

Diverses facettes du modèle précurseur : complexité et richesse

ISABELLE KERMEN

CREAD
Université de Brest
Université Rennes 2
France
isabelle.kermen@univ-brest.fr

ABSTRACT

This text sets out some thoughts and issues raised by an examination of the precursor model, both as a research program and a concept. It examines the original three-part definition, the relationship with school science models, the working-out of the precursor model by the researchers, teaching interventions as a means for pupils to develop the precursor model, and the functions of the precursor model.

KEYWORDS

Precursor model, school science model, early years teaching

RÉSUMÉ

Ce texte décrit quelques réflexions et questions suscitées par l'examen du modèle précurseur, programme de recherche et concept. Sont abordés la définition originelle en trois volets, le lien avec les modèles scientifiques scolaires, l'élaboration du modèle précurseur par les chercheurs, les interventions didactiques comme moyen de construction du modèle précurseur par les élèves, les fonctions du modèle précurseur.

MOTS-CLÉS

Modèle précurseur, modèle scientifique scolaire, enseignement maternelle

Ce texte est écrit par une chercheuse ayant rejoint le programme de recherche consacré aux modèles précurseurs depuis peu (2022), tentant de s'insérer dans le programme et de s'appropriier le concept de modèle précurseur. Ayant une expérience de recherche antérieure sur l'enseignement et l'apprentissage de la chimie dans le secondaire et le supérieur et non à l'école primaire, et souhaitant introduire un modèle précurseur des transformations chimiques de la matière en fin d'école primaire, j'ai ressenti la nécessité de m'acculturer étant peu familière de l'apprentissage des jeunes élèves. À la suite de l'invitation faite par le rédacteur en chef de MJE d'écrire un texte pour ce numéro thématique, je me suis replongée dans les articles consultés pour cette acculturation et dans d'autres. Ce texte décrit quelques réflexions et questions suscitées par l'idée de modèle précurseur.

MODÈLE PRÉCURSEUR COMME PROGRAMME DE RECHERCHE

Le terme de modèle précurseur correspond à un programme de recherche en éducation scientifique, au long cours, inscrit dans un cadre socio-cognitif (Ravanis, 2000, 2010; Ravanis

et al., 2008; Ravanis & Boilevin, 2022) auprès de jeunes élèves. Le programme vise à montrer que les élèves de 5-6 ans sont capables de modifier leurs représentations initiales pour décrire et expliquer des phénomènes naturels en adoptant des raisonnements de nature causale simples (Koliopoulos et al., 2009; Ravanis et al., 2013), en identifiant des variables pertinentes pour expliquer ou prévoir le phénomène étudié (Ravanis et al., 2008). L'inscription dans un cadre socio-cognitif signifie que les stratégies privilégiées pour obtenir ces transformations cognitives s'inspirent des travaux de Vygotski et des successeurs de Piaget (Ravanis, 2000, 2010; Ravanis & Boilevin, 2022) qui tous montrent l'importance des interactions sociales (avec un adulte ou des pairs) lors de la confrontation à une situation nouvelle ou problématique pour modifier les connaissances ou raisonnements des élèves. L'ouvrage paru en 2022 *Precursor Models for Teaching and Learning Science During Early Childhood* (Boilevin et al., 2022) indique que le programme de recherche s'intéresse à la fois à l'apprentissage et à l'enseignement des sciences concernant un public de jeunes élèves. Il effectue une forme de bilan de ce programme et rassemble huit études empiriques sur des thèmes variés liés à des phénomènes naturels en physique ou pas (électricité), à l'environnement naturel (air, nuages et pluie, changements d'état physique de l'eau) et des problématiques de biologie abordées à un niveau élémentaire, l'héritage génétique, la sélection naturelle et les variations au sein des populations. Ces études sont centrées sur la caractérisation de l'évolution des représentations ou des raisonnements des élèves après une intervention didactique, celle-ci ayant rarement lieu dans des classes ordinaires. L'ouvrage comporte également deux chapitres de nature réflexive et théorique sur le programme et les études empiriques (Adúriz-Bravo, 2022; Bächtold, 2022).

LES MODÈLES UTILISÉS EN SCIENCES DANS L'ENSEIGNEMENT ET L'APPRENTISSAGE

Ayant l'habitude de différencier modèles scientifiques et modèles scolaires utilisés dans l'enseignement des sciences, ou modèles scientifiques scolaires, la dénomination modèle précurseur en sciences a excité ma curiosité. Comment situer les modèles précurseurs par rapport aux modèles scolaires ? Les modèles figurant dans les programmes d'enseignement sont des modèles curriculaires après simplification des modèles scientifiques pour Gilbert et al. (2000) qui ne précisent pas comment s'opère cette simplification. D'autres considèrent que les enseignants utilisent des modèles scientifiques scolaires (Harrison & Treagust, 2000). Dans l'enseignement secondaire, ceux-ci résultent d'une transposition didactique de modèles scientifiques (Adúriz-Bravo, 2013). Elle prend en compte les objectifs d'enseignement et les capacités cognitives des élèves concernés. Le savoir savant est apprêté, c'est-à-dire qu'on lui donne une forme apte à le rendre enseignable et apprenable (Schneuwly, 2014). Parfois la transposition didactique donne lieu à des créations didactiques (Chevallard, 1985), au sens où certains concepts sont spécifiquement créés ou acquièrent une signification particulière autre que dans le savoir savant ou dans le champ de pratiques dans lequel ils sont habituellement utilisés. En France les auteurs du programme de chimie du lycée (Davous et al., 1999) ont ainsi distingué le concept de transformation chimique et celui de réaction chimique en leur donnant des significations et des rôles différents.

Tout comme les modèles scientifiques, les modèles scientifiques scolaires permettent de décrire, expliquer et prévoir (Gilbert et al., 1998; Gilbert & Boulter, 2000; Oh & Oh, 2011; Van Driel & Verloop, 2002). Ils sont valides pour résoudre certains problèmes et adaptés à un domaine expérimental délimité. Les modèles scientifiques sont constitués de concepts et de relations les combinant (Johsua, 1994; Robardet & Guillaud, 1997). Il en est de même des modèles scientifiques scolaires. La progressivité des apprentissages nécessite de ne pas présenter aux élèves tous les concepts en même temps, autre effet de la transposition didactique.

Généralement les modèles scientifiques scolaires sont présentés sous forme de propositions reliant les concepts entre eux comportant des représentations ou des relations symboliques selon le type de modèle et de domaine scientifique, et parfois sous forme de représentations matérielles (comme des maquettes) figurant une mise en œuvre de certains concepts du modèle (typiquement une maquette du système solaire ou de la Terre et de la Lune).

En quoi un modèle précurseur se distingue-t-il d'un modèle scientifique scolaire ?

LE CONCEPT DE MODÈLE PRÉCURSEUR

Définition originelle

Le concept de modèle précurseur a été introduit pour l'enseignement de l'énergie au lycée en France (Lemeignan & Weil-Barais, 1993) avec des élèves d'environ 17 ans. Il constitue une création didactique (Weil-Barais & Lemeignan, 1994, p. 89). Cela signifie qu'il a été spécifiquement créé pour s'adapter aux capacités cognitives et aux connaissances des élèves auxquels il s'adresse, mais aussi aux objectifs visés par les créateurs du modèle. Il est précurseur sur le plan du développement cognitif, ce qui signifie qu'un modèle précurseur donné est adapté à une étape du développement cognitif des élèves considérés et qu'il est possible d'envisager l'élaboration de modèles précurseurs successifs au cours de la scolarité (Weil-Barais & Lemeignan, 1994). Weil-Barais et Lemeignan (1994, p. 89) définissent un modèle précurseur comme comportant « un certain nombre d'éléments caractéristiques des modèles » scientifiques auxquels on peut les rattacher. Ces éléments caractéristiques peuvent être des objets imaginés, des opérations de pensée, des représentations symboliques (Weil-Barais & Lemeignan, 1994, p. 89). Dans le modèle précurseur de l'énergie qu'ils avaient créé Lemeignan et Weil-Barais ont accordé une large place aux représentations sémiotiques utilisées pour rendre compte des transferts d'énergie entre les diverses parties d'une chaîne de distribution comme par exemple l'allumage d'une lampe.

Weil-Barais (2022, p. 30) dans l'ouvrage déjà mentionné revient sur la genèse du concept et son contexte et conclut en fournissant une définition comportant trois éléments. Un modèle précurseur est constitué (comme tout modèle précise-t-elle) :

- 1) « d'un ensemble de propositions dont certaines peuvent être hypothétiques
- 2) d'un ensemble d'invariants opératoires (les opérations de pensée associées à l'utilisation des propositions)
- 3) d'un système de représentation symbolique ».

Par rapport aux modèles scientifiques scolaires que l'on trouve en chimie par exemple, les éléments 1 et 3 ne dérogent pas à l'habitude. La chimie est en effet reconnue pour son usage de systèmes symboliques spécifiques, que certains comparent à une langue (Hoffmann & Laszlo, 1991; Laszlo, 1993) mais dont l'apprentissage ne s'effectue pas comme celui d'une langue (Dehon & Snauwaert, 2018). En revanche la présence de l'élément 2, mentionnant les opérations de pensée témoigne des considérations psychologiques sur les types de raisonnements et concepts qui sont accessibles aux élèves au cours de leur développement cognitif. Certains auteurs soulignent que les jeunes enfants ne disposent pas des mêmes outils cognitifs que les élèves du secondaire (par ex. Ravanis, 2000; Canedo-Ibarra et al., 2010) ce qui justifie d'élaborer des modèles qui leur soient adaptés. Ledrapier (2010) signale que les recherches en psychologie cognitive prêtent beaucoup plus de compétences aux jeunes enfants que ne leur en attribuait Piaget, et qu'ils sont capables de modéliser, problématiser et d'adopter des postures heuristiques lors d'activités pédagogiques scientifiques. Dès lors cette définition peut être vue comme comportant trois volets : un volet texte du savoir, un volet entité cognitive et un volet système symbolique. Cependant pour les créateurs du concept de modèle précurseur

ces trois volets sont indissociables, comme l'ont montré leurs travaux (Lemeignan & Weil-Barais, 1993).

Un concept hybride

Analysant le concept d'un point de vue d'épistémologie des sciences, Adúriz-Bravo, (2022) considère que dans l'ouvrage paru en 2022, il est envisagé selon deux approches : une approche psycho-cognitive et une approche épistémique. L'approche psycho-cognitive met l'accent sur la perspective développementale visible dans toutes les études empiriques reportées dans l'ouvrage et dans lesquelles le modèle précurseur est principalement considéré comme une construction cognitive dans la pensée des élèves, ce que relève également Bächtold (2022). L'approche épistémique comporte une perspective didactique qui prend en compte des considérations épistémologiques sur la nature et les fonctions des modèles et conduit à les considérer comme des modèles théoriques au sens de l'approche sémantique de la philosophie des sciences (Adúriz-Bravo, 2022). Adúriz-Bravo, (2022) souligne la nature hybride du concept, mentale et épistémique.

Une élaboration particulière du volet texte du savoir

Bächtold (2022) à travers l'analyse comparative des divers chapitres de l'ouvrage, note qu'aucune étude ne réfère au concept de transposition didactique pour l'élaboration du modèle précurseur en tant que modèle théorique (les éléments 1 et 3 de la définition de Weil-Barais) bien qu'il admette une certaine forme de transposition didactique. Aucune étude ne mentionne une transformation d'un modèle scientifique (Bächtold, 2022). Il considère que l'élaboration du volet texte du savoir relève plus d'une sélection de certains aspects d'un modèle scientifique et d'un rejet des autres (Bächtold, 2022). Cependant différents auteurs (Canedo-Ibarra et al., 2010; Koliopoulos et al., 2004) argumentent les choix qu'ils font pour ne prendre en compte que quelques éléments de savoir qui constitueront le volet texte du savoir du modèle précurseur, en précisant leur origine, la mécanique newtonienne pour la flottaison des objets. Leur choix de se fonder sur la masse volumique et non l'équilibre de l'objet nécessitant la prise en compte de forces provient d'une prise en compte des idées initiales des élèves et de l'abstraction plus grande de la seconde approche non accessible aux jeunes élèves (Canedo-Ibarra et al., 2010). L'originalité du travail de Canedo-Ibarra et al. (2010) est de fournir une sorte de carte indiquant les principales évolutions à faire construire aux élèves depuis leurs idées initiales en passant par les relations à établir entre objets du modèle pour aboutir au modèle précurseur visé. Cette présentation qui donne à voir la progression des idées des élèves à provoquer a aussi été faite dans le cas de la formation des ombres (Delserieys et al., 2018). Lorsque l'évolution entre les idées initiales des élèves et les éléments de savoir visés n'est pas caractérisée de façon, celles-ci sont cependant toujours à la base de la réflexion des chercheurs qui les prennent en compte pour évaluer la pertinence de leur proposition. Celle-ci peut s'appuyer également sur des propositions antérieures d'autres chercheurs qui sont améliorées ou amplifiées (Ergazaki et al., 2014, 2015). Bien que le volet texte du savoir du modèle précurseur soit parfois très réduit, les éléments de savoir proposés sont compatibles avec le savoir scientifique scolaire dans un domaine d'application restreint (Ioannou et al., 2025; Kaliampou et al., 2025; Ravanis et al., 2013) ou sont issus de manuels d'enseignement (Lorenzo Flores et al., 2018) vecteurs habituels du savoir scientifique scolaire. Le volet texte du savoir présente donc la double caractéristique de tenir compte des idées initiales des élèves et du savoir scolaire.

Un modèle scientifique scolaire élémentaire quant au texte du savoir

Un modèle précurseur se distingue des modèles scientifiques scolaires par la prise en compte des opérations de pensée accompagnant le modèle scientifique classique ou « modèle théorique ». Tout comme un modèle scientifique scolaire il comporte effectivement un texte du

savoir, parfois très restreint (élément 1 de la définition de Weil-Barais). Cependant dans toutes les études consultées, le texte du savoir proposé ou les éléments de savoir ne sont pas complétés par un système de représentations symboliques, le volet 3. Cette caractéristique particulière et notable des modèles précurseurs destinés aux jeunes élèves (5-6 ans) peut s'expliquer aisément. D'une part, étant donné le caractère élémentaire du volet texte du savoir, tous les concepts du modèle scientifique scolaire que le modèle précurseur précède ne sont pas abordés, ce qui ne rend pas pertinente la communication des représentations symboliques dont une des fonctions est une économie dans la présentation des concepts et de leurs relations. D'autre part, de nombreuses études ont montré la complexité des opérations cognitives en jeu (Duval, 1993) et les difficultés engendrées par l'apprentissage de divers systèmes sémiotiques par exemple en chimie (Gilbert & Treagust, 2009; Johnstone, 1993; Kermen, 2022). Ceci conduit à considérer le volet texte du savoir comme un modèle scientifique scolaire élémentaire. Il peut ne pas en avoir toutes les fonctions, puisqu'il se situe au début de l'enseignement, notamment son caractère prédictif n'est pas toujours avéré ou ne s'exerce que dans des situations très restreintes (par exemple le frottement d'une petite voiture roulant uniquement sur un support horizontal Ravanis et al., 2004).

Favoriser la construction du volet entité cognitive via des interventions didactiques

Certains chercheurs soulignent la nécessité qu'il y a pour les élèves à dépasser des obstacles afin de construire un modèle précurseur (Delserieys et al., 2018; Ravanis et al., 2004, 2008, 2013). Ces obstacles désignent tantôt des difficultés à concevoir certains faits ou concepts, tantôt des connaissances préalables des élèves empêchant la formation de raisonnements compatibles avec le savoir scientifique scolaire. Quelques études précisent que les interventions didactiques qu'elles soient conçues par les chercheurs ou des enseignants peuvent être orientées par l'objectif didactique de dépasser un obstacle déterminé selon une stratégie d'enseignement interactive, à savoir un objectif-obstacle au sens de Martinand (1986 cité par Ravanis, 2000, 2010).

Les diverses stratégies d'interactions didactiques adoptées lors d'interventions didactiques individuelles (chercheur-élève) nécessitent une analyse immédiate des productions langagières des élèves afin d'ajuster les interactions (tantôt relevant d'un guidage, tantôt suivant le fil des idées de l'élève) à la progression cognitive attendue des élèves (Ravanis, 2000). Dans certains articles, les chercheurs testent une intervention didactique au moyen d'entretiens individuels (Ergazaki et al., 2014; Kalampos et al., 2025; Kambouri-Danos et al., 2019; Koliopoulos et al., 2009; Ravanis et al., 2013), sans toujours détailler précisément les procédures utilisées par le chercheur pour susciter l'expression des enfants, le but étant de déceler des indicateurs de la construction mentale d'éléments constituant un modèle précurseur chez les élèves. Bächtold (2022) a noté que dans les études de l'ouvrage paru en 2022, l'inscription dans un cadre socio-constructiviste n'était pas revendiquée par tous les auteurs ce qui pose la question de la nécessité de cette inscription théorique pour l'efficacité des interventions didactiques.

Plusieurs études (autres que dans l'ouvrage de 2022) utilisent le schéma méthodologique suivant : entretien individuel avec chaque élève de l'échantillon préalablement et postérieurement à une intervention didactique réduite à une séance. Celle-ci doit favoriser l'évolution des représentations initiales des élèves. Elle peut être réalisée, soit par un chercheur avec un seul élève (Kalampos et al., 2024; Ravanis et al., 2004), un groupe d'élèves (Ergazaki et al., 2015; Ioannou et al., 2025) ou en classe (Ioannou et al., 2024), soit par une personne enseignante avec un seul élève (Ravanis et al., 2008), avec un groupe d'élèves (Canedo-Ibarra et al., 2010, 2012) ou en classe (Delserieys et al., 2018). Lorsque l'intervention didactique est réalisée par une personne enseignante, celle-ci fait partie de l'équipe de recherche (Ravanis et al., 2008), ou intervient par ailleurs comme formatrice dans un institut de formation des

enseignants (Delserieys et al., 2018), ce qui correspond à des enseignantes disposant de compétences particulières. Rien n'est précisé à propos des enseignants dans les études de Canedo-Ibarra et al. (2010, 2012) si ce n'est qu'une stratégie d'enseignement de découverte guidée a été utilisée lors de l'intervention didactique réalisée dans le laboratoire de l'école. Dans l'étude de Lorenzo Flores et al. (2018) qui s'appuie sur l'observation d'une séquence de 12 séances dans la classe d'une enseignante, il est mentionné que celle-ci pratique une stratégie du type prévision, observation, explication. Les chercheuses analysent les explications des élèves. Dans l'étude de Sesto et García-Rodeja (2021), c'est l'une des chercheuses qui applique cette stratégie prévision, observation, explication dans la classe. Les réponses aux questions s'effectuent aussi sous forme de dessins, explicités lors de dialogues avec la chercheuse. Les analyses conduisent aux repérages d'indicateurs de la construction d'une représentation mentale.

Toutes les interventions didactiques qu'elles soient réalisées en classe ou en dehors, en groupe ou individuellement présentent la caractéristique majeure d'utiliser du matériel et de confronter les élèves à des expériences se déroulant devant eux ou qu'ils réalisent eux-mêmes, parfois en les proposant (Ioannou et al., 2025). Il peut s'y ajouter une simulation interactive via un tableau numérique lors d'une des phases de l'intervention didactique (Ioannou et al., 2024). En revanche rares sont celles incluant une phase de jeu (Ioannou et al., 2024, 2025) qui est par ailleurs un moyen pédagogique prisé des enseignants et faisant l'objet de nombreuses recherches (Fleer, 2019, 2021; Remountaki et al., 2023; Stephenson et al., 2022).

Ce survol de quelques études publiées montre que les interventions didactiques sont pour la plupart ponctuelles et encore peu réalisées dans les classes en situation ordinaire, ce qui constitue logiquement une piste de recherche à venir.

LES FONCTIONS D'UN MODÈLE PRÉCURSEUR

Le modèle précurseur, je reste volontairement ambiguë quant aux volets concernés, ne remplit pas les mêmes fonctions pour les acteurs qui l'utilisent : chercheurs, élèves, enseignants.

La conception par les chercheurs de l'intervention didactique allie le texte du savoir et des considérations psycho-cognitives (par exemple interagir pour favoriser l'expression des élèves, voir Ravanis, 2000) et didactiques (par exemple prendre appui sur les représentations initiales des élèves) pour imaginer ou choisir des tâches adaptées au but poursuivi. L'élaboration des entretiens testant la compréhension des élèves s'effectue en tenant compte du texte du savoir et des représentations initiales et difficultés des élèves. Dans ces cas le modèle précurseur (texte du savoir) joue un rôle de guide accompagné d'un cadre théorique sous-jacent.

Après l'intervention didactique ou les entretiens avec les élèves, les chercheurs analysent les productions d'élèves en recherchant des indicateurs compatibles avec le texte du savoir. Le volet texte du savoir du modèle précurseur est ainsi une référence pour l'analyse des chercheurs.

À partir des déclarations et des actions des élèves, les chercheurs postulent la construction d'entités cognitives dans la pensée des élèves. Celles-ci jouent un rôle d'outil cognitif pour les élèves afin de décrire, expliquer ou prévoir les phénomènes naturels qui sont proposés aux élèves dans le domaine de validité du modèle précurseur.

Dans les études empiriques citées précédemment, peu impliquent des enseignants. Leur rôle consiste à réaliser l'intervention didactique et parfois à la concevoir. Lorsque la personne enseignante fait partie de l'équipe de recherche (Koliopoulos et al., 2004), il est vraisemblable qu'elle participe à la conception de l'intervention didactique. Dans les études consultées se déroulant en classe, une seule (Delserieys et al., 2018) précise explicitement que les enseignantes ont conçu une séance de 20 minutes sur la base d'un document de 4 pages

détaillant la stratégie constructiviste. On peut supposer que le modèle précurseur volet texte du savoir a été fourni aux enseignantes, car deux tâches qu'elles élaborent s'intitulent construction d'un modèle précurseur (Delserieys et al., 2014). Le modèle précurseur volet texte du savoir joue alors le rôle d'un objectif d'enseignement, mais le savoir seul ne suffit pas, il est aussi accompagné d'une explicitation des fondements constructivistes de la stratégie à mener et des difficultés connues des élèves. Cet ensemble présente des similitudes avec un modèle didaktik (Sjöström et al., 2020). De façon explicite ou implicite les modèles didactiques orientent l'attention d'un enseignant vers les facteurs pertinents dans la préparation et la mise en œuvre de diverses activités pédagogiques, et guident sa réflexion avant, pendant et après la pratique de classe. Ils guident également la recherche en éducation et son développement (Sjöström et al., 2020, p. 914).

VERS UN DÉVELOPPEMENT DES RECHERCHES EN CLASSE

La conduite de recherches sur la mise en œuvre par des enseignants ordinaires de séquences en classe visant la construction d'un modèle précurseur permettrait d'étudier les échanges langagiers et la façon dont se négocient les significations (Arnantonaki et al., 2020). En effet de nombreux auteurs soulignent l'importance des pratiques langagières pour entrer dans la culture scolaire et pour construire des concepts scientifiques (Bisault, 2005; Bisault & Lhoste, 2020; Jaubert & Rebière, 2000).

Une recherche (Arnantonaki et al., 2020) a cherché à déterminer si des enseignants français s'approprièrent le modèle précurseur sur la formation des ombres. Les chercheurs ont fourni des documents en amont de la réunion au cours de laquelle le groupe d'enseignants a construit une séquence en appui sur le modèle précurseur (volet texte du savoir). L'analyse de l'observation de la séquence mise en œuvre en classe par l'un des enseignants du groupe a révélé des tâches qui ne permettent pas aux élèves de construire le modèle précurseur (volet entité cognitive), car ne travaillant pas un élément essentiel du modèle précurseur (volet texte du savoir). Le caractère ponctuel du travail de groupe a peut-être constitué un frein à l'appropriation du modèle précurseur.

Les recherches collaboratives avec les praticiens plutôt que sur les praticiens (Desgagné et al., 2001) connaissent un développement important récemment, en France tout au moins (Allard et al., 2022; Cross & Munier, 2023). Elles rendent compte de collaborations sur de longues durées dans lesquelles les praticiens analysent les séances coconstruites (Clivaz, 2015; Cross & Munier, 2023). Outre la réalisation de séquences informées par les résultats de la recherche en éducation elles visent aussi le développement professionnel des enseignants (Cross & Munier, 2023), possible objet de recherche (Bednarz, 2015; Clivaz, 2015). La tenue de plusieurs réunions au cours de la collaboration permettrait l'appropriation des différents éléments du modèle précurseur en tant que modèle didactique, à savoir le texte du savoir comme objectifs d'enseignement, des savoirs didactiques comme celui d'objectif-obstacle ou « les difficultés objectivées de élèves » (Arnantonaki et al., 2020, p. 172), les fondements théoriques psycho-cognitifs des stratégies d'intervention didactiques (Ravanis, 2000, 2010).

Pour conclure, le développement de recherches dans les classes constituera une nouvelle étape dans le programme de recherche modèle précurseur, prometteuse pour favoriser l'éducation scientifique des jeunes élèves.

RÉFÉRENCES

Adúriz-Bravo, A. (2013). A 'semantic' view of scientific models for Science Education. *Science & Education*, 22(7), 1593-1611. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9431-7>.

- Adúriz-Bravo, A. (2022). Precursor models seen through the lens of the idea of 'theoretical model'. In J.-M. Boilevin, A. Delserieys & K. Ravanis (Éds), *Precursor Models for teaching and learning Science during early childhood* (pp. 221-239). https://doi.org/10.1007/978-3-031-08158-3_12.
- Allard, C., Horoks, J., & Pilet, J. (2022). Principes de travail collaboratif entre chercheur·e·s et enseignant·e·s: Le cas du LéA RMG. *Éducation & Didactique*, 16(1), 49-66. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.9644>.
- Arnantonaki, D., Boilevin, J.-M., & Ravanis, K. (2020). L'appropriation de modèles précurseurs par des professeurs pour enseigner les sciences en maternelle : Le cas de la lumière. *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies*, 22, 151-176. <https://doi.org/10.4000/rdst.3423>.
- Bächtold, M. (2022). Developmental and epistemological perspectives as key elements of the Precursor Model research programme. In J.-M. Boilevin, A. Delserieys & K. Ravanis (Éds), *Precursor Models for teaching and learning Science during early childhood* (pp. 241-261). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-08158-3_13.
- Bednarz, N. (2015). La recherche collaborative. *Carrefours de l'Éducation*, 39(1), 171-184. <https://doi.org/10.3917/cdle.039.0171>.
- Bisault, J. (2005). Langage, action et apprentissage en sciences à l'école maternelle. *Spirale - Revue de Recherches en Éducation*, 36(1), 123-138. <https://doi.org/10.3406/spira.2005.1330>.
- Bisault, J., & Lhoste, Y. (2020). Quelle éducation scientifique et technologique pour des élèves de 2 à 6 ans ? *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies*, 22, 13-30. <https://doi.org/10.4000/rdst.3283>.
- Boilevin, J.-M., Delserieys, A., & Ravanis, K. (Éds.). (2022). *Precursor Models for teaching and learning Science during early childhood*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-08158-3_2.
- Canedo-Ibarra, S. P., Castelló-Escandell, J., García-Wehrle, P., Gómez-Galindo, A. A., & Morales-Blake, A. R. (2012). Cambio conceptual y construcción de modelos científicos precursores en educación infantil. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 17(54), 691-727.
- Canedo-Ibarra, S. P., Castelló-Escandell, J., García-Wehrle, P., & Morales-Blake, A. R. (2010). Precursor models construction at preschool education : An approach to improve scientific education in the classroom. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 4(1), 41-76. <https://doi.org/10.26220/rev.134>.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique : Du savoir savant au savoir enseigné*. La Pensée Sauvage.
- Clivaz, S. (2015). Les lesson study : Des situations scolaires aux situations d'apprentissage professionnel pour les enseignants. *Formation et pratiques d'enseignement en questions*, 19, 99-105. <https://revuedeshp.ch/pdf/19/2015-Clivaz-FPEQ-19.pdf>.
- Cross, D., & Munier, V. (2023). Un dispositif collaboratif pour accompagner le développement professionnel d'une enseignante sur le plan didactique. *Questions Vives. Recherches en éducation*, 39. <https://doi.org/10.4000/1388q>.
- Davous, D., Féore, M.-C., Fort, L., Lévêque, T., Mauhourat, M.-B., Perchard, J.-P., & Jullien, L. (1999). Le nouveau programme de la classe de seconde. Transformation chimique d'un système. Le modèle de la réaction chimique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 93(817), 1-35 (pages vertes).

- Dehon, J., & Snauwaert, P. (2018). L'analogie entre la langue française et la chimie : Analyse linguistique et didactique. *Éducation et Didactique*, 12(2), 9-27. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.3161>.
- Delserieys, A., Jégou, C., Boilevin, J.-M., & Ravanis, K. (2018). Precursor model and preschool science learning about shadows formation. *Research in Science & Technological Education*, 36(2), 147-164. <https://doi.org/10.1080/02635143.2017.1353960>.
- Delserieys, A., Jégou, C., & Givry, D. (2014). Preschool Children's Understanding of a Precursor Model of Shadow Formation. *Proceedings of the ESERA 2013 Conference: Science Education Research For Evidence-based Teaching and Coherence in Learning*. Nicosia, Cyprus: European Science Education Research Association.
- Desgagné, S., Bednarz, N., Lebuis, P., Poirier, L., & Couture, C. (2001). L'approche collaborative de recherche en éducation : Un rapport nouveau à établir entre recherche et formation. *Revue des Sciences de l'Éducation*, 27(1), 33-64. <https://doi.org/10.7202/000305ar>.
- Duval, R. (1993). Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 5, 37-65.
- Ergazaki, M., Alexaki, A., Papadopoulou, C., & Kalpakiori, M. (2014). Young children's reasoning about physical & behavioural family resemblance: Is there a place for a precursor model of inheritance? *Science & Education*, 23(2), 303-323. <https://doi.org/10.1007/s11191-013-9594-5>.
- Ergazaki, M., Valanidou, E., Kasimati, M.-C., & Kalantzi, M. (2015). Introducing a Precursor Model of Inheritance to Young Children. *International Journal of Science Education*, 37(18), 3118-3142. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1121551>.
- Fleer, M. (2019). Scientific Playworlds : A model of teaching science in play-based settings. *Research in Science Education*, 49(5), 1257-1278. <https://doi.org/10.1007/s11165-017-9653-z>.
- Fleer, M. (2021). Conceptual Playworlds : The role of imagination in play and learning. *Early Years*, 41(4), 353-364. <https://doi.org/10.1080/09575146.2018.1549024>.
- Gilbert, J. K., & Boulter, C. J. (2000). *Developing Models in Science Education*. Springer Netherlands.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Elmer, R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Éds), *Developing Models in Science Education* (pp. 3-17). Springer Netherlands.
- Gilbert, J. K., Boulter, C., & Rutherford, M. (1998). Models in explanations, Part 1 : Horses for courses? *International Journal of Science Education*, 20(1), 83-97. <https://doi.org/10.1080/0950069980200106>.
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. (Éds.). (2009). *Multiple Representations in Chemical Education* (Vol. 4). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8>.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026. <https://doi.org/10.1080/095006900416884>.
- Hoffmann, R., & Laszlo, P. (1991). Representation in Chemistry. *Angewandte Chemie International Edition in English*, 30(1), 1-16. <https://doi.org/10.1002/anie.199100013>.
- Ioannou, M., Kaliampou, G., & Ravanis, K. (2024). Condensation and precipitation of water vapor: The emergence of a Precursor Model through the Engineering Design Process. *Education Sciences*, 14(7), 757. <https://doi.org/10.3390/educsci14070757>.

- Ioannou, M., Kaliaspos, G., Pantidos, P., & Ravanis, K. (2025). Fostering early understanding of vaporization in 5-6-year-olds via engineering design. *Journal of Physics: Conference Series*, 3105(1), 012009. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/3105/1/012009>.
- Jaubert, M., & Rebière, M. (2000). Observer l'activité langagière des élèves en sciences. *Aster*, (31), 173-195. <https://doi.org/10.4267/2042/8757>.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching : A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701-705. <https://doi.org/10.1021/ed070p701>.
- Johsua, S. (1994). Quelques conditions d'évolution d'un objet d'enseignement en physique : L'exemple des circuits électriques. In G. Arsac, Y. Chevallard, J.-L. Martinand & A. Tiberghien (Éds.), *La transposition didactique à l'épreuve* (pp. 9-34). La Pensée Sauvage.
- Kaliaspos, G., Ioannou, M., Pantidos, P., & Ravanis, K. (2024). The transformation of children's mental representations of 5-6 year olds for coagulation : Precursor models through a storytelling approach. *Journal of Physics: Conference Series*, 2871(1), 012010. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2871/1/012010>.
- Kaliaspos, G., Ioannou, M., Pantidos, P., & Ravanis, K. (2025). 5-6 years old children's mental representations of water in plants. *Research on Preschool and Primary Education*, 1-8. <https://doi.org/10.55976/rppe.3202513061-8>.
- Kambouri-Danos, M., Ravanis, K., Jameau, A., & Boilevin, J.-M. (2019). Precursor Models and early years Science learning: A case study related to the water state changes. *Early Childhood Education Journal*, 47(4), 475-488. <https://doi.org/10.1007/s10643-019-00937-5>.
- Kermen, I. (2022). Semiotic Systems specific to Chemistry and their learning. In *Semiotic Approaches in Science Didactics* (pp. 45-85). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781394173792.ch2>.
- Koliopoulos, D., Christidou, V., Symidala, I., & Koutsiouba, M. (2009). Pre-energy reasoning in preschool children. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 3(1), 123-140. <https://doi.org/10.26220/rev.124>.
- Koliopoulos, D., Tantaros, S., Papandreou, M., & Ravanis, K. (2004). Preschool children's ideas about floating : A qualitative approach. *Journal of Science Education*, 5(1), 21-24.
- Laszlo, P. (1993). *La parole des choses*. Hermann.
- Ledrapier, C. (2010). Découvrir le monde des sciences à l'école maternelle : Quels rapports avec les sciences ? *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies*, 2, 79-102. <https://doi.org/10.4000/rdst.291>.
- Lemeignan, G., & Weil-Barais, A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Hachette.
- Lorenzo Flores, M., Sesto Varela, V., & García-Rodeja, I. (2018). Una propuesta didáctica para la construcción de un modelo precursor del aire en la Educación Infantil. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 2(2), 55-68. <https://doi.org/10.17979/arec.2018.2.2.4628>.
- Oh, P. S., & Oh, S. J. (2011). What teachers of Science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.502191>.
- 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. <https://doi.org/10.4267/2042/8753>.

- Ravanis, K. (2010). Représentations, Modèles Précurseurs, Objectifs-Obstacles et Médiation-Tutelle : Concepts-clés pour la construction des connaissances du monde physique à l'âge de 5-7 ans. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 5(2), 1-11. <https://doi.org/10.54343/reiec.v5i2.58>.
- Ravanis, K., & Boilevin, J.-M. (2022). What use is a Precursor Model in early Science teaching and learning? Didactic perspectives. In J.-M. Boilevin, A. Delsérieys & K. Ravanis (Éds), *Precursor Models for teaching and learning Science during early childhood* (pp. 33-49). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-08158-3_3.
- Ravanis, K., Koliopoulos, D., & Boilevin, J.-M. (2008). Construction of a Precursor Model for the concept of rolling friction in the thought of preschool age children: A socio-cognitive teaching intervention. *Research in Science Education*, 38(4), 421-434. <https://doi.org/10.1007/s11165-007-9056-7>.
- 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. <https://doi.org/10.1080/0950069032000138851>.
- Ravanis, K., Papandreou, M., Kampeza, M., & Vellopoulou, A. (2013). Teaching activities for the construction of a precursor model in 5- to 6-year-old children's thinking: The case of thermal expansion and contraction of metals. *European Early Childhood Education Research Journal*, 21(4), 514-526. <https://doi.org/10.1080/1350293X.2013.845440>.
- Remountaki, E.-L., Fragkiadaki, G., & Ravanis, K. (2023). How does Science learning happen during scientific play? A case example of the dissolution phenomenon. In K. Plakitsi & S. Barma (Éds), *Sociocultural Approaches to STEM Education: An ISCAR International Collective Issue* (pp. 91-113). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44377-0_5.
- Robardet, G., & Guillaud, J.-C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques*. Presses Universitaires de France.
- Schneuwly, B. (2014). Didactique : Construction d'un champ disciplinaire. *Éducation et Didactique*, 8(1), 13-22. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.1860>.
- Sesto, V., & García-Rodeja, I. (2021). How do five- to six-year-old children interpret a burning candle? *Education Sciences*, 11(5), 165-178. <https://doi.org/10.3390/educsci11050213>.
- Sjöström, J., Eilks, I., & Talanquer, V. (2020). Didaktik Models in Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, 97(4), 910-915. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b01034>.
- Stephenson, T., Fleeer, M., & Fragkiadaki, G. (2022). Increasing Girls' STEM engagement in early childhood: conditions created by the conceptual playworld model. *Research in Science Education*, 52(4), 1243-1260. <https://doi.org/10.1007/s11165-021-10003-z>.
- Van Driel, J. H., & Verloop, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1255-1272. <https://doi.org/10.1080/09500690210126711>.
- Weil-Barais, A. (2022). What is a Precursor Model? In J.-M. Boilevin, A. Delsérieys & K. Ravanis (Éds), *Precursor Models for teaching and learning Science during early childhood* (pp. 11-32). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-08158-3_2.
- Weil-Barais, A., & Lemeignan, G. (1994). Approche développementale de l'enseignement et de l'apprentissage de la modélisation. Quelles implications pour la recherche et pour les pratiques d'enseignement? In équipe INRP / LIREST, *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences* (pp. 85-113). INRP.