

LES INVARIANTS OPÉRATOIRES COMME « PIVOTS » DANS L'ARTICULATION ENTRE LES ASPECTS SUBJECTIVES ET CULTURELS DE L'ACTION HUMAINE

Introduction

Malgré son origine liée aux mathématiques en France, la Théorie des Champs Conceptuels de Gérard Vergnaud (TCC) est utilisée en d'autres domaines, soit comme un outil pour la planification didactique (Auteurs, 2008), soit pour l'interprétation du processus de conceptualisation (Otero et al., 2014; Bourg; Guillot, 2015; Auteurs, 2019; Ponciano Filho, 2020). D'ailleurs, on trouve l'interaction entre la TCC et la didactique professionnelle (Chauvigné; Coulet, 2010).

Dans ce travail, théorique, notre discussion porte sur une partie encore **peu** étudiée de la TCC, notamment la possibilité de construire la compatibilité entre les modèles de développement de Piaget et de Vygotski. Pour cela, on présentera les idées centrales et originales de la TCC pour pouvoir démontrer que les invariants opératoires font la liaison entre la théorie d'équilibration et le concept de zone de proche développement.

Les résultats présentés ici sont issus d'un ensemble de recherches conduit en didactique des de la physique.

Cet article présente quatre sessions. La première est consacré à la discussion des points clé de la TCC ; la deuxième relie les modèles de Piaget, Vygotski et Vergnaud ; pour la troisième partie, nous faisons appel à une activité de recherche menée sur la didactique de la chaleur au secondaire ; dans la dernière session, nous rajoutons les idées, en guise de conclusion, en ciblant la présentation d'une unité d'analyse pour la conceptualisation ayant les éléments des modèles de développement de Piaget et Vygotski.

1. La Théorie des Champs Conceptuels

1.1 La notion de champ conceptuel

La maîtrise des situations est un processus complexe dans la mesure où elle sollicite plusieurs concepts dans l'aboutissement des résolutions de ces dernières. Par ailleurs, un concept donné en tant qu'outil qui se développe dans la culture, peut être utilisé dans différentes situations. C'est la raison pour laquelle on ne peut évaluer le processus de développement qu'à partir d'un grand ensemble de situations ou – ce qui est équivalent dans un sens plus large – à partir d'une variété de concepts.

Ce sont les arguments utilisés par Vergnaud pour soutenir la pertinence de l'idée de Champs Conceptuels en s'opposant à l'étude des concepts isolés. La définition de champ conceptuel qu'il présente englobe la complexité du sujet-en-acte, c'est-à-dire, le sujet face aux situations. Pour l'auteur, un champ conceptuel est un espace de problèmes ou de situations-problèmes dont le traitement implique des concepts et des procédures de plusieurs types en étroites connexions (Vergnaud, 1990, p.62).

Les situations sont une partie intégrante des concepts puisqu'elles sont le scénario **où a lieu toute l'action du sujet**. Ce scénario fait partie du contexte pour les actions et provoque, chez le sujet, l'établissement de relations entre les concepts qu'il tient pour pertinents à chaque action. Ainsi, il est impossible qu'une action se reproduise sans avoir un contexte que lui donne du sens.

Afin de réussir une meilleure compréhension de la TCC, il nous faut conduire une étude plus approfondie de ses principaux composants : les invariants opératoires, les concepts et les schèmes.

1.2 La notion de schème

Pour Vergnaud, le schème est l'organisation invariante de l'activité pour une classe de situations donnée (2011, p. 43). On peut conclure que le schème est un universel qui engendre des procédures différentes en fonction des particularités de chaque situation, donc c'est l'organisation qui est invariante, non pas la conduite observable.

Du point de vue analytique, Vergnaud affirme que le schème est formé nécessairement de quatre composantes :

- un but, des sous-buts et anticipations ;
- des règles d'action, de prise d'information et de contrôle ;
- des invariants opératoires : concepts-en-acte et théorèmes-en-acte ;
- des possibilités d'inférence en situation.

Notons la filiation de Vergnaud aux idées de Piaget dans la mesure où le concept de schème présenté par le **premier** a les mêmes caractéristiques d'un processus orienté aux situations ayant une organisation interne spécifique (Auteurs, 2015). Cependant, Piaget n'a pas thématiqué la dimension conceptuelle, malgré le fait qu'il la considérait essentielle. Vergnaud élargit le domaine des schèmes en proposant une base conceptuelle implicite – c'est-à-dire, les Invariants Opératoires - à l'action du sujet.

Cette dimension rend possible la reconnaissance des éléments pertinents ainsi que la construction de relations entre eux en action. Par ailleurs, l'insertion des éléments conceptuels du concept de schème s'avère nécessaire pour expliquer le fait que les schèmes se diversifient dans la même mesure qu'avance le processus de développement cognitif (Auteurs, 2015).

1.3 La notion d'Invariants Opératoires : concepts-en-acte et théorèmes-en-acte

L'une des thèses centrales de Vergnaud est l'affirmation que chaque situation incite l'utilisation d'un ensemble particulier de schèmes et de connaissances, rendant possible leur développement dans chaque champ conceptuel. Il est donc nécessaire que les sujets

reconnaissent dans les situations quelque chose qui puisse être maîtrisé par la construction des liaisons avec leurs connaissances.

Les sujets doivent, alors, partager certaines notions élémentaires avec le domaine social des concepts dans chaque champ conceptuel pour qu'ils puissent y travailler. Ces constructions personnelles sont utilisées en action par les sujets ainsi qu'elles restent disponibles dans le domaine culturel en tant qu'un ensemble de propositions, relations et significations. Elles sont considérées alors comme la liaison entre les domaines subjectif et culturel, puisque les sujets n'existent qu'immergés dans la culture et celle-ci est produite et modifiée par les sujets. Dans la TCC, ces formulations sont appelées invariants opératoires (IO) et sont découpées en deux catégories : les concepts-en-acte (CEA) et les théorèmes-en-acte (TEA).

La manière dont le sujet réclame ou se rapproche des situations et cherche à les résoudre, dépend du degré de systématisation de ces situations, qu'elles soient issues d'un environnement scolaire ou originaires des événements quotidiens. Ce processus se figure comme élément fondamental des IO.

On a déjà dit qu'un sujet doit reconnaître à chaque situation le domaine de validité des concepts mis à disposition par la culture. Ce processus est complexe car il s'approprie des connaissances déjà stabilisées ainsi que d'autres qui sont encore en construction, les buts (proposés par les situations et reconnus par le sujet), les règles d'action (déjà construites par les interactions ultérieures) et les possibilités d'inférence (à travers lesquelles les propriétés des objets sont perçues et appliquées en des nouvelles situations).

On conclut qu'il n'est pas possible de réduire le fonctionnement cognitif d'un sujet à une seule action ou à un seul concept. Néanmoins, on fera dans ce travail un découpage de cette complexité afin d'explorer la transition entre les domaines subjectif et culturel. Cette option méthodologique est tout à fait importante pour mieux comprendre comment la TCC explique le sujet en situation.

Pour ce faire, il est nécessaire d'organiser deux éléments inséparables, complémentaires et distincts par rapport à ce qui est mobilisé par le sujet en action : la pertinence et la vérité. Ces deux éléments constitutifs des Invariants Opératoires ne seront bien différenciés que par rapport à leurs rôles spécifiques.

Le premier élément a le statut dit pertinent ou pas pertinent pour la situation proposée au sujet. Le deuxième appartient au domaine relationnel et peut être tenu pour vrai ou faux

Le sujet en situation a besoin de reconnaître les éléments pertinents pour la résolution du problème. À ce moment précis, on ne pose pas la question de la vérité parce qu'on essaye de trouver quels sont les concepts qui peuvent être utilisés par le sujet lors de la maîtrise de la situation. Les concepts tenus pour pertinents dans l'action sont appelés concepts-en-acte (Vergnaud, 2012). La sélection des concepts-en-acte est implicite dans la plupart du temps ainsi qu'ils restent implicites dans le cours des actions.

L'autre élément essentiel lié aux relations entre les concepts-en-acte est la construction des propositions. Ces propositions peuvent avoir le statut de vrai ou faux quand elles sont mises en relation avec un cadre théorique de référence et restent implicites dans le cours de l'action

du sujet. Les propositions tenues par vraies dans l'action sont appelées des théorèmes-en-acte (Vergnaud, 2013).

Au cours de ce processus, l'erreur d'un sujet qui essaye de maîtriser une situation peut être expliquée par la dynamique des invariants opératoires : (1) l'utilisation de concepts-en-acte qui ne sont pas pertinents à la situation, même si les théorèmes-en-acte sont vrais et (2) l'utilisation de théorèmes-en-acte faux en contexte, même si les concepts-en-acte sont pertinents pour maîtriser la situation.

Il est nécessaire alors que l'analyse du sujet en situation soit faite par le découpage de des deux éléments – la pertinence et la vérité – puisque chacun d'eux est insuffisant pour expliquer la complexité de l'action. On peut conclure donc que les deux classes d'invariants opératoires marchent d'une manière complémentaire et qu'elles sont irréductibles l'une à l'autre.

La relation entre théorèmes et concepts est évidemment dialectique, en ce sens qu'il n'y a pas de théorème sans concepts et pas de concept sans théorèmes. Métaphoriquement on peut dire que les concepts-en-acte sont les briques avec lesquelles les théorèmes-en-acte sont fabriqués (...). Réciproquement, les théorèmes sont constitutifs des concepts puisque, sans propositions tenues pour vraies, les concepts seraient vides de contenu. (Vergnaud, 2006, p. 12)

C'est vrai qu'au cours de l'action, un sujet donné ne suit pas les deux éléments séparément – le choix des concepts, d'abord, et la construction de relations ensuite. La complexité des sujets en situation est liée aussi à la multiplicité des actions prenant place lors des essais de résolution d'un problème quelconque. Le choix des concepts tenus pour pertinents et la construction de propositions sont deux opérations qui vont ensemble lors de l'action. On ne peut ainsi ni les confondre ni les transformer.

Dès les premières actions, les plus élémentaires, on voit un développement de la base épistémique pour le fonctionnement cognitif du sujet (Piaget, 1977/1936). Dans le cadre de ces actions, l'histoire des interactions avec les objets donne un contexte pour que chaque sujet puisse tester, valider et/ou refuser les propositions sur le réel. Pendant un très long processus incluant les interactions sociales, culturelles ainsi qu'avec le monde physique, on retient quels sont les concepts pertinents ainsi que les propositions vraies à chaque classe de situations. Ce qui a déjà été utilisé comme un théorème-en-acte dans les actions ultérieures peut être incorporé comme un concept-en-acte pour les actions suivantes.

Par exemple, les notions premières du concept de force sont attachées aux actions involontaires du bébé sur les objets proches (les jouets qui sont placés dans le berceau, par exemple). L'ensemble de ces actions est coordonné en devenant intentionnel dans un processus de développement qui guide soit à l'assimilation réciproque entre schèmes, soit à la création de nouveaux schèmes.

Dans ce cas précis, le processus continue en ajoutant une quantité de plus en plus vaste d'objets et aboutit dans la constitution d'un théorème-en-acte indiquant qu'il faut battre contre un objet quelconque pour qu'il se déplace (dans ce cas, la proposition pourrait être présentée comme « la force produit un mouvement »).

À ce moment, les concepts-en-acte sont encore élémentaires et liés aux actions sur les objets du monde physique. Au cours des années, il y aura la consolidation de ce théorème-en-acte permettant au sujet d'utiliser le concept-en-action de force qui s'ajoute aux relations conceptuelles antérieurement consolidées.

Dans ce contexte, on peut conclure que les concepts-en-action entraînent des relations conceptuelles puisqu'ils consolident, à chaque niveau de développement, quelques propositions déjà construites et appliquées en situations semblables. Pour les stades actuels et futurs du développement du sujet, ce qu'il a déjà consolidé représente un nouveau point de départ permettant donc l'établissement de nouvelles possibilités d'apprentissage.

En résumé, les « propositions tenues par vraies » qui sont confirmées par rapport au réel peuvent être appliquées en nouvelles situations semblables, dans un mouvement de plus en plus profond qui peut aboutir dans la systématisation d'un concept-en-acte. Celui-ci pourra être pris comme pertinent dans de nouvelles situations pour la construction de nouvelles propositions et ainsi de suite.

L'enfant rencontre un grand nombre de tels théorèmes lorsqu'il agit sur le réel et qu'il résout des problèmes dans l'espace, dans le temps, dans le domaine des quantités et des grandeurs. Ces théorèmes-en-acte ne sont évidemment pas exprimés sous une forme mathématique, ni même parfois sous une autre forme. C'est la raison pour laquelle je les appelle « théorèmes-en-acte ». Ils n'ont souvent qu'une validité locale pour les enfants, et sont associés à certaines valeurs des variables, mais c'est là une première base qui pourra être élargie par la suite. (Vergnaud, 1990, p. 10).

Chez Vergnaud, le processus de développement des Invariants Opératoires est universel, c'est-à-dire, il y a une façon propre d'organisation de l'action par le sujet indépendamment des concepts utilisés, des situations et des sujets. C'est la raison pour laquelle il est absolument pertinent d'utiliser la notion d'Invariant Opérateur, puisqu'il n'y a pas du tout la conceptualisation sans la construction d'invariants (Vergnaud, 2012).

Il convient toutefois de préciser que ce ne sont pas les formulations théoriques et/ou les rapports entre les concepts qui sont considérées invariants, car elles sont en constante adaptation aux nouvelles situations. C'est l'organisation de l'action elle-même pour une classe de situations qui doit être dite "invariante", ce qui appelle la définition du schème de Gérard Vergnaud (2009).

1.4 La notion de concept

Wells (2008) présente les concepts en tant que constructions culturelles qui peuvent être utilisés par les sujets lors de la résolution des problèmes. Par ailleurs, l'auteur dit que les concepts scientifiques sont une partie plus formelle de la culture n'ayant pas un statut d'universel. Au contraire, ils sont centrés dans les situations qui leur donnent du sens.

De ce fait, les concepts sont associés aux contextes de leurs développements et l'efficacité de chacun d'eux est due aux situations. Dans cette perspective un concept en particulier ne peut

pas être considéré comme quelque chose qui appartient à un seul sujet puisqu'il doit faire partie d'une construction culturelle partiellement partagée et utilisée par les autres sujets.

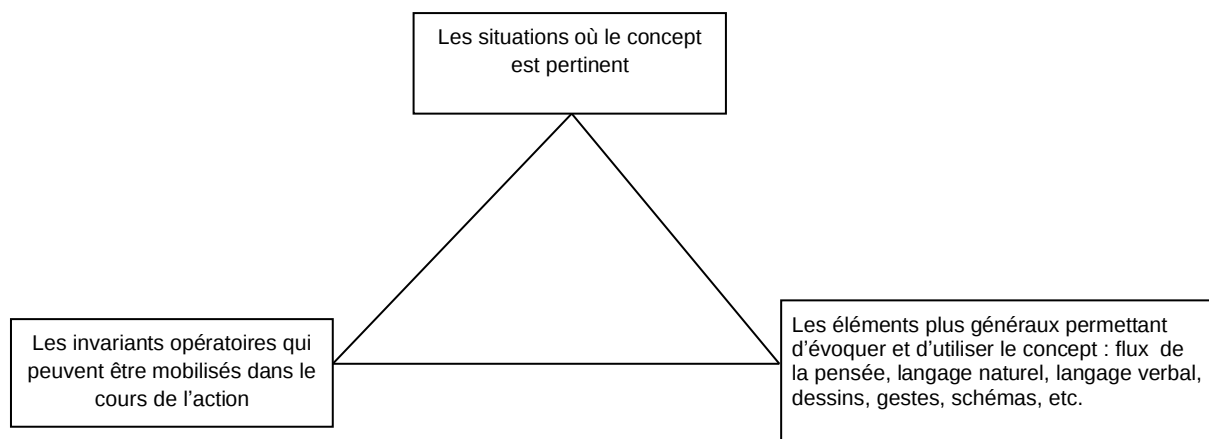
Les concepts ne résident pas complètement dans les esprits d'une personne en particulier, donc le processus de conceptualisation n'existe que pour les sujets qui partagent des représentations culturelles ayant la capacité de reconnaître les concepts et de réaliser des opérations avec eux en situations spécifiques.

On peut conclure alors que le fonctionnement des concepts ainsi que leurs filiations à des systèmes de signification sont dus à la possibilité de reconnaissance par les sujets comme quelque chose pertinente.

Cette caractéristique située de la conceptualisation indique la nécessité d'un référentiel théorique capable d'ajouter les aspects intra et intersubjectifs dans une formulation pour les concepts. En ce sens, il ne suffit pas de délimiter les deux plans - subjectif et culturel - comme instances nécessaires pour la conceptualisation. Il est question, aussi, de mettre à disposition des éléments qui puissent faire le lien entre ces plans.

La formulation présentée par Vergnaud (2012) me semble la plus appropriée pour répondre à ces besoins. Les concepts sont formés par un triplet indissoluble, contenant l'ensemble des situations (S), des représentations (R) et des invariants opératoires (IO). La figure suivante est une représentation de la conception de concept de Vergnaud.

Figure 3 : représentation du concept chez Vergnaud.



Source : formulation de l'auteur

2. Relation entre les propositions de Vergnaud, Piaget et Vygotski

Une situation est une activité complexe ou une combinaison entre des activités élémentaires qu'un sujet doit résoudre. Pour réussir, le sujet utilise les connaissances déjà construites ainsi

que celles qui sont en construction, mais aussi les outils et des symboles de médiation mis à disposition par la culture et ceux relatifs aux autres sujets.

Pour que les situations puissent être dominées par les sujets, on attend qu'ils soient capables de reconnaître les problèmes et qu'ils disposent des ressources suffisantes pour mener à bien les actions. **Il est donc nécessaire de proposer des situations adéquats à chaque intervention si** nous voulons atteindre nos objectifs, tant dans les recherches sur l'enseignement des concepts scientifiques que dans les situations didactiques.

Dans ce sens, Vygotski nous a donné une grande contribution avec sa formulation de Zone de Proche Développement (ZPD). La ZPD se situe entre deux points sur la ligne du développement progressif. Le point A correspond au degré de développement actuel et le point B correspond au plus grand développement possible pour l'étudiant dans un avenir très proche (Vergnaud, 2000), c'est-à-dire, la ZPD est la distance entre ce que le sujet peut faire tout seul et ce qu'il ne peut faire qu'avec l'aide d'autrui (Vygotski, 2009, p. 327). La ZPD est alors l'espace où les actions d'apprentissage ont lieu et qui engagent le développement cognitif.

Sur la ZPD, Vergnaud (2002) affirme que

Vygotski a eu une idée féconde en parlant de zone de proche développement, mais il n'a pu en donner des exemples concrets faute de disposer d'une description et d'une analyse assez précises des situations et des activités relevant d'une telle zone, qui en outre évolue en permanence. Cette analyse est en effet essentielle, et elle repose sur les concepts et théorèmes sollicités et partiellement disponibles.

Si les situations présentées aux sujets ne sont que celles qu'ils dominent ou, autrement dit, déjà systématisées, ils n'auront pas besoin d'être **assistés**. Ces situations alors ne contribueront pas à l'enrichissement des schèmes des sujets, puisqu'il n'y aura aucun déséquilibre cognitif. Selon Piaget (1975, p. 18), ce sont ces déséquilibres qui constituent le moteur de la recherche, car sans eux, la connaissance demeurerait statique.

Par ailleurs si les situations présentées ne sont pas complètement dominées par les sujets, il faut conduire des interactions (avec les objets du milieu, avec des autres sujets, etc.) pour qu'il puisse réussir, ce que fera augmenter leurs capacités d'agir. L'assimilation de nouveaux éléments aux schèmes du sujet donne une importante caractéristique du développement. Par le processus d'accommodation, ces schèmes deviennent plus complets à la fin de l'interaction.

Il faut d'abord signaler un élargissement du champ du système en son extension: dans la mesure où les éléments perturbateurs sont assimilés au schème qui ne pouvait jusque-là s'y accommoder, l'extension du schème est par cela même accrue. (Piaget, 1975, p. 37)

Sur la possibilité de développement par le moyen des interactions, Vygotski (2009, p. 329) dit que :

Nous affirmons que l'enfant peut toujours faire plus en coopération que par lui-même. Mais il faut ajouter : pas infiniment plus, mais seulement dans certaines limites, rigoureusement déterminées par l'état de leur développement et leurs potentialités intellectuelles.

Cette caractéristique nous permet de conclure alors que les activités de conceptualisation nécessitent d'être ancrées aux situations. Néanmoins, le choix des situations ne doit ni sous-estimer ni surestimer les possibilités des sujets. Les situations qui sont au-dessous de la ZPD du sujet ne contribuent pas à son développement. Dans ce cas, les situations ne sont pas reconnues par le sujet ne produisant aucun déséquilibre cognitif.

En résumé, Vergnaud (2007, p. 288) affirme que :

Si les élèves ne sont pas déstabilisés, ils n'ont aucune raison d'apprendre. Il est vrai aussi que s'ils sont trop déstabilisés, ils n'en apprennent pas plus. Le principe d'adaptation de Piaget fonctionne très bien ici ; d'ailleurs, l'idée de zone de proche développement de Vygotski incite à la prudence.

Cette idée de « déstabilisation » est ce que Piaget a appelé « déséquilibre » étant au centre du processus de développement cognitif du sujet selon l'épistémologie génétique (Piaget, 1975).

3. Présentation d'une étude en didactique de la physique

3.1 Contexte et population de l'étude

L'épisode dont nous allons faire l'analyse a été extrait d'une recherche menée avec une classe de 37 élèves de collège au Brésil sur la distinction entre les concepts de chaleur et température. (Auteur, 2005). Ce collège compte environ 4000 élèves répartis dans toutes les classes de l'enseignement primaire et secondaire.

Nous avons écrit une séquence d'enseignement pour 24 heures de cours qui présentait plusieurs activités tels que (1) des expériences physiques et de la pensée ; (2) l'utilisation des logiciels didactiques ; (3) des discussions collectives et (4) la résolution de problèmes ouverts.

Trois mois après l'application de cette séquence didactique, nous avons fait des interviews avec 6 élèves en utilisant 3 questions théoriques et 3 expériences. L'épisode que nous allons montrer s'est produit à ce moment-là

3.2 Méthodologie de recueil et d'analyse des données

Le temps consacré à la collecte de données s'est étendu en raison des caractéristiques du travail proposé. La question fondamentale de cette recherche était de vérifier comment évoluent les modèles explicatifs des sujets dans une activité d'enseignement, en tenant compte de la TCC. Comme cette évolution est produite dans le temps en fonction de la construction et du testage de plusieurs modèles, il a fallu plus de temps pour pouvoir effectuer une telle vérification.

Nous voulions, avec l'application de la séquence d'enseignement, permettre aux étudiants de révéler leurs modèles explicatifs sur les concepts de la Physique Thermique et d'indiquer les activités qui ont le plus contribué à leur apprentissage. Pour cela, il y a eu des moments prévus de (1) lectures individuelles de textes, (2) activités pratiques menées en groupe, (3) discussions en petits groupes, (4) discussions avec toute la classe, au début ou à la fin des activités et (5) présentation d'animations sur ordinateur. À la fin des activités indiquées dans la séquence d'enseignement, il était demandé aux groupes d'élèves de construire une synthèse

sur ce qu'ils ont fait en classe. Cette pratique était destinée à recueillir du matériel pour l'analyse des formes de compréhension des concepts étudiés.

Toutes les activités expérimentales proposées dans la séquence d'enseignement ont été réalisées dans le laboratoire du collège.

Les divers moments où les étudiants ont travaillé avec la séquence d'enseignement ont constitué un cadre qui nous a permis de déduire leurs trajectoires d'apprentissage. Nous avons besoin de points de démarcation qui puissent nous indiquer les modèles explicatifs utilisés par les étudiants à chaque instant.

Ainsi, nous avons eu un total de quatre moments pour caractériser les trajectoires d'apprentissage :

(1) Pré-test : appliqué le premier jour de recherche, avant que tout concept sur la physique thermique ne soit formellement travaillé. Nous avons deux objectifs en faisant le pré-test : (a) en soulevant les modèles explicatifs des étudiants et (b) en entamant une discussion sur les concepts de la physique thermique.

(2) Test 1 : présenté aux étudiants à la fin de la première section de la séquence d'enseignement. Jusqu'à ce point de la recherche, les étudiants ont travaillé avec la distinction entre les concepts de chaleur et de température et avec le concept d'équilibre thermique.

(3) Test 2 : appliqué à la fin de l'étude de la séquence d'enseignement. Les concepts liés à la Physique Thermique ont été étudiés sur la base du modèle cinétique-moléculaire.

(4) Entretien : effectué après sept mois de la fin de la séquence d'enseignement. Nous nous sommes attendus à une longue période de temps afin de vérifier si les changements conceptuels constatés dans le test 2 seraient permanents ou provisoires.

3.3 Principaux résultats liés à une étude de cas

Nous présentons, ici, l'analyse d'une des entretiens conduites. Pendant cet entretien, nous avons utilisé un instrument appelé ébulliomètre - un petit récipient en verre, complètement fermé, contenant de l'alcool (ou d'autre liquide volatil) à l'intérieur (Figure 1).

Figure 1 : L'ébulliomètre



Source : photo de l'auteur

Il y a deux compartiments qui ne communiquent que par un petit tube de verre, comme illustré dans la figure 2.

Figure 2 : Le petit tube de verre qui lie les deux compartiments de l'ébulliomètre.



Source : photo de l'auteur

La pression à l'intérieur de l'appareil est très faible, ce qui rend très facile l'ébullition du liquide. D'abord, l'alcool se trouve au fond du récipient. Lorsque le fond du dispositif est placé sur la main d'une personne, l'alcool se déplace vers le haut. L'explication physique est la suivante : la chaleur qui a été transférée de la main à l'alcool a produit son ébullition et celle-ci fait augmenter la pression dans le compartiment situé en bas. Cette augmentation de la pression fait que le liquide se déplace vers le compartiment supérieur (où la pression est plus faible). Alors, du point de vue de la physique, on ne peut bien expliquer ce phénomène que par la différence de pression entre les deux compartiments.

T01 Chercheur: Tu dois essayer d'expliquer pourquoi le liquide monte vers le haut.

T02 Ana Paula: Parce que le liquide reçoit de la chaleur de ma main.

T03 Chercheur: Le liquide reçoit de la chaleur?

T04 Ana Paula: Oui, de ma main.

T05 Chercheur: Et... qu'est-ce qu'il lui arrive?

T06 Ana Paula: Les molécules sont agitées <<à ce moment-ci, l'élève a fait un geste avec les deux mains ensemble. D'abord, elles sont unies et après elles se séparent presque horizontalement. Puis, la main gauche se déplace vers le haut>> et la tendance est de monter.

Les concepts-en-acte utilisés par Ana Paula sont la chaleur et la dilatation thermique. Ils sont associés à l'utilisation du théorème-en-acte : un corps chaud a une augmentation de ses dimensions. Dans ce contexte, le concept-en-acte de dilatation a été décisif dans l'organisation d'un théorème-en-acte correct. Toutefois, le problème n'a pas été résolu correctement parce que le concept-en-acte de dilatation n'est pas pertinent dans cette situation. En effet, le coefficient de dilatation de l'alcool est très petit et la dilatation résultant de l'augmentation de la température apportée par la chaleur transférée par la main n'est pas suffisamment importante pour générer le déplacement visible.

Ces connaissances en acte mobilisées par l'élève lui permettent de construire des nouvelles explications et de faire des inférences sur des résultats de nouvelles situations. Nous présentons ci-dessous la séquence de l'interview.

T07 Chercheur: Alors, si je refroidis en haut, la même chose va se passer?

T08 Ana Paula: Si je refroidis en haut? Non. Il <<le liquide>> va descendre.

T09 Chercheur: ((il jette de l'eau froide en haut de l'instrument et le liquide monte une nouvelle fois)). Voilà, quand tu as pris le fond de l'instrument, tu as transféré de la chaleur. Et maintenant ... qu'est-ce qui s'est passé?

T10 Ana Paula: Comme cette partie ici ((la supérieure)) devient plus froide que celle-ci ((l'inférieure)), ça fait monter le liquide. Car ... quand ma main était au fond, le sommet était plus froid.

Depuis l'observation du nouveau résultat expérimental, l'élève procède à une reformulation des observables de la première situation, en faisant une adéquation plus proche de la seconde. À ce moment, l'élève cherche à produire une réorganisation des informations prises de la situation, mais il n'y a pas encore une réélaboration du théorème-en-acte.

T11 Chercheur: Mais qu'est-ce qui motive ça? Pourquoi cette différence de température est associée au mouvement du liquide?

Le chercheur a produit une reformulation dans l'affirmation « plus froid » (T10) qui a été dit par l'élève en le transformant en différence de température. Cette aide du chercheur a été décisive pour qu'elle réussisse, car il lui a donné le chemin pour trouver quels sont les concepts pertinents à la situation.

T12 Ana Paula: Il y a quelque chose avec la pression, ou le mouvement des molécules.

L'élève essaie d'autres concepts liés à la différence de température (pression et mouvement des molécules) qui peuvent être interprétés en tant que [différence] de pression et [différence] de mouvement des molécules.

T13 Chercheur: La pression de quoi?

T14 Ana Paula: Du liquide ... de l'air qui est ici sur le liquide.

T15 Chercheur: Donc, quand tu prends ici (en bas), où la pression est plus grande?

T16 Ana Paula: La pression est plus élevée ici (le fond de l'instrument) et le liquide passera au lieu où il y a moins de pression.

T17 Chercheur: Qu'est-ce que se passe si je refroidis en haut?

T18 Ana Paula: La pression est plus faible ici (ci-dessus), puis il s'élèvera aussi. C'est ça!

L'hypothèse donnée par l'élève à la réponse T8 confirme l'utilisation des concepts-en-acte de chaleur et de dilatation. Selon elle, si la température est réduite, la taille de l'objet doit être réduite aussi donc le liquide doit se déplacer vers le bas.

Cependant, lorsque son hypothèse n'a pas été vérifiée dans la situation, l'élève pourrait prendre deux chemins différents : (1) rechercher des nouvelles informations pertinentes pour ce problème et, avec elles, construire d'autres propositions ou (2) maintenir les concepts déjà utilisés et changer les relations conceptuelles entre eux.

Ce qu'on a vérifié à la réponse T12, par la mobilisation par l'élève du concept de pression, est une forte indication que la première option a été suivie par l'élève. À partir de la reconnaissance des nouveaux concepts qui sont liés à la situation, l'élève a utilisé les concepts-en-acte de chaleur et pression. Alors, elle a construit des nouvelles relations, et, avec l'aide du chercheur, elle a construit l'explication juste.

Même si l'élève avait utilisé des concepts-en-acte pertinents au début de l'activité, les théorèmes-en-acte auraient pu être associés aux relations incorrectes. Par exemple, la pression qui déplace le liquide pourrait être attribuée à la main de la personne et, non, à l'action de la vapeur dans l'instrument.

Conclusion – La systématisation des idées

Dans le contexte de la recherche en développement cognitif, il est possible de suivre les changements produits au sein des invariants opératoires utilisés par les sujets pour qu'on puisse inférer le niveau des constructions conceptuelles. Ces changements jouent le rôle d'approches successives d'un concept scientifique. C'est alors l'historique des modifications des invariants opératoires qui peut nous indiquer des éléments importants pour une compréhension plus approfondie des processus d'internalisation de certaines opérations façonnées selon chaque sujet.

L'internalisation, chez Vygotski (2009), est une reconstruction interne d'une opération externe. Dans ce processus, on trouve une série de transformations au sein du système cognitif du sujet pour favoriser le passage du niveau inter psychologique à l'intra psychologique. Cette transformation n'est pas directe mais médiatisée par des outils culturels ainsi que par les actions d'autrui.

Nous proposons que la construction d'une explication cohérente pour le mécanisme d'internalisation puisse être donnée au sein de la TCC. Pour ce faire, il nous faut relire le

modèle piagétien d'Équilibration (Piaget, 1975) en lui appliquant l'étude des interactions d'un sujet dans sa ZPD (Vygotski, 2009), c'est-à-dire, dans l'espace des transformations possibles par rapport aux contributions issues de régulations externes étant progressivement assimilées au cours de l'action.

Lorsqu'on admet que les théorèmes-en-acte et les concepts-en-acte font partie des connaissances contenues dans les schèmes, on peut comprendre qu'en abordant les situations, les diverses interactions (avec les objets de connaissance, avec les autres, avec la culture, etc.) promeuvent des changements qualitatifs dans les invariants opératoires. Ces modifications ont lieu au niveau micro indiquant des petits changements dans les schèmes. C'est qu'on appelle « apprentissage ». Ce processus ne peut être mené que dans la ZPD du sujet et se fait par des déséquilibres, des compensations et des équilibrations majorantes ou, comme on peut le déduire de la psychologie vygotskienne, par la reformulation du processus d'internalisation-externalisation.

Dans le cours de ce processus, il y a alors une progressive identification entre les invariants opératoires utilisés par les sujets en action et ceux qui sont nécessaires pour faire face aux concepts scientifiques. Cette progression a lieu pendant une très grande durée dans laquelle les modifications menées au sein des théorèmes-en-acte ainsi que des concepts-en-acte jouent le rôle central dans le processus de significations des sujets.

Le besoin des sujets d'accommoder les schèmes aux objets ultérieurement assimilés ainsi que la possibilité d'assimilation d'objets pas complètement compatibles au schème original sont quelques indications que la ZPD n'est pas du tout un concept complètement à l'extérieur de l'épistémologie génétique, malgré le fait que Piaget ne l'avait pas thématiqué.

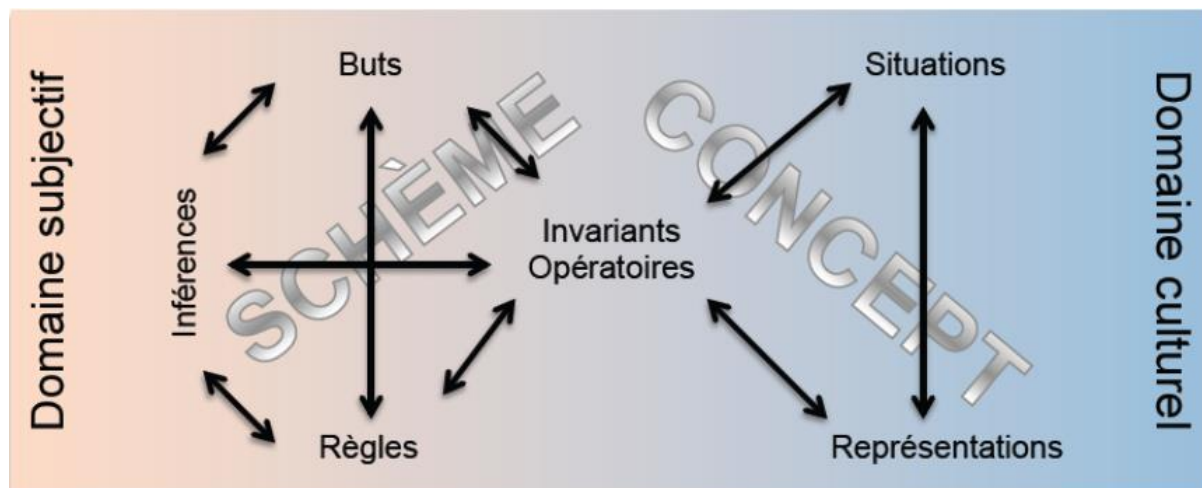
Ce que nous appelons développement sera atteint lorsque les modifications des invariants opératoires **seront** en mesure de produire une telle avance qualitative des possibilités, des compétences et des capacités du sujet. La question de la prévalence du développement sur l'apprentissage ou le contraire est, chez la TCC, une question de savoir où placer le début de l'analyse.

Par ailleurs, puisque les invariants opératoires font partie tant des schèmes que des concepts, ils sont à la fois subjectifs et culturels. C'est la raison par laquelle la notion d'invariant opératoire est si importante, car elle présente un lien possible et une continuité entre les processus internes et externes au sujet, sans établir de frontière rigide entre eux.

Notamment, il y a une intersection entre les conceptions de Vergnaud pour « concept » et « schème ». Les deux partagent les invariants opératoires. La figure suivante présente la proposition d'un schéma de cette étroite liaison entre les domaines subjectif et culturel. C'est vrai que ces domaines n'ont pas des frontières explicites puisque chaque domaine n'existe que dans la présence de l'autre.

La figure suivante représente l'interaction entre les domaines subjectif et culturel par les invariants opératoires.

Figure 04 : l'unité d'analyse pour la conceptualisation.



Source : l'auteur

Il est à noter que les schèmes sont orientés vers les situations qui donnent du sens aux concepts. Par ailleurs, du point de vue du sujet en action, on ne peut pas confondre les relations. Les situations, ainsi que les représentations, sont mises à disposition par la culture et ne peuvent pas alors être possédées par les sujets. Au contraire, elles doivent être reconnues et assimilées pour qu'il y ait la possibilité d'internalisation.

D'un autre côté, l'identification des buts, la mise en œuvre des règles d'action et la possibilité de construction d'inférences appartiennent au domaine du sujet et ne peuvent pas être déterminés exclusivement par la culture. Une partie de subjectivité est identifiée pour les opérations évoquées ci-dessus malgré l'influence de leur déclenchement par les situations.

Ces situations peuvent être présentées d'une façon formelle lors des activités scolaires ou même sans l'intentionnalité des processus didactiques au cours de la vie quotidienne. Ce qui est commun aux situations, c'est leur capacité de solliciter la mobilisation de ses schèmes.

Dans ce sens, la conception de Vergnaud pour le concept déjà présentée est cohérente puisque les invariants opératoires appartiennent soit aux schèmes soit aux concepts. Cette conception nous permet de comprendre les concepts, en tant qu'outils culturels produits et validés socialement, avec lesquels les sujets peuvent partager certains attributs. Ils vont de plus en plus s'approprier des nouveaux éléments étant capables de maîtriser une quantité plus vaste de situations.

Ce processus est étroitement lié à l'élargissement et à la différenciation des schèmes car chaque utilisation d'un concept peut conduire à des modifications au sein des invariants opératoires. Lorsque des modifications dans les schèmes se produisent, ces derniers seront applicables aux nouvelles situations, laissant la place, par conséquent, à de nouvelles modifications. Il s'agit alors d'un mouvement continu où concepts et schèmes construits s'influencent.

En guise de conclusion, l'analyse de l'évolution temporelle des concepts-en-acte et des théorèmes-en-acte permet aux chercheurs d'évaluer le niveau de développement d'un sujet.

Sur cette possibilité, Vergnaud (1998, p. 175) affirme que concepts-en-acte et théorèmes-en-acte peuvent progressivement devenir de véritables concepts et théorèmes scientifiques.

On espère vivement qu'il sera possible d'utiliser notre unité d'analyse au sein de recherches touchant le processus de conceptualisation pour qu'on puisse vérifier sa capacité de contribuer à la compréhension les manières dont les sujets accèdent à différents niveaux de développement par l'action.

Bibliographie

Bourg, A.; Guillot, G. (2015). La didactique de la musique au sein des didactiques disciplinaires: emprunts et comparatismes. *Recherche en Éducation Musicale*, Québec, p. 43-69.

Auteurs (2008). Os campos conceituais de Vergnaud como ferramenta para o planejamento didático. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 25, n. 2, p. 207-227.

Auteurs (2019). Processo de formação do conceito de cor em crianças de 8-10 anos: buscando invariantes operatórios. *Revista Ensaio*, Belo Horizonte, v. 21, e 12441.

Chauvigné, C. ; Coulet, J.C. (2010). L'approche par compétences : un nouveau paradigme pour la pédagogie universitaire ? *Revue Française de Pédagogie*. Lyon : École Normale Supérieure de Lyon. pp. 15-28.

Otero, M. R. et al. (2014) *La teoría de los campos conceptuales y la conceptualización en el aula de matemática y física*. Buenos Aires: Dunken.

Piaget, J. ; Garcia, R. (1987). *Vers une logique des significations*. Genève : Murionde.

Piaget, J. (1975). *L'équilibration des structures cognitives : problème central du développement*. Paris : Presses Universitaires de France.

Piaget, J. (1977). *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé. 9^a ed.

Ponciano Filho, I. T. (2020) *O Ensino de hidrostática à luz da Teoria dos Campos Conceituais e no contexto da Educação Profissional e Tecnológica*. 2020. 123f. Dissertação (Mestrado em Educação Profissional e Tecnológica – ProfEPT), Instituto Federal de Minas Gerais, Ouro Branco.

Vergnaud, G. (1990). Psychologie du développement cognitif et Didactique des mathématiques. *Petit XX*. n° 22 pp. 51 à 69.

Vergnaud, G. (1991). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*. v. 10, n. 23, p. 133-170.

Vergnaud, G. (1998). A comprehensive theory of representation for Mathematics Education. *Journal of Mathematical Behavior*, v. 2, n. 17, p. 167-181.

Vergnaud, G. (2000). *Lev Vygotski. Pédagogue et penseur de notre temps*. Paris : Hachette Éducation.

Vergnaud, G. (2002). L'explication est-elle autre chose que la conceptualisation? In: Leutenegger, F., Saada-Robert, M. (Eds). *Expliquer et comprendre en sciences de l'éducation*. Genève: De Boeck, pp. 31-44.

Vergnaud, G. (2007). Représentation et activité: deux concepts étroitement associés. *Atas do 1º Congresso Internacional Lógico-Matemática en Educación Infantil*. Disponible <<<http://www.waece.org/cdlogicomatematicas/>>>.

Vergnaud, G. (2009). O que é aprender ? In : Bittar, M. e Muniz, C. A. (orgs). *A Aprendizagem Matemática na perspectiva da Teoria dos Campos Conceituais*. Curitiba: CRV, p.13-35.

Vergnaud, G. (2011) La pensée est un geste – comment analyser la forme opératoire de la connaissance. *Enfance*, n°1, p. 37-48.

Vergnaud, G. (2012). *La conceptualisation, clef de voûte des rapports entre pratique et théorie*. Disponible <<<http://eduscol.education.fr/cid46598/la-conceptualisation-clef-de-voute-des-rapports-entre-pratique-et-theorie.html>>>

Vergnaud, G. (2013). Pourquoi la théorie des champs conceptuels? *Infancia y Aprendizaje*, n. 36, v. 2, p. 131-161.

Vygotski, L. S. (2009). *A Construção do Pensamento e da Linguagem*. São Paulo: Martins Fontes.

Vygotski, L. S. (2005). *A Formação Social da Mente*. São Paulo: Martins Fontes.

Wells, G. (2008). Learning to use scientific concepts. *Cultural Studies of Science Education*, n.3, p. 329-350.