

Invariants Opérateurs utilisés par les enfants sur la formation de couleurs

Gabriel Dias de Carvalho Junior
Institut Fédéral de Minas Gerais - Campus Ouro Branco
gabriel.carvalho@ifmg.edu.br

Thaynara Phamera Pereira Souza
Université Fédérale de Viçosa
thaynara.souza@ufv.br

Résumé

Cet article présente les résultats d'une étude menée avec des enfants de quatre ou cinq ans sur la formation de couleurs, à travers un ensemble de projections des activités pratiques de lumières colorées sur les surfaces blanches. La recherche a été menée avec 16 enfants d'une école publique brésilienne pendant trois cours de 50 minutes chacun. Nous utilisons comme cadre théorique, la théorie des champs conceptuels pour l'analyse des dessins et des changements entre les enfants. Nous avons identifié les invariants opératoires utilisés par les enfants pour donner du sens aux expériences observables, dont le théorème-en-acte qui indique que la couleur est une propriété des objets et le concept-en-acte d'absorption de la lumière comme pertinent pour expliquer le résultat de la superposition des pigments dessinés par les enfants. Ces résultats sont intégrés dans une perspective plus large de dialogue avec les travaux d'autres chercheurs, par exemple, la recherche de Piaget sur la construction du réel ou le développement des quantités physiques.

Mots-clés : invariant opératoire ; couleur ; explications causales ; connaissance physique ; éducation infantile ; théorie des champs conceptuels.

Introduction

Cet article a pour but d'analyser les invariants opératoires (Vergnaud, 1990) utilisés par les enfants de quatre et cinq ans pour expliquer la formation des couleurs. Dans l'objectif de réaliser une étude introductive sur ce sujet, nous avons mené une intervention didactique dans

N° 17 (2017), pp. 7 - 26

une classe d'éducation enfantine (pour les enfants de quatre et cinq ans) d'une école publique située dans une ville de province de l'état de Minas Gerais – Brésil. Cette intervention a été organisée sur la visualisation des objets colorés et de la projection de sources lumineuses colorées et d'ombres sur un tableau blanc.

L'étude des conceptions des enfants sur les caractéristiques du monde physique a connu son apogée chez Piaget qui a présenté plusieurs recherches dans les domaines de la construction du réel (Piaget, 1967), des quantités physiques (Piaget & Inhelder, 1968), du temps (Piaget, 1973), de la causalité physique (Piaget, 1927), etc.

Malgré l'amplitude des travaux de Piaget et de son équipe et l'approfondissement de ses conclusions, l'épistémologue suisse ne s'intéressa pas aux processus d'apprentissage de contenus spécifiques. Bien qu'on sache qu'il y ait eu des efforts faits par ses collaborateurs pour remplir cet espace, à savoir Inhelder, Sinclair & Bovet (1974), ce sont bien les études sur le développement du sujet qui sont toujours restées prédominantes chez Piaget.

Dans le cadre des études d'inspiration piagétienne sur l'apprentissage des concepts liés aux Sciences Physiques chez les enfants, on peut souligner les travaux de Kamii & Devries (1991). Les chercheuses américaines ont toujours cherché dans l'action des enfants le début du processus d'apprentissage. Chez elles, c'est l'action même des enfants sur les objets qui permet d'obtenir la connaissance.

L'influence des idées de Piaget dans les recherches sur la connaissance physique est visible dans diverses autres études. En particulier, au Brésil – le lieu où nous avons conduit nos recherches – on trouve les travaux du groupe coordonné par Anna Maria Pessoa de Carvalho, une des grandes références piagésiennes dans l'apprentissage des notions physiques chez les enfants. Cette dernière a proposé d'importantes considérations pour l'intervention didactique dans ce champ (Carvalho, Vannucchi & Barros, 2007).

Dans le domaine de la didactique des sciences physiques chez les enfants, nous trouvons les études de Delizoicov, Angoti & Pernambuco (2002). Ces chercheurs présentent, en s'inspirant des idées de Paulo Freire, les fondements d'un modèle pour l'éducation en sciences pour les enfants organisé à partir de trois « moments pédagogiques » : construction initiale des problèmes, organisation de la connaissance, utilisation de la connaissance. Ces trois moments

N° 17 (2017), pp. 7 - 26

pédagogiques sont utilisés en tant qu'outils pour la planification des activités d'enseignement des sciences.

Notre travail utilise les idées préalablement citées, en particulier les considérations sur l'action de l'enfant dans son processus de construction d'explications causales. Dans ce cadre, notre contribution présente deux aspects. Premièrement, la présentation de la Théorie des Champs Conceptuels (TCC) en tant que cadre de référence pour étudier l'accroissement de connaissance chez les enfants dans le domaine des Sciences Physiques, - en d'autres termes, la construction d'une adaptation des concepts clé de la TCC pour l'éducation en Sciences. Pour ce faire, notre groupe de recherche s'attache à mettre en lumière les invariants opératoires (Carvalho Jr, 2013) utilisés par les enfants soit pour construire des explications causales, soit pour organiser des représentations des observables. Deuxièmement, le choix de notre thème de recherche – l'apprentissage en Sciences Physiques chez les petits enfants – que nous comprenons comme le début d'un processus de conceptualisation voué à se développer pendant plusieurs d'années.

Dans cette recherche, nous avons eu l'intention d'analyser comment les petits enfants conduisaient l'internalisation des observables à partir de la visualisation d'expérimentations sur la formation de couleurs et d'ombres. En utilisant les énonciations verbales des enfants et aussi leurs dessins, nous avons essayé de mettre en lumière les représentations construites par les enfants et d'inférer les invariants opératoires utilisés en action.

Objectifs

En menant cette recherche nous avons voulu de mettre en lumière l'utilisation des invariants opératoires par les enfants qui essaient d'expliquer la formation de couleurs. Nous avons comme objectif la recherche des connaissances mobilisées en action pour la construction des hypothèses chez les enfants. C'est la raison pour laquelle nous nous sommes intéressés aux explications causales données par ces derniers pour expliquer la différence entre la composition de lumières et de pigments.

N° 17 (2017), pp. 7 - 26

Cette activité d'intervention didactique a été basée sur les idées de Kamii e Devries (1991). Les chercheuses mettent l'accent sur l'importance des activités de connaissance physique pour le développement de la capacité de résolution de problèmes et de l'autonomie de la pensée.

Cadre de Référence

Nous avons utilisé, pour construire les instruments d'analyse, la Théorie des Champs Conceptuels (TCC) (Vergnaud, 1991). Notre cadre de référence est une théorie complexe qui s'attache à l'étude de la construction de connaissances et de compétences sur une longue période de temps. C'est la raison pour laquelle la TCC a une caractéristique développementaliste qui aide les chercheurs à concevoir les activités d'intervention didactique à partir des tâches à réussir par les élèves. En utilisant la production des élèves en action, il est possible de chercher les connaissances construites ainsi que celles en construction par ces derniers.

Bien qu'on sache que la TCC est née dans le domaine des Mathématiques, il y a un mouvement très fort d'interprétation et d'utilisation dans le champ de l'Éducation en Sciences (Rezende Jr, 2006 ; Mozzer, 2013 ; Carvalho Jr, 2013 ; Campos, 2014 ; Otero, Fanaro, Sureda et al., 2014 ; Prodanoff, 2015). Dans différentes mesures, ces travaux s'attachent à l'interprétation des concepts clés de la TCC afin de les appliquer à des situations n'ayant pas trait aux Mathématiques, comme, par exemple, la causalité physique.

Dans ce travail, nous utiliserons les notions de concept et de schème tels que chez Vergnaud. Le schème constitue, premièrement, l'organisation invariante de l'activité pour une classe donnée de situations (Vergnaud, 2009b). C'est, alors, par l'investigation des schèmes mobilisés par un sujet que nous pourrions mieux comprendre son action sur le monde physique. Pour conduire l'action même du sujet, les schèmes doivent avoir (1) les règles d'action et d'anticipation, (2) les mécanismes de contrôle de l'activité, (3) les buts et les objectifs et (4) les invariants opératoires – le contenu épistémique lié aux connaissances

N° 17 (2017), pp. 7 - 26

utilisés dans l'action (Mozzer, 2013). On peut concevoir, dans ce contexte, que les schèmes font partie d'un domaine ayant une connotation personnelle dans l'action du sujet¹.

D'un autre côté, les concepts ont toujours une dimension interpersonnelle, étant constitués, modifiés, présentés et utilisés au sein des contextes culturels. Chez Vergnaud, les concepts sont constitués par trois dimensions étroitement liées. La première est la dimension des situations, ici entendue en tant que ce qui donne leur sens aux concepts. La façon dont chaque sujet assimile une situation particulière découle de l'utilisation d'un schème et pas d'un autre. Dans ce sens, le choix des situations proposées aux élèves est le premier acte de médiation, soit dans une activité d'intervention didactique, soit pour mener une recherche (Vergnaud, 2009a). La deuxième dimension est celle des représentations symboliques qui sont les formes, verbales et non-verbales, utilisées pour représenter le concept. La troisième est la dimension des invariants opératoires. Dans un grand répertoire de concepts et de propositions sur le réel, un sujet donné opère sur le monde physique par les choix qu'il fait – de façon inconsciente la plupart du temps – sur les concepts qui sont considérés comme pertinents (les concepts-en-acte) et aussi sur les propositions construites en utilisant les concepts choisis (les théorèmes-en-acte) (Carvalho Jr, 2013).

Méthodologie

Cette recherche a été menée dans une classe de 16 enfants de 4-5 ans² de l'éducation publique d'une petite ville de province de l'état de Minas Gerais – Brésil. L'école en question se trouve en banlieue de la ville et reçoit les enfants venus d'une classe sociale de bas revenus. Les élèves ne disposent pas, par exemple, d'ordinateurs et de réseau Wi-Fi à la maison. Le bâtiment de cette école est très petit et donc les salles de cours ont de très petites surfaces.

Malgré les mauvaises conditions matérielles du bâtiment et le manque important d'apports financiers de la part du gouvernement, la directrice de cette école est très active en ce qui

¹ Il y a tout à fait interaction entre le sujet et le monde physique dans le processus de développement, différenciation et spécialisation des schèmes (Piaget, 2000). Néanmoins, nous nous adressons, à ce moment, à une caractéristique subjective de l'organisation de l'action qui peut être différente pour chaque sujet.

² Au Brésil, on l'appelle la deuxième année de l'éducation infantine.

N° 17 (2017), pp. 7 - 26

concerne la promotion des activités d'innovation et de formation continue pour les enseignements.

La maîtresse de la classe où nous avons mené cette recherche a une grande expérience d'enseignement et connaît très bien tous les élèves. Néanmoins, elle suit une ligne didactique traditionnelle, sans utilisation de ressources des nouvelles technologies ou d'activités à l'extérieur de la salle de cours.

Nous avons rencontré un problème méthodologique par rapport à ce cadre. Notre intervention était basée sur une expérimentation active des sujets essayant de construire des explications causales à partir des activités pratiques. Or l'enseignante n'avait pas l'habitude de conduire des expérimentations actives, donc les élèves n'avaient guère développé d'habiletés d'expérimentation. Nous avons eu besoin de développer des activités d'expérimentation avant de mener la recherche en elle-même.

Pour ce faire, l'un des auteurs a réalisé un stage de deux mois dans cette classe en conduisant des activités ponctuelles sur la connaissance physique et aussi en introduisant l'utilisation des équipements d'enregistrement audio et vidéo. Lors de la réalisation de la recherche tous les élèves étaient donc déjà habitués aux procédures d'une intervention didactique basée sur la conduite d'expérimentation active.

Cette activité a été conduite pendant trois périodes de cinquante minutes chacune dans la salle de classe. Après sa réalisation, nous avons demandé aux enfants de dessiner ce qui étaient pour eux les choses les plus importantes. Nous avons fait l'enregistrement audio et vidéo de toutes les activités en utilisant une caméra qui filmait les élèves et une autre qui accompagnait les chercheurs. Les responsables des enfants ainsi que la directrice de l'école ont signé des documents d'autorisation pour la réalisation de la recherche. Afin que les enfants ne soient pas identifiés dans cet article, nous avons modifié leurs noms.

La Théorie des Champs Conceptuels nous montre que la construction de nouveaux savoirs et de nouvelles compétences est faite par l'action du sujet sur le réel. C'est de cette perspective que viennent nos choix méthodologiques de présenter des activités expérimentales et d'essayer de construire une discussion avec tous les élèves.

En ce que concerne à la séquence didactique, nous avons parcouru les points suivants :

a) Montrer le disque de Newton³ - cours 1

Laisser les enfants le voir et surtout leur laisser la possibilité de l'explorer, en le tournant pour faire apparaître le blanc. Ensuite, demander aux enfants la construction des explications causales pour les observables. À ce moment, il est important d'écouter tous les élèves. Nous avons donné des disques blancs aux élèves pour qu'ils puissent les colorier en tant qu'activité finale du premier cours, notre but étant de construire le contexte pour que les élèves puissent utiliser leurs schèmes.

b) Parler sur les couleurs – cours 2

Poser des questions comme : Quelle est ta couleur préférée ? Avez-vous déjà vu un arc-en-ciel ? De quoi les couleurs sont-elles faites ?

L'objectif est là de présenter les situations pour la réalisation des activités à venir.

Nous avons conduit un débat avec les enfants sur cette dernière question en essayant de leur donner le contexte pour rendre possible les échanges entre eux. Ensuite, nous avons distribué des prismes aux enfants pour qu'ils puissent faire la décomposition de la lumière solaire. Le résultat de cette décomposition leur a paru étrange. Ils nous ont demandé la raison pour laquelle notre « arc-en-ciel n'était pas courbé ».

c) Présenter les matériels utilisés pendant les activités (les ampoules colorées, le tableau blanc, etc.) et mener les expérimentations – cours 3

D'abord l'utilisation de trois sources lumineuses, chacune d'une couleur différente (bleu, vert et rouge) est expliquée.

³ Le disque de Newton est un disque composé de secteurs aux couleurs de l'arc-en-ciel. Une fois en rotation rapide, le disque semble blanc.

N° 17 (2017), pp. 7 - 26

Premièrement, la lumière rouge est projetée sur le tableau blanc, et la main est placée entre la source et le tableau afin de créer une région d'ombre. Cette ombre est noire et ses contours sont bien définis. Ensuite le processus est répété en changeant les sources colorées.

Avant chaque essai, il est demandé aux enfants de présenter leurs prévisions et après la réalisation, il leur est demandé d'expliquer ce qui s'est passé et pourquoi le tableau blanc est devenu coloré.

Deuxièmement, les couleurs sont mélangées deux à deux. La région d'intersection des deux couleurs projetées apparaît alors d'une couleur différente. La main est également placée afin de produire des ombres. Dans ce cas, deux ombres apparaissent, chacune d'une couleur différente. Par exemple, en utilisant les sources verte et rouge, une région magenta ainsi que deux ombres, l'une verte et l'autre rouge, apparaissent. Une fois de plus, il est demandé aux enfants de construire des explications causales.

Enfin, les trois couleurs sont mélangées en même temps. À l'endroit où les trois lumières arrivent ensemble, la couleur blanche est produite. En mettant la main entre les sources lumineuses et le tableau, trois ombres sont produites (jaune, cyan et magenta).

Pour conclure, il est demandé aux élèves de dessiner les points qu'ils trouvent significatifs.

Tous les matériaux ont alors été recueillis pour l'analyse. La totalité des enregistrements a été visionnée deux fois afin d'y chercher les épisodes les plus significatifs. Ensuite, une présentation des conclusions partielles a été faite au sein de notre groupe d'étude. Ce moment a rendu possible la reformulation de nos points de vue sur les modèles utilisés par les enfants. Enfin, les enfants à la production orale la plus significative ont été choisis afin de mener des analyses plus poussées. Pour ces élèves, les dessins ont été récupérés.

Ce cadre a permis de mettre en lumière quelques indications d'utilisation d'invariants opératoires par les enfants.

En ce qui concerne cet article, nous avons décidé de présenter les épisodes du troisième cours parce que nous y avons trouvé un plus grand nombre d'éléments pour l'identification des invariants opératoires.

N° 17 (2017), pp. 7 - 26

Description et analyse des épisodes

En général, tous les élèves nous ont semblé engagés dans les activités, notamment en essayant de donner leurs opinions, des explications et aussi en réalisant les tâches comme nous le leur avons demandé. Il s'agit ici d'une donnée très importante, principalement au vu de la réputation d'élèves dispersés qu'ont les enfants de cette classe auprès des enseignants. Il est vrai qu'ils voulaient tous s'exprimer en même temps, mais leurs prises de paroles étaient toutes dirigées vers la tentative de construction d'explications sur les résultats des expérimentations que nous étions en train de conduire.

Lors du début des activités, il nous a été possible de vérifier l'utilisation d'un théorème-en-acte, si important pour les explications causales des enfants.

Chercheur 1: De quelle couleur est le tableau?

Nicole: Blanc.

Chercheur 1: Et maintenant? <<en allumant la source lumineuse rouge vers le tableau >>

Nicole: rouge

Chercheur 1: Mais pourquoi ce changement de couleur ?

Nicole: C'est à cause de la lumière ... elle fait changer le tableau ...

Chercheur 1: Alors, si j'éteins la lumière ...

Nicole: Blanc ...

D'autres enfants ont répondu la même chose. Ce type de réponse a été donné aussi quand on utilisait les autres sources lumineuses. Il nous est possible de vérifier dans cet épisode que l'élève pense que la couleur est une propriété de l'objet. Dans ce cas, l'enfant dit que le tableau **est** blanc (il a la propriété d'être blanc) ou rouge, sans considérer que le rôle joué par la lumière est celui de modifier cette propriété. Chez lui, « le tableau est rouge parce que je le vois rouge ».

Il s'agit tout à fait d'une logique caractéristique de la période préopératoire (Piaget, 1967) où les propriétés abstraites du réel sont attribuées à des propriétés des objets eux mêmes. Le théorème-en-acte plus général peut être énoncé comme « les choses sont comme je les vois »,

N° 17 (2017), pp. 7 - 26

une formulation similaire à celle de la zone réaliste naïve des profils conceptuels (Mortimer, 2000) qui est décrite dans les recherches sur la conceptualisation en Sciences.

Ensuite, le chercheur interroge les élèves sur ce qui se passera s'il met la main entre la source lumineuse rouge et le tableau.

Chercheur 1: Alors, qu'est-ce que va se passer si je met ma main ici?

Tous les élèves : <<des réponses différentes >> bleu, rouge, noir, ombre, ...

Chercheur 1: Ok, il y aura une ombre... De quelle couleur?

Tous les élèves : <<des réponses différentes >> bleu, rouge, noir, ...

Chercheur 2: <<en se dirigeant vers l'élève Nayara qui a répondu « bleu »>>

Mais, si la lumière est rouge, pourquoi l'ombre est bleu?

Nayara: Parce que le tableau est blanc.

Nicole: Parce que le rouge plus le vert deviennent le noir.

Chercheur 2: Si la lumière est rouge, pourquoi l'ombre est verte?

Nicole: Parce que tu mélanges les couleurs.

Les enfants ont vu la situation où la lumière rouge a produit des ombres. Dans cet épisode nous n'avons pas réussi à obtenir une salle complètement exempte de lumière externe. C'est la raison pour laquelle quelques élèves ont aperçu la formation de deux ombres (une foncée et l'autre bleu-vert). Cette situation a cassé le théorème-en-acte énoncé peu après parce qu'il n'y avait aucune source de lumière bleue ou verte disponible. Alors, il est possible d'observer que le concept-en-acte de « mélange de couleurs » commence à apparaître dans le modèle présenté par Nicole comme quelque chose de pertinent pour expliquer les couleurs qui ne sont pas projetés directement.

À la suite de l'activité, le chercheur 2 dit aux élèves qu'il va changer la couleur de la source.

Chercheur 2: Je vais utiliser la lumière verte. De quelle couleur sera l'ombre?

Nicole: Rouge.

Chercheur 2: Pourquoi tu le penses?

Nicole: Parce que si on mélange les couleurs, elles deviennent chaque couleur mélangée d'une couleur.

Après la réalisation de la projection de la lumière verte sur le tableau, les enfants ont donné différentes opinions sur la couleur de l'ombre qu'ils ont vue. La réponse de Nicole nous a semblé la plus intéressante. Il nous semble avoir le début de la structure de réversibilité dans l'action des enfants. Dans le cas antérieur, la lumière rouge a produit une ombre verte. Alors, maintenant, en utilisant une lumière verte, l'ombre doit être rouge.

Dans la suite de notre activité, le Chercheur 2 a dit aux élèves qu'il allait utiliser les lumières rouge et verte en même temps, puis il a posé la question sur la couleur du mélange entre elles. Il y a eu une forte diversité de réponses : rose, blanc, rouge, noir et bleu. Quand on place la main entre la source et le tableau, les enfants nous ont dit qu'ils ont réussi à voir deux ombres : une verte et l'autre rose. À la fin de l'activité expérimentale, le Chercheur 1 a dit à la classe qu'il allait utiliser les trois sources lumineuses en même temps. La prévision que les élèves ont faite est celle de la formation d'un arc-en-ciel.

Pour conclure, les enfants ont reçu des feuilles blanches afin qu'ils puissent représenter, par des dessins, les points jugés les plus importants. Nous avons laissé les élèves libres de dessiner ce qu'ils voulaient. Néanmoins, pendant le processus, nous avons posé quelques questions aux enfants par rapport à ce qu'ils avaient dessiné.

Nous allons présenter trois situations pour illustrer ce qui s'est passé.

Situation 1 : élève Cassiano

Chercheur 2: J'ai fait la projection des trois couleurs. Qu'est-ce qui s'est passé ?

Cassiano: (Le tableau est devenu) Blanc.

Chercheur 2: Et qu'est-ce qui se passe là dans ton dessin?

Cassiano: (Il est) Noir.

Chercheur 1: Pourquoi tu penses que les deux choses sont différentes?

Cassiano: Parce que la feuille est toute blanche.

Chercheur 1: Mais quand je projette la lumière, la feuille n'est pas blanche aussi?

Cassiano: < Il pense quelques instants > Quand je fais (le dessin) il devient noir parce que j'y ai mis des couleurs. Mais quand vous faites (en utilisant les lumières, le tableau), il devient blanc.

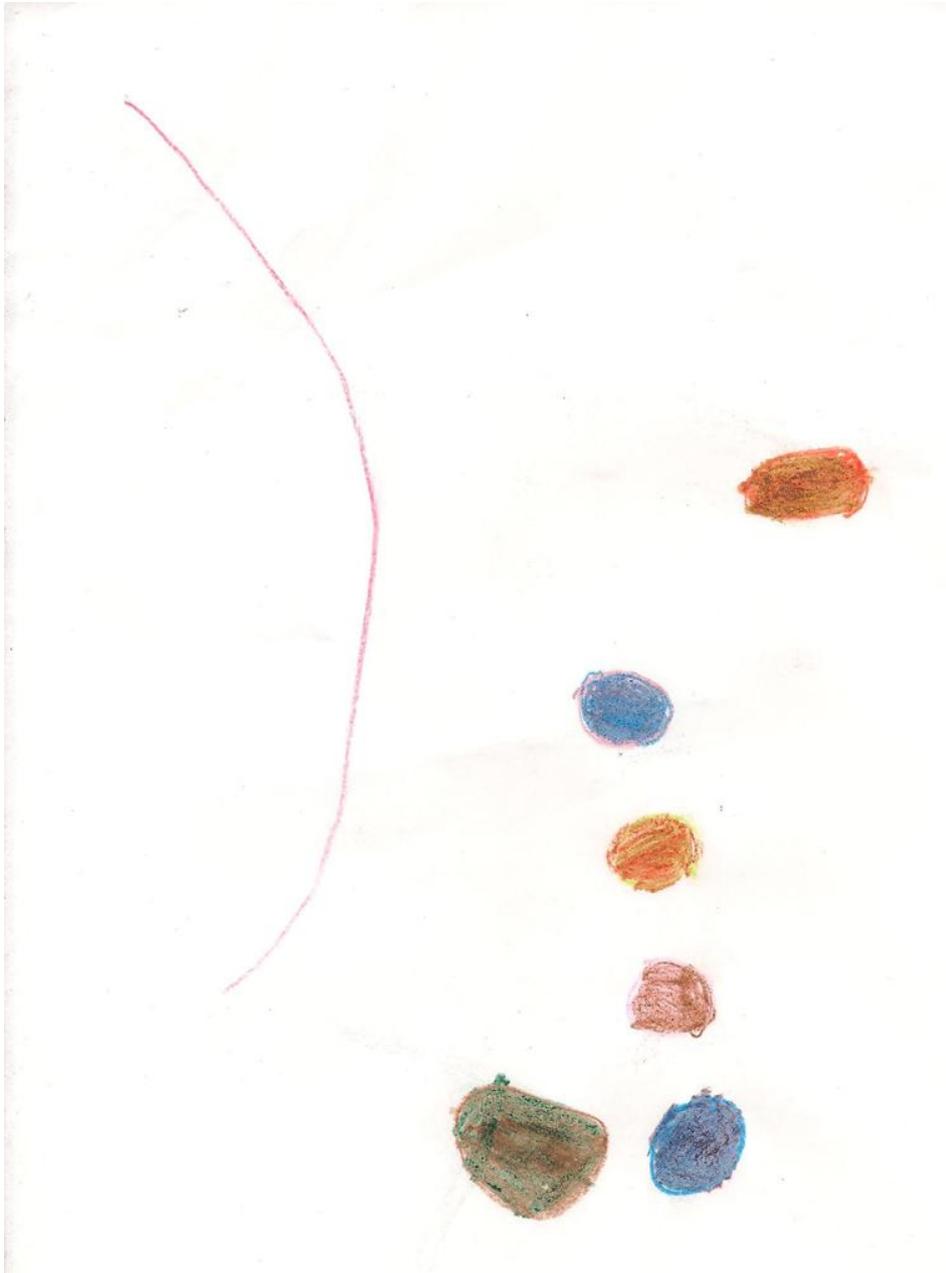


Figure 01: Les dessins faits par Cassiano.

Situation 2 : élève Nicole

Chercheur 2: Pourquoi tu penses que lorsque tu mélanges toutes les couleurs ici <il montre le dessin fait par Nicole sur la feuille> la feuille devient foncée? Quand j'ai projeté les couleurs sur le tableau <en parlant de la première expérience> il restait blanc. Est-ce que tu peux me dire la raison de cette différence?

N° 17 (2017), pp. 7 - 26

Nicole: En mélangeant les couleurs avec les crayons de couleurs si on mélange le rouge avec le jaune ça devient orange. Le bleu avec le rouge devient le violet.

Chercheur 2: Mais quelle est la raison pour laquelle quand j'ai mis les lumières ... tu te souviens ?... Le tableau est devenu blanc ?

Nicole: Parce que on mélange ... couleurs ... alors chaque couleur reste différente : bleu, blanche, jaune, orange.



Figure 02: Les dessins faits par Nicole.

Situation 3 : élève Vitor

Chercheur 2: Regarde ! Ce sont les lumières <en montrant le dessin > mais ce que tu as vu sur le tableau ... c'est la même chose ? Quand tu utilises les crayons de couleur, la feuille devient foncée. Quand je mets de la lumière ..., le tableau devient blanc, n'est-ce pas ?

N° 17 (2017), pp. 7 - 26

Vitor: Le vert cache le bleu et le rouge. Le rouge a caché le bleu... et le bleu a caché le vert.

Chercheur 2: C'est ça ? La raison pour laquelle la feuille devient foncée ? Chaque couleur cache les autres?

Vitor: Oui, oui. Quand vous faites ça ... et vous avez mis votre main, ... (le tableau) est devenu violet.



Figure 03: Les dessins faits par Vitor.

Les deux premiers épisodes ont en commun le fait que les enfants aient identifié les deux actions (projeter les lumières et colorier) comme distinctes. Cette remarque renforce l'idée de l'assimilation comme une interprétation du réel (Piaget, 1967) en s'appuyant sur les observables et sur les représentations de chaque sujet. On peut voir dans les dessins des

N° 17 (2017), pp. 7 - 26

enfants qu'ils essaient de représenter ce qu'ils ont vu. Néanmoins, ils ne sont pas perturbés par le fait que l'observable ait été distinct du résultat même de leurs dessins. Le raisonnement des enfants de cet âge n'est pas réversible, raison pour laquelle ils ne réussissent pas à reconnaître la contradiction présentée ci-dessus.

Or, si Nicole nous a semblé utiliser une logique réversible lors de l'explication de la formation des ombres associés aux sources lumineuses, elle ne l'a pas fait pour expliquer la corrélation entre la formation de la couleur blanche sur le tableau et le mélange des couleurs des crayons. Il est possible de conclure que la structure de réversibilité est déjà en construction chez elle, malgré le fait que cette structure ne soit pas encore suffisamment établie.

Dans le cas d'un simple échange entre une source lumineuse et une ombre Nicole a réussi à établir la réversibilité du processus et alors sa prévision sur la couleur de l'ombre a été juste. Par contre, pour aller au delà des observables et reconnaître dans deux activités différentes les caractéristiques complémentaires, Nicole n'a pas réussi.

Le concept-en-acte de *couleur* nous semble décisif dans l'organisation des activités des enfants, même si le statut épistémologique de ce concept change d'un élève à l'autre. En utilisant ce concept, le théorème-en-acte construit nous semble être le suivant : « *Il est possible de produire différentes couleurs par l'addition de lumières ou de pigments* ».

Dans le troisième épisode, une nouvelle explication causale fait son apparition. Vitor a reconnu qu'il a dessiné ce qu'il a vu. Pour expliquer la raison même de cette différence, il a utilisé le concept-en-acte d'absorption et alors le théorème-en-acte « *un pigment peut cacher l'autre* » guide son explication. Il est très intéressant de s'apercevoir que ce théorème-en-acte lui permet d'affirmer que le noir est le manque de couleur, à cause de l'obstruction du passage de toutes les couleurs. Il nous semble que Vitor a construit une analogie entre ses dessins et la production des ombres par les mains du chercheur. Si le chercheur peut cacher la lumière et ainsi produire les ombres sur le tableau, l'élève peut cacher les couleurs en les mettant les une sur les autres et ainsi produire les « ombres » sur la feuille. Cela constitue tout à fait un modèle très sophistiqué.

N° 17 (2017), pp. 7 - 26

Conclusion

D'abord, cette recherche nous a permis de constater la très grande disposition des enfants pour développer des activités expérimentales. Malheureusement, ce sont des activités qui manquent dans la plupart des classes de l'éducation infantile au Brésil. Au sujet des questions qui ont été posées avant et pendant la recherche, ils se sont montrés curieux.

Notre but était de mettre en lumière les concepts-en-acte et les théorèmes-en-acte mobilisés par les enfants lors de la réalisation d'activités sur la connaissance physique et de la construction d'explications causales. Nous avons réussi à le faire, même si dans certains cas il a été possible de rencontrer quelques contradictions en raison des situations proposées aux élèves. Nous savons que les situations proposées sont très difficiles pour les enfants, surtout celles qui touchent la formation d'ombres (Ravanis, Charalampopoulou & Bagakis, 2005). Néanmoins nous avons choisi cette méthodologie en pensant avoir la possibilité de trouver plusieurs invariants opératoires.

Malgré le fait que les explications des enfants n'aient pas obéi aux règles scientifiques ou même à une logique formelle, les enfants sont déjà capables de construire des liaisons entre les choses qu'ils voient et ainsi de proposer des modèles explicatifs, même dans les situations où ils rencontrent de très grandes difficultés comme par exemple pour l'explication sur la formation des ombres (noires et colorées). C'est la raison pour laquelle cette activité nous semble avoir un potentiel pour contribuer à la construction de concepts scientifiques sur une longue durée.

Nous pouvons souligner l'utilisation du concept-en-acte d'absorption et du théorème-en-acte « une couleur peut cacher les autres » lors de la construction de l'explication causale de la différence entre les observables et ce que les élèves ont dessiné. C'est ce que disait Piaget (1967) : les élèves ne dessinent pas ce qu'ils voient mais l'idée qu'ils construisent de l'objet. Nous ajoutons à cette discussion la possibilité de suivre le processus de construction des représentations par rapport à l'analyse des invariants opératoires.

Dans ce cadre, le choix par l'analyse de divers types de registres (verbaux et dessinés) nous a beaucoup aidé dans la description des invariants opératoires des élèves. Nous sommes d'accord avec Soler (1999) quand il souligne le besoin de divers types de registres pour savoir ce que pensent les élèves. Il va de soi que la parole des enfants est plus « fluide », surtout dans

N° 17 (2017), pp. 7 - 26

les situations de grande difficulté, comme celles où il faut expliquer la formation des ombres. C'est pourquoi notre interprétation serait superficielle si nous ne prenions en compte que ce que les élèves disent.

Pour conclure, il nous semble que la Théorie des Champs Conceptuels, bien que trouvant son origine dans les mathématiques, est un cadre de référence qui nous permet d'aller plus loin dans le processus de conceptualisation étant donné qu'elle nous offre la possibilité de suivre l'évolution temporelle des connaissances et des schèmes. Les résultats que nous présentons ici sont, alors, le début de nouvelles investigations sur le même sujet à réaliser auprès d'autres personnes. Nous espérons construire un cadre de référence pour le processus de construction de la notion de couleur chez les enfants en ajoutant la description des schèmes et, ainsi, leurs relations avec les situations.

Références

CAMPOS, A. (2014). *A Conceitualização do Princípio de Conservação de Energia Mecânica : Os Processos de Aprendizagem e a Teoria dos Campos Conceituais*. São Paulo : USP.

CARVALHO, A.M.P., VANNUCCHI, A. I. & BARROS, M. A. (2007). *Ciências no Ensino Fundamental : o conhecimento físico*. São Paulo: Editora Scipione.

CARVALHO JR., G. D. (2013). *Invariantes Operatórios na transição entre dois campos conceituais: o caso do tempo relativo*. Belo Horizonte : UFMG.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A & PERNAMBUCO, M. M. (2002). *Ensino de Ciências: fundamentos e métodos*. São Paulo: Cortez.

INHELDER, B, SINCLAIR, H. & BOVET, M. (1974). *Apprentissage et Structures de la Connaissance*. Paris : PUF.

KAMII, C. & DEVRIES, R. (1991). *O conhecimento físico na educação pré-escolar: implicações da teoria de Piaget*. Porto Alegre : Artes Médicas.

MORTIMER, E. F. (2000). *Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências*. Belo Horizonte: Editora UFMG.

MOZZER, N. B. (2013). *O entendimento conceitual do processo de dissolução a partir da elaboração de modelos e sob a perspectiva da teoria dos Campos Conceituais*. Belo Horizonte : UFMG.

N° 17 (2017), pp. 7 - 26

OTERO, M. R., FANARO, M. A., SUREDA, P. LLANOS, V. C. & ARLEGO, M. (2014). *La Teoría de los Campos Conceptuales y la Conceptualización en el aula de Matemática y Física*. Buenos Aires: Dunken.

PIAGET, J & INHELDER, B. (1968). *Le développement des quantités physiques chez l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé. 1968.

PIAGET, J. (2000). *Biologia e conhecimento : ensaio sobre as relações entre as regulações orgânicas e os processos cognoscitivos*. Petrópolis : Vozes.

PIAGET, J. (1927). *La causalité physique chez l'enfant*. Paris : Félix Alcan.

PIAGET, J. (1967). *La construction du réel chez l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.

PIAGET, J. (1973). *Le développement de la notion de temps chez l'enfant*. Paris: PUF.

PRODANOFF, F. (2015). *Enseñanza de nociones básicas de la Teoría Especial de la Relatividad (TER) en la Escuela Secundaria*. Tandil : UCPBA.

RAVANIS, K., CHARALAMPOPOULOU, C. & BAGAKIS, G. (2005) La formation des ombres dans la pensée des enfants de 5-6 ans. *SPIRALE - Revue de Recherches en Éducation*, n° 36, p. 87-98.

REZENDE JR. M. F. (2006). *O processo de conceitualização em situações diferenciadas na formação inicial de professores de física*. Florianópolis : UFSC.

SOLER, M. A. (1999). *Didáctica multisensorial de las ciencias: un nuevo método para alumnos ciegos, de cientes visuales, y también sin problemas de visión*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica.

VERGNAUD, G. (1990). « La théorie des champs conceptuels ». *Recherches en didactique des mathématiques*, n° 23, vol. 10, p. 133-170.

VERGNAUD, G. (2009a). *A criança, a matemática e a realidade*. Curitiba: Editora UFPR.

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

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

N° 17 (2017), pp. 7 - 26

Resumo

O presente trabalho apresenta os resultados de um estudo conduzido com crianças de 5 anos sobre a formação de cores, por meio de um conjunto de atividades práticas de projeção de luzes coloridas em superfícies brancas. A pesquisa foi conduzida com 16 crianças de uma escola pública brasileira por três períodos de aula de 50 minutos cada um. Utilizamos, como referencial teórico, a Teoria dos Campos Conceituais para a análise dos desenhos e dos turnos de fala das crianças. Conseguimos identificar invariantes operatórios utilizados pelas crianças para dar sentido aos observáveis dos experimentos. Dentre eles, destacamos o teorema-em-ação que indica ser a cor uma propriedade dos objetos e o conceito-em-ação de absorção luminosa como pertinente para explicar o resultado da sobreposição de pigmentos realizados pelas crianças. Esses resultados se inserem em uma perspectiva mais ampla pois dialogam com trabalhos de outros pesquisadores, como, por exemplo, as investigações de Piaget sobre a construção do real ou sobre o desenvolvimento das quantidades físicas.

Palavras-chave: invariante operatório; cor; explicações causais; conhecimento físico; educação infantil; teoria dos campos conceituais

Abstract

The present work presents the results of a study conducted with 5 years-old children on the color formation, through a set of practical activities of projection of colored lights on white surfaces. The research was conducted with 16 children from a Brazilian public school for three periods of 50 minutes each. We use, as a theoretical reference, the Theory of Conceptual Fields for the analysis of children's drawings and speech exchange. We were able to identify operational invariants used by children in order to meaning making to the observables of the experiments. Among them, we highlight the theorem-in-action that indicates to be the color a property of the objects and the concept-in-action of light absorption as pertinent to explain the result of the overlap of pigments realized by the children. These results come from a broader perspective, since they dialogue with the work of other researchers, such as Piaget's investigations into the construction of the real or the development of physical quantities.

N° 17 (2017), pp. 7 - 26

Keywords: operational invariant; color; Causal explanations; Physical knowledge; Child education; conceptual fields theory

Resumen

Este artículo presenta los resultados de un estudio realizado con niños de 5 años en la formación de los colores, a través de un conjunto de actividades prácticas de proyección de luces de colores en superficies blancas. La investigación se llevó a cabo con 16 niños de una escuela pública brasileña durante tres períodos de clase de 50 minutos cada uno. Utilizamos como marco teórico, la teoría de los campos conceptuales para el análisis de los dibujos y los turnos de habla de los niños. Hemos identificado invariantes operatorios utilizados por los niños para dar sentido a los experimentos observables. Entre ellos, el teorema-en-acción que indica que el color sea una propiedad de los objetos y el concepto-en-acción de absorción de la luz tan relevante para explicar el resultado de la superposición de los pigmentos fabricados por niños. Estos resultados se enmarcan en una perspectiva más amplia para el diálogo con el trabajo de otros investigadores, por ejemplo, la investigación de Piaget en la construcción de lo real o el desarrollo de cantidades físicas.

Palabras clave: invariante operatorio; color; explicaciones causales; conocimiento físico; educación infantil; teoría de los campos conceptuales.