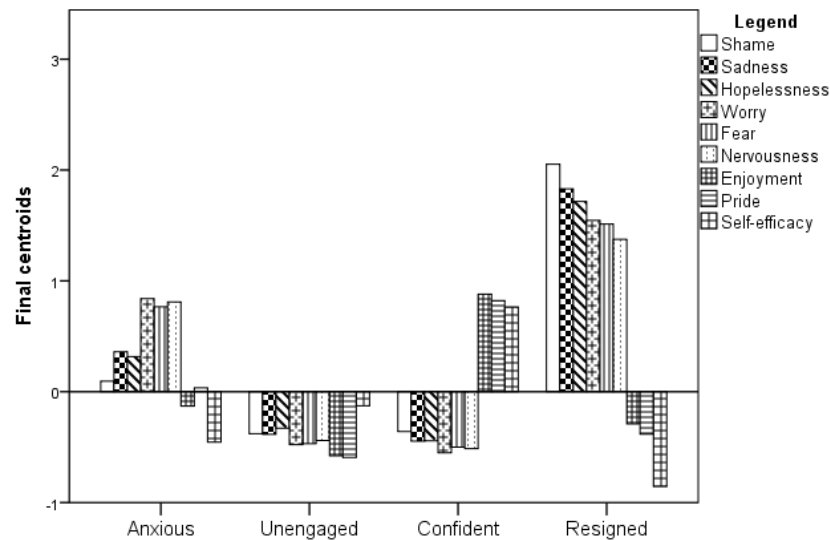


Figure 1. Standardized means of cluster variables for each profile

Table 5. Background variables for each cluster

	Sample	Cluster 1 Unengaged	Cluster 2 Anxious	Cluster 3 Resigned	Cluster 4 Confident	Statistics
Gender (Girl)	48.9%	46.6%	61.6%	80%	31.8%	$\chi^2(3) = 30.36$; $p < .001$, $v = .30$
School level (grade 5)	51%	44.3%	64.4%	45%	52.7%	$\chi^2(3) = 8.40$; $p = .040$, $v = .15$

5.5 Clusters and outcomes

Again, to control for pre-existing individual differences, the same four covariates (students' prior problem-solving performance, school level, gender, and schools' socio-economic index score) were included both in the ANOVAs and in the post hoc analyses.

Problem-solving performance. Using a one-way ANOVA, significant differences were found between the clusters and problem-solving performance ($F(3,326) = 8.30, p < .001, \eta^2=.07$) (see Table 6). More precisely, post-hoc comparisons based on the Bonferroni test showed that the anxious ($M = 0.26, SD = 0.26$) and the resigned ($M = 0.29, SD = 0.23$) profiles scored the lowest on problem solving. While the two profiles did not differ significantly, they both displayed significantly lower performance than the unengaged profile ($M = 0.37, SD = 0.26$) and the confident profile ($M = 0.43, SD = 0.29$).

Table 6. Post-hoc comparison among the four profiles on problem-solving performance and emotion regulation strategies

	Cluster 1 Unengaged	Cluster 2 Anxious	Cluster 3 Resigned	Cluster 4 Confident	$F(3, 325)$	η^2
Emotion regulation strategies						
Help-seeking	2.59 a	2.77 a	2.80 a	2.61 a	2.20	
Brief attentional relaxation	2.14 a	2.54 b	2.34 ab	2.22 ab	3.21**	0.03
Task-utility self-persuasion	2.72 a	3.16b	3.07 ab	3.06 b	5.04**	0.04
Emotion expression	1.40 ab	1.60 b	1.60 b	1.24 a	5.31***	0.05
Negative self-talk	1.73 b	2.17 c	2.76 d	1.42 a	35.83***	0.25
Dysfunctional avoidance	1.58ab	1.84 bc	1.88 c	1.46 a	5.43***	0.05
Problem-solving performance	0.37 b	0.26 a	0.29 a	0.43 b	8.30***	0.07

* $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$

Emotion regulation strategies. ANOVAs were computed, followed by post hoc comparisons based on Bonferroni tests (see Table 6). First, no significant difference was found between the four profiles regarding the help-seeking strategy, indicating that upper elementary students, whatever their motivational-emotional entrance characteristics, asked for teacher or peer assistance at a similar frequency. Second, the anxious profile ($M = 2.54, SD = 0.82$) reported a significantly higher use of brief attentional relaxation than did the unengaged profile ($M = 2.14, SD = 0.76$). Third, as for the task-utility self-persuasion strategy, the unengaged profile ($M = 2.72, SD = 0.81$) resorted significantly less to it as compared to both the anxious profile ($M = 3.16, SD = 0.69$) and the confident profile ($M = 3.06, SD = 0.96$). Fourth, the confident profile ($M = 1.24, SD = 0.42$) displayed significantly lower levels of emotion expression than both the anxious ($M = 1.60, SD = 0.62$) and the resigned profiles ($M = 1.60, SD = 0.74$). Fifth, regarding the negative self-talk strategy, the confident profile ($M = 1.42, SD = 0.55$) exhibited the lowest use, followed by the unengaged profile ($M = 1.73, SD = 0.63$) which, in turn, demonstrated significantly lower use than the anxious profile ($M = 2.17, SD = 0.66$) which in turn differs significantly from the resigned profile ($M = 2.76, SD = 0.76$). Finally, with respect to the dysfunctional avoidance strategy, the confident profile ($M = 1.49, SD = 0.60$) reported significantly lower use of it compared to both the anxious ($M = 1.83, SD = 0.70$) and the resigned ($M = 1.90, SD = 0.72$) profiles. The unengaged profile differed advantageously from the resigned profile ($M = 1.57, SD = 0.61$) too.

6. Discussion

This study was designed to reveal the various combinations of achievement emotions and perceived competence in upper elementary students as they deal with problem-solving tasks and to highlight the way these combinations are a function of gender and affect problem-solving performance and emotion regulation.

6.1 Can meaningful distinct subgroups of upper-elementary problem solvers with specific combinations of emotional and motivational characteristics be identified?

Cluster analysis revealed four distinct profiles that varied meaningfully regarding achievement emotions and perceived competence. These findings echo those of previous studies showing that students embark on academic tasks with a set of specific motivational and emotional characteristics that are a function of the academic domain being addressed (Ahmed et al., 2013; Pekrun, 2006). More precisely, in addition to a fully adaptive profile, the cluster analysis brought out two distinct profiles of negative achievement emotions as well as a more complex profile that includes a combination of high and low scores on the nine entrance variables. Not surprisingly, the confident profile stood out advantageously from both the anxious and the resigned profiles. This is evidenced by lower levels of negative emotions, higher levels of positive emotions and more self-confidence. However, the confident profile is not the only one to differ advantageously from the two maladaptive profiles. Indeed, compared to both the anxious and the resigned profiles, the unengaged profile displayed lower level of negative emotions too. Further, students with an unengaged profile were more confident in their problem-solving capabilities than their peers with a resigned profile.

Is the unengaged profile more adaptive than the confident profile?

If both the unengaged and the confident profiles are characterized by low levels of negative emotions, they differ regarding positive emotions and perceived problem-solving competence. In contrast to students with a confident profile, students with an unengaged profile are significantly less confident in their math problem-solving capabilities and experience markedly fewer positive emotions. Considering the beneficial effects of positive emotions on students' attention, motivation to learn, choice of learning strategies, self-regulation of learning and on their psychological and physical health (Ahmed et al., 2013; Peixoto et al., 2017; Pekrun, 2006) and those of perceived competence in terms of task persistence, use of metacognitive strategies and effort investiture (Marcou & Philippou, 2005 ; Metallidou & Vlachou, 2007 ; Stoeger & Ziegler, 2011), the confident profile appears more adaptive than the unengaged profile.

Are the anxious and the resigned profiles equally at risk?

While students in both the anxious and the resigned profiles experienced negative achievement emotions they differ regarding their frequency. The anxious profile reported

experiencing more activating emotions (i.e. fear, nervousness, worry) than deactivating emotions (i.e., hopelessness, sadness) with the exception of shame, which is experienced with a similar frequency to the deactivating emotions. In contrast, students with a resigned profile very frequently experienced both activating and deactivating emotions and that at a higher frequency than their peers with an anxious profile. Both profiles are characterized by low perceived competence and markedly lower levels of positive emotions. These findings seem to indicate that students with an anxious profile are a little bit less at risk than their peers with a resigned profile.

But, are the conclusions made so far still valid when problem solving performance and emotion regulation are taken into account?

6.2 Do these distinct subgroups differ regarding emotion regulation strategies and problem-solving performance?

In line with our previous findings, the confident profile distinguished itself from both the anxious and the resigned profiles by displaying higher problem-solving performance and resorting much less frequently to maladaptive forms of emotion regulation, namely dysfunctional avoidance and negative self-talk. Students with an unengaged profile also stood out advantageously from their peers with a maladaptive profile regarding the negative self-talk strategy and problem-solving performance. Further, unengaged students resorted less to the dysfunctional avoidance strategy than their resigned counterparts did. However, findings revealed that students with an anxious profile relax their attention and convince themselves of the utility of performing problem solving tasks significantly more than those with an unengaged profile. Although it is not surprising that the former, experiencing fewer emotions, resorts less to emotion regulation than the latter, these observations nuance the anxious profile. The anxious profile, by employing its characteristic adaptive forms of emotion regulation, no longer appears as entirely maladaptive.

Is the confident profile still more adaptive than the unengaged one?

A first observation is the absence of a significant difference in performance between the two profiles. Students' unfamiliarity with non-routine problems may be a possible explanation. Several scholars have shown that the strategies used by students to solve the problems traditionally given in class prove to be ineffective in solving non-routine problems (Depaepe et al., 2015; Fagnant et al., 2003). Performance is thus not only a question of positive emotion but also of strategies. This point concurs with empirical studies based on the CVT that have shown that the overall effects of emotions on academic achievement are mediated by a set of motivational and cognitive mechanisms that include cognitive and metacognitive strategies (Valiente, Swanson & Eisenberg, 2012). With respect to emotion regulation, since the six strategies presented above aim to down regulate negative emotions and since both the confident and the unengaged profiles experienced little negative emotions, it was not surprising to note that both profiles resort to them with a similar frequency.

The exception is the task-utility self-persuasion strategy, for which a lower use was recorded among students with an unengaged profile. This suggests that in addition to ascribing no intrinsic value (enjoyment) to problem-solving tasks, students with an unengaged profile do not value their extrinsic value either. It is as if they were surfing over the tasks without really plunging in. They “routinely execute but do not get substantially involved with the tasks”, to use the words of Nardi and Steward (2003). These authors called it the “quiet disaffection” profile. Our findings indicated that this profile is more common in 6th grade than in 5th grade, suggesting that the more we progress in school years, the more we meet unengaged students. This suggestion echoes the conclusions of studies that have investigated the origin of the automated and superficial behaviors of students. These studies showed that these behaviors are the product of a prolonged enculturation in a classroom culture where problem-solving tasks are stereotyped (demanding the routine application of simple arithmetical operations), unrealistic, and non-challenging (Depaepe et al., 2015).

In addition, our findings revealed that students characterized as unengaged are more inclined to ruminate (negative self-talk) than their peers with a confident profile. The substantial negative correlation between perceived competence and negative self-talk may account for this difference. In other words, our results suggest that being confident in one’s abilities can avert negative thoughts. In this connection, studies have revealed that students who judge themselves to be ineffective are more prone to engage in ruminative thoughts (Johnston-Wilder, Lee, Brindley, & Garton, 2015; Thomsen, 2006). This is probably because a negative perception of competence is mostly explained by repeated past failures (Artino, 2012; Bandura, 1997; Galand & Vanlede, 2004) which activate negative thoughts and emotions that can, in turn, induce ruminative thoughts.

Taken together, our findings underscore that the confident profile is academically more adaptive not only in terms of emotions and confidence but also in preventing ruminative thinking and supporting task-utility enhancement.

Are students with an anxious profile really less at risk than their peers with a resigned profile?

Regarding problem solving performance, findings stressed the absence of difference between the two profiles. With respect to emotion regulation, if both profiles resort heavily and with a similar frequency to brief attentional relaxation, task-utility self-persuasion, emotion expression and dysfunctional avoidance strategies, students with a resigned profile reported higher use of negative self-talk strategy than their peers with an anxious profile. In this respect, studies have shown that the more intense, frequent and lasting are negative emotions, the more likely the individual will have his/her attention drawn away from the task at hand and will engage in ruminative thoughts (Thomsen, 2006). Nonetheless, the cross-sectional design of the present study implies considering both directions of the relationship. Studies have also shown that focusing repetitively on one’s negative emotions, together with their causes and consequences, increases and prolongs negative emotions (Nolen-Hoeksema, 2000; Rusting & Nolen-Hoeksema, 1998), which also support our findings. Based on the association between rumination and deficits in executive capacity, cognitive flexibility, task-

switching, concentration, attention, memory, motivation, problem-solving and, beyond learning, to negative mental health effects (Haeffel, 2010; Thomsen, 2006), it seems that students with an anxious profile are less at risk than their peers with a resigned profile.

Another distinction between the two profiles concerns the students' school level. If the anxious profile is mainly composed of 5th grade girls, the resigned profile includes more 6th grade girls. In line with studies that have shown a decline in motivation, engagement and positive emotional experience during the school years (Jacobs et al., 2002), we hypothesize that some anxious girls switch, in sixth grade, to the resigned profile. But this is only speculation as we did not use a longitudinal design.

Besides, the highly negative feelings of students with a resigned profile seem to indicate that a heavy use of the negative self-talk strategy cannot be compensated by the use of more adaptive forms of emotion regulation. This assumption is supported by the strong correlation observed between negative self-talk and negative emotions.

6.3 Do these distinct subgroups differ regarding gender?

The gender distinction refines the previous depiction of how emotional, motivational and cognitive characteristics combine within upper elementary students in the context of problem-solving tasks. Findings revealed a substantially larger proportion of girls with a resigned profile, a larger proportion of girls with an anxious profile as well as a slightly larger proportion of boys with a confident profile. This is consistent with previous studies conducted with elementary students showing that girls experience significantly more negative emotions and fewer positive emotions and rate their competence in mathematics lower compared to boys (Frenzel et al., 2007; Jacobs et al., 2002; Lichtenfeld et al. 2012; Stipek & Gralinski, 1991). According to previous research, these gender differences are the product of two dangerous stereotypes: that girls have weaker mathematical ability than boys, and that mathematics falls within the male domain (Ambady, Shih, Kim, & Pittinsky, 2001; Frenzel et al., 2007). However, this is not the only possible explanation for these gender differences. Another area of research has shown that girls, whether they do poorly or well in school, were more prone to internal distress than boys (Martin, 2004; Pomerantz, Altermatt, & Saxon, 2002). To make sense of these gender differences, future research is warranted that replicates the present study in other academic domains.

6.4 Limitations and future perspective

The person-centered approach of the present study is relatively rare in motivation and emotion research (Hayenga & Corpus, 2010) and therefore calls for replication and extension in future work. First, the four clusters revealed are a function of the motivational-emotional variables examined. As a consequence, it is likely that the addition or deletion of certain cluster variables (e.g., anger, boredom, perceived value) would nuance the clusters obtained. In the same line of thought, the variables we used in clustering might be refined by the addition of achievement goals, not only because they have been shown to have a significant

impact on students' motivation, emotions and academic achievement but also because they seem to be a key difference between the four profiles (Daniels, Haynes, Stupnisky, Perry, Newall & Pekrun, 2008; Kaplan & Maehr, 2002; Pekrun, Elliot & Maier, 2009). Such a study would deepen our understanding of the characteristics of each profile. On the basis of the extant literature on achievement goals and on the present results, we speculate that the unengaged profile would probably be low on both mastery and performance goals and that the confident profile would be the highest on mastery goal. Conversely, the anxious and the resigned profiles would presumably display high levels of performance goals and low levels of mastery goals. Second, although there is some evidence that students show different patterns of motivation and emotions across content areas (Ben Eliyahu & Linnenbrink-Garcia, 2013; Goetz et al., 2010), future research might investigate if the four emotional and motivational profiles, found in the present study, are a function of academic sub-domains (e.g., problem-solving), academic domains (e.g., mathematics) or if they are defined at the academic level and, consequently, are more general and stable. As academic emotions and competence beliefs have been shown to be domain-specific, and even task-specific, we would expect that students' emotional and motivational profiles change across academic content. However, the unengaged profile is pretty close to the "quiet disaffection" profile depicted by Nardi and Steward (2003), and to disengagement profiles (Ferguson, Tilleczek, Boydell, Rummens, Cote & Roth-Edney, 2005) observed at a more general level. Third, and in the same line of thought, it might be interesting to move beyond problem-solving performance to identify correlates that may further differentiate the clusters, such as behavioral engagement, drop-out intentions, self-protective behavior and emotional well-being (Alivernini & Lucidi, 2011; Hayenga & Corpus, 2010). This will make it possible to be able to characterize more precisely the risky profiles and thereby to improve both prevention and treatment interventions. Fourth, our findings suggest a shift of a number of the students from the anxious profile to the resigned profile between 5th grade and 6th grade, which we hypothesized as resulting from prolonged enculturation in a class culture promoting non-challenging, meaningless and procedural tasks. Therefore, another fruitful direction would be to replicate the present study adopting a developmental perspective. In support of this hypothesis, as mentioned previously, research on motivation and academic emotions has suggested a motivational and emotional decline as students move through the school years (Ahmed et al., 2013; Jacobs et al., 2002; Sorić et al., 2013). At the same time, studies on goal achievement and intrinsic/extrinsic motivation have pointed out different patterns of adaptiveness depending on age (Deci, Koestner & Ryan, 1999; Midgley, Kaplan, Middleton, 2001). These divergent findings evidence the need to conduct future investigations in this area. Finally, if for several variables the effect sizes are small, let us keep in mind that as we controlled for strong background variables, all additional variance explained in the dependent variables can be viewed as meaningful.

Discussion et conclusion générales

Discussion et conclusion générales

La présente partie vise à intégrer et à discuter les résultats des différentes études conduites dans le cadre de cette thèse, présentés dans les chapitres 6 à 14. Ainsi, après un rappel du cheminement théorique et des questions de recherche qui ont animé cette thèse, nous discuterons nos principaux résultats sous un double angle, théorique et méthodologique. Ensuite, nous nous interrogerons sur les limites de ces études et sur les perspectives de recherches futures que ces limites et nos résultats ouvrent. Enfin, les implications pratiques de nos résultats seront exposées.

1. Rappel du cheminement théorique et des questions de recherche

Cette thèse trouve son origine dans le constat récurrent, depuis maintenant plusieurs décennies, d'importantes difficultés éprouvées par les élèves face à la résolution de problèmes mathématiques, de la construction par ces derniers d'un rapport émotionnel et motivationnel négatif vis-à-vis de ce type de tâches et de l'impuissance des enseignants pour aider les élèves à y faire face.

Les travaux présentés dans le premier chapitre ont mis en avant les rôles joués par la modélisation mathématique, les stratégies heuristiques qui balisent le processus de résolution, les interactions entre pairs, la nature des problèmes proposés et les normes socio-mathématiques en vigueur dans la classe, dans le développement d'une expertise adaptative en résolution de problèmes. Les stratégies superficielles et les croyances contre-productives adoptées par le résolveur novice mettent en exergue la nécessité d'examiner plus en profondeur le processus d'acquisition d'une telle expertise. Dans le chapitre 2, nous avons donné à voir le rôle central joué par les connaissances métacognitives, les stratégies d'autorégulation cognitive et les croyances motivationnelles, non seulement dans l'initiation du processus de résolution, mais également tout au long de celui-ci. Les recherches présentées ont appuyé l'importance de soutenir le développement naturel de ces connaissances et stratégies à l'école. Le chapitre 3 a, pour sa part, souligné l'influence considérable des émotions sur les processus cognitifs et motivationnels qui sous-tendent l'apprentissage et, de là, sur les performances scolaires des élèves. Le rapport bien souvent négatif des élèves à la résolution de problèmes mathématiques a mis au jour le besoin de développer leurs compétences émotionnelles dans ce domaine. Finalement, les modèles théoriques et études empiriques présentées au chapitre 4 révèlent une relation étroite entre cognition, émotion et motivation. Plus encore, les chercheurs en éducation précisent qu'à l'heure actuelle, il n'est plus envisageable d'aborder une question relative à l'enseignement et/ou à l'apprentissage, sans proposer une lecture tridimensionnelle de celle-ci. Toutefois, comme nous l'avons signalé dans la partie théorique de cette thèse, et comme l'ont encore tout récemment rappelé Tzohar-Rozen et Kramarski (2014, 2017), malgré la reconnaissance

théorique de l'interdépendance des processus cognitifs, motivationnels et affectifs, la plupart des recherches empiriques menées dans le champ de la psychologie de l'éducation privilégient une approche centrée sur une, voire deux dimensions, avec une prédilection pour les processus de nature cognitive et métacognitive ne permettant ainsi pas de cerner les enjeux de l'acquisition intégrale d'une expertise adaptative en résolution de problèmes, qui, pour rappel, requiert « the **integrated** acquisition of five categories of cognitive, affective, and conative [motivational] components » (De Corte et al., 2010, p.132).

La question au cœur de ce travail de thèse, à savoir « Comment soutenir le développement d'une expertise adaptative intégrale en résolution de problèmes mathématiques ? », a été traitée par l'intermédiaire de deux objectifs de recherche principaux. Un premier objectif était d'apporter une compréhension plus complète et plus fine des processus (méta)cognitifs, (méta)motivationnels et (méta)émotionnels en jeu dans l'acquisition d'une telle expertise et de la façon dont ces derniers interagissent les uns avec les autres pour guider les conduites globales de l'apprenant. Un second objectif était d'évaluer l'efficacité d'interventions au contenu modulé. Pour mener à bien ces objectifs, nous avons adopté une approche tridimensionnelle de la résolution de problèmes. Pour le dire autrement, plutôt que de considérer la motivation et les émotions comme de simples carburants du processus d'apprentissage, ces dernières ont été envisagées au même titre que les facteurs cognitifs, c'est-à-dire comme des composantes à part entière.

Les résultats de nos différentes études sont présentés et discutés dans les points suivants. Nous souhaitons rappeler ici qu'à l'instar de plusieurs chercheurs (Bassok, 2003 ; Brand et al., 2003), nous utilisons les termes d'apprenant « novice » et d'apprenant « expert » pour distinguer les élèves avec de faibles compétences en résolution de problèmes non routiniers de ceux dont les compétences sont bonnes (Bassok, 2003 ; Brand et al., 2003). Comme nous le verrons plus loin, d'autres auteurs, tels qu'Ericsson (Ericsson, 2008 ; Ericsson, Krampe & Tesch-Römer, 1993), considèrent l'expertise dans un domaine comme le résultat d'un nombre important d'années de pratique délibérée⁸² intensive (« *deliberate practice* »). En ce sens, notre conceptualisation d'apprenant « novice » et « expert » est relative.

2. Discussion des principaux résultats

2.1 De la nécessité d'une approche tridimensionnelle de la résolution de problèmes

2.1.1 Trajectoire développementale distincte des stratégies heuristiques

Un premier constat qui émerge des différentes études, tant qualitatives que quantitatives, que nous avons menées est que les stratégies heuristiques, bien qu'enseignées simultanément, ne s'acquièrent pas au même moment par l'apprenant. Ce constat corrobore notre hypothèse

⁸² L'adjectif délibéré renvoie au fait que l'individu entreprend la pratique avec le but explicite de développer ladite compétence et ainsi d'améliorer ses performances.

de départ. Si certaines stratégies heuristiques se manifestent dès le second problème de l'intervention, il faut attendre le test de rétention pour en observer d'autres. La trajectoire développementale de chacune d'elles est dépeinte dans les points suivants. Toutefois, compte tenu du fait que les élèves, les enseignants et les traitements statistiques diffèrent d'une étude à l'autre, nous invitons le lecteur à interpréter avec prudence les rapprochements que nous avons réalisés entre nos résultats.

La représentation du problème

Les trois études à visée interventionniste conduites dans le cadre de cette thèse et présentées aux chapitres 7, 9 et 10 attestent de l'augmentation, dès la fin de l'intervention, de la fréquence d'utilisation de la stratégie consistant à représenter le problème, chez les élèves qui ont bénéficié d'une intervention cognitive et métacognitive. Les études qualitatives présentées aux chapitres 12 et 13 permettent de nuancer ce constat. Ces dernières montrent que, dès le deuxième problème de l'intervention, l'apprenant « novice » se lance dans une analyse véritable de la situation. Si cette analyse débute par la construction d'un modèle de situation partiel, elle reflète déjà un changement d'approche chez le résolveur « novice ». Ce dernier ne s'en tient plus au simple prélèvement des données numériques, il s'approprie réellement la situation en accordant autant d'importance aux informations contextuelles que numériques. Cette analyse de la situation s'approfondit au fur et à mesure de l'intervention.

Plusieurs hypothèses complémentaires peuvent être avancées pour expliquer cette appropriation rapide. Premièrement, l'observation de la fréquence moyenne d'utilisation de cette stratégie au prétest (information disponible dans les études 2 et 4 (annexe 3)) indique qu'elle est déjà utilisée par les élèves avant le début de l'intervention. Ce constat rejoint celui de Depaepe et al. (2010). Suite à l'observation de plusieurs classes de sixième primaire, ces chercheurs mettent en évidence l'utilisation, tant par les élèves que par les enseignants, de la stratégie consistant à se construire une représentation mentale du problème. Deuxièmement, plusieurs recherches portant sur l'analyse de manuels scolaires ont mis en exergue la présence d'activités telles que souligner les informations importantes, trier les données utiles des données inutiles, organiser les informations dans un tableau, etc. Les élèves sont donc déjà familiers avec certains processus impliqués dans la construction d'un modèle de situation. Or, on sait que la pratique répétée favorise l'acquisition et la consolidation de connaissances et stratégies ainsi que leur automatisation (Ericsson et al., 1993 ; Fayol, 2006 ; Péladeau, Forget, & Gagné, 2005). À ce sujet, Ericsson et ses collègues (Ericsson, 2008 ; Ericsson et al., 1993) ont montré, au travers de plusieurs études empiriques, qu'une pratique délibérée considérable – au sens du nombre d'heures dévolu à la pratique de la compétence que l'on souhaite acquérir – constitue une condition indispensable à l'automatisation de cette dernière. Par ailleurs, nos résultats indiquent qu'une intervention cognitive et métacognitive suffit au développement de cette stratégie.

Les stratégies d'anticipation, d'identification de la structure mathématique et de planification

Les deux études à visée interventionniste qui se sont penchées sur ces stratégies (études 2 et 4) rapportent une augmentation, dès la fin de l'intervention, de la fréquence d'utilisation de la stratégie d'identification de la structure mathématique du problème chez les élèves qui ont bénéficié de l'intervention cognitive et métacognitive et aucun changement au niveau de la stratégie d'anticipation. Concernant la stratégie de planification, si la seconde étude met en lumière une hausse dès la fin de l'intervention, la première étude précise qu'il faut attendre le test de rétention. A nouveau, les études qualitatives permettent d'affiner ces premiers constats.

Si l'on se penche sur la stratégie d'anticipation, nos analyses qualitatives montrent qu'elle est effectivement utilisée par les apprenants « novices », durant l'intervention, mais de façon plutôt inappropriée (estimation de l'ordre de grandeur du résultat trop large, anticipation réalisée à la suite de calculs). Ce n'est que quand l'apprenant « novice » est soutenu par des facteurs externes (l'enseignant et ses pairs), qu'il fait un usage correct de la stratégie. Ce constat rejoint celui d'Ericsson et al. (1993) qui soulignent qu'une pratique délibérée ne peut être effective que si elle s'accompagne de feedbacks adéquats permettant à l'apprenant de mettre le doigt sur ses erreurs et de les dépasser. Par contre, si l'apprenant « expert » n'y recourait pas avant l'intervention, dès le troisième problème du dispositif, il propose une anticipation pertinente et complète du résultat (estimation de l'ordre de grandeur de la réponse, identification de la nature de celle-ci et de ses conditions de validité) et montre qu'il a intégré l'utilité de cette stratégie.

A propos de l'identification de la structure du problème, si l'apprenant « novice » réalise, dès le deuxième problème de l'intervention, une analyse en termes de structure mathématique et non plus de traits de surface, s'il n'est pas aidé par l'enseignant ou par un pair, il éprouve de la difficulté à la nommer. L'apprenant « expert », pour sa part, proposait déjà, avant l'intervention, une analyse des problèmes en termes de structure mathématique. L'intervention lui permet, dès lors, de consolider ses schémas de problèmes.

Quant à la planification, nos résultats montrent que lorsque le problème présente une structure mathématique familière et comprend un nombre raisonnable d'étapes (problème pas trop complexe), l'apprenant arrive à projeter les actions à mener pour le résoudre. Précisons que l'« expert » y arrive d'autant mieux que le « novice ». Nos constats rejoignent ceux de Focant (2004).

Comment expliquer que ces trois stratégies soient acquises plus lentement par l'apprenant que la stratégie de représentation ? Une première explication réside dans le fait qu'elles sont très peu utilisées dans les classes. C'est ce que montrent nos statistiques descriptives (voir études 2 et 4 (annexe 3)). Cela a été confirmé par les enseignants avec lesquels nous avons collaboré dans nos recherches et par plusieurs études empiriques (Depaepe et al., 2010 ; Vlassis et al., 2014). Ces stratégies constituent donc des apprentissages nouveaux pour l'apprenant et requièrent du temps et de la pratique (Ericsson, 2008 ; Ericsson et al., 1993). Mais pas seulement ! Ces trois stratégies heuristiques se révèlent plus complexes que la

stratégie de représentation en ce sens qu'elles font intervenir plusieurs processus cognitifs. Ainsi, l'identification de la structure mathématique d'un problème suppose d'avoir en mémoire des schémas, c'est-à-dire, des descriptions générales des différents types de problèmes (Fuchs et al., 2003). Cependant, la construction de tels schémas repose sur la confrontation consciente et répétée de problèmes présentant des structures semblables et divergentes. Cette confrontation n'est fructueuse que si elle repose sur une analyse approfondie de la situation, qui dépasse le prélèvement de caractéristiques superficielles. L'anticipation, pour sa part, présuppose la maîtrise du sens du nombre (Montague & Van Garderen, 2003), l'analyse d'un problème en termes de structure mathématique (Lucangeli et al., 1998b), la prise en compte du contexte, (Saboya et al., 2015) et la disposition de stratégies pour estimer (Zimmerman & Campillo, 2003). Finalement, la planification nécessite de pouvoir projeter les actions et stratégies à mettre en œuvre et d'évaluer leurs potentielles retombées (Focant, 2008).

La stratégie de vérification

Selon nos études, une intervention purement cognitive et métacognitive n'est pas suffisante pour favoriser la mise en œuvre, par l'apprenant, d'un processus de vérification. En effet, à la fois dans l'étude 2 (annexe 1) et dans la 4 (annexe 3), les trois mesures d'utilisation de cette stratégie s'alignent sur une droite constante. Par contre, nous observons une augmentation de la fréquence d'utilisation de cette stratégie par les élèves qui ont bénéficié d'une intervention à la fois cognitive et émotionnelle (étude 5).

Que nous disent les recherches qualitatives à ce sujet ? La mise en œuvre d'un contrôle complet (vérification tant de la pertinence de la démarche que de la justesse des calculs) apparaît comme un processus complexe, tant pour le « novice » que pour l'« expert », mais pas pour les mêmes raisons. Concernant le « novice », nos résultats (étude 8) montrent que ce sont les échanges répétés avec l'un de ses pairs et avec l'enseignant tout au long de l'intervention, qui lui ont permis, vers la fin de celle-ci, d'intégrer l'ensemble des facettes de cette stratégie. Notons que le premier usage de la stratégie de vérification par l'apprenant « novice » consiste en la vérification de l'adéquation entre sa démarche et la question posée dans l'énoncé ; la vérification de la justesse des calculs n'est opérée que plus tard. Il semblerait donc, comme le soulignent plusieurs chercheurs (Focant, 2004 ; Kellogg & Whiteford, 2009), que ce soit plutôt la charge cognitive⁸³ conséquente, induite par les différents contrôles à mener sur l'activité cognitive en cours, qui rende la tâche complexe pour l'apprenant. L'« expert », par contre, semble déjà familier avec la stratégie consistant à vérifier la concordance entre sa démarche et l'énoncé (étude 7). S'il fait montre de cette dernière tout au long de l'intervention, il faut attendre le test de rétention pour voir une trace de vérification de la justesse de ses calculs. L'hypothèse de la surcharge cognitive ne semble donc pas pertinente ici étant donné qu'il a déjà intériorisé une partie du processus de vérification. En conséquence, l'apprenant pourrait allouer toute son attention cognitive à la vérification des calculs. L'étude 7 nous éclaire davantage. Dans cette dernière, l'apprenant « expert » précise, tout au long de l'intervention, qu'il est certain d'avoir la bonne réponse

⁸³ Le concept de charge cognitive est abordé dans l'étude 4, présentée au chapitre 9.

en raison de son niveau élevé d'habileté en mathématiques. Ce n'est qu'en fin d'intervention qu'il évoque le fait d'avoir vérifié ses calculs pour justifier sa certitude d'avoir la bonne réponse. Il semblerait donc que ce soit plutôt une croyance, une conception erronée qui soit à l'origine de son comportement. Si ce changement d'attitude prend du temps, c'est en partie parce que les croyances sont relativement stables et résistantes (Kloosterman et al., 1996 ; Op't Eynde et al., 2002).

Les pratiques enseignantes ont également leur rôle à jouer, comme l'attestent nos données descriptives (voir annexe 1 pour l'étude 2 et annexe 3 pour l'étude 4). Ces dernières montrent un usage quasi inexistant de la stratégie de vérification avant l'intervention. Les propos tenus⁸⁴ par l'enseignante de l'étude 7 sont assez éloquentes à ce sujet. Il semblerait donc que ni l'apprenant, ni l'enseignant ne soient convaincus de l'utilité de cette stratégie. Or, nous l'avons souligné aux chapitres 2 et 3, le déploiement d'efforts supplémentaires pour mettre en œuvre un processus d'autorégulation repose sur les croyances motivationnelles (dont l'utilité perçue) et les émotions de l'apprenant. L'enjeu motivationnel et émotionnel est d'autant plus important ici que la vérification, telle que nous l'avons opérationnalisée dans nos interventions, intervient tout à la fin du processus de résolution, c'est-à-dire après avoir déjà investi une quantité non négligeable d'énergie cognitive. On comprend mieux pourquoi une intervention purement cognitive et métacognitive n'a que peu d'effet sur la mise en œuvre d'une telle stratégie. D'ailleurs, à ce propos, il est important de préciser que les dispositifs implémentés dans les études qualitatives 7 et 8 se distinguent de ceux utilisés pour les études quasi-expérimentales 2 et 4. En effet, les premiers, tout en visant explicitement l'appropriation de stratégies cognitives et métacognitives comme les seconds, s'en démarquent en soutenant les sentiments de compétence et de contrôlabilité de l'apprenant de même qu'en favorisant un rapport émotionnel plus positif à la résolution de problèmes. La promotion des interactions entre pairs, la grille d'auto- et de co-évaluation, le Mémo de synthèse sur les différentes stratégies heuristiques, l'enseignement plus explicite de l'utilité des stratégies heuristiques, la sélection des problèmes qui se situent dans la zone proximale de développement de l'enfant lui permettant de vivre des expériences actives de maîtrise et l'accent sur le rôle de l'effort dans la réussite (Artino, 2012 ; Bouffard & Vezeau, 2010 ; Fagnant & Jaegers, 2018 ; Schunk, 2003 ; Weiner, 1985) y ont contribué.

Pris ensemble, ces différents éléments semblent indiquer que c'est la conjonction d'un travail sur la motivation et/ou les émotions de l'apprenant et sur la stratégie de vérification elle-même qui conduit à une appropriation effective de cette dernière.

La stratégie d'interprétation

Nos résultats quantitatifs concernant la stratégie d'interprétation sont assez mitigés. Si dans l'étude 2, le groupe expérimental ne semble pas évoluer (annexe 1), l'étude 4, pour sa part, met en évidence une augmentation significative de la fréquence d'utilisation de la stratégie, tant au sein des groupes expérimentaux (approche simultanée et approche progressive) que du groupe contrôle. Cependant, cette hausse ne s'observe qu'à partir du test

⁸⁴ « Vérifier, ça, moi je ne faisais pas toujours, pour être honnête je laisse souvent tomber, parce qu'on est souvent court au niveau du temps ».

de rétention. L'étude 5, quant à elle, montre une utilisation plus importante de la stratégie d'interprétation, dès le post-test, à la fois chez les élèves dans la condition cognition-métacognition et chez les élèves dans la condition mixte ((méta)cognition et (méta)émotion) et, à partir du test de rétention, chez les élèves dans la condition émotion.

Nos analyses qualitatives appuient certains résultats quantitatifs en soulignant que le développement de cette stratégie par l'apprenant « novice » s'inscrit dans la durée. Ce constat peut s'expliquer en partie par le fait qu'interroger la plausibilité du résultat mathématique à la lumière des données contextuelles suppose d'avoir déconstruit la croyance très populaire chez l'apprenant « novice » selon laquelle la réalité mathématique diffère du monde réel (phénomène de suspension de construction de sens ou de perte de sens, évoqué au chapitre 1). Et, comme nous l'avons précisé plus haut, les croyances sont des construits relativement stables et résistants au changement. Cela est d'autant plus vrai si l'enseignant partage la même croyance. A ce sujet, plusieurs études conduites auprès de (futurs) enseignants ont montré que ces derniers ont tendance à exclure leurs connaissances de la vie de tous les jours et toutes considérations réalistes quand ils sont confrontés à une tâche de résolution de problème (Bonotto & Wilczewski, 2007 ; Verschaffel et al., 1997). Plus encore, ces recherches montrent qu'ils valorisent significativement plus les réponses non réalistes de leurs élèves que les réponses réalistes. Ainsi, bien que chacune de nos interventions était précédée d'une journée de formation, il se pourrait que cela n'ait pas suffi à modifier la croyance de certains. Cette hypothèse est confirmée par les propos récoltés auprès de plusieurs d'entre eux, suite à la mise en œuvre de l'intervention. Ainsi, si l'une précise que « *à mon avis en math, la résolution de problèmes c'est la seule chose qui est vraiment utile dans la vie de tous les jours* », une autre nous avoue que « *'j'interprète', je voyais pas toujours la différence entre je vérifie et j'interprète, parce que pour moi quand ils ont vérifié leur réponse, ils ont interprété* ». Comme l'indiquent nos résultats, modifier une telle croyance auprès des élèves ne peut se faire uniquement via une intervention cognitive et métacognitive. Si cette dernière permet de décroquer le monde des mathématiques et le monde réel en considérant les problèmes comme des énoncés de la vie de tous les jours nécessitant d'être modélisés mathématiquement pour être solutionnés, elle ne déconstruit pas ni ne remet en question la croyance inappropriée de l'apprenant. La nouvelle « croyance » est en quelque sorte plaquée sur l'ancienne. Or, les recherches montrent que sans déconstruction, la nouvelle croyance ne sera pas adoptée (Giordan, 1998). Il est donc nécessaire de procéder, comme nous l'avons fait dans nos interventions centrées sur les émotions/motivation, à une démythification des mathématiques qui rend les mathématiques plus « humaines », et donc plus proche de la réalité.

La stratégie de communication

Si nos recherches qualitatives n'ont pas véritablement examiné cette stratégie, deux de nos études quantitatives font ressortir une augmentation de la fréquence d'utilisation de cette stratégie, dès la fin du dispositif, chez les élèves qui ont bénéficié d'une intervention cognitive-métacognitive. Comme c'était le cas pour la stratégie de représentation, la rapide acquisition de cette stratégie par l'apprenant peut s'expliquer par le fait qu'elle ne lui est pas totalement étrangère. Effectivement, les statistiques descriptives de l'étude 2 (voir annexe 1)

montrent que cette stratégie est traditionnellement utilisée dans les classes. Comme nous l'évoquions au chapitre 1, cette pratique traditionnelle peut être mise en lien avec l'emphasis apposée par les épreuves externes (non) certificatives sur la communication de la réponse via des consignes telles que « communique clairement ta réponse par une phrase » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, 2015, 2016, 2017).

2.1.2 Favoriser le développement d'un rapport émotionnel positif à la résolution de problèmes

Le postulat selon lequel favoriser la conscience métacognitive de l'apprenant induit une amélioration dans l'ensemble de ses processus d'autorégulation a fait son chemin au sein de la littérature. Les partisans de ce postulat avancent qu'au plus l'apprenant dispose d'outils métacognitifs pour faire face aux tâches, au plus il aura de désir et de motivation pour s'atteler à celles-ci. Ce postulat a été confirmé non seulement par des études corrélationnelles qui ont mis en lumière la présence d'un lien étroit entre motivation et stratégies métacognitives (Ahmed, 2017 ; Berger & Karabenick, 2011 ; Madjar et al., 2011 ; Pajares, 2008 ; Zimmerman, 2011, nous renvoyons le lecteur au chapitre 2 pour une description plus détaillée), mais également par plusieurs études empiriques (Hoffman, 2010 ; Kramarski & Gutman, 2006 ; Kramarski & Mizrahi, 2006) qui ont montré que les sujets qui ont bénéficié d'un soutien métacognitif en résolution de problèmes affichent une plus grande motivation générale.

Ce qui nous préoccupe dans le cadre de notre travail de thèse, c'est de savoir si ce constat concerne également les processus affectifs. A ce propos, la relation théorique entre les processus cognitifs – et, en particulier, les modes de traitement de l'information – et les émotions, notamment mise à jour par Pekrun (2006) dans sa théorie du contrôle et de la valeur des émotions d'accomplissement, laisse présager que, jusqu'il y a peu, ce sont essentiellement les processus motivationnels qui ont reçu l'attention des chercheurs. Ce n'est que récemment, que, plusieurs d'entre eux se sont penchés sur la possibilité d'induire des processus d'autorégulation émotionnelle via une intervention purement cognitive et métacognitive. Ainsi, Kramarski, Weisse et Kololshi-Minsker (2010) ont mis en évidence une diminution d'anxiété chez les élèves de troisième primaire qui avaient suivi une intervention basée sur le programme IMPROVE. De leur côté, Tzohar-Rozen et Kramarski (2014) concluent, à la suite d'une étude conduite auprès d'élèves de cinquième primaire, à l'effet similaire d'une intervention métacognitive et d'une intervention motivo-émotionnelle sur les émotions de l'apprenant. Cependant, dans une autre recherche, ces mêmes chercheurs ont montré que si les élèves qui ont bénéficié d'un soutien méta-affectif mobilisent certains processus métacognitifs (qui ne faisaient donc pas partie du contenu de leur intervention), l'inverse n'est pas vrai (Tzohar-Rozen & Kramarski, 2017). Au vu du peu de recherches qui ont examiné cette question et de l'inconsistance de leurs résultats, il nous a semblé nécessaire de l'investiguer plus en profondeur.

Que disent nos études à ce propos ? Les études quasi-expérimentales 2 et 4 indiquent qu'une intervention purement cognitive et métacognitive n'a aucun effet sur les émotions, tant positives que négatives, de l'apprenant (les annexes 1 (étude 2) et 3 (étude 4) mettent en

évidence des courbes constantes). Si l'étude 4 rapporte, chez les élèves dans la condition expérimentale, une diminution de l'utilisation de la stratégie consistant à demander de l'aide, soulignons l'aspect plutôt métacognitif de cette stratégie (Karabenick, 2004 ; Newman, 2000). Dans l'étude 5, qui propose une intervention directe sur les dimensions cognitives et métacognitives et un soutien indirect au niveau des sentiments de compétence et de contrôlabilité de l'apprenant, une baisse de frustration est observée. Si les sources de frustration sont, pour partie, cognitives (e.g., l'usage de stratégies inefficaces, un manque de ressources disponibles, la difficulté de saisir le raisonnement mathématique) (Misra & Castillo, 2004 ; Sierpiska et al., 2008), notons également qu'en renforçant la croyance de l'apprenant dans sa capacité à réaliser la tâche et en l'outillant adéquatement, les problèmes qui auparavant généraient de la frustration – dues à leur inaccessibilité pour l'apprenant –, en génèrent moins du fait qu'ils sont maintenant perçus comme plus abordables par celui-ci (Margolis & McCabe, 2004). Cependant, aucun changement au niveau des stratégies de régulation émotionnelle de l'apprenant n'a été observé. Quant aux études qualitatives 7 et 8 qui reposaient sur une intervention similaire à celle de l'étude 5, elles mettent en lumière une disparition progressive, partielle, voire totale des émotions négatives de l'apprenant « novice » au profit d'émotions positives au fur et à mesure de l'avancement dans le dispositif. Ensemble, ces résultats semblent indiquer qu'une intervention qui n'agit pas directement sur les processus émotionnels a un effet assez limité sur les émotions et insignifiant sur les stratégies de régulation émotionnelle. Plus encore, nos résultats indiquent que des effets s'observent lorsque les processus affectifs partagent certaines composantes avec les processus cognitifs/métacognitifs, autrement dit, lorsque le transfert est favorisé. Nos résultats rejoignent donc le constat fait par Tzohar-Rozen et Kramarski (2017) selon lequel « the awareness of meta-affective regulation should be broadened and taught to the students explicitly » (p.34). Intervenir explicitement sur les connaissances et compétences émotionnelles des élèves est d'autant plus important que l'étude 3 montre que les élèves régulent globalement peu leurs émotions négatives en contexte de résolution de problèmes. Ce constat est appuyé par une étude conduite par De Corte et al. (2011) auprès d'élèves de 2^e et de 4^e secondaire qui montre que ces derniers n'utilisent pas souvent des stratégies de coping en mathématiques. Ce qui les amènent à préciser que « as a consequence, they risk to end up in a negative spiral where the use of inappropriate regulation strategies results in weak performance, and, thus in even experiencing more stress » (p.490).

L'étude 5 nous éclaire sur les effets d'un dispositif qui propose une intervention explicite et directe au niveau des connaissances et compétences émotionnelles de l'apprenant. Au niveau des émotions, une telle intervention semble favoriser une diminution d'ennui et de frustration ainsi qu'un accroissement de fierté. Ces résultats sont à mettre en lien avec ceux de l'étude 1. Cette dernière a montré que l'ennui était l'émotion négative la plus expérimentée en mathématique et la fierté l'émotion positive la plus ressentie dans cette discipline. Pas étonnant donc que ce soit justement ces deux émotions-là qui bougent. Cette étude a également mis en évidence le pouvoir prédictif de la fierté sur le concept de soi et les performances mathématiques de même que celui de l'ennui sur l'engagement dans les tâches. L'intervention émotionnelle proposée dans l'étude 5 s'avère donc d'un grand intérêt pédagogique.

Du côté des stratégies de régulation émotionnelle, nos résultats montrent que, globalement, les plus grands effets s'observent lorsque l'intervention est mixte ((méta)cognitive et (méta)émotionnelle). Cette dernière est associée à une utilisation plus fréquente des stratégies consistant à relâcher brièvement son attention, à se persuader de l'utilité de la tâche et à un recours moins fréquent aux stratégies consistant à demander de l'aide, à ruminer et à éviter la tâche (pour des résultats plus complets à ce sujet, nous renvoyons le lecteur à l'annexe 4). L'intervention mixte semble donc avoir un effet tant sur les stratégies inappropriées que sur celles qui sont adaptées. L'intervention centrée exclusivement sur les émotions favorise également, mais dans une moindre mesure, le développement de conduites de régulation émotionnelle plus adaptées chez l'apprenant (diminution de la rumination, de l'évitement de la tâche et de la demande d'aide).

Un résultat demeure cependant surprenant : là où l'intervention mixte encourage l'expression émotionnelle, l'intervention centrée sur les émotions semble la défavoriser (voir graphe en annexe 4). Nous savons, sur la base de l'étude 3 et d'autres études empiriques (Buric et al., 2016 ; Wang, 2009), que l'expression émotionnelle est, en moyenne, une stratégie peu utilisée par les élèves et considérée comme inappropriée en salle de classe. Les émotions négatives exprimées peuvent être interprétées comme un signe de faiblesse, mettant en évidence la vulnérabilité de l'apprenant. Or, comme plusieurs chercheurs l'ont souligné, l'image de soi occupe un rôle particulièrement important en mathématiques (Huguet, 2006). Cependant, dans un environnement de classe qui soutient les sentiments de compétence et de contrôlabilité de l'apprenant et qui accorde une place centrale aux émotions et à la régulation de ces dernières dans le contexte spécifique des apprentissages mathématiques, il semblerait que l'apprenant se sente plus libre de s'exprimer. Mais, que faut-il privilégier : la suppression ou l'expression émotionnelle ? S'il est vrai que le partage social de l'émotion est associé à de nombreux bénéfices indirects (Rimé, 2005, 2009), dans les classes où l'accent est mis sur la réussite, ou les performances mathématiques servent de normes pour jauger le niveau d'intelligence des élèves, la suppression émotionnelle semble une stratégie plus adaptative que l'expression émotionnelle (Buric et al., 2016).

2.1.3 Favoriser l'amélioration des performances en résolution de problèmes

Si un enseignant peut être fier de former avec succès des apprenants plus engagés, plus confiants, avec un rapport émotionnel positif vis-à-vis des mathématiques et mieux outillés cognitivement et métacognitivement, il ne s'en tiendra probablement pas là et souhaitera améliorer leurs performances également. A ce sujet, les études interventionnistes présentées dans la partie théorique de cette thèse rapportent une amélioration des performances en résolution de problèmes chez les élèves qui ont suivi une intervention cognitive et/ou métacognitive. Rappelons que si ces dernières soutiennent également indirectement la motivation et un rapport affectif positif via la promotion des interactions entre pairs, la reconnaissance des efforts déployés par l'apprenant, l'instauration de nouvelles normes socio-mathématiques, un soutien adapté et constructif de la part de l'enseignant, le contenu de ces interventions ne portent pas directement sur les dimensions émotionnelles et motivationnelles. Les études conduites récemment par Tzohar-Rozen et Kramarski (2014,

2017) indiquent, pour leur part, que, quel que soit le type d'intervention (métacognitive, motivo-émotionnelle ou méta-affective), l'effet sur les performances en résolution de problèmes est le même. Ensemble, ces résultats semblent dire que la promotion d'une dimension de l'apprentissage autorégulé, quelle qu'elle soit, conduit à une amélioration des performances.

La question qui se pose ici est de savoir si de plus grands effets peuvent être observés suite à une intervention mixte. A ce sujet, dans les études quasi-expérimentales 2 et 4, qui, pour rappel, reposent sur une intervention cognitive et métacognitive « pure », les élèves dans la condition expérimentale n'affichent une hausse des performances qu'à partir du test de rétention. Par contre, dans l'étude 5, tant les élèves qui ont bénéficié d'une intervention cognitive et métacognitive avec soutien motivationnel que ceux qui ont reçu la même intervention, mais majorée d'un enseignement explicite de connaissances et compétences émotionnelles, manifestent, dès la fin de l'intervention, une hausse de performance. Toutefois, étonnamment, aucune différence n'a été observée entre les deux groupes. Plus encore, les élèves dans la condition émotion « pure » affichent un gain de performance significativement moindre que ceux dans la condition « cognition et métacognition ». Il semblerait donc que les émotions ne soient pas indispensables pour résoudre un problème avec succès. Ce constat est pour le moins étonnant quand on sait le lien étroit qu'entretiennent les émotions, les compétences émotionnelles et les performances en mathématiques. Si les pratiques pédagogiques de l'enseignant de la condition « cognition et métacognition » pourraient éventuellement éclairer partiellement l'absence de différence observée entre les deux groupes, nous pensons que ce ne sont pas les seules. Effectivement, plusieurs études ont montré que, lorsque les tâches sont jugées abordables par l'individu, le sentiment d'efficacité personnelle compense l'anxiété de ce dernier (Hoffman, 2010 ; Jain & Dowson, 2009). Pour le dire autrement, bénéficier de croyances motivationnelles positives permet d'atténuer l'anxiété. Ainsi, expérimenter une perte de contrôle durant les tâches de résolution de problèmes peut conduire l'apprenant à penser que ces dernières sont truffées d'embûches et partant, générer un sentiment d'anxiété et de frustration. Il se pourrait donc que le travail effectué indirectement sur les sentiments de compétence et de contrôlabilité de l'apprenant via l'intervention proposée ait induit un processus de régulation émotionnelle (réduction de la fréquence des émotions négatives ressenties). Une étude menée auprès d'élèves de première secondaire appuie cette hypothèse en révélant que l'effet du concept de soi en mathématiques sur l'anxiété est deux fois plus grand que celui de l'anxiété sur le concept de soi (Ahmed et al., 2012). Plus encore, il apparaît qu'un concept de soi positif prédit négativement le niveau d'anxiété.

2.1.4 Conclusion

Ensemble, les études qualitatives et quantitatives menées dans le cadre de cette thèse rejoignent les recommandations théoriques formulées par les chercheurs en éducation à propos de la nécessité de traiter explicitement et directement les dimensions (méta)cognitives, (méta)motivationnelles et (méta)émotionnelles de la résolution de problèmes. Si adresser conjointement ces dimensions favorise l'acquisition d'une expertise

adaptative intégrale en résolution de problèmes, cela permet également de prendre l'hétérogénéité des élèves en compte. Chacun peut y trouver son compte.

2.2 La transition entre le primaire et le secondaire : un enjeu crucial

2.2.1 Un état des lieux

Les études qualitatives conduites dans le cadre de cette thèse montrent que si les expériences négatives passées et le sentiment de compétence fragile des élèves en fin d'enseignement primaire colorent leurs pensées, comportements et démarches de résolution, elles ne les déterminent pas. Nos résultats mettent plutôt en évidence un ré-engagement réel, une volonté de persister malgré les difficultés pressenties, un désir de rompre avec les expériences antérieures et un optimisme à toute épreuve. Cet enthousiasme et désir de changement semblent malheureusement disparaître dès les premières expériences de l'apprenant dans l'enseignement secondaire. Les chercheurs rapportent, en effet, une chute de la motivation intrinsèque, des perceptions de soi (concept de soi, sentiment de compétence) et des émotions positives ainsi qu'une augmentation des réactions négatives lors de la transition vers le secondaire (Eccles, Midgley, Wigfield, Buchanan, et al., 1993 ; Roeser et al., 2000 ; Wigfield et Meece, 1988). Nos résultats confirment le tableau en soulignant la présence d'une diminution de plaisir et de fierté ainsi qu'un accroissement d'ennui et de désespoir et, dans une moindre mesure, de honte et de colère vis-à-vis des tâches de résolution de problèmes entre les deux dernières années du primaire et la première année secondaire (Tableau 1)⁸⁵. Non seulement les attitudes, c'est-à-dire les émotions et croyances des élèves à l'égard des mathématiques, deviennent plus négatives (Aiken, 1986), mais la relation entre ces attitudes et la performance en mathématiques se renforce au début du secondaire (Ma & Kishor, 1997). Ajoutons à cela, les retombées en termes de décrochage scolaire d'un tel déclin émotionnel et motivationnel (Appleton, Christenson, & Furlong, 2008 ; Archambault et al., 2009 ; Eccles et al., 1993). Pour compléter un tableau déjà assez sombre, rappelons aussi que les comportements adoptés et les décisions prises pendant cette période par l'adolescent affectent substantiellement la suite de son parcours académique et sa réussite professionnelle (Wigfield et al., 2006).

⁸⁵ Bien que ces données descriptives ne figurent pas en tant que telles dans les études 2 (présentée au chapitre 7) et 4 (présentée au chapitre 9), il nous a semblé important de les mentionner ici afin de faire le lien entre les deux études, conduites auprès d'un public d'âge différent.

Tableau 1. Fréquence moyenne du ressenti de différentes émotions d'accomplissement dans le contexte de la résolution de problèmes mathématiques

	5 ^e et 6 ^e primaire (étude 4)		1 ^{re} secondaire (étude 2) ⁸⁶		Taille de l'effet (<i>d</i> de Cohen ⁸⁷)
	<i>M</i>	<i>ET</i>	<i>M</i>	<i>ET</i>	
Plaisir	2.82	1.37	2.28	1.35	-.40
Fierté	2.60	1.12	2.17	1.31	-.37
Ennui	2.22	1.18	2.94	1.35	.59
Désespoir	1.87	1.01	2.30	1.17	.41
Inquiétude	2.44	1.25	2.40	1.26	-.03
Honte	1.68	1.02	1.99	0.89	.32
Colère	1.68	0.97	1.95	1.21	.26
Peur	1.92	1.16	1.80	1.06	-.11
Frustration	2.19	1.11	2.10	1.01	-.08

En cause, notamment un environnement d'apprentissage qui ne répond plus aux besoins d'autonomie, de challenge et d'autodétermination des élèves (Eccles et al., 1993 ; Wigfield et al., 2006) et qui défavorise les apprenants « novices ».

2.2.2 Des pratiques qui défavorisent l'apprenant « novice »

Les différentes études que nous avons conduites révèlent, sans surprise, que les apprenants « novices » ont le profil le moins adapté aux pratiques recensées comme dominantes dans l'enseignement secondaire (Topping, 2011 ; West, Sweeting, & Young, 2010). Ce constat est illustré dans les lignes qui suivent. Nous tenons ici à avertir le lecteur que les pratiques concernant l'enseignement secondaire, mentionnées ci-après, proviennent d'une revue non exhaustive de la littérature et tendent à refléter la tendance dominante plutôt que la réalité de tous les établissements secondaires. Les parallèles effectués entre les constats issus de nos études et ces pratiques appellent, de ce fait, à être confirmés par des études ultérieures.

Une première caractéristique du profil « novice », qui est ressortie de nos études qualitatives, est que ces derniers sont plus enclins à poursuivre des buts de maîtrise que des buts de performance. Ces derniers sont donc davantage préoccupés par le désir de comprendre et de progresser que par celui de faire mieux que les autres. Toutefois, si ce type de but favorise la motivation à long terme et un apprentissage de qualité (Bong, 2009; Madjar et al., 2011 ; Wolters et al., 1996), il semble s'inscrire en porte-à-faux avec la structure de buts promue par l'école secondaire. En effet, les pratiques évaluatives telles que la profusion d'évaluations à visée certificative, le poids de ces dernières sur le parcours scolaire de

⁸⁶ Pour rappel, les émotions de l'apprenant y sont mesurées à l'aide d'une échelle de Likert en 5 points. La même échelle a été utilisée dans l'étude 4.

⁸⁷ Nous avons suivi les recommandations formulées par Cumming (2012) pour le calcul de la taille d'effet. Plus précisément, nous avons ajusté le calcul traditionnel du *d* de Cohen afin de tenir compte de la taille de l'échantillon.

l'apprenant, le recours à des formes d'évaluations externes et comparatives ainsi que l'utilisation de standards plus élevés (Poncelet & Lafontaine, 2011 ; Topping, 2011 ; Younès & Faime, 2012) favorisent la poursuite de buts de performance (Chouinard et al., 2005 ; Maehr & Zusho, 2009 ; Topping, 2011 ; Wigfield et al., 2011). A la suite d'une étude sur les pratiques évaluatives d'enseignants du primaire et du secondaire en fonction au Québec, Chouinard et al. (2005) concluent que « ces nombreuses différences nous permettent donc de croire que l'élève qui passe du primaire au secondaire se trouvera inévitablement confronté à de nouvelles pratiques évaluatives » (p.64). Les études menées en Suisse et en Belgique francophone (contrôlant pour un biais potentiel de désirabilité sociale) dressent un constat semblable (Fagnant & Goffin, 2017 ; Soussi, Ducrey, Ferrez, Nidegger, & Viry, 2006).

Nos études ont également pointé la présence, chez l'apprenant « novice », d'un sentiment de compétence fragile et d'un rapport émotionnel négatif, dans notre cas, vis-à-vis des tâches de résolution de problèmes. Or, nous savons par ailleurs que les pratiques pédagogiques qui mettent l'accent sur la performance et la comparaison sociale affaiblissent le sentiment de compétence, déjà fragile, des apprenants (Artino, 2012 ; Dowson, 2000 ; Hsieh, Sullivan, & Guerra, 2007). Ajoutons à cela une diminution quantitative et qualitative des contacts avec les enseignants, une composition moins stable des groupes, une approche plus autoritaire de la gestion de classe et une plus grande rigueur attendue dans le chef de l'apprenant, autant de pratiques qui ont une influence négative sur la motivation et les émotions des élèves (Chouinard et al., 2005 ; Feyfant, 2012).

Une troisième spécificité de l'apprenant « novice » qui est ressortie de nos études, est son recours à des formes de régulation externes, en témoigne son utilisation fréquente de la stratégie de demande d'aide. Les chercheurs qui se sont penchés sur les pratiques en vigueur dans l'enseignement secondaire dénoncent des pratiques contrôlantes et cadrantes qui rendent l'apprenant encore plus dépendant de l'enseignant (Eccles et al., 1993 ; Topping, 2011 ; Wigfield et al., 2006). Plusieurs auteurs rapportent à ce sujet la prévalence de l'approche transmissive dans les classes du secondaire (Gattuso, Bednarz, & Mary, 2015 ; Topping, 2011). Dans cette approche, les procédures et règles mathématiques sont livrées clé-sur-porte par l'enseignant aux élèves qui n'ont plus qu'à les mettre en pratique. La détention, par l'enseignant, des clés de compréhension et d'application rend l'apprenant dépendant de ce dernier. Or, rappelons-le, les interventions de l'enseignant qui ont une fonction régulatrice (sans certitude que les approches transmissives en arrivent-là) assurent uniquement une fonction de médiation à l'autorégulation de l'élève (Mottier Lopez, 2012). En d'autres termes, pour qu'il y ait apprentissage, on ne peut compter que sur les processus internes. A ce propos, Crahay, Dutrévis et Marcoux (2015) soulignent la nécessité de « laisser de l'espace à l'activité autostructurante de l'élève » (p.21).

Nos études ont également mis en exergue le rôle central joué par les interactions entre pairs dans l'appropriation par l'apprenant « novice » des stratégies heuristiques enseignées et dans le développement de conduites d'autorégulation cognitive, motivationnelle et émotionnelle. Par contre, le traitement collectif des tâches d'apprentissage encourage la compétition entre élèves, la comparaison sociale, rend plus saillantes les différences de compétences et fait passer les élèves plus fragiles à côté des enjeux de l'apprentissage visé.

A ce propos, plusieurs travaux, tant qualitatifs que quantitatifs, révèlent que lorsque les tâches de mathématiques font l'objet d'une analyse collective, les interventions de l'enseignant ont tendance à s'apparenter à un guidage directif orienté par le raisonnement de l'adulte plutôt qu'à chercher à entrer dans celui de l'élève (Bonnery, 2009 ; Fagnant et al., 2016 ; Ginsburg et al., 2005). Par conséquent, l'apprenant qui a échoué restera avec un raisonnement dont on ne lui a pas démontré l'inadéquation et qu'il réinvestira donc probablement lors du problème suivant. Or, force est de constater qu'au secondaire, une grande partie des enseignements et des tâches se déroule individuellement ou collectivement (Ginsburg et al., 2005 ; Topping, 2011 ; Wigfield et al., 2006).

Une dernière particularité des élèves « novices » mise en évidence par nos études et qui s'inscrit en porte-à-faux avec les pratiques en vigueur dans le secondaire est leur goût pour les tâches stimulantes, sources de challenge. Dans l'étude 4, nous avons ainsi montré qu'une approche qui traite le problème dans toute sa complexité favorise davantage la persévérance et le développement de conduites d'autorégulation tant chez l'apprenant « expert » que « novice » qu'une approche progressive et, que toutes les deux contribuent de façon similaire au développement de stratégies heuristiques et aux performances. Cependant, les recherches révèlent qu'au plus ils progressent dans leur scolarité, plus les élèves rencontrent des enseignants qui ont tendance à découper les tâches complexes en micro-tâches et cela, d'autant plus que l'élève éprouve des difficultés (Bonnery, 2009 ; Demonty & Fagnant, 2014 ; Depaepe et al., 2010).

On comprend maintenant mieux pourquoi la lueur d'espoir et d'optimisme qui brille encore chez les élèves en fin d'école primaire s'atténue quelque peu au cours de leur parcours en secondaire.

2.2.3 Des pistes pour éviter la dégringolade

Le problème, nous semble-t-il, peut et devrait être traité par les deux bouts : en préparant mieux les élèves à la transition vers le secondaire et en modifiant les pratiques en vigueur dans le secondaire. Si la seconde proposition suppose, pour partie, de re-questionner la finalité de l'école secondaire, assignée par la société – former de futurs citoyens engagés, épanouis et émancipés *versus* produire des citoyens performants avec comme effet secondaire de ne pas soutenir la réussite de tous – et, en cela, a moins sa place ici, la première peut être éclairée par nos résultats. Précisons que, même dans le cas d'une plus grande homogénéité des pratiques enseignantes entre le primaire et le secondaire, certaines différences de nature structurelle (e.g., une relation moins privilégiée avec l'enseignant titulaire qui n'est plus le seul à donner cours à l'élève, une composition de la classe moins stable en raison de la présence d'options, la nécessité de pouvoir s'adapter à des exigences différentes) rendent nécessaire une plus grande résilience de la part de l'apprenant.

Intervenir le plus tôt possible

L'idée de rendre les élèves plus résilients pour faire face à la transition vers le secondaire est partagée par de nombreux chercheurs (Brewin & Statham, 2011 ; Hanewald, 2013 ; Qualter et al., 2017). Ces derniers ont montré que les élèves qui disposent de croyances motivationnelles positives et de compétences émotionnelles élevées font mieux face au changement d'environnement d'apprentissage (Brewin & Statham, 2011 ; Hanewald, 2013 ; Qualter et al., 2017). A ce sujet, nos différentes études montrent les effets bénéfiques, pour les élèves de cinquième et sixième primaire, de dispositifs d'enseignement-apprentissage qui combinent le développement de stratégies heuristiques et d'autorégulation cognitive, de connaissances et compétences émotionnelles et qui soutiennent les sentiments de compétence et de contrôlabilité de l'apprenant. Cependant, si plusieurs auteurs affirment que les deux dernières années du primaire constituent la période la plus propice pour développer des attitudes et croyances positives à l'égard des mathématiques (Artino, 2009), nos résultats (rappelés dans le tableau 2) montrent qu'à ce stade-là, un nombre considérable d'élèves présente déjà un profil à risque. Plusieurs chercheurs ont d'ailleurs récemment attesté de la présence d'un déclin motivationnel et émotionnel entre le début et la fin de l'école primaire (Lichtenfeld & Stupnisky, 2013). Il semble donc important de ne pas attendre la fin de l'école primaire pour travailler les croyances motivationnelles et le rapport émotionnel de l'apprenant, en tout cas, dans le domaine des mathématiques.

Tableau 2. Pourcentage d'élèves par profil et par niveau d'enseignement

	Profil « confiant »	Profil « non-engagé »	Profil « anxieux »	Profil « résigné »
5 ^e primaire	53%	44%	64%	45%
6 ^e primaire	47%	56%	45%	55%

Nos résultats attirent également l'attention sur la nécessité de prendre en compte la diversité des profils qui composent la classe afin de mieux répondre aux besoins de l'apprenant.

Mieux cerner les besoins spécifiques des apprenants

L'idée est, pour l'enseignant, de mieux connaître ses élèves, pour pouvoir mieux les aider. A ce sujet, les résultats de l'étude 9 permettent de nuancer la vision traditionnelle et assez manichéenne que certains enseignants ont des élèves et qui consiste à dire que d'un côté il y a les bons élèves et de l'autre, les mauvais élèves. Notre recherche indique qu'entre un profil très avantageux (confiant) et un profil hautement à risque (résigné), il y a deux autres profils (non-engagé et anxieux) qui partagent à la fois des composantes positives et négatives. Cet aspect est développé dans les lignes qui suivent. Cette prise de conscience par l'enseignant lui permettrait de revoir l'image qu'il s'est construite de l'élève et, partant, de modifier la relation qu'il entretient avec lui. Ainsi, si l'on prend l'exemple du profil « non-engagé » qui se caractérise par une exécution routinière des tâches, mais sans implication substantielle de la part de l'apprenant (Nardi & Steward, 2003), on peut raisonnablement penser qu'un tel profil ne laisse pas une image très positive chez l'enseignant. Pourtant, en réalité,

comparativement aux autres profils, les élèves qui présentent un profil « non-engagé » sont relativement bien adaptés aux exigences scolaires (sentiment de compétence moyen, performances acceptables, détachement émotionnel, recours faible à la rumination).

Si ces résultats permettent de se faire une représentation plus nuancée des élèves qui composent la classe de mathématiques, ils nous éclairent également sur les besoins respectifs de chaque profil et, partant, suggèrent des pistes pédagogiques qui permettent d'affiner les pratiques actuelles. A ce sujet, les élèves au profil « non-engagé » semblent avoir besoin d'être convaincus de l'utilité tant intrinsèque qu'extrinsèque des tâches mathématiques. Leur proposer des tâches stimulantes mais situées dans leur zone proximale de développement pour ne pas fragiliser leur sentiment de compétence, leur donner un rôle actif dans la construction de connaissances et compétences, leur proposer des tâches réalistes et privilégier le travail de groupe peut y contribuer.

Les élèves au profil « anxieux », pour leur part, pourraient bénéficier d'un enseignement de techniques de relaxation (Cheek et al., 2002 ; Segool et al., 2005) et de pleine conscience (Burke, 2010 ; Napoli, Krech, & Holley, 2005) afin de libérer la pression induite par les émotions d'inquiétude, de nervosité et de peur. Les résultats de l'étude 3 qui, pour rappel, ont montré que la rumination et l'anxiété partageaient 27% de variance commune, nous laissent penser qu'en favorisant une diminution de ces trois émotions, un tel enseignement favorisera également une réduction des pratiques de rumination. Complémentairement à cet enseignement de techniques relaxantes et de pleine conscience, nous pensons qu'apprendre à ces élèves à utiliser positivement leurs émotions négatives pourrait également s'avérer utile. Effectivement, plusieurs chercheurs ont montré que si les émotions négatives d'activation sapent la motivation intrinsèque de l'apprenant, elles ont également le potentiel d'induire une forte motivation extrinsèque (déploiement d'effort) pour éviter l'échec (Pekrun & Perry, 2014 ; Turner & Schallert, 2001). Les élèves avec un profil « anxieux » semblent également avoir besoin que l'on renforce leur sentiment de compétence. A ce propos, si diverses stratégies ont été identifiées dans la littérature (Artino, 2012 ; Maddux, 2002 ; Schunk, 2003), notre première étude a montré que le sentiment de compétence de l'apprenant est en partie expliqué par son sentiment de fierté. D'autres études ont confirmé une relation étroite entre fierté et sentiment de compétence (Frenzel et al., 2007 ; Peixoto et al., 2017 ; Williams & DeSteno, 2008). Renforcer le sentiment de compétence des élèves « anxieux » pourrait donc se faire en aidant l'élève à être fier de ses accomplissements et de sa progression et cela, en lui proposant des feedbacks sur ses progrès plutôt que sur l'écart à la moyenne de la classe (Pekrun, Cusack, Murayama, Elliot, & Thomas, 2014 ; Pekrun & Stephens, 2015).

S'agissant des élèves au profil « résigné », ils nécessitent une attention toute particulière car ils sont les plus à risque. Agir sur les fronts émotionnels et motivationnels simultanément semble ici nécessaire pour agir plus en profondeur et induire ainsi de plus grands effets (Dweck, 1992 ; Kim & Hodges, 2012 ; Pekrun, 2006). En effet, nos résultats montrent qu'ils sont dans une spirale très négative caractérisée par des ruminations fréquentes, une perception d'incompétence et des émotions négatives très intenses. Le lien positif étroit entre, d'une part, rumination et sentiment d'incompétence (Bandura, 1989 ; Johnston-Wilder et al., 2015) et, d'autre part, entre rumination et émotions négatives (Nolen-Hoeksema, Wisco, &

Lyubomirsky, 2008), documenté au sein de la littérature et réaffirmé dans l'étude 9, renforce la nécessité d'agir sur les deux fronts simultanément pour les aider à se départir de cette stratégie de régulation émotionnelle contre-productive. L'intervention quasi expérimentale mixte proposée dans l'étude 5, avec un renforcement au niveau motivationnel, pourrait être une piste à investiguer.

Lutter contre les stéréotypes de genre

Si prendre en compte ces quatre profils contribue déjà à une meilleure satisfaction des besoins réels des apprenants, nos résultats montrent que ces besoins doivent également être adaptés selon le genre de l'apprenant. Nous observons une sur-représentation des filles au sein des profils « résigné » (80%) et « anxieux » (62%) et une sous-représentation de ces dernières dans le profil « confiant » (32%). Ces résultats sont cohérents avec les études antérieures qui montrent que, déjà à l'école primaire, les filles évaluent leur perception de compétence plus faiblement que les garçons (Lichtenfeld & Stupnisky, 2013; Skaalvik & Skaalvik, 2004; Wigfield, Battle, Keller, & Eccles, 2002), ressentent moins d'émotions positives (fierté, plaisir), plus d'émotions négatives (honte, anxiété, ennui) (Frenzel et al., 2007; Lichtenfeld et al., 2012; Stipek & Gralinski, 1991) et accordent moins de valeur aux tâches mathématiques (Frenzel et al., 2007; Wigfield et al., 2002). En outre, des différences genrées s'observent au niveau du type de stratégie de régulation émotionnelle utilisé (étude 3). Plus précisément, dans le contexte de la résolution de problèmes mathématiques, les filles rapportent recourir davantage que les garçons aux quatre stratégies suivantes : expression émotionnelle, demande d'aide, auto-persuasion de l'utilité de la tâche et rumination. S'il apparaît logique que, ressentant plus d'émotions négatives, les filles recourent plus à la régulation émotionnelle que les garçons, il ne faut pas s'en réjouir. Effectivement, l'expression émotionnelle, comme souligné plus tôt, s'avère être plutôt inappropriée dans les classes traditionnelles, favorisant la comparaison sociale et la compétitivité (Buric et al., 2016). Si la stratégie consistant à demander de l'aide s'avère adaptative dans sa forme instrumentale (aide à la compréhension), ce n'est pas le cas dans sa forme exécutive (aide à l'obtention de la réponse) (Karabenick, 2003; Ryan & Pintrich, 1997). En effet, dans ce second cas, l'individu recherche de l'aide pour éviter de devoir résoudre lui-même la tâche (Karabenick, 2004; Newman & Karabenick, 1998). Dès lors, l'intervention de l'enseignant a peu de chance d'induire un processus d'autorégulation chez l'apprenant.

S'agissant de la rumination, si nous avons soulevé plus haut que cette stratégie était associée à un sentiment d'incompétence et à des émotions négatives fortes, elle est aussi liée au déficit des capacités exécutives, de flexibilité cognitive, de concentration, d'attention et de mémoire chez l'individu (Haefel, 2010; Thomsen, 2006). La seule stratégie réellement adaptative utilisée par les filles est celle consistant à se convaincre de l'utilité de la tâche (Eccles & Wigfield, 2002; Ryan & Deci, 2000). Cet écart motivationnel et émotionnel, en mathématiques, entre les filles et les garçons se renforce au moment de la transition vers le secondaire (Fennema & Hart, 1994; Hyde, Fennema, Ryan, Frost, & Hopp, 1990; Seegers & Boekaerts, 1996; Wigfield et al., 2002). Le déclin motivationnel et émotionnel, évoqué plus tôt, affecterait davantage les filles que les garçons (Jacobs et al., 2002; Skaalvik & Skaalvik, 2004).

Plusieurs chercheurs ont montré que ces différences motivationnelles et émotionnelles sont le fruit des stéréotypes de genre. Plus précisément, ils précisent que l'adhésion aux stéréotypes de genre véhiculés à propos des mathématiques induit chez les individus une déformation de leur sentiment de compétence et de la valeur qu'ils attribuent aux apprentissages (Bonnot & Croizet, 2007 ; Eccles, 1994 ; Kiefer & Sekaquaptewa, 2007). Ainsi, plus les filles adhèrent aux stéréotypes selon lesquels les garçons sont naturellement meilleurs qu'elles en mathématiques et les mathématiques sont une discipline d'hommes, moins elles sont intéressées par les mathématiques et plus elles se perçoivent comme incompetentes dans cette matière. La différence de genre observée au niveau des émotions s'expliquerait par la relation étroite entre la motivation et les émotions ; l'amenuisement de l'une entraînant, inexorablement, celui de l'autre (Frenzel et al., 2007 ; Lichtenfeld & Stupnisky, 2013). Comme nous l'avons développé dans les chapitres 2 et 3, un rapport émotionnel négatif et des croyances motivationnelles négatives ont des conséquences désastreuses sur les apprentissages et les performances des élèves. Plus encore, des chercheurs ont montré que ces facteurs ont un poids considérable dans les choix d'études et de carrière professionnelle des individus (Eccles, 2009 ; Plante et al., 2010 ; Wang, 2012) et expliquent ainsi que les femmes se tournent préférentiellement vers des métiers moins bien payés et moins gratifiants que les hommes (OECD, 2014).

Si, plus haut, nous avons proposé un ensemble de mesures pédagogiques adaptées à chaque profil, la littérature souligne l'importance de les compléter de pratiques visant spécifiquement à faire disparaître ces stéréotypes de genre. Effectivement, il apparaît que, dans un environnement plus égalitaire, les filles présentent une adhésion moins forte aux stéréotypes et, partant, de meilleurs résultats en mathématiques (Bonnot & Croizet, 2011). Mais de quelles pratiques parlons-nous ? De nombreuses recherches ont montré que certaines pratiques enseignantes alimentent les stéréotypes de genre (Duru-Bellat, 2008 ; Mosconi, 2001 ; Wigfield et al., 2002). Une première pratique, la plus documentée au sein de la littérature, consiste à avoir des attentes différenciées en fonction du sexe de l'élève (Bressoux & Pansu, 2003 ; Duru-Bellat, 1995 ; Jussim, Eccles, & Madon, 1996 ; Lafontaine & Monseur, 2009). Plus précisément, si les filles peu performantes ont tendance à être évaluées avec indulgence du fait qu'elles ne désillusionnent pas les attentes peu élevées de l'enseignant, leurs homologues masculins sont plutôt sous-évalués. Du côté des meilleurs éléments de la classe, si les filles ont tendance à être sous-estimées, les garçons, eux sont surévalués. Une seconde pratique consiste à proposer des critiques et éloges différenciés en fonction du sexe de l'élève (Dweck, Davidson, Nelson, & Bradley, 1978 ; Mosconi, 2001). Les garçons seraient ainsi plus souvent louangés pour leurs performances et réprimandés pour leur conduite ou effort, tandis que le schéma inverse est observé pour les filles. Une troisième pratique est la présence d'un déséquilibre dans la répartition sexuée de la parole en classe et dans la nature des interactions maître-élève (Mosconi, 2001 ; Mosconi & Loudet-Verdier 1997 ; Wigfield et al., 2002). Ainsi, si les garçons sont l'objet de davantage de rétroactions immédiates que les filles, ils sont également interpellés pour construire les savoirs nouveaux, là où les filles sont interrogées pour rappeler les savoirs déjà acquis.

En conclusion, se soucier des besoins spécifiques de chaque élève requiert, dans le chef de l'enseignant, non seulement de comprendre le rapport émotionnel et motivationnel qu'il entretient vis-à-vis des mathématiques et, plus spécifiquement, des tâches de résolution de problèmes, mais aussi de reconnaître et d'accepter de modifier ses pratiques de nature discriminante. Cette question du « comment faire » face à l'hétérogénéité du public scolaire est au cœur des préoccupations actuelles. L'allongement du tronc commun prévu par le Pacte pour un enseignement d'excellence (Synthèse du groupe central, 2017) générera une plus grande hétérogénéité dans les classes ce qui inquiète déjà les enseignants et nécessite donc de bien les outiller pour y faire face.

Toutefois, si l'on peut raisonnablement penser qu'une meilleure identification des besoins spécifiques des élèves que l'enseignant à face à lui peut contribuer à réduire les déclinés émotionnel et motivationnel observés lors de la transition entre le primaire et le secondaire, il ne faut pas négliger le poids des changements entre le primaire et le secondaire concernant les mathématiques, tant au niveau de leur traitement (pratiques enseignantes) que de l'évolution de leur contenu.

Travailler à une meilleure articulation disciplinaire entre les deux niveaux scolaires

Plusieurs études révèlent des divergences entre le primaire et le secondaire dans la manière d'aborder un même contenu mathématique ainsi que des changements conceptuels importants lors de cette transition (Bednarz, Lafontaine, Auclair, Morelli, & Leroux ; 2009 ; Demonty, 2017 ; Savoie-Zajc & Bednarz, 2007). Si l'on s'attarde sur le premier point et, plus particulièrement sur la résolution de problèmes, l'étude 2 montre que les élèves de première secondaire ne s'en sortent pas nécessairement mieux que les élèves en fin d'école primaire. Ce constat rejoint celui d'autres chercheurs et serait, entre autres, à mettre en lien avec la discontinuité des pratiques enseignantes relatives à la résolution de problèmes, observée entre les deux niveaux d'enseignement (Bednarz et al., 2009 ; Robutti et al., 2016). Dans leur étude, conduite auprès d'enseignants de fin du primaire et du début du secondaire, Bednarz et al. (2009) précisent que cette discontinuité se reflète notamment dans la conception de la démarche de résolution et dans le type de stratégies heuristiques valorisé. Ainsi, si les enseignants du primaire ont davantage tendance à valoriser le recours au dessin et à la schématisation, c'est moins le cas des enseignants du secondaire. Au niveau du type de raisonnement valorisé, là où les premiers attendent un raisonnement arithmétique et une réponse canonique, les seconds attendent un raisonnement algébrique et sont plus ouverts aux réponses correctes non conformistes; les deux groupes se sentant inconfortables, voire démunis, lorsqu'il s'agit d'entrer dans l'autre type de raisonnement (Van Dooren, Verschaffel, & Onghena, 2002). Ces discontinuités ont pour conséquence que « les élèves ont souvent de la difficulté à reconnaître dans ce qu'ils font ces aspects communs » (Bednarz et al., 2009, p.8) et, partant, repartent bien souvent de zéro, ou presque, lors de leur entrée en secondaire, plutôt que de continuer à progresser dans leurs apprentissages.

D'autres contenus mathématiques communs aux deux niveaux scolaires connaissent une « rupture » dans le traitement qui en est fait dans les classes. Prenons l'exemple des fractions.

A ce sujet, les recherches mettent en évidence la prépondérance de la représentation de la fraction comme « partie-tout » dans l'enseignement fondamental et, partant, le développement, chez l'apprenant, d'une vision stéréotypée des fractions comme étant toujours une partie plus petite que l'unité (Carette, Content, Rey, Coché, & Gabriel, 2009). Or, la prépondérance de cette représentation inhibe la possibilité pour les apprenants d'en développer d'autres telles que la fraction « nombre » (Kerslake, 1986 ; Pitkethly & Hunting, 1996), pourtant bien nécessaire pour les autres apprentissages (notamment pour pouvoir opérer). Un autre constat dressé par Carette et al. (2009) à la suite d'une étude menée auprès d'enseignants du primaire est le fait que ces derniers ont tendance à considérer les fractions comme une leçon isolée des autres apprentissages mathématiques. Or, au secondaire, les fractions sont présentes dans de nombreux chapitres (e.g., algèbre, traitement de données, proportionnalité). Sachant cela, la question de l'élève « Est-ce qu'ici [sous-entendant : « Bien que l'on ne soit pas dans le chapitre sur les fractions »] je dois aussi mettre au même dénominateur ? », n'est peut-être pas aussi anodine qu'on le pensait.

A côté de ces discontinuités touchant la manière d'aborder les contenus mathématiques, la transition est également marquée par des changements conceptuels importants dont le plus connu est certainement le passage d'un raisonnement arithmétique à un raisonnement algébrique. A ce propos, de nombreuses recherches ont mis en exergue la difficulté qu'ont les élèves du début du secondaire à acquérir les rudiments de l'algèbre et ce, en raison de la rupture existant entre ces deux types de raisonnement (Demonty, 2017 ; Kieran, 2007).

L'enjeu qui se pose ici est d'aider les élèves à effectuer ce passage dans le sens d'une continuité et non d'une rupture, tant au niveau des contenus mathématiques que des approches préconisées et ce afin de leur permettre de progresser dans leurs apprentissages. Plusieurs chercheurs se sont penchés sur cette question d'une meilleure articulation entre les deux niveaux scolaires (Bednarz et al., 2009 ; Demonty, 2017). De l'avis des enseignants eux-mêmes, cela passe par une prise de conscience et une meilleure connaissance de ce qui se fait dans l'autre niveau (e.g., manière de fonctionner, attentes, programme, matériel utilisé, difficultés rencontrées par les élèves) mais également par un travail plus en profondeur sur l'élaboration de référentiels, d'interventions et d'outils communs (Bednarz et al., 2009).

2.3 Spécificités méthodologiques

Dans le but de dépeindre le plus complètement et le plus finement possible la complexité du phénomène à l'étude, ce travail de thèse a été guidé par deux grands principes d'ordre méthodologique. Le premier consiste à faire dialoguer des champs théoriques distincts, et ce, afin que chaque dimension de l'apprentissage, tant cognitive, motivationnelle qu'émotionnelle, soit considérée comme faisant partie intégrante du processus d'apprentissage. Le second réside dans la conciliation des approches qualitatives et quantitatives, et ce, afin que les forces de l'une permettent de dépasser les limites de l'autre.

2.3.1 Vers une approche interdisciplinaire de la résolution de problèmes

Comme nous pouvons le constater en lisant les différents chapitres théoriques de cette thèse et, en particulier, le chapitre 4, s'interroger sur le processus d'acquisition d'une expertise adaptative en résolution de problèmes nécessite d'instaurer un dialogue entre le champ de la psychologie cognitive, dans son sens générique, et celui de la didactique des mathématiques. Maury (2001) de dire, en tant que chercheuse en didactique, que « l'apport des psychologies cognitives est indiscutable, au moins en ce qu'elles nous éclairent sur les rapports personnels aux savoirs ou sur les conceptions, rapports ou conceptions dont la connaissance est essentielle, en particulier lors de la construction et de l'évaluation des ingénieries didactiques ou de l'élaboration des situations didactiques » (p.85). D'autres vont plus loin et parlent de cadre intégratif mobilisant à la fois « des travaux relevant de la didactique des mathématiques et des psychologies des apprentissages et du développement » (Priolet, 2014, p. 60) ou d'approche psycho-didactique (Mottier Lopez, Blanc, Dechamboux, & Couchepin, 2017 ; Vantourout & Goasdoué, 2014).

Si les travaux conduits dans le cadre de cette thèse ne vont pas jusqu'à embrasser une telle perspective, ils prennent, toutefois, ponctuellement appui sur les recherches menées en didactique des mathématiques. Effectivement, lors de la conception des dispositifs d'enseignement-apprentissage, une analyse didactique des problèmes a été effectuée (voir annexe 6). Premièrement, nous avons porté un intérêt particulier aux concepts mathématiques convoqués dans les problèmes. A ce sujet, nous avons veillé à ne retenir que des concepts et procédures familiers aux élèves afin de privilégier l'acquisition d'une démarche de résolution à l'acquisition de connaissances nouvelles. Deuxièmement, les problèmes ont été réfléchis de sorte à proposer un niveau de complexité croissant tant au niveau des concepts mathématiques en jeu, du nombre d'informations à traiter, du nombre de contraintes à prendre simultanément en compte que du nombre d'étapes à mettre en œuvre. Troisièmement, afin de permettre à l'apprenant de saisir le sens, l'utilité de chacune des stratégies heuristiques enseignées, nous avons sélectionné des problèmes mettant des emphases différentes sur ces dernières. Ainsi, si certains problèmes rendent l'organisation des données incontournable (construction d'un modèle de situation), d'autres rendent la planification indispensable et d'autres encore requièrent une interprétation en contexte. Quatrièmement, pour chaque problème, une réflexion a été menée sur la diversité des représentations et des procédures de résolution possibles et, ensuite, proposée aux enseignants. Cinquièmement, nous avons eu le souci d'encourager le transfert de la responsabilité de la construction du savoir de l'enseignant vers l'élève via la promotion des interactions entre pairs et la construction d'un outil retraçant les étapes clés de la démarche de résolution (le « Mémo »). Par ces choix, notre ambition était d'une part, d'instaurer des conditions favorables à la modification des normes socio-mathématiques classiquement partagées dans les classes de mathématiques, mentionnées au chapitre 1 et, d'autre part, de susciter, autant que possible, une véritable activité mathématique chez l'apprenant (Maury, 2001). Nous sommes toutefois bien consciente qu'il ne s'agit là que d'une analyse sommaire

des situations proposées aux élèves qui mériterait d'être nettement approfondie (voir paragraphe 3.4).

Comme le soulignent les partisans d'une approche intégrative, en plus de reposer sur une analyse didactique, les situations d'enseignement-apprentissage proposées aux élèves doivent tenir compte du fonctionnement cognitif, émotionnel et motivationnel de ces derniers et des caractéristiques de l'environnement dans lequel elles prennent place, afin d'être réellement fonctionnelles (Maury, 2001 ; Priolet, 2014). C'est ici que le champ de la psychologie cognitive vient nourrir la didactique des mathématiques. L'analyse approfondie des comportements et processus (méta)cognitifs, (méta)émotionnels et (méta)motivationnels adoptés par les élèves lors des tâches de résolution de problèmes à laquelle nous nous sommes livrée dans cette thèse de même que l'intérêt porté aux besoins spécifiques de différents profils d'apprenants poursuivent cet objectif de particulariser et, partant, de rendre fonctionnels les dispositifs d'enseignement-apprentissage. Nos résultats confirment qu'on ne peut pas proposer aux élèves un dispositif qui a « juste » été pensé « mathématiquement ». Ainsi, dans l'étude 1, nous avons montré que l'ennui pressenti par l'apprenant pour une tâche donnée explique 14% de son non-engagement dans la tâche. Les études qualitatives, pour leur part, ont souligné le poids des croyances motivationnelles et des émotions de l'apprenant dans ses conduites cognitives et métacognitives (nature des stratégies cognitives et métacognitives utilisées). Et, les études quasi-expérimentales, de leur côté, ont révélé la possibilité d'améliorer ces processus cognitifs et métacognitifs et les performances de l'apprenant via un travail ciblé sur la motivation et les émotions. C'est donc bien vers une approche interdisciplinaire de la résolution de problèmes qu'il faut se diriger pour appréhender au mieux la complexité de l'expertise adaptative.

2.3.2 Approche qualitative et approche quantitative : un mariage de raison

Si l'approche quantitative a pendant longtemps été considérée comme la seule valable dans le champ des sciences sociales et humaines, depuis quelques décennies, l'approche qualitative s'est construite une place au sein de la recherche si bien qu'à l'heure actuelle, nombreux sont les chercheurs qui soulignent la richesse d'une approche mixte (Amaratunga et al., 2002 ; Creswell, 2014).

L'approche quantitative s'inscrit dans un paradigme positiviste et postule l'existence d'une réalité objective et mesurable. Elle permet de tester des hypothèses et des théories qui sont généralisables via une analyse des relations entre variables. Sa force réside dans sa capacité à pouvoir généraliser les conclusions tirées sur un petit groupe de sujets à la population entière et de se prononcer plus objectivement sur la validité et la fidélité des processus et phénomènes étudiés (Amaratunga et al., 2002 ; Creswell, 2014). Dans nos études, nous avons à maintes reprises eu recours à cette approche afin de mettre à l'épreuve des faits les hypothèses et modèles théoriques centraux dans notre travail de thèse, c'est-à-dire de nous assurer que la manière dont la réalité a été théorisée concorde bien avec celle-ci. Cette approche nous a ainsi permis d'identifier les patterns d'émotions qui prédisent le

mieux différentes variables motivationnelles, nous éclairant ainsi sur la relation émotion-motivation (étude 1).

Cette approche a également été utilisée pour évaluer et comparer l'efficacité de dispositifs d'enseignement-apprentissage de nature différente (études 2, 4 et 5). En outre, elle nous a permis de récolter des preuves de la validité et de la fidélité du CERS-M, nous permettant de conclure à la solidité psychométrique de l'instrument (étude 3). C'est cette même approche qui nous a permis de dégager différents profils motivationnels et émotionnels de résolveurs parmi les élèves de cinquième et de sixième primaire (étude 9). De façon plus générale, l'approche quantitative nous a permis d'asseoir nos résultats étant donné que les informations ont été récoltées sur de larges échantillons, allant jusqu'à plus de 500 élèves, permettant ainsi de tendre vers une meilleure représentativité de la population d'intérêt.

Effectivement pour la plupart de nos échantillons, nous avons veillé à représenter au mieux les différentes provinces francophones, réseaux d'enseignement et indices socio-économiques des établissements scolaires. En cela, cette approche vise donc à identifier la régularité dans les comportements des individus et à caractériser la façon dont la plupart fonctionnent (Deslauriers, 1991). Il s'agit donc de mettre à jour le fonctionnement « moyen » des individus, en d'autres termes de « gommer » les spécificités interindividuelles. Bien que certaines méthodes quantitatives comme l'analyse en clusters, utilisée dans l'étude 9, permettent d'avoir une vision différenciée d'un même phénomène, l'approche quantitative vise, par essence, à simplifier la réalité afin de permettre la généralisation. Ainsi, l'étude d'un processus sera réduite à celle d'un ensemble de variables dont le caractère dynamique sera difficile à prendre en compte. Néanmoins, si l'approche quantitative se révèle insuffisante pour saisir complètement le phénomène à l'étude, fort heureusement, ses limites peuvent être contrées, en partie, par l'approche qualitative.

L'approche qualitative, pour sa part, s'inscrit dans un paradigme davantage compréhensif. Elle conçoit la réalité comme une « construction humaine », considère la subjectivité comme étant au centre de la vie sociale et propose une lecture en termes d'« action-signification » des individus (Mukamurera et al., 2006 ; Yin, 2011). L'objectif de cette approche est donc de donner sens, de comprendre les phénomènes sociaux et humains complexes qui nous entourent (Deslauriers, 1991 ; Mukamurera et al., 2006 ; Yin, 2011). Contrairement à l'approche quantitative, l'approche qualitative cherche à identifier les irrégularités et les différences interindividuelles et à leur donner sens et donc à conserver la complexité du phénomène à l'étude. Cela se traduit pour le chercheur, en une quête de sens au travers des discours, conduites et écrits des acteurs.

C'est à cela que nous nous sommes prêtée dans les études qualitatives menées dans le cadre de cette thèse. Ainsi, dans l'étude 6, l'analyse croisée des productions écrites et des explications orales de résolveurs « experts » et « novices » nous a permis de dépeindre de façon plus fine et plus nuancée les comportements et stratégies (méta)cognitifs, (méta)motivationnels et (méta)émotionnels adoptés par ces derniers en résolution de problèmes mathématiques. Nous avons ainsi confirmé les stratégies de régulation émotionnelle mises en évidence par l'approche quantitative, mais également mis en lumière

deux autres stratégies régulièrement utilisées par les élèves de 5^e et de 6^e primaire que sont la concentration et la distraction négative. Nous avons également rendu saillante la nécessité de considérer la cognition, la motivation et les émotions comme des contributeurs à parts égales du processus d'apprentissage et comme hautement interdépendants.

L'étude 7, pour sa part, nous a permis d'aller encore plus loin dans notre compréhension du processus d'acquisition d'une expertise adaptative. En effet, si dans l'étude précédente, le focus était mis sur des résolutions de problèmes ponctuelles, l'étude 7 examine ce qui se passe tout au long de l'implémentation d'un dispositif d'enseignement-apprentissage. Nous avons ainsi pu nuancer et approfondir notre compréhension des effets prétest-posttest mis en évidence par les études quantitatives. En effet, non seulement l'approche qualitative nous a permis de confirmer l'efficacité de ces dispositifs à encourager l'utilisation par l'apprenant de stratégies cognitives et métacognitives, mais elle nous a aussi éclairée sur le fait que ces dernières s'acquerraient à des rythmes différents (voir le premier point de cette discussion).

Plus encore, si cette approche corrobore les résultats des études quantitatives en attestant du caractère bénéfique de ces dispositifs tant pour les élèves « experts » que « novices », elle permet de les affiner en mettant à jour des bénéfices de nature bien différente. Pour terminer, l'étude 8 participe également à une meilleure compréhension du processus d'acquisition d'une expertise adaptative. Plus exactement, elle permet de donner sens aux effets observés dans les études quasi-expérimentales, en soulignant le rôle central joué par les régulations interactives entre pairs dans l'appropriation, par l'apprenant, des stratégies heuristiques enseignées et dans le développement de conduites d'autorégulation cognitive, motivationnelle et émotionnelle. Notons que l'approche qualitative a également ses limites qui nous renvoient à l'approche quantitative. Premièrement, il n'est pas toujours aisé pour le chercheur de s'y retrouver parmi la masse importante de données complexes qui a été recueillie et d'en dégager un sens unifié. Deuxièmement, « lors de l'analyse tout peut sembler intéressant à première vue » (Mukamurera et al., 2006, p.113), mais qui trop embrasse, mal étreint ! En d'autres termes, l'absence de rigueur méthodologique et de systématisation « peut conduire à l'incompréhension du phénomène à l'étude » (Mukamurera et al., 2006, p.113). Troisièmement, compte tenu de la complexité du traitement des données, les échantillons sont souvent assez petits et ne permettent, bien souvent, pas d'avoir une représentativité suffisante de la population d'intérêt.

En conclusion, nos différentes études soulignent la complémentarité des approches qualitatives et quantitatives en ce qu'elles permettent de dépeindre plus complètement le phénomène à l'étude. Fielding et Schreier (2001) parlent de triangulation méthodologique pour désigner le fait de recourir à des méthodes d'analyse variées. Ces derniers, de dire que : « the conventional logic of triangulation is that by using several, we can diversify biases in order to transcend them » (p.51). Dans le même ordre d'idée, Das (1983) précise que les qualitatifs « divergent » et « antithétique » ne sont pas adéquats et considère ces deux approches comme les différentes dimensions d'un même phénomène.

3. Limites de nos recherches et pistes de recherches futures

La présente section vise à présenter les principales limites des études menées dans le cadre de cette thèse et les questions qu'elles suscitent.

3.1 Revisiter les recherches centrées sur les résolveurs « novices » et « experts »

L'étude 9, présentée au chapitre 14, amène une vision nouvelle de la diversité des profils qui composent la classe de mathématiques. Les différences ne sont plus uniquement à chercher du côté de la performance, mais aussi des caractéristiques motivationnelles et émotionnelles des élèves. Dès lors, les recherches qui se sont penchées sur les comportements, stratégies et besoins spécifiques des élèves « novices » et « experts » nécessiteraient d'être revisitées, et ce afin, d'une part, d'affiner encore plus notre compréhension de l'intrication des dimensions cognitives, motivationnelles et émotionnelles dans le processus de résolution de problèmes et, d'autre part, de cerner avec plus de précision et de complétude les besoins des élèves. Ainsi, dans un premier temps, il serait intéressant de conduire une étude analogue à celle proposée au chapitre 11 (étude 6), dont l'objectif serait de mettre à jour les comportements et stratégies (méta)cognitifs, (méta)motivationnels et (méta)émotionnels spécifiquement adoptés par chacun des quatre profils d'apprenants en résolution de problèmes. Cette première étude pourrait ensuite, être complétée d'une seconde qui chercherait à décrire, pour chaque profil, l'évolution des comportements et stratégies tout au long d'une intervention qui proposerait un soutien à la fois cognitif (enseignement explicite de stratégies cognitives et d'autorégulation cognitive), motivationnel (activités soutenant les sentiments de compétence et de contrôlabilité et mettant en exergue la valeur des apprentissages mathématiques) et émotionnel (enseignement explicite de connaissances et compétences émotionnelles) en résolution de problèmes. Le choix d'une intervention mixte repose tant sur le fait qu'on sait qu'elle est fructueuse (étude 5) que sur la mise au jour de la nature multidimensionnelle des besoins de l'apprenant. L'idée serait de voir ce que chaque profil retire de l'intervention et par l'identification des besoins insatisfaits, d'améliorer celle-ci afin de soutenir au maximum chaque profil dans l'acquisition d'une expertise adaptative.

En outre, à la suite du déséquilibre motivationnel et émotionnel notoire observé entre les filles et les garçons, il semble essentiel d'accorder une attention particulière à la différence genrée, dans les apprentissages mathématiques. Ainsi, pour les deux études qualitatives proposées ci-dessus, il serait judicieux de suivre, à minima, un garçon et une fille de chaque profil. La comparaison fille-garçon mettrait en lumière la façon dont chaque sexe s'approprie les outils cognitifs, motivationnels et émotionnels proposés et la capacité de l'intervention à niveler les différences observées entre les deux sexes. Pour accroître la probabilité d'un tel « nivelage » il faudrait, comme nous l'avons souligné plus haut, que l'intervention favorise une répartition sexuée plus équilibrée de la parole, notamment lors de la construction de nouveaux savoirs et, des attentes et feedbacks similaires pour les deux sexes. Dit autrement,

il faudrait, avant le début de l'intervention, prévoir une sensibilisation et une formation des enseignants à ces formes d'inégalités non souhaitables et aux pratiques enseignantes les renforçant (Lafontaine & Monseur, 2009). Le rôle joué par l'enseignant dans l'acquisition par les élèves d'une expertise adaptative en résolution de problèmes et, plus globalement, en mathématiques est abordé dans un point ultérieur. Dans un troisième temps, suite à ces deux études qualitatives, il s'avèrerait utile de s'assurer, par une étude quantitative, que les bénéfices de l'intervention retirés par chacun des profils se vérifient sur un échantillon plus représentatif de la population d'intérêt.

De surcroît, l'analyse de nos résultats, à la lumière des travaux ayant mis en évidence un déclin motivationnel et émotionnel tout au long de la scolarité, suggère un glissement, entre la cinquième et la sixième année, du profil « anxieux » vers le profil « résigné » et du profil « confiant » vers le profil « non-engagé ». Cependant, les données récoltées ne nous permettent pas de dépasser le stade de l'hypothèse. Pourtant, une meilleure compréhension de la trajectoire évolutive de ces différents profils permettrait de pouvoir anticiper et prévenir le glissement vers des profils plus à risque. Cette hypothèse pourrait être testée via une étude longitudinale sur deux ans d'une cohorte d'élèves de cinquième primaire. Si les conditions le permettent, l'idéal serait de mener une étude longitudinale sur 3 ans afin de comparer les glissements de profils qui s'opèrent entre les deux dernières années du primaire et au moment de la transition primaire-secondaire.

Finalement, l'étude sur les profils a été effectuée dans le contexte spécifique de la résolution de problèmes. Mieux connaître la portée de ces profils (sont-ils spécifiques à la résolution de problèmes ou aux mathématiques en général ?) permettrait de concevoir des dispositifs d'enseignement-apprentissage plus adaptés aux besoins spécifiques des élèves. La question qui se pose ici est de savoir s'il faut travailler la motivation et les émotions des élèves en lien avec un contenu spécifique et situer alors le contenu de l'intervention (dans le cas de la résolution de problèmes, l'accent serait mis sur la nature complexe de la tâche, sur les croyances et présupposés décrits au chapitre 1 ; etc.) ou en lien avec la discipline mathématique, dans sa globalité (il s'agirait alors davantage de travailler sur les stéréotypes de genre, sur le sens des apprentissages mathématiques, etc.).

3.2 Allonger la durée des interventions

Une limite commune aux trois études quasi-expérimentales que nous avons menées est la durée assez courte de l'intervention et, corollairement la densité du programme hebdomadaire. Nos résultats (changements n'apparaissant qu'au test de rétention, intensification des changements après la fin de l'intervention, absence de changement au niveau de certaines stratégies heuristiques, même au test de rétention) nous laissent penser qu'une intervention plus longue et aux séances moins chargées pourrait maximiser les effets observés. Ce constat est soutenu non seulement par les enseignants qui ont implémenté l'intervention (voir étude présentée au chapitre 9) mais également par d'autres études.

Effectivement, suite à une méta-analyse portant sur 74 interventions visant le développement de conduites autorégulées de nature cognitive et motivationnelle, tant au

primaire qu'au secondaire, Dignath et Büttner (2008) concluent que : « effect sizes increased with the number of training sessions » (p.252). Précisons, toutefois, que, dans une autre méta-analyse, portant sur 48 interventions visant à développer des conduites autorégulées spécifiquement chez les élèves du primaire, Dignath, Buettner et Langfeldt (2008) statuent sur l'absence de lien entre la durée de l'intervention et l'efficacité de celle-ci. Au niveau des interventions de nature émotionnelle, les résultats, de Viguer et al. (2017) indiquent qu'après la deuxième année d'intervention – portant, pour rappel, sur le modèle de Bar-On (2003) – des changements supplémentaires (amélioration de la capacité des élèves de cinquième primaire à réguler leurs émotions) s'ajoutent à ceux observés à la fin de la première année d'intervention et que les effets observés à la fin de la première année s'intensifient tout au long de la seconde année. De son côté, Ericsson (Ericsson, 2008 ; Ericsson et al., 1993), comme évoqué plus haut, a montré que l'acquisition d'une compétence résulte d'une pratique délibérée durant de nombreuses années. Kellogg et Whiteford (2009) parlent, eux, de « power law of practice » pour évoquer le fait que la performance s'améliore comme une fonction puissance de la quantité de pratique.

Ensemble, ces éléments nous laissent penser que si l'on souhaite favoriser l'acquisition d'un maximum de processus cognitifs, motivationnels et émotionnels impliqués dans l'expertise adaptative (en sachant, comme nous l'avons montré dans le premier point de cette discussion que certains prennent plus de temps à s'installer que d'autres) tant chez les élèves présentant un profil « anxieux », « non-engagé » que « résigné », il est nécessaire d'allonger la durée de l'intervention. Cela nous semble d'autant plus nécessaire, dès lors que l'on y ajouterait des activités visant à renforcer directement les sentiments de compétence et de contrôlabilité de l'apprenant (définition d'un objectif pour la séquence et évaluation régulière de sa progression par rapport à ce dernier ; réflexion sur les causes du résultat obtenu avec une préférence pour les causes contrôlables ; feedbacks centrés sur l'effort et la pertinence de la stratégie utilisée ; développement de la capacité de l'apprenant à s'autoévaluer ; modelage via des témoignages de pairs, etc.).

Ne perdons, cependant, pas de vue que la durée de l'intervention est un facteur clé dans le choix décisionnel de l'enseignant de se lancer ou non dans l'étude (Develay & Godinet, 2007 ; Martens, Peterson, Witt, & Cirone, 1986). Les recherches collaboratives au sein desquelles praticiens et chercheurs partagent leurs expertises et co-construisent les connaissances (Desgagné & Bednarz, 2005 ; Van Nieuwenhoven & Colognesi, 2015) semblent être un levier intéressant pour mener des interventions de plus longue durée dans les classes. En effet, ce type de recherche « offre aux chercheurs la possibilité de comprendre, avec les acteurs, dans une perspective située, ce qui est au coeur de leur agir » (Van Nieuwenhoven & Colognesi, 2015, p.104). Du côté des praticiens, la plus-value d'une participation active réside dans le développement professionnel. A ce sujet, Boudjaou et Bourassa (2012) précisent que « l'amélioration d'une pratique professionnelle passe par un effort de réflexivité dans et sur l'action et non simplement dans l'application de savoirs formels décontextualisés » (p.1). En lien avec les propos que nous avons tenus plus haut concernant la transition primaire-secondaire, les recherches collaboratives ressortent comme une approche particulièrement féconde pour soutenir, chez les enseignants, des changements

de conceptions et de pratiques favorisant une meilleure articulation entre les deux niveaux scolaires (Bednarz et al., 2009 ; Savoie-Zajc & Bednarz, 2007). Les études à ce sujet mettent en avant le rôle clé des échanges et discussions entre enseignants de niveaux scolaires différents dans l'« apprivoisement progressif de la réalité vécue de part et d'autre » (Bednarz et al., 2009, p.8), la prise de conscience d'appartenir à une seule et même communauté de pratique et le souhait de travailler à la co-construction d'outils, d'interventions et de référentiels communs.

3.3 Mieux cerner la complexité de la résolution de problèmes par une plus grande diversification des méthodes d'analyse

De la même façon qu'une diversité d'approches méthodologiques concourt à une meilleure circonscription du phénomène à l'étude, le recours à une variété de méthodes d'analyse pour chacune de ces approches méthodologiques permet de comprendre plus finement les processus en jeu dans l'acquisition d'une expertise adaptative intégrale. Comme nous pouvons le constater à travers la revue de littérature présentée dans les premiers chapitres de cette thèse, les études menées sur la résolution de problèmes reposent, pour la plupart, sur l'analyse de l'effet des pratiques enseignantes sur les acquisitions des élèves. Or, les pratiques enseignantes ne sont pas les seules variables à influencer de façon statistiquement significative sur les acquisitions des élèves. A titre d'exemple, citons les caractéristiques socio-démographiques et scolaires des élèves ainsi que les caractéristiques du contexte d'enseignement-apprentissage (Goigoux, Jarlégan, & Piquée, 2015). Pour pouvoir distinguer les effets des différentes variables susceptibles d'affecter les acquisitions des élèves et dégager leur impact respectif, les chercheurs recommandent de recourir à des modèles multiniveaux, c'est-à-dire de considérer le fait que les élèves sont nichés dans des classes qui elles-mêmes sont imbriquées dans des écoles (Marsh, Ludtke, Nagengast, Trautwein, Morin, Abduljabbar, & Koller, 2012 ; Opdenakker & Van Damme, 2001). Ces modèles prennent en compte les variables relatives aux « élèves » et à la « classe » ce qui permet de mesurer l'impact propre de chaque variable, indépendamment de celui des autres variables incluses dans le modèle (Bressoux, 2010).

En plus de la possibilité d'isoler plus clairement les effets de l'intervention dispensée, l'analyse multiniveaux a également un intérêt statistique. Effectivement, cette méthode d'analyse tient compte des liens qui existent entre les élèves d'une même classe, c'est-à-dire qu'elle considère le fait que les réponses données par les élèves d'une même classe, parce qu'ils partagent un même environnement éducatif, ne sont pas indépendantes les unes des autres (Bressoux, 2010 ; Marsh et al., 2012). Cela n'est pas le cas des méthodes d'analyse traditionnellement utilisées (e.g., corrélation, *t* de Student, analyse de variance) qui, elles, requièrent l'indépendance des erreurs de mesures. Ces dernières sont donc moins appropriées. Précisons à ce propos que la non indépendance des réponses des élèves d'une même classe peut entraîner une augmentation du taux d'erreur de type 1⁸⁸ (Marsh et al., 2012). Il est cependant à noter qu'à l'instar des autres méthodes d'analyse, l'analyse

⁸⁸ Pour rappel, l'erreur de type I consiste à rejeter l'hypothèse nulle alors qu'elle est vraie.

multiniveaux n'est pas exempte de limites (Dupin de Saint-André, Montésinos-Gelet, & Morin, 2010). Une première limite est que de nombreuses conditions d'application doivent être respectées pour pouvoir conduire des régressions linéaires multiples (traitements statistiques à la base de l'analyse multiniveaux). Une seconde limite est le fait que le nombre de variables explicatives pouvant être incluses dans le modèle est dépendant du nombre d'individus constituant l'échantillon. De telles analyses ne peuvent donc se faire que sur des échantillons de grande taille.

En outre, si les études quasi-expérimentales comme celles que nous avons menées aux chapitres 7, 9 et 10 présentent une grande validité écologique en ce qu'elles sont conduites en milieu naturel et donc permettent de prendre en compte les caractéristiques contextuelles dans lesquelles les apprentissages des élèves prennent place (e.g., le contrat didactique, l'atmosphère de la classe), leurs résultats dépendent de l'interprétation et de l'implémentation que l'enseignant fait du dispositif. Les acquisitions des élèves peuvent être influencées par d'autres variables entre le prétest et le post-test qui ne sont pas toujours contrôlées dans les études ou par une distribution inégale de certaines caractéristiques d'élèves entre les conditions (les groupes n'étant pas constitués au hasard) (Van der Maren, 1996 ; West, Biesanz, & Pitts 2000). Les études quasi-expérimentales ne permettent donc pas de dire que les effets observés sont le produit du dispositif implémenté. Ce n'est, par contre, pas le cas des études expérimentales. Dans une recherche expérimentale, il s'agit de manipuler une variable indépendante (méthode d'enseignement) et d'en observer les effets sur une ou plusieurs variables dépendantes (e.g., les performances des élèves en résolution de problèmes). On peut donc attribuer plus directement les changements observés aux manipulations expérimentales. Ainsi, dans l'étude 5, pour pouvoir attribuer les effets observés à chacune des conditions mises en place et pouvoir conclure à la plus-value d'un dispositif mixte, il faudrait manipuler la provision de soutien cognitif et émotionnel. Les mêmes quatre conditions (soutien cognitif, soutien émotionnel, soutien cognitif et émotionnel, absence de soutien tant cognitif qu'émotionnel) seraient comparées, mais dans un environnement davantage contrôlé. On pourrait ainsi imaginer proposer aux élèves de cinquième et de sixième primaire une séance de remédiation facultative. Cette dernière se déroulerait, au sein de plusieurs classes, comprenant chacune une vingtaine d'élèves. Ces derniers seraient répartis aléatoirement entre les quatre conditions. Chaque chercheur, préalablement formé par nos soins, se verrait attribuer une condition à laquelle il dispenserait un programme type. Notons que les limites des études expérimentales nous renvoient à l'utilité des études quasi-expérimentales.

Comme nous pouvons le constater, chaque méthode d'analyse a ses forces et ses limites. C'est donc dans le croisement à la fois d'approches méthodologiques et de méthodes d'analyses variées (corrélationnelles, multiniveaux, expérimentales, quasi-expérimentales, centrées sur la personne, etc.) que l'on peut mieux cerner la complexité d'un phénomène. On peut cerner avec d'autant plus de précision et de certitude les processus en jeu dans l'acquisition d'une expertise adaptative en résolution de problèmes, que l'on contrôle tant les composantes en amont (l'intervention proposée aux élèves) qu'en aval (la méthodologie utilisée) de l'étude.

3.4 Effectuer une analyse didactique a priori des problèmes proposés aux élèves

L'objectif de cette thèse était d'éclairer et documenter l'influence des variables (méta)cognitives, (méta)émotionnelles et (méta)motivationnelles sur les compétences en résolution de problèmes non-routiniers de l'apprenant en fin d'enseignement primaire. Le présent travail s'inscrit donc résolument dans le champ de la psychologie en embrassant ses composantes cognitive, développementale, motivo-émotionnelle et éducative.

Toutefois, comme nous l'avons évoqué au point 2.3.1, nous avons, pour la construction des dispositifs d'enseignement-apprentissage, effectué une brève incursion au pays de la didactique des mathématiques. L'analyse des problèmes à laquelle nous nous sommes soumise est, cependant, très rudimentaire au regard de celle habituellement conduite par les chercheurs en didactique. Par nos diverses lectures, nous nous rendons bien compte de la richesse de croiser les analyses effectuées avec une nouvelle analyse de nos résultats sous l'angle de variables relevant du champ de la didactique des mathématiques. A ce sujet, les chercheurs en didactique pointent l'importance de cerner les enjeux conceptuels des tâches de même que les procédures, raisonnements et conceptions des élèves associés au domaine des mathématiques, convoqués dans le problème (Bednarz, 2009 ; Grugeon-Allys, 2016 ; Julo, 1995 ; Vantourout & Goasdoué, 2014 ; Vergnaud, 1975). Concrètement, il s'agirait de mener une « analyse a priori » pointue des situations didactiques proposées aux élèves, notamment, en termes de contenu mathématique (e.g., contenu(s) mathématique(s) ciblé(s) ; difficultés et erreurs possibles ; conceptions qui sous-tendent ces dernières), de démarches possibles (e.g., solutions possibles et connaissances qui sous-tendent ces solutions ; stratégies heuristiques mobilisées ; potentialité du problème à confronter l'apprenant à sa conception erronée), de structure (e.g., calculs relationnels en jeu ; structure sémantique ; statuts des nombres impliqués) et des caractéristiques de l'énoncé (e.g., données superflues ; implicites de l'énoncé ; présence d'indices ; grandeur relative et caractéristiques des nombres en jeu ; ordonnancement des informations). Dans une perspective compréhensive et interprétative, ce type d'analyse devrait permettre d'affiner notre compréhension des démarches de résolution mobilisées par les élèves (e.g., modèles de situation construits, stratégies choisies, difficultés rencontrées) et de lever le voile sur certains constats qui n'ont pu être pleinement éclairés par les cadres théoriques convoqués. Dans une optique interventionniste, cette analyse préalable devrait permettre de concevoir des séquences d'enseignement-apprentissage plus ciblées et plus appropriées suscitant une véritable activité mathématique chez tous les élèves.

Cependant, ces triangulations tant méthodologique que théorique ne peuvent porter tous leurs fruits que si la parole est donnée à l'ensemble des acteurs concernés par le phénomène à l'étude. Dans notre cas, il s'agit de se pencher tant sur les élèves que sur leurs enseignants.

3.5 Prendre en compte les profils des enseignants

Une autre limite aux études quasi-expérimentales que nous avons conduites est la présence d'un biais au niveau de la « sélection » des enseignants. A ce sujet, de nombreux chercheurs ont documenté la relative résistance des enseignants face aux changements

(Develay & Godinet, 2007 ; Maroy, 2005 ; Vause, 2009) qui sont supposés « les aider à mieux faire face aux transformations de l'institution scolaire et de leur métier » (Maroy, 2005, p.21). Et pour cause, le changement est coûteux en habitude à transformer, en énergie à investir et en disponibilité à trouver (Develay & Godinet, 2007). Mettre la main sur des enseignants qui acceptent de tester des dispositifs d'enseignement-apprentissage dans leur(s) classe(s) n'est donc pas chose aisée. Compte tenu des contraintes qui y sont associées, on peut raisonnablement penser que les enseignants qui acceptent volontairement de se lancer dans un tel projet diffèrent fondamentalement de ceux qui ne souhaitent pas s'y engager et qui sont alors bien souvent sélectionnés comme enseignant « contrôle ». Slavin (2008) de dire que « the staffs that choose a given treatment might be more highly motivated, reform oriented, or stable than are those in otherwise similar schools that end up in the control group » (p.8). Si, comme souligné au point précédent, les comparaisons prétest-post-test classiques en milieu naturel rendent difficile l'association entre les effets du dispositif et les acquisitions des élèves, la sélection non aléatoire des enseignants biaise un peu plus cette association. Les effets observés pourraient, en effet, aussi être le fruit de l'enthousiasme communicatif de l'enseignant pour l'implémentation d'un dispositif innovant, d'une différence de croyances relatives à la résolution de problèmes entre l'enseignant de la condition « expérimentale » et celui de la condition « contrôle », d'une assurance plus grande en résolution de problèmes de l'enseignant de la condition « expérimentale » (ouverture à des démarches et stratégies différentes de la sienne), etc. Une meilleure connaissance des croyances, motivations et pratiques pédagogiques des enseignants impliqués dans l'étude et le contrôle de ces dernières permettraient de réduire ce biais (Gersten, Fuchs, Compton, & Coyne, 2005 ; Staub & Stern, 2002 ; Wayne & Youngs, 2003).

Cette analyse de l'évolution des croyances, motivations et pratiques enseignantes entre le prétest et le post-test mais aussi une fois l'intervention terminée afin de mesurer la stabilité des nouvelles pratiques, permettrait, outre un meilleur contrôle des facteurs impliqués dans les acquisitions des élèves, d'apporter un éclairage différent et complémentaire des effets du dispositif sur les acquisitions cognitives, émotionnelles et motivationnelles des élèves.

En effet, comme mentionné dans le premier chapitre de cette thèse, les comportements, stratégies et croyances que les élèves ont vis-à-vis de la résolution de problèmes sont le reflet des pratiques enseignantes. Ces dernières sont fortement influencées par le système de croyances de l'enseignant (Beswick, 2006 ; Vause, 2009 ; Wilkins, 2008). On peut dès lors s'interroger sur l'existence d'un lien potentiel entre l'acquisition plus tardive de certaines stratégies heuristiques et la stabilité de certains comportements et stratégies heuristiques inadéquats, observées dans nos différentes études et, la résistance, chez l'enseignant, de croyances inappropriées. Ainsi, on peut, par exemple, se demander si les difficultés rencontrées par les élèves avec les stratégies heuristiques d'anticipation et de planification reflètent uniquement la complexité des stratégies *per se* ou le fait que l'enseignant n'est pas convaincu de leur utilité ou qu'il éprouve lui-même de la difficulté à les implémenter. De façon similaire, on peut se questionner sur le rôle des croyances de l'enseignant concernant les tâches de résolution de problèmes et la lente appropriation, par l'apprenant, de la stratégie heuristique d'interprétation.

En conclusion, mener une analyse parallèle de l'évolution des pratiques et croyances enseignantes et des acquisitions (méta)cognitives, (méta)motivationnelles et (méta)émotionnelles des élèves permettrait de mieux cerner les processus en jeu dans l'acquisition d'une expertise adaptative.

4. Quelques retombées pour la formation initiale des enseignants

Nous l'évoquions dans l'introduction, les difficultés rencontrées par les élèves en mathématiques et, en particulier en résolution de problèmes, sont au cœur des préoccupations actuelles de nombreux pays, dont le nôtre. Les résultats des élèves aux CEB et CE1D parlent d'eux-mêmes. La présente section a pour objectif de discuter des implications concrètes des résultats des études menées dans le cadre de cette thèse dans une perspective de soutien aux apprentissages des élèves et aux pratiques des enseignants.

Plusieurs auteurs soulignent que les enseignants ont tendance à voir le manque de motivation de leurs élèves comme quelque chose de stable, lié à l'éducation qu'ils reçoivent de leurs parents ou à un trait de personnalité de l'élève sur lequel ils ont très peu de contrôle (Marcoux, 2012 ; Urdan & Schoenfelder, 2006). Ainsi, la paresse, l'amotivation, le manque d'étude, le manque de capacité, etc. sont des explications très souvent avancées par les enseignants pour expliquer les résultats de leurs élèves et sont perçus comme une fatalité par ces derniers. Plusieurs chercheurs évoquent le sentiment d'impuissance des enseignants (Adihou, 2011 ; Bouffard, Brodeau, & Vezeau, 2005).

Or, les recherches présentées dans les chapitres théoriques de cette thèse ont montré à quel point les comportements et croyances de l'enseignant ont un impact considérable sur le rapport motivationnel et émotionnel de leurs élèves aux mathématiques (et, plus spécifiquement, à la résolution de problèmes). Les études empiriques que nous avons menées dans le cadre de cette thèse appuient ce constat. Nous avons montré que l'instauration d'un climat de confiance, l'écoute et la prise en compte des émotions ressenties par l'apprenant, le soutien apporté à la régulation de ces dernières, le renforcement des sentiments de compétence et de contrôlabilité, l'outillage cognitif et métacognitif centré sur l'utilité des stratégies enseignées ainsi que la promotion des interactions entre pairs sont des pratiques à promouvoir. Ces dernières sont, en effet, ressorties comme favorisant l'engagement, la persévérance, le développement de croyances motivationnelles et d'émotions positives vis-à-vis de la résolution de problèmes et, partant, de meilleures performances. Ensemble, ces informations soulignent la nécessité de sensibiliser et de former les enseignants et futurs enseignants au fait que leurs actions influencent considérablement les comportements et stratégies de leurs élèves et in fine la qualité de leur apprentissage. Bouffard et al. (2005) précisent, à ce sujet, que « meilleure sera la connaissance de l'enseignant non seulement des dimensions et caractéristiques cognitives de l'élève, mais aussi de ses dimensions psychologiques et affectives, mieux il sera en mesure d'en tenir compte et de favoriser ainsi l'efficacité de ses actions envers lui » (p.72). Ajoutons que s'il est important de développer les connaissances des enseignants sur la motivation et les émotions afin que ces dernières

soient réellement exploitées par l'enseignant avec ses élèves, il est crucial qu'il ait été préalablement sensibilisé au rôle déterminant joué par ces variables dans l'initiation du processus d'apprentissage et dans le maintien des efforts déployés tout au long de ce dernier. Nous savons que, pour certains, travailler ces dimensions représente une perte de temps considérable dans un planning déjà fort serré.

Sur la base des discussions que nous avons eues avec les enseignants de fin du primaire et de première secondaire impliqués dans nos études, de notre connaissance du milieu secondaire et des travaux qui ont mis en évidence des expertises différentes chez les enseignants des deux niveaux scolaires (Bednarz & Proulx, 2010 ; Demonty, 2017 ; Nathan & Petrosino, 2003 ; Proulx, 2011 ; Proulx & Bednarz, 2010 ; Robutti et al., 2016), nous pensons que cette sensibilisation aux dimensions (méta)cognitives, (méta)émotionnelles et (méta)motivationnelles, impliquées dans les apprentissages mathématiques en général, et dans la résolution de problèmes en particulier, devrait être pensée de façon différenciée pour le primaire et le secondaire. Ces travaux mettent en avant, d'une part, l'embarras des enseignants du primaire qui rapportent ne pas se sentir à l'aise en mathématiques, particulièrement avec la résolution de problèmes, et d'autre part, leurs lacunes au niveau des contenus mathématiques. À l'inverse, les enseignants du secondaire, de par leur formation spécialisée, se retrouvent parfois aveuglés par leurs connaissances approfondies et leur aisance dans l'utilisation des procédures et algorithmes usuels et ont alors tendance à surestimer la facilité d'acquisition des concepts mathématiques et à éprouver de la difficulté à expliquer le sens sous-jacent à ces concepts et procédures⁸⁹.

Compte tenu de ces informations, nous proposerions aux futurs enseignants du primaire une intervention visant à faire émerger leurs souvenirs positifs et négatifs vis-à-vis des mathématiques en tant qu'apprenant et à confronter ces souvenirs à leur rapport motivationnel et émotionnel actuel à la discipline (sur la base des stages réalisés). L'objectif de cette intervention serait de sensibiliser les enseignants à l'importance de la motivation (e.g., perception que l'on a de ses compétences, valeur que l'on accorde à la tâche) et des émotions (e.g., anxiété et stress qui inhibent la réflexion cognitive) en mathématiques et à la cristallisation avec le temps des rapports ainsi créés (ces rapports émotionnel et motivationnel négatifs, construits durant leur parcours scolaire, affectent leur propre enseignement : ils ne se sentent pas à l'aise avec cette discipline). Concernant l'aspect « contenu mathématique », Proulx (2011) invite à repenser la formation mathématiques des enseignants du primaire autour de deux dimensions que sont la nature des contenus mathématiques travaillés et la nature des activités mathématiques proposées durant la formation. Au niveau de la nature des contenus mathématiques travaillés, ce chercheur suggère de ne pas s'en tenir aux « mathématiques du curriculum » mais de travailler également ce qu'il appelle les « mathématiques de la pratique » ou encore « les mathématiques professionnelles de l'enseignant » (Proulx & Bednarz, 2010) à travers l'analyse de productions d'élèves, de questions d'élèves posées en classe, de situations tirées de manuels scolaires, de tâches construites par les enseignants eux-mêmes, etc. S'agissant de la nature des activités

⁸⁹ Demonty (2017) relate également la difficulté des enseignants du secondaire à aider leurs élèves à dépasser un raisonnement arithmétique pour adopter un raisonnement algébrique.

mathématiques proposées aux futurs enseignants, il préconise l'engagement actif des enseignants via l'exploration et le questionnement (e.g., « pourquoi », « comment ») et ce afin de travailler le sens mathématique sous-jacent aux concepts et aux algorithmes, l'utilité des conventions, du symbolisme et des règles, et d'élargir l'espace du possible au niveau des façons de résoudre une même tâche et ainsi faire émerger de nouvelles entrées de compréhension.

S'agissant des enseignants du secondaire, nous pensons que l'intervention devrait à la fois les sensibiliser au rôle central joué par les émotions et la motivation dans les apprentissages et les performances mathématiques (leur faire comprendre qu'un élève peut ne pas s'engager dans la tâche en raison d'un blocage affectif ou parce qu'il veut éviter d'apparaître incompétent), et à l'impact négatif de certaines de leurs pratiques de classe sur la motivation et les émotions de leurs élèves. Pour ce faire, une première activité pourrait être de les confronter à une tâche complexe, relevant d'une autre discipline et nécessitant le traitement d'un nombre important d'informations. L'objectif est d'ici, de les placer dans une situation inconfortable afin qu'ils se rendent compte que lorsqu'on n'est pas un « expert », la réalisation d'une tâche complexe peut générer un sentiment d'incompétence, une envie d'abandonner dès qu'une difficulté se fait pressentir, des émotions négatives, etc. et, que la probabilité que ces perceptions émergent est d'autant plus grande que l'individu a accumulé des échecs dans ce type de tâche. Outre, cette sensibilisation aux dimensions motivationnelles et émotionnelles de l'apprentissage mathématiques, les chercheurs pointent la nécessité de repenser également la nature des activités mathématiques proposées en formation de sorte que les futurs enseignants du secondaire soient à même de donner du sens aux concepts et aux algorithmes mathématiques enseignés (Demonty, 2017 ; Proulx & Bednarz, 2010 ; Van Dooren et al., 2003).

En outre, sur la base des recherches collaboratives qui ont mis en évidence l'impact positif des échanges, discussions et réflexions entre enseignants de niveaux scolaires différents (primaire et secondaire) sur l'harmonisation de leurs conceptions et pratiques (Bednarz et al., 2009), nous pensons qu'il serait utile de rassembler, à intervalle régulier, les futurs instituteurs/trices et les futurs régents en mathématiques afin de les familiariser avec ce qui se fait de part et d'autre (en termes de pratiques, de programmes, de difficultés des élèves, de conceptions erronées) et de mettre en place des projets communs.

Les enjeux disciplinaires de la transition entre le primaire et le secondaire ne se situent donc pas uniquement du côté des programmes d'enseignement mais également de la formation initiale et continue des enseignants. Ce constat de la nécessité de repenser et de renforcer la formation des instituteurs/trices et des régents est au cœur de la réforme de la formation initiale des enseignants sur laquelle de nombreux acteurs planchent depuis maintenant plusieurs années. Une des visée centrale de cette réforme est, effectivement, de « viser l'amélioration de la qualité de la formation, par une formation exigeante, dont les contenus seront revus de telle manière que les éléments essentiels d'une formation de base s'y trouvent, quelle que soit la 'trajectoire' de formation empruntée » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, 2013, p.5).

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Adihou, A. (2011). Enseignement-apprentissage des mathématiques et souffrance à l'école. *Les collectifs du Cirp*, 2, 90–102.
- Ahmed, W. (2017). Motivation and Self-Regulated Learning: A Multivariate Multilevel Analysis. *The International Journal of Psychology and Educational Studies*, 4(3), 1-11.
- Ahmed, W., Minnaert, A., Kuyper, H., & van der Werf, G. (2012). Reciprocal relationships between math self-concept and math anxiety. *Learning and Individual Differences*, 22(3), 385-389.
- Ahmed, W., Minnaert, A., van der Werf, G., & Kuyper, H. (2010). The Role of Competence and Value Beliefs in Students' Daily Emotional Experiences: A Multilevel Test of a Transactional Model. *Learning and Individual Differences*, 20, 507-511.
- Ahmed, W., van der Werf, G., & Kuyper, H., & Minnaert, A. (2013). Emotions, self-regulated learning, and achievement in mathematics: A growth curve analysis. *Journal of Educational Psychology*, 105 (1), 150-161.
- Aiken, L. R. (1986). Attitudes toward mathematics. In T. Husen, & T.N. Postlethwaite (Eds.), *The International Encyclopedia of Education* (pp. 438-454). New York: Pergamon.
- Ainley, M., & Ainley, J. (2010). Student engagement with science in early adolescence: The contribution of enjoyment to students' continuing interest in learning about science. *Contemporary Educational Psychology*, 36(1), 4–12.
- Ainley, M., & Hidi, S. (2014). Interest and enjoyment. In R. Pekrun & L. Linnenbrink-Garcia (Eds.), *International handbook of emotions in education* (pp. 205-227). New-York: Routledge.
- Aldenderfer, M.S., & Blashfield, R.K. (1984). *Cluster analysis*. Newbury Park, CA: Sage Publications.
- Alivernini, F., & Lucidi, F. (2011). Relationship Between Social Context, Self-Efficacy, Motivation, Academic Achievement, and Intention to Drop Out of High School: A Longitudinal Study. *The Journal of Educational Research*, 104(4), 241-252.
- Allaire, R., Pallascio, R., Lafortune, L., & Mongeau, P. (1998). L'activité métacognitive des Inuits dans la gestion de leur espace. Dans L. Lafortune, P. Mongeau, & R. Pallascio (Eds.), *Métacognition et compétences réflexives* (pp. 147-164). Montréal, Québec : Logiques.
- Allal, L. (2007). Régulations des apprentissages: orientations conceptuelles pour la recherche et la pratique en éducation. In L. Allal, & L. Mottier Lopez (Eds.), *Régulation des apprentissages en situation scolaire et en formation* (pp. 7-24). Brussels: De Boeck.
- Amaratunga, D., Baldry, D., Sarshar, M., & Newton, R. (2002). Quantitative and qualitative research in the built environment: application of 'mixed' research approach. *Work Study*, 51(1), 17–31.
- Ambady, N., Shih, M., Kim, A., & Pittinsky, T.L. (2001). Stereotype susceptibility in children: effects of identity activation on quantitative performance. *Psychological Science*, 12(5), 385-390.
- Ames, C. (1992). Achievement goals and the classroom motivational climate. In D. Schunk, & J. Meece (Eds.), *Student perceptions in the classroom* (Ch.15, pp. 327–348). Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.
- Amstadter, A. (2008). Emotion regulation and anxiety disorders, *Anxiety Disorders*, 22(2), 211-221.

- Anderman, L. H., & Anderman, E. M. (1999). Social predictors of changes in students' achievement goal orientations. *Contemporary Educational Psychology*, 24(1), 21–37.
- Anderman, E.M., & Midgley, C. (1997). Changes in achievement goal orientations, perceived academic competence and grades across the transition to middle-level schools. *Contemporary Educational Psychology*, 22, 269-298.
- Anderson, J.R. (1981). *Cognitive skills and their acquisition*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Appleton, J. J., Christenson, S. L., & Furlong, M.J. (2008). Student engagement with school: critical conceptual and methodological issues of the construct. *Psychology in the schools*, 45(5), 369-386.
- Archambault, I., Janosz, M., Fallu, J.-S., & Pagani, L. S. (2009). Student engagement and its relationship with early high school dropout. *Journal of Adolescence*, 32(3), 651–670.
- Arnold, M.B. (1960). *Emotion and Personality. Volume I*. New York: Columbia Press.
- Artigue, M. (2011). *Les défis de l'enseignement des mathématiques dans l'éducation de base*. Paris: UNESCO.
- Artino, A.R. (2012). Academic self-efficacy: from educational theory to instructional practice. *Perspectives on Medical Education*, 1(2), 76-85.
- Artino, A. R. (2009). Think, feel, act: Motivational and emotional influences on military students' online academic success. *Journal of Computing in Higher Education*, 21, 146-166.
- Artz, A.F., & Armour-Thomas, E. (1992). Development of a cognitive-metacognitive framework for protocol analysis of mathematical problem solving in small groups. *Cognition and Instruction*, 9(2), 137-175.
- Ashcraft, M. H., & Krause, J. A. (2007). Working memory, math performance, and math anxiety. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14(2), 243–248.
- Astolfi, J-P. (1993). Placer les élèves dans une situation-problème, *Probio-Revue*, 16(4), 311-321.
- Ayers, T. S., Sandler, I. N., West, S. G., & Roosa, M. W. (1996). A dispositional and situational assessment of Children's coping: Testing alternative models of coping. *Journal of Personality*, 64(4), 923–958.
- Azevedo, R., Moos, D.C., Johnson, A.M. & Chauncey, A.D. (2010). Measuring cognitive and metacognitive regulatory processes during hypermedia learning: Issues and challenges. *Educational Psychologist*, 45(4), 210-223.
- Baker, L., & Brown, A.L. (1984). Metacognitive skills in reading. In P.D. Pearson (Ed.), *Handbook of reading research* (pp. 353-394). New-York: Longman.
- Ball, D. L., Thames, M. H., & Phelps, G. (2008). Content knowledge for teaching: What makes it special? *Journal of Teacher Education*, 59, 389–407.
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. New York: Freeman.
- Bandura, A. (1989). Regulation of cognitive processes through perceived self-efficacy. *Developmental Psychology*, 25(5), 729-735.
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and actions: A social cognitive theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Barber, L.K., Grawitch, M.J., & Munz, D.C. (2012). Disengaging from a task. Lower self-control or adaptive self-regulation? *Journal of Individual Differences*, 33(2), 76-82.
- Bar-On, R. (2003). How important is it to educate people to be emotionally and socially intelligent, and can it be done? *Perspectives in Education*, 21 (4), 3-13.
- Baroody, A. J. (2003). The development of adaptive expertise and flexibility: The integration of conceptual and procedural knowledge. In A. J. Baroody, & A. Dowker (Eds.), *The*

- development of arithmetic concepts and skills* (pp. 1-34). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Baroody, A. J. & Dowker, A. (2003) *The Development of Arithmetic Concepts and Skills: Constructing Adaptive Expertise*. Erlbaum, Mahwah, New Jersey.
- Barrouillet, P. & Camos, V. (2003). Savoirs, savoir-faire arithmétiques et leurs déficiences. In M. Kail, & F. Michel (Eds.), *Les sciences cognitives et l'école. La question des apprentissages* (pp.307-351). Paris : PUF.
- Bartels, J., & Magun-Jackson, S. (2009). Approach-avoidance motivation and metacognition self-regulation: The role of need for achievement and fear of failure. *Learning and Individual Differences*, 19, 459–463.
- Baruk, S. (1985). *L'âge du capitaine : De l'erreur en mathématiques*. Paris : Seuil.
- Bassok, M. (2003). Analogical transfer in problem solving. In J. E. Davidson, & R. J. Sternberg (Eds.), *The psychology of problem solving* (pp. 343-369). New York: Cambridge University Press.
- Baumard, M., Perucca, B., Bonrepaux, C., Chupin, J., Cédelle, L., & Floc'h, B. (2006). Non à la dictature des math. *Monde de l'éducation*, 351, 22–36.
- Baumert, J., Kunter, M., Blum, W., Brunner, M., Voss, T., Jordan, A., et al. (2010). Teachers' mathematical knowledge, cognitive activation in the classroom, and student progress. *American Educational Research Journal*, 47, 133–180.
- Baxter, P., & Jack, S. (2008). Qualitative case study methodology: Study design and implementation for novice researchers. *The qualitative report*, 13(4), 544-559.
- Bednarz, N., Lafontaine, J., Auclair, M., Morelli, C., & Leroux, C. (2009). Pour une plus grande harmonisation dans la transition du primaire au secondaire en mathématiques. *Bulletin AMQ*, (49)1, 7-18.
- Bednarz, N., & Lajoie, C. (2018). La résolution de problèmes au Québec au cours du 20^e siècle. Dans J.-L. Dorier, G. Gueudet, M.L. Peltier, A. Robert, & E. Roditi (Eds.), *Enseigner les mathématiques: Didactique et enjeux de l'apprentissage* (p. 421-453). Belin.
- Bednarz, & Proulx, J. (2010). Développement professionnel des enseignants en mathématiques. Processus de recherche-formation et développement professionnel des enseignants de mathématiques : exploration de mathématiques enracinées dans leurs pratiques. *Education et Formation*, 293, 23-36.
- Bednarz, N., & Saboya, M. (2007). Questions didactiques soulevées par l'enseignement de l'algèbre auprès d'une élève en difficulté au secondaire. Dans J. Giroux, & D. Gauthier (Dir.), *Difficultés d'enseignement et d'apprentissage des mathématiques. Hommage à Gisèle Lemoyne* (pp. 139-166). Montréal : Editions Bande Didactique.
- Bell, B.S., & Kozlowski, S.W.J. (2002). Goal orientation and ability: Interactive effects on self-efficacy, performance, and knowledge. *Journal of Applied Psychology*, 87(3), 497-505.
- Bellinghausen, L. (2007). *L'identification des émotions*. Manuscrit non publié, Université de Paris-Descartes.
- Ben-Eliyahu, A., & Linnenbrink-Garcia, L. (2013). Extending self-regulated learning to include self-regulated emotion strategies. *Motivation and Emotion*, 37(3), 558-573.
- Berger, J.-L. (2009). The influence of achievement goals on metacognitive processes in math problem solving. *Journal of Cognitive Education and Psychology*, 8, 165-181.
- Berger, J.-L. (2008). *Motivation, métacognition et aptitudes cognitives chez les apprenants de la formation professionnelle initiale*. Thèse de doctorat en sciences de l'éducation, Université de Genève, Suisse.

- Berger, J.-L., & Büchel, F. P. (2012). Métacognition et croyances motivationnelles : Un mariage de raison. *Revue française de pédagogie*, 179, 95-128.
- Berger, J.-L., & Karabenick, S. A. (2011). Motivation and students' use of learning strategies: Evidence of unidirectional effects in mathematics classrooms. *Learning and Instruction*, 21, 416-428.
- Bergman, L.R. (1998). A pattern-oriented approach to studying individual development : snapshots and processes. In R.B. Cairns, L.R., Bergman, & J. Kagan (Eds.), *Methods and model for studying the individual* (pp. 83-122). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Berry, D.S., & Pennebaker, J.W. (2003). Nonverbal and verbal emotional expression and health. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 59(1), 11-19.
- Berthemes, J., Gamo, S., & Vlassis, J. (2013). *Perspectives pour un apprentissage durable des mathématiques. Pisa 2013*. Rapport national, Luxembourg.
- Beswick, K. (2006). The importance of mathematics teachers' beliefs. *The Australian Mathematics Teacher*, 62(4), 17.
- Bieg, M., Goetz, T., Sticca, F., Brunner, E., Becker, E., Morger, V. & Hubbard, K. (2017). Teaching methods and their impact on students' emotions in mathematics: an experience-sampling approach. *ZDM*, 49(3), 411-422.
- Blair, C., & Razza, R.P. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child Development*, 78(2), 647-663.
- Blayney, P., Kalyuga, S., & Sweller, J. (2010). Interactions between the isolated-interactive elements effect and levels of learner expertise: experimental evidence from an accountancy class. *Instructional Science*, 38(3), 277-287.
- Blöte, A.W., Van Otterloo, S.G., Stevenson, C.E., & Veenman, M.V.J. (2004). Discovery and maintenance of the many-to-one county strategy in 4-years-olds: a microgenetic study. *British Journal of Developmental Psychology*, 22, 83-102.
- Blum, W. (2015). Quality teaching of mathematical modelling: What do we know, what can we do? In S. J. Cho (Ed.), *The Proceedings of the 12th International Congress on Mathematical Education* (pp. 73-96). Cham: Springer International Publishing.
- Blum, W. (2011). Can modelling be taught and learnt ? Some answers from empirical research. In Kaiser, G., Blum, W., Borromeo Ferri, R., & Stillman, G. (Eds), *Trends in Teaching and Learning Mathematical Modelling* (pp.15-30). New York: Springer.
- Blum, W. & Ferri, R.B. (2009). Mathematical Modelling: Can it be taught and learnt? *Journal of Mathematical Modelling and Application*, 1(1), 45-58.
- Blum, W., & Leiß, D. (2007). How do students and teachers deal with modelling problems? In C. Haines, P. Galbraith, W. Blum, & S. Khan (Eds.), *Mathematical modelling: Education, engineering and economics- ICTMA 12* (pp. 222-231). Chichester, UK: Horwood Publishing.
- Blum, W., & Leiß, D. (2006). Filling up – In the problem of independence-preserving teacher interventions in lessons with demanding modelling tasks. In M. Bosch (Ed.), *CERME-4 – Proceedings of the Fourth Conference of the European Society for Research in Mathematics Education*, Guixol, Espagne.
- Blum, W. & Leiß, D. (2005). “Filling Up“ – the Problem of Independence-preserving Teacher Interventions in Lessons with Demanding Modelling Tasks. *Proceedings of the 4th European Congress of Mathematics Education*, Saint Feliu de Guixols, Espagne.
- Blum, W., & Leiss, D. (2007). How do students and teachers deal with mathematical modelling problems? In C. Haines, P.L. Galbraith, W. Blum, & S. Khan (Eds.), *Mathematical Modelling (ICTMA12)-Education, Engineering and Economics*. Chichester: Horwood.

- Blum, W., & Niss, M. (1991). Applied mathematical problem solving, modelling, applications, and links to other subjects. State, trends and issues in mathematics instruction. *Educational Studies in Mathematics*, 22(1), 37-68.
- Boekaerts, M. (2011). Emotions, emotion regulation, and self-regulation of learning. In B. J. Zimmerman, & D. H. Schunk (Eds.), *Handbook of self-regulation of learning and performance* (pp. 408–425). New York: Routledge.
- Boekaerts, M. (2007). Understanding students' affective processes in the classroom. In P. A. Schutz, & R. Pekrun (Eds.), *Emotion in education* (pp. 37–56). San Diego, CA: Elsevier Academic Press.
- Boekaerts, M. (2002). The On-Line Motivation Questionnaire: A self-report instrument to assess students' context sensitivity. In P. R. Pintrich & M. L. Maehr (Eds.), *Advances in motivation and achievement: New directions in measures and methods* (Vol. 12, pp. 77–120). Amsterdam: JAI Press.
- Boekaerts, M. (1999). Self-regulated learning: Where are we today? *International Journal of Educational Research*, 31, 445-457.
- Boekaerts, M. (1997). Self-regulated learning: A new concept embraced by researchers, policy makers, educators, teachers, and students. *Learning and Instruction*, 7(2), 161-186.
- Boekaerts, M. (1996). Self-Regulated Learning at the jonction of cognition and motivation. *European Psychologist*, 1(2), 100-112.
- Boekaerts, M., & Cascallar, E. (2006). How far have we moved toward the integration of theory and practice in self-regulation? *Educational Psychology Review*, 18(3), 199-210.
- Boekaerts, M., & Niemivirta, M. (2000). Self-regulated learning: Finding a balance between learning goals and ego-protective goals. In M. Boekaerts, P.R. Pintrich, & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation: Theory, research, and applications* (pp. 417-451). San Diego, CA: Academic Press.
- Boekaerts, M., Pintrich, P.R., & Zeidner, M. (2000). Self-regulation: An Introductory Overview. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich & M. Zeidner (Eds), *Handbook of Self-regulation* (pp. 1–9). San Diego: Academic Press.
- Bonanno, G.A. (2001). Grief and emotion: a social-functional perspective. In M.S., Stroebe, R.O., Hansson, W. Stroebe, & H. Schut (Eds.), *Handbook of bereavement research: consequences, coping, and care* (pp. 493-515). Washington DC: American Psychological Association.
- Bong, M. (2009). Age-related differences in achievement goal differentiation. *Journal of Educational Psychology*, 101, 879–896.
- Bong, M. (2001). Between- and within-domain relations of academic motivation among middle and high school students: Self-efficacy, task-value, and achievement goals. *Journal of Educational Psychology*, 93(1), 23–34.
- Bonnery, S. (2009). Scénarisation des dispositifs pédagogiques et inégalités d'apprentissage. *Revue française de pédagogie*, 167, 13-23.
- Bonnot, V., & Croizet, J.-C. (2011). Stereotype threat and stereotype endorsement: Their joint influence on women's math performance. *Revue Internationale de Psychologie Sociale*, 24, 105-120.
- Bonnot, V., & Croizet, J. (2007). Stereotype internalization and women's math performance: The role of interference in working memory. *Journal of Experimental Social Psychology*, 43(6), 857–886.
- Bonotto, C. (2013). Artifacts as sources for problem-posing activities. *Educational Studies in Mathematics*, 83(1), 37-55.

- Bonotto, C., & Wilczewski, E. (2007). I problemi di matematica nella scuola primaria: Sull'attivazione o meno di conoscenze di tipo realistico. In C. Bonotto (Ed.), *Quotidianizzare la matematica* (pp. 101–134). Lecce: La Biblioteca Pensa Multimedia.
- Booker, G., Bond, D., Briggs, J., & Davey, G. (1998). *Teaching primary mathematics* (2nd ed.). Melbourne: Longman.
- Borkovec, T. D., Ray, W. J., & Stober, J. (1998). Worry: A cognitive phenomenon intimately linked to affective, physiological, and interpersonal behavioral processes. *Cognitive Therapy and Research*, 22(6), 561-576.
- Bouchard, J. & Viau, R. (2000). Validation d'un modèle de dynamique motivationnelle auprès d'élèves du secondaire, *Canadian Journal of Education*, 25 (1), 16-26.
- Bouffard, T. (1998). Système de soi et métacognition. In L. Lafortune, P. Mongeau & R. Pallascio (Eds.), *Métacognition et compétences réflexives* (pp.203-222). Québec : Logiques.
- Bouffard, T., Brodeur, M., & Vezeau, C. (2005). Les stratégies de motivation des enseignants et leurs relations avec le profil motivationnel d'élèves du primaire. *Rapport de recherche*. Consulté le 7 mars 2018, <http://www.fqrcs.gouv.qc.ca/upload/editeur/rF-thereseBouffard.pdf>
- Bouffard, T., Marcoux, M. F., Vezeau, C., & Bordeleau, L. (2003). Changes in self-perceptions of competence and intrinsic motivation among elementary schoolchildren. *British journal of educational psychology*, 73(2), 171-186.
- Bouffard, T., Parent, S., & Larivee, S. (1991). Influence of self-efficacy on self-regulation and performance among junior and senior high-school age students. *International Journal of Behavior Development*, 14(2), 153-164.
- Bouffard, T., & Vezeau, C. (2010). Intention d'apprendre, motivation et apprentissage autorégulé: le rôle de la perception de compétence et des émotions. In M. Crahay, & M. Dutrevis (Eds.), *Psychologie des apprentissages scolaires* (pp. 66-84). Bruxelles: De Boeck.
- Bower, G.H. & Cohen, p. (1982). Emotional influences on memory and thinking: data and theory. In M.S. Clark, & S.T. Fiske (Eds.), *Affect and cognition* (pp. 291-331). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Brand, S., Reimer, T., & Opwis, K. (2003). Effects of metacognitive thinking and knowledge acquisition in dyads on individual problem solving and transfer performance. *Swiss Journal of Psychology*, 62(4), 251-261.
- Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (1999). *How people learn: Brain, mind, experience and school*. Washington, DC: National Academy Press.
- Brasseur, S. (2013). *Étude du fonctionnement des compétences émotionnelles chez les jeunes à haut potentiel intellectuel*. Thèse de doctorat en sciences de l'éducation non publiée, Louvain-la-Neuve, Université Catholique de Louvain.
- Brasseur, S., J. Grégoire, R. Bourdu, & Mikolajczak, M. (2013). The profile of emotional competence (PEC): Development and validation of a self-reported measure that fits dimensions of emotional competence theory. *Plos One*, 8(5), 1-8.
- Brault-Labbé, A., & Dubé, L. (2008). Engagement, surengagement et sous-engagement académiques au collégial: pour mieux comprendre le bien-être des étudiants. *Revue des sciences de l'éducation*, 34(3), 729-751.
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101.
- Breckenridge, J. N. (2000). Validating cluster analysis: consistent replication and symmetry. *Multivariate Behavioral Research*, 35(2), 261–285.

- Breslow, L. (2001). *Transforming novice problem solvers into experts*. Consulté le 6 janvier 2017, <http://web.mit.edu/tll-library/teachtalk/transforming-novice.html>.
- Bressoux P. (2010). *Modélisation statistique appliquée aux sciences sociales*. Bruxelles : De Boeck.
- Bressoux, P., & Pansu, P. (2003). *Quand les enseignants jugent leurs élèves*. Paris: PUF.
- Brewin, M. y Statham, J. (2011). Supporting the transition from primary school to secondary school for children who are looked after. *Educational Psychology in Practice*, 27(4), 365-381.
- Brody, L.R. (2000). On understanding gender differences in the expression of emotion. Gender roles, socialization, and language. In S.L. Ablon, D. Brown, E.J. Khantzian, & J.E. Mack (Eds.), *Human feelings: Exploration in affect development and meaning* (pp.87-126). Hillsdale, NJ: The Analytic Press.
- Brousseau, G. (1998). *Théories des situations didactiques*. La pensée Sauvage, Grenoble.
- Brousseau, G. (1984). *Le rôle central du contrat didactique dans l'analyse et la construction des situations d'enseignement et d'apprentissage des mathématiques*. Grenoble: IMAG.
- Brousseau, G. (1983). Les obstacles épistémologiques et les problèmes en mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques*, 4(2), 165-198.
- Brown, A. L. (1987). Metacognition, executive control, self-regulation, and other more mysterious mechanisms. In F. E. Weinert & R. H. Kluwe (Eds.), *Metacognition, motivation, and understanding* (pp. 65-116). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Brown, T. (2006). *Confirmatory factor analysis for applied research*. New York, NY: Guilford Press.
- Brown, A.L., Bransford, J.D., Ferrara, R.A., & Campione, J.C. (1983). Learning, remembering, and understanding. In J.H. Flavell, & E.M. Markman (Eds.), *Handbook of child psychology, Vol. III, Cognitive development* (pp. 77-166). New-York: Wiley.
- Brown, A. L., & DeLoache, J. S. (1978). Skills, plans and self-regulation. In R. S. Siegler (Ed.), *Children's thinking: What develops?* Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Brown, R., Pressley, M., Van Meter, P., & Schuder, T. (1996). A quasi-experimental validation of transactional strategies instruction with low-achieving second-grade readers. *Journal of Educational Psychology*, 88, 18-37.
- Bryant, F. B. (2000). Assessing the validity of measurement. In G. Laurence, P.R. Yarnold (Eds.), *Reading and understanding more multivariate statistics* (pp. 99-146). Washington DC: American Psychology Association.
- Buchs, C., Lehraus, K., & Crahay, M. (2013). Coopération et apprentissage. In M. Crahay (Ed.) *L'école peut-elle être juste et efficace ?* (pp. 421-454). Bruxelles: De Boeck.
- Burić, I., Sorić, I., & Penezić, Z. (2016). Emotion regulation in academic domain: development and validation of the academic emotion regulation questionnaire (AERQ). *Personality and Individual Differences*, 96, 128-147.
- Burke, C.A. (2010). Mindfulness-based approaches with children and adolescents: a preliminary review of current research in an emergent field. *Journal of Child and Family Studies*, 19(2), 133-144.
- Burkhardt, H. (1994). Mathematical applications in school curriculum. In T. Husen, & T.N. Postlethwaite (Eds.), *The international encyclopedia of education (2nd ed.)* (pp.3621-3624). Oxford: Pergamon.
- Byrne, B. M. (2016). *Structural equation modeling with AMOS: Basic concepts, applications, and programming (3rd ed.)*. New York: Routledge.

- Calkins, S.D., & Hill, A. (2007). Caregivers influences on emerging emotion regulation: Biological and environmental transactions in early development. In J.J. Gross (Ed.), *Handbook of emotion regulation* (pp. 229-248). New York: Guilford Press.
- Caprara, V.G., Pastorelli, C., & Weiner, B. (1997). Linkages between causal ascriptions, emotion and behavior. *International Journal of Behavioral Development*, 20(1), 153-162.
- Carette, V., Content, A., Rey, B., Coché, F., & Gabriel, F. (2009). *Etude de l'apprentissage des nombres rationnels et des fractions dans une approche par compétences à l'école primaire*. Rapport de recherche présenté à la Communauté française (n°126).
- Carlson, M., & Bloom, I. (2005). The cyclic nature of problem solving: An emergent multidimensional problem solving framework. *Educational Studies in Mathematics*, 58(1), 45-75.
- Cartier, S. C., Butler, D. L., & Janosz, M. (2007). L'autorégulation de l'apprentissage par la lecture d'adolescents en milieu défavorisé. *Revue des sciences de l'éducation*, 33(3), 601-622.
- Carver, C.S., Scheier, M.F., & Weintraub, J.K. (1989). Assessing coping strategies: A theoretically based approach. *Journal of Personality and Social Psychology*, 56(2), 267-283.
- Cavanaugh, J. C., & Borkowski, J. G. (1980). Searching for metamemory-memory connection. A developmental study. *Developmental Psychology*, 16, 441-453.
- Cheek, J.R., Bradley, L.J., Reynolds, J., & Coy, D. (2002). An intervention for helping elementary students reduce test anxiety. *Professional School Counseling*, 6(2), 162-164.
- Chouinard, R., Bowen, F., Cartier, S.C., Desbiens, N., Laurier, M., Plante, I., & Butler, D. (2005). *L'effet des différentes approches évaluatives sur l'engagement et la persévérance scolaires dans le contexte du passage du primaire et du secondaire*. Rapport de recherche présenté au Fonds québécois de recherche sur la société et la culture (FQRSC).
- Christianson, S.A., & Loftus, E.F. (1991). Remembering emotional events: The fate of detailed information. *Cognition and emotion*, 5(2), 81-108.
- Cleary, T.J. (2011). Emergence of self-regulated learning microanalysis. Historical overview, essential features, and implications for research and practice. In B. Zimmerman & D. Schunk (Eds.), *Handbook of self-regulation of learning and performance* (pp. 329-345). New-York: Routledge.
- Cleary, T. S., & Zimmerman, B. J. (2011). A cyclical self-regulatory account of student engagement: Theoretical foundations and applications. In S. L. Christenson, A.L. Reschly, & C. Wylie (Eds.), *Handbook of research on student engagement* (pp.237-257). New York: Springer US.
- Clore, G. L., & Huntsinger, J. R. (2009). How the object of affect guides its impact. *Emotion Review*, 1(1), 39-54.
- Cobb, P., Yackel, E. & Wood, T. (1992). A constructivist alternative to the representational view of mind in mathematics education. *Journal for Research in Mathematics Education*, 23, 2-33.
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 37-46.
- Collins, N.L., & Miller, L.C. (1994). Self-disclosure and liking: A meta-analytic review. *Psychological Bulletin*, 116(3), 457-475.
- Colognesi, S. (2015). *Faire évoluer la compétence scripturale des élèves*. Thèse de doctorat en sciences psychologiques et de l'éducation non publiée, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve.

- Colognesi, S., & Van Nieuwenhoven, C. (2016). La métacognition comme tremplin pour l'apprentissage de l'écriture. In S. Cartier, & B. Noël (Eds.), *De la métacognition à l'apprentissage autorégulé* (pp.111-126). Bruxelles: De Boeck.
- Cooper, G., & Sweller, J. (1987). The effects of schema acquisition and rule automation on mathematical problem-solving transfer. *Journal of Educational Psychology*, 79, 347–362.
- Coppé, S. (1993). *Processus de vérification en mathématiques chez les élèves de première scientifique en situation de devoir surveillé*. Thèse de doctorat en Didactique des mathématiques, Université Claude Bernard, Lyon.
- Coppé, S., & Houdement, C. (2002). Réflexions sur les activités concernant la résolution de problèmes à l'école primaire. *Grand N*, 69, 53-62.
- Coquin-Viennot, D. (2001). Problèmes arithmétiques verbaux à l'école : pourquoi les élèves ne répondent-ils pas à la question posée ? *Enfance*, 53(2), 181-196.
- Coquin-Viennot, D., & Moreau, S. (2003). Highlighting the Role of Episodic Model in the Solving of Arithmetical Problems. *European Journal of Psychology and Education*, 18 (3), 267-279.
- Corno L. (2011). Studying self-regulation habits. In B. J. Zimmerman, & D. H. Schunk (Eds.), *Handbook of self-regulation of learning and performance* (pp. 361–375). New York, NY: Routledge.
- Cosnefroy, L. (2011). *L'apprentissage autorégulé. Entre cognition et motivation*. Grenoble : Presse universitaires de Grenoble.
- Cosnefroy, L. (2004). Apprendre, faire mieux que les autres, éviter l'échec : l'influence de l'orientation des buts sur les apprentissages scolaires. *Revue Française de Pédagogie*, 147(1), 107-128.
- Costa, A., & Faria, L. (2015). The impact of Emotional Intelligence on academic achievement: A longitudinal study in Portuguese secondary school. *Learning and Individual Differences*, 37, 38–47.
- Crahay, M., & Detheux, M. (2005). L'évaluation des compétences, une entreprise impossible? (Résolution de problèmes complexes et maîtrise de procédures mathématiques). *Mesure et Evaluation en Education*, 28(1), 57-78.
- Crahay, M., Dutrévis, M., & Marcoux, G. (2015). L'apprentissage en situation scolaire : un processus multidimensionnel. In M. Crahay, & M. Dutrévis (Eds.), *Psychologie des apprentissages scolaires* (pp. 15-49). Bruxelles : De Boeck.
- Crahay, M., & Forget, A. (2006). Changements curriculaires : quelle est l'influence de l'économique et du politique ? In F. Audigier, M. Crahay, & J. Dolz (Eds.), *Curriculum, enseignement et pilotage* (pp. 63-84). Bruxelles: De Boeck.
- Creswell, J.W. (2014). *Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). California: Sage Publications.
- Cumming, G. (2012). *Understanding the new statistics. Effect sizes, confidence, intervals, and meta-analysis*. New York, NY: Routledge.
- Curci, A., Luminet, O., Finkenauer, C., & Gisle, L. (2001). Flashbulb memories in social groups: A comparative test-retest study of the memory of French President Mitterrand's death in a French and a Belgian group. *Memory*, 9(2), 81-101.
- Damasio, A. (2004). Emotions and feelings: A neurobiological perspective. In A. S. R. Manstead, N. Frijda, & A. Fischer (Eds.), *Feelings and emotions* (pp. 49–57). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Danblon, P. (coord). (1990). *Perspectives sur l'Enseignement des mathématiques dans la Communauté Française de Belgique. Rapport de la Commission scientifique d'étude de*

- l'enseignement des mathématiques et des sciences*. Bruxelles : Ministère de l'Education, de la Recherche et de la Formation.
- Daniels, L.M., Haynes, T.L., Stupnisky, R.H., Perry, R.P., Newall, N.E., & Pekrun, R. (2008). Individual differences in achievement goals: a longitudinal study of cognitive, emotional, and achievement outcomes. *Contemporary Educational Psychology*, 33(4), 584-608.
- Daniels, L. M., Stupnisky, R. H., Pekrun, R., Haynes, T. L., Perry, R. P., & Newall, N. E. (2009). A longitudinal analysis of achievement goals: From affective antecedents to emotional effects and achievement outcomes. *Journal of Educational Psychology*, 101(4), 948-963.
- DeCarlo, L.T. (1997). On the meaning and use of Kurtosis. *Psychological Methods*, 2(3), 292-307.
- Deci, E.L., Koestner, R., & Ryan, R.M. (1999). A meta-analytic review of experiments examining the effects of extrinsic rewards of extrinsic rewards on intrinsic motivation. *Psychological Bulletin*, 125, 627-668.
- Deci, E., & Ryan, R. (2008a). Self-determination theory: A macrotheory of human motivation, development, and health. *Canadian Psychology*, 49, 182-185.
- De Corte, E. (2012). Constructive, self-regulated, situated and collaborative (CSSC) learning: an approach for the acquisition of adaptive competence. *Journal of Education*, 192, (2/3), pp. 33-47.
- De Corte, E., Depaepe, F., Op't Eynde, P., & Verschaffel, L. (2011). Students' self-regulation of emotions in mathematics: an analysis of meta-emotional knowledge and skills. *ZDM Mathematics Education*, 43 (4), 483-495.
- De Corte, E., Depaepe, F., & Verschaffel, L. (2010). Fostering self-regulation skills in mathematics. In H. Pedrosa-de-Jesus, C. Evans, Z. Charlesworth & E. Cools (eds.) *ELSIN XV, Proceedings of the 15th Annual Conference of the European Learning Styles Information Network: Exploring styles to enhance learning and teaching in diverse contexts* (pp. 133-139). Aveiro, Portugal: Université de Aveiro.
- De Corte, E., Mason, L., Depaepe, F., & Verschaffel, L. (2011). Self-regulation of mathematical knowledge and skills. In B. Zimmerman, & D. Schunk (Eds.), *Handbook of self-regulation of learning and performance* (pp. 155-172). New-York: Routledge.
- De Corte, E., & Verschaffel, L. (2005/2008). Apprendre et enseigner les mathématiques: Un cadre conceptuel pour concevoir des environnements d'enseignement-apprentissage stimulants. In M. Crahay, L. Verschaffel, E. De Corte, & J. Gregoire (Eds.), *Enseignement et apprentissage des mathématiques: Que disent les recherches psychopédagogiques?* (pp. 25-54). Brussels: De Boeck Université.
- De Corte, E., & Verschaffel, L. (2002). High-powered learning communities: design experiments as a lever to bridge the theory/practice divide. *Prospects*, 32(4), 517-531.
- De Corte, E., & Verschaffel, L. (1985). Beginning first graders' initial representation of arithmetic word problems. *Journal of Mathematical Behavior*, 4, 3-21.
- De Corte, E., Verschaffel, L., & Masui, C. (2004). The CLIA-Model: A Framework for Designing Powerful Learning Environments for Thinking and Problem Solving. *European Journal of Psychology of Education*, 19, 365-384.
- De la Fuente, J., Amate, J., Gonzalez-Torres, M.C. (2015). Assessing self-regulated learning and its relation to cognitive performance in early childhood education. In K. Vann (Ed.), *Early childhood Education* (pp. 13-36). New-York: Nova Science Publishers.
- Demonty, I. (2016). *Regards croisés sur le développement de la pensée algébrique : entre raisonnements des élèves et connaissances des enseignants*. Thèse de doctorat en Sciences psychologiques et de l'Education, Université de Liège, Liège.

- Demonty, I. (2005). La transition entre l'arithmétique et l'algèbre élémentaire dans le contexte de la résolution de problèmes arithmétiques. In M. Crahay, L. Verschaffel, E. De Corte, & S. Grégoire (Eds.), *Enseignement et apprentissage des mathématiques. Que disent les recherches psychopédagogiques ?* (pp.225–246). Bruxelles: de Boeck.
- Demonty, I., Blondin, C., Matoul, A., Baye, A., & Lafontaine, D. (2013). La culture mathématique à 15 ans. Premiers résultats de Pisa 2012 en Fédération Wallonie-Bruxelles. *Les Cahiers des Sciences de l'Education*, 34, 1-26.
- Demonty, I., Dupont, V. & Fagnant, A. (2014). Analyse des régulations interactives entre élèves lors de la résolution d'un problème mathématique en groupe. *Cahiers des Sciences de l'Education*, 36, 175-214.
- Demonty, I. & Fagnant, A. (2014). Tâches complexes en mathématiques : difficultés des élèves et exploitations collectives en classe. *Éducation et francophonie*, 42(2), 173-89.
- Demonty, I. & Fagnant, A. (2012). Les différentes fonctions de la résolution de problèmes sont-elles présentes dans l'enseignement primaire en Communauté française de Belgique ? In J.-L., Dorier, & S., Coutat (Eds.), *Enseignement des mathématiques et contrat social: enjeux et défis pour le 21e siècle – Actes du colloque EMF2012* (pp. 1752-1760). Genève, Suisse.
- Denham, S.A. (2005). The emotional basis of learning and development in early childhood education. In B. Spodek (Ed.), *Handbook of research in early childhood education* (pp. 85-103). New York: Lawrence Erlbaum.
- Denham, S.A., McKinley, M., Couchoud, E.A., & Holt, R. (1990). Emotional and behavioral predictors of preschool peer ratings. *Child Development*, 61(4), 1145-1152.
- Depaepe, F., De Corte, E., & Verschaffel, L. (2015). Students' non-realistic mathematical modeling as drawback of teachers' beliefs about and approaches to word problem solving. In B. Pepin, & B. Roesken-Winter (Eds.), *From beliefs to dynamic affect systems in mathematics education* (pp. 137-156). Springer International Publishing.
- Depaepe, F., De Corte, E., & Verschaffel, L. (2010). Teachers' approaches towards word problem solving: elaborating or restricting the problem context. *Teaching and Teacher education*, 26(2), 152-160.
- Depaepe, F., De Corte, E., & Verschaffel, L. (2009). Analysis of the realistic nature of word problems in upper elementary mathematics education in Flanders. In L. Verschaffel, B. Greer, W. Van Dooren, & S. Mukhopadhyaya (Eds.), *Words and worlds: modeling verbal descriptions of situations* (pp. 245-263). Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- Depaepe, F., De Corte, E. & Verschaffel, L. (2007). Unraveling the culture of the mathematics classroom: a video-based study in sixth grade. *International Journal of Educational Research*, 46(5), 266-279.
- Desgagné, S., & Bednarz, N. (2005). Médiation entre recherche et pratique en éducation : faire de la recherche « avec » plutôt que « sur » les praticiens. *Revue des Sciences de l'Education*, 31(2), 245-258.
- Deslauriers, J.-P. (1991). *Recherche qualitative : Guide pratique*. Montréal: McGraw-Hill.
- Desmarets, A., Jadin, B., Rouche, N., & Sartiaux, P. (1997). *Oh, moi les maths*. Soignies: Talus d'approche.
- De Smedt, B., Torbeyns, J., Stassens, N., Ghesquière, P., & Verschaffel, L. (2010). Frequency, efficiency and flexibility of indirect addition in two learning environments. *Learning and Instruction*, 20(3), 205-215.
- Desoete, A. (2007). Evaluating and improving the mathematics teaching–learning process through metacognition. *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*, 5(3), 705–730.

- Desoete, A., Roeyers, H., & Buysse, A. (2001). Metacognition and mathematical problem solving in Grade 3. *Journal of Learning Disabilities*, 34, 435–449.
- Dettmers, S., Trautwein, U., Lüdtke, O., Goetz, T., Frenzel, A., & Pekrun, P. (2011). Students' emotions during homework in mathematics: Testing a theoretical model of antecedents achievement outcomes. *Contemporary Educational Psychology*, 36(1), 25–35.
- Develay, M. (1996). *Donner du sens à l'école*. Paris: ESF.
- Develay M., & Godinet, H. (2007). Eléments pour une problématique du changement. In J. Wallet (Ed.), *Le Campus Numérique Forse : analyses et témoignages* (pp. 17-29). Rouen : Publications des Universités de Rouen et du Havre.
- De Vriendt, S., & Van Nieuwenhoven, C. (2010). *L'enfant en difficulté d'apprentissage en mathématiques : Pistes de diagnostic et support d'intervention*. Marseille: Solal.
- Dewolf, T., Van Dooren, W., Hermens, F., & Verschaffel, L. (2015). Do students attend to representational illustrations of non-standard mathematical word problems, and, if so, how helpful are they? *Instructional Science*, 43(1), 147–171.
- Dewolf, T., Van Dooren, W., & Verschaffel, L. (2011). Upper elementary school children's understanding and solution of a quantitative problem inside and outside the mathematics class. *Learning and Instruction*, 21(6), 770-780.
- Di Fabio, A., & Palazzeschi, L. (2009). An in-depth look at scholastic success: Fluid intelligence, personality traits or emotional intelligence? *Personality and Individual Differences*, 46(5-6), 581-585.
- Dignath, C., Buettner, G., & Langfeldt, H.P. (2008) How can primary school students learn self-regulated learning strategies most effectively? A meta-analysis on self-regulation training programmes. *Educational Research Review*, 3(2), 101-129.
- Dignath, C., Büttner, G. (2008). Components of fostering self-regulated learning among students. A meta-analysis on intervention studies at primary and secondary school level. *Metacognition and Learning*, 3(3), 231-264.
- Dinsmore, D.L., Alexander, P.A., & Loughlin, S.M. (2008). Focusing the conceptual lens on metacognition, self-regulation, and self-regulated learning. *Educational Psychology Review*, 20(4), 391-409.
- D'Mello, S., & Graesser, A. (2011). The half-life of cognitive-affective states during complex learning. *Cognition & Emotion*, 25(7), 1299-1308.
- Dowson, M. (2000). *Relations between students' academic motivation, cognition and achievement in Australian school settings*. Thèse de doctorat en philosophie publiée, Sydney, Université de Sydney Ouest.
- Drake, K., Belsky, J., & P. Fearon. (2014). From early attachment to engagement with learning in school: The role of self-regulation and persistence. *Developmental Psychology*, 50(5), 1350-1361.
- Dündar, S., Güvendir, M.A., Kocabiyik, O.O., & Papatga, E. (2014). Which elementary school subjects are the most likeable, most important, and the easiest? Why?: a study of science and technology, mathematics, social studies, and Turkish. *Educational Research and Reviews*, 9(13), 417-428.
- Dupeyrat, C., Escribe, C., & Mariné, C. (2006). Buts d'accomplissement et qualité de l'engagement dans l'apprentissage : le coût de la compétition. In B. Galand, & E. Bourgeois (Eds.), *(Se) motiver à apprendre* (pp. 64-74). Paris: PUF.
- Dupeyrat, C., & Marine, C. (2005). Implicit theories of intelligence, goal orientation, cognitive engagement, and achievement: A test of Dweck's model with returning to school adults. *Contemporary Educational Psychology*, 30, 43–59.

- Dupin de Saint-André, M., Montésinos-Gelet, I., & Morin, M.F. (2010). Avantages et limites des approches méthodologiques utilisées pour étudier les pratiques enseignantes. *Nouveaux cahiers de la recherche en éducation*, 13(2), 159-176.
- Durlak, J.A., Dymnicki, A.B., Taylor, R.D., Weissberg, R.P., & Schellinger, K.B. (2011). The Impact of Enhancing Students' Social and Emotional Learning: A Meta-Analysis of School-Based Universal Interventions. *Child Development*, 82(1), pp. 405-432.
- Durlak, J. A., & DuPre, E. P. (2008). Implementation matters: a review of research on the influence of implementation on program outcomes and the factors affecting implementation. *American Journal of Community Psychology*, 41(3-4), 327.
- Durlak, J.A., Weissberg, R.P., Dymnicki, A.B., Taylor, R.D., & Schellinger, K.B. (2011). The impact of enhancing students' social and emotional learning: a meta-analysis of school-based universal interventions. *Child Development*, 82(1), 405-432.
- Duru-Bellat, M. (2008). La (re)production de rapports sociaux de sexe : quelle place pour l'institution scolaire ?, *Travail, genre et sociétés*, 19, 131-149.
- Duru-Bellat, M. (1995). Socialisation scolaire et projets d'avenir chez les lycéens et les lycéennes. La "causalité du probable" et son interprétation sociologique. *L'Orientation scolaire et professionnelle*, 24(1), 69-86.
- Dusenbury, L., Brannigan, R., Falco, M. & Hansen, W.B. (2003). A review of research on fidelity of implementation: implications for drug abuse prevention in school settings. *Health education research*, 18(2), 237-256.
- Dweck, C. S. (1992). The study of goals in psychology. *Psychological Science*, 3(3), 165–167.
- Dweck, C. S. (1986). Motivational processes affecting learning. *American Psychologist*, 41, 1040-1048.
- Dweck, C. S., Davidson, W., Nelson, S., & Enna, B. (1978). Sex differences in learned helplessness: The contingencies of evaluative feedback in the classroom. An experimental analysis. *Developmental Psychology*, 14(3), 268-276.
- Eccles, J. S. (2009). Who am I and what am I going to do with my life? Personal and collective identities as motivators of action. *Educational Psychologist*, 44(2), 78–89.
- Eccles, J.S. (1994). Understanding women's educational and occupational choice. *Psychology of Women Quarterly*, 18(4), 585–609.
- Eccles, J., & Midgley, C. (1989). Stage-environment fit: Developmentally appropriate classrooms for young adolescents. In C. Ames, & R. Ames (Eds.), *Research on motivation in education* (Vol. 3, pp. 139-186). New York: Academic Press.
- Eccles, J. S., Midgley, C., Wigfield, A., Buchanan, C. M., Reuman, D., Flanagan, C., & Mac Iver, D. (1993). Development during adolescence: The impact of stage-environment fit on young adolescents' experiences in schools and in families. *American Psychologist*, 48(2), 90-101.
- Eccles, J. S., & Wigfield, A. (2002). Motivational beliefs, values and goals. *Annual Review of Psychology*, 53, 109–132. Eccles, J., Wigfield, A., Harold, R.D., & Blumenfeld, P. (1993). Age and gender differences in children's self- and task perceptions during elementary school. *Child Development*, 64, 830-847.
- Efklides, A., (2008). Metacognition: Defining its facets and levels of functioning in relation to self- and co-regulation. *European Psychologist*, 13, 277–287.
- Efklides, A. (2006). Metacognition and affect: What can metacognitive experiences tell us about the learning process? *Educational Research Review*, 1, 3–14.
- Efklides, A. (2001). Metacognitive experiences in problem solving: Metacognition, motivation, and self-regulation. In A. Efklides, J. Kuhl, & R. M. Sorrentino (Eds.), *Trends*

- and prospects in motivation research (pp. 297–323). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Efklides, A., & Volet, S. (2005). Emotional experiences during learning: Multiple, situated and dynamic. *Learning and Instruction*, 15, 377–380.
- Eisenberg, N., Cumberland, A., Spinrad, T.L., Fabes, R.A., Shepard, S.A., et al. (2001). The relations of regulation and emotionality to children's externalizing and internalizing problem behavior. *Child Development*, 72(4), 1112–1134.
- Ekman, P. (1999). Basic emotions. In T. Dalgleish, & M. Power (Eds.), *Handbook of cognition and emotion* (pp. 45–60) Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd.
- Ekman, P. (1992). Facial expressions of emotions: New findings, new questions. *Psychological sciences*, 3(1), 34–38.
- Ekman, P., Friesen, W.V., & Hager, J.C. (1978). *Facial Action Coding System*. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press.
- Elia, I., Van den Heuvel-Panhuizen, M. & Kolovou, A. (2009). Exploring strategy use and strategy flexibility in non-routine problem solving by primary school high achievers in mathematics. *ZDM - The International Journal on Mathematics Education*, 41, 605–618.
- Elliot, A.J. (2005). A conceptual theory of the achievement goal construct. In A.J. Elliot, & C.S. Dweck (Eds.), *Handbook of competence and motivation* (pp.52–72). New-York: Guilford.
- Elliot, A.J. (1999). Approach and avoidance motivation and achievement goals. *Educational Psychologist*, 34(3), 169–189.
- Elliot, A. J., & Church, M. A. (1997). A hierarchical model of approach and avoidance achievement motivation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 72, 218–232.
- Elliot, A. J., & McGregor, H. (2001). A 2 × 2 achievement goal framework. *Journal of Personality and Social Psychology*, 80, 501–519.
- Elliot, A.J., & McGregor, H.A. (1999). Test anxiety and the hierarchical model of approach and avoidance achievement motivation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 76(4), 628–644.
- Elliot, A. J., McGregor, H. A., & Gable, S. (1999). Achievement goals, study strategies, and exam performance: A mediational analysis. *Journal of Educational Psychology*, 91, 549–563.
- Elliot, A. J., Murayama, K., & Pekrun, R. (2011). A 3x2 achievement goal model. *Journal of Educational Psychology*, 103, 632–648.
- Elliot, A. J., & Trash, T. M. (2001). Achievement goals and the hierarchical model of achievement motivation. *Educational Psychology Review*, 13(2), 139–156.
- Ellsworth, P.C., & Scherer, K.R. (2003). Appraisal processes in emotion. In R.J. Davidson, K.R. Scherer, & H.H. Goldsmith (Eds.), *Handbook of affective sciences* (pp. 572–595). New York: Oxford University Press.
- Endler, N.S., & Parker, J.D. (1990). Multidimensional assessment of coping: A critical evaluation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 58(5), 844–854.
- Ericsson, K.A. (2008). Deliberate practice and acquisition of expert performance: a general overview. *Academic Emergency Medicine*, 15, 988–994.
- Ericsson, K. A., Krampe, R. T., & Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, 100, 363–406.
- Extremera, N., Duran, A., & Rey, L. (2007). Perceived emotional intelligence and dispositional optimism-pessimism: Analyzing their role in predicting psychological adjustment among adolescents. *Personality and Individual Differences*, 42(6), 1069–1079.

- Fagnant, A. (2008). Des outils didactiques pour développer la résolution de problèmes dans l'enseignement fondamental. Aperçu des fondements théoriques et entrée au cœur de quelques activités. *Cahiers des Sciences de l'Éducation—Université de Liège (aSpe)*, 27(28), 51.
- Fagnant, A. & Demonty, I. (2005). *Résoudre des problèmes : pas de problème ! Guide méthodologique et documents reproductibles. 10/12ans*. Brussels : De Boeck.
- Fagnant, A. & Demonty, I. (2004). Résoudre des problèmes : pas de problèmes ! Présentation d'un outil méthodologique à l'usage des enseignants de cinquième et de sixième années de l'enseignement primaire. *Bulletin d'informations pédagogiques*, (56), 13-21.
- Fagnant, A., Demonty, I., & Lejong, M. (2003). La résolution de problèmes: un processus complexe de modélisation mathématique. *Bulletin d'informations pédagogiques*, 54, 29-39.
- Fagnant, A., Dupont, V., & Demonty, I. (2016). Régulation interactive et résolution de tâches complexes en mathématiques. In L. Mottier Lopez & W. Tessaro (Eds.), *Le jugement professionnel au cœur de l'évaluation et de la régulation des apprentissages*. Berne : Peter Lang.
- Fagnant, A., & Goffin, C. (2017). Les conceptions des futurs enseignants du secondaire en matière d'évaluation : entre un accord de principe et une vision limitée de l'évaluation formative. *Mesure et évaluation en éducation*, 40(1), 1-32.
- Fagnant, A., & Jaegers, D. (2018). Soutenir l'autorégulation cognitive et développer les compétences en résolution de problèmes : une étude exploratoire en fin d'enseignement primaire. In S. Cartier, & L. Mottier Lopez, *Soutien à l'apprentissage autorégulé en contexte scolaire : perspectives francophones* (pp. 161-181). Canada : Presses de l'Université du Québec.
- Fagnant, A., & Vlassis, J. (2013). Schematic representations in arithmetical problem solving: analysis of their impact on grade 4 students. *Educational Studies in Mathematics*, 84(1), 149-168.
- Fagnant, A., & Vlassis, J. (2010). Le rôle de la résolution des problèmes dans l'apprentissage mathématiques : Questions et réflexions. *Education Canada*, 50(1), 50—52.
- Fayol, M. (2006). Un esprit pour apprendre. In E. Bourgeois & G. Chapelle (Eds.), *Apprendre et faire apprendre* (pp.53-67). Paris: PUF.
- Feldman-Barrett, L., & Russell, J.A. (1998). Independence and bipolarity in the structure of current affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 74(4), 967-984.
- Fennema, E., & Hart, L. E. (1994). Gender and the JRME. *Journal for Research in Mathematics Education*, 25(6), 648–659.
- Fereday, J., & Muir-Cochrane, E. (2006). Demonstrating rigor using thematic analysis: a hybrid approach of inductive and deductive coding and theme development. *International Journal of Qualitative Methods*, 5(1), 80-92.
- Ferguson, B., Tilleczeck, K., Boydell, K., Rummens, J.A., Cote, D., & Roth-Edney, D. (2005). *Early School Leavers: Understanding the Lived Reality of Student Disengagement from Secondary School*. Final Report submitted to the Ontario Ministry of Education.
- Ferri, R.B. (2006). Theoretical and empirical differentiations of phases in the modelling process. *ZDM*, 38(2), 86-95.
- Festraets, A., Festraets, C., Haubruge, A., Houben, J-P., Noël, G., Rouche, N., Trompler, S., Vanhamme, J., Villers, C. & Warbecq, A. (1991). *Enseigner la mathématique ?* Livre blanc sur l'enseignement des mathématiques en Communauté Française de Belgique.
- Feyfant, A. (2012). Primary education : students at risk (of dropping out). *Current literature review in education*, 80, 1-18.

- Fiedler, K. & Beier, S. (2014). Chapter 3. Affect and cognitive processes in educational contexts. In R. Pekrun, & L. Linnenbrink-Garcia (Eds.), *International Handbook of Emotions in Education* (pp.36-55). New-York: Routledge.
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics (4th edition)*. London: SAGE Publications.
- Finkenauer, C., Luminet, O., Gisle, L., El-Ahmadi, A., Van Der Linden, M., & Philippot, P. (1998). Flashbulb memories and the underlying mechanisms of their formation: Toward an emotional-integrative model. *Memory & Cognition*, 26(3), 516-531.
- Flavell, J.H. (1987). Speculations about the nature and development of metacognition. In F.E. Weinert & R.H. Kluwe (Eds.), *Metacognition, motivation and understanding* (pp. 21-30). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive–developmental inquiry. *American psychologist*, 34(10), 906.
- Flavell, J.H., & Wellman, H.M. (1977). Metamemory. In R. B. Kail, & J. W. Hagen (Eds.), *Perspectives on the development of memory and cognition* (pp.3–33). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Flavell, J.H. (1976). Metacognitive aspects of problem solving. In L.B. Resnick (Ed.), *The nature of intelligence*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Flavell, J.H. (1971). First discussant's comments: What is memory development the development of? *Human Development*, 14(4), 272-278.
- Focant, J. (2004). *Stratégies d'autorégulation d'élèves de cinquième primaire en situation de résolution de problèmes arithmétiques*. Thèse de doctorat en sciences de l'éducation non publiée, Louvain-la-Neuve, Université Catholique de Louvain.
- Focant, J., Grégoire, J., & Desoete. (2006). Goal-setting, planning and control strategies and arithmetical problem solving at grade 5. In A. Desoete, & M. Veenman (Eds.), *Metacognition in mathematics education* (pp. 51-72). Netherlands: Leiden University.
- Focant, J., & Gregoire, J. (2008). Les stratégies d'autorégulation cognitive: une aide à la résolution de problèmes arithmétiques. In M. Crahay, L. Verschaffel, E. De Corte, & J. Gregoire (Eds.), *Enseignement et apprentissages des mathématiques. Que disent les recherches psychopédagogiques?* (pp 201-221). Brussels: De Boeck.
- Folkman, S., & Moskowitz, J.T. (2004). Coping: Pitfalls and promise. *Annual Review of Psychology*, 55, 745-744.
- Forgas, J.P. (2002). Feeling and doing: Affective influences on interpersonal behavior. *Psychological Inquiry*, 13(1), 1-28.
- Fredricks, J. A., Blumenfeld, P. C., & Paris, A. H. (2004). School engagement: Potential of the concept, state of the evidence. *Review of Educational Research*, 74(1),59–109.
- Fredrickson, B.L., Mancuso, R.A., Branigan, C., & Tugade, M.M. (2000). The undoing effect of positive emotions. *Motivation and Emotion*, 34(4), 237-258.
- Fredricks, J. A., & McColskey, W. (2012). The measurement of student engagement: a comparative analysis of various methods and student self-report instruments. In S.L., Christenson, A.L. Reschly, & C. Wylie (Eds.), *Handbook of research on student engagement* (pp. 763-782). Springer US.
- Frenzel, A.C., Pekrun, R., & Goetz, T. (2007). Girls and mathematics. A “hopeless” issue? A control-value approach to gender differences in emotions towards mathematics. *European Journal of Psychology of Education*, 4(22), 497-514.
- Frenzel, A.C., Pekrun, R., & Goetz, T. (2007). Perceived learning environment and students' emotional experiences: a multilevel analysis of mathematics classrooms. *Learning and Instruction*, 17(5), 478-493.

- Frenzel, A. C., Trash, T. M., Pekrun, R., & Goetz, T. (2007). Achievement emotions in Germany and China. A cross-cultural validation of the academic emotions Questionnaire-Mathematics. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 38(3), 302-309.
- Freud, S. (1896/2000). Nouvelles remarques sur les psychonévroses de défense. In J. Bourguignon & P. Cotet (Eds.), Sigmund Freud: Oeuvres complètes, (Vol. 3, pp. 121-146). Paris: Presses Universitaires de France.
- Freudenthaler, H.H., & Neubauer, A.C. (2007). Measuring emotional management abilities: Further evidence of the importance to distinguish between typical and maximum performance. *Personality and Individual Differences*, 42(8), 1561-1572.
- Freudenthaler, H.H., & Neubauer, A.C. (2005). Emotional intelligence. The convergent and discriminant validities of intra and interpersonal emotional abilities. *Personality and Individual Differences*, 39(3), 569-579.
- Fridrickson, B. L. (2001). The role of positive emotion in positive psychology: the broaden-and-build theory of positive emotion. *American psychologist*, 56, 218-226.
- Frijda, N. H. (2007). What emotions might be? Comments on the comments. *Social Science Information*, 46, 433-443.
- Frijda, N.H. (1993). Mood, emotion episodes, and emotions. In M. Lewis, & J.M. Haviland (Eds.), *Handbook of emotions* (pp. 381-403). New York, NY, US: Guilford Press.
- Frijda, N.H. (1986). *The emotions*. Cambridge & New York: Cambridge University Press.
- Fuchs, L.S., Fuchs, D., Prentice, K., Burch, M., Hamlett, C.L., et al. (2003). Explicitly teaching for transfer: Effects on third-grade students' mathematical problem solving. *Journal of Educational Psychology*, 95(2), 293-305.
- Galand, B., & Vanlede, M. (2004). Le sentiment d'efficacité personnelle dans l'apprentissage et la formation : quel rôle joue-t-il ? D'où vient-il ? Comment intervenir ?, *Savoirs*, 5, 91-116.
- Galbraith, P.L., & Stillman, G. (2006). A framework for identifying student blockages during transitions in the modelling process. *ZDM*, 38(2), 143-162.
- Gamo, S., Nogry, S. & Sander, E. (2014). Réduire les effets de contenu en résolution de problèmes pour favoriser la construction d'une représentation alternative. *Cahiers des Sciences de l'Education*, (36), 35-65.
- Gamo, S., Taabane, L., & Sander, E. (2011). Rôle de la nature des variables dans la résolution de problèmes additifs complexes. *L'Année Psychologique*, 111, 613-640.
- Gardner, H. (1997). *Les formes de l'intelligence* (Traduction française). Paris: Odile Jacob.
- Gardner, H. (1983). *Frames of mind*. New York: Basic Book.
- Garnefski, N., & Kraaij, V. (2007). The Cognitive Emotion Regulation Questionnaire. *European Journal of Psychological Assessment*, 23(3), 141-149.
- Garnefski, N., Kraaij, V., & Spinhoven, P. (2001). Negative life events, cognitive emotion regulation and emotional problems. *Personality and Individual Differences*, 30(8), 1311-1327.
- Garnefski, N., Rieffe, C., Jellesma, F., Terwogt, M. M., & Kraaij, V. (2007). Cognitive Emotion Regulation Strategies and Emotional Problems in 9 - 11-Year-Old Children. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 16, 1-9.
- Gaspard, H., Dicke, A.-L., Flunger, B., Schreier, B., Häfner, I., Trautwein, U., & Nagengast, B. (2014). More value through greater differentiation: Gender differences in value beliefs about math. *Journal of Educational Psychology*, 107(3), 663-677.
- Gattuso, L., Bednarz, N., & Mary, C. (2015). *Didactique de formation et représentations des futurs enseignants à l'égard des mathématiques, de leur enseignement et de leur apprentissage*. Document présenté au symposium de didactiques sur les postures

- épistémologiques des chercheurs et/ou des formateurs en didactiques des disciplines, Tunis.
- Geary, D.C., Hoard, M.K., Nugent, L., & Bailey, D.H. (2012). Mathematical cognition deficits in children with learning disabilities and persistent low achievement: A five year prospective study. *Journal of Educational Psychology*, 104,(1), 206–223.
- Gersten, R., Fuchs, L., Compton, D., Coyne, M., Greenwood, C., & Innocenti, M. (2005). Quality indicators for group experimental and quasi-experimental research in special education. *Exceptional Children*, 71, 149–164.
- Gilley, B. H., & Clarkston, B. (2014). Collaborative testing: Evidence of learning in a controlled in-class study of undergraduate students. *Journal of College Science Teaching*, 43(3), 83-91.
- Ginsburg, A., Cooke, G., Leinwand, S., & Pollock, E. (2005). *Reassessing U.S. international mathematics performance: New findings from 2003 TIMSS and PISA*. Washington, D.C.: American institute for Research.
- Giordan, A., (1998). *Apprendre*. Paris: Editions Belin.
- Goetz, T., Bieg, M., Lüdtke, O., Pekrun, R. & Hall, N. (2013). Do girls really experience more anxiety in mathematics? *Psychological Science*, 24(10), 2079-2087.
- Goetz, T., Cronjaeger, H., Frenzel, A.C., Lüdtke, N., & Hall, C. (2010). Academic self-concept and emotions relations: domain specificity and age effects. *Contemporary Educational Psychology*, 35(1), 44-58.
- Goetz, T., Frenzel, A. C., Hall, N. C., & Pekrun, R. (2008). Antecedents of academic emotions: Testing the internal/external frame of reference model for academic enjoyment. *Contemporary Educational Psychology*, 33(1), 9–33.
- Goetz, T., Frenzel, A. C., Pekrun, R., & Hall, N. C. (2006). The domain specificity of academic emotional experiences. *The Journal of Experimental Education*, 75(1), 5–29.
- Goetz, T., Frenzel, A.C., Pekrun, R., & Hall, N.C. (2005). Emotional intelligence in the context of learning and achievement. In R. Schulze & R.D. Roberts (Eds.), *Emotional intelligence: An international Handbook* (pp.233-253). Cambridge: Hogrefe & Huber Publishers.
- Goetz, T., Frenzel, A. C., Pekrun, R., Hall, N. C., & Lüdtke, O. (2007). Between- and within-domain relations of students' academic emotions. *Journal of Educational Psychology*, 99(4), 715-733.
- Goetz, T., Haag, L., Lipnevitch, A. A., Keller, M. M., Frenzel, A. C., & Collier, P. M. (2014). Between-domain relations of students' academic emotions and their judgments of school domain similarity. *Frontiers in Psychology*, 5(1153), 1–14.
- Goetz, T., Nett, U.E., Martiny, S.E., Hall, N.C., Pekrun, R., Dettmers, S. & Trautwein, U. (2012). Students' emotions during homework: structures, self-concept antecedents, and achievement outcomes. *Learning and Individual Differences*, 22(2), 225-234.
- Goetz, T., Pekrun, R., Hall, N., & Haag, L. (2006). Academic emotions from a social-cognitive perspective: antecedents and domain specificity of students' affect in the context of Latin instruction. *British Journal of Educational Psychology*, 76(2), 289-308.
- Goigoux, R., Jarlégan, A., & Piquée, C. (2015). Evaluer l'influence des pratiques d'enseignement du lire-écrire sur les apprentissages des élèves : enjeux et choix méthodologiques. *Recherches en didactiques*, 19(1), 33-52.
- Goldberg, P.D., & Bush, W.S. (2003). Using metacognitive skills to improve 3rd graders' math problem solving. *Focus on Learning Problems in Mathematics*, 5(10), 29-48.

- Govaerts, S. (2006). *Les processus motivationnels, émotionnels et cognitifs dans l'apprentissage scolaire : Étude de leurs interactions*. Thèse de doctorat en sciences de l'éducation non publiée, Louvain-la-Neuve, Université Catholique de Louvain.
- Graham, S., & Taylor, A.Z. (2016). Attribution theory and motivation at school. In K.R. Wentzel, & D. B. Miele (Eds.) *Handbook of Motivation at School* (pp. 11–33). Oxon: Routledge.
- Graham, S., & Williams, C. (2009). An attributional approach to motivation in school. In K.R. Wentzel & A. Wigfield (Eds.), *Handbook of motivation at school* (pp. 11–34). New-York: Routledge.
- Gravemeijer, K.P.E. (1994). *Developing realistic mathematics education*. Utrecht, Hollande: University of Utrecht, Freudenthal Institute.
- Gravetter, F., & Wallnau, L. (2014). *Essentials of Statistics for the Behavioral Sciences* (8nd ed.). Wadsworth, Belmont, CA.
- Greene, J.A., Robertson, J., & Croker Costa, L-J. (2011). Assessing self-regulated learning using think-aloud methods. In B. Zimmerman, & D. Schunk (Eds.), *Handbook of self-regulation of learning and performance* (pp.313–328). New-York: Routledge.
- Greenberg, M. T., Domitrovich, C. E., Graczyk, P. A., & Zins, J. E. (2005). *The study of implementation in school-based preventive interventions: Theory, research, and practice. Promotion of mental health and prevention of mental and behavior disorders* (Vol. 3). Washington, DC: U.S. Department of Health and Human Services.
- Greer, B. (1997). Modelling reality in mathematics classrooms. *Learning and Instruction*, 7, 293–307.
- Greer, B. (1993). The modeling perspective on wor(l)d problems. *Journal of Mathematical Behavior*, 12, 239–250.
- Greer, B., Verschaffel, L., & De Corte, E. (2002) The answer really is 4.5: beliefs about word problems. In G. Leder, E. Pehkonen, & G. Törner (Eds.), *Beliefs: a hidden variable in mathematics education* (pp. 271–292). Dordrecht: Kluwer.
- Gross, J.J. (2002). Emotion regulation: Affective, cognitive and social consequences. *Psychophysiology*, 39(3), 281–291.
- Gross, J.J. (1998). Antecedent-and response-focused emotion regulation: Divergent consequences for experience, expression and physiology. *Journal of Personality and Social Psychology*, 74(1), 224–237.
- Gross, J.J., & John, O.P. (2003). Individual differences in two emotion regulation processes: Implications for affect, relationships, and well-being. *Journal of Personality and Social Psychology*, 85(2), 348–362.
- Gross, J.J. & Munoz, R.F. (1995). Emotion regulation and mental health. *Clinical psychology: Science and Practice*, 2(2), 151–164.
- Gross, J.J., & Thompson, R.A. (2007). Emotion regulation: Conceptual foundations. In J.J. Gross (Ed.), *Handbook of Emotion Regulation* (pp. 3–24). New York: Guilford Press.
- Grugeon-Allys, B. (2016). Modéliser le profil diagnostique des élèves dans un domaine mathématique et l'exploiter pour gérer l'hétérogénéité des apprentissages en classe : une approche didactique multidimensionnelle. *Evaluer-Journal international de Recherche en Education et Formation*, 2(2), 63–88.
- Guay, F., Marsh, H. W., & Boivin, M. (2003). Academic self-concept and academic achievement: Developmental perspectives on their causal ordering. *Journal of Educational Psychology*, 95(1), 124–136.
- Gumora, G., & Arsenio, W. F. (2002). Emotionality, emotion regulation, and school performance in middle school children. *Journal of School Psychology*, 40, 395–413.

- Haefffel, G.J. (2010). When self-help is no help: traditional cognitive skills training does not prevent depressive symptoms in people who ruminate. *Behavior Research and Therapy*, 48(2), 152-157.
- Hakem, K. Sander, E. & Labat, J-M. (2005). DIANE (Diagnostic Informatique sur l'Arithmétique au Niveau Elementaire). *HAL Archives ouvertes*, 5704, 81-92.
- Hampel, P., Meier, M., & Kümmel, U. (2008). School-based stress management training for adolescents: longitudinal results from an experimental study. *Journal of Youth and Adolescence*, 37(8), 1009-1024.
- Hanewald, T. (2013). Transition between primary and secondary school: why it is important and how it can be supported. *Australian Journal of Teacher Education*, 38 (1), 62-74.
- Hannula, M. S. (2002). Attitude towards mathematics: Emotions, expectations and values. *Educational studies in Mathematics*, 49(1), 25-46.
- Hatano, G. (2003). Foreword. In A.J. Baroody, & A. Dowker (Eds.), *The development of arithmetic concepts and skills* (pp. xi-xiii). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hatano, G. (1982). Cognitive consequences of practice in culture specific procedural skills. *The Quartely Newsletter of the Laboratory of Comparative Human Cognition*, 4, 15-18.
- Hatano, G., & Inagaki, K. (1986). Two courses of expertise. In H. Stevenson, J. Azuma & K. Hakuta (Eds.), *Child development and education in Japan* (pp. 262-272). New York, NY: W. H. Freeman & Co.
- Hattie, J., Briggs, J. & Purdie, N. (1996). Effects of learning skills interventions on student learning: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 66, 9-136.
- Hattie, J. A. C., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81-112.
- Hayenga, A., & Corpus, J. (2010). Profiles of intrinsic and extrinsic motivations: A person-centered approach to motivation and achievement in middle school. *Motivation and Emotion*, 34 (4), 371-383.
- Hayton, J. C., Allen, D. G., & Scarpello, V. (2004). Factor Retention Decisions in Exploratory Analysis: A Tutorial on Parallel Analysis. *Organizational Research Methods*, 7, 91-205.
- Hegarty, M., Mayer, R.E., & Monk, C.A. (1995). Comprehension of arithmetic word problems: A comparison of successful and unsuccessful problem solvers, *Journal of Educational Psychology*, 87(1), 18-32.
- Herbette, G. (2002). *Chronic illness and the response of others: Emotional, cognitive and social responses*. Thèse de doctorat non publiée, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve.
- Hidi, S., & Ainley, M. (2002). Interest and adolescence. In F. Pajares & T. Urdan (Eds.), *Academic motivation of adolescents* (pp.247-275). Greenwich, CT: Information Age Publishing.
- Hidi, S., & Renninger, K. A. (2006). The four phase model of interest development. *Educational Psychologist*, 41(2), 111-127.
- Hill, N.E., Craft, S.A. (2003). Parent-school involvement and school performance: Mediated pathways among socioeconomically comparable African American and Euro-American families. *Journal of Educational Psychology*, 95(1), 74-83.
- Hoffman, B. (2010). I think I can, but I'm afraid to try: The influence of self-efficacy and anxiety on problem-solving efficiency. *Learning & Individual Differences*, 20, 276-283.
- Hoffman, B., & Spataru, A. (2008). The influence of self-efficacy and metacognitive prompting on math problem-solving efficiency. *Contemporary Educational Psychology*, 33(4), 875-893.

- Hohn, R., & Frey, B. (2002). Heuristic training and performance in elementary mathematical problem solving. *The Journal of Educational Research*, 95(6), 374-380.
- Hopko, D.R., Mahadevan, R., Bare, R.L., & Hunt, M.K. (2003). The Abbreviate Math Anxiety Scale (AMAS). Construction, Validity, and Reliability. *Assessment*, 10(2), 178-182.
- Horner, S., & Gaither, S. (2006). Attribution retraining with a second grade class. *Early Childhood Education Journal*, 31, 165-170.
- Houdement, C. (2017) Résolution de problèmes arithmétiques à l'école. *Grand N*, 100, 59-78.
- Houdement, C. (2014). Des connaissances fonctionnelles (mais ignorées) en résolution de problèmes arithmétiques. *Cahier des Sciences de l'Education- University of Liège (aSPe)*, 36, 7-33.
- Houdement, C. (2011). Connaissances cachées en résolution de problèmes arithmétiques ordinaires à l'école. *Annales de Didactique des Sciences cognitives*, (16), 67-96.
- Hough, S., & Gough, S. (2007). Realistic mathematics education. *Mathematics Teaching Incorporating Micromath*, 203, 34-38.
- Housiaux, M., & Lahaye, M. (2013). Les compétences émotionnelles chez l'enfant. In O. Luminet (Ed.), *Psychologie des émotions. Nouvelles perspective pour la cognition, la personnalité et la santé* (pp.175-208). Bruxelles: De Boeck.
- Housiaux, M., Luminet, O., Van Broeck, N., & Dorchy, H. (2010). Alexithymia is associated with glycaemic control of children with type 1 diabetes. *Diabetes & Metabolism*, 36(6), 455-462.
- Howell, A. J., & Watson, D. C. (2007). Procrastination: Associations with achievement goal orientation and learning strategies. *Personality and Individual Differences*, 43, 167-178.
- Hsieh, P., Sullivan, J. R., & Guerra, N. S. (2007). A closer look at college students: Self-efficacy and goal orientation. *Journal of Advanced Academics*, 18(3), 454-476.
- Hu, L. T., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural equation modeling: A multidisciplinary journal*, 6(1), 1-55.
- Huguet, P. (2006). Apprendre en groupe : La classe dans sa réalité sociale et émotionnelle. In E. Bourgeois, & G. Chapelle (Eds.), *Apprendre et faire apprendre* (pp. 153-167). Paris: Presses universitaires de France (PUF).
- Hyde, J. S., Fennema, E., Ryan, M., Frost, L. A., & Hopp, C. (1990). Gender comparisons of mathematics attitudes and affect: A meta-analysis. *Psychology of Women Quarterly*, 14(3), 299-324.
- Isen, A.M. (2000). Some perspectives on positive affect and self-regulation. *Psychological Inquiry*, 11(3), 184-187.
- Jacobs, S., & Gross, J. (2014). Emotion regulation in education. Conceptual foundations, current applications, and future directions. In R. Pekrun, & L. Linnenbrink-Garcia (Eds.), *International handbook of emotion in education* (pp. 183-201). New York: Routledge.
- Jacobs, J.E., Lanza, S., Osgood, D.W., Eccles, J., & Wigfield, A. (2002). Changes in children's self-competence and values: gender and domain differences across grades one through twelve. *Child development*, 73(2), 509-527.
- Jaegers, D., Lafontaine, D. & Fagnant, A. (2016). Favoriser la co-régulation et la co-construction d'une démarche efficace de résolution de problèmes mathématiques en fin d'enseignement primaire. *Revue suisse des sciences de l'éducation*, 38(3), 1-21.
- Jain, S., Dowson, M. (2009). Mathematics anxiety as a function of multidimensional self-regulation and self-efficacy. *Contemporary Educational Psychology*, 34(3), 240-249.

- Janosz, M., LeBlanc, M., Boulerice, B., & Tremblay, R.E. (1997). Disentangling the weight of school dropout predictors: a test on two longitudinal samples. *Journal of Youth and Adolescence*, 26(6), 733-762.
- Jansen, M., Scherer, R., & Schroeders, U. (2015). Students' self-concept and self-efficacy in the sciences: Differential relations to antecedents and educational outcomes. *Contemporary Educational Psychology*, 41, 13-24.
- Jarvis, S., & Seifert, T. (2002). Work avoidance as a manifestation of hostility, helplessness, and boredom. *Alberta Journal of Educational Research*, 48(2), 174-187.
- Jiménez, L., & Verschaffel, L. (2014). Development of children's solutions of non-standard arithmetic word problem solving. *Revista de Psicodidáctica* 19(1), 93-123.
- Jimerson, S. R., Campos, E., & Greif, J. C. (2003). Toward an understanding of definitions and measures of school engagement and related terms. *The California School Psychologist*, 8, 7-27.
- Joët, G., Usher, E. L., & Bressoux, P. (2011). Sources of self-efficacy: An investigation of elementary school students in France. *Journal of Educational Psychology*, 103(3), 649.
- Jogi, A.-L. & Kikas, E. (2015). Calculation and word problem-solving skills in primary grades. Impact of cognitive abilities and longitudinal interrelations with task-persistent behavior. *British Journal of Educational Psychology*, 85, 1-17.
- Johnston-Wilder, S., Lee, C., Brindley, J., & Garton, E. (2015) Developing mathematical resilience in school-students who have experienced repeated failure. *Document présenté à the 8th annual International Conference of Education, Research and Innovation (ICERI2015)*, Séville, Espagne.
- Jordan, J.A., McRorie, M., & Ewing, C. (2010). Gender differences in the role of emotional intelligence during the primary-secondary school transition. *Emotional and Behavioral Difficulties*, 15(1), 37-47.
- Joukamaa, M., Taanila, A., Miettunen, J., Karvonen, J.T., Koskinen, M., & Veijola, J. (2007). Epidemiology of alexithymia among adolescents. *Journal of Psychosomatic Research*, 63(4), 373-376.
- Julo, J (2002). Des apprentissages spécifiques pour la résolution de problèmes ? *Grand N*, (69), 31-52.
- Julo, J. (1995), *Représentation des problèmes et réussite en mathématiques*, Rennes : Presses Universitaires de Rennes.
- Jussim, L., Eccles, J., & Madon, S. (1996). Social perception, social stereotypes, and teacher expectations: Accuracy and the quest for the powerful self-fulfilling prophecy. *Advances in Experimental Social Psychology*, 28, 281-387.
- Justicia-Galiano, J., Martin-Puga, E., Linares, R., & Pelegrina, S. (2017). Math anxiety and math performance in children: The mediating roles of working memory and math self-concept. *British Journal of Educational Psychology*, 87(4), 573-589.
- Kaizer, C., & Shore, B. (1995). Strategy flexibility in more and less competent students on mathematical word problems. *Creativity Research Journal*, 8(1), 77-82.
- Kalyuga, S., & Renkl, A. (2010). Expertise reversal effect and its instructional implications: Introduction to the special issue. *Instructional Science*, 38, 209-215.
- Kanfer, R., Ackerman, P. L., & Heggstad, E. D. (1996). Motivational skills & self-regulation for learning: a trait perspective. *Learning and individual differences*, 8(3), 185-209.
- Kaplan, A., & Maehr, M. (2002). Adolescents' Achievement Goals: Situating Motivation in Sociocultural Contexts. In T. Urdan & F. Pajars (Eds.), *Adolescence and education: Vol. 2, Academic motivation of adolescents* (pp. 125- 167). Greenwich, Connecticut: Information Age.

- Karabenick, S. A. (2004). Perceived achievement goal structure and college student help seeking. *Journal of Educational Psychology*, 96(3), 569–581.
- Karabenick, S. A. (2003). Seeking help in large college classes: A person-centered approach. *Contemporary Educational Psychology*, 28(1), 37–58.
- Kellogg, R. T., & Whiteford, A. P. (2009). Training advanced writing skills: the case for deliberate practice. *Educational Psychologist*, 44, 250–266.
- Kensinger, E.A., & Schacter, D.L. (2008). Memory and emotion. In M. Lewis, J.M. Haviland-Jones & L. Feldman Barrett (Eds.), *Handbook of emotions* (pp. 601–617). New York: The Guilford Press.
- Kernaghan, K., & Woloshyn, V.E. (1995). Providing grade one students with multiple spelling strategies: Comparisons between strategy instruction, strategy instruction with metacognitive information, and traditional language arts. *Applied Cognitive Psychology*, 9(2), 157–166.
- Kerslake, D. (1986). *Fractions: Children's strategies and errors: A report of the strategies and errors in Secondary Mathematics Project*. Windsor, UK: NFER-Nelson.
- Kiefer, A.K., & Sekaquaptewa, D. (2007). Implicit stereotypes and women's math performance: How implicit gender-math stereotypes influence women's susceptibility to stereotype threat. *Journal of Experimental social Psychology*, 43(5), 825–832.
- Kieran, C. (2007). Learning and teaching algebra in the middle school through college levels: building meaning for symbols and their manipulation. In F.K. Lester (Ed.), *Second handbook of research on mathematics teaching and learning*. (pp. 707–762). Charlotte, NC: Information Age Publishing.
- Kim, C.M., & Hodges, C.B. (2012). Effects of an emotion control treatment on academic emotions, motivation and achievement in an online mathematics course. *Instructional Science*, 40(1), 173–192.
- Kintsch, W., & Greeno, J. G. (1985). Understanding and solving word arithmetic problems. *Psychological Review*, 92, 109–129.
- Kloosterman, P., Raymond, A. M., & Emenaker, C. (1996). Students' beliefs about mathematics: A three-year study. *Elementary School Journal*, 97(1), 3–56.
- Kluwe, R.H. (1987). Executive decisions and regulation of problem-solving behavior. In F.E. Xeinert, & R.H. Kluwe (Eds.), *Metacognition, motivation, and understanding* (pp. 31–64). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kotsou, I. (2008). *Intelligence émotionnelle et management*. Bruxelles : De Boeck.
- Kotsou, I., Nelis, D., Grégoire, J., Milkolajczak, M. (2011). Emotional plasticity: conditions and effects of improving emotional competence in adulthood. *Journal of Applied Psychology*, 96(4), 827–39.
- Kramarski, B., & Gutman, M. (2006). How can self-regulated learning be supported in mathematical E-learning environments? *Journal of Computer Assisted Learning*, 22(1), 24–33.
- Kramarski, B., & Mevarech, Z.R. (2003). Enhancing mathematical reasoning in the classroom: The effects of cooperative learning and metacognitive training. *American Educational Research Journal*, 40(1), 281–310.
- Kramarski, B., Mevarech, Z.R., & Arami, M. (2002). The effects of metacognitive instruction on solving mathematical authentic tasks. *Educational Studies in Mathematics*, 49, 225–250.
- Kramarski, B., & Mizrachi, N. (2006). Online discussion and self-regulated learning: Effects of instructional methods on mathematical literacy. *The Journal of Educational Research*, 99(4), 218–230.

- Kramarski, B., Weiss, I., & Kololshi-Minsker, I. (2010). How can self-regulated learning (SRL) support problem solving of third-grade students with mathematics anxiety? *ZDM - The International Journal on Mathematics Education*, 42(2), 179-193.
- Krawec, J., Huang, J., Montague, M., Kressler, B., & de Alba, A. M. (2013). The effects of cognitive strategy instruction on knowledge of math problem-solving processes of middle school students with learning disabilities. *Learning Disability Quarterly*, 36, 80-92.
- Kuhl, J., & Goschke, T. (1994). A theory of action control: Mental subsystems, modes of control, and volitional conflict-resolution strategies. In J. Kuhl, & J. Beckman (Eds.), *Volition and personality: Action versus state orientation* (pp. 93-124). Seattle, WA: Hogrefe & Huber.
- Lafontaine, D., & Monseur, C. (2009). Gender gap in comparative studies of reading comprehension: to what extent do the test characteristics make a difference? *European Educational Research Journal*, 8(1), 69-79.
- Lafortune, L., & Mongeau, P. (2002). *L'affectivité dans l'apprentissage*. Canada: Presses de l'Université du Québec.
- Lajoie, C., & Bednarz, N. (2016). La notion de situation-problème en mathématiques au début du XXI^e siècle au Québec : rupture ou continuité ? *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 16(1), 1-27.
- Lajoie, C., & Bednarz, N. (2014). La résolution de problèmes mathématiques au Québec : évolution des rôles assignés par les programmes et des conseils donnés aux enseignants. *Education et Francophonie*, 42(2), 7-23.
- Lajoie, C., & Bednarz, N. (2012). Evolution de la résolution de problèmes en enseignement des mathématiques au Québec : Un parcours sur cent ans des programmes et documents pédagogiques. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 12(2), 178-213.
- Lam, U.F., Chen, W-W, Zhang, J & Liang, T. (2015). It feels good to learn where I belong: School belonging, academic emotions, and academic achievement in adolescents. *School Psychology International*, 36(4), 393-409.
- Lane, R., & Schwartz, G. (1987). Levels of emotional awareness: A cognitive-developmental theory and its application to psychopathology. *The American Journal of Psychiatry*, 144(2), 133-143.
- Lane, A.M., Whyte, G.P., Terry, P.C., & Nevill, A.M. (2005). Mood, self-set goals and examination performance: the moderating effect of depressed mood. *Personality and Individual Differences*, 39(1), 143-153.
- Laveault, D. (2007). De la « régulation » au « réglage » : élaboration d'un modèle d'autoévaluation des apprentissages. In L. Allal, & L. Mottier-Lopez (Eds.), *Régulation des apprentissages en situation scolaire et en formation* (pp. 207-234). Bruxelles: De Boeck.
- Laveault, D., & Grégoire, J. (2014). *Introduction aux théories des tests en psychologie et en sciences de l'éducation* (3rd ed.). Brussels: De Boeck.
- Lazarus, R.S. (1991). *Emotion and adaptation*. New York: Oxford University Press.
- Lazarus, R.S. (1966). *Psychological stress and the coping process*. New York: Mc Graw-Hill.
- Lazarus, R.S., & Folkman, S. (1984). *Stress, appraisal, and coping*. New York: Springer Publishing Company.
- Lecocq, P. (1996). *L'E.C.O.S.S.E une épreuve de compréhension syntaxico-sémantique (manuel et épreuve)*. Lille, France : Presses Universitaires du Septentrion.

- Leder, G.C. (2006). Affect and mathematics learning. In J.Maass, & W. Schlöglmann (Eds.), *New mathematics education research and practice* (pp. 203-208). Rotterdam, Hollande: Sense Publishers.
- Lee, W., Lee, M.-J., and Bong, M. (2014). Testing interest and self-efficacy as predictors of academic self-regulation and achievement. *Contemporary Educational Psychology*, 39, 86–99.
- Legendre, R. (1993). *Dictionnaire actuel de l'éducation (2ed.)*. Montreal: Guérin.
- Legrand, M. (2006). Mathématiques, mythe ou réalité, un point de vue éthique sur l'enseignement scientifique. *Repères, IREM (20)*, 91–108.
- Lemaire, E, & Siegler, R. S. (1995) Four aspects of strategic change: Contributions to children's learning of multiplication. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124, 83-97.
- Lens, W., Simons, J.,&Dewitte S. (2001). Studentmotivation and self-regulation as a function of future time perspective and perceived instrumentality. In S. Volet, & S. Järvelä (Eds.), *Motivation in learning contexts: Theoretical advances and methodological implications* (pp. 223–248). New York: Pergamon.
- Lepareur, C., & Grangeat, M. (2017). L'évaluation formative : un soutien à l'autorégulation des apprentissages dans les enseignements scientifiques ? In S. Cartier, & L. Mottier-Lopez (Eds.), *Soutien à l'apprentissage autorégulé en contexte scolaire* (pp. 183-212). Canada : Presses de l'Université du Québec.
- Leiss, D., Schukajlow, S., Blum, W., Messner, R., & Pekrun, R. (2010). The role of the situation model in mathematical modelling. Task analyses, student competencies, and teacher interventions. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 31(1), 119-141.
- Lent, R. W., Lopez, F. G., & Bieschke, K. J. (1991). Mathematics self-efficacy: Sources and relation to science-based career choice. *Journal of counseling psychology*, 38(4), 424.
- Leroy, V., Boudrenghien, G., & Grégoire, J. (2013). Une adaptation française du Questionnaire de Régulation Émotionnelle à la situation d'apprentissage. *Mesure et évaluation en éducation*, 36(1), 27-48.
- Leroy, V. Grégoire, J., Magen, E., Gross J.J., & Mikolajczak M. (2012). Resisting the sirens of temptation while studying: Using reappraisal to increase focus, enthusiasm, and performance. *Learning and individual differences*, 22, 263–268.
- Lester, F.K, Garofalo, J., & Kroll, D. (1989). *The role of metacognition in mathematical problem solving: a study of two grade seven classes*. Bloomington: Université d'Indiana, Mathematics Education Development Center.
- Levant, R.F., Hall, R.J., Williams, C.M., & Hasan, N.T. (2009). Gender differences in Alexithymia. *Psychology of Men & Masculinity*, 10(3), 190-203.
- Lichtenfeld, S., Pekrun, R., Stupnisky, R.H., Reiss, K., & Murayama, K. (2012). Measuring students' emotions in the early years: the achievement Emotions Questionnaire-Elementary School (AEQ-ES). *Learning and Individual Differences*, 22(2), 190-201.
- Lichtenfeld, S., & Stupnisky, R. H. (2013). Elementary school students' achievement emotions: Influences of gender and relations to motivation and achievement. In L. Zhang, & J. Chen (Eds.) *Academic Achievement: Predictors, Learning Strategies and Influences of Gender* (pp. 33-62). Nova Publishers.
- Liebert, R.M., & Morris, L.W. (1967). Cognitive and emotional components of test anxiety: A distinction and some initial data. *Psychological Reports*, 20(3), 975 - 978.
- Linnenbrink, E. A. (2007). The role of affect in student learning: A multidimensional approach to considering the interaction of affect, motivation, and engagement. In R. Pekrun, & P. A. Schutz (Eds.), *Emotion in education* (pp. 107–124). USA: Elsevier.

- Linnenbrink, E. A. (2006). Emotion research in education: Theoretical and methodological perspectives on the integration of affect, motivation, and cognition. *Educational Psychology Review*, 18, 307–314.
- Linnenbrink-Garcia, L., & Barger, M. M. (2014). Achievement goals and emotions. In R. Pekrun & L. Linnenbrink-Garcia (Eds.), *International handbook of emotions in education* (pp.142-161). New York, NY: Routledge.
- Linnenbrink-Garcia, L., & Pekrun, R. (2011). Students' emotions and academic engagement: Introduction to the special issue. *Contemporary Educational Psychology*, 36(1), 1–3.
- Linnenbrink, E. A., & Pintrich, P. R. (2002). Achievement goal theory and affect: An asymmetrical bidirectional model. *Educational Psychologist*, 37(2), 69–78.
- Lipnevich, A.A., MacCann, C., Bertling, J.P., Naemi, B., & Roberts, R.D. (2012). Emotional Reactions toward school situations. Relationships with academic outcomes. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 30(4), 387-401.
- Lobrot, M. (1967). *Batterie pour mesurer la lecture et l'orthographe, ORLEC*. Beaumont/Oise: Bureau d'études et de recherches.
- Lothaire, S., Dumay, X., & Dupriez, V. (2012). Pourquoi les enseignants quittent-ils leur école? Revue de la littérature scientifique relative au turnover des enseignants. *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*, 4(181), 99-126.
- Lucangeli, D., Cornoldi, C., & Tellarini, M. (1998a). Metacognition and learning difficulties in mathematics. In T. Scruggs & M. Mastropieri (Eds.), *Advances in learning and behavioural disabilities* (Vol. 12, pp. 219–244). Stamford, CT: JAI Press.
- Lucangeli, D., Tressoldi, P. E., & Cendron, M. (1998b). Cognitive and metacognitive abilities involved in the solution of mathematical word problems: Validation of a comprehensive model. *Contemporary Educational Psychology*, 23(3), 257–275.
- Luminet, O. (2002). *Psychologie des émotions: Confrontation et évitement*. Bruxelles: De Boeck.
- Luminet, O., & Curci, A. (2009). *Flashbulb memories: New issues and new perspectives*. New York: Psychology Press.
- Lumley, M.A., Gustavon, B.J., Partridge, R.T., & Labouvie-Vief, G. (2005). Assessing alexithymia and related emotional ability constructs using multiple methods: Interrelationships among measures. *Emotion*, 5(3), 329-342.
- Ma, X., & Kishor, N. (1997). Attitude towards self, social factors, and achievement in mathematics: A meta-analytic review. *Educational Psychology Review*, 9(2), 89-120.
- MacCann, C., Roberts, R. D., Matthews, G., & Zeidner, M. (2004). Consensus scoring and empirical option weighting of performance-based emotional intelligence (EI) tests. *Personality and Individual Differences*, 36(3), 645-662.
- Maddux, J. (2002). Self-efficacy: The power of believing you can. In C. R. Snyder, & S. J. Lopez (Eds.), *Handbook of Positive Psychology* (pp. 277–287). New York: Oxford University Press.
- Madjar, N., Kaplan, A., & Weinstock, M. (2011). Clarifying mastery-avoidance goals in high school: Distinguishing between intrapersonal and task-mastery standards of competence. *Contemporary Educational Psychology*, 36(4), 268–279.
- Maehr, M.L., & Zusho, A. (2009). Achievement goal theory. The past, present, and future. In K. Wentzel, & A. Wigfield (Eds.), *Handbook of motivation at school* (pp.77-104). New-York: Routledge.
- Malmberg, L.-E., Little, T. D., Walls, T. A., & Martin, A. J. (2013). Primary school students' learning experiences of, and self-beliefs about competence, effort, and difficulty: Random effects models. *Learning and Individual Differences*, 28, 54–65.

- Malmivuori, M.L. (2006). Affect and self-regulation. *Educational Studies in Mathematics*, 63(2), 149-164.
- Marcou, A., & Philippou, G. (2005). Motivational beliefs, self-regulated learning and mathematical problem solving. In H. L. Chick, & J. L. Vincent (Eds.), *Actes de la 29^e conférence du groupe international pour la psychologie de l'enseignement des mathématiques (PME)* (pp. 297–304). Melbourne, Australie: Université de Melbourne.
- Marcoux, G. (2012). *Tâches scolaires et mobilisation adaptée de procédures : Quels paramètres sont influents ?* Thèse de doctorat en sciences de l'éducation non publiée. Genève, Université de Genève.
- Marcoux, G. (2006). Enseignants et politiques dans le brouillard ? In *Direct : Les clés de la gestion scolaire* (pp. 7-31). Waterloo, Belgique : Wolters Plantyn.
- Margolinas, C. (1994) Jeux de l'élève et du professeur dans une situation complexe, *Séminaire DidaTech, LSDD, IMAG, Université Joseph Fourier, Grenoble*.
- Margolinas, C. & Wozniak, F. (2009). Usage des manuels dans le travail de l'enseignant : l'enseignement des mathématiques à l'école primaire. *Revue des sciences de l'éducation*, 35(2), 59-82.
- Maroy C. (2005) Les évolutions du travail enseignant en Europe. Facteurs de changement, incidences et résistances, *Cahiers de la recherche en Education et Formation*, 42, 1-35.
- Maroy, C. & Cattonar, B. (2002). Pénurie et malaise enseignant. *La Revue nouvelle*, 115(12), p. 44-62.
- Marsh, H. W., Lüdtke, O., Nagengast, B., Trautwein, U., Abduljabbar, A. S., Abdelfattah, F., et al. (2015). Dimensional comparison theory: Paradoxical relations between self-beliefs and achievements in multiple domains. *Learning and Instruction*, 35, 16–32.
- Marsh, H. W., Lüdtke, O., Nagengast, B., Trautwein, U., Morin, A. J. S., Abduljabbar, A. S., et al. (2012). Classroom climate and contextual effects: conceptual and methodological issues in the evaluation of group-level effects. *Educational Psychologist*, 47(2), 106-124.
- Martens, B. K., Peterson, R. L., Witt, J. C., & Cirone, S. (1986). Teacher perceptions of school-based interventions. *Exceptional Children*, 53(3), 213–223.
- Martin, A.J. (2004). School motivation of boys and girls: differences of degree, differences of kind, or both ? *Australian Journal of Psychology*, 56(3), 133-146;
- Martin, S.A., & Bassok, M. (2005). Effects of semantic cues on mathematical modeling: evidence from word-problem solving and equation construction tasks. *Memory & Cognition*, 33(3), 471-478.
- Marx, J. D., & Cummings, K. (2007). Normalized change. *American Journal of Physics*, 75(1), 87–91.
- Mason, J. (2001). Modelling modelling: Where is the center of gravity of-for-when teaching modelling? In J.F. Matos, W. Blum, S.K. Houston, & S.P. Carreira (Eds.), *Modelling and mathematics education. ICTMA9: Applications in science and technology* (pp. 39-61). Chichester, UK: Horwood.
- Matthews, G., Zeidner, M., & Roberts, R. D. (2007). *The science of emotional intelligence: Knowns and unknowns*. Oxford, England: Oxford University Press.
- Matthews, G., Zeidner, M., & Roberts, R. D. (2002). *Emotional intelligence: Science and myth*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Maury, S. (2001). Didactique des mathématiques et psychologie cognitive : un regard comparatif sur trois approches psychologiques. *Revue française de pédagogie*, 137, 84-89.
- Mavroveli, S., Petrides, K., Rieffe, C., & Bakker, F. (2007). Trait emotional intelligence, psychological well-being and peer-rated social competence in adolescence. *British Journal of Developmental Psychology*, 25(2), 263-275.

- Mavroveli, S., Petrides, K., & Shove, C., & Whitehead, A. (2008). Investigation of the construct of trait emotional intelligence in children. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 17(8), 516-526.
- Mayer, J.D., Caruso, D.R., & Salovey, P. (1999). Emotional intelligence meets traditional standards for an intelligence. *Intelligence*, 27(4), 267-298.
- Mayer, J.D., & Salovey, P. (1997). What is emotional intelligence? In P. Salovey, & D. Sluyter (Eds.), *Emotional development and emotional intelligence: Implications for educators* (pp. 3-31). New York: Basic Books.
- Mayer, J.D., Salovey, P., & Caruso, D.R. (2004). TARGET ARTICLES: "Emotional Intelligence: Theory, findings, and implications". *Psychological Inquiry*, 15(3), 197-215.
- Mayer, J. D., Salovey, P., & Caruso, D. R. (2002). *Mayer-Salovey-Caruso Emotional Intelligence Test (MSCEIT) user's manual*. Toronto, Ontario, Canada: MHS Publishers.
- McLeod, D.B. (1992). Research on affect in mathematics education: A reconceptualization. In D.A. Grouws (Ed.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 575-596). New York: MacMillan.
- Medway, F.J., & Venino, G.R. (1982). The effects of effort feedback and performance patterns on children's attributions and task persistence. *Contemporary Educational Psychology*, 7(1), 26-34.
- Meece, J., Anderman, E. M., & Anderman, L. H. (2006). Classroom goal structure, student motivation, and academic achievement. *Annual Review of Psychology*, 57, 505-528.
- Mellone, M., Verschaffel, L., & Van Dooren, W. (2017). The effect of rewording and dyadic interaction on realistic reasoning in solving word problems. *The Journal of Mathematical Behavior*, 46, 1-12.
- Messick, S. (1995). Validity of psychological assessment: Validation of inferences from persons' responses and performances as scientific inquiry into score meaning. *American psychologist*, 50(9), 741-749.
- Metallidou, P. & Vlachou, A. (2010). Children's self-regulated learning profile in language and mathematics: The role of task value beliefs. *Psychology in the Schools*, 47 (8), 776-788.
- Metallidou, P., & Vlachou, A. (2007). Motivational beliefs, cognitive engagement, and achievement in language and mathematics in elementary school children. *International Journal of Psychology*, 42(1), 2-15.
- Mevarech, Z.R., & Amrany, C. (2008). Immediate and delayed effects of meta-cognitive instruction on regulation of cognition and mathematics achievement. *Metacognition and Learning*, 3(2), 147-157.
- Mevarech, Z., & Fridkin, S. (2006). The effects of IMPROVE on mathematical knowledge, mathematical reasoning and metacognition. *Metacognition and learning*, 1(1), 85-97.
- Mevarech, Z.R., & Kramarski, B. (1997). IMPROVE: a multidimensional method for teaching mathematics in heterogeneous classrooms. *American Educational Research Journal*, 34(2), 365-394.
- Mevarech, Z. R., Terkieltaub, S., Vinberger, T., & Nevet, V. (2010). The effects of meta-cognitive instruction on third and sixth graders solving word problems. *ZDM Mathematics Education*, 42(2), 195-203.
- Meyer, D. K., & Turner, J. C. (2006). Re-conceptualizing emotion and motivation to learn in classroom contexts. *Educational Psychology Review*, 18, 377-390.
- Middleton, J. A., & Spanias, P. (1999). Motivation for achievement in mathematics: Findings, generalizations, and criticisms of the research. *Journal for Research in Mathematics Education*, 30, 65 – 88.

- Midgley, C., Kaplan, A., & Middleton, M. (2001). Performance-approach goals: Good for what, for whom, under what circumstances, and at what cost? *Journal of Educational Psychology*, 93(1), 77-86.
- Mikolajczak, M. (2012). Approche empirique (anc.cognitive et comportementale) de la régulation des émotions. In M. Mikolajczak, & M. Desseilles (Eds.), *Traité de régulation des émotions* (pp.149-182). Brussels: De Boeck.
- Mikolajczak, M., & Bausseron, E. (2013). Les compétences émotionnelles chez l'adulte. In O. Luminet (Ed.), *Les émotions* (pp. 129-174). Bruxelles: De Boeck.
- Mikolajczak, M., & Belzung, C. (2012). Corrélats physiologiques des émotions et de leur régulation. In M. Mikolajczak & M. Desseilles (Eds.), *Traité de régulation des émotions* (pp.67-86). Bruxelles: De Boeck.
- Mikolajczak, M., & Desseilles, M. (2012). Introduction à la régulation des émotions. In M. Mikolajczak & M. Desseilles (Eds.), *Traité de régulation des émotions* (pp.19-33). Bruxelles: De Boeck.
- Mikolajczak, M., Luminet, O., Leroy, C., & Roy, E. (2007). Psychometric properties of the Trait Emotional Intelligence Questionnaire: Factor structure, reliability, construct, and incremental validity in a French-speaking population. *Journal of Personality Assessment*, 88(3), 338-353.
- Mikolajczak, M., Petrides, K.V., Coumans, N., & Luminet, O. (2009). The moderating effect of trait emotional intelligence on mood deterioration following laboratory-induced stress. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 9(3), 455-477.
- Mikolajczak, M., Quoidback, J., Kotsou, I., & Nelis, D. (2009). *Les compétences émotionnelles*. Paris: Dunod.
- Miller, R. B., & Brickman, S. A. (2004). A model of future oriented motivation and self-regulation. *Educational Psychology Review*, 16, 9-33.
- Miller, R., Greene, B., Montalvo, G., Ravindran, B., & Nichols, J. (1996). Engagement in academic work: the role of learning goals, future consequences, pleasing others, and perceived ability. *Contemporary Educational Psychology*, 21, 388-422.
- Ministère de l'éducation. (2005). *The Ontario curriculum grades 1-8. Mathematics*. Disponible sur <http://www.edu.gov.on.ca/eng/curriculum/elementary/math.html>.
- Misra, R., & Castillo, L. G. (2004). Academic stress among college students: Comparison of American and international students. *International Journal of Stress Management*, 11(2), 132.
- Möller, J., & Marsh, H. W. (2013). Dimensional comparison theory. *Psychological Review*, 120(3), 544-560.
- Möller, J., Pohlmann, B., Köller, O., & Marsh, H.W. (2009). A meta-analytic path analysis of the internal/external frame of reference model of academic achievement and academic self-concept. *Review of Educational Research*, 79(3), 1129-1167.
- Möller, J., Retelsdorf, J., Köller, O., & Marsh, H. W. (2011). The reciprocal internal/external frame of reference model. *American Educational Research Journal*, 48(6), 1315-1346.
- Monnier, N., & Amade-Escot, C. (2009). L'activité didactique empêchée : outil d'intelligibilité de la pratique enseignante en milieu difficile. *Revue française de pédagogie*, 3, 59-73.
- Montague, M. (2008). Self-regulation strategies to improve mathematical problem solving for students with learning disabilities. *Learning Disability Quarterly*, 31, 37-44.
- Montague, M. (2007). Self-regulation and mathematics instruction. *Learning Disabilities Research & Practice*, 22, 75-83.
- Montague, M. (2003). *Solve It! A mathematical problem-solving instructional program*. Reston, VA: Exceptional Innovations.

- Montague, M., & Applegate. (2000). Middle school students' perceptions, persistence, and performance in mathematical problem solving. *Learning Disability Quarterly*, 23(3), 215-227.
- Montague, M., & Applegate. (1993). Middle school students' mathematical problem solving: an analysis of think-aloud protocols. *Learning Disability Quarterly*, 16(1), 19-32.
- Montague, M., Applegate, B., & Marquard, K. (1993). Cognitive strategy instruction and mathematical problem-solving performance of students with learning disabilities. *Learning Disabilities Research & Practice*, 8, 223-232.
- Montague, M., Enders, C., & Dietz, S. (2011). Effects of cognitive strategy instruction on math problem solving of middle school students with learning disabilities. *Learning Disability Quarterly*, 34(4), 262-272.
- Montague, M., & van Garderen, D. (2003). A cross-sectional study of mathematics achievement, estimation skills, and academic self-perception in students of varying ability. *Journal of Learning Disabilities*, 36(5), 437-448.
- Montague, M., Warger, C., & Morgan, T. H. (2000). Solve it! Strategy instruction to improve mathematical problem solving. *Learning Disabilities Research & Practice*, 15(2), 110-116.
- Moreau, S. & Coquin-Viennot, D. (2003). Comprehension of arithmetic word problems by fifth-grade pupils: representations and selection of information. *British Journal of Educational Psychology*, (73), 109-121.
- Mosconi, N. (2001). Comment les pratiques enseignantes fabriquent-elles de l'inégalité entre les sexes ? *Les dossiers des Sciences de l'Éducation*, 5, 97-109.
- Mosconi, N., & Loudet-Verdier, J. (1997). Inégalités de traitement entre les filles et les garçons. In C. Blanchard-Laville (Ed.), *Variations sur une leçon de mathématiques*. Paris: L'Harmattan.
- Mottier-Lopez, L. (2012). *La régulation des apprentissages en classe*. Bruxelles: De Boeck.
- Mottier-Lopez, L. (2007). Régulations interactives situées dans des dynamiques de microculture de classe. *Mesure et évaluation en éducation*, 30(2), 23-47.
- Mottier Lopez, L., Blanc, C., Dechamboux, L., & Couchepin, C. (2017). Les héritages de Jean Cardinet : regards à partir de trois recherches doctorales sur l'évaluation des apprentissages des élèves en classe. *E-Jiref*, 3(3), 51-67.
- Mueller, C., Dweck, C. (1998). Praise for intelligence can undermine children's motivation and performance. *Journal of Personality and Social Psychology*, 75(1), 33-52.
- Muir, T., & Beswick, K. (2005). Where did I go wrong? Students' success at various stages of the problem-solving process. In P. Clarkson, A. Downton, D. Gronn, M. Horne, A. McDonough, R. Pierce & A. Roche (Eds.), *Building connections: Research, theory and practice (Proceedings of the 28th annual conference of the mathematics research group of Australasia)* (pp. 561-568). Sydney: MERGA.
- Muir, T., Beswick, K., & Williamson, J. (2008). "I'm not very good at solving problems": an exploration of students' problem solving behaviours. *The Journal of Mathematical Behavior*, 27(3), 228-241.
- Mukamurera, J., Lacourse, F., & Couturier, Y. (2006). Des avancées en analyse qualitative : pour une transparence et une systématisation des pratiques. *Recherches qualitatives*, 26(1), 110-138.
- Mukhopadhyay, S. & Greer, B. (2001). Modelling with purpose. Mathematics as a critical tool. In B. Atweh, H. Forgasz & B. Nebres (Eds.), *Socio-cultural aspects in mathematics education* (pp. 295-311). New-York: Lawrence Erlbaum Associates.
- Napoli, M., Krech, P.R., & Holley, L.C. (2005). Mindfulness training for elementary school students. *Journal of Applied School Psychology*, 21(1), 99-125.

- Nardi, E., & Steward, S. (2003). Is mathematics T.I.R.E.D? A profile of quiet disaffection in the secondary mathematics classroom? *British Educational Research Journal*, 29(3), 345-367.
- Nathan, M. J., & Petrosino, A. (2003). Expert blind spot among preservice teachers. *American Educational Research Journal*, 40(4), 905-928.
- National Council of Teachers of Mathematics. (2000). *Principles and standards for school mathematics*. Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics.
- Nelis, D., Quoidbach, J., Hansenne, M., & Mikolajczak, M. (2011). Measuring individual differences in emotion regulation: The Emotion Regulation Profile-Revised (ERP-R). *Psychologica Belgica*, 51(1).
- Nelis, D., Quoidbach, J., Mikolajczak, M., & Hansenne, M. (2009). Increasing emotional intelligence: (How) is it possible? *Personality and individual differences*, 47(1), 36-41.
- Nelson, T.O., & Narens, L. (1990). Metamemory: a theoretical framework and some new findings. In G. Bower (Ed.), *The psychology of learning and memory* (pp. 125-173). San Diego, CA: Academic Press.
- Nett, U. E., Goetz, T., & Daniels, L. M. (2010). What to do when feeling bored? Students' strategies for coping with boredom. *Learning and Individual Differences*, 20(6), 626-638.
- Newell, A., & Simon, H.A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Newman, R. S. (2000). Social influences on the development of children's adaptive help seeking: The role of parents, teachers, and peers. *Developmental Review*, 20(3), 350-404.
- Newman, R. S., & Karabenick, S.A. (1998). *Strategic help seeking: Implications for learning and teaching*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Nicholls, J. G. (1984). Achievement motivation: Conceptions of ability, subjective experience, task choice, and performance. *Psychological Review*, 91, 328-346.
- Nichols, A.J., Whelan, J.P., & Meyers, A.W. (1991). The effects of children's goal structures and performance feedback, mood, task choice, and task persistence. *Behavior Therapy*, 22(2), 491-503.
- Niepel, C., Brunner, M., & Preckel, F. (2014). The longitudinal interplay of students' academic self-concepts and achievements within and across domains across domains: Replicating and extending the reciprocal internal/external frame of reference model. *Journal of Educational Psychology*, 106(4), 1-22.
- Noël, B., Romainville, M., & Wolfs, J.L. (1995). La métacognition : Facettes et pertinence du concept en éducation. *Revue française de pédagogie*, 112, 47-56.
- Nolen-Hoeksema, S., Wisco, B.E., & Lyubomirsky, S. (2008). Rethinking rumination. *Perspectives on Psychological Science*, 3(5), 400-424.
- Nolen-Hoeksema, S. (2000). The role of rumination in depressive disorders and mixed anxiety/depressive symptoms. *Journal of Abnormal Psychology*, 109(3), 504-511.
- Novick, L. R. (1988). Analogical transfer, problem similarity, and expertise. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 14(3), 510-520.
- Nye, B., Konstantopoulos, S., & Hedges, L. V. (2004). How large are teacher effects? *Educational evaluation and policy analysis*, 26(3), 237-257.
- Nyroos, M., Korhonen, J., Linnanmäki, K., & Svens-Liavag C. (2012). A cross-national comparison of test anxiety in Swedish and Finnish grade 3 pupils: Measured by the CTAS. *Education Inquiry*, 3(4), 615-636.
- Oberle, E., Schonert-Reichl, K.A., Hertzman, C., & Zumbo, B.D. (2014). Social-emotional competencies make the grade: Predicting academic success in early adolescence. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 35(3), 138-147.

- OECD (2017). *Pisa 2015 Results. Students' well-being (Volume II)*. Paris: OECD Publishing.
- OECD (2016). *Pisa 2015 Results. Excellence and equity in education (Volume I)*. Paris: OECD Publishing.
- OECD (2014). *Pisa 2012 results: What students know and can do – Students performance in mathematics, reading and science (Vol.1 Revised Edition)*. Paris: OECD Publishing.
- Op't Eynde, P., De Corte, E., & Mercken, I. (2004). Pupils (meta)emotional knowledge and skills in the mathematics classroom. *Documenté non publié présenté à la American Educational Research Association (AERA)*, San Diego.
- Op't Eynde, P., De Corte, E., & Verschaffel, L. (2007). Students' emotions: A key component of self-regulated learning? In R. Pekrun, & P. A. Schutz (Eds.), *Emotion in education* (pp. 185–204). USA: Elsevier.
- Op't Eynde, P., De Corte, E., & Verschaffel, L. (2006). Accepting emotional complexity: A socio-constructivist perspective on the role of emotions in the mathematics classroom. *Educational Studies in Mathematics*, 63(2), 193-207.

- Op't Eynde, P., De Corte, E., & Verschaffel, L. (2002). Framing students' mathematics-related beliefs. In G. C. Leder, E. Pehkonen, & G. Törner (Eds.), *Beliefs: A hidden variable in mathematics education* (pp. 13–37). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Op't Eynde, P., & Turner, J. E. (2006). Focusing on the complexity of emotion issues in academic learning: A dynamical component systems approach. *Educational Psychology Review*, 18(4), 361–376.
- Ozsoy, G. & Ataman, A. (2009). The effect of metacognitive strategy training on mathematical problem solving achievement. *International Electronic Journal of Elementary Education*, 1(2), 67-82.
- Pajares, F. (2008). Motivational role of self-efficacy beliefs in self-regulated learning. In D. H. Schunk & B. J. Zimmerman (Eds.), *Motivation and self-regulated learning: Theory, research, and applications* (pp. 111–139). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Pajares, F. (1996). Self-efficacy beliefs in academic settings. *Review of Educational Research*, 66(4), 543-578. Pajares, F. (1997). Current directions in self-efficacy research. In M. Maehr, & P. R. Pintrich (Eds.), *Advances in motivation and achievement* (Vol. 10, pp. 1–49). Greenwich, CT: JAI.
- Pajares, F., Graham, L. (1999). Self-efficacy, motivation constructs, and mathematics performance of entering middle school students. *Contemporary Educational Psychology*, 24(2), 124-139.
- Pajares, F., & Valiante, G. (2002). Students' self-efficacy in their self-regulated learning strategies: A developmental perspective. *Psychologia*, 45(4), 211-221.
- Pallascio, R. (2005). Les situations-problèmes: Un concept central du nouveau programme de mathématique. *Vie pédagogique*, 136(1), 32-35.
- Pallascio, R., Benny, M. & Patry, J. (2001). Pensée critique et pensée métacognitive. In P. A. Doudin, D. Martin, & O. Albanese (Eds.), *Métacognition et éducation* (pp. 31-46). Bern : Peter Lang.
- Pallascio, R., & Lafortune, L. (2000). *Pour une pensée réflexive en éducation*. Québec: Presses de l'Université du Québec.
- Palm, T. (2007). Features and impact of the authenticity of applied mathematical school tasks. In W. Blum, P.L. Galbraith, H-W. Henn, & M. Niss. (Eds.), *Modelling and Applications in Mathematics Education. The 14th ICMI Study* (pp. 201-208). Germany: Springer.
- Pantiziara, M., Gagatsis, A., & Elia, I. (2009). Using diagrams as tools for the solution of non-routine mathematical problems. *Educational Studies in Mathematics*, 72(1), 39-60.
- Paquay, L., De Ketele, J-M., & Crahay, M. (2006). *L'analyse qualitative en éducation. Des pratiques de recherche aux critères de qualité*. Paris: De Boeck.
- Paris, S.G., & Paris, A.H. (2001). Classroom Applications of Research on Self-Regulated Learning. *Educational Psychologist*, 36(2), 89-101.
- Parker, J.D.A., Bagby, R.M, Taylor, G.J, Endler, N.S, & Schmitz, P. (1993). Factorial validity of the 20-item Toronto Alexithymia Scale. *European Journal of Personality*, 7(4), 221–232.
- Parker, P. D., Marsh, H. W., Ciarrocho, J., Marshall, S., & Abduljabbar, A. S.(2013). Juxtaposing math self-efficacy and self-concept as predictors of long-term achievement outcomes. *Educational Psychology*, 34(1), 1–20.
- Parkinson, B., & Totterdell, P. (1999). Classifying affect-regulation strategies. *Cognition and Emotion*, 13(3), 277-303.

- Parrott, W. G., & Spackman, M. P. (2000). Emotion and memory. In M. Lewis, & J.M. Haviland-Jones (Eds.), *Handbook of emotions* (2è ed., pp. 417-520). New York: Guilford Press.
- Patrick, H., Ryan, A. M., & Kaplan, A. (2007). Early adolescents' perceptions of the classroom social environment, motivational beliefs, and engagement. *Journal of educational psychology*, 99(1), 83.
- Patrick, H., Ryan, A.M., & Pintrich, P.R. (1999). The differential impact of extrinsic and mastery goal orientations on males' and females' self-regulated learning. *Learning and Individual Differences*, 11(2), 153-171.
- Payton, J. W., Wardlaw, D. M., Graczyk, P. A., Bloodworth, M. R., Tompsett, C. J., & Weissberg, R. P. (2000). Social and emotional learning: A framework for promoting mental health and reducing risk behavior in children and youth. *Journal of school health*, 70(5), 179-185.
- Peixoto, F., Sanches, C., Mata, L. & Monteiro, V. (2017). « How do you feel about math? »: relationships between competence and value appraisals, achievement emotions and academic achievement. *European Journal of Psychology of Education*, 32(3), 385-405.
- Pekrun, R. (2014). *Emotions and learning*. Educational Practices Series. Belley, France: International Academy of Education.
- Pekrun, R. (2007). Emotions in students' scholastic development. In R. Pekrun, R.Perry, & S. Smart (Eds.), *The scholarship of teaching and learning in higher education: An evidence-based perspective* (pp. 553-610). Hollande: Springer.
- Pekrun, R. (2006). The control-value theory of achievement emotions: Assumptions, corollaries, and implications for educational research and practice. *Educational Psychology Review*, 18(4), 315-341.
- Pekrun, R., Cusack, A., Murayama, K., Elliot, A.J. & Thomas, K. (2014). The power of anticipated feedback: Effects on students' achievement goals and achievement emotions. *Learning Instruction*, 29, 115-124.
- Pekrun, R., Elliot, A. J., & Maier, M. A. (2009a). Achievement goals and achievement emotions: Testing a model of their joint relations with academic performance. *Journal of Educational Psychology*, 101, 115-135.
- Pekrun, R., Elliot, A. J., & Maier, M. A. (2009b). Achievement goals and achievement emotions: Testing a model of their joint relations with academic performance. *Journal of Educational Psychology*, 101(1), 115-135.
- Pekrun, R., Goetz, T., Daniels, L. M., Stupnisky, R. H., & Perry, R. P. (2010). Boredom in achievement settings: control-value antecedents and performance outcomes of a neglected emotion. *Journal of Educational Psychology*, 102(3), 531-549.
- Pekrun, R., Goetz, T., & Frenzel, A.C. (2005). *Achievement Emotions Questionnaire-Mathematics (AEQ-M). User's Manual*. Unpublished document. University de Munich, Munich.
- Pekrun, R., Goetz, T., Frenzel, A.C., Barchfeld, P., & Perry, R.P. (2011). Measuring emotions in students' learning and performance: The Achievement Emotions Questionnaire (AEQ). *Contemporary Educational Psychology*, 36(1), 36-48.
- Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W., & Perry, R. P. (2002). Academic emotions in students' self-regulated learning and achievement: a program of quantitative and qualitative research. *Educational Psychologist*, 37(2), 91-105.
- Pekrun, R., Hall, N.C., Goetz, T. & Perry, R.P. (2014). Boredom and academic achievement; testing a model of reciprocal causation. *Journal of Educational Psychology*, 106(3), 696-710.

- Pekrun, R., & Linnenbrink-Garcia, L. (2014). *International handbook of emotions in education*. New York: Routledge.
- Pekrun, R., & Linnenbrink-Garcia, L. (2012). Academic emotions and student engagement. In S. L. Christenson, A. L. Reschly, & C. Wylie (Eds.), *Handbook of research on student engagement* (pp. 259–282). New York: Springer US.
- Pekrun, R., & Perry, R. (2014). Control-Value Theory of Achievement Emotions. In R. Pekrun, & L. Linnenbrink-Garcia (Eds.), *International handbook of emotion in education* (pp. 120–141). New York: Routledge.
- Pekrun, R., & Stephens, E. J. (2010). Achievement emotions: A control-value approach. *Social and Personality Compass*, 4, 238–255.
- Péladeau, N., Forget, J., Gagné, F. (2005). Le transfert des apprentissages et la réforme de l'éducation au Québec: quelques mises au point. *Revue des sciences de l'éducation*, 31(1), 187-209.
- Pelgrims, G. (2006). *Intention d'apprendre, peur de l'échec et persévérance des élèves en classes spécialisées: Des composantes générales aux dimensions situationnelles de la motivation à apprendre*. Thèse de doctorat en sciences de l'éducation non publiée, Genève, Université de Genève.
- Perels, F., Gürtler, T., & Schmitz, B. (2005). Training of self-regulatory and problem-solving competence. *Learning and Instruction*, 15(2), 123-139.
- Perrin-Glorian, M.-J. (1993-1994). Contraintes de fonctionnement des enseignants au collège: ce que nous apprend l'étude de « classes faibles ». *Petit x*, 35, 5–40.
- Perry, R. P., Stupnisky, R. H., Hall, N. C., Chipperfield, J. G., & Weiner, B. (2010). Bad starts and better finishes: Attributional retraining and initial performance in competitive achievement settings. *Journal of Social and Clinical Psychology*, 29(6), 668-700.
- Perry, N.E., & Winne, P.H. (2006). Learning from learning kits: gStudy traces of students self-regulated engagement with computerized content. *Educational Psychology Review*, 18(3), 211-228.
- Peterson, C., & Seligman, M. E. P. (2004). *Character strengths and virtues: A handbook and classification*. Washington, DC: American Psychological Association.
- Petrides, K.V., Frederickson, N., & Furnham, A. (2004). The role of trait emotional intelligence in academic performance and deviant behavior at school. *Personality and Individual Differences*, 36(2), 277-293.
- Petrides, K.V., & Furnham, A. (2003). Trait emotional intelligence: Behavioral validation in two studies of emotion recognition and reactivity to mood induction. *European Journal of Personality*, 17(1), 39-57.
- Petrides, K.V., & Furnham, A. (2001). Trait emotional intelligence: Psychometric investigation with reference to established trait taxonomies. *European Journal of Personality*, 15(6), 425-448.
- Petrides, K.V., & Furnham, A. (2000). On the dimensional structure of emotional intelligence. *Personality and Individual Differences*, 29(2), 313-320.
- Petrides, K.V., Sangareau, Y., Furnham, A., & Frederickson, N. (2006). Trait emotional intelligence and children's peer relations at school. *Social Development*, 15(3), 537-547.
- Phinney, J.S., Dennis, J.M., & Gutierrez, D.M. (2005). College orientation profiles of Latino students from low socio-economic backgrounds: a cluster analytic approach. *Hispanic Journal of Behavioral Science*, 27(4), 387-408.
- Piaget, J. (1978). *Success and understanding*. Cambridge: Harvard University Press.
- Piaget, J. (1974). *Recherches sur la contradiction. Les différentes formes de la contradiction. Volume 2*. Paris: Presses Universitaires de France.

- Pietsch, J., Walker, R., & Chapman, E. (2003). The relationship among self-concept, self-efficacy, and performance in mathematics during secondary school. *Journal of Educational Psychology*, 95, 589–603.
- Pinard, R., Potvin, P. & Rousseau, R. (2004). Le choix d'une approche méthodologique mixte de recherche en éducation. *Recherches qualitatives*, 24, 58-81.
- Pintrich, P. R. (2004). A conceptual framework for assessing motivation and self-regulated learning in college students. *Educational Psychology Review*, 16 (4), 385-407.
- Pintrich, P. R. (2002). The Role of Metacognitive Knowledge in Learning, Teaching, and Assessing. *Theory into Practice*, 41(4), 219–225.
- Pintrich, P.R. (2000). The role of goal orientation in self-regulated learning. In M. Boekaerts, P.R. Pintrich, & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation: Theory, research, and applications* (pp. 451-502). San Diego, CA: Academic Press.
- Pintrich, P.R. (1999). The role of motivation in promoting and sustaining self-regulated learning. *International Journal of Educational Research*, 31(6), 459-470.
- Pintrich, P. R., & De Groot, E. V. (1990). Motivational and self-regulated learning components of classroom academic performance. *Journal of Educational Psychology*, 82(1), 33.
- Pintrich, P.R., & Schrauben, B. (1992). Students' motivational beliefs and their cognitive engagement in classroom academic tasks. In D.H. Schunk, & J.L. Meece (Eds.), *Student Perceptions in the Classroom* (pp. 149-183). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Pintrich, P.R., Wolters, C.A., & Baxter, G.P. (2000). Assessing metacognition and self-regulated learning. In G. Schraw, & J. Impara (Eds.), *Issues in the measurement of metacognition* (pp. 43–97). Lincoln, NE: Buros Institute of Mental Measurement.
- Pintrich, P. R., & Zusho, A. (2002). The development of academic self-regulation: The role of cognitive and motivational factors. In A. Wigfield & J. S. Eccles (Eds.), *Development of achievement motivation* (pp. 249–284). San Diego: Academic Press.
- Pinxten, M., Marsh, H. W., De Fraine, B., van den Noortgate, W., & van Damme, J. (2014). Enjoying mathematics or feeling competent in mathematics? Reciprocal effects on mathematics achievement and perceived math effort expenditure. *British Journal of Educational Psychology*, 84, 152–174.
- Pinxten, M., Wouters, S., Preckel, F., Niepel, C., De Fraine, B., & Verschueren, K. (2015). The formation of academic self-concept in elementary education: A unifying model for external and internal comparisons. *Con-temporary Educational Psychology*, 41, 124–132.
- Pitkethly, A., & Hunting, R. (1996). A review of recent research in the area of initial fraction concepts. *Educational Studies in Mathematics*, 30(1), 5-38.
- Plante, I., Théorêt, M., & Favreau, O. E. (2010). Les stéréotypes de genre en mathématiques et en langues: recension critique en regard de la réussite scolaire. *Revue des sciences de l'Éducation*, 36, 389-419.
- Poirier Proulx, L. (1999). *La résolution de problèmes en enseignement : Cadre référentiel et outils de formation*. Paris: De Boeck.
- Polya, G. (1957). *How to solve it* (2nd ed.). Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Pollock, E., Chandler, P., & Sweller, J. (2002). Assimilating complex information. *Learning and Instruction*, 12(1), 61-86.
- Pomerantz, E.M., Altermatt, E.R., & Saxon, J.L. (2002). Making the grade but feeling distressed: gender differences in academic performance and internal distress. *Journal of Educational Psychology*, 94(2), 396-404.

- Pons, F., Doudin, P-A, Harris, P.L., & de Rosnay, M. (2002). Métaémotion et intégration scolaire. In L. Lafortune, & P. Mongeau (Eds.), *L'affectivité dans l'apprentissage* (pp. 7-28). Sainte-Foy : Presses de l'Université du Québec.
- Pool, L., & Qualter, P. (2012). Improving emotional intelligence and emotional self-efficacy through a teaching intervention for university students. *Learning and individual differences*, 22(3), 306-312.
- Porter, E., & Dutton, D. (1987). Behaviorally speaking. *Training and Development Journal*, 41(11), 28-33.
- Posner, J., Russell, J. A., & Peterson, B. S. (2005). The circumplex model of affect: An integrative approach to affective neuroscience, cognitive development, and psychopathology. *Development and Psychopathology*, 17, 715-734.
- Prawat, R. S., & Anderson, A. L. (1994). The affective experiences of children during mathematics. *The Journal of Mathematical Behavior*, 13(2), 201-222.
- Pressley, M., Heisel, B.E., McCormick, C. G., & Nakanura, G. V. (1982). Memory strategy instruction with children. In C.J. Brainerd & M. Pressley (Eds.), *Verbal process in children: Progress in cognitive development research* (pp. 125-159). New-York: Springer-Verlag.
- Pretz, J.E., Naples, A.J., & Sternberg, R.J. (2003). Recognizing, defining, and representing problems. In J.E. Davidson, & R.J. Sternberg (Eds.), *the psychology of problem solving* (pp. 3-30). New-York: Cambridge University Press.
- Priole, M. (2014). Enseignement-apprentissage de la résolution de problèmes numériques à l'école élémentaire : un cadre didactique basé sur une approche systémique. *Education & Didactique*, 8(2), 59-86.
- Proulx, J. (2011). *L'enseignant et ses mathématiques : repenser les pratiques de formation des enseignants en fonction des mathématiques vécues au quotidien de la classe*. Document présenté au colloque COPIRELEM, Dijon.
- Proulx, J., & Bednarz, N. (2010). *Formation mathématique des enseignants du secondaire. Partie 1 : Réflexions fondées sur une analyse des recherches*. Revista de Educação Matematica e Tecnológica Ibero-americana.
- Qualter, P., Whiteley, H.E., Hutchinson, J.M., & Pope, D.J. (2007). Supporting the development of emotional competencies to ease the transition from primary to high school. *Educational Psychology in Practice*, 23 (1), 79-95.
- Rabinowitz, M., Freeman, K., & Cohen, S. (1993). Use and maintenance of strategies: The influence of accessibility to knowledge. *Journal of Educational Psychology*, 84, 211-218.
- Rasch, D., & Guiar, V. (2004). The robustness of parametric statistical methods. *Psychology Science*, 46(2), 175-208.
- Reeve, J. (2009). Why teachers adopt a controlling motivating style toward students and how they can become more autonomy supportive? *Educational Psychologist*, 44(3), 159-175.
- Renninger, K. A. (2010). Working with and cultivating the development of interest, self-efficacy, and self-regulation. In D. Preiss, & R. Sternberg (Eds.), *Innovations in educational psychology: Perspectives on learning, teaching and human development* (pp. 107- 138). New York, NY: Springer.
- Renninger, K. A., & Hidi, S. (2011). Revisiting the conceptualization, measurement, and generation of interest. *Educational Psychologist*, 46, 168-184.

- Reusser, K. (1990). From text to situation to equation: cognitive simulation of understanding and solving mathematical word problems. In H. Mandl, E. De Corte, N. Bennett, & H.F. Friedrich (Eds.), *Learning and Instruction* (pp.477-498). Oxford: Pergamon.
- Reusser, K., & Stebler, R. (1997). Every problem has a solution : The social rationality of mathematical modeling in schools. *Learning and Instruction*, 7(4), 309-327.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R., & Burns, B. D. (2000). Motivation and self-regulated learning. In J. Heckhausen (Ed.), *Motivational psychology of human development: Developing motivation and motivating development* (pp. 81–108). Amsterdam: Elsevier.
- Richard, J.-F., & Sander, E. (2000). *Activités d'interprétation et de recherche de solution dans la résolution de problèmes*. In J.-N. Foulin, & C. Ponce (Eds.), Lire, écrire, compter, apprendre: Les apports de la psychologie des apprentissages (pp. 91-102). Bordeaux, France : Editions du CRDP de Bordeaux.
- Ridley, D.S., Schutz, P.A., Glanz, R.S., & Weinstein, C.E. (1992). Self-regulated learning: The interactive influence of metacognitive awareness and goal setting. *Journal of Experimental Education*, 60(4), 293-306.
- Rieffe, C., Terwogt, M.M., Petrides, K.V., Cowan, R., Miers, A.C., & Tolland, A. (2007). Psychometric properties of the Emotion Awareness Questionnaire for children. *Personality and Individual Differences*, 43(1), 95-105.
- Riley, M. S., Greeno, J. G. & Heller, J. I. (1983). Development of children's problem solving ability in arithmetic. In H. P. Ginsburg (Ed.), *The development of mathematical thinking*. New York: Academic Press.
- Rimé, B. (2009). Emotion elicits the social sharing of emotion: Theory and empirical review. *Emotion review*, 1(1), 60-85.
- Rimé, B. (2005). *Le partage social des émotions*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Rimé, B. (1999). Expressing emotion, physical health, and emotional relief: A cognitive-social perspective. *Advances in Mind-Body Medicine*, 15(3), 175-179.
- Robinson, M. D., & Clore, G. L. (2002). Episodic and semantic knowledge in emotional self-report: evidence for two judgment processes. *Journal of personality and social psychology*, 83(1), 198.
- Robutti, O., et al. (2016). ICME international survey on teachers working and learning through collaboration. *ZDM*, 48, 651-690.
- Romainville, M. (1996). L'irrésistible ascension du terme « compétence » en éducation. *Enjeux*, 37/38, p.132-142.
- Roeser, R.W., Eccles, J.S., & Sameroff, A.J. (2000). School as a context of early adolescents' academic and social-emotional development: A summary of research findings. *The Elementary School Journal*, 100(5), 443-471.
- Roseman, I. J. (2001). A model of appraisal in the emotion system: Integrating theory, research, and applications. In K. R. Scherer, A. Schorr, & T. Johnstone (Eds.), *Appraisal processes in emotion* (pp. 68–91). Oxford, UK: Oxford University Press.
- Roseman, I. J., Wiest, C., & Swartz, T. S. (1994). Phenomenology, behaviors, and goals differentiate discrete emotions. *Journal of Personality and Social Psychology*, 67(2), 206–211.
- Rosenzweig, C., Krawec, J., & Montague, M. (2011). Metacognitive strategy use of eighth-grade students with and without learning disabilities during mathematical problem solving: A think-aloud analysis. *Journal of Learning Disabilities*, 44, 508 –520.
- Roskam, I. (2012). La régulation émotionnelle chez l'enfant : Une perspective développementale. In M. Mikolajczak, & M. Deseilles (Eds.), *Traité de régulation émotionnelle* (pp. 443-457). Bruxelles: De Boeck.

- Rozendaal, J. S., Minnaert, A., & Boekaerts, M. (2001). Motivation and self-regulated learning in secondary vocational education: Information-processing type and gender differences. *Learning and Individual Differences*, 13(4), 273-289.
- Rumberger, R. W., & Rotermund, S. (2012). The relationship between engagement and high school dropout. In S. L. Christenson, A. L. Reschly, & C. Wylie (Eds.), *Handbook of Research on Student Engagement* (2, pp. 491-513). New York: Springer.
- Rusting, C. L., & Nolen-Hoeksema, S. (1998). Regulating responses to anger: Effects of rumination and distraction on angry mood. *Journal of Personality and Social Psychology*, 74(3), 790-803.
- Ryan, R.M., & Deci, E.L. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations: classic definitions and new directions. *Contemporary educational psychology*, 25(1), 54-67.
- Ryan, A. M., & Pintrich, P. R. (1997). "Should I ask for help?" The role of motivation and attitudes in adolescents' help seeking in math class. *Journal of Educational Psychology*, 89(2), 329-341.
- Saarni, C. (2000). Emotional Competence: A developmental perspective. In R. Bar-On, & J. Parker (Eds.), *Handbook of emotional intelligence: Theory, development, assessment and application at home, school, and in the workplace* (pp. 68-91). San Francisco: Jossey-Bass.
- Saboya, M. (2012). Analyse d'une didactique d'intervention autour du développement d'une activité de contrôle : stratégies d'enseignement et indicateurs de contrôle chez les élèves du secondaire. In J-L. Dorier, & S. Coutat (Eds.), *Enseignement des mathématiques et contrat social : enjeux et défis pour le 21^e siècle – Actes du colloque EMF 2012 (GT9, pp. 1246-1258).*
- Saboya, M., & Bednarz, N. (2007). Le contrôle sur l'activité mathématique comme constitutif de la rationalité en maths : élaboration d'un cadre de référence. *Revue canadienne en enseignement des mathématiques, des sciences et de la technologie*, 7(1), 1-10.
- Saboya, M., Hitt, F., & Bednarz, N. (2015). Le contrôle exercé en algèbre: conceptualisation et analyses en résolution de problèmes. *Annales de Didactique et de Sciences cognitives*, 20, 61-100.
- Saddler, B. & Graham, S. (2005). The effects of peer-assisted sentence-combining instruction on the writing performance of more and less skilled young writers. *Journal of Educational Psychology*, 97(1), 43-54.
- Sander, D., Grandjean, D., & Scherer, K.R. (2005). A system approach to appraisal mechanisms in emotion. *Emotion and Brain*, 18(4), 317-352.
- Sander, E., Levrat, B., Brissiaud, R., Porcheron, P., & Richard, R. (2003). Conceptualisation et propriétés sémantiques des situations dans la résolution de problèmes arithmétiques : rapport d'étape. Ministère de la Recherche : appel d'offres 2002, *École et Sciences Cognitives : les apprentissages et leurs dysfonctionnements*. Université Paris 8.
- Sander, D., & Scherer, K. R. (2009). La psychologie des émotions: survol des théories et débats essentiels. In D. Sander, & K.R. Scherer (Eds.), *Traité de psychologie des émotions* (pp. 1-40). Paris: Dunod.
- Santesso, D.L., Reker, D.L., Schmidt, L.A., & Segalowitz, S. (2006). Frontal electroencephalogram activation asymmetry, emotional intelligence, and externalising behaviors in 10-year-old children. *Child Psychiatry and Human Development*, 36(3), 311-328.
- Savoie-Zajc, L., & Bednarz, N. (2007). Action research and collaborative research: their specific contributions to professional development. *Educational Action Research*, 15(4), 577-596.

- Schaefer, B. A., & McDermott, P. A. (1999). Learning behavior and intelligence as explanation for children's scholastic achievement. *Journal of School Psychology, 37*, 299–313.
- Scharfe, E. (2000). Development of emotional expression, understanding, and regulation in infants and young children. In R. Bar-On, & J.D.A. Parker (Eds.), *Handbook of emotional intelligence: Theory, development, assessment and application at home, school, and in the workplace* (pp. 244-262). San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Scherer, K. R. (2009). Emotion theories and concepts (psychological perspectives). In D. Sander, & K. R. Scherer (Eds.), *Oxford companion to emotion and the affective sciences* (pp. 145-149). Oxford, UK: Oxford University Press.
- Scherer, K.R. (2005). What are emotions? And how can they be measured? *Social Science Information, 44*(4), 695-729.
- Scherer, K.R. (1999). Appraisal theory. In T. Dalgleish, & M. J. Power (Eds.), *Handbook of cognition and emotion* (pp. 637-663). Chichester, England: Wiley.
- Schiefele, U. (2009). Situational and individual interest. In K. R. Wentzel, & A. Wigfield (Eds.), *Handbook of motivation in school* (pp. 197–223). New York: Taylor Francis.
- Schmidt, S., Tinti, C., Levine, L.J., & Testa, S. (2010). Appraisals, emotions and emotion regulation: an integrative approach. *Motivation and Emotion, 34*(1), 63-72.
- Schneider, W., & Pressley, M. (1997). *Memory development between two and twenty* (2nd ed.). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Schneider, W. (1998). The development of procedural metamemory in childhood and adolescence. In G. Mazzoni, & T.O. Nelson (Eds.), *Metacognition and cognitive neuropsychology: Monitoring and Control Process* (pp. 1-21). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Schoenfeld, A.H. (1992). Learning to think mathematically: Problem solving, metacognition, and sense making in mathematics. In D. Grouws (Ed.), *Handbook for Research on Mathematics Teaching and Learning* (pp. 334-370). New-York: Macmillan.
- Schoenfeld, A.H. (1988). When good teaching leads to bad results: The disasters of “well-taught” mathematics courses. *Educational Psychologist, 23*(2), 145-166.
- Schoenfeld, A. H. (1985). *Mathematical problem solving*. Orlando, Florida: Academic Press.
- Schulte, M. J., Ree, M. J., & Carretta, T. R. (2004). Emotional intelligence: Not much more than g and personality. *Personality and Individual Differences, 37* (5), 1059-1068.
- Schunk, D.H. (2003). Self-efficacy for reading and writing: influence of modeling, goal setting, and self-evaluation. *Reading & Writing Quarterly, 19*(2), 159-172.
- Schunk, D.H. (2001). Social cognitive theory and self-regulated learning. In B.J. Zimmerman, & D.H. Schunk (Eds.), *Self-regulated learning and academic achievement: Theoretical perspectives* (pp. 125-152). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Schunk, D.H. (1998). Teaching elementary students to self-regulate practice of mathematical skills with modeling. In D.H. Schunk, & B.J. Zimmerman (Eds.), *Self-regulated learning: from teaching to self-reflective practice* (pp. 137-159). New-York, US: Guilford Publications.
- Schunk, D.H. (1989). Social cognitive theory and self-regulated learning. In B.J. Zimmerman, & D.H. Schunk (Eds.), *Self-regulated learning and academic achievement: Theory, research and practice* (pp. 83-110). New-York: Springer.
- Schunk, D. H., & Ertmer, P. A. (2000). Self-regulation and academic learning: Self-efficacy enhancing interventions. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich, & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation* (pp. 631–649). San Diego, US: Academic Press.
- Schunk, D.H., & Pajares, F. (2009). Self-efficacy theory. In K. Wentzel, & A. Wigfield (Eds.), *Handbook of motivation at school* (pp. 35-54). New York: Taylor Francis.

- Schunk, D.H., & Rice, J.M. (1987). Enhancing comprehension skills and self-efficacy with strategy value information. *Journal of Reading Behavior*, 19, 285-302.
- Schunk, D. H., & Zimmerman, B. J. (2013). Self-regulation and Learning. In W. M. Reynolds, & G. E. Miller (Eds.), *Handbook of Psychology. Educational psychology* (pp. 45–68). Hoboken, JJ: Wiley.
- Schunk, D.H., & Zimmerman, B.J. (2006). Competence and control beliefs: Distinguishing the means and ends. In P.A. Alexander, & P.H. Winne (Eds.), *Handbook of educational psychology* (2nd ed.) (pp. 349–367). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Schutz, P.A., Hong, J., Cross, D. I., & Osbon, J. N. (2006). Reflections on investigating emotion in educational activity settings. *Educational Psychology Review*, 18, 343–360.
- Schutz, P. A., & Pekrun, R. (2007). *Emotion in education*. San Diego, CA, US: Elsevier Academic Press.
- Schwartz, B.L. (1994). Sources of information in metamemory: Judgments of learning and feelings of knowing. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1(3), 357-375.
- Seaton, M., Parker, P., Marsh, H.W., Craven, R.G. & Yeung, A.S. (2014). The reciprocal relations between self-concept, motivation and achievement: juxtaposing academic self-concept and achievement goal orientations for mathematics success. *Educational Psychology*, 34(1), 49-72.
- Seegers, G., & Boekaerts, M. (1996). Gender-related differences in self-referenced cognitions in relation to mathematics. *Journal for Research in Mathematics*, 27(2), 215-240.
- Segool, N.K., Carlson, J.S., Goforth, A.N., von der Embse, N., & Barterian, J.A. (2013). Heightened test anxiety among young children: elementary school students' anxious responses to high-stakes testing. *Psychology in the Schools*, 50(5), 489-499.
- Selden, A., & Selden, J. (1997). *What does it take to be an expert problem solver?* Récupéré le 6 janvier. 2017, http://www.maa.org/t_and_l/sampler/rs_4.html.
- Shuman, V., & Scherer, K. R. (2014). Concepts and structures of emotions. In R. Pekrun, & L. Linnenbrink-Garcia (Eds.), *International handbook of emotions in education* (pp. 13-35). New York: Taylor & Francis.
- Schutz, P., & Davis, H. A. (2000). Emotions and self-regulation during test taking. *Educational Psychologist*, 35, 243–256.
- Sierpinska, A., Bobos, G., & Knipping, C. (2008). Sources of students' frustration in pre-university level, prerequisite mathematics courses. *Instructional Science*, 36(4), 289-320.
- Sifneos, P.E. (1973). The prevalence of alexithymic characteristics in psychosomatic patients. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 22(2-6), 255-262.
- Sillamy, N. (1980). *Dictionnaire encyclopédique de psychologie* (Vols. 1–2) Montreal: Bordas.
- Simpkins, S. D., Davis-Kean, P. E., & Eccles, J. S. (2006). Math and science motivation: A longitudinal examination of the links between choices and beliefs. *Developmental Psychology*, 42(1), 70–83.
- Skaalvik, S., & Skaalvik, E.M. (2004). Gender differences in Math and verbal self-concept, performance exceptions and motivation. *Sex roles. A journal of Research*, 50(3-4), 241-252.
- Skemp, R. (1978). Relation understanding and instrumental understanding. *The Arithmetic Teacher*, 26(3), 9-15.
- Skinner, E.A., Edge, K., Altman, J., & Sherwood, H. (2003). Searching for the structure of coping: A review and critique of category systems for classifying ways of coping. *Psychological Bulletin*, 129(2), 216-269.

- Skinner, E., Furrer, C., Marchand, G., & Kindermann, T. (2008). Engagement and disaffection in the classroom: Part of a larger motivational dynamic. *Journal of Educational Psychology*, 100, 765–781.
- Slavin, R.E. (2008). Perspectives on evidence-based research in education: what works? Issues in synthesizing educational program evaluations. *Educational Researcher*, 37(1), 5-14.
- Sorić, I., Penezić, Z. & Burić, I. (2013). Big five personality traits, cognitive appraisals and emotion regulation strategies as predictors of achievement emotions. *Psihologijske teme*, 22(2), 325-349.
- Soussi, A., Ducrey, F., Ferrez, E., Nidegger, C., & Viry, G. (2006). *Pratiques d'évaluation : ce qu'en disent les enseignants (à l'école obligatoire et dans l'enseignement postobligatoire général)*. Rapport du service de la recherche en éducation, Université de Genève.
- Spielberger, C.D., Anton, W.O., & Bedell, J. (1976). The nature and treatment of test anxiety. In M. Zuckerman, & C.D. Spielberger (Eds.), *Emotions and anxiety: New concepts, methods, and applications* (pp. 317-344). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Staub, F. C., & Reusser, K. (1995). The role of presentational structures in understanding and solving mathematical word problems. In C. A. Weaver, S. Mannes, & C. R. Fletcher (Eds), *Discourse comprehension. Essays in honor of Walter Kintsch* (pp. 286-305). Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum.
- Staub, F. C., & Stern, E. (2002). The nature of teachers' pedagogical content beliefs matters for students' achievement gains: Quasi-experimental evidence from elementary mathematics. *Journal of Educational Psychology*, 94, 344–355.
- Steinmayr, R., and Spinath, B. (2008). Sex differences in school achievement: what are the roles of personality and achievement motivation? *European Journal of personality*, 22(3), 185–209.
- Stipek, D. J., & Gralinski, J. H. (1991). Gender differences in children's achievement-related beliefs and emotional responses to success and failure in mathematics. *Journal of Educational Psychology*, 83(3), 361-371.
- Stoeger, H., & Ziegler, A. (2011). Self-regulatory training through elementary-school students' homework completion. In B. Zimmerman, & D. Schunk (Eds.), *Handbook of self-regulation of learning and performance* (pp. 87-101). New-York: Routledge.
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. Berlin: Springer.
- Tardif, J. (1992). *Pour un enseignement stratégique : l'apport de la psychologie cognitive*. Montréal : Editions Logiques.
- Theis, L., & Gagnon, N. (2010). Enjeux et limites de la contextualisation en enseignement des mathématiques: points de vue d'une praticienne et d'un chercheur. *Bulletin AMQ*, 50(4), 59–65.
- Thevenot, C., Devidal, M., Barrouillet, P. & Fayol, M. (2007). Why does placing the question before an arithmetic word problem improve performance? A situation model account. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 60(1), 43-56.
- Thevenot, C., & Oakhill, J. (2008). A generalization of the representational change theory from insight to non-insight problems: *The case of arithmetic word problems*. *Acta Psychologica*, 129(3), 315-324.
- Thiede, K.W., & Dunlosky, J. (1994). Delaying students' metacognitive monitoring improves their accuracy in predicting their recognition performance. *Journal of Educational Psychology*, 86(2), 290-302.
- Thomsen, D.K. (2006). The association between rumination and negative affect: a review. *Cognition and Emotion*, 20(8), 1216-1235.

- Thorndike, E.L. (1920). Intelligence and its use. *Harper's Magazine*, 140, 227-235.
- Tibshirani, R., & Walther, G. (2005). Cluster validation by prediction strength. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 14(3), 511-528.
- Topping, K. (2011). Primary-secondary transition: differences between teachers' and children's perceptions. *Improving schools*, 14(3), 268-285.
- Torbeyns, J., De Smedt, B., Stassens, N., Ghesquière, P., & Verschaffel, L. (2009). Solving subtracting problems by means of indirect addition. *Mathematical Thinking and Learning*, 11(1), 79-91
- Turner, J. E., Husman, J., & Schallert, D. L. (2002). The importance of students' goals in their emotional experience of academic failure: Investigating the precursors and consequences of shame. *The Educational Psychologist*, 37(2), 79-89.
- Turner, S. C., Meyer, D. K., & Schweinle, A. (2003). The importance of emotion in theories of motivation: Empirical, methodological, and theoretical considerations from a goal theory perspective. *International Journal of Educational Research*, 39(4), 375-393..
- Turner, J.E., & Schallert, D.L. (2001). Expectancy-value relationships of shame reactions and shame resiliency. *Journal of Educational Psychology*, 93(2), 320-329.
- Tzohar-Rozen, M., & Kramarski, B. (2017). Meta-cognition and meta-affect in young students: does it make a difference on mathematical problem solving? *Teachers College Record*, 119(13).
- Tzohar-Rozen, M., & Kramarski, B. (2014). Metacognition, motivation, and emotion: contribution of self-regulated learning to solving mathematical problems. *Global Education Review*, 1(4), 76-95.
- Urdan, T., Solek, M., & Schoenfelder, E. (2007). Students' perceptions of family influences on their academic motivation: A qualitative analysis. *European Journal of Psychology of Education*, 22(1), 7-21.
- Usher, E. L., & Pajares, F. (2009). Sources of self-efficacy in mathematics: A validation study. *Contemporary educational psychology*, 34(1), 89-101.
- Vaillancourt, M. È., & Bouffard, T. (2009). Illusion d'incompétence, attitudes dysfonctionnelles et distorsions cognitives chez des élèves du primaire. *Revue canadienne des sciences du comportement*, 41(3), 151.
- Vaismoradi, M., Turunen, H., & Bondas, T. (2013). Content analysis and thematic analysis: implications for conducting a qualitative descriptive study. *Nursing & Health Sciences*, 15(3), 398-405.
- Valentine, J.C., DuBois, D.L., & Cooper, H. (2004). The relation between self-beliefs and academic achievement: a meta-analytic review. *Educational Psychologist*, 39(2), 111-133.
- Van den Heuvel-Panhuizen, M. (2003). The didactical use of models in realistic mathematics education: an example from a longitudinal trajectory on percentage. *Educational Studies in Mathematics*, 54(1), 9-35.
- Van den Heuvel-Panhuizen, M. (1996). *Assessment and Realistic Mathematics Education*. Utrecht, The Netherlands: Press/ Freudenthal Institute.
- Van den Heuvel-Panhuizen, M., & Drijvers, P. (2014). Realistic Mathematics Education. In S. Lerman (Ed.), *Encyclopedia of Mathematics Education* (pp. 521-525). Dordrecht: Springer.
- Van der Maren, J.-M. (1996). *Méthodes de recherche pour l'éducation* (2e éd.). Bruxelles: De Boeck Université.
- Van der Sandt, S. (2007). Research framework on mathematics teacher behaviour: Koehler and Grouws' framework revisited. *Eurasia Journal of mathematics, Science & Technology*, 3(4), 343-350.

- Van der Stel, M., Veenman, M.V.J., Deelen, K., & Haenen, J. (2010). The increasing role of metacognitive skills in math: A cross-sectional study from a developmental perspective. *ZDM*, 42(2), 219-229.
- Van der Zee, K., Thijs, M., & Schakel, L. (2002). The relationship of emotional intelligence with academic intelligence and the Big Five. *European Journal of Personality*, 16(2), 103-125.
- Van Dijk, T. A., & Kintsch, W. (1983). *Strategies of discours comprehension*. New York : Academic Press.
- Van Dooren, W., De Bock, D., Janssens, D., & Verschaffel, L. (2005). Students' overreliance on linearity: An effect of school-like word problems? In H.L. Chick, & J.L. Vincent (Eds.), *Proceedings of the 29th PME International Conference* (pp. 265-272). Melbourne: PME.
- Van Dooren, W., Verschaffel, L., Greer, B., & De Bock, D. (2006). Modelling for life: Developing adaptive expertise in mathematical modelling from an early age. In L. Verschaffel, F. Dochy, M. Boekaerts, & S. Vosniadou (Eds.), *Instructional psychology: Past, present, and future trends. Sixteen essays in honour of Erik De Corte* (pp. 91 -112). Oxford, UK: Elsevier.
- Van Dooren, W., Verschaffel, L., Greer, B., De Bock, D., Crahay, M. (2010). La modélisation des problèmes mathématiques. In M. Crahay, & M. Dutrévis (Eds.), *Psychologie des apprentissages scolaires (2e édition, chap. 8, pp. 199-220)*. Bruxelles: De Boeck.
- Van Merriënboer, J. J., & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*, 17(2), 147-177.
- Van Nieuwenhoven, C., & Colognesi, S. (2015). Une recherche collaborative sur l'accompagnement des futurs instituteurs : un levier de développement professionnel pour les maîtres de stage. *Evaluer. Journal international de Recherche en Education et Formation*, 1(2), pp. 103-121.
- Vantourout, M., & Goasdoué, R. (2014). Approches et validité psycho-didactique des évaluations. *Éducation et Formation*, 302, 139-156.
- Vause, A. (2009). Les croyances et connaissances des enseignants à propos de l'acte d'enseigner. Vers un cadre d'analyse. *Les Cahiers de Recherche en Education et Formation*, 66(1), 1-33.
- Veenman, M.V.J. (2010). Learning to self-monitor and self-regulate. In R.E. Mayer, & P.A. Alexander (Eds.), *Handbook of research on learning and instruction* (pp.197-218). New-York: Routledge.
- Veenman, M. V. J., Elshout, J. J. & Groen, M. G. M. (1993). Thinking aloud: does it affect regulatory processes in learning? *Tijdschrift voor Onderwijsresearch*, (18), 322-330.
- Veenman, M.V.J., Van Hout-Wolters, B., & Afflerbach, P. (2006). Metacognition and learning: conceptual and methodological considerations. *Metacognition Learning*, 1(1), 3-14.
- Vergnaud, G. (1975). Calcul relationnel et représentation calculable. *Bulletin de psychologie*, 28(315), 378-387.
- Verschaffel, L. & De Corte, E. (1997). Teaching realistic mathematical modeling and problem solving in the elementary school. A teaching experiment with fifth graders. *Journal for Research in Mathematics Education*, 28, 577-601.
- Verschaffel, L., De Corte, E., & Borghart, I. (1997). Pre-service teachers' conceptions and beliefs about the role of real-world in mathematical modelling of school word problems. *Learning and Instruction*, 7(4), 339-360.

- Verschaffel, L., De Corte, E. & Lasure, S. (1994). Realistic considerations in mathematical modelling of school arithmetic word problems. *Learning and instruction*, 4, 273-294.
- Verschaffel, L., De Corte, E., Lasure, S., Van Vaerenbergh, G., Bogaerts, H., et al. (1999). Learning to solve mathematical application problems: A design experiment with fifth graders. *Thinking and learning*, 1(3), 195-229.
- Verschaffel, L., Greer, B., & De Corte, E. (2000). *Making sense of word problems*. Lisse, Hollande: Swets & Zeitlinger.
- Verschaffel, L., Greer, B., & Van Dooren, W. (2008). La résolution de problèmes. In A. Van Zanten (Ed.), *Dictionnaire de l'éducation* (pp 588-590). Paris : P.U.F., Presses universitaires de France.
- Verschaffel, L., Torbeyns, J., De Smedt, B., Luwel, K. & Van Dooren, W. (2007). Strategy flexibility in children with low achievement in mathematics. *Educational and Child Psychology*, 24(2), 16-27.
- Viau, R. (2009). *La motivation en contexte scolaire*. Bruxelles: De Boeck Université.
- Viau, R., & Bouchard, J. (2000). Validation d'un modèle de dynamique motivationnelle auprès d'élèves du secondaire. *Canadian Journal of Education*, 25(1), 16-26.
- Viguer, P., Cantero, M.J. and Bañuls, R. (2017) Enhancing emotional intelligence at school: Evaluation of the effectiveness of a two-year intervention program in Spanish pre-adolescents, *Personality and Individual Differences*, 113, 193-200.
- Vlassis, J., Gamo, S., & Bertemes, J. (2015). Résultats PISA 2012 à la loupe. Analyse qualitative de réponses d'élèves luxembourgeois en mathématiques et pistes didactiques. *Document présenté au colloque de l'Admée dans le cadre du réseau thématique EVADIDA*, Liège.
- Vlassis, J., Mancuso, G. & Poncelet, D. (2014). Le rôle des problèmes dans l'enseignement des mathématiques : analyse des croyances d'enseignants du primaire. *Les cahiers des Sciences de l'Education*, 36, 143-175.
- Voyer, D. (2011). Performance in mathematical problem solving as a function of comprehension and arithmetic skills. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 9(5), 1073–1092.
- Vrugt, A., & Oort, F. J. (2008). Metacognition, achievement goals, study strategies and academic achievement: Pathways to achievement. *Metacognition and Learning*, 3, 123–146.
- Wang, M. T. (2012). Educational and career interests in math: A longitudinal examination of the links between classroom environment, motivational beliefs, and interests. *Developmental Psychology*, 48(6), 1643-1657.
- Wang, M. T. (2009). School support for behavioral and psychological adjustment: Testing the mediating effect of social competence. *School Psychology Quarterly*, 24(4), 240–251.
- Watt, H. (2004). Development of adolescents' self-perceptions, values, and task perceptions according to gender and domain in 7th through 11th grade Australian students. *Child Development*, 75(5), 1556–1574.
- Watt, J. D., & Vodanovich, S. J. (1999). Boredom proneness and psychosocial development. *The Journal of Psychology: Interdisciplinary and Applied*, 133(3), 303–314.
- Wayne, A. J., & Youngs, P. (2003). Teacher characteristics and student achievement gains: A review. *Review of Educational research*, 73(1), 89-122.
- Weiner, B. (2014). The attribution approach to emotion and motivation: History, hypotheses, home runs, headaches/heartaches. *Emotion Review*, 6, 353–361.
- Weiner, B. (1985). An attribution theory of achievement motivation and emotion. *Psychological Review*, 92(4), 548–573.

- Weiner, B. (1979). A theory of motivation for some classroom experiences. *Journal of Educational Psychology*, 71, 3-25.
- Weinstein, C.E., Husman, J., & Dierking, D.R. (2000). Self-regulated interventions with a focus on learning strategies. In M. Boekaerts, P.R. Pintrich, & Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation* (pp. 728-744). San Diego, CA: Academic Press.
- West, S. G., Biesanz, J. C., & Pitts, S. C. (2000). Causal inference and generalization in field settings: Experimental and quasi-experimental designs. In C. M. Judd, & H. T. Reis (Eds.), *Handbook of research methods in social and personality psychology* (pp. 40 – 84). New York: Cambridge University Press.
- West, P., Sweeting, H., & Young, R. (2010). Transition matters: pupils' experiences of the primary-secondary school transition in the West of Scotland and consequences for well-being and attainment. *Research Papers in Education*, 25(1), 21-50.
- Whitebread, D., Coltman, P., Pasternak, D.P., Sangster, C., Grau, V., et al. (2009). The development of two observational tools for assessing metacognition and self-regulated learning in young children. *Metacognition and Learning*, 4(1), 63-85.
- Wigfield, A., Battle, A., Keller, L. B., & Eccles, J. S. (2002). Sex differences in motivation, self-concept, career aspiration and career choice: Implications for cognitive development. In A. McGillicuddy-De Lisi, & R. De Lisi (Eds.), *Biology, society, and behavior: The development of sex differences in cognition* (pp. 93–124). Greenwich, CT: Ablex.
- Wigfield, A., Byrnes, J. P., & Eccles, J. S. (2006). Development during early and middle adolescence. In P. Alexander & P. Winne (Eds.), *Handbook of educational psychology (2nd Ed.)*. New York: Macmillan Publishing.
- Wigfield, A., & Cambria, J. (2010). Students' achievement values, goal orientations, and interest: Definitions, development, and relations to achievement outcomes. *Developmental Review*, 30(1), 1–35.
- Wigfield, A., Harold, R. D., Freedman-Doan, C., Eccles, J. S., Yoon, K. S., Arbretton, A. J. A., et al. (1997). Change in children's competence beliefs and subjective task values across the elementary school years: A three-year study. *Journal of Educational Psychology*, 89(3), 451–470.
- Wigfield, A., Hoa, L. W., & Klauda, S. L. (2008). The role of achievement values in the regulation of achievement behaviors. In D. H. Schunk, & B. J. Zimmerman (Eds.), *Motivation and self-regulated learning: Theory, research, and applications* (pp. 169–195). New York: Taylor & Francis.
- Wigfield, A., Klauda, S.L., & Cambria, J. (2011). Influences on the development of academic self-regulatory processes. In B. Zimmerman, & D. Schunk (Eds.), *Handbook of self-regulation of learning and performance* (pp.33-48). New-York: Routledge.
- Wigfield, A., & Meece, J.L. (1988). Math anxiety in elementary and secondary school students. *Journal of Educational Psychology*, 80(2), 210-216.
- Wilkins, J. L. (2008). The relationship among elementary teachers' content knowledge, attitudes, beliefs, and practices. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 11(2), 139-164.
- Williams, L. A., & DeSteno, D. (2008). Pride and perseverance: The motivational role of pride. *Journal of Personality and Social Psychology*, 94(6), 1007-1017.
- Willig, C. (2013). *Introducing qualitative research in psychology (3th ed.)*. Buckingham, UK : Open University Press.
- Winne, P.H. (1996). A metacognitive view of individual differences in self-regulated learning. *Learning and individual differences*, 8(4), 327-353.

- Winne, P. H. (2001). Self-regulated learning viewed from models of information processing. In B. Zimmerman, & D. Schunk (Eds.), *Self-regulated learning and academic achievement: Theoretical perspectives* (pp. 153–189). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Winne, P.H. & Jamieson-Noel, D. (2002). Exploring students' calibration of self-reports about study tactics and achievement. *Contemporary Educational Psychology*, 27(4), 551-572.
- Winne, P.H., & Perry, N.E. (2000). Measuring self-regulated learning. In M. Boekaerts, P.R. Pintrich & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation: Theory, research, and applications* (pp. 750-768). San Diego, CA: Academic Press.
- Wolters, C.A. (2003). Regulation of motivation: Evaluating an underemphasized aspect of self-regulated learning. *Educational Psychologist*, 38(4), 189-205.
- Wolters, C.A., & Pintrich, P.R. (1998). Contextual differences in student motivation and self-regulated learning in mathematics, English, and social studies classrooms. *Instructional Science*, 26(1), 27-47.
- Wolters, C.A., & Rosenthal, H. (2000). The relation between students' motivational beliefs and their use of motivational regulation strategies. *International Journal of Educational Research*, 33(7-8), 801-820.
- Wolters, C.A., Yu, S.L., & Pintrich, P.R. (1996). The regulation between goal orientation and students' motivational beliefs and self-regulated learning. *Learning and Individual Differences*, 8(3), 211-238.
- Wu, S.S., Barth, M., Amin, H., Malcarne, V., & Menin, V. (2012). Math anxiety in second and third graders and its relation to mathematics achievement. *Frontiers in Psychology*, 3(162).
- Wu, S.S., Willcutt, E.G., Escovar, E & Menon, V. (2014). Mathematics achievement and anxiety and their relation to internalizing and externalizing behaviors. *Journal of Learning Disabilities*, 47(6), 503-514.
- Yackel, E., & Cobb, P. (1996). Socio-mathematical norms, argumentation, and autonomy in mathematics. *Journal for Research in Mathematics Education*, 27(4), 458-477.
- Yin, R. K. (1994). Discovering the future of the case study method in evaluation research. *Evaluation practice*, 15(3), 283-290.
- Yin, R.K. (2011). *Qualitative Research from Start to Finish*. The Guilford Press, New York.
- Younès, N., & Gaime, E. (2012). L'évaluation formative en contexte : points de vue d'enseignants, points de vue d'élèves. *Diversité, VEi*, 161-166.
- Zeidner, M. (1998). *Test anxiety: the state of the art*. New York, NY: Plenum.
- Zeidner, M. (2007). Test anxiety in educational contexts: Concepts, findings, and future directions. In P. A. Schutz, & R. Pekrun (Eds.), *Emotion in education* (pp.165–184). San Diego, US: Elsevier Academic Press.
- Zeidner, M., Boekaerts, M., & Pintrich, P. R. (2000). Self-regulation: Directions and challenges for future research. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich, & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation* (pp. 749-768). New York: Academic Press.
- Zhou, J. (2015). International students' motivation to pursue and complete a Ph.D. in the U.S. *Higher Education*, 69(5), 719-733.
- Zimmerman, B.J. (1989). A social cognitive view of self-regulated learning. *Journal of Educational Psychology*, 81(3), 329–39.
- Zimmerman, B.J. (2001). Theories of self-regulated learning and academic achievement: an overview and analysis. In B. Zimmerman, & D.H. Schunk (Eds.), *Self-regulated learning and academic achievement: theoretical perspectives* (pp. 1-36). New-York: Routledge.

- Zimmerman, B.J. (2011). Motivational sources and outcomes of self-regulated learning and performance. In B. Zimmerman, & D. Schunk (Eds.), *Handbook of self-regulation of learning and performance* (pp.49-64). New-York: Routledge.
- Zimmerman, B.J., & Campillo, M. (2003). Motivating self-regulated problem solvers. In J.E. Davidson, & R.J. Sternberg (Eds.), *the psychology of problem solving* (pp. 233-262). New-York: Cambridge University Press.
- Zimmerman, B., & Martinez-Pons, M. (1990). Student differences in self-regulated learning: Relating grade, sex, and giftedness to self-efficacy and strategy use. *Journal of Educational Psychology*, 82, 51–59.
- Zimmerman, B. J., & Ringle, J. (1981). Effects of model persistence and statements of confidence on children's self-efficacy and problem solving. *Journal of Educational Psychology*, 73(4), 485-493.

Annexes

Annexe 1

Analyses complémentaires à la recherche présentée au chapitre 7

1. Différences en termes d'émotions

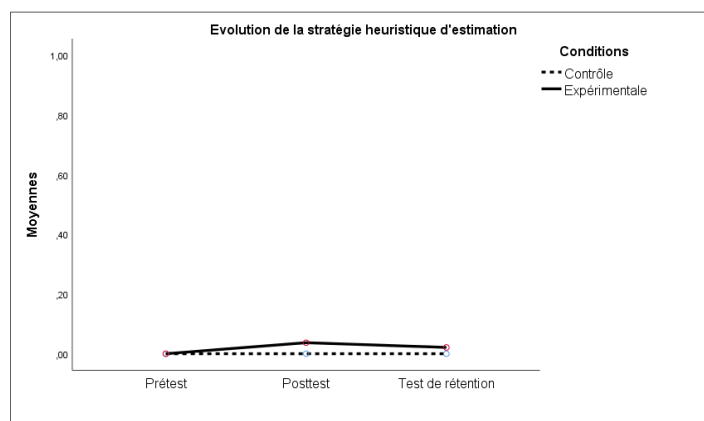
Nous proposons ici de comparer l'évolution (entre le prétest, le post-test et le test de rétention) des deux conditions (contrôle vs. expérimentale) au niveau des émotions ressenties. Les émotions des élèves ont été mesurées via un questionnaire proposant 11 illustrations. Ces dernières couvrent les émotions positives (plaisir, fierté, soulagement) et négatives (ennui, peur, colère, désespoir, honte, inquiétude, nervosité, frustration) les plus fréquemment ressenties par les élèves du début du secondaire en mathématique (Ahmed, Minnaert, van der Werf & Kuyper, 2013 ; Frenzel, Pekrun & Goetz, 2007 ; Op't Eynde, De Corte & Mercken, 2004). Il était demandé à l'apprenant d'indiquer la fréquence à laquelle il éprouve chacune de ces émotions à l'aide d'une échelle de Likert en 5 points (1= *jamais* à 5 = *toujours*). Les analyses montrent que les deux groupes présentent une évolution semblable pour les 11 émotions mesurées (ennui : $F(1,105) = 1.11, p=.33$; peur : $F(1,105) = 1.41, p=.25$; colère : $F(1,105) = 1.94, p=.15$; désespoir : $F(1,105) = .15, p=.86$; honte : $F(1,105) = .38, p=.68$; inquiétude : $F(1,105) = 2.14, p=.12$; nervosité : $F(1,105) = 1.27, p=.28$; frustration : $F(1,105) = .72, p=.49$; soulagement : $F(1,105) = 1.87, p=.16$; plaisir : $F(1,105) = .002, p=1.00$; fierté : $F(1,105) = 1.33, p=.27$).

2. Que révèlent les différences non significatives entre les deux conditions ?

Le fait qu'il n'y ait pas de différence significative d'évolution entre les deux conditions (contrôle vs. expérimentale) signifie soit que les deux conditions n'ont pas évolué sur la dimension concernée (droite constante), soit qu'elles ont évolué de la même façon (droites croissantes ou décroissantes de mêmes pentes). Il s'agit de deux informations complètement différentes. Dans le premier cas, cela signifie qu'aucune des interventions dispensées n'a eu d'effet, dans le second cas, cela indique que les deux interventions sont efficaces. Dans le second cas, cela veut dire que travailler la résolution de problèmes, hebdomadairement, de façon traditionnelle, sur un certain laps de temps, induit déjà un changement. Nous avons examiné cette question en comparant les évolutions graphiques des deux conditions pour les variables pour lesquelles aucune différence entre les groupes n'a été observée. Nos analyses complémentaires sont présentées ci-après.

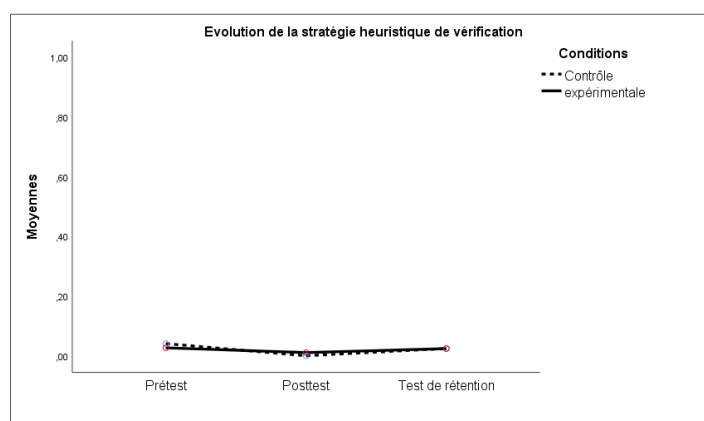
2.1 La stratégie heuristique d'anticipation

Le graphe ci-contre met en évidence deux courbes relativement constantes, indiquant qu'aucune des deux conditions n'a eu d'effet sur la fréquence d'utilisation de la stratégie d'anticipation.



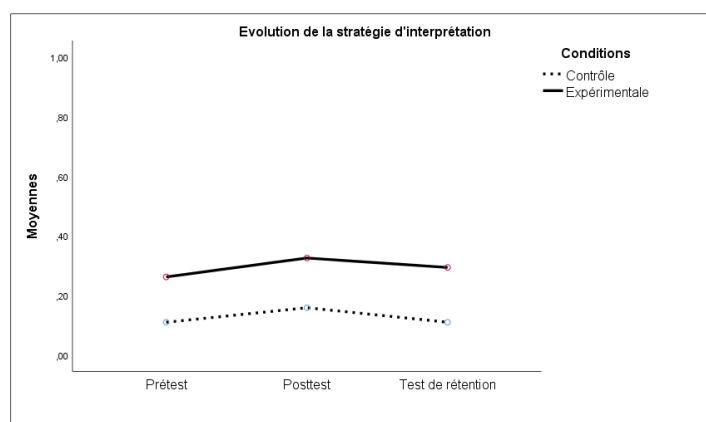
2.2 La stratégie heuristique de vérification

Comme pour l'anticipation, les deux courbes sont relativement constantes, signe que les apprenants, tant dans la condition expérimentale que dans la condition contrôle, n'ont pas évolué sur cette dimension.



2.3 La stratégie heuristique d'interprétation

Le graphe ci-dessous laisse présager une augmentation de l'utilisation de la stratégie consistant à interpréter le résultat mathématique entre T1 et T2 et une baisse d'utilisation de cette même stratégie entre T2 et T3. La question se pose de savoir si ces inclinaisons sont significatives.

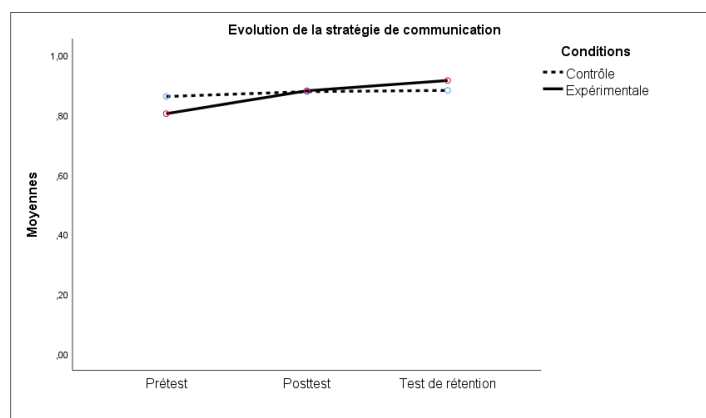


Le tableau ci-dessous informe de la nature constante des deux courbes et donc de l'absence d'évolution en termes de fréquence d'utilisation de la stratégie d'interprétation, tant pour les élèves dans la condition expérimentale que pour ceux dans le groupe contrôle.

Evolution	Condition contrôle	Condition expérimentale
Prétest-Post-test	$F(1,40) = 1.00, p = .32$	$F(1,62) = 2.23, p = .14$
Post-test-Test de rétention	$F(1,40) = 2.05, p = .16$	$F(1,62) = .47, p = .50$
Prétest-Test de rétention	$F(1,40) = 0.00, p = 1.00$	$F(1,62) = .42, p = .52$

2.4 La stratégie heuristique de communication

Le graphique semble indiquer une évolution croissante dans la fréquence d'utilisation de la stratégie de communication par le groupe expérimental.

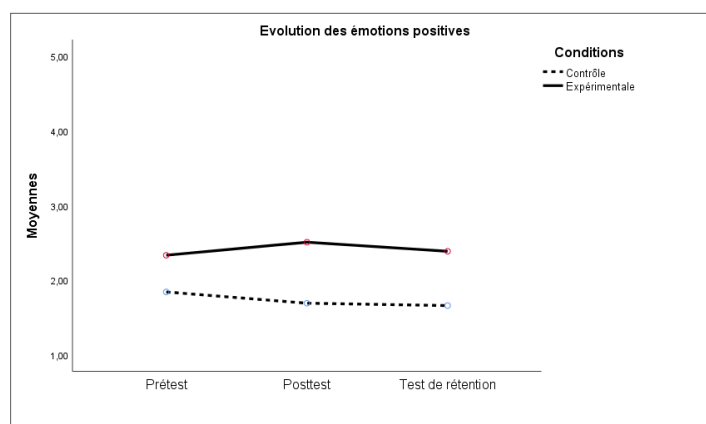


Les données synthétisées dans le tableau ci-dessous permettent de répondre à la question de la significativité de cette évolution. Plus précisément, les résultats montrent une augmentation de la fréquence d'utilisation de la stratégie de communication entre le prétest et le test de rétention par les élèves dans la condition expérimentale.

Evolution	Analyses de variance
Prétest-Post-test	$F(1,64) = 2.682, p = .11$
Post-test-Test de rétention	$F(1,62) = 1.220, p = .27$
Prétest-Test de rétention	$F(1,64) = 7.631, p = .008, \eta^2 = .11$

3. Les émotions positives

Le graphe ci-contre semble mettre en évidence une courbe relativement constante, tant pour la condition contrôle que pour la condition expérimentale.

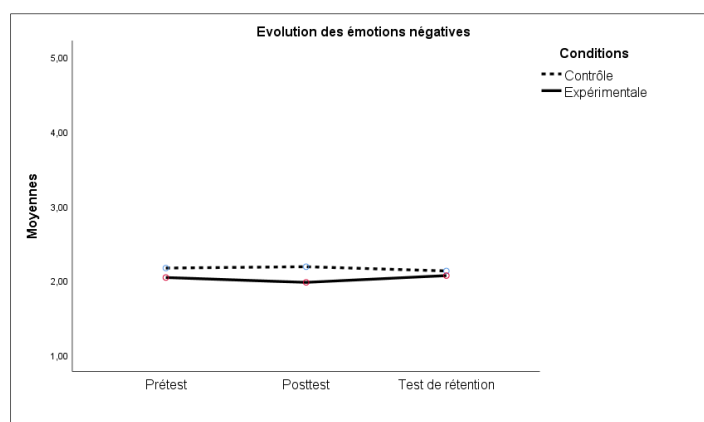


Le tableau ci-dessous confirme la nature constante des deux courbes et donc l'absence d'évolution en termes d'émotions positives, tant pour les élèves dans la condition expérimentale que pour ceux dans le groupe contrôle.

Evolution	Condition contrôle	Condition expérimentale
Prétest-Post-test	$F(1,40) = 1.89, p = .18$	$F(1,62) = 2.24, p = .14$
Post-test-Test de rétention	$F(1,40) = .10, p = .78$	$F(1,62) = 1.60, p = .21$
Prétest-Test de rétention	$F(1,40) = 1.88, p = .18$	$F(1,62) = .15, p = .70$

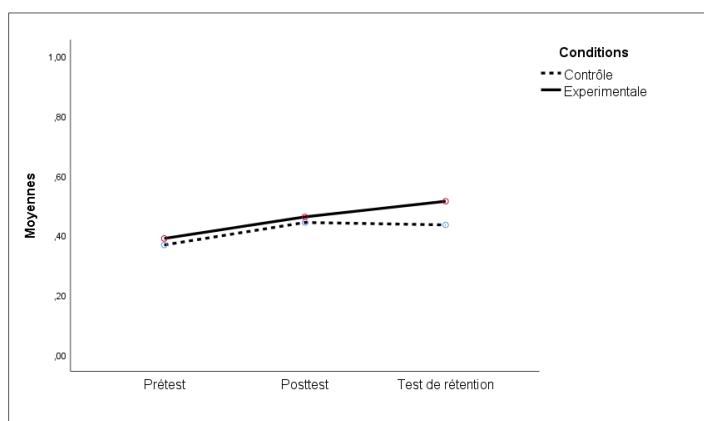
4. Les émotions négatives

Le graphe ci-contre met en évidence deux courbes relativement constantes, indiquant qu'aucune des deux conditions n'a évolué entre le prétest, post-test et test de rétention, en termes d'émotions négatives.



5. Les performances en résolution de problèmes

Le graphe ci-contre semble indiquer une évolution croissante des performances.



Les données synthétisées dans le tableau ci-dessous permettent de répondre à la question de la significativité de cette évolution. Plus précisément, les résultats montrent une augmentation des performances des élèves dans la condition expérimentale. Cette augmentation n'apparaît cependant qu'au test de rétention.

Evolution	Condition contrôle	Condition expérimentale
Prétest-Post-test	$F(1,40) = 2.74, p = .11$	$F(1,62) = 3.65, p = .06$
Post-test-Test de rétention	$F(1,40) = .07, p = .79$	$F(1,62) = 1.86, p = .18$
Prétest-Test de rétention	$F(1,40) = 2.32, p = .14$	$F(1,62) = 14.87, p < .001, \eta^2 = .15$

Annexe 2

Informations complémentaires relatives à la recherche présentée au chapitre 8

1. Analyse des échelles du CERQ-child, du COPE et du CERS-M à la lumière des composantes du processus de génération d'une émotion

Component of the emotion generative process (Gross, 1998; Mikolajczak, 2012)	Subscales of the CERQ-Child (Garnefski et al., 2007)	Subscales of the COPE-questionnaire (Op't Eynde et al., 2011)	Subscales of the CERS-M
Situation selection			- Task utility self-persuasion (e.g., "Even if I do not like it very much, I still try to solve the problem because it is useful for me"). - Dysfunctional avoidance (e.g., "In order not to live through an unpleasant time, I tell myself that I will solve the problem later")
Situation modification	Planning (e.g., "I think about what would be the best for me to do")	- Active coping (e.g., "I concentrate my efforts on doing something about the problem") - Planning (e.g., "I think hard about what steps to take") - Restraint coping (e.g., "I'm not doing anything until the time is right") - Seeking support for instrumental reasons (e.g., "I ask people who have had similar experiences what they did")	- Help seeking (e.g., "I ask the teacher to help me to solve the problem") - Negative self-talk (e.g., "I say to myself that I have always had difficulty in solving math problems and that it is not going to change")
Attentional deployment	Rumination (e.g., "Again and again, I think of how I feel about it") Positive refocusing (e.g., "I think of nicer things that have nothing to do with it")	- Suppression of competing activities (e.g., "I concentrate on the resolution of the problem and I put the other things on the side") - Denial (e.g., "I say to myself that it is not true") - Mental disengagement (e.g., "I dream about things other than this") - Behavioral disengagement (e.g., "I give up trying to reach my goal") - Turning to religion (e.g., "I believe in God's help")	- Brief attentional relaxation (e.g., "I take small breaks –looking out the window, breathing deeply, etc.— when I solve math problems") - Negative self-talk (e.g., "I'm focusing on the anger, sadness, boredom or despair that I feel and I can no longer continue to solve the problem")

Component of the emotion generative process (Gross, 1998; Mikolajczak, 2012)	Subscales of the CERQ-Child (Garnefski et al., 2007)	Subscales of the COPE-questionnaire (Op't Eynde et al., 2011)	Subscales of the CERS-M
Cognitive change	- Positive reappraisal (e.g., "I think that I can learn from it") - Putting into perspective (e.g., "I think that worse things can happen") - Other-blame (e.g., "I think that others are to blame") - Self-blame (e.g., "I think that I am to blame") - Catastrophizing (e.g., "I often think that it's much worse than what happens to others") - Acceptance (e.g., "I think that I have to accept it")	- Positive reinterpretation and growth (e.g., "I look for something positive in what is happening") - Acceptance (e.g., "I accept the fact that it happens") - Joking (e.g., "I laugh at the situation")	- Task utility self-persuasion (e.g., "Even if I dislike solving math problems, I tell myself that it is important to do so in order to be able to understand them and thereby to succeed"). - Negative self-talk (e.g., "I tell myself that it is terrible not being able to solve the problem and that I am sure that it only happens to me")
Response modulation		- Alcohol-drug disengagement (e.g., "I consume alcohol or drugs to feel better")	- Brief attentional relaxation (e.g., "I put down my pen a few seconds and stretch my arms").
Emotion expression		- Seeking support for emotional reasons (e.g., "I talk to someone about how I feel") - Seeking support for instrumental reasons (e.g., "I ask people who have had similar experiences what they did") - Focus on and venting emotions (e.g., "I am upset and I express my emotions")	- Emotion expression (e.g., "I tell my neighbor that the problem makes me angry, sad, hopeless, or bored")

Note. Strategies in *italic* aren't appropriate for elementary and secondary students.

2. Preuves de la validité du CERS-M récoltées sur d'autres échantillons

Comme illustré dans le tableau ci-dessous, la cohérence interne des échelles du CERS-M ainsi que les différents indices d'ajustement, mesurés auprès d'autres groupes d'élèves, attestent de la solidité du modèle. Effectivement, si le « Parsimony Comparative Fit Index (PCFI) » est en deça du seuil toléré, cet indice pénalise les modèles plus complexes. Dans le cas présent, la complexité du modèle est justifiée par la pertinence psychologique des différentes dimensions du CERS-M.

Taille de l'échantillon	Profils des apprenants	Alphas de Cronbach	Analyse confirmatoire (SEM)
N = 442 (Jeu de données 1)	Tout profil confondu	Emotion expression : .64 Task utility self-persuasion : .69 Negative self-talk : .77 Help seeking: .74 Brief attentional relaxation: .60 Dysfunctional avoidance: .52	X ² : 71.708 X ² /df: 1.157 RMSEA: .019 SRMR: .032 CFI: .99 GFI: .98 AGFI: .96 PCFI: .68
N = 121 (Jeu de données 1)	"Novices"	Emotion expression : .56 Task utility self-persuasion : .63 Negative self-talk : .72 Help seeking: .69 Brief attentional relaxation: .49 Dysfunctional avoidance: .21	X ² : 77.857 X ² /df: 1.256 RMSEA: .046 SRMR: .073 CFI: .93 GFI: .92 AGFI: .86 PCFI: .64
N = 119 (Jeu de données 1)	"Experts"	Emotion expression : .59 Task utility self-persuasion : .79 Negative self-talk : .81 Help seeking: .81 Brief attentional relaxation: .68 Dysfunctional avoidance: .61	X ² : 54.915 X ² /df: .886 RMSEA: .00 SRMR: .047 CFI: 1.00 GFI: .94 AGFI: .89 PCFI: .68
N= 259 (Jeu de données 2)	Tout profil confondu	Emotion expression : .69 Task utility self-persuasion : .66 Negative self-talk : .73 Help seeking: .71 Brief attentional relaxation: .67 Dysfunctional avoidance: .65	X ² : 88.183 X ² /df: 1.422 RMSEA: .040 RMR: .042 CFI: .97 GFI: .96 AGFI: .92 PCFI: .66
N= 132 (Jeu de données 2)	"Novices"	Emotion expression : .63 Task utility self-persuasion : .70 Negative self-talk : .77 Help seeking: .68 Brief attentional relaxation: .68 Dysfunctional avoidance: .70	X ² : 99.112 X ² /df: 1.599 RMSEA: .068 SRMR: .059 CFI: .92 GFI: .91 AGFI: .84 PCFI: .54
N= 561 (Jeu de données 3)	Tout profil confondu	Emotion expression : .75 Task utility self-persuasion : .69 Negative self-talk : .73 Help seeking: .76 Brief attentional relaxation: .64 Dysfunctional avoidance: .58	X ² : 117.91 X ² /df: 1.890 RMSEA: .040 SRMR: .036 CFI: .97 GFI: .97 AGFI: .95 PCFI: .66

3. Items constitutifs du CERS-M⁹⁰

Emotion expression

1. Je dis à mon voisin/ma voisine que le problème me met en colère, me rend triste, me désespère ou m'ennuie.
2. Je dis à un autre élève que le problème me met de mauvaise humeur.
3. Je me plains à haute voix que le problème est trop compliqué*.

Task utility self-persuasion

1. Même si je n'aime pas les problèmes en math, je me dis que c'est bien de les faire pour pouvoir les comprendre et réussir.
2. Même si je n'aime pas beaucoup, j'essaie quand même de résoudre le problème, car je trouve cela utile pour moi.
3. Je me concentre fort sur le problème pour essayer de le résoudre*.

Negative self-talk

1. Je me dis qu'il n'y a sûrement que moi qui n'arrive pas à résoudre le problème et qui me sens aussi mal.
2. Je me dis que c'est épouvantable de ne pas être capable de résoudre le problème, que je suis sûr(e) que ça n'arrive qu'à moi.
3. Je me dis que j'ai toujours difficile à faire des problèmes en math et que cela ne va pas changer.

Help seeking

1. Je demande de l'aide à l'instituteur pour résoudre le problème.
2. Je demande à l'instituteur qu'il m'explique le problème.
3. Je refuse l'aide de l'instituteur ou de mon voisin quand ils proposent de m'expliquer le problème*.

Brief attentional relaxation

1. Quand je résous un problème en math, je m'arrête de temps en temps pour me détendre avant de poursuivre.
2. Je fais des petites pauses (regarder par la fenêtre, respirer profondément, ...) quand je résous un problème en math.
3. Je dépose mon stylo quelques secondes et m'étire les bras.

Dysfunctional avoidance

1. Pour ne pas vivre un moment désagréable, je me dis que je résoudrai plus tard les problèmes.
2. Il m'arrive souvent de remettre à après les problèmes à résoudre pour éviter de me sentir mal.
3. Comme les problèmes en math me mettent en colère, me rendent triste, me désespèrent ou m'ennuient, je préfère ne pas les faire*.

⁹⁰ Les items avec une astérisque ont été retirés suite à l'analyse de la cohérence interne conduite dans l'étude 2.

Annexe 3

Analyses complémentaires à la recherche présentée au chapitre 9

1. Baseline means, standard deviations, and difference analyses between the three groups (Time 1).

Variable	“Gradual-all together” group (<i>n</i> = 86)		“Simultaneous” group (<i>n</i> = 79)		“Control” group (<i>n</i> = 102)		<i>F</i> (2,264)	<i>p</i>
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>		
Performance in problem solving	.36	.29	.40	.32	.30	.33	.332	.718
Persistence	3.26	.39	3.16	.37	3.31	.48	2.844	.060
Building a representation	.38	.24	.36	.22	.34	.24	.294	.745
Using one’s knowledge	.00	.00	.00	.00	.00	.00	/	/
Planning	.11	.19	.10	.16	.09	.17	.189	.828
Checking the outcome(s) and the procedure	.00	.00	.00	.00	.00	.00	/	/
Interpreting the outcome	.15	.24	.22	.29	.18	.29	1.816	.165
Positive emotions	2.23	.96	2.00	.99	2.27	1.04	1.754	.175
Negative emotions	1.98	.73	1.88	.68	1.76	.61	2.198	.113
Emotion expression	1.48	.64	1.54	.69	1.26	.56	4.880	.008 ⁹¹
Task utility self-persuasion	3.27	.76	3.03	.84	3.06	.88	1.919	.149
Negative self-talk	1.73	.77	2.00	.77	1.83	.84	2.211	.112
Help-seeking	2.54	.75	2.38	.75	2.27	.82	.484	.617
Brief attentional relaxation	2.27	.80	2.25	.73	2.25	.79	.016	.984
Dysfunctional avoidance	1.80	.82	1.89	.71	1.81	.79	.835	.435

Note. Time 1 = pre-test; *n* = sample size; *M* = mean; *SD* = standard deviation.

⁹¹ Students in the “gradual-all together” group used the “emotion expression” strategy significantly more than those of the control group ($t(186) = -2.421, p = .017$). The same behavior is observed for the students of the “simultaneous” group as compared to those of the “control” group ($t(179) = 2.952, p = .004$).

2. Baseline means, standard deviations, and difference analyses between the three groups of novice problem-solvers (Time 1)

Variable	“Gradual-all together” group (n = 43)		“Simultaneous” group (n = 43)		“Control” group (n = 43)		F(2,126)	p
	M	SD	M	SD	M	SD		
Performance in problem solving	.15	.14	.14	.13	.14	.13	.183	.833
Persistence	3.24	.40	3.06	.36	3.21	.54	2.069	.130
Building a representation	.40	.28	.34	.20	.32	.26	1.435	.242
Using one’s knowledge	.00	.00	.00	.00	.00	.00	/	/
Planning	.04	.11	.09	.17	.05	.14	1.708	.185
Checking the outcome(s) and the procedure	.00	.00	.00	.00	.00	.00	/	/
Interpreting the outcome	.08	.18	.09	.20	.05	.15	.708	.495
Positive emotions	1.91	.85	1.85	.94	2.23	1.05	1.840	.163
Negative emotions	2.14	.74	2.01	.75	1.92	.65	.818	.444
Emotion expression	1.45	.67	1.48	.57	1.32	.68	.896	.411
Task utility self-persuasion	3.25	.77	3.03	.84	3.06	.92	1.843	.163
Negative self-talk	1.98	.92	2.10	.76	1.94	.92	.663	.517
Help-seeking	2.69	.71	2.48	.76	2.5	.94	.829	.439
Brief attentional relaxation	2.44	.82	2.36	.81	2.34	.84	.120	.887
Dysfunctional avoidance	1.87	.93	2.00	.75	1.93	.85	.191	.827

Note. Time 1 = pre-test; n= sample size; M = mean; SD= standard deviation.

3. Baseline means, standard deviations, and difference analyses between the three groups of expert problem-solvers (Time 1)

Variable	“Gradual-all together” group (n = 12)		“Simultaneous” group (n = 12)		“Control” group (n = 12)		F(2,33)	p
	M	SD	M	SD	M	SD		
Performance in problem solving	.81	.16	.88	.08	.89	.08	1.949	.159
Persistence	3.38	.40	3.32	.31	3.47	.43	.485	.620
Building a representation	.39	.13	.31	.17	.47	.26	2.152	.132
Using one’s knowledge	.00	.00	.00	.00	.00	.00	/	/
Planning	.22	.30	.11	.16	.11	.17	.767	.472
Checking the outcome(s) and the procedure	.00	.00	.00	.00	.00	.00	/	/
Interpreting the outcome	.43	.32	.54	.29	.54	.20	2.795	.076
Positive emotions	2.81	.82	2.19	.99	2.39	1.04	1.280	.292
Negative emotions	1.43	.44	1.53	.43	1.65	.59	.596	.557
Emotion expression	1.08	.19	1.83	.94	1.13	.31	6.312	.005
Task utility self-persuasion	3.04	1.03	3.42	.70	3.33	.91	.584	.564
Negative self-talk	1.53	.67	1.45	.76	1.61	.61	.060	.942
Help-seeking	1.92	.63	2.33	.72	2.33	.81	1.329	.279
Brief attentional relaxation	2.11	.92	2.31	.50	2.39	.41	.486	.620
Dysfunctional avoidance	1.58	.82	1.58	.47	1.58	.79	.054	.948

Note. Time 1 = pre-test; n= sample size; M = mean; SD= standard deviation.

4. Repeated measures analyses of variance regarding the full sample

Variables	Time 1 and Time 2			Time 1 and Time 3			Time 2 and Time 3		
	<i>F</i> (2,264)	<i>p</i>	<i>Partial</i> η^2	<i>F</i> (2,264)	<i>p</i>	<i>Partial</i> η^2	<i>F</i> (2,264)	<i>p</i>	<i>Partial</i> η^2
Performance in problem solving	.484	.617		.038	.962		.198	.821	
Persistence	8.079	< .001	.010	.661	.517		2.591	.079	
Building a representation	32.319	< .001	.21	35.457	< .001	.24	3.959	.021	.03
Using one's knowledge	28.573	< .001	.19	16.106	< .001	.12	.616	.541	
Planning	18.272	< .001	.13	15.361	< .001	.12	.178	.837	
Checking the outcome(s) and the procedure	.474	.623		.516	.597		.799	.451	
Interpreting the outcome	.376	.687		1.396	.250		1.855	.159	
Positive emotions	1.787	.170		.475	.623		.557	.574	
Negative emotions	.715	.491		.707	.494		1.584	.208	
Task utility self-persuasion	2.235	.110		1.638	.197		.556	.574	
Brief attentional relaxation	1.776	.172		.007	.993		1.404	.248	
Help-seeking	2.763	.066 ^t	.03	4.543	.012	.04	1.788	.170	
Emotion expression	.120	.887		1.787	.170		3.481	.033	.03
Negative self-talk	4.139	.017	.04	1.562	.212		1.320	.269	
Dysfunctional avoidance	.636	.530		1.120	.328		.442	.643	

Note. Time 1 = pre-test; Time 2 = post-test; Time 3 = follow-up test.

5. Repeated measures analyses of variance for novice problem-solvers

Variables	Time 1 and Time 2			Time 1 and Time 3			Time 2 and Time 3		
	<i>F</i> (2,126)	<i>p</i>	<i>Partial</i> η^2	<i>F</i> (2,126)	<i>p</i>	<i>Partial</i> η^2	<i>F</i> (2,126)	<i>p</i>	<i>Partial</i> η^2
Performance in problem solving	1.196	.306		.152	.859		1.420	.246	
Persistence	5.799	.004	.13	.503	.606		4.624	.013	.12
Building a representation	16.753	< .001	.21	14.428	< .001	.19	.046	.955	
Using one's knowledge	9.531	< .001	.14	6.669	.002	.10	.102	.903	
Planning	8.162	< .001	.12	7.908	.001	.12	.175	.840	
Checking the outcome(s) and the procedure	2.304	.104		.988	.375		.349	.706	
Interpreting the outcome	.452	.637		.755	.472		1.980	.143	
Positive emotions	1.176	.313		.638	.530		.113	.893	
Negative emotions	2.168	.120		.406	.668		2.257	.110	
Task utility self-persuasion	3.769	.026	.07	2.270	.108		.606	.547	
Brief attentional relaxation	1.569	.213		.009	.992		.852	.429	
Help-seeking	4.591	.011	.08	6.995	.001	.11	1.562	.214	
Emotion expression	.101	.904		1.651	.196		2.215	.114	
Negative self-talk	4.164	.018	.08	2.178	.118		3.195	.045	.06
Dysfunctional avoidance	.034	.967		.536	.587		.695	.501	

Note. Time 1 = pre-test; Time 2 = post-test; Time 3 = follow-up test.

6. Repeated measures analyses of variance for expert problem-solvers

Variables	Time 1 and Time 2			Time 1 and Time 3			Time 2 and Time 3		
	<i>F</i> (2,34)	<i>p</i>	<i>Partial</i> η^2	<i>F</i> (2,34)	<i>p</i>	<i>Partial</i> η^2	<i>F</i> (2,34)	<i>p</i>	<i>Partial</i> η^2
Performance in problem solving	1.517	.235		.353	.706		.206	.815	
Persistence	7.385	.007	.53	3.692	.041	.24	.692	.536	
Building a representation	13.184	< .001	.45	8.010	.002	.38	1.039	.368	
Using one's knowledge	10.895	< .001	.41	3.183	.058	.20	.127	.881	
Planning	9.111	.001	.36	3.621	.040	.21	1.282	.294	
Checking the outcome(s) and the procedure	.956	.395		/	/		/	/	
Interpreting the outcome	.946	.398		1.038	.368		.195	.824	
Positive emotions	1.387	.269		.203	.817		.849	.440	
Negative emotions	.195	.824		1.263	.299		2.230	.129	
Task utility self-persuasion	.737	.489		1.948	.164		1.363	.276	
Brief attentional relaxation	.490	.619		.645	.533		1.378	.272	
Help-seeking	.253	.778		.376	.691		.100	.905	
Emotion expression	.931	.408		.760	.478		.221	.804	
Negative self-talk	.053	.948		.573	.571		.012	.988	
Dysfunctional avoidance	.121	.886		.177	.839		.117	.890	

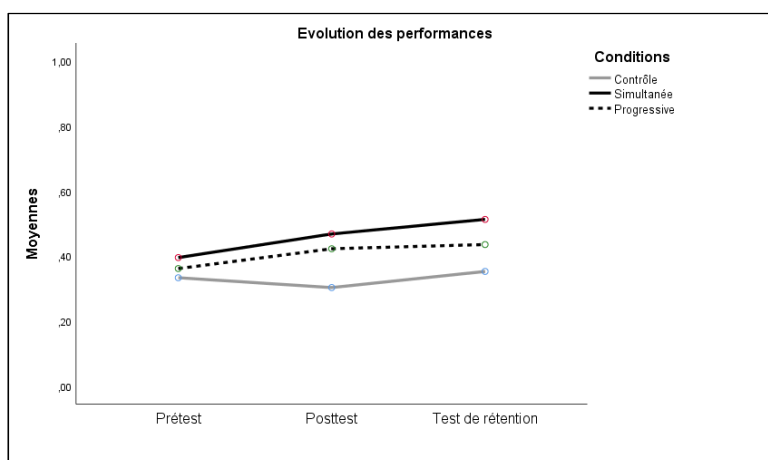
Note. Time 1 = pre-test; Time 2= post-test; Time 3= follow-up test.

7. Que révèlent les différences non significatives entre les conditions ?

Le fait qu'il n'y ait pas de différence significative d'évolution entre les deux conditions (contrôle vs. expérimentale) signifie soit que les deux conditions n'ont pas évolué sur la dimension concernée (droites constantes), soit qu'elles ont évolué de la même façon (droites croissantes ou décroissantes de mêmes pentes). Il s'agit de deux informations complètement différentes. Dans le premier cas, cela signifie qu'aucune des interventions dispensées n'a eu d'effet, dans le second cas, cela indique que les deux interventions sont efficaces. En d'autres mots, que travailler la résolution de problèmes, hebdomadairement, de façon traditionnelle, sur un certain laps de temps, induit déjà un changement. Nous avons examiné cette question en comparant les évolutions graphiques des deux conditions. Nos analyses complémentaires sont présentées ci-dessous.

7.1 Les performances en résolution de problèmes

Le graphe semble indiquer une évolution croissante des performances, en tout cas, au sein des deux conditions expérimentales.

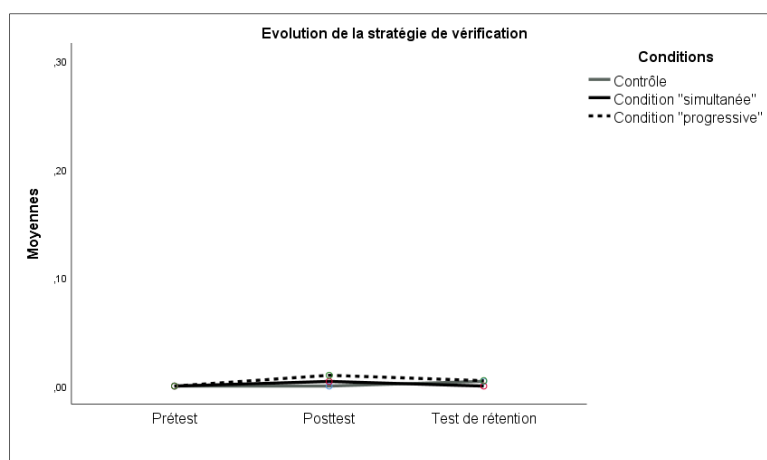


Les données synthétisées dans le tableau ci-dessous permettent de répondre à la question de la significativité de cette évolution. Plus précisément, les résultats révèlent une augmentation des performances des élèves dans les deux conditions expérimentales. Cette augmentation n'apparaît cependant qu'au test de rétention.

	Contrôle	Simultané	Progressif
Prétest-Post-test	$F(101) = 3.29, p = .07$	$F(78) = 3.62, p = .06$	$F(85) = 3.44, p = .07$
Post-test-Test de rétention	$F(101) = 2.07, p = .15$	$F(78) = 1.78, p = .19$	$F(85) = .13, p = .72$
Prétest-Test de rétention	$F(101) = .21, p = .65$	$F(78) = 11.14, p = .001, \eta^2 = .13$	$F(85) = 5.84, p = .02, \eta^2 = .07$

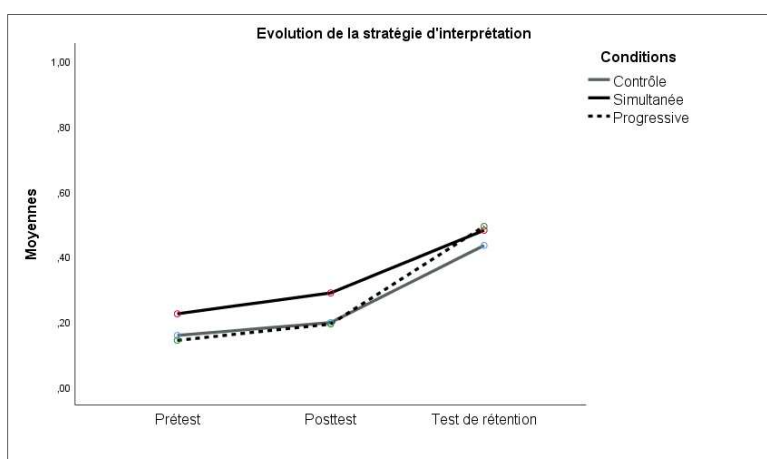
7.2 La vérification du résultat et de la démarche

Le graphe met en évidence des courbes relativement constantes, indiquant qu'aucune des trois conditions n'a évolué entre le prétest, post-test et test de rétention, en termes de fréquence d'utilisation de la stratégie de vérification.



7.3 L'interprétation du résultat mathématique

Le graphe indique une évolution croissante dans la fréquence d'utilisation de la stratégie d'interprétation par les trois conditions.

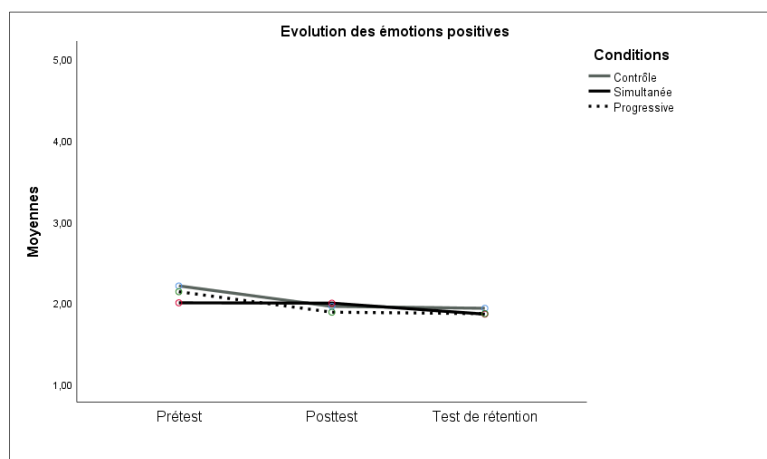


Les données synthétisées dans le tableau ci-dessous permettent de répondre à la question de la significativité de cette évolution. Plus précisément, les résultats montrent une augmentation de la fréquence d'utilisation de cette stratégie entre le prétest et le test de rétention par les élèves des trois conditions.

Condition	Prétest-Post-test	Post-test-Test de rétention	Prétest-Test de rétention
Contrôle	$F(1,101) = 1.18, p = .68$	$F(1,101) = 23.6, p < .001, \eta^2 = .23$	$F(1,101) = 40.68, p < .001, \eta^2 = .35$
Progressive	$F(1,85) = 1.71, p = .20$	$F(1,85) = 31.2, p < .001, \eta^2 = .31$	$F(1,85) = 56.5, p < .001, \eta^2 = .44$
Simultanée	$F(1,78) = 2.55, p = .11$	$F(1,78) = 17.6, p < .001, \eta^2 = .18$	$F(1,78) = 41.8, p < .001, \eta^2 = .35$

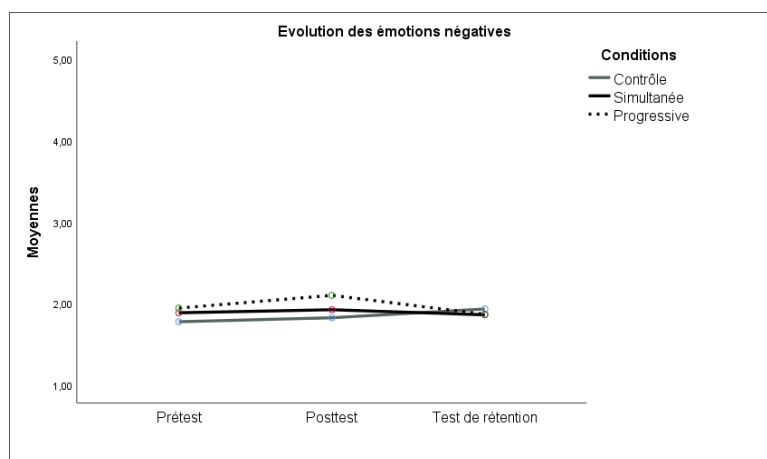
7.4 Emotions positives

Le graphe ci-contre met en évidence des courbes plus ou moins constantes, ce qui indique qu'aucune des trois conditions n'a évolué entre le prétest, post-test et test de rétention, en termes d'émotions positives.



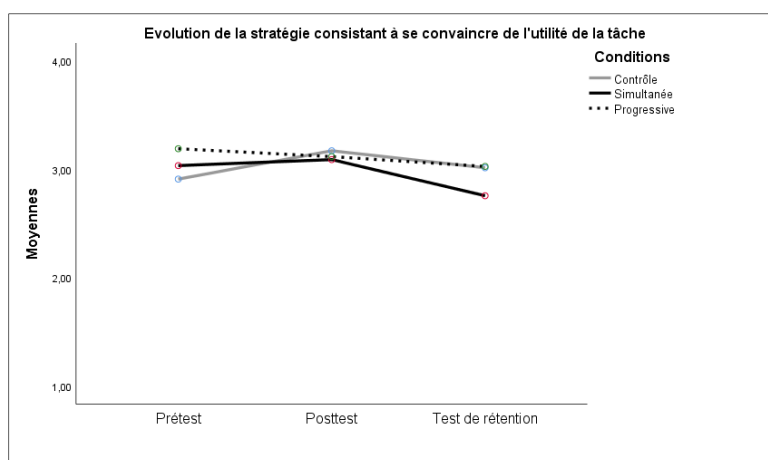
7.5 Emotions négatives

Comme pour les émotions positives, le graphe met en évidence des courbes relativement constantes, signe qu'aucune des trois conditions n'a évolué entre le prétest, post-test et test de rétention, en termes d'émotions négatives.



7.6 Se convaincre de l'utilité de la tâche

Le graphe semble montrer une baisse de l'utilisation de la stratégie par les deux conditions expérimentales et une augmentation de son utilisation, en tout cas entre le prétest et le post-test, par le groupe contrôle. Cette hypothèse est vérifiée dans le tableau ci-après.

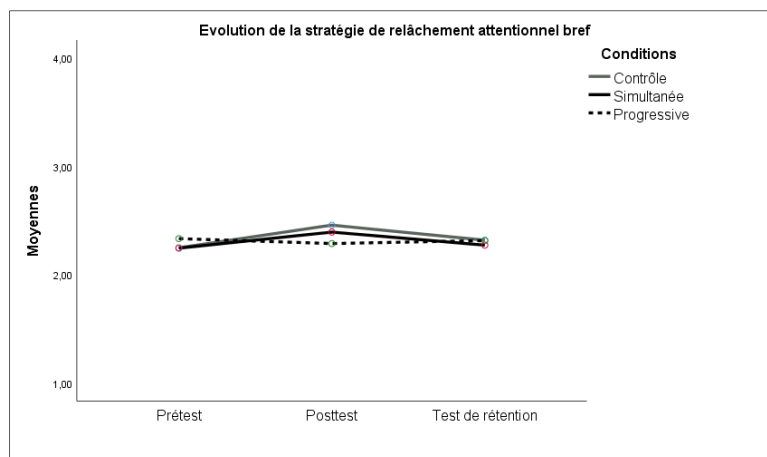


Condition	Prétest-Post-test	Post-test-Test de rétention	Prétest-Test de rétention
Contrôle	$F(1,101) = 5.47, p = .02, \eta^2 = .08$	$F(1,101) = 1.39, p = .24$	$F(1,101) = .14, p = .71$
Progressive	$F(1,85) = .46, p = .50$	$F(1,85) = .18, p = .67$	$F(1,85) = 4.28, p = .04, \eta^2 = .06$
Simultanée	$(1,78) = .52, p = .48$	$F(1,78) = 12.8, p = .001, \eta^2 = .15$	$F(1,78) = 5.67, p = .02, \eta^2 = .07$

A première vue, cela paraît plutôt étonnant d'observer une augmentation de la fréquence d'utilisation de cette stratégie, documentée comme fonctionnelle dans la littérature (Eccles & Wigfield, 2002 ; Ryan & Deci, 2000), chez les élèves du groupe contrôle et une diminution chez les élèves des deux conditions expérimentales. Cependant, nous pensons que les interventions « simultanée » et « progressive » en reconceptualisant les tâches de résolution de problèmes comme des situations de la vie de tous les jours pouvant être modélisées mathématiquement et en promouvant plusieurs stratégies heuristiques qui nécessitent de prendre en compte les données du monde réel, ont donné du sens aux exercices de résolution de problèmes. Il est donc probable que les élèves qui ont bénéficié d'une telle intervention n'aient plus eu besoin de se convaincre de l'utilité des tâches de résolution de problèmes. S'il faut attendre le test de rétention pour les élèves dans la condition « progressive » c'est vraisemblablement parce qu'ils n'ont pas directement travaillé la résolution dans toute sa complexité et donc dans tout son sens (résoudre une situation de la vie de tous les jours), dès le début. Par contre, les élèves du groupe contrôle, pour pouvoir faire face, chaque semaine, à un nouveau problème ont, semble-t-il, dû se convaincre de l'utilité de ce type de tâche.

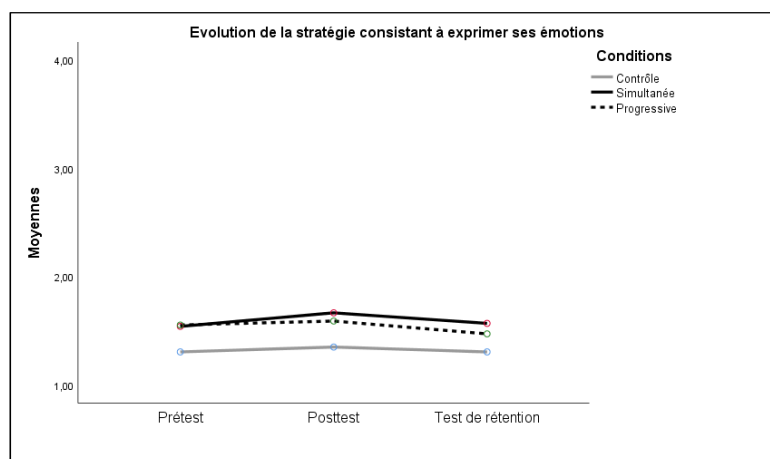
7.7 Relâchement attentionnel bref

Le graphe ci-contre met en évidence des courbes plus ou moins constantes, ce qui indique qu'aucune des conditions n'a évolué entre le prétest, post-test et test de rétention, en termes de fréquence d'utilisation de la stratégie consistant à relâcher brièvement son attention.



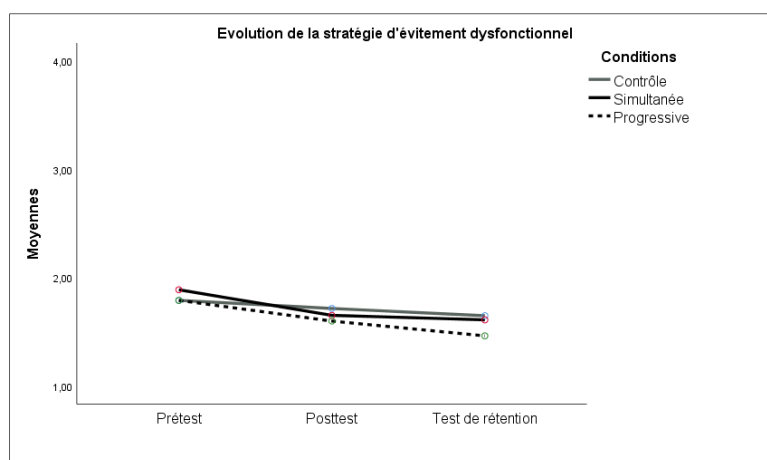
7.8 Expression émotionnelle

Le graphe ci-contre met en évidence des courbes relativement constantes. Il semblerait donc qu'aucune des interventions n'ait véritablement d'effet sur la fréquence d'utilisation de la stratégie consistant à exprimer ses émotions.



7.9 Evitement dysfonctionnel

Le graphe ci-contre met en évidence une évolution décroissante de la fréquence d'utilisation de la stratégie consistant à éviter de faire la tâche, en tout cas pour les deux conditions expérimentales.



Les données synthétisées dans le tableau ci-dessous permettent de répondre à la question de la significativité de cette évolution. Plus précisément, les résultats révèlent une baisse de la fréquence d'utilisation de la stratégie d'évitement dysfonctionnel par les élèves des conditions simultanée (dès la fin de l'intervention) et progressive (à partir du test de rétention).

	Contrôle	Simultané	Progressif
Prétest-Post-test	$F(101) = .53, p = .47$	$F(78) = 4.91, p = .03, \eta^2 = .06$	$F(85) = 2.45, p = .12$
Post-test-Test de rétention	$F(101) = .66, p = .42$	$F(78) = .16, p = .69$	$F(85) = 1.77, p = .19$
Prétest-Test de rétention	$F(101) = 1.61, p = .21$	$F(78) = 8.47, p = .005, \eta^2 = .10$	$F(85) = 7.03, p = .01, \eta^2 = .09$

8. Comparaison de l'évolution des résolveurs « novices » et « experts »

Les résultats concernant tant les stratégies heuristiques que la persévérance, rapportés au chapitre 9, mettent en évidence des tailles d'effet plus grandes concernant les résolveurs « experts », comparativement à celles des résolveurs « novices ». Si la différence de taille d'échantillon entre les deux groupes (43 résolveurs « novices » et 12 résolveurs « experts ») peut, en partie, expliquer cette différence, dès lors qu'elle intervient dans le calcul de la taille d'effet, des différences d'évolution entre les deux groupes constituent une autre source d'explication possible. Nous avons souhaité vérifier cette hypothèse en effectuant des analyses complémentaires⁹².

⁹² Les analyses complémentaires ont été réalisées sur la base du même échantillon que celui utilisé dans l'étude présentée au 9 de cette thèse.

9. Présentation et analyse des résultats

Afin de mieux comprendre ces différences de taille d'effet, nous avons réalisé des Anovas à mesures répétées pour chaque variable et chaque condition expérimentale avec le temps (Temps 1 vs. Temps 2 vs. Temps 3) comme facteur intra-sujets et le profil de l'élève (novice vs. expert) comme facteur inter-sujets (Tableau 1). Une hypothèse qui pourrait expliquer les différences observées serait que les deux profils d'élèves présentent une pente différente entre la condition « simultanée » et la condition « progressive ». En d'autres termes, nous pourrions nous attendre à ce que, comparativement au groupe d'experts, le groupe de novices présente une pente plus faible avec une méthode d'enseignement « simultanée » et, une pente plus forte avec une méthode d'enseignement « progressive ».

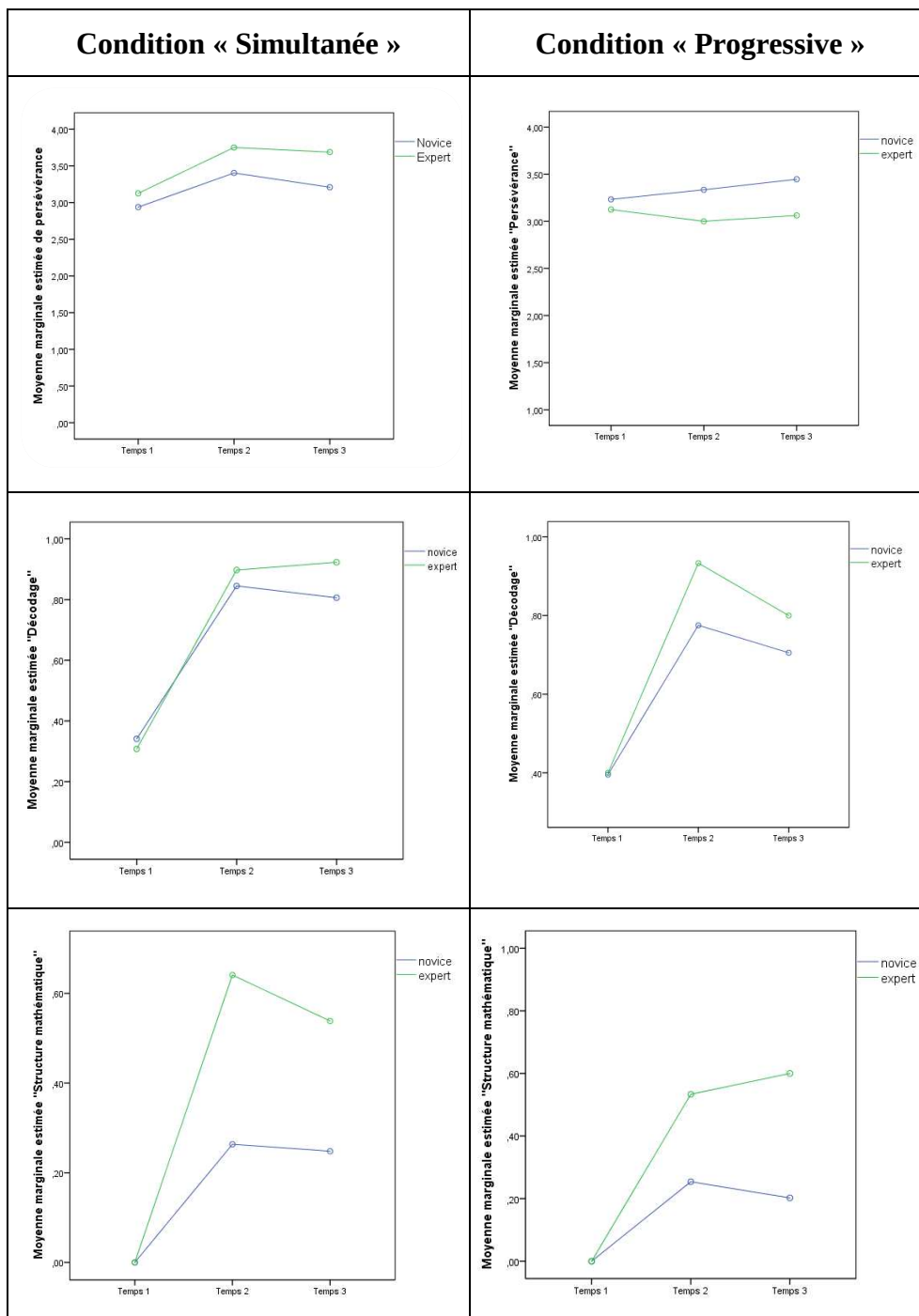
Tableau 1. Analyses de variance sur les variables ressorties comme significatives dans l'étude présentée au chapitre 9

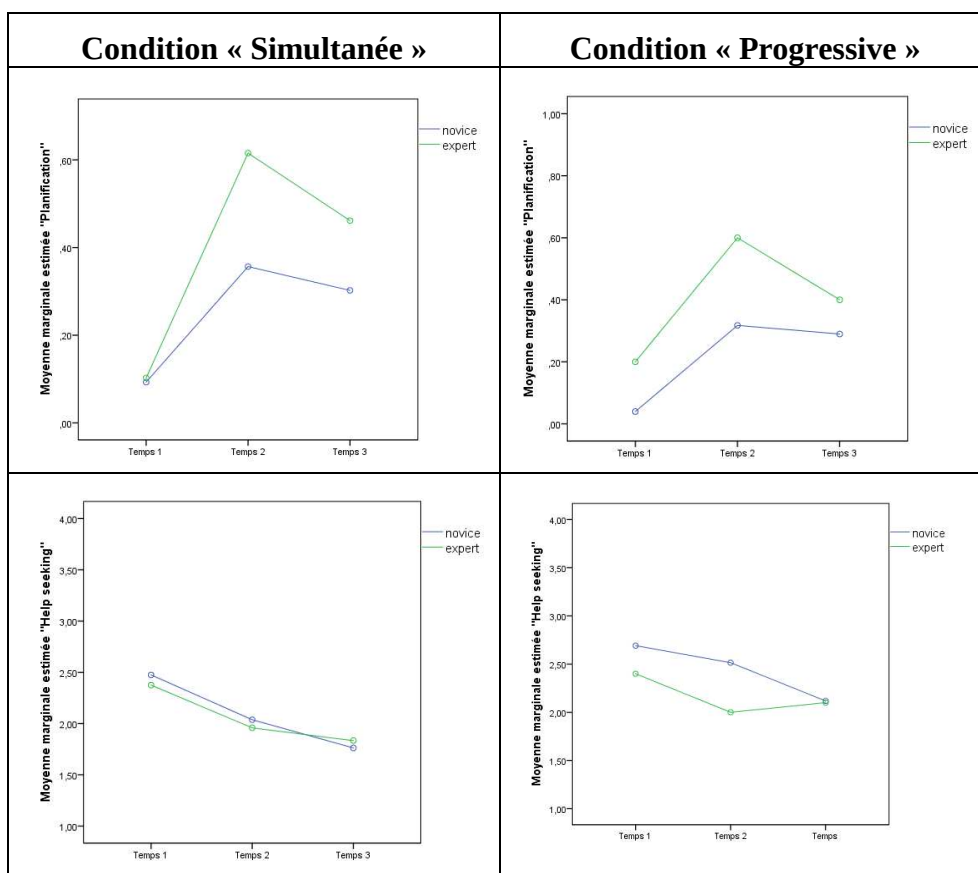
Variable	Condition « simultanée »			Condition « progressive »		
	$F(1,53)$	p	η^2	$F(1,53)$	p	η^2
Persévérance	.76	.47		.57	.57	
Construire une représentation	1.33	.27		.51	.60	
Utiliser ses connaissances	4.06	.02	.07	2.15	.12	
Planifier	2.18	.12		.52	.60	
Stratégie consistant à rechercher de l'aide	.24	.79		.81	.45	

Que ce soit pour la condition « simultanée » ou « progressive », les résultats montrent que les deux profils d'élèves présentent une évolution comparable, excepté pour la stratégie consistant à utiliser ses connaissances. S'agissant de cette dernière, les résolveurs experts de la condition « simultanée » y recourent significativement plus comparativement aux novices de la condition « simultanée » (entre le prétest et le post – test: $F(1,53) = 9.60, p = .003, \eta^2 = .15$; entre le prétest et le test de rétention: $F(1,53) = 5.2, p = .03, \eta^2 = .09$).

Afin de tester l'hypothèse selon laquelle, d'une condition à l'autre, la pente des novices bouge relativement à celle du groupe d'experts (et inversement), les résultats ci-dessus ont été traduits graphiquement (tableau 2). L'analyse des graphes montre qu'à l'exception de la persévérance, les deux groupes présentent des pentes comparables d'une condition à l'autre, infirmant ainsi notre hypothèse de départ. Concernant la persévérance, si dans la condition « simultanée », le groupe d'experts présente une pente légèrement plus forte que le groupe de novices, l'inverse s'observe pour la condition « progressive ». Il faut toutefois noter que, les différences de pente ne sont pas très fortes. Il semblerait donc que les différences de tailles d'effet observées au chapitre 9 ne s'originent pas dans des différences d'évolutions entre les deux groupes, d'une condition à l'autre.

Tableau 2. Evolution de la persévérance, de l'utilisation de plusieurs stratégies heuristiques et de l'utilisation de la stratégie consistant à demander de l'aide chez les deux profils d'élèves



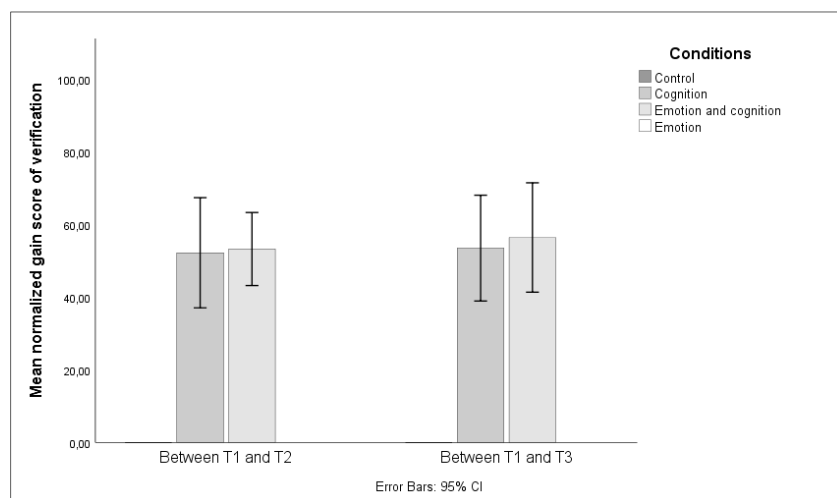


Annexe 4

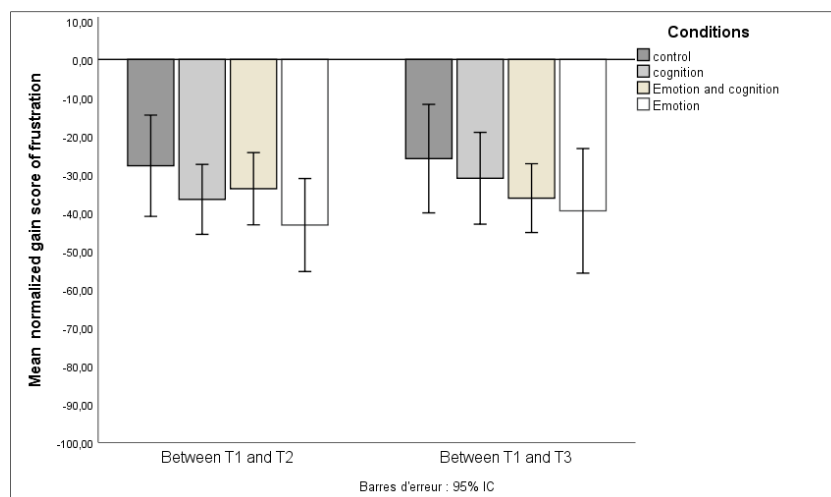
Analyses complémentaires à la recherche présentée au chapitre 10

Dans cette section les différences de gains et de pertes non significatives entre les 4 conditions sont présentées.

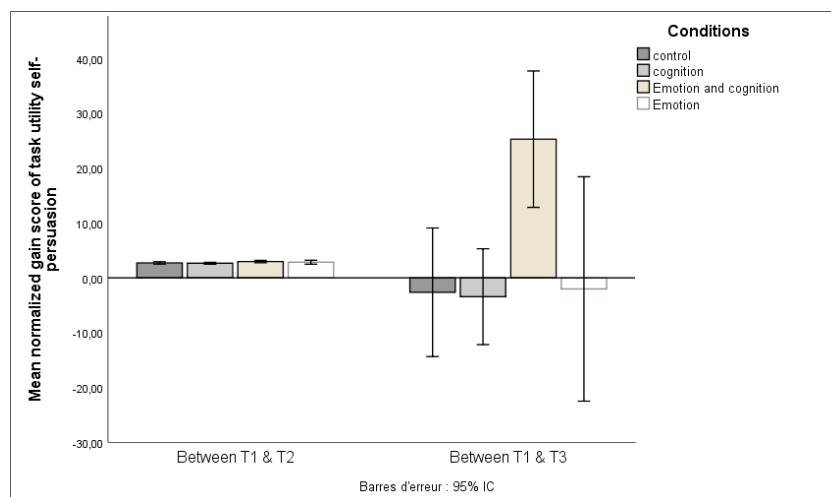
1. Gains normalisés moyens concernant la stratégie de vérification pour les quatre conditions



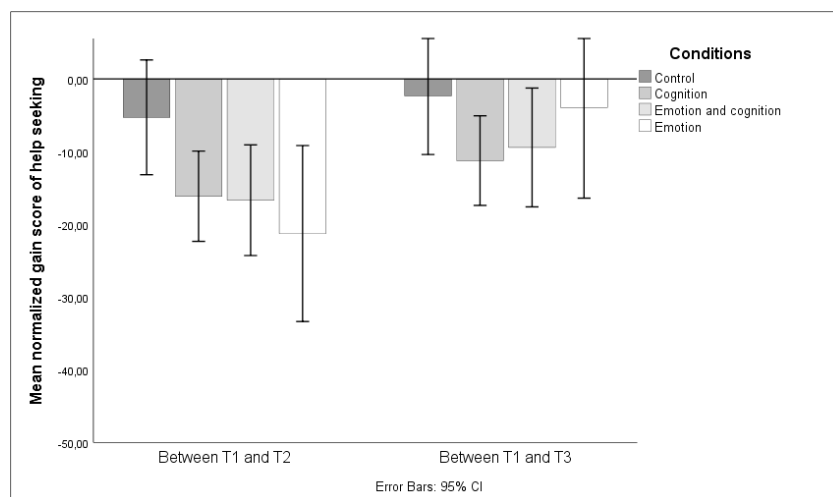
2. Pertes normalisées moyennes de frustration pour les quatre conditions



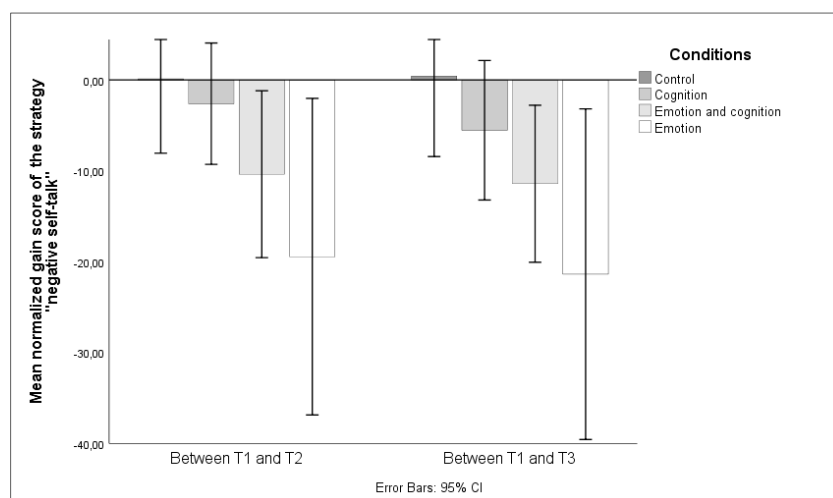
3. Gains et pertes normalisés moyens concernant la stratégie d'auto-persuasion de l'utilité de la tâche pour les quatre conditions



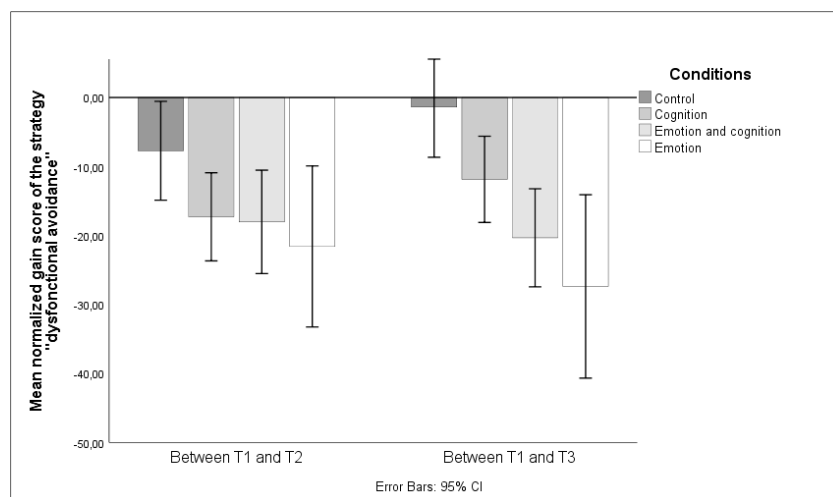
4. Pertes normalisées moyennes concernant la stratégie de demande d'aide pour les quatre conditions



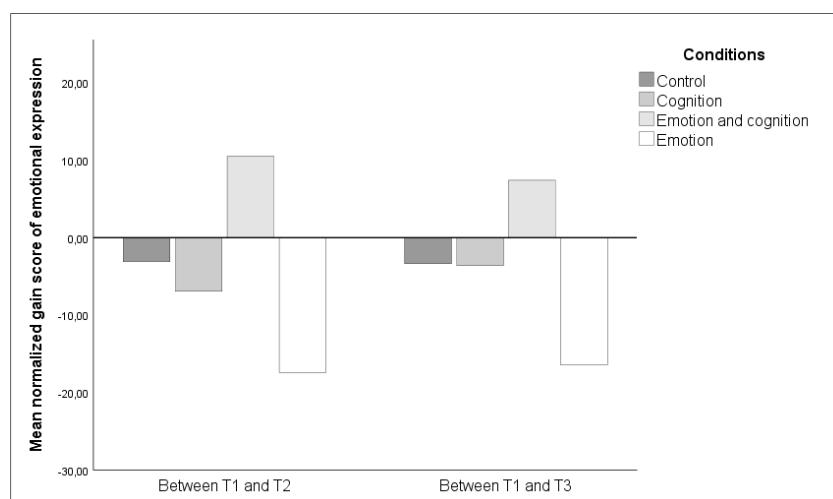
5. Gains et pertes normalisés moyens concernant la stratégie de rumination pour les quatre conditions



6. Pertes normalisées moyennes concernant la stratégie d'évitement dysfonctionnel pour les quatre conditions



7. Gains et pertes normalisés moyens concernant la stratégie d'expression émotionnelle pour les quatre conditions



Annexe 5

Enoncés des problèmes utilisés dans les interventions

1. Enoncés des problèmes utilisés dans l'étude 2 (chap 7)

1.1 Problèmes du prétest⁹³

1) (A la piscine !). Steve, Jordan et Sébastien, trois copains, voudraient organiser une sortie à la piscine pendant la semaine de vacances. Ils sont tous très occupés : Jordan est libre le lundi et le samedi après-midi, ainsi que les matinées de mardi, jeudi et vendredi. Steve, lui, ne peut être disponible que le jeudi matin, le vendredi après-midi ou le week-end. Sébastien, enfin, pourra venir n'importe quand sauf le mercredi après-midi. La piscine est ouverte tous les jours de 10h à 17h sauf le lundi. Toutes les après-midi, de 14h à 16h, les enfants peuvent aller sur le grand toboggan. Quand vont-ils pouvoir organiser la sortie ?

2) (Le club de jeunes part en excursion). Le club des jeunes de Tournai part en excursion. Plusieurs activités sont prévues pour les 24 participants.

Visite de l'aquarium : 6 entrées pour 10€.

Voyage en train : 120€ pour le groupe.

Chaque participant apporte 5€. Le reste de l'excursion est payé par l'école. Combien l'école doit-elle payer?

3) (L'armée engage). Un bus de l'armée peut contenir 36 soldats. Si 1128 soldats doivent être conduits en bus sur leur site d'entraînement, combien faudra-t-il de bus ?

1.2 Problèmes de l'intervention

1) (C'est mon anniversaire). Jonathan a décidé de fêter son anniversaire dans une salle triangulaire. Il a acheté 120 m de guirlande lumineuse pour les suspendre tout le long des murs. Sa mère lui demande

⁹³ Précisons que les problèmes proposés au post-test et au test de rétention présentent une structure mathématique similaire à ceux du prétest, seul l'habillage change et cela afin de permettre une comparaison rigoureuse entre les trois temps de mesure. Notons que ces tests n'ont fait l'objet d'aucune correction en classe et que les problèmes qui y sont proposés se distinguent de ceux de l'intervention afin d'éviter un effet d'apprentissage et, partant, leur permettre de conserver, autant que possible, leur statut de « non-routiniers ».

quelles sont les longueurs des côtés de la salle. Il se souvient que la façade fait 20m de long et que le triangle est isocèle. Malheureusement, il ne se souvient plus de la longueur des autres côtés. Aide-le à retrouver les dimensions des autres côtés.

2) (On tapisse la classe). Super, on tapisse les murs de la classe ! Ce ne sera pas trop difficile car la classe a la forme d'un parallélépipède rectangle dont les dimensions sont 11 m de large, 15 m de long et 5 m de hauteur. On voudrait acheter du papier uni de couleur jaune. On le vend par rouleau de 1 m de large sur 50 m de long. Les rouleaux qui ne sont pas entamés peuvent être ramenés au magasin. Combien de rouleaux faut-il prévoir ?

3) (Des ballons à gonfler). Pour fêter ses 75 ans, mon grand-père a organisé une après-midi pique-nique dans son jardin. Il avait commandé 260 ballons à gonfler pour décorer le jardin. Après la fête, il a proposé que tous les petits-enfants se partagent les ballons. Nous formons une famille nombreuse : grand-père et grand-mère ont eu 4 enfants (Patrick, Alain, Danièle et Christine). Mon oncle Patrick et ma tante Isabelle ont eu, eux aussi, 4 enfants ; mon oncle Alain et ma tante Laurence en ont eu 3, ma mère et mon père n'ont eu qu'un seul enfant (moi) et ma tante Christine n'a pas encore d'enfant. Combien chacun des petits-enfants va-t-il recevoir de ballons ?

4) (Un partage particulier). Un père partage la somme de 18 € entre ses trois fils : Yassine, Walid et Zakaria. Il donne deux fois plus à Zakaria qu'à Yassine et il donne 2 € de moins à Walid qu'à Zakaria. Combien chaque garçon reçoit-il ?

5) (Opération « lasagne »). 56 élèves de première secondaire voudraient partir en excursion. Ils ont besoin de récolter 10 EUR chacun. Pour y arriver, ils décident de vendre des lasagnes. Ils contactent une entreprise qui en produit en grande quantité. Deux types de lasagnes existent : les lasagnes classiques et les lasagnes aux fruits de mer.

Voici les tarifs proposés par l'entreprise :

Lasagne classique : 2 EUR pièce.

Lasagnes aux fruits de mer : 2,5 EUR pièce.

Les frais d'emballage et de port s'élèvent à 15 EUR.

Chaque élève s'engage à vendre 10 lasagnes : 8 classiques et 2 aux fruits de mer. Ils pensent vendre les lasagnes classiques à 3 EUR pièce et celles aux fruits de mer à 4 EUR pièce. Auront-ils assez pour partir en excursion ? Explique.

2. Enoncés des problèmes utilisés dans l'étude 4 (chap 9)

2.1 Problèmes du prétest

1) (A la piscine !). Steve, Jordan et Sébastien, trois copains, voudraient organiser une sortie à la piscine pendant la semaine de vacances. Ils sont tous très occupés : Jordan est libre le lundi et le samedi après-midi, ainsi que les matinées de mardi, jeudi et vendredi. Steve, lui, ne peut être disponible que le jeudi matin, le vendredi après-midi ou le week-end. Sébastien, enfin, pourra venir n'importe quand sauf le mercredi après-midi. La piscine est ouverte tous les jours de 10h à 17h sauf le lundi. Toutes les après-

midi, de 14h à 16h, les enfants peuvent aller sur le grand toboggan. Quand vont-ils pouvoir organiser la sortie ?

2) (Le club de jeunes part en excursion). Le club des jeunes de Tournai part en excursion. Plusieurs activités sont prévues pour les 24 participants.

Visite de l'aquarium : 6 entrées pour 10 EUR.

Voyage en train : 120 EUR pour le groupe.

Chaque participant apporte 5 EUR. Le reste de l'excursion est payé par l'école. Combien l'école doit-elle payer ?

3) (L'armée engage !). Un bus de l'armée peut contenir 36 soldats. Si 1128 soldats doivent être conduits en bus sur leur site d'entraînement, combien faudra-t-il de bus ?

2.2 Problèmes de l'intervention

1) (Le plein de vitamines). Bernadette part en classe verte pendant 7 jours. Pas question de partir sans son lait chocolaté préféré : elle en boit une tasse tous les matins et tous les soirs. le premier jour, Bernadette déjeunera chez elle avant de partir et le dernier jour, elle reviendra juste après le déjeuner. Pour préparer une tasse de lait chocolaté NESVITE, il faut mélanger 3 cuillères à café bien remplies de chocolat en poudre avec 20 cl de lait. Le chocolat en poudre se vend par sachets de 20 grammes. Une cuillère à café de NESVITE pèse 10 grammes. Combien de sachets de NESVITE doit-elle emporter avec elle ?

2) (En route pour la mer). Super ! On va à la mer : on embarque tout dans la voiture et, en route pour la mer. La première heure, c'est maman qui conduit : elle est tout le temps dérangée par mon frère qui fait des grimaces aux autres voitures... Elle roule à la vitesse moyenne de 100km par heure. Ensuite, c'est au tour de papa : il roule à du 120km par heure pendant une heure et demie. Ensuite, on est pris dans un bouchon : c'était tellement long qu'on s'est arrêté sur l'autoroute pour aller aux toilettes et jouer un peu sur les jeux. Papa n'était pas très content : il n'a su faire que 10km en une heure. A vélo, on aurait été plus vite !

On a ensuite encore roulé pendant dix minutes avant de faire un super plongeon dans la mer. Au retour, il n'y avait personne sur la route, on a fait les 300km en deux heures et demi ! En moyenne, la voiture de papa consomme 6 litres aux 100km.

a) A quelle vitesse a-t-on roulé lors des dix dernières minutes du trajet aller ?

b) Quelle quantité d'essence a-t-on consommée lors de cette excursion ?

3) (La piscine). Mon petit voisin, Lionel, a une petite piscine pour enfant qui a la forme d'un cylindre. La base est un cercle de 1m de diamètre et la profondeur est de 30cm. Hier, sa maman a presque rempli la piscine : elle a mis 23 seaux de 10 litres. Lionel a joué toute la journée dans la piscine, et comme il a fait très chaud, le niveau de l'eau a assez bien baissé. Ce matin, la profondeur d'eau dans la piscine est de 25cm. Pourra-t-on remplir à nouveau la piscine avec un seau de 5 litres ? Sinon, combien de seaux faut-il prévoir ?

4a) (Prix horaire et main d'œuvre). Monsieur Lafeuille engage une entreprise de jardinage pour tailler les haies de sa propriété. Il faudra payer le jardinier 12EUR/heure. Monsieur Lafeuille sait qu'il faudra 3 heures pour tailler toutes les haies. Combien l'ensemble du travail va-t-il lui coûter ?

4b) Madame Lagrille a demandé à une entreprise de construction de repeindre les barrières qui entourent sa propriété. Le patron de l'entreprise lui a dit qu'il faudrait que deux hommes travaillent pendant 4 heures pour repeindre l'ensemble des barrières. Madame Lagrille se demande combien de temps il faudrait pour repeindre le tout si quatre hommes travaillaient.

5) (Le routier). Mon père est routier. Il conduit des camions et passe des heures à rouler sur l'autoroute. L'autre jour, il a roulé pendant deux heures et demi d'affilée à une vitesse moyenne de 80km/heure. Combien de km a-t-il ainsi parcouru ?

6) (Opération « lasagne »). 56 élèves de première secondaire voudraient partir en excursion. Ils ont besoin de récolter 10 EUR chacun. Pour y arriver, ils décident de vendre des lasagnes. Ils contactent une entreprise qui en produit en grande quantité. Deux types de lasagnes existent : les lasagnes classiques et les lasagnes aux fruits de mer.

Voici les tarifs proposés par l'entreprise :

Lasagne classique : 2 EUR pièce.

Lasagnes aux fruits de mer : 2,5 EUR pièce.

Les frais d'emballage et de port s'élèvent à 15 EUR.

Chaque élève s'engage à vendre 10 lasagnes : 8 classiques et 2 aux fruits de mer. Ils pensent vendre les lasagnes classiques à 3 EUR pièce et celles aux fruits de mer à 4 EUR pièce. Auront-ils assez pour partir en excursion ? Explique.

7) (Livres d'occasion). Mon oncle Jean-Pascal vend des livres d'occasion tous les dimanches sur une brocante. Il trouve que cette activité rapporte trop peu d'argent et a décidé d'arrêter s'il ne gagnait pas au minimum 200 EUR ce mois-ci. Il a de la chance parce qu'il y a 5 dimanches ce mois-ci.

Jean-Pascal a déjà gagné une somme de 160 EUR au total sur les 4 premiers dimanches ; il ne lui reste plus qu'à faire les comptes pour le dernier dimanche. Ce qui l'intéresse, ce sont les bénéfices réalisés et non simplement la somme récoltée chaque semaine.

Il dresse un inventaire des ventes de la journée. Il a vendu 7 livres :

	Prix achat	Prix vente	Bénéfices	Pertes
Livre 1	20 EUR	25 EUR	5 EUR	
Livre 2	10 EUR	23 EUR	13 EUR	
Livre 3	12 EUR	24 EUR	12 EUR	
Livre 4	30 EUR	35 EUR	5 EUR	
Livre 5	20 EUR	18 EUR	2 EUR	
Livre 6	38 EUR	35 EUR	3 EUR	
Livre 7	30 EUR			

Jean-Pascal ne se rappelle plus à quel prix il a vendu le dernier livre mais il sait qu'il a récolté ce dimanche une somme de 180 EUR.

a) Quel bénéfice ou quelle perte a-t-il réalisé(e) sur le dernier livre ?

b) Va-t-il continuer ou non à vendre des livres d'occasion ?

8) (on tapisse la classe). Super, on tapisse les murs de la classe ! Ce ne sera pas trop difficile car la classe a la forme d'un parallélogramme rectangle dont les dimensions sont 11 m de large, 15 m de long et 5 m de hauteur. On voudrait acheter du papier uni de couleur jaune. On le vend par rouleau de 1 m de large sur 50 m de long. Les rouleaux qui ne sont pas entamés peuvent être ramenés au magasin. Combien de rouleaux faut-il prévoir ?

9) (Ballons à gonfler). Pour fêter ses 75 ans, mon grand-père a organisé une après-midi pique-nique dans son jardin. Il avait commandé 260 ballons à gonfler pour décorer le jardin. Après la fête, il a proposé que tous les petits-enfants se partagent les ballons.

Nous formons une famille nombreuse : grand-père et grand-mère ont eu 4 enfants (Patrick, Alain, Danièle et Christine). Mon oncle Patrick et ma tante Isabelle ont eu, eux aussi, 4 enfants ; mon oncle Alain et ma tante Laurence en ont eu 3, ma mère et mon père n'ont eu qu'un seul enfant (moi) et ma tante Christine n'a pas encore d'enfant. Combien chacun des petits-enfants va-t-il recevoir de ballons ?

10) (La recette des crêpes). Pour la Chandeleur, quelques élèves de la classe décident de préparer des crêpes. Ils trouvent la recette suivante dans un livre de cuisine.

Pour quatre personnes, préparer une pâte avec les ingrédients suivants : 6 œufs, 10 cuillère à soupe de farine, 8 verres de lait, 20g de beurre, 16g de sucre ordinaire, 6 cuillères à café de sucre vanillé.

Mais comme ils sont nombreux, ils décident d'augmenter les quantités qui sont indiquées dans la recette. Ils préparent une pâte avec 20 verres de lait, 15 cuillères à café de sucre vanillé, 25 cuillères à soupe de farine, 35g de sucre ordinaire, 50g de beurre et 15 œufs.

Les crêpes risquent de ne pas être très bonnes... Les élèves ont fait une petite erreur : ils n'ont pas respecté exactement la recette. Pour quel produit les élèves se sont-ils trompés ? Quelle quantité de ce produit auraient-ils dû mettre pour respecter la recette du livre de cuisine ?

3. Enoncés des problèmes utilisés dans les études 5 (chap 10) et 7 (chap 12)

3.1 Problèmes du prétest

1) (Goûter de famille). Pour fêter la naissance de ma sœur, mes parents ont organisé un goûter avec toute la famille. Ils avaient commandé 170 ballons à gonfler pour décorer le jardin. Après la fête, ils ont réparti les ballons entre les 8 cousin(e)s. Combien chacun a-t-il reçu de ballons ?

2) (Accrobranche). Christine, Julie et Camille, trois copines de sixième primaire, voudraient organiser une sortie à « Accrobranche » pendant la semaine de vacances. Elles sont toutes très occupées : Julie est libre le lundi et le samedi, ainsi que le mardi, jeudi et vendredi. Christine, elle, n'est pas disponible le lundi, jeudi et dimanche. Camille, enfin, sait venir le lundi, mercredi, vendredi et le samedi. « Accrobranche » est ouvert tous les jours de 10h à 18h sauf le lundi. Quand vont-elles pouvoir organiser la sortie ? Indique toutes les réponses possibles.

3) (Les classes de neige). Les élèves de 5^{ème} et de 6^{ème} primaire de l'école du Ruisseau partent en classe de neige. Un bus peut contenir 31 personnes. Sachant qu'il y a 182 personnes (enfants et adultes) qui partent en classe de neige, combien faudra-t-il de bus ?

3.2 Problèmes de l'intervention

1) (Jeu de billes). Rachid a un gros sac de 20 billes. Frédéric, lui en a 13. A la récréation, les deux enfants jouent une première partie ensemble : Frédéric gagne 5 billes. Les deux amis jouent une deuxième partie et Rachid perd 10 billes. Après-midi, ils jouent encore une nouvelle partie tous les deux. Quand Rachid rentre chez lui, il compte ses billes, il en a 22. Que s'est-il passé lors de la partie de l'après-midi ?

2) (Au restaurant). Dans un restaurant, les boissons peuvent être consommées à volonté. Deux menus sont proposés : le menu « poisson » et le menu « viande ». Le menu « poisson » coûte 2 euros de plus que le menu « viande ». Jordan et Sylvain prennent chacun un menu différent. Leur note totale s'élève à 31 euros. Combien coûte chacun des menus ?

3) (La gourmande). Sarah et Mathieu se partagent un tas de bonbons de la manière suivante : Mathieu en prend un, Sarah, plus gourmande, en prend deux, alors Mathieu en prend trois, mais Sarah en prend quatre et ainsi de suite, chacun prenant à son tour un bonbon de plus de ce qu'a pris le précédent. Sarah est la dernière à prendre des bonbons, elle prend alors tous les bonbons restants. Elle a alors 5 bonbons de plus que Mathieu. Combien y-a-t-il de bonbons dans le paquet ?

4) (Un partage bien inégal). Un père partage une somme de 18 euros entre ses trois filles : Aurélie, Béatrice et Céline. Il donne 2 fois plus à Céline qu'à Aurélie et il donne 2 euros de moins à Béatrice qu'à Céline. Combien d'euros chaque fille a-t-elle reçu ?

5) (Le plein de vitamines). Nicolas part en camp scout pendant 7 jours. Sa maman a peur qu'il manque de vitamines alors elle lui donne des sachets contenant des vitamines en poudre à dissoudre dans l'eau. Nicolas doit en boire une tasse tous les matins et tous les soirs. Pour préparer une tasse, il faut mélanger 2 cuillères à café de vitamines en poudre avec 20 cl d'eau.

Les vitamines en poudre se vendent par sachets de 30 grammes. Une cuillère à café de cette poudre pèse 10g. Sachant que le premier jour Nicolas déjeunera chez lui avant de partir, et le dernier jour, il soupera à sa maison, combien de sachets de vitamines en poudre doit-il emporter avec lui ?

6) (L'anniversaire). Pour son anniversaire, Emma décide de faire un gâteau au chocolat pour ses camarades de classe. Elle trouve la recette ci-dessous sur Internet :

Gâteau au chocolat pour 6 personnes :

200g de farine

2 oeufs

50g de sucre en poudre

50g de beurre

80g de chocolat

Comme ils sont plus nombreux, Emma doit augmenter les quantités qui sont indiquées dans la recette. Elle prépare la pâte avec 600g de farine, 8 œufs, 150g de sucre, 150g de beurre et 240g de chocolat. En goûtant les élèves font une drôle de tête, Emma n'a pas respecté exactement la recette. Pour quel produit s'est-elle trompée ? Quelle quantité de ce produit aurait-elle dû mettre pour respecter la recette?

4. Enoncés des problèmes utilisés dans l'étude 6 (chap 11)

1) (Jeu de billes). Rachid a un gros sachet de 20 billes. Frédéric, lui en a 13. A la récréation, les deux enfants jouent une première partie ensemble : Frédéric gagne 5 billes. Les deux amis jouent une deuxième partie et Rachid perd 10 billes. Après-midi, ils jouent encore une nouvelle partie tous les deux. Quand Rachid rentre chez lui, il compte ses billes, il en a 22. Que s'est-il passé lors de la partie de l'après-midi ?

2) (La gourmande). Sarah et Mathieu se partagent un tas de bonbons de la manière suivante : Mathieu en prend un, Sarah, plus gourmande, en prend deux, alors Mathieu en prend trois, mais Sarah en prend quatre et ainsi de suite, chacun prenant à son tour un bonbon de plus de ce qu'a pris le précédent. Sarah est la dernière à prendre des bonbons, elle prend alors tous les bonbons restants. Elle a alors 5 bonbons de plus que Mathieu. Combien y-a-t-il de bonbons dans le paquet ?

3) (Au restaurant). Dans un restaurant, les boissons peuvent être consommées à volonté. Deux menus sont proposés : le menu « poisson » et le menu « viande ». Le menu « poisson » coûte 2 euros de plus que le menu « viande ». Jordan et Sylvain prennent chacun un menu différent. Leur note totale s'élève à 31 euros. Combien coûte chacun des menus ?

5. Enoncés des problèmes utilisés dans l'intervention de l'étude 8 (chap 13)

1) (Jeu de billes). Rachid a un gros sachet de 20 billes. Frédéric, lui en a 13. A la récréation, les deux enfants jouent une première partie ensemble : Frédéric gagne 5 billes. Les deux amis jouent une deuxième partie et Rachid perd 10 billes. Après-midi, ils jouent encore une nouvelle partie tous les deux. Quand Rachid rentre chez lui, il compte ses billes, il en a 22. Que s'est-il passé lors de la partie de l'après-midi ?

2) (Au restaurant). Dans un restaurant, les boissons peuvent être consommées à volonté. Deux menus sont proposés : le menu « poisson » et le menu « viande ». Le menu « poisson » coûte 2 euros de plus que le menu « viande ». Jordan et Sylvain prennent chacun un menu différent. Leur note totale s'élève à 31 euros. Combien coûte chacun des menus ?

3) (Un partage bien inégal). Un père partage une somme de 18 euros entre ses trois filles : Aurélie, Béatrice et Céline. Il donne 2 fois plus à Céline qu'à Aurélie et il donne 2 euros de moins à Béatrice qu'à Céline. Combien d'euros chaque fille a-t-elle reçu ?

4) (Le plein de vitamines). Nicolas part en camp scout pendant 7 jours. Sa maman a peur qu'il manque de vitamines alors elle lui donne des sachets contenant des vitamines en poudre à dissoudre dans l'eau. Nicolas doit en boire une tasse tous les matins et tous les soirs. Pour préparer une tasse, il faut mélanger 2 cuillères à café de vitamines en poudre avec 20 cl d'eau.

Les vitamines en poudre se vendent par sachets de 30 grammes. Une cuillère à café de cette poudre pèse 10g. Sachant que le premier jour Nicolas déjeunera chez lui avant de partir, et le dernier jour, il soupera à sa maison, combien de sachets de vitamines en poudre doit-il emporter avec lui?

Annexe 6

Critères ayant guidés le choix des problèmes retenus et analyse a priori

1. Critères ayant guidés le choix des problèmes retenus

Problèmes dont le(s) notion(s) mathématique(s) sous-jacente(s) est(sont) préalablement connue(s) de l'apprenant. En accord avec l'objectif de notre recherche, les problèmes proposés dans nos dispositifs d'enseignement-apprentissage visent l'acquisition par l'apprenant d'une expertise adaptative en résolution de problèmes, dit autrement, le développement de stratégies heuristiques et métacognitives (pour la dimension cognitive). Afin de focaliser le travail uniquement sur cet objectif, nous avons veillé à ne proposer que des problèmes dont les contenus mathématiques sous-jacents étaient accessibles aux élèves. Cette sélection a donc chaque fois été opérée en collaboration avec les enseignants impliqués dans l'étude.

Problèmes aux notions mathématiques sous-jacentes variées. Afin d'éviter de défavoriser un élève ou un groupe d'élèves qui aurai(en)t plus de difficulté avec certains contenus mathématiques, nous avons pris soin, dans chacune de nos interventions, à diversifier un maximum les contenus mathématiques impliqués dans les problèmes proposés.

Problèmes qui sollicitent, de façon distincte, les stratégies heuristiques enseignées. Au sein de chaque dispositif d'enseignement-apprentissage, nous avons essayé de proposer des problèmes qui suscitent davantage l'utilisation de certaines heuristiques afin de développer chez l'apprenant une flexibilité inter-tâches et de faire ressortir le sens spécifique de chacune d'elle. Notons que le phénomène de « suspension de construction de sens », documenté, notamment par Verschaffel (pour la Flandres) et par Fagnant (pour la Belgique francophone) et présenté au chapitre 1 de cette thèse, nous a conduite à mettre une emphase particulière sur l'heuristique d'interprétation. De la même manière, les recherches ayant mis en exergue le rôle clé joué par la construction d'un modèle de situation nous ont amenée à privilégier l'utilisation de cette heuristique. Par ailleurs, aucun accent particulier n'a été mis sur les stratégies heuristiques d'utilisation des connaissances antérieures, de vérification et de communication parce qu'il nous semble qu'elles relèvent d'une démarche transversale.

Problèmes aux contextes réalistes. Toujours dans l'optique de favoriser une déconstruction chez l'apprenant de cette croyance selon laquelle le monde réel et le domaine

des mathématiques sont deux réalités distinctes et de donner du sens aux mathématiques par la pratique de la modélisation, nous avons privilégié des contextes susceptibles de se produire dans la réalité.

Problèmes de complexité croissante. Cette complexité s'exprime au travers du nombre d'étapes à mettre en oeuvre, de la quantité d'informations présente dans l'énoncé, de la présence ou non d'information superflues et de la longueur de l'énoncé.

2. Analyse succincte des problèmes proposés dans nos interventions

Problème(s)	Domaine(s)	Heuristique(s) davantage sollicitée(s)	Particularités ⁹⁴
A la piscine Accrobranche	Traitement de données	- Décodage - Interprétation	- Problèmes nécessitant une organisation des données - Disponibilités exprimées de trois façons différentes : matin, après-midi, journée complète. - Les informations concernant l'un des enfants sont formulées dans le sens contraire à celles des deux autres enfants. - Le jour de fermeture est une contrainte supplémentaire à prendre en compte. - Pour le problème « A la piscine » : deux créneaux sont possibles mais un seul permet l'accès au toboggan → questionne l'interprétation en contexte.
Le club de jeunes part en excursion	Calculs de coûts	- Planification	- Les informations sont données tantôt pour 6 personnes, tantôt pour le groupe en entier et tantôt pour une seule personne. - Beaucoup d'informations à prendre en compte. - Nécessite de pouvoir distinguer le coût de l'excursion, ce qui est pris en charge par les participants et ce qui reste à payer par l'école.
L'armée engage Classes de neige Goûter de famille	Partage	- Anticipation - Interprétation	- Le résultat de la division donne un reste non nul qui nécessite une interprétation en contexte (ne pas arrondir, arrondir par excès arrondir par défaut).
C'est mon anniversaire !	Solides et figures (périmètre)	- Décodage - Anticipation	- Confusion entre aire et périmètre possible. L'anticipation effectuée sur la base d'une représentation mentale du contexte permettrait de se rendre compte d'une telle confusion lors de la vérification.
On tapisse la classe	Solides et figures (aire)	- Décodage (construction d'un parallélépipède rectangle pour visualiser les différentes faces à tapisser) - Planification - Interprétation	- Nécessité de décomposer le problème en étapes - Une solution réaliste impose de prendre plus de rouleaux pour compenser les pertes dues, entre autre, aux découpes.

⁹⁴ Analyse, pour partie, inspirée de celle proposée par Fagnant et Demonty (2005) dans leur guide méthodologique.

Des ballons à gonfler	Partage	- Décodage - Interprétation	- Enoncé comportant beaucoup d'informations → nécessité de bien les organiser. - Problème pour lequel il faut interpréter le reste de la division en contexte (ne pas arrondir, arrondir par excès, arrondir par défaut).
Opération « lasagne »	Calculs de coûts (prix d'achat, prix de vente, bénéfices)	- Décodage - Planification	- Problème comportant beaucoup d'informations → nécessité de les organiser - Problème comportant plusieurs étapes
Le plein de vitamines	Traitement de données	- Décodage - Planification	- Problème contenant des informations perturbantes (quantité de lait nécessaire et sa masse)
En route pour la mer	Proportionnalité	- Décodage - Planification	- Enoncé long et comportant pas mal de données tant utiles que superflues → nécessité d'une bonne organisation des données - Pour pouvoir identifier la vitesse sur le tronçon 4, plusieurs étapes sont nécessaires (calcul de la distance des tronçons 1, 2 et 4).
La piscine	Proportionnalité	- Décodage - Anticipation (valeur plafond à ne pas dépasser, anticipation en termes de nombre de seaux et non de litres d'eau)	- Problème qui peut être résolu de deux façons différentes : en partant du volume d'eau « disparu » ou en effectuant une comparaison entre le volume initial et le volume après « disparition ».
Prix horaire et main d'œuvre	Proportionnalité (remise en question du modèle de proportionnalité directe)	- Décodage - Interprétation	- Le 1 ^{er} problème implique une proportionnalité directe tandis que le 2 ^e problème implique une proportionnalité inverse.
Le routier	Proportionnalité	(- Décodage) - Utilisation de ses connaissances antérieures ⁹⁵	- Problème pour lequel le modèle de proportionnalité directe fonctionne
Livres d'occasion	Calculs de coûts (prix d'achat, prix de vente et bénéfices)	- Décodage - Planification - Interprétation	- Problème qui comprend beaucoup d'informations → nécessité de les organiser - Problème pour lequel il faut interpréter une solution négative. - Problème qui demande d'interpréter une solution numérique pour argumenter une réponse non numérique.
La recette des crêpes L'anniversaire	Proportionnalité	- Décodage	- Problème pour lequel on ne précise pas le rapport d'agrandissement. - Problème qui nécessite une organisation des données des deux recettes pour faire ressortir le rapport de proportionnalité.
Jeu de billes	Nombres et opérations	- Décodage - Planification	- Problème comprenant différents types de relations additives (opérer une transformation sur un état ; composer deux états). - Problème nécessitant d'être familier au contexte du jeu de billes
Au restaurant	Partages inégaux	- Décodage - Anticipation	- Problème comprenant des relations additives pour lequel la méthode par tâtonnement est peu efficace en raison de la nature décimale de la réponse.
La gourmande	Recherche de régularités	- Décodage - Anticipation	- Problème qui nécessite de respecter une règle de distribution.
Un partage bien inégal Un partage particulier	Partages inégaux	- Décodage - Anticipation	- Problème comportant des relations additives pouvant se résoudre par tâtonnement.

⁹⁵ Au sein de chaque intervention, nous avons veillé à proposer plusieurs problèmes faisant intervenir le même concept mathématique (ici, la proportionnalité) afin d'encourager l'utilisation, par l'apprenant, de ses connaissances antérieures.