

LES SCIENCES PHYSIQUES À L'ÉCOLE MATERNELLE: UN CADRE SOCIOCOGNITIF POUR LA CONSTRUCTION DES CONNAISSANCES ET/OU LE DÉVELOPPEMENT DES ACTIVITÉS DIDACTIQUES

KONSTANTINOS RAVANIS

Résumé – Cet article présente un cadre théorique sociocognitif consacré à l'étude de la construction des connaissances des phénomènes physiques chez les enfants d'âge préscolaire ainsi qu'au développement des activités scientifiques à l'école maternelle. Ce cadre se compose d'une articulation des éléments théoriques produits par les théories de l'interactionnisme social, de la psychologie sociale du développement et du fonctionnement cognitif, et par les résultats de la recherche en didactique des sciences physiques qui, en général, reconnaissent l'importance et le rôle fondamental de l'interaction sociale dans le développement d'opérations cognitives et d'apprentissages. Cet article présente également quelques-uns des résultats les plus significatifs des recherches effectuées sur différents aspects de l'approche choisie. La discussion de ces résultats peut conduire à rendre claire l'hypothèse selon laquelle tant la construction des connaissances des phénomènes physiques que la création d'activités scolaires sont nécessaires et efficaces à l'âge préscolaire.

Abstract – NATURAL SCIENCES IN KINDERGARTEN: A SOCIO-COGNITIVE FRAMEWORK FOR LEARNING AND TEACHING – The present study presents a socio-cognitive framework for the construction of the scientific knowledge of natural phenomena among pre-school children and for the development of science activities at kindergarten. It involves elements from theories of social interaction; social psychology of development and cognitive functioning; and research in natural-science teaching methods which acknowledge the importance and fundamental role of social interaction in the development of cognitive operations and learning. The study also presents some of the more significant results of the research carried out on different aspects of this topic. The discussion unfolded here supports the hypothesis that the construction of natural-scientific knowledge at the pre-school age and corresponding scholastic activities are necessary and effective.

Zusammenfassung – NATURWISSENSCHAFTEN IM KINDERGARTEN: EIN SOZIO-KOGNITIVER RAHMEN FÜR LERNEN UND LEHREN – Die vorliegende Studie legt einen sozio-kognitiven Rahmen für die Herausbildung naturwissenschaftlichen Wissens von Vorschulkindern und für die Entwicklung wissenschaftlicher Aktivitäten im Kindergarten vor. Sie bezieht Elemente aus Theorien der gesellschaftlichen Interaktion ein, der Sozialpsychologie von Entwicklung und kognitiver Funktion sowie der Erforschung der Lehrmethoden in der Naturwissenschaft, welche die Bedeutung und grundlegende Rolle der gesellschaftlichen Interaktion in der Entwicklung kognitiver Operationen und des Lernens feststellen. Die Studie

legt ferner Forschungsergebnisse vor, die bezüglich verschiedener Aspekte dieses Ansatzes erzielt wurden. Die Diskussion, die hier entfaltet wird, unterstützt die Hypothese, dass die Bildung naturwissenschaftlichen Wissens im Vorschulalter und die entsprechenden schulischen Aktivitäten notwendig und wirkungsvoll sind.

Resumen – CIENCIAS NATURALES EN LOS KINDERGARTEN: UN MARCO SOCIO-COGNITIVO PARA EL APRENDIZAJE Y LA ENSEÑANZA – Con este trabajo, el autor presenta un marco socio-cognitivo para la construcción del conocimiento científico de los fenómenos naturales entre los niños en edad preescolar y el desarrollo de actividades relacionadas con ciencias naturales en los kindergarten. Incluye elementos de teorías de interacción social, psicología social del desarrollo, funcionamiento cognitivo e investigación sobre métodos de enseñanza de ciencias naturales que reconozcan la importancia y relevancia fundamental de la interacción social en el desarrollo de procesos cognitivos y del aprendizaje. El estudio también presenta algunos de los resultados más significantes de la investigación realizada sobre diferentes aspectos de esta temática. La discusión desplegada aquí apoya la hipótesis de que la construcción del conocimiento sobre ciencias naturales en la edad preescolar y las correspondientes actividades son necesarias y efectivas.

Резюме – ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ В ДЕТСКОМ САДУ: СОЦИО-КОГНИТИВНАЯ ОСНОВА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ И ПРЕПОДАВАНИЯ – В данном исследовании предлагается социо-когнитивная основа для формирования научных знаний о природных явлениях у детей дошкольного возраста и для развития научной деятельности в детском саду. Она включает элементы теорий социального взаимодействия, социальной психологии развития и когнитивного функционирования, а также исследование о методах преподавания естественных наук, в котором отмечается важность и фундаментальная роль социального взаимодействия в развитии когнитивных операций и обучения. В статье также освещаются некоторые наиболее важные результаты исследования, проведенного по различным аспектам данной темы. Предложенная здесь дискуссия поддерживает гипотезу о том, что формирование естественнонаучных знаний в дошкольном возрасте и соответствующие учебные виды деятельности являются необходимыми и эффективными.

L'intérêt d'une familiarisation précoce avec les propriétés de la matière, les phénomènes physiques et les concepts des sciences physiques à partir de l'âge préscolaire semble être aujourd'hui généralement admis. Une grande partie de la recherche effectuée dans le cadre de la psychologie éducative et cognitive, de la didactique des sciences et de la pédagogie préscolaire est orientée vers la construction des connaissances chez l'enfant. Elle nous montre clairement que même à la petite enfance, la pensée approche le monde physique d'une façon intensive. Comme on l'a constaté dans plusieurs études, le jeune enfant élabore spontanément ou dans des situations d'interaction les éléments de l'environnement physique. Il produit ainsi les outils cognitifs qui permettent la construction du savoir. C'est pourquoi les programmes sco-

lares de l'école maternelle portent sur des activités d'approche ou d'initiation aux entités, aux objets et aux phénomènes du monde physique ainsi que sur les concepts des sciences physiques qui permettent de se les approprier, de les comprendre et de les mettre en relation entre eux.

Les points de vue éducatifs qui conduisent à la construction de programmes d'activités sont souvent diamétralement opposés. Par conséquent, les pratiques pédagogiques et les objectifs didactiques envisagés peuvent être très variés. En effet, dans les différents courants théoriques, il y a de grandes différences entre le choix du contenu, les méthodologies de l'organisation et du développement, les objectifs et l'évaluation des activités scientifiques, les outils utilisés et enfin les rôles de l'instituteur/trice et de l'enfant. Évidemment, le choix qu'on doit effectuer afin de développer les activités scientifiques dépend de conceptions générales et opérationnelles d'ordre psychologique, pédagogique et didactique dominantes dans les divers programmes d'activités. Bien qu'étant quelquefois explicites et suffisamment argumentés au niveau du cadre théorique, des objectifs généraux et des pratiques pédagogiques, les points de vue éducatifs sont le plus souvent implicites et ne proposent que des cadres ou des plans praxéologiques, rarement sous forme de recettes pédagogiques.

Par l'étude systématique d'une grande série d'approches théoriques, de recherches empiriques et de propositions d'activités, on a présenté une taxinomie des stratégies didactiques des courants pédagogiques dans le développement des activités scientifiques pour l'école maternelle. Cette taxinomie classe les caractéristiques générales des approches « empiristes », « piagétienne » et « sociocognitives » (Ravanis 1994, 1996; Ravanis et Bagakis 1998). La stratégie sociocognitive constitue le cadre le plus fécond pour l'initiation du petit enfant aux connaissances scientifiques. Cet article tente d'en discuter les axes théoriques.

Les axes théoriques d'un cadre sociocognitif

Dans l'approche sociocognitive, on peut classer les activités qui sont influencées par les théories d'apprentissage post-piagétienne et/ou par la théorie de Vygotski ainsi que par les résultats de la recherche en didactique des sciences physiques qui, en général, reconnaissent l'importance et le rôle fondamental de l'interaction sociale dans le développement d'opérations cognitives et d'apprentissages. L'enseignant intervient comme tuteur et/ou médiateur entre les connaissances et les pratiques scientifiques d'une part et, d'autre part, les problèmes de la pensée représentative du jeune enfant (Inagaki 1992; Coquide-Cantor et Giordan 1997; Ravanis et Bagakis 1998).

Dans ce cadre théorique, cet article formule les activités d'initiation scientifique à l'âge préscolaire qui visent à la déstabilisation et/ou à la reformulation des représentations naïves des jeunes élèves. Les activités proposées sont le produit de recherches spécifiques préalables, à partir de planifications relativement classiques (pré-test, interventions didactiques *in vivo*, post-test, ana-

lyses quantitatives des différences entre pré- et post-test, analyses qualitatives des échanges et des interactions entre adultes et enfants pendant les interventions, évaluation, et dans certains cas, interventions didactiques *in vivo* ainsi qu'analyses qualitatives et quantitatives correspondantes). Cette procédure tente de répondre à la question de l'efficacité des interventions et des interactions didactiques proposant comme objectif le dépassement des difficultés des jeunes élèves. L'article présente ensuite les concepts de base, dont l'articulation pourrait offrir un cadre théorique sociocognitif pertinent au développement de la recherche sur la construction du monde physique dans la pensée chez l'enfant.

Le travail effectué avec les sciences physiques à l'école maternelle présente des aspects cognitifs, sociaux, affectifs et culturels. L'approche choisie se limite aux aspects cognitifs et sociaux, c'est-à-dire au point de vue théorique consacré aux éventuelles transformations de la pensée chez l'enfant soutenues par le milieu social. Nous examinerons ensuite le statut attribué à quelques concepts théoriques dans le travail de recherche avec l'enfant d'âge préscolaire.

La question de la construction des représentations du monde physique dans la pensée chez l'enfant constitue un champ de recherche psychologique et épistémologique suffisamment exploré. En réalité, les aspects psychologiques et épistémologiques portent sur les origines et la genèse des représentations et s'orientent vers les conditions sociales de la construction et de la modification des représentations durant le développement (Piaget 1975; Rayna et al. 1982; Karmiloff-Smith 1992; Baillargeon 2000). Dans plusieurs recherches souvent animées par des points de vue théoriques différents ou même opposés et contradictoires, nous pouvons constater que, dès la naissance, les enfants approchent le monde physique, formulent et reformulent certaines représentations, résolvent des problèmes et acquièrent progressivement la connaissance des phénomènes physiques. Dans le cadre de la didactique des sciences physiques, le problème de la construction et du changement des représentations à l'âge scolaire occupe aussi une place importante (Tiberghien 1988; Johsua et Dupin 1993; Driver et al. 1994). Étant le produit de l'histoire individuelle et sociale de l'enfant, les représentations se trouvent en interaction continue avec le milieu socioculturel et éducatif et de ce fait, présentent un caractère dynamique, développemental et évolutif. Ainsi, dans la mesure où les représentations à travers lesquelles l'enfant interprète les phénomènes du monde physique sont distantes ou en contradiction avec certains éléments des modèles scientifiques, les idées dominantes des courants de recherches en didactique des sciences physiques visent à la construction d'interventions pédagogiques et de situations didactiques susceptibles de favoriser le passage à des conceptions et des formes mentales explicatives des représentations naïves, implicites, locales et non conscientes des notions ou des phénomènes.

De plus, un autre courant de recherche de la didactique des sciences physiques envisage l'articulation de ces conceptions différentes déjà élaborées, en modèles mentaux structurés, compatibles aux scientifiques (Martinand et al. 1992). Le concept de modélisation qui se réfère à l'étude des démarches de

construction, de validation et d'utilisation de modèles, prend, à l'âge préscolaire, une forme spéciale. La construction de modèles, en tant que représentations symboliques, se base sur les articulations progressives entre le registre empirique, le registre formel et le registre cognitif (Weil-Barais 1997). De même, l'exploitation de modèles permet la reformulation des descriptions et des fonctions d'explication et de prédiction (Genzling et Pierrard 1994). De plus, on connaît, d'une part, la genèse et d'autre part, on sait que l'utilisation des modèles pour l'enseignement des sciences est le produit de procédures éducatives spécialement orientées, de longue durée, nécessitant élaborations et organisations au niveau de la pensée et dépassant considérablement la structuration cognitive du jeune enfant. Par conséquent, l'enjeu des efforts d'initiation des enfants de 5-6 ans aux sciences physiques ne peut pas être celui de l'acquisition du modèle lui-même. Si on reste fidèle à l'idée de base du constructivisme selon laquelle l'activité intellectuelle de l'enfant est fondamentale dans le processus d'apprentissage, on est obligé de s'adapter à leurs ressources cognitives, c'est-à-dire : tenir compte des représentations du monde physique de l'enfant et travailler sur la transformation de ces représentations en conceptions ayant des caractéristiques compatibles à celles des modèles scientifiques.

Nous avons émis l'hypothèse selon laquelle le concept du « modèle précurseur » proposé par Weil-Barais et Lemeignan pourrait être fructueux pour le travail sur le progrès cognitif des jeunes enfants. « Le qualificatif précurseur associé au mot modèle signifie qu'il s'agit de modèles préparant l'élaboration d'autres modèles. En conséquence, les modèles précurseurs comportent un certain nombre d'éléments caractéristiques des modèles savants vers lesquels ils tendent » (Lemeignan et Weil-Barais 1993: 26). Que peuvent nous offrir ces entités intermédiaires entre les premières représentations qu'ont les élèves du monde physique et les modèles des sciences physiques? « Le présupposé dont nous sommes partis est qu'il est possible d'explicitier, de systématiser les représentations personnelles, de cerner leur domaine de validité pour en faire des représentations au sens d'une modélisation. Ces modèles peuvent, dans certains cas, constituer des précurseurs des modèles scientifiques » (Weil-Barais et Lemeignan 1994: 98). Ainsi, on utilise le concept du modèle précurseur comme cadre de référence dans lequel nous cherchons des éléments stables et articulés au niveau cognitif, qui pourraient favoriser plus tard l'élaboration et la maîtrise des modèles scientifiques.

Donc, si on accepte l'idée que l'élaboration et la construction de modèles précurseurs sont fécondes à l'initiation des jeunes enfants à une exploration structurée du monde physique, et si on veut faciliter la formation de ces modèles, on a besoin de choix théoriques et méthodologiques pouvant produire une dynamique de l'intelligence des élèves, envisager les difficultés rencontrées et conduire à des décisions pédagogiques rationnelles. Le travail de recherche avec les enfants d'âge préscolaire nous a montré que l'élaboration de leurs représentations et l'accès aux modèles précurseurs sont très souvent entravés par divers obstacles : les limites que posent les domaines d'expérience

des enfants, leurs représentations des phénomènes, leurs centrations aux endroits des dispositifs expérimentaux non pertinentes à l'appropriation du savoir, les types de leurs explications souvent animistes, artificialistes, finalistes, égocentriques et leurs structures mentales logiques. La prise en compte de ces multiples difficultés que nous avons rencontrées nous conduit à la désignation de nos objectifs didactiques en termes de dépassement des obstacles.

Selon Martinand (1986, 1989) l'idée de la formulation des « objectifs – obstacles » est basée sur deux hypothèses fondamentales (Martinand 1986: 109–114). La première est qu'il « est possible de trouver un nombre limité de progrès décisifs, non acquis spontanément mais qui ont une signification du point de vue de la pensée scientifique ou technologique, des attitudes et des capacités correspondantes ». La seconde hypothèse est que, dans une activité, il existe à un moment donné du parcours éducatif « un obstacle décisif dont l'aspect dominant se situe dans une des grandes catégories d'objectifs, attitudes, méthodes, connaissances, langages, savoir-faire ». La notion d'objectif – obstacle semble être très féconde dans la recherche avec les jeunes élèves. En fait, nous avons vérifié à plusieurs reprises la position selon laquelle dans chaque situation didactique, il y a des obstacles déterminants que les enfants d'âge préscolaire dépassent, à condition qu'ils participent aux interactions sociales – éducatives menant à de nouvelles régulations cognitives. Par conséquent, l'enjeu des interventions didactiques que nous bâtissons est le franchissement des obstacles par les enfants. De plus, dans ces interventions didactiques, l'articulation des actions des enseignants, des interactions maîtres – élèves, des planifications et des réalisations des activités pédagogiques peuvent conduire simultanément à la construction de modèles précurseurs.

Mais quels types de procédures d'enseignement, quelles formes d'interactions entre enseignant et élève, quels outils, ressources et supports pédagogiques, quels dispositifs expérimentaux utilise-t-on? Et notamment, quelles sont les espèces d'analyses pertinentes pour décrire ou vérifier le franchissement des obstacles et la construction des modèles précurseurs? Pour fournir une première réponse à ces questions, on se réfère à deux points de vue théoriques qui ont influencé notre approche.

Le premier, d'origine psychosociale, est inspiré par les hypothèses de l'interactionnisme social (Vygotski 1985, 1978) et de la psychologie sociale du développement et du fonctionnement cognitif (Doise et Mugny 1981; Perret-Clermont 1986; Gilly 1990). D'une part, on trouve l'importance qu'attache Vygotski aux interactions sociales permettant le passage des régulations interpersonnelles vers un développement intrapersonnel. Au niveau de la pensée, les transformations conditionnées par l'activité de l'enfant dans le système des rapports sociaux mobilisent, non seulement un développement de ses facultés, mais aussi des changements fondamentaux dans la sphère des besoins et des motivations. D'autre part, les travaux de recherche sur les mécanismes mentaux qui articulent la dynamique sociale et la dynamique individuelle soulignent que les enfants, lorsqu'ils interagissent, construisent mieux les outils de leur pensée et leurs connaissances. En réalité, après

l'interaction « les (enfants) ne produisent pas seulement des organisations cognitives plus élaborées que celles dont ils étaient capables avant cette interaction, mais ils deviennent capables de reprendre tout seuls ces coordinations » (Doise et Mugny 1981: 39). Malgré certaines différences entre les diverses approches, dans l'ensemble, ces recherches donnent, dans des situations de communications et d'interaction, la priorité à une micro-analyse du développement cognitif et mettent en évidence des mécanismes sociaux impliqués dans l'acquisition des connaissances. Dans ce cadre, on constate les avantages qu'entraînent les modalités d'interactions tels que le conflit cognitif ou socio-cognitif, le marquage social, la coordination des points de vue, la co-construction, la co-élaboration, la confrontation avec désaccord etc.

Le deuxième point de vue théorique qui influence notre recherche part d'une approche plutôt didactique puisqu'il tend à analyser les rôles, les fonctions et les actions des enseignants et des élèves pendant les interactions (Dumas Carré et Weil-Barais 1998; Dumas Carré et al. 2003). Selon Weil-Barais et Dumas Carré (1998), on distingue deux types d'interactions didactiques : la tutelle et la médiation.

L'idée de la tutelle est suffisamment explorée dans la recherche sur la construction des savoirs. Dans la conception de la tutelle, l'enseignant « est un tuteur qui exerce une action sur l'élève (il propose à l'élève des situations et des questions, il oriente son activité, il réduit les possibles, il lui propose des sous-buts, il lui montre, il l'informe etc.) et explique » (Weil-Barais et Dumas Carré 1998: 5). On peut trouver certaines fonctions et catégories d'actions des enseignants dans les recherches d'autres auteurs qui ont étudié les activités tutorielles des institutrices avec les petits enfants. Bruner (1983), par exemple, en analysant les composantes d'un étayage efficace, a reconnu au tuteur six fonctions principales : l'enrôlement du sujet dans la tâche, la réduction des difficultés, le maintien de l'orientation par rapport à l'objectif central ou aux objectifs intermédiaires, la signalisation des caractéristiques déterminantes, le contrôle de la frustration et enfin la démonstration.

Le concept de médiation crée un champ nouveau au niveau de la recherche pédagogique qui accumule et incorpore en même temps le constructivisme, l'interactionnisme social et le relativisme épistémologique (Chappaz 1996). Le constructivisme est relatif à l'adoption de l'hypothèse d'après laquelle un individu en développement construit, dans des situations d'échange, ses propres connaissances, ses attitudes et ses intérêts. L'interactionnisme social se base sur des points de vue qui acceptent que les pratiques médiatrices des enseignants facilitent les constructions évoquées précédemment mais aussi, qu'au-delà de l'efficacité de l'apprentissage, elles puissent favoriser une transformation de l'ensemble de l'équipement cognitif et un développement de la dynamique de la pensée de l'enfant. Le relativisme épistémologique qui met en doute la vérité scientifique éternelle, nous conduit à nous interroger sur la pertinence, la validité, la fonctionnalité et enfin le choix des savoirs scolaires. Ainsi, dans la conception de la médiation (Weil-Barais et Dumas Carré 1998: 6), l'enseignant

« est médiateur au sens où il est un intermédiaire, d'une part entre le monde des connaissances et des pratiques scientifiques et, d'autre part, les élèves. Sa fonction est de négocier des changements cognitifs avec les élèves. Ces changements portent à la fois sur les questions à traiter, les dispositifs expérimentaux pertinents, les procédés, les modèles explicatifs, les systèmes des représentations symboliques, les formes de causalité ainsi que sur les formes des échanges entre les personnes ».

Les directions d'analyse des interventions tutorielles et/ou médiatrices des enseignants qui sont orientées vers les raisonnements et les activités des enfants correspondent aux différents champs d'identification sociocognitifs (Dumas Carré et Goffard 1998: 147–148) : champ des savoirs disciplinaires, champ pédagogique constitué par les conceptions et les connaissances des enseignants sur la gestion de la classe, du travail et des relations, champ des choix didactiques des enseignants et champ de leurs croyances et valeurs à propos de la science.

Ces deux aspects théoriques évoqués précédemment prescrivent un cadre très intéressant pour l'étude de la construction des savoirs et du développement des activités de sciences physiques pour les petits enfants. En effet, d'une part, l'ancrage dans la position théorique d'après laquelle le développement de l'intelligence a une nature sociale et, d'autre part, l'orientation de la recherche vers l'étude consacrée aux interactions pour l'appropriation du savoir scientifique à l'âge préscolaire, permettent de mettre en valeur les situations didactiques pour le franchissement des obstacles par les jeunes enfants et la construction de modèles précurseurs.

Le champ de la recherche

Nous espérons avoir démontré que l'articulation progressive des espaces des quatre concepts fondamentaux (représentations, modèles précurseurs, objectifs – obstacles, médiation et tutelle) offre à l'émission des hypothèses de recherche un cadre sociocognitif ouvert et dynamique. Les résultats de ces recherches permettent la construction des connaissances et soutiennent le développement des activités des sciences physiques pour l'école maternelle.

Représentations et objectifs – obstacles

Une série de travaux consacrés à l'étude des représentations du petit enfant par rapport à certains phénomènes ou notions physiques nous a permis l'approche des limites des raisonnements des enfants et l'identification des obstacles. Par exemple, dans une recherche, on peut voir que les enfants d'âge préscolaire pensent que « l'électricité » est stockée dans les appareils, les fils électriques, les prises de courant, les colonnes du réseau électrique (Solomonidou et Kakana 2000). L'absence de raisonnements permettant la reconnaissance du déplacement « d'électricité » conduit à des représentations statiques du phénomène électrique dont l'élément dominant est l'immobilité

au lieu du mouvement. Cette immobilité constitue un obstacle décisif pour la construction d'une conception compatible aux caractéristiques descriptives du modèle scientifique.

Dans une autre recherche, on a entrepris l'étude des représentations et l'identification des obstacles des enfants de 5-6 ans sur le concept de lumière (Ravanis 1999a). Cent vingt-sept sujets ont participé à cette recherche. Le repérage des représentations des enfants a été réalisé au moyen d'entretiens individuels directs. Les questions posées concernent la reconnaissance de la lumière comme étant une *entité distincte*, indépendante des sources qui la produisent et des effets qu'elle provoque et existant dans une certaine région de l'espace. Cinq différents types de tâches ont été utilisées afin d'obtenir différents types de renseignements :

- (a) Des « tâches-questions ouvertes » qui permettent de cerner les aspects auxquels les enfants peuvent faire appel verbalement lorsqu'on les interroge à propos de la lumière. Par exemple, on pose la question « Qu'est-ce que c'est que la lumière pour toi ? », et en discutant, on cherche à savoir si les enfants distinguent spontanément la lumière en tant qu'entité distincte des sources lumineuses.
- (b) Des « tâches-situations expérimentales » proposées sous forme de problèmes ouverts et qui apportent des informations non strictement liées à l'expression verbale des enfants. Par exemple, en allumant une lampe de poche, on produit sur le mur une tache lumineuse et on interroge chaque enfant: « Où y a t-il de la lumière provenant de la lampe de poche ? » ; « Est-ce qu'il y a de la lumière entre la lampe et le mur ? »

L'analyse des résultats a mené à la constatation des difficultés et nous a conduit à la formulation des schémas représentatifs des enfants sur le concept de la lumière. Les résultats obtenus indiquent que, majoritairement pour les jeunes enfants, la lumière est associée aux sources lumineuses. Ceci correspond à une interprétation sociale commune centrée sur les aspects perceptifs. La centration sur les sources lumineuses et sur les effets produits constitue une entrave à une conception de la lumière comme entité dans l'espace entre une source et une surface réfléchissante. Pour les enfants, la lumière reste strictement liée aux sources lumineuses, à l'exception des circonstances où elle produit des taches lumineuses intenses.

Du point de vue pédagogique, ces résultats nous conduisent à considérer qu'à l'âge de 5-6 ans, l'obstacle essentiel n'est pas simplement celui de reconnaître l'existence de la lumière dans l'espace. L'obstacle essentiel a trait à la difficulté de considérer que la lumière et les sources lumineuses sont des entités n'ayant pas le même statut. Sur le plan didactique, cette difficulté a évidemment des incidences, étant donné que le changement des conceptions primitives de l'élève ne peut se produire de façon spontanée. En effet, si la lumière est attachée strictement aux sources lumineuses, il est impossible de comprendre n'importe quel problème se rapportant à des phénomènes impliquant la propagation rectiligne de la lumière dans toutes les directions comme, par

exemple, la formation des ombres (Ravanis 1996). Par conséquent, dans l'enseignement préscolaire, la reconnaissance de la lumière comme entité distincte de la source est un préalable à toute activité didactique relative à la lumière.

Les conclusions auxquelles la recherche sur les obstacles a abouti, permettent d'identifier les objectifs dont l'articulation nous conduit à la formulation de modèles précurseurs.

Obstacles et modèles précurseurs

Des recherches suffisamment récentes ont souvent exploré des modèles précurseurs chez la pensée de l'enfant d'âge préscolaire. Le problème de la construction d'un modèle précurseur du phénomène du cycle jour-nuit est le sujet d'une recherche avec des petits enfants (Valanides et al. 2000). On leur propose une partie des hypothèses qui fondent le modèle précurseur, et dans le cadre d'une intervention didactique spécifique, les enfants travaillent avec les chercheurs sur l'appropriation des éléments tels que la sphéricité de la terre, sa rotation sur elle-même, sa représentation par le globe et sa place par rapport au soleil et au système planétaire. L'articulation de ces éléments permet aux jeunes enfants l'élaboration d'un modèle dont l'utilisation conduit aux descriptions et prévisions suffisantes des effets que provoque le cercle jour-nuit.

Chez les enfants d'âge préscolaire, un modèle précurseur pour la construction du phénomène du frottement de roulement, comporte la reconnaissance du rôle de deux éléments des objets qui sont en contact:

- (a) la distinction entre les corps lourds et les corps relativement légers ; et
- (b) la distinction entre les matières rudes et les matières lisses des surfaces en contact.

Nous avons formulé ce modèle précurseur en tenant compte, d'une part, de l'analyse du modèle savant et d'autre part, de l'observation des obstacles de la pensée des enfants (Ravanis 1999b). Les difficultés des enfants ont pu être constatées au cours d'une recherche dans laquelle nous leur avons demandé des prévisions et des explications à propos du mouvement de trois sphères de même volume mais de différents poids et de différentes matières de surfaces, sur un plan horizontal. En analysant les entretiens, on a trouvé que ces deux variables constituent des obstacles à la compréhension du frottement. Les enfants se réfèrent rarement aux différences des corps légers ou lourds. De plus, ils n'attachent aucune importance aux matières rudes ou lisses des surfaces des sphères. Nous avons donc fait de ces obstacles les objectifs de notre intervention didactique qui vise à conduire les enfants à leur dépassement et à la construction du modèle précurseur.

Les interactions didactiques

Dans les recherches orientées vers l'étude des interactions didactiques entre l'enseignant ou le chercheur et l'enfant d'âge préscolaire, on distingue deux types d'analyses. Utilisé dans une recherche sur la construction des ombres et étant plus profond et global, le premier type permet d'approcher l'ensemble des planifications pédagogiques et des situations didactiques (Dumas Carré et al. 2003). Cette approche s'appuie sur les explications du réseau conceptuel de référence, du champ empirique exploré, du cadre épistémique mis en œuvre, des mises en scène pédagogiques et de la dynamique interactive et enfin des conceptualisations mobilisées dans des conditions données.

- L'explicitation du réseau conceptuel de référence peut être faite par une analyse effectuée *a priori*, d'une part par rapport aux résultats de la recherche sur les représentations et les obstacles auxquels les enfants font face et, d'autre part, par rapport à la connaissance savante et afférente.
- L'examen des tâches prévues et effectuées définit le champ empirique exploré. Dans ce cadre, on analyse les phénomènes ainsi que les dispositifs mis en œuvre et les activités réalisées. Par cette analyse, on distingue les demandes des observations, des reproductions, des variations d'actions, des productions, des explications etc., et on les codifie dans une série de tâches.
- L'accès au cadre épistémique mis en œuvre a été effectué par l'identification du système de valeurs dans les interventions des enseignants en tant que dirigeants des activités scientifiques. Ainsi, l'analyse porte sur les caractéristiques sociales de l'activité scientifique, sur le système de valeurs et de croyances ainsi que sur ce qui relève de démarches heuristiques, d'observation, de méthodes, d'exigences scientifiques et d'activités mentales ou symboliques.
- Les mises en scène pédagogiques et la dynamique interactive font l'objet d'une analyse spécifique de l'ensemble des épisodes des séquences expérimentales. Afin de valoriser la richesse des échanges, on caractérise chaque épisode par son « entrée » et sa « sortie ». À l'entrée, on rend compte de l'initiative du chercheur ou de l'enfant. À la sortie, on rend compte des types d'issues des épisodes qu'on a caractérisés.
- L'exploration des échanges et des dialogues permet de mettre en évidence les conceptualisations réalisées au cours des interactions. Pour chaque thème élaboré, l'analyse du discours du chercheur, globalement comparé au discours des enfants, conduit à la compréhension et à la formalisation de leurs relations et des conceptualisations effectuées.

Le deuxième type d'analyse, plus limité et pointu, porte sur les pratiques de la tutelle et/ou de la médiation mises en place et se focalise sur la classification des stratégies des interactions didactiques entre l'enseignant ou chercheur et l'élève. L'analyse des résultats des recherches sur l'appropriation des propriétés magnétiques élémentaires et sur les phénomènes du frottement, du

roulement, de l'évaporation et de la formation des ombres nous conduit à la formulation de caractéristiques générales des quatre stratégies didactiques (Ravanis 1998, 2000).

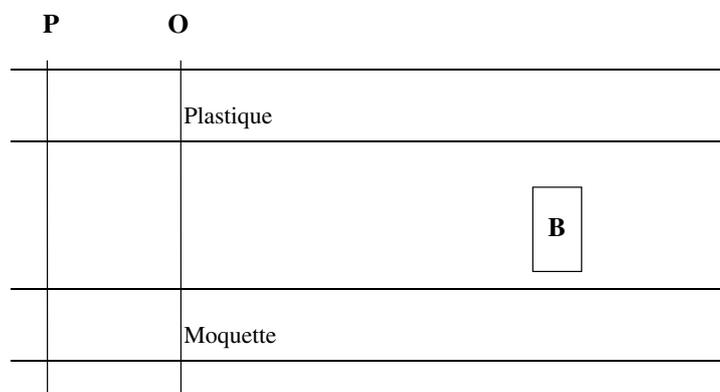
- La première, la stratégie « prédiction – constat – interprétation », comporte les stades suivants: demande de prédiction, réalisation d'une expérience, demande d'observation plus ou moins guidée, formalisation du résultat de l'observation relatif à la prédiction interrogée et demande d'explication et d'interprétation du phénomène.
- La stratégie « décentration – coordinations des centrations » est la deuxième stratégie formulée. Elle se développe en quatre phases successives: demande de description et/ou d'explication d'un phénomène et questionnement jusqu'à interruption du dialogue, identification des centrations des enfants qui ne facilitent pas la construction des éléments d'un modèle précurseur, répétition/reformulation du questionnement jusqu'à interruption de dialogue, déplacement des centrations des enfants et focalisation de l'interaction selon un point de vue alternatif.
- Une troisième stratégie fréquemment utilisée est « l'élargissement du domaine de l'expérience ». Ici, en demandant la réalisation d'une activité, on constate des obstacles insurmontables causés par la limitation des références empiriques de l'enfant. On introduit une information supplémentaire focalisant l'attention sur l'objectif – obstacle, on propose de nouvelles actions et on recommence les interactions avec l'enfant pour un travail sur la nouvelle expérience.
- Finalement, la quatrième stratégie, celle de « la recherche et constatation de l'impossible », comporte les trois phases suivantes : demande de réalisation d'une manipulation impossible, questionnement et constatation de l'impossible, puis formulation, élaboration et vérification du possible. Cette stratégie vise à la création d'un environnement pédagogique dans lequel les raisonnements de l'enfant sur un problème donné conduit à une contradiction entre prévisions et résultats de l'expérience réalisée.

Nous présentons ci-dessous un exemple caractéristique de la stratégie « prédiction – constat – interprétation » (Ravanis 1999b).

Dans le cadre de l'intervention didactique pour la construction du phénomène du frottement, afin de pouvoir mettre en mouvement une voiture-jouet d'enfant, on la fait reculer de la position O à la position P puis on la laisse rouler (Figure 1). Avec cette technique, les enfants reconnaissent facilement que les conditions initiales de mouvement de la voiture restent toujours identiques.

L'activité comprend trois phases. Dans la première, on laisse rouler la voiture à partir de la position P sur un couloir en plastique, « pour que le conducteur aille au bureau (position B) ». Dans la deuxième phase, on charge la voiture d'un poids et on demande aux enfants de prévoir si elle arrivera à la position B en roulant sur le même couloir. On leur demande aussi de nous expliquer leur raisonnement et, une fois leur prévision faite, on lâche la

Figure 1. Dispositif pour l'étude du phénomène du frottement



voiture qui s'arrête avant la position B. Dans la troisième phase, la voiture se déplace sur un couloir tapissé de moquette. On demande aux enfants de prévoir si la voiture va arriver à la position B, d'expliquer leur raisonnement et, après leur prévision, on lâche la voiture qui s'arrête également avant la position B. Au cours de ces trois phases, se réalisent les processus d'interaction didactique. Examinons un exemple dans lequel la voiture se déplace sur de la moquette. Nous présentons l'extrait d'un dialogue d'expérimentateur (E) avec Georges (G), un enfant de 5 ans et 10 mois :

1. (E) Maintenant Georges, le conducteur veut aller au bureau (position B) en prenant ce chemin (couloir en moquette). Qu'est-ce que t'en dis ? Si on le laisse, il va arriver à son bureau ?
2. (G) ... Il va arriver ... si on le laisse, il va arriver avec sa voiture.
3. (E) Voyons (on laisse la voiture qui s'arrête avant la position B).
4. (G) Non, il n'est pas arrivé au bureau.
5. (E) Pourquoi il n'est pas arrivé ?
6. (G) Parce qu'il s'est arrêté avant.
7. (E) Et pourquoi il s'est arrêté avant ?
8. (G) Peut-être qu'il ne voulait pas y aller ?
9. (E) Non, non, il voulait y aller, ça on le sait.
10. (G) ...
11. (E) Mais avant, quand il avait pris un autre chemin, il est arrivé à son bureau.
12. (G) Oui, il avait pris un autre chemin.
13. (E) Pourquoi il était arrivé avec l'autre chemin alors que maintenant il ne peut pas ?
14. (G) ...Je ne sais pas ... je ne comprends pas ... Puisque les chemins sont pareils ...
15. (E) Ils sont pareils les deux chemins ?

16. (G) ... L'un est à côté de l'autre ... Ils sont pareils ... mais ... (il touche le couloir en moquette puis il regarde tantôt le premier passage, tantôt le second).
17. (E) Mais ?
18. (G) ...Je ne sais pas ...
19. (E) Qu'est-ce que tu penses ... dis-moi ce que tu penses ...
20. (G) Que celui-ci (moquette) est plus ... plus dur ... plus difficile.
21. (E) Et qu'est-ce qui arrive s'il est plus dur et plus difficile ?
22. (G) La voiture ne peut pas avancer ... c'est difficile ...
23. (E) Et sur le plastique ?
24. (G) Là, elle roule facilement, le plastique brille.

Dans cet extrait, nous voyons que l'enfant n'a pas correctement prévu la position d'arrivée de la voiture et qu'il n'a pas pu expliquer le résultat de l'expérimentation (1–10). Ces constatations imposent à l'expérimentateur de conduire les échanges vers deux destinations : la recherche de la raison pour laquelle la voiture n'est pas arrivée jusqu'à la position B et la comparaison d'une caractéristique de la matière-moquette et de la matière-plastique (11–24). Ici, nous pouvons distinguer une procédure de la médiation orientée principalement vers le champ des savoirs disciplinaires, étant donné que l'enjeu de la conversation est l'acquisition d'une notion en termes de franchissement d'un obstacle prédéterminé.

Dans ce cadre, l'enfant exprime sa prédiction, constate l'incohérence de celle-ci et du résultat d'expérimentation. Dans des circonstances de guidage, il crée des relations qui lui permettent le passage du comportement et de la nature des objets différents et isolés (voiture, plastique, moquette) à l'interprétation de l'ensemble des situations en termes de l'interaction des objets.

Aux niveaux pédagogique et didactique, nous pouvons voir la gestion délicate de l'hésitation de l'enfant (16–24) de même que le questionnement intensif dans le but de conduire l'enfant à la formalisation de l'ensemble des résultats des trois phases de l'activité. L'expérimentateur évite de donner des informations, il aide l'élève à expliciter ses raisonnements et facilite la formulation des conclusions de l'enfant.

L'utilisation d'une stratégie du type « prédiction – constat – interprétation » a conduit un certain nombre d'enfants au dépassement des deux obstacles déjà évoqués et à la construction d'un modèle précurseur qui attribue la difficulté du roulement d'un objet sur un plan horizontal aux estimations du type « le mouvement est plus difficile pour les corps lourds et/ou rudes ».

Discussion et perspectives

Les résultats quantitatifs et qualitatifs de la plupart de nos recherches renforcent notre hypothèse selon laquelle la participation des enfants d'âge préscolaire à certaines interactions sociales-didactiques peut conduire au

franchissement des obstacles et à la construction de modèles précurseurs, c'est-à-dire peut provoquer un progrès cognitif au niveau du développement de la pensée physique. En effet, l'utilisation des stratégies de la tutelle et de la médiation dont nous avons présenté plus haut un exemple, facilite dans la pensée des petits élèves l'élaboration cognitive des éléments des modèles scientifiques dont l'appropriation permet une reformulation des descriptions premières et la proposition d'explications et/ou de prédictions. Cependant, ces stratégies ne sont pas toujours efficaces. Dans certaines conditions, les interactions didactiques n'aident pas les petits enfants à construire de nouveaux modèles de pensée. Par exemple, certains élèves ont des difficultés, hésitent, n'expriment pas facilement leurs idées et ont beaucoup plus besoin de l'aide de l'expérimentateur et/ou de l'instituteur. Par contre, d'autres prennent plus facilement des initiatives, continuent d'employer les représentations acquises et les utilisent avec fermeté. Ainsi, le succès et l'échec constituent des pistes d'analyse très intéressantes qui visent à l'élucidation et à la maîtrise des obstacles surmontables ou insurmontables.

En fait, les cadres théoriques et méthodologiques proposés peuvent offrir des idées et des outils intéressants aux instituteurs des écoles maternelles. De plus, les concepts de représentation, des objectifs-obstacles et de modèle précurseur dans les situations didactiques de la médiation et de la tutelle constituent pour les enseignants les voies principales pour conduire les enfants aux découvertes, à la compréhension et à la construction du monde physique. Cette orientation du développement des activités destinées à l'école maternelle peut permettre aux enfants la formulation de questions intéressantes, la recherche et la découverte de certaines propriétés des objets et des phénomènes, la mise en relation d'activités personnelles ou collectives avec les effets produits et la résolution de problèmes posés par eux-mêmes ou co-construits avec l'enseignant. Dans ce cadre, quels que soient la stratégie didactique ou le type d'intervention, l'instituteur doit s'informer sur les caractéristiques des modèles scientifiques comme cadres d'activité, préparer les matériaux et les dispositifs, décrire les objectifs – obstacles, identifier les caractéristiques du modèle précurseur, analyser les activités en utilisant des techniques diverses afin de mettre en évidence des progrès éventuels.

Néanmoins, bien que les résultats des recherches portant sur la construction du monde physique dans la pensée chez l'enfant d'âge préscolaire offrent des supports intéressants donnant la possibilité de construire des activités ainsi que le noyau d'un curriculum pour les sciences physiques à l'école maternelle, plusieurs questions restent à être posées qui demandent des réflexions, des élaborations et surtout des réponses au niveau cognitif et/ou au niveau pédagogique et didactique. Peut-on généraliser l'idée de l'utilisation du modèle précurseur ? Quelles sont les différences entre le travail expérimental avec des petits groupes d'enfants, des enfants seuls, et des classes normales ? Une activité scolaire tutorielle ou médiatrice peut-elle toujours être efficace pour tous les enfants ? Quelles sont les variables qui peuvent influencer une telle efficacité ?

Cette discussion va être effectuée d'une part, au niveau de l'espace des représentations, des modèles précurseurs, des objectifs – obstacles et de la médiation et tutelle, c'est-à-dire par rapport aux concepts dont la valorisation construit notre cadre théorique de référence et d'autre part, par rapport au niveau de l'articulation ou de l'interaction de ces concepts. Étant donné que les apports de la didactique des sciences physiques, de différents courants de la psychologie, de l'épistémologie, de la sociologie de la connaissance et d'autres approches sont plus ou moins significatives, il est évident qu'une synthèse interdisciplinaire est nécessaire. D'une part, cette synthèse unit les points de vue des didacticiens, des psychologues et notamment des enseignants de l'école maternelle et d'autre part, elle articule les aspects cognitifs et sociaux avec les aspects affectifs et culturels.

Références

- Baillargeon, Renée. 2000. La connaissance du monde physique par le bébé. Héritages piagétien. Dans : *L'esprit piagétien*, éd. par Olivier Houdé et Claire Meljac, 55–87. Paris: PUF.
- Bruner, Jérôme. 1983. *Le développement de l'enfant: savoir faire, savoir dire*. Paris: PUF.
- Chappaz, Georges. 1996. Comprendre et construire la médiation. *Spirale* 17: 7–22.
- Coquide-Cantor, Marilyne, et André Giordan. 1997. *L'enseignement scientifique à l'école maternelle*. Nice: Z Éditions.
- Doise, Willem, et Gabriel Mugny. 1981. *Le développement social de l'intelligence*. Paris: Interéditions.
- Driver, Rosalind, Ann Squires, Peter Rushworth, et Valerie Wood-Robinson. 1994. *Making Sense of Secondary Science Research into Children's Ideas*. London, New York: Routledge.
- Dumas Carré, Andrée, et Annick Weil-Barais (éds.). 1998. *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique*. Berne: Peter Lang.
- Dumas Carré, Andrée, Annick Weil-Barais, Konstantinos Ravanis, et Fataneh Shourcheh. 2003. Interactions maître-élèves en cours d'activités scientifiques à l'école maternelle : Approche comparative. *Bulletin de Psychologie* 56(4): 493–508.
- Dumas Carré, Andrée, et Monique Goffard. 1998. Objectivation des pratiques de tutelle d'un enseignant au cours de séances de résolution de problèmes en physique. Dans : *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique*, éd. par Andrée Dumas Carré et Annick Weil-Barais, 145–155. Berne: Peter Lang.
- Genzling, Jean-Claude, et Marie-Anne Pierrard. 1994. La modélisation, la description, la conceptualisation, l'explication et la prédiction. Dans : *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*, éd. par Jean-Louis Martinand et al., 47–78. Paris: INRP.
- Gilly, Michel. 1990. Mécanismes psychosociaux des constructions cognitives. Perspectives à l'âge scolaire. Dans : *Développement et fonctionnement cognitif chez l'enfant* :

des modèles généraux aux modèles locaux, éd. par Gaby Netchine-Grynberg, 201–222. Paris: PUF.

Inagaki, Kayoko. 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.

Johsua, Samuel, et Jean-Jacques Dupin. 1993. *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris: PUF.

Karmiloff-Smith, Annette. 1992. *Beyond Modularity. A Developmental Perspective on Cognitive Science*. Cambridge, MA: MIT Press.

Lemeignan, Gérard, et Annick Weil-Barais. 1993. *Construire des concepts en Physique*. Paris: Hachette.

Martinand, Jean-Louis. 1986. *Connaître et transformer la matière*. Berne: Peter Lang.

———. 1989. Des objectifs-capacités aux objectifs – obstacles. Dans : *Construction des savoirs, obstacles et conflits*, éd. par Nadine Bednarz et Catherine Garnier, 217–227. Ottawa: Agence d'ARC.

Martinand, Jean-Louis, Alain Chomat, Anne-Marie Drouin, Jean-Claude Genzling, Claudine Larcher, Gérard Lemeignan, Martine Méheut, Guy Rumelhard, et Annick Weil-Barais. 1992. *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris: INRP.

Perret-Clermont, Anne-Nelly. 1986. *La construction de l'intelligence dans l'interaction sociale*. Berne: Peter Lang.

Piaget, Jean. 1975. *L'équilibration des structures cognitives*. Paris: PUF.

Ravanis, Konstantinos. 1994. The Discovery of Elementary Magnetic Properties in Pre-school Age. A Qualitative and Quantitative Research within a Piagetian Framework. *European Early Childhood Education Research Journal* 2(2): 79–91.

———. 1996. Stratégies d'interventions didactiques pour l'initiation des enfants de l'école maternelle aux sciences physiques. *Spirale* 17: 161–176.

———. 1998. Procédures didactiques de déstabilisation des représentations spontanées des élèves de 5 et 10 ans. Le cas de la formation des ombres. Dans : *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique*, éd. par Andrée Dumas Carré et Annick Weil-Barais, 105–121. Berne: Peter Lang.

———. 1999a. Représentations des élèves de l'école maternelle : Le concept de lumière. *International Journal of Early Childhood* 31(1): 48–53.

———. 1999b. Understanding Friction: Dialogues with Five-year old Children. Paper presented at IX European Conference on Developmental Psychology. Spetses, Greece, 1–5 September.

———. 2000. La construction de la connaissance physique à l'âge préscolaire: recherches sur les interventions et les interactions didactiques. *Aster* 31: 71–94.

Ravanis, Konstantinos, et George Bagakis. 1998. Science Education in Kindergarten: Sociocognitive Perspective. *International Journal of Early Years Education* 6(3): 315–327.

Rayna, Sylvie, Hermine Sinclair, et Mira Stambak. 1982. Les bébés et la physique. Dans : *Les bébés et les choses*, éd. par Hermine Sinclair, Mira Stambak, Irène Lézine, Sylvie Rayna et Mina Verba. 63–119. Paris: PUF.

Solomonidou, Christine, et Domna-Mika Kakana. 2000. Preschool Children's Conceptions about the Electric Current and the Functioning of Electric Appliances. *European Early Childhood Education Research Journal* 8(1): 95–111.

Tiberghien, Andrée. 1988. Learning and Teaching at Middle School Level of Concepts and Phenomena in Physics: The Case of Temperature. Dans : *Learning and Instruction: European Research in an International Context*, éd. par Heinz Mandl, Erik De Corte, Neville Bennett et Helmut Friedrich, 631–648. Oxford: Pergamon Press.

Valanides, Nicos, Fani Gritsi, Maria Kampeza, et Konstantinos Ravanis. 2000. Changing Pre-school Children's Conceptions of the Day/night Cycle. *International Journal of Early Years Education* 8(1): 27–39.

Vygotski, Lev. 1985. *Pensée et langage*. Paris: Éditions Sociales.

———. 1978. *Mind in Society*. Cambridge: Harvard University Press.

Weil-Barais, Annick. 1997. De la recherche sur la modélisation en physique à la formation des professeurs de physique: Comment s'opère la transition? Colloque International Savoirs Scolaires, Interactions Didactiques et Formation des Enseignants, IUFM Marseille, 28–30 Avril.

Weil-Barais, Annick, et Gérard Lemeignan, G. 1994. Approche développementale de l'enseignement et de l'apprentissage de la modélisation. Dans : *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*, éd. par Jean-Louis Martinand et al., 85–113. Paris: INRP.

Weil-Barais, Annick, et Andrée Dumas Carré. 1998. Les interactions: tutelle et/ou médiation? Dans : *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique*, éd. par Andrée Dumas Carré et Annick Weil-Barais, 1–15. Berne: Peter Lang.

L'auteur

Konstantinos Ravanis est professeur en Didactique des Sciences Physiques dans le Département de Sciences de l'Éducation Préscolaire à l'Université de Patras en Grèce. Il a obtenu son diplôme de Ph.D. de l'Université de Patras en 1991. Son domaine de recherche principal est les Sciences Physiques dans l'éducation préscolaire.

Contact address: Konstantinos Ravanis, Department of Early Childhood Education, University of Patras, Rion, Patras, 265 00, Greece. E-mail: ravanis@upatras.gr.