

Éducation scientifique et développement intellectuel du jeune enfant

MARCELA RESTA-SCHWEITZER, ANNICK WEIL-BARAIS

Laboratoire de Psychologie, Université d'Angers

France

Marcela.schweitzer@etud.univ-angers.fr,

Annick.weil-barais@univ-angers.fr

RÉSUMÉ

L'étude tente de cerner le rôle de l'éducation scientifique dans le développement intellectuel du jeune enfant entre 5 et 6 ans. Partant d'une conception du développement qui s'inspire à la fois d'un modèle proposé par Piaget et Garcia (1983) qui explicite les transformations des modes d'explication du monde au cours de la genèse et de la conception vygotkienne mettant en avant l'importance de la médiation de l'adulte et de la tutelle, nous avons conçu une séquence d'activités concernant la formation des ombres visant à une transformation de la manière dont les enfants appréhendent les phénomènes physiques. Cette séquence, gérée par l'enseignant habituel des enfants, a été mise en œuvre dans une classe d'une école maternelle publique. Les progrès des enfants ont été analysés sur la base de l'analyse de réponses verbales et de productions graphiques produites dans des contextes d'entretiens individuels réalisés avant la séquence d'enseignement et deux mois après la séquence. Les données recueillies mettent en évidence que les enfants progressent dans leur lecture du réel sortant du cadre purement perceptif (lecture intra-objectale) pour construire des observables impliquant un traitement inter-objectal des phénomènes physiques. Ces données étayent l'idée qu'une initiation scientifique à l'école maternelle basée sur une bonne connaissance des possibilités des enfants contribue à leur développement intellectuel.

MOTS CLÉS

Âge préscolaire, initiation scientifique, développement intellectuel, modèle précurseur, zone proximale du développement.

ABSTRACT

In this study, we attempt to understand better the influence of scientific teaching on the intellectual development of 5 to 6 year old children. The conception of child intellectual development used is based on a model suggested by Piaget and Garcia (1983), which explains the transformations of the understanding of the world by young children, and on Vygotskian conception which emphasizes the importance of the adult mediation and tutoring. Then, we developed a sequence of activities involving the understanding of shadow formation by young children, with the aim of transforming the way they understand physical phenomena. This sequence was carried out in kindergarten, with a group of pupils thought by their own teacher. The children's progresses were analysed, using their own statements and graphic productions, obtained during individual interviews achieved first before the teaching sequence, and then two months later. The collected data show that children progress in their reading of reality, as they come out of the purely perceptive framework («intra-objectal»), by building observables which imply an «inter-objectal» treatment of physical phenomena. These conclusions reinforce the idea that a scientific initiation in kindergarten, based on a good knowledge of the children's abilities, contributes to their intellectual development.

KEY WORDS

Preschool age, scientific initiation, intellectual development, precursor model, proximal area of development.

INTRODUCTION

Dans de nombreux pays, l'introduction des sciences dans les classes enfantines (en France, l'École Maternelle) se justifie par toutes sortes de considérations (éveil de la curiosité et des vocations, développement des capacités perceptives, des habiletés motrices, du langage et du raisonnement, socialisation – cf. les directives du Ministère de l'Éducation Nationales «découvrir le monde à l'école maternelle» (2005), Coquidé-Cantor et Giordan (2002). Dans cet article, nous nous contenterons de questionner les liens entre l'éducation scientifique et le développement intellectuel du jeune enfant. En effet, s'il existe de nombreuses études concernant les adolescents, très peu d'études concernent les très jeunes enfants (alors même qu'ils sont actuellement la cible de projets innovants «La main à la pâte», par exemple).

Il est communément admis que les pratiques scientifiques sollicitent des activités

intellectuelles de haut niveau et que, par conséquent, l'enseignement scientifique jouerait un rôle stimulant pour le développement des compétences intellectuelles, surtout à l'adolescence (Khun, Amsel & O'Loughlin, 1988; Glynn, Yeany & Britton, 1991; Gunstone, 1994; Zimmerman, 2005) mais également chez les très jeunes enfants (Eshach & Fried, 2005), même si au niveau pré-scolaire les auteurs reconnaissent la très grande difficulté de cet enseignement. Mais, affirment-ils, difficile ne veut pas dire impossible.

Le raisonnement par test d'hypothèse, le raisonnement causal, la construction et l'utilisation de modèles, la métacognition sont les aspects fréquemment évoqués comme étant particulièrement impliqués dans l'activité scientifique. Sur le versant des exigences intellectuelles, sont évoqués la rigueur, la concision, la précision et le souci de la preuve, parfois l'imagination et l'audace, toutes qualités supposées sous-tendre cette activité. Si globalement, on a pu établir des corrélations entre épreuves de raisonnement ou d'évaluation de la pensée formelle et réussite à des épreuves de connaissances en sciences, le lien n'est cependant pas plus élevé que pour toute autre domaine de connaissances, ce qui signifie qu'on n'a pas pu identifier de compétences spécifiques à la réussite en sciences (Adey, 1989). En somme, l'apprentissage des sciences requiert de l'intelligence, au même titre que tous les apprentissages.

S'il existe de nombreuses études de type corrélationnelle visant à établir des relations entre des habilités intellectuelles spécifiques (raisonnement causal, combinatoire, probabilité, épreuves de conservation, etc.), peu d'études sont parvenues à montrer que l'enseignement scientifique favorisait le développement de capacités cognitives spécifiques (Padilla, Okey, & Garrard, 1984). Encore plus rares, semble-t-il, sont les études qui se sont fixées comme objectif prioritaire d'établir un lien entre apprentissages scientifiques et développement intellectuel. Cet état de fait est tout à fait compréhensible, si on considère que le développement intellectuel est multidéterminé et qu'il est de fait impossible d'isoler les facteurs susceptibles d'en rendre compte (Vergnaud, 1994). D'autre part, on est loin de disposer d'une théorie du développement qui fasse consensus et qui permettrait d'opérationnaliser les transformations du psychisme résultant d'activités scolaires (Inagaki, 1992; Marti, Garcia-Mila, Steren & Gomez-Grannell, 1996). Enfin, quel que soit le modèle de développement intellectuel convoqué, les transformations attendues s'effectuent sur le long terme, ce qui est incompatible avec la nécessité de contrôler l'ensemble des paramètres supposés intervenir. Ainsi, si l'on considère par exemple, le développement du raisonnement hypothético-déductif, ce n'est qu'à l'adolescence qu'il se manifeste à une large échelle au sein des populations scolaires, avec des différences inter-individuelles très importantes. Cette donnée a justifié, à l'époque où la théorie piagétienne du développement était la référence majeure en éducation, que le début de l'enseignement scientifique intervienne à l'adolescence, à un moment où les enfants

étaient supposés avoir atteint un niveau intellectuel leur permettant d'accéder à des concepts formels et aux modes de raisonnement associés. De nombreux auteurs ont cependant montré qu'avant cette période, les enfants manifestaient des capacités à isoler des facteurs et à concevoir des expériences permettant de se prononcer sur leurs effets (Cauzinille-Marmèche, Mathieu & Weil-Barais, 1983; Kuhn, Amsel & O'Loughlin, 1988). Les conditions dans lesquelles ces capacités se développent restent toutefois peu cernées. Une étude déjà ancienne (pilotée par Philip Adey en Grande Bretagne – Adey, 1992) où ont été comparés des enfants (entre 11 et 13 ans) ayant bénéficié d'un enseignement scientifique à ceux d'enfants n'en ayant pas bénéficié, n'a pas permis de mettre en évidence de différences, en termes de niveaux de développement à des épreuves piagétienne. Toutefois, dans ce type d'étude qui porte sur des populations d'élèves importantes, on ne connaît pas exactement quelle était la nature des activités conduites en classe par les enfants. Or on sait que des contenus similaires peuvent susciter des activités intellectuelles différentes (Weil-Barais & Bouda, 2004) plus ou moins exigeantes au plan du fonctionnement de la pensée, selon les problèmes soumis aux enfants et les modes de tutelle des enseignants. Philip Adey (1992) a d'ailleurs montré des différences au plan des performances des enfants, associées au fait que les enseignants avaient suivi ou non une formation concernant le développement intellectuel des enfants, ce qui atteste du rôle que jouent les enseignants dans ce développement.

Lorsqu'on s'intéresse aux effets produits par l'initiation scientifique après de jeunes enfants, ce qui est le cas des auteurs de cet article, on accepte *de facto* la thèse vygotkienne selon laquelle l'apprentissage stimule le développement (Weil-Barais, 1994, 2004). En effet, les jeunes enfants ne disposent pas encore des opérations de pensée et des habiletés impliquées dans l'activité scientifique (Khun, Amsel & O'Loughlin, 1988; Eshach & Fried, 2005). Ils sont loin de pouvoir maîtriser les concepts scientifiques et également loin de construire et de raisonner sur des représentations, ce qui nécessite de pouvoir se détacher des aspects affectifs, émotionnels, perceptifs et sensori-moteurs (Bachelard, 1934). Toutefois, on s'attend à ce que les sollicitations dont ils sont l'objet à l'occasion d'activités qui leur imposent un contrôle des actions et des perceptions, des exigences d'intelligibilité et de partage des représentations et des explications, les amènent à évoluer au plan intellectuel. C'est en ce sens que l'apprentissage précéderait le développement (Weil-Barais, Lemeignan & Séré, 1990). Pour que cette proposition très générale, partagée maintenant par de nombreux auteurs, devienne opérationnelle, il est cependant nécessaire de spécifier les conditions de l'apprentissage et la nature des compétences intellectuelles supposées être construites ou transformées par les activités proposées aux enfants. Ceci suppose de disposer d'au moins quatre catégories de modèles: un modèle des connaissances et des activités cognitives afférentes, un modèle de l'intervention didactique et un modèle

des compétences supposées se former. En effet, si on veut être à même de pouvoir mettre en relation l'apprentissage avec le développement intellectuel, les trois termes du système d'apprentissage doivent être spécifiés (la connaissance, la médiation pédagogique et l'activité du sujet) ainsi que le modèle de développement utilisé (Weil-Barais, 2004).

La recherche que nous présentons dans cet article, issue d'une thèse en cours, illustre la démarche que nous préconisons pour mieux cerner les relations entre éducation scientifique et développement intellectuel. En première partie, nous présenterons les différents modèles mobilisés. En seconde partie, nous présenterons la méthode d'étude utilisée et, en troisième partie, les principaux résultats concernant le développement intellectuel des enfants. La discussion conduite à partir de ces données a comme intention d'ouvrir des perspectives de recherches.

LES MODÈLES

S'agissant d'une étude dont l'ambition est de montrer qu'une initiation scientifique «bien conduite» auprès de jeunes enfants pouvait avoir un impact sur le développement de leurs compétences intellectuelles, nous avons défini au préalable le modèle de développement qui nous semblait le plus adapté aux connaissances scientifiques. Il s'agit du modèle proposé par Piaget et Garcia (1983), dans l'ouvrage *«Psychogenèse et histoire de sciences»* où les auteurs postulent un isomorphisme entre l'évolution des modèles explicatifs aux plans historiques et psychogénétiques. Ils décrivent trois paliers d'évolution: intra-objectal, inter-objectal et trans-objectal. Le premier palier se caractérise par une centration sur les propriétés perceptives des objets: *«le sujet se borne à décrire ce qu'il voit sans ordre, ni méthode et à invoquer comme seules explications des pseudo-nécessités...»* (Piaget & Garcia, 1983, p. 100). Au second palier, des mises en relation entre objets apparaissent et des déductions sont possibles: *«... une fois comprise une opération de départ, (le sujet peut)¹ en déduire celles qu'elle implique ou de la coordonner avec d'autres plus ou moins semblables, jusqu'à la constitution de systèmes comportant certaines transformations ...»* (Piaget & Garcia, 1983, p. 200). Au troisième palier, les mises en relation se font sur la base de structures hypothétiques.

Pour Piaget et Garcia, l'abstraction empirique (c'est-à-dire la capacité à isoler des propriétés inscrites dans les objets), suffisante au premier palier, devient une condition nécessaire mais pas suffisante au deuxième palier qui nécessite le recours à l'abstraction réfléchissante (Piaget, 1977). Cette dernière revient à isoler des

1. Parenthèses ajoutées par nous.

propriétés non portées par les objets mais construites par le sujet sur la base de mises en relation débouchant sur la construction de propriétés relationnelles.

Compte tenu de ce que l'on sait du développement des explications enfantines (Ravanis, 2005), on peut considérer qu'à l'âge qui nous intéresse (5-6 ans) l'évolution importante concerne le passage de l'intra à l'inter-objectal: les formes de pensée commencent à se réfléchir elles-mêmes pour devenir des contenus de pensée à un niveau supérieur. C'est donc cette évolution et les conditions la permettant que nous avons retenues pour notre étude. Ceci nous a conduit à choisir un champ de connaissances pour lequel, à l'âge considéré, les enfants ont spontanément une approche intra-objectale. Une recension des travaux relatifs aux conceptions spontanées des enfants à l'âge pré-scolaire (Resta-Schweitzer, 2005), nous a amené à retenir le domaine de la formation des ombres. En ce domaine, il a été montré, que les enfants avaient une conception substantialiste de l'ombre et qu'ils attachaient l'ombre à l'objet (Ravanis, 1996; Molina et Jouen, 2000): chaque objet a une ombre pouvant être vue dans certains cas, quand il y a du soleil notamment.

Nous avons repris d'une étude antérieure (Dumas Carré, Weil-Barais, Ravanis & Shourcheh, 2003), des éléments du «*modèle précurseur*»² ayant servi de cadre de référence aux activités proposées à des enfants âgés de 5 à 6 ans, en le complétant par un certain nombre de propositions, en partie dérivée de la première: il correspond à une explication de type inter-objectal puisque l'explication du phénomène s'appuie sur une relation spatiale entre trois systèmes (une source lumineuse, un objet et un plan de projection). Nous en rappelons les caractéristiques principales:

- l'ombre est l'absence de lumière due à l'interposition d'un corps intercepteur et ce corps se trouve entre la source lumineuse et l'ombre;
- l'ombre est une silhouette sans couleur ni détails;
- pour faire l'ombre il est nécessaire de disposer d'une source lumineuse, d'un objet et d'un plan de projection (ombre portée);
- la source lumineuse peut être une lampe, le soleil, une bougie...;
- l'objet peut être inerte ou vivant (humain, animal ou végétal);
- le plan de projection peut être: un écran, le sol, un mur...;
- un objet opaque est un objet qui ne laisse pas passer la lumière, contrairement à un objet transparent qui, lui, la laisse passer.

2. Le concept de «modèle précurseur» a été emprunté à Lemeigman et Weil-Barais (1993): «il s'agit de modèles préparant l'élaboration d'autres modèles. (...) les modèles précurseurs comportent un certain nombre d'éléments caractéristiques des modèles savants vers lesquels ils tendent. ... Les modèles précurseurs constituent (...) des constructions didactiques conçues pour aider les élèves à accéder aux modèles savants. Ils sont donc précurseurs au regard du développement cognitif 3 ce ne sont pas des précurseurs historiques» (1993, p. 26).

L'introduction d'un tel modèle a été réalisée à partir de tout un ensemble d'activités présentées dans la partie méthodologique. Les questions posées aux enfants visent à ce qu'ils se dégagent de la simple perception du phénomène et qu'ils s'intéressent aux relations entre les objets, les actions et les événements perçus.

Le modèle didactique employé repose sur deux concepts majeurs: la Zone de Proche Développement et la médiation, deux concepts empruntés à Vygotski. Ces deux concepts, ont en commun d'évoquer un «lieu de passage» ou encore un «chemin vers». Tout en étant dans ce que nous pouvons appeler «l'ici et maintenant» d'une situation d'apprentissage, ils expriment l'idée d'une évolution vers un futur plus ou moins proche, une évolution dans le sens d'une modification, d'un changement et d'une transformation du psychisme infantin. Le concept de Z.P.D. offre ainsi une perspective «ouverte» concernant le développement puisqu'il va à l'encontre des conceptions dans lesquelles l'apprentissage doit s'ajuster au développement (Vergnaud, 2000). Il amène à concevoir des situations didactiques et des étayages visant à aider l'enfant à dépasser ses propres limites; ils concernent les fonctions psychologiques en maturation (lecture inter-objectale, abstraction réfléchissante) et non seulement celles déjà venues à maturité (développement actuel, lecture intra-objectale), les activités étant conçues pour que les enfants aillent vers un niveau supérieur de lecture du réel.

MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE

Nous présentons dans cette partie la manière dont l'évaluation de la séquence d'activités a été conduite: le plan d'observation, les entretiens avant et après la séquence d'activités, les caractéristiques de cette séquence, les données recueillies et enfin les caractéristiques de la population infantine impliquée dans l'étude.

Plan d'observation

L'étude comporte trois phases: une première phase consacrée à des entretiens individuels visant à spécifier les représentations des enfants concernant le phénomène d'ombre et lumière et à anticiper les obstacles cognitifs à la construction du modèle précurseur; une seconde phase correspondant à la séquence d'enseignement; et une troisième phase consacrée à des entretiens individuels du même type que ceux conduits dans la première phase. L'intervalle entre les premiers entretiens et la séquence d'enseignement est d'environ un mois. La deuxième série d'entretiens a été réalisée deux mois après la fin de la séquence d'enseignement, laquelle s'est déroulée sur deux séances de travail de 45 minutes impliquant une classe de Grande Section de Maternelle. Les enfants et leurs parents étaient informés de la mise en place d'une expérience innovante au sein de l'école où s'est déroulée l'étude, avec le soutien de la directrice.

Les entretiens

Ils ont été conduits par un chercheur, avec l'accord de l'enseignant habituel des enfants, de la directrice de l'établissement et des parents. Les questions posées aux enfants lors de la première et de la dernière phase ainsi que les intentions qui les sous-tendent sont récapitulées dans le tableau 1. Les trois premières questions mobilisent le registre verbal; la quatrième question, le registre graphique. Au cours des entretiens qui sont enregistrés, les enfants disposent de feuilles A3 et de feutres de différentes couleurs.

TABEAU 1 : Questions et consigne des entretiens

Registre verbal Questions	Objectifs poursuivis
1 : As-tu déjà vu des ombres ?	Introduire le thème de conversation et connaître la signification que les enfants donnent au mot ombre.
2 : D'après toi, qu'est-ce qu'une ombre ?	Connaître l'ensemble des propositions définitoires de l'ombre
3 : A ton avis pour faire une ombre, de quoi a-t-on besoin?	Cette question suggérant le besoin de plus d'un élément pour former l'ombre, elle permet de répertorier les objets auxquels les enfants pensent.
Registre graphique Consigne: Dessine-toi avec ton ombre.	

La séquence d'enseignement

La séquence d'enseignement comprend deux séances se déroulant à une semaine d'intervalle. L'intervenant est l'enseignant habituel des enfants, les activités ayant été préparées avec le chercheur. Celui-ci observe chaque séance et réalise des enregistrements vidéo. Il intervient à la demande de l'enseignant, si nécessaire. Les activités proposées aux enfants sont présentées ci-après.

1^{ère} séance

Elle commence par le visionnement d'un film «L'ombre de petit ours» (une histoire d'après la série de livres de Else H. Minarik & Maurice Sendak, 1995) suivi de questions visant à mobiliser l'attention de l'enfant sur l'ombre. Ensuite les enfants sont invités à travailler avec différents objets (un verre, une pomme, des formes d'objets familiers découpés dans du contre-plaqué et coloriées – un chat, un éléphant) et plusieurs sources lumineuses. Les objectifs poursuivis sont au nombre de quatre: (1) déterminer

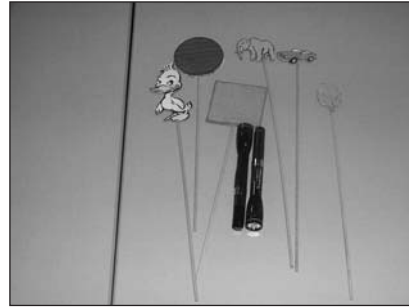
les éléments intervenant dans la formation d'une ombre, (2) comprendre que la vision des objets est associée à la présence de lumière (pour être vu, un objet doit être éclairé); (3) comprendre que la formation de l'ombre dépend d'une source de lumière, d'un objet placé entre la source et la surface de projection de l'ombre; (4) comprendre qu'un objet opaque est un objet qui ne laisse pas passer la lumière, qu'un objet transparent est un objet qui laisse passer la lumière (verre). Pour ce faire, les enfants sont invités à produire des ombres, à expliquer au préalable comment ils vont s'y prendre, à prévoir ce qui va se passer et à confronter leurs prédictions aux événements produits.

Lorsque les enfants semblent avoir acquis une assez bonne maîtrise de la production d'ombres, une activité de formalisation leur est proposée: à l'aide de gommettes mises à leur disposition, ils doivent représenter une source lumineuse, un objet et son ombre, en respectant la forme et la topologie des objets. Concrètement, l'enseignant distribue à chaque table le matériel et donne la consigne suivante: «Il faut construire l'ombre de l'éléphant.». Les enfants doivent, individuellement, représenter le dispositif en collant les gommettes appropriées sur une feuille de papier. A la fin de cette séance, les enfants et l'enseignant s'installent en demi-cercle et échangent leurs avis à propos des différents collages. L'enseignant oriente le débat sur l'adéquation entre la représentation et la situation physique, négligeant les autres aspects (esthétiques, ludiques...).

2^{ème} séance

Au cours de cette séance, les enfants sont invités à réaliser deux expérimentations puis à les formaliser comme dans la séance précédente. La première expérimentation implique un seul objet et une seule source lumineuse: il s'agit de rechercher des déterminants de la taille et de l'orientation de l'ombre. La source lumineuse et l'objet étant placés, les enfants sont invités à prédire la place et la taille de l'ombre puis à allumer la lampe pour voir ce qu'il en est. Lors de la seconde expérimentation, les enfants sont invités à former une ombre d'une figure donnée (cf. figure 1) et à faire varier la taille de l'ombre, l'objectif étant, d'une part, que les enfants soient à même de comprendre l'importance des positions relatives: plus l'objet est proche de la lampe, plus son ombre est grande - on modifie la position et la taille d'une ombre en agissant sur l'objet et la distance source-objet; d'autre part, qu'ils puissent appréhender l'importance de la source lumineuse dans la formation de l'ombre, puisqu'à cet âge, les enfants ne proposent pas d'explication pour la formation du phénomène en terme d'interception du faisceau lumineux. Les objets utilisés sont représentés dans la figure 1.

FIGURE 1

*Matériel utilisé lors de la seconde séance*

L'activité de formalisation (utilisation de gommettes) est du même type que dans la première séance: les enfants utilisent des gommettes de différentes tailles représentant l'ombre, ils doivent choisir la taille appropriée et positionner les gommettes correctement sur une feuille où sont déjà collés la source lumineuse et l'objet. Cette activité amène à reconstruire individuellement, au plan graphique, une relation établie lors du travail collectif: plus l'objet est proche de la lampe, plus son ombre est grande.

Concrètement, l'enseignant dispose sur chaque table le matériel et donne à chaque enfant une feuille sur laquelle la source lumineuse est très proche d'un objet de la forme d'un chien. La consigne est la suivante: «Regardez ! la lumière est très proche du chien, il faut choisir la taille de l'ombre qui va se former et la coller sur la feuille de papier; vous avez le choix entre une ombre de petite taille et une ombre de grande taille». A la fin de cette seconde séance, les enfants et l'enseignant s'installent en demi-cercle et échangent leurs avis sur les collages.

On remarquera qu'au cours de la séquence d'enseignement, il n'est pas demandé aux enfants de produire des dessins, ce qui est fait lors des entretiens. Nous voulions éviter que les enfants, lors de la seconde entrevue, produisent des représentations par imitation. Avec cette précaution, on peut estimer raisonnablement que si les enfants modifient leur représentation graphique de leur ombre, ceci est imputable à des transformations de leur manière d'appréhender le phénomène.

Population

L'échantillon est composé de 15 enfants, 8 garçons et 7 filles âgés de 5 ans 2 mois à 5 ans 9 mois au moment de l'étude, normalement scolarisés en GSM (grande section de maternelle, aucun retard, aucune avance), dans une école publique de la banlieue sud de Paris. Les élèves appartiennent à des catégories socio-économiques diversifiées

comme en atteste la profession des parents (magasinier, technicien des sols, professeur, pharmacien, etc.).

Données recueillies

Nous disposons des transcriptions des entretiens, des échanges entre le professeur et les élèves au cours de la séquence d'enseignement ainsi que de toutes les productions graphiques des enfants.

ANALYSE DES DONNÉES

L'analyse présentée ici porte uniquement sur la comparaison entre les explications données par les enfants au cours des entretiens individuels, avant et après la séquence d'enseignement pour en évaluer les effets en terme développemental. Nous avons traité séparément les productions verbales et graphiques, partant de l'hypothèse que le système d'expression employé pouvait avoir une incidence sur le niveau d'explication manifesté. En effet, les relations à représenter étant de nature spatiale il est a priori plus aisé de les exprimer graphiquement que linguistiquement, à cause de la relation d'isomorphie entre le système physique et la représentation dans un cas et pas dans l'autre. Nous présenterons tout d'abord les niveaux d'explication, puis les analyses.

Les niveaux d'explication

L'ensemble des catégories que nous avons distinguées prend en compte la distinction faite par Piaget et Garcia (1983) entre l'intra objectal et l'inter-objectal ainsi que la qualité de la représentation en regard de son exactitude. Nous décrivons ci-après ces catégories, en spécifiant les critères considérés lorsqu'il s'agit d'une production verbale (V) ou graphique (G). Des exemples de production verbale sont insérés dans le texte. Les exemples de production graphique sont regroupés dans la figure 2.

1) Intra-objectale

Dans cette catégorie, la notion du système est inexistante. Aucune relation spatiale n'est exprimée.

V: L'enfant nomme une propriété ou un élément constitutif du phénomène de façon isolée. Exemples: «*elle est noire*». (Benj 5; 10); «*Il faut prendre de la lumière et je ne me rappelle plus*» (Nico 5; 10).

G: L'enfant dessine au moins deux éléments constitutifs du phénomène.

2) Inter-objectale erronée ou incomplète







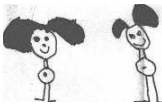

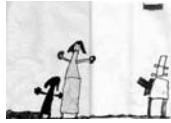

Cette catégorie, correspond à une progression par rapport à la catégorie précédente. Plus d'éléments sont présents, mais aucune relation correcte n'est exprimée.

V: L'enfant nomme deux éléments ou plus constituant le phénomène; parfois tous

les éléments sont présents dans le discours mais sont isolés, aucune coordination ou relation n'est exprimée; des erreurs peuvent exister. Les éléments ne sont pas encore insérés dans un système, et le système n'est pas non plus inséré dans un ensemble de transformations solidaires. Exemples: *Un peu noire avec un peu du gris... C'est quelque chose noire... on a besoin de nous, de nos mains... Quand il y a du soleil, du soleil, de l'électricité...* (Vane 5; 9); «*De la lumière, du par terre, de l'ombre et du chat*»; «*Avec la lampe, le chat, le par terre et c'est tout*» (Benj 6; 0).

G: L'enfant dessine les trois éléments constitutifs du phénomène mais les relations topologiques entre les objets sont incorrectes.

FIGURE 2

Hors modèle	Intra-objectale	Quasi inter incomplète ou erronée	Quasi inter correcte	Inter-objectale
 Ahme (5; 3)	 Mano (5; 6)	 Cami (5; 7)	 Vane (5; 11)	 Mano (5; 8)
 Beni (5; 10)	 Juli (5; 3)	 Pau (5; 9)	 Lean (5; 7)	 Loïc (5; 8)

Registre graphique, catégories et production des enfants

3) Quasi inter-objectale correcte

L'enfant introduit des propriétés relationnelles qui ne relèvent pas uniquement de la perception.

V: Deux éléments ou plus sont nommés et au moins une ébauche de relation est exprimée explicitement par le langage. Exemples: l'enfant introduit dans son discours les différents objets constitutifs du phénomène puis il dit: «...*Il faut le soleil...c'est mieux une petite lampe, c'est important, si tu ne mets pas ça, on ne fait rien du tout s'il n'y a pas de*

lumière...» (Loïc 5; 6); «On a besoin du sol, de nous, on a besoin de la lumière et d'un petit peu du noir et après apparaît l'ombre, on peut la voir et la toucher.» (Léan 5; 7).

G: L'enfant dessine trois éléments (source lumineuse, objet, ombre) et les relations topologiques entre les éléments sont correctes.

4) inter-objectale

Cette catégorie n'apparaît qu'à l'issue de la séquence d'enseignement.

V: Tous les éléments constitutifs du phénomène sont présents dans le discours de l'enfant et les relations entre les objets sont exprimées. Exemple, Loïc (5; 8): il précise d'abord les différents systèmes: source-objet-plan de projection, «On a besoin du matériel, d'une lampe, d'un verre comme l'autre fois quand tu nous avais amené le chat en bois, et on a besoin d'un écran. ...»; il explique ensuite que le soleil peut être remplacé par une autre source de lumière, «Je dirais qu'on a besoin de lumière, d'un écran ou du parquet, de la lumière parce qu'il y a les nuages qui cachent le soleil, on n'a pas que le soleil, on peut avoir aussi une lampe (...) On a besoin de nous si on veut faire l'ombre de nous ou sinon d'un objet si on veut faire l'ombre d'un objet. (...); à la fin de son explication l'enfant indique clairement l'interaction des différents objets pour la formation du phénomène: «...Donc, avant, il faut d'abord qu'on prépare tout le matériel, ensuite on installe l'écran, on prend la lampe, on met l'objet, on allume la lampe et après on voit l'ombre sur l'écran»

G: Tous les éléments constitutifs du phénomène sont présents dans le dessin (source, objet, plan de projection, ombre) et positionnés de manière satisfaisante.

5) Hors modèle

Les réponses qui n'entrent pas dans ces catégories sont classées «hors modèle».

V: Aucun élément constitutif du phénomène est évoqué.

G: les enfants dessinent seulement l'objet, ou leur dessin ne répond pas du tout à la consigne donnée par le chercheur.

Comparaison en fonction du registre de production sollicité

Nous avons comparé les niveaux d'explication du phénomène manifestés par les enfants aux plans verbal et graphique, avant et après la séquence d'enseignement. Les données sont représentées dans les tableaux 2 et 3. Elles font apparaître que les réponses des enfants ne se situent pas toujours au même niveau, selon le registre d'expression sollicité: au premier entretien, 10 enfants sur les 15 interrogés sont au même niveau pour les deux registres (V et G); au second, c'est le cas de 8 sur 14 (un enfant ayant quitté la classe, nous n'avons pas pu le revoir pour le second entretien); la différence n'est pas significative entre le premier et le second entretien (Khi deux avec la correction de Yates = 1,39, n.s). Les décalages observés entre les registres sont en général de un niveau: si on réunit l'ensemble des décalages observés au premier entretien et au second, soit 11 décalages, 10 sont de un niveau et un seul de deux

niveaux. Les décalages ne vont pas majoritairement dans le sens attendu: supériorité du graphisme par rapport au langage oral. En effet, lors du premier entretien, les 5 décalages observés sont dans 3 cas au profit du langage et dans 2 cas au profit du dessin; pour le second entretien, 4 sont au profit du langage et 2 au profit du dessin.

TABEAU 2: Avant enseignement: relation entre les niveaux dans les deux registres Verbal et Graphique (E1, première entrevue; G: graphique; V: verbal)

NB Sujets	E1, V				Total
E1, G	I Hors modèle	II Intra objectale	III Quasi inter incomplète ou erronée	IV Quasi inter correcte	
I Hors modèle	1	1			2
II Intra objectale	2	4	2		8
III Quasi inter incomplète ou erronée			3		3
IV Quasi inter correcte				2	2
Total	3	5	5	2	15

TABEAU 3: Après enseignement: relation entre les niveaux dans les deux registres Verbal et Graphique (E2, première entrevue; G: graphique; V: verbal)

NB Sujets	E2, V					Total
E2, G	Absent	II Intra objectale	III Quasi inter incomplète ou erronée	IV Quasi inter correcte	V Inter objectale	
Absent	1					1
II Intra objectale			2			2
III Quasi inter incomplète ou erronée		1	5	1		7
IV Quasi inter correcte				1	1	2
V Inter objectale			1		2	3
Total	1	1	8	2	3	15

Les différences observées selon les registres d'expression sollicités justifient que l'analyse de l'évolution des explications se fasse par registre.

Évolution des explications langagières

Celle-ci est mise en évidence en établissant un tableau de contingence entre les niveaux de production lors de la première entrevue et ceux de la seconde entrevue (cf. tableau 4). On constate que la majorité des enfants progressent: 11 enfants sont dans ce cas contre 3 qui n'évoluent pas (un enfant a quitté la classe en cours d'expérimentation). Parmi les enfants qui progressent, 5 progressent d'un niveau et 6 de deux niveaux, ce qui, par rapport à notre grille d'analyse est assez remarquable.

TABLEAU 4: Registre verbal-relation entre les niveaux de représentation avant et après la séquence d'enseignement
(E1: première entrevue; E2: seconde entrevue; V: Verbal)

NB Sujets	E1, V				
E2, V	I Hors modèle	II Intra objectale	III Quasi inter incomplète ou erronée	IV Quasi inter correcte	Total
Absent				I	I
II Intra objectale		I			I
III Quasi inter incomplète ou erronée	3	3	2		8
IV Quasi inter correcte		I	I		2
V Inter objectale			2	I	3
Total	3	5	5	2	15

Évolution des productions graphiques

Au plan graphique, tous les enfants progressent: 11 enfants progressent d'un niveau et 2 de deux niveaux, et 1 de trois niveaux, et ceci indépendamment de leur niveau de départ, ce qui est en adéquation avec un modèle hiérarchique (cf. tableau 5).

TABLEAU 5: *Registre graphique – relation entre les niveaux de représentation avant et après la séquence d’enseignement (E1 : première entrevue; E2: seconde entrevue; G: Graphique)*

NB Sujet E2, G	E1, G I Hors modèle	II Intra objectale	III Quasi inter incomplète ou erronée	IV Quasi inter correcte	Total
Absent				1	1
II Intra objectale	1	1			2
III Quasi inter incomplète ou erronée	1	6			7
IV Quasi inter correcte			2		2
V Inter objectale		1	1	1	3
Total	2	8	3	2	15

DISCUSSION

L'enjeu de cette étude était d'apporter des éléments de preuve de l'impact au plan du développement intellectuel d'une initiation scientifique auprès d'enfants d'âge préscolaire. Nous avons montré que, dans un intervalle temporel assez court (trois mois et demi), les enfants sont capables de progresser en termes d'explication d'un phénomène complexe pour eux. La détermination de niveaux d'explication basés sur la distinction entre l'intra et l'inter objectal considérée comme marquant un progrès dans l'évolution de la pensée, nous a permis de repérer finement les caractéristiques de cette évolution au plan conceptuel et des représentations symboliques. Le recours à deux registres d'expression, le langage naturel et le dessin, a mis en évidence que les progrès se manifestaient sur ces deux plans, pour la majorité des enfants. A partir de l'analyse selon laquelle les systèmes de représentation (le langage oral et le dessin) contraignent les productions, nous avons émis l'hypothèse que la structure narrative du langage pourrait inciter les enfants à introduire de la temporalité alors qu'elle n'a pas lieu d'être, mais que, par contre, le dessin faciliterait l'expression des relations spatiales puisque le fait de devoir dessiner un objet et son ombre implique de se préoccuper de la place des objets les uns par rapport aux autres, dans l'espace graphique. Les données obtenues montrent que la majorité des enfants se situent au même niveau dans les deux registres sollicités, mais que, lorsqu'il y a des décalages c'est plutôt au profit du langage. Le langage naturel serait donc la voie d'accès privilégié

à la compréhension des relations spécifiques du niveau inter-objectal. Ceci justifie des pratiques éducatives concernant les très jeunes enfants qui sollicitent le langage oral (Clarke, 2003).

Les changements observés dans le contexte de notre étude, entre le premier entretien précédant d'un mois la séquence d'enseignement et le second entretien qui a eu lieu deux mois après sont plus importants que ceux que nous avons observés chez des enfants n'ayant pas été impliqués dans l'expérimentation (Resta-Schweitzer, en préparation). Par conséquent, on peut raisonnablement imputer ces changements aux activités dans lesquelles les enfants ont été impliqués. De notre point de vue, un ensemble de caractéristiques de ces activités ont joué un rôle déterminant sans qu'on soit en mesure de l'évaluer de manière analytique, cet ensemble constituant pour nous un tout indissociable. D'une part, les enfants ont été impliqués dans des activités expérimentales les amenant à identifier les différents déterminants du phénomène, à partir de questionnements: comment faire pour? Avant toute manipulation, les enfants ont été invités à concevoir mentalement et à exprimer les manipulations à faire. Ce n'est qu'une fois qu'ils étaient en mesure collectivement d'imaginer ce qu'il convenait de faire et de formuler des prédictions qu'ils pouvaient manipuler. D'autre part, cette activité collective a été complétée par une activité individuelle de production de représentations, lesquelles ont fait l'objet d'une confrontation collective, sans visée normative, l'enjeu étant de décider si les représentations rendaient bien compte du phénomène. En référence aux travaux concernant la confrontation socio-cognitive chez les jeunes enfants, on peut supposer que cette phase a joué un rôle essentiel (Ravanis & Papamichaël, 1995; Ravanis & Bagakis, 1998; Ravanis, Koliopoulos & Hadzigeorgiou, 2004). Enfin, le phénomène et le niveau de conceptualisation visé a été élaboré à partir de recherches antérieures permettant de cerner la Zone de Proche Développement pouvant être raisonnablement construite (Dumas Carré, Weil-Barais, Ravanis & Shourchah, 2003). A ces caractéristiques pour nous essentielles du point de vue des constructions cognitives des enfants, se sont ajoutées une grande attention de l'enseignant et du chercheur à l'égard des enfants, une bonne organisation des activités, et enfin l'enthousiasme qui caractérise toute entreprise pédagogique innovante. C'est la raison pour laquelle, la séquence expérimentée mériteraient d'être reprise pour évaluer si les effets positifs observés sont reproductibles dans d'autres contextes. Par ailleurs, il conviendrait d'évaluer l'incidence des changements observés à propos de l'approche de l'ombre sur d'autres phénomènes. En effet, pour qu'on puisse être assuré qu'on est bien face à un effet développemental, il faudrait vérifier que les enfants ayant pu s'engager dans une approche inter-objectale de l'ombre, puissent le faire pour d'autres phénomènes à leur portée. Ce sera l'enjeu des prochaines recherches.

Pour terminer, on relèvera que l'étude présentée offre des pistes intéressantes au plan de la recherche et des pratiques scolaires. En effet, la grille d'analyse que nous avons

construite peut être adaptée dans de nombreux domaines, la distinction intra et inter-objectale étant très générale. Son intérêt est de pouvoir diagnostiquer des changements de représentation importants du point de vue développemental et de pouvoir comparer des domaines d'expérience très diversifiés. L'usage d'une telle grille pour interpréter les productions des enfants recueillies dans des contextes très variés permettrait de sortir du pointillisme qui caractérise souvent les recherches sur les conceptions des enfants. L'emploi généralisé d'une grille comme celle que nous avons proposée permettrait de conduire des recherches comparatives (entre domaines et entre systèmes éducatifs) qui font défaut actuellement mais qui pourtant seraient nécessaires. Au plan de l'enseignement, une telle grille peut être utilisée au titre de référentiel développemental. Elle définit en effet des niveaux hiérarchisés pouvant être atteints et, ainsi, des objectifs raisonnables pour les enfants concernés, dans un système d'enseignement qui se préoccupe prioritairement du développement intellectuel des enfants.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Madame Elisabeth Trésallet, directrice de l'école Maternelle Dunoyer de Segonzac. L'étude n'a pu être conduite que grâce à la confiance qu'elle nous a accordée et à son soutien permanent.

RÉFÉRENCES

- Adey, P. (1989). *Adolescent development and school science* (London: Falmer Press).
- Adey, P. (1992). The CASE results: implications for science teaching. *International Journal of Science Education*, 14(2), 137-146.
- Bachelard, G. (1934). *Le nouvel esprit scientifique* (Paris: PUF).
- Cauzinille-Marmèche, E., Mathieu, J. & Weil-Barais, A. (1983). *Les savants en herbe* (Berne: Peter Lang).
- Clarke, H. E. (2003). *Encouraging young children to talk about materials: reflections on the influence of context on young children's expression and development of scientific ideas*, Thesis (Winchester: King Alfred's College, University of Southampton).
- Coquidé-Cantor M. & Giordan A. (2002). *L'enseignement scientifique à l'école maternelle* (Paris: Delagrave).
- Dumas Carré, A., Weil-Barais, A., Ravanis K. & Shourchah, F. (2003). Interactions maître-élèves en cours d'activités scientifiques à l'école maternelle, *Bulletin de Psychologie*, 56(4), 493-508.
- Eshach, H. & Fried, M. (2005). Should science be taught in early childhood? *Journal of Science Education and Technology*, 14(3), 315-336.
- Glynn, S. M., Yeany, R. H. & Britton, B. K. (1991). *The psychology of learning Science*. (Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Publishers).
- Gunstone, R. F. (1994). The importance of science specific content in the enhancement of metacognition. In P. J. Fensham, R. F. Gunstone & R. White (eds) *The content of science: a constructivist approach to its teaching and learning* (London: Falmer Press), 131-146.

- Inagaki, K. (1992). Piagetian and post-piagetian conceptions of development and their implications for Science Education in early childhood. *Early Childhood Research Quarterly* 7(1), 115-133.
- Khun, D., Amsel, E. & O'Loughlin, M. (1988). *The development of scientific thinking skills* (Burlington MA: Academic Press Inc).
- Lemeignan, G. & Weil-Barais, A. (1993). *Construire des concepts en physique* (Paris: Hachette).
- Marti, E., Garcia-Mila, M., Steren, B. & Gomez-Grannell, C. (1996). Piaget y Vygotski: la construcci_n mediada de los aprendizajes escolares. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 28(3), 473-495.
- Minarik, E. H. & Sendak, M. (1995). *L'ombre de petit-ours* (Nelvana: Citel vidéo).
- Ministère de l'Éducation Nationale (2005). *Découvrir le monde à l'école maternelle. Documents d'accompagnement des programmes* (Paris: Centre National de la Documentation Pédagogique).
- Ministère de l'Éducation Nationale (2002). *Qu'apprend-on à l'école maternelle? Les nouveaux programmes* (Paris: XO éditions).
- Molina, M. & Jouen F. (2000). Des objets et des ombres: la contrainte de solidité des objets s'applique-t-elle aux ombres? *Archives de Psychologie*, 68, 15-24.
- Padilla, M., Okey, J. & Garrard, K. (1984). The effects of instruction on integrated science process skill achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 21, 277-287.
- Piaget, J. (1977). *Recherches sur l'abstraction réfléchissante* (Paris: PUF).
- Piaget, J & Garcia, R. (1983). *Psychogenèse et histoire des sciences* (Paris: Flammarion).
- Ravanis, K. (1996). Stratégies d'interventions didactiques pour l'initiation des enfants de l'école maternelle aux sciences physiques. *Spirale* 17, 161-176.
- Ravanis, K. (2000). La construction de la connaissance physique à l'âge préscolaire: Recherches sur les interventions et les interactions didactiques. *Aster*, 31, 71-94.
- Ravanis, K. (2005). Les sciences physiques à l'école maternelle: un cadre sociocognitif pour la construction des connaissances et/ou le développement des activités didactiques. *International Review of Education*, 51(2/3), 201-218.
- Ravanis, K. & Papamichaël, Y. (1995). Procédures didactiques de déstabilisation du système de représentation spontanées des élèves pour la propagation de la lumière. *Didaskalia*, 7, 43-61.
- Ravanis, K. & Bagakis, G. (1998). Science education in Kindergarten: a socio-cognitive perspective. *International of Early Years Education*, 6(3), 315-327.
- Ravanis, K., Koliopoulos, D. & Hadzigeorgiou, Y. (2004). What factors does friction depend on? A socio-cognitive teaching intervention with young children. *International Journal of Science Education*, 26(8), 997-1007.
- Resta-Schweitzer, M. (2005). *Initiation scientifique et développement: conception et évaluation d'une séquence d'enseignement concernant la propagation de la lumière et la formation des ombres*. Mémoire de master recherche en sciences de l'éducation (Paris: Université Paris 5).
- Resta-Schweitzer, M. (en préparation). Évolution des explications verbales et graphiques de la formation des ombres chez les enfants.
- Vergnaud, G. (coord.) (1994). *Apprentissages et didactiques: où en est-on?* (Paris: Hachette).
- Vergnaud, G. (2000). *Lev Vygotski, pédagogue et penseur de notre temps* (Paris: Hachette).
- Vygotski, L.-S. (1935). *Pensée et langage* (Paris: La Dispute).
- Weil-Barais, A. (1994). Heuristic value of the notion of zone of proximal development in the

study of child and adolescent construction of concepts in physics. *European Journal of Psychology of Education*, 9(4), 367-383.

Weil-Barais, A. (2004). *Les apprentissages scolaires* (Rosny sous Bois: Bréal).

Weil-Barais, A., Lemeignan, G. & Séré, M.G. (1990). Acquisition de connaissances scientifiques et développement. In G. Netchine-Grynberg (éd.) *Développement et fonctionnement cognitifs chez l'enfant* (Paris: PUF), 247-259.

Weil-Barais, A. & Bouda, N. (2004). Contextes social et interactionnel d'activités expérimentales à l'école primaire. *Aster*, 38, 211-244.

Zimmerman, C. (2005). The development of scientific reasoning skills: what psychologists contribute to an understanding of elementary science learning. *Final draft of a report to the National Research Council Committee on science learning kindergarten through eight grade* (Illinois: State University).