Troubles des apprentissages mathématiques : quelles sont les interventions efficaces ?

Marie-Pascale Noël

Paris – mars 2025

UCLouvain



Psychological Sciences Research Institute

iPSY

Difficultés d'apprentissage en math



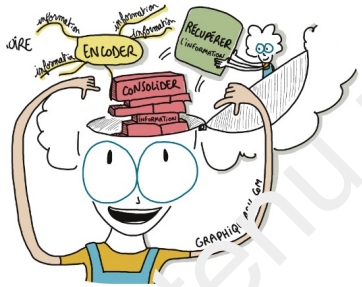
- Facteurs cognitifs généraux
- Diff numérique de base
- Particularités cérébrales
- Facteurs émotionnels

Difficultés d'apprentissage en math



- Facteurs cognitifs généraux
- Diff numérique de base
- Particularités cérébrales
- Facteurs émotionnels

Facteurs cognitifs généraux



- Plusieurs recherches montrent que les enfants atteints de DD ont des capacités de mémoire de travail inférieures à celles des enfants typiques
- Comme ces compétences générales ont un impact sur l'ensemble du processus d'apprentissage, un entrainement ciblé sur celles-ci pourrait avoir un impact important sur l'apprentissage de l'enfant.

Contenu protégé

Entrainer la mémoire de travail:

Honoré & Noël, 2017 (J of Numerical Cognition)

- 46 enfants de 5 ans
- Répartis aléatoirement entre groupe Expé et Contrôle
- Entrainement de 5 semaines – Cogmed – 20 séances
  - Entrainement contrôle: niveau de difficulté bas et constant (1-2 items)
  - Entrainement expérimental: niveau de difficulté augmente selon capacités de l'enfant
- Testés avant (T1), directement après (T2) et 10 semaines après l'entrainement (T3)
  - 6 tâches de mémoire de travail
  - 6 tâches numériques: comptage, élaboration comptage, comparaison de NA, comparaison de collections, positionnement de NA sur une ligne, addition

Entrainer la mémoire de travail

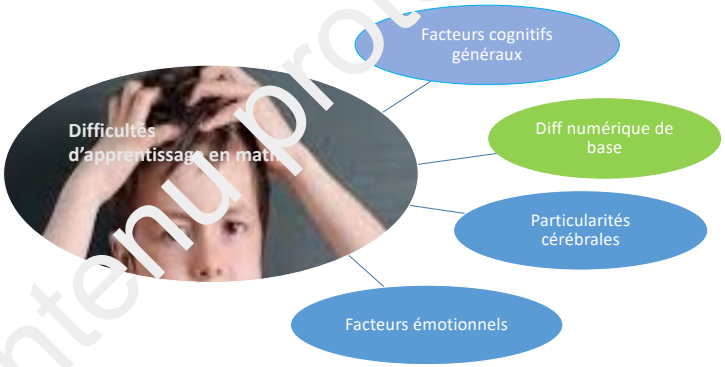
Honoré & Noël, 2017 (J of Numerical Cognition)

- Résultats mémoire
  - T2: effet * de l'intervention expé sur 2 tâches de mémoire Visuo-spatiale mais aucune de mémoire verbale
  - T3: Cet effet n'est plus présent
- Résultats numériques: même progression dans les deux groupes d'enfants

Agir sur la mémoire de travail

- Des résultats similaires sont aussi observés par
  - Honoré & Noël (2017), J Edc & Training Studies
  - Bergman-Nutley (2014), Psycho Res
  - Melby-Lervg (2013), Dev Psyh
- => ces prises en charge sont d'une très faible efficacité.

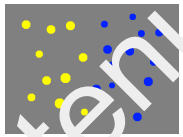
Difficultés d'apprentissage en math

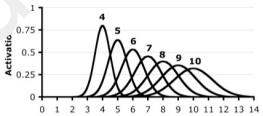


Contenu protégé

Processus numérique de base

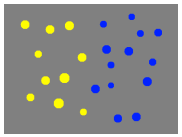
- Les bébés naissent avec la capacité de discriminer des quantités d'items, si les 2 collections sont suffisamment distantes l'une de l'autre (Xu & Spelke, 2000)
- Mise en jeu d'une représentation approximative de la numérosité: ANS
- La précision de ce système ANS est associée aux compétences mathématiques futures (par exemple, Bethany et al., 2016).
- La dyscalculie pourrait être due à un deficit de cette representation approximative de la quantité (ANS) (Wilson & Dehaene, 2007)

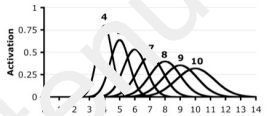




Processus numérique de base

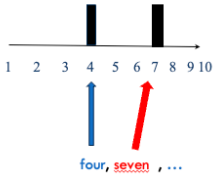
Représentation approximative de la quantité





Système numérique « exact »

- Bon nombre d'humains apprennent un système numérique symbolique (mots, NA) qui demande de construire une représentation numérique "exacte"
- La dyscalculie serait due à une difficulté de créer cette représentation et de la manipuler (Noël & Rousselle, 2011)



Nombres symboliques ou non-symboliques ?



- Méthode

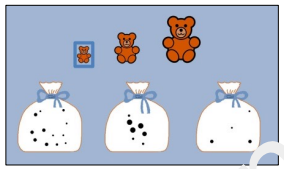
- 56 enfants de 3ième maternelle (5;9ans)
- Répartis aléatoirement en 3 groupes
  - NS: travail sur numérosités (nombres non-symboliques)
  - S: travail sur nombres symboliques (NA)
  - C: activités contrôles (histoires)

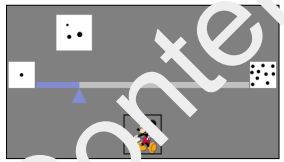
10 sessions de 30' par groupes de 3 enfants

Honoré et Noël, PLOS One, 2016 11

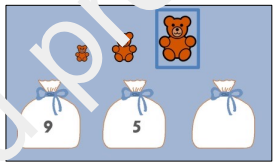
Entrainement adaptatif avec rb

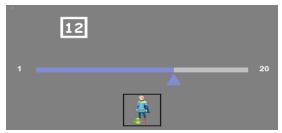
- Entrainement NS





- Entrainement NS





6 niveaux en fonction de la taille des nombres et de leur distance

Lignes de 1 à 10 puis de 1 à 20; erreurs acceptées de ± 20% puis ± 10%

Contenu protégé

Conclusions

- Les deux entrainements sont plus efficaces que celui du groupe C

	Tâches	NS training	S training	C training
NS	Comparaison de collections	***	(sur ½)	
	Positionnement NS s/ ligne	***	**	
S	Comparaison de NA	**	*	
	Comparaison de NVO		***	
	Positionnement NS s/ ligne		***	
Arithmétique	Additions	*	***	

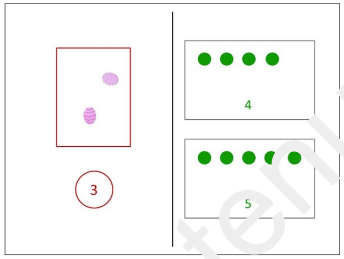
* (0,05-0,07), ** < 0,05, *** < 0,01

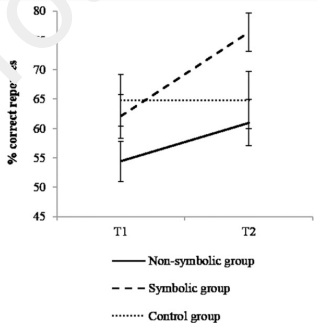
→ Impact des deux entrainements sur les mesures de représentation de la quantité

→ Plus grand impact de l'entrainement S sur le calcul

Résultats pour l'addition: % de RC

- Interaction temps x groupe (p=.014)
- C: ns (p=1)
- NS: p=0,069
- S: p=0,001





Disposition spatiale et modalité sensorielle

La représentation de la magnitude numérique: métaphore de la ligne numérique

- 4 entrainements numériques comparés
  - Présentation du matériel sous forme linéaire ou non
  - Implication du corps (aspect tactile) ou pas
- Un groupe contrôle:
  - lecture d'histoires et acquisition de nouveaux mots de vocabulaire
- Durée: 3 séances de 20 min par petits groupes de 4-5 enfants
- 85 enfants de 5-6 ans (dernière maternelle)

Virginie Crollen [a,b,*], Marie-Pascale Noël [b], Nastasya Honoré [b], Véronique Degraute [c], Olivier Collignon [b] JECP, 2020

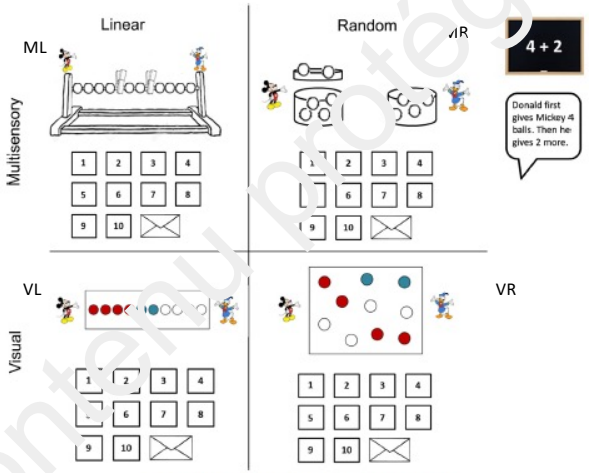
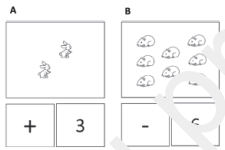
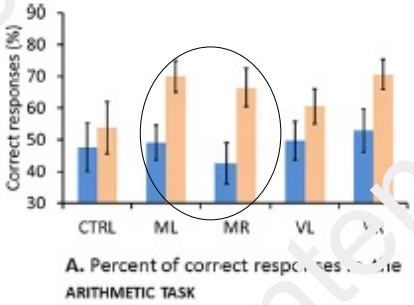


Fig. 1. Visual depiction of the four numerical training conditions.

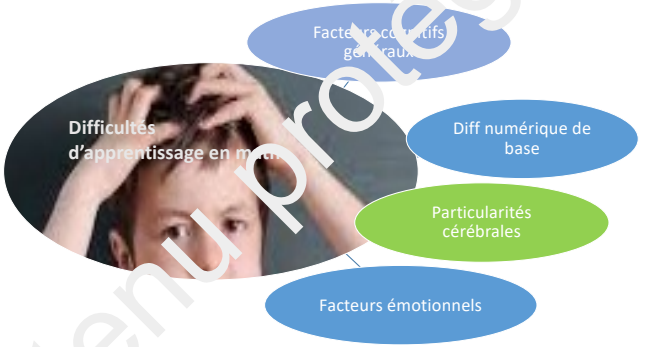
- Résultats en arithmétique
  - Plus grande progression pour les entrainements avec modalité tactile que les autres





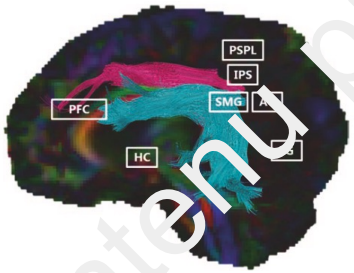
A. Percent of correct responses in the
ARITHMETIC TASK

Difficultés d'apprentissage en math



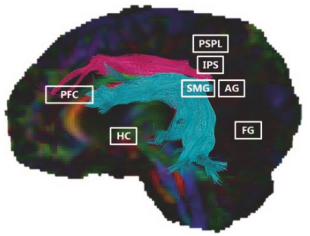
Particularités cérébrales

- La structure du cerveau : densité de matière grise réduite dans le cortex pariétal postérieur, y compris l'IPS (Isaacs, & al., 2001 ; Rotzer et al., 2008 ; Rykhlevskaia, & al., 2009), dans le cortex préfrontal (Rotzer et al., 2008) et dans les zones hippocampiques (Rykhlevskaia et al., 2009).
- Connectivité cérébrale : connexions plus faibles entre le cortex préfrontal et le cortex pariétal postérieur (Tsang, & al., 2009 ; Van Beek, & al., 2014, Rykhlevskaia et al., 2009, Kucian et al., 2014).



Particularités cérébrales

- Moins d'activité cérébrale dans l'IPS pendant la comparaison non symbolique (Price, Holloway, Räsänen, Vesterinen, & Ansari, 2007), la comparaison symbolique (Mussolin et al., 2010 ; Soltész, & al., 2007), et l'ordonnancement symbolique (Kucian et al., 2011).
- Parfois, une activité cérébrale accrue dans le réseau frontopariétal (par exemple, pendant l'arithmétique, Davis et al., 2009 ; Rosenberg-Lee et al., 2015), peut-être des mécanismes compensatoires caractérisés par un recrutement plus important des zones de soutien associées à la mémoire de travail ou aux processus de contrôle.



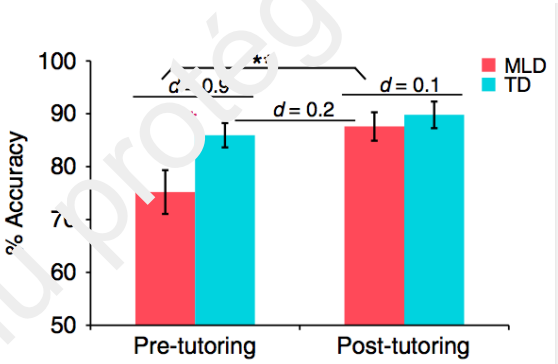
Contenu protégé

Thérapies: effet cognitif et cérébraux

Iculano, Rosenberg-Lee, Tenison, Fuchs, Supekar & Menon, 2015, *Nature Communications*

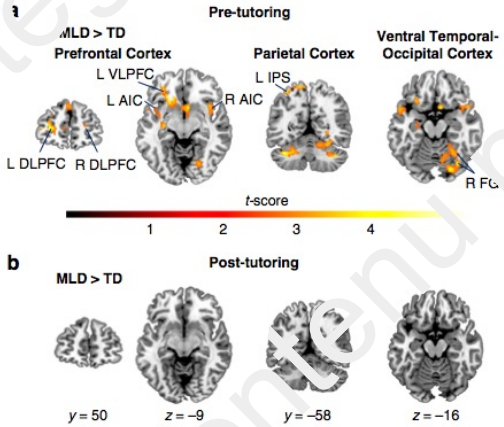
- Méthode
  - 15 enfants dyscalculiques et 15 enfants contrôles (3ème année), = au niveau âge, sexe, QI, WM
- Entrainement:
  - 22 leçons de 40-50' étalées sur 8 semaines
  - Programme Math Flash : des séances d'instruction soigneusement séquencées et intégrées pour résoudre les additions et soustractions
- Testing
  - comportemental et fMRI (tâche de vérification d'additions simples, 3+4=7 ?) avant et après entrainement (tâche contrôle: 7=5 ?)

- efficacité de l'entrainement

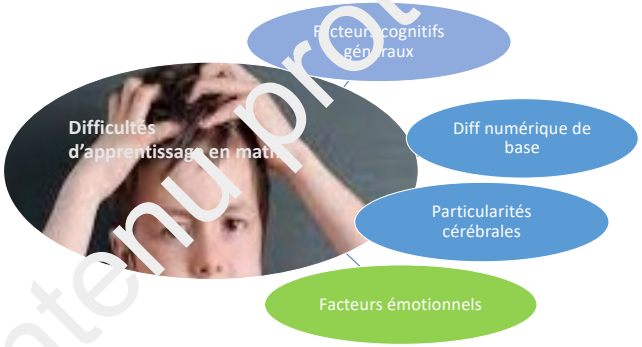


Normalisation des activations cérébrales

- En pré: activation > chez D dans ≠ régions cérébrales
- En post: aucune ≠ avec C



Difficultés d'apprentissage en math



Contenu protégé

L'anxiété mathématique

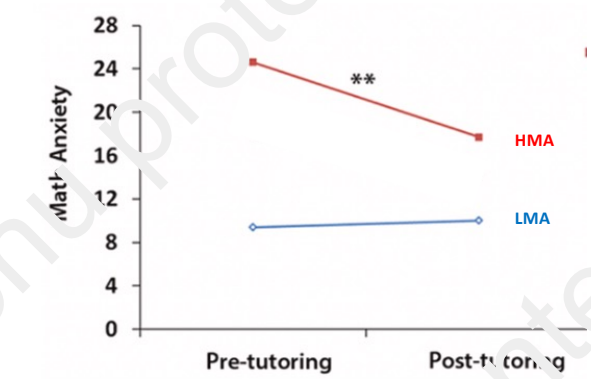
- Appréhension ou peur devant une situation qui demande un traitement des nombres ou un raisonnement mathématique
- Associé à une diminution des ressources en MdT => difficultés dans calculs plus complexes
- Young et al. (2012) observent chez des enfants avec une haute anxiété math
  - Augmentation de l'activation de amygdale droite: une region associée au traitement émotionnel et qui est active lors des réactions fight-or-flight
  - Diminution de l'activité des regions fronto-temporales qui soutiennent la resolution de calculs

Réduire l'anxiété mathématique

Supekar, Iuculano, Menon, J of Neurosc, 2015

- Comment y remédier ?
  - Effet + de l'exposition
  - => Effet d'un entrainement mathématique ?
- Méthodes même design qu'étude précédente mais
  - 28 enfants de 3ième P
  - 2 sous groupes selon leur niveau d'anxiété math 14 faibles, 14 élevés
  - Aucune ≠ d'âge, QI, MdT, performances en petits calculs

↘ anxiété math dans le groupe de HMA après l'intervention

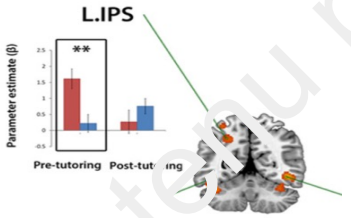


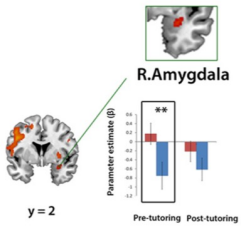
Avant intervention:

Groupe anxieux montre une activation >

l'amygdale droite, sillon intrapariétal G, gyrus angulaire G, régions préfrontales

Après intervention: normalisation de l'activité cérébrale





Haute vs basse anxiété math

HMA LMA

Contenu protégé

Conclusion

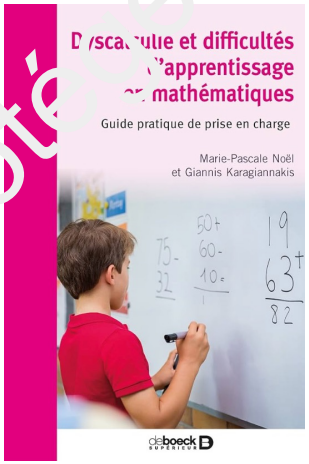
- Les interventions visant à augmenter les capacités de mémoire de travail sont peu efficaces et entraînent peu de transfert sur le plan des compétences numériques
- Les interventions avec des nombres symboliques seraient plus efficaces que celles avec les quantités non-symboliques uniquement
- Importance que l'enfant manipule lui-même le matériel
- Les interventions peuvent normaliser l'activité cérébrale lors de la tâche entrainée
- Travailler les math dans un contexte rassurant et progressif peut diminuer l'anxiété mathématique

avoir une idée claire

- du parcours développemental dans le domaine numérique,
- des éventuels malentendus ou erreurs typiques observées chez les enfants atteints de DAM
- des modes d'intervention les plus efficaces

=> Construire des séquences de remédiation efficaces

Merci pour votre attention !!!



Thank you very much !!





Contenu protégé

Entrainer les fonctions exécutives

Honoré, Houssa, Volkaert, Noël & Nader-Grosbois, 2020

- 241 enfants: 120 en GSM et 121 en CP



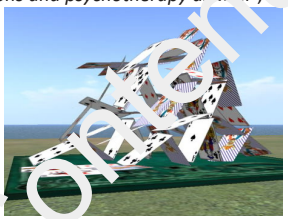
- Répartition aléatoire entre intervention vs. Pas d'intervention
- Intervention. 18 séances de 45 minutes en classe: jeux autours des différentes dimensions de l'inhibition et métacognition (+ cognition sociale), sur 6 mois
- Mesures
  - Attention: visages de la NEPSY
  - Inhibition: Stroop fruits, bonbon sur la langue à ne pas manger, délais de gratification (1 point si tout de suite, 2 si après 15 secondes)
  - Flexibilité: une tâche de tri de cartes, la tâche des feux de signalisation
  - Math: GSM: conservation numérique, addition; CP: tâche d'additions et de soustractions

Résultats

- Interaction temps x groupe (expé ou contrôle) montre une plus forte amélioration pré-post test dans le groupe Expé
  - Attention: visages de la NEPSY
  - Inhibition: Stroop fruits, bonbon sur la langue à ne pas manger, délais de gratification (1 point si tout de suite, 2 si après 15 secondes)
  - Flexibilité: tri de cartes, feux de signalisation
  - Math: rien
  - => effet de l'intervention sur les FE mais pas d'effet sur les compétences math

Multiple number processing

- *"The componential nature of arithmetic is important in planning and formulating interventions with children with arithmetical difficulties. Interventions that focus on the particular components with which an individual child has difficulty are likely to be more effective than those which assume that all children's arithmetical difficulties are similar"*. (Cohen Kadosh, Dowker, Heine, Kaufmann & Kucian, 2013)
- *"For the best chance of a lasting therapeutic benefit, the treatment should be individually tailored to the findings of the diagnostic evaluation. It should be adapted to the patient's individual cognitive functioning profile and may incorporate medications and psychotherapy as well, if needed"* (Kaufmann & von Aster, 2012)



Catch up numeracy: Holmes & Dowker 2013

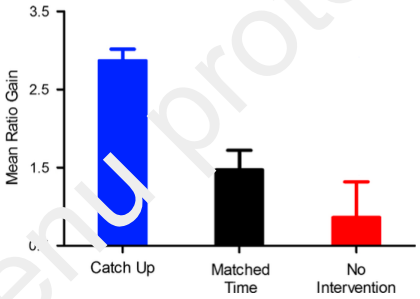
- Children with MLD (selected by their teachers, mean age 8)
- Three groups (four months intervention)
  - Intervention group: N=348: The "Catch up Numeracy" delivered in two 15 minute sessions per week by classroom assistants who have received three half-days of training Recovery intervention is
  - matched-time control group (N=50): receive the same amount of individual intervention but not using the program;
  - no-intervention control group (n=42): receive only their usual classroom lessons.
- The four stages of Catch Up Numeracy are:
  - (i) formative assessments:
    - attitude of the child towards math
    - diagnostic assessments of the child's ability in each component of numeracy.
  - (ii) identifying an appropriate focus for intervention based on the child's specific area of difficulty
  - (iii) individual sessions;
  - (iv) ongoing monitoring.

Contenu protégé

Components of numeracy

- (1) Counting verbally
- (2) Counting objects
- (3) Reading and writing numerals and number words.
- (4) Handling tens and units (number comparison; adding tens and units; subtracting tens and units)
- (5) Ordinal numbers (stating the ordinal position – e.g. second, fourth, etc –).
- (6) Word problems.
- (7) Translation between different formats (i.e. between quantities of objects and number words or numerals).
- (8) Derived fact strategies (including the use of commutativity of addition and the inversion principle for addition and subtraction to derive unknown number facts from a given number fact).
- (9) Estimation of set size, and of answers to arithmetic problems.
- (10) Remembered number facts.

Holmes & Dowker (2013): efficacy of the catch up approach

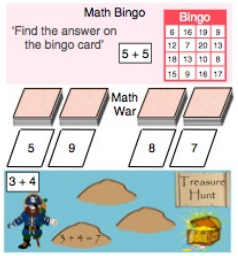


simples

- 16 semaines, 3 sessions (25 min)
- Leçons 1 & 2 : les faits de + 1 et - 1 à l'aide de matériel de manipulation et de la droite numérique, l'enseignement de la propriété commutative de l'addition, et l'accent mis sur le fait que cette propriété ne s'applique pas à la soustraction.
- Leçons 3 et 4 : introduction des faits de + 0 et - 0, à l'aide de matériel de manipulation et de la droite numérique.
- Leçons 5 et 6 : révision des faits mathématiques + 1, - 1, + 0, - 0.
- Leçon 7 : apprentissage des doubles de 0 à 6 (c'est-à-dire 0 + 0, 1 + 1, 2 + 2, 3 + 3, 4 + 4, 5 + 5, 6 + 6, 0 - 0, 2 - 1, 4 - 2, 6 - 3, 8 - 4, 10 - 5, 12 - 6), à l'aide de matériel de manipulation et en répétant les chants des doubles.
- Leçon 8 : apprendre les faits avec + 2 et - 2 à l'aide de matériel de manipulation et de la droite numérique.
- Leçons suivantes : Différence entre « juste savoir " le fait mathématique et " ne pas savoir » => bonne utilisation de stratégie de comptage avec l'aide de la ligne numérique et des doigts

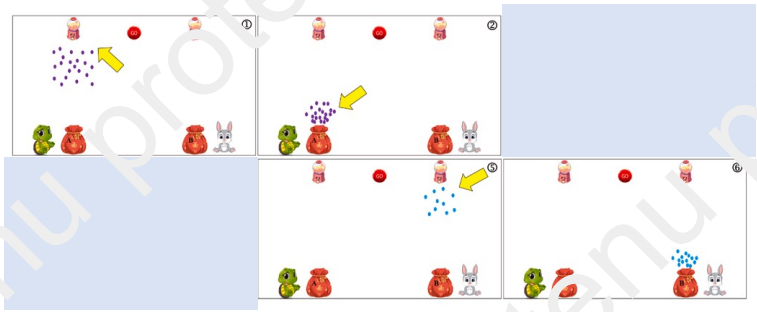
=> Base conceptuelle forte en utilisant les doigts, les lignes numériques, du matériel à manipuler

- À chaque fois:
  - (1) cartes pour revoir les problèmes travaillés et feed-back direct
  - (2) révision des stratégies, de l'utilisation du matériel,
  - (3) introduction aux nouveau nombres travaillés,
  - (4) jeux, exple: bingo (retrouver la somme),
  - (5) avec problèmes anciens et nouveaux
  - (6) feuille de synthèse des nouveaux problèmes
  - (7) système de récompense



Deux types d'entrainement de l'ANS: : (1) base sur la comparaison

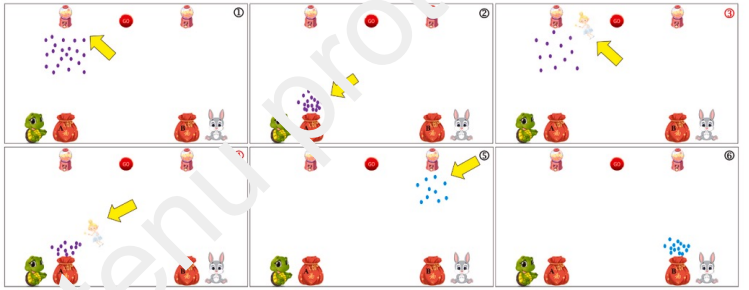
(Sella et al., 2016).



Qui en a le plus? La tortue ou le lapin?

Two types of ANS training: (2) base sur l'arithmétique approximative

Les enfants estiment la somme (ou la difference) de deux ensembles présentés séquentiellement et le compare à une troisième quantité (Park et al., 2016; Szkudlarek & Brannon, 2018).



Who has more ? The turtle or the rabbit ?

Impact of ANS training: retrouver les résultats de ces études

- Liang et al. (2022)
  - Compare both an ANS comparison training and an ANS-approximate addition training; 4-[illegible] y.o., 4 weeks, 3 sessions per week
  - Both had significant and similar impact on the acuity of the ANS and on early math skills
- Yet: the relationship between ANS and mathematics ability declines with age:
  - r (3–5 years old) = 0.40; *r* (6–18 years old) = 0.17 (Fazio et al., 2014)
  - *r* (5–6 years old) = 0.31; *r* (6–9 years old) = 0.22 (Schneider et al., 2017).

- Training on core number system has an impact on math skills
- But these training strategies are more helpful at a young age

Contenu protégé