

LES MODÈLES ET LA MODÉLISATION VUS PAR DES ENSEIGNANTS DE SCIENCES ET TECHNOLOGIES DU SECONDAIRE AU QUÉBEC¹

PATRICK ROY *Haute école pédagogique Fribourg*

ABDELKRIM HASNI *Université de Sherbrooke*

RÉSUMÉ. Cet article présente les résultats d'une étude exploratoire menée auprès de cinq enseignants de sciences et technologies (S & T) québécois du secondaire sur l'enseignement des modèles et de la modélisation. Le cadre conceptuel et méthodologique vise l'analyse de leurs pratiques d'enseignement sous l'angle de deux dimensions : la dimension épistémologique (quelles significations attribuent-ils aux modèles et à la démarche de modélisation ?) et la dimension fonctionnelle (pourquoi recourent-ils aux modèles et à la démarche de modélisation en classe ?). L'analyse de leur discours révèle que ceux-ci ont une compréhension partielle de ces objets et de leurs finalités dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences et souligne la nécessité d'assurer leur formation continue sur ces questions.

MODELS AND MODELING AS SEEN BY SECONDARY SCIENCE AND TECHNOLOGY TEACHERS IN QUEBEC

ABSTRACT. This article presents the results of an exploratory study of five secondary science and technology (S & T) teachers in Quebec on teaching models and modeling. The conceptual and methodological framework aims to analyze their teaching practices in terms of two dimensions: the epistemological dimension (what meanings they attribute to the models and the modeling process?) and the functional dimension (why they use the models and the modeling approach in the classroom?). The analysis of their discourse reveals that they have a partial understanding of these objects and their purposes in teaching and learning science and emphasizes the need for continuing education on these issues.

Les modèles occupent une place centrale en sciences¹ (S. Bachelard, 1979 ; Bailer-Jones, 2002 ; Besson, 2010 ; Bunge, 1973 ; Canguilhem, 1968 ; Damska, 1959 ; Suarez, 1999 ; Van Der Valk, Van Driel et de Vos, 2007 ; Walliser, 1977). Ils jouent un rôle important dans le développement des disciplines scientifiques, notamment pour la construction de leurs théories (Sanmarti, 2002). Comme le souligne Sanmarti (2002, p. 45) : « Le cœur d'une théorie

scientifique n'est pas constitué d'un ensemble d'axiomes ou de lois, mais d'un ensemble de modèles ».² C'est par le processus de modélisation que se fait la construction des modèles ; ce processus dynamique et non linéaire étant au cœur du fonctionnement du savoir en sciences.

Dans le contexte scolaire, l'enseignement et l'apprentissage des modèles et de la modélisation posent de grands défis. Depuis le début des années 1990, de nombreux travaux dans le champ de la didactique des sciences ont montré que non seulement les élèves (Chittleborough, Treagust, Mamiala et Mocerino, 2005 ; Grosslight, Unger et Jay, 1991 ; Treagust, Chittleborough et Mamiala, 2002), mais aussi les enseignants du secondaire (Crawford et Cullin, 2004 ; Henze, van Driel et Verloop, 2007 ; Justi et Gilbert, 2002, 2003 ; Smit et Finegold, 1995 ; Van Driel et Verloop, 1999, 2002) ont en général une compréhension épistémologique limitée de ces objets d'étude. Ces travaux soulignent entre autres que plusieurs enseignants du secondaire considèrent les modèles comme des représentations exactes de la réalité. La fonction heuristique (le modèle en tant qu'outil d'exploration des phénomènes) et la fonction prédictive des modèles sont rarement évoquées. Parmi ces travaux, certains pointent du doigt les difficultés des enseignants à mettre en œuvre des démarches de modélisation selon une perspective constructiviste où les élèves sont engagés intellectuellement dans la construction des modèles (Henze, van Driel et Verloop, 2007 ; Justi et Gilbert, 2002 ; Van Driel et Verloop, 2002).

Au Québec, les modèles et la modélisation font partie des composantes fondamentales d'enseignement et d'apprentissage des récents programmes de sciences et technologies³ (S & T) au secondaire (ministère de l'Éducation du Québec, 2004, ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport, 2007, 2009). Dès le premier cycle du secondaire, les élèves sont conviés à acquérir une diversité de modèles qui font partie des contenus prescrits. Si, au premier cycle du secondaire (élèves âgés de 12 à 14 ans), les modèles sont considérés comme des outils qui permettent de faire une description qualitative des phénomènes, au deuxième cycle, ils ont pour fonction de décrire qualitativement et quantitativement les phénomènes. Pour le ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (MELS), un modèle « peut prendre diverses formes : texte, dessin, formule mathématique, équation chimique, programme informatique ou maquette » (Gouvernement du Québec, 2009, p. 24). C'est au moyen de la démarche de modélisation⁴ que les élèves sont appelés à construire des modèles : « La démarche de modélisation consiste à construire une représentation destinée à concrétiser une situation abstraite, difficilement accessible ou carrément invisible » (Gouvernement du Québec, 2009, p. 24). Cette démarche fait partie des démarches à caractère scientifique et technologique à faire apprendre aux élèves en lien avec la première compétence disciplinaire d'ordre méthodologique *Chercher des réponses ou des solutions à des problèmes d'ordre scientifique ou technologique*.

Comment, dans ce contexte, les enseignants québécois de S & T au secondaire conçoivent-ils les modèles et la modélisation dans leur enseignement ? C'est à

cette question que s'intéresse le présent article, composé de quatre principales parties. Dans la première partie, nous présentons le cadre conceptuel utilisé pour analyser les pratiques d'enseignement des modèles et de la modélisation sous l'angle des dimensions épistémologique et fonctionnelle. La deuxième partie est consacrée à la présentation de la méthodologie de recueil et d'analyse des données. Les troisième et quatrième parties consistent en une présentation et une discussion des principaux résultats. Enfin, la cinquième partie expose la conclusion de notre étude.

CADRE CONCEPTUEL

L'intention de notre cadre conceptuel est de présenter les concepts-clés et de dégager les indicateurs qui ont été utilisés pour l'analyse des pratiques d'enseignement des modèles et de la modélisation sous l'angle des deux dimensions retenues.

Qu'est-ce qu'un modèle?

Les modèles sont nombreux et diversifiés en raison des multiples phénomènes qu'ils peuvent expliquer et de la diversité des modes de représentation (le matériel concret, le langage écrit, les symboles mathématiques, les gestes, etc.) pouvant être utilisés pour les représenter (Drouin, 1988 ; Hasni, 2010 ; Robardet et Guillaud, 1997). Malgré cette grande diversité, certains auteurs (Robardet et Guillaud, 1997 ; von Bertalanffy, 1973 ; Walliser, 1977) distinguent entre deux catégories de modèles. Von Bertalanffy (1973) distingue entre les modèles matériels et les modèles conceptuels. Cette partition est reprise par Walliser (1977) et utilisée par Robardet et Guillaud (1997) qui distinguent entre les modèles physiques (ou maquettes) et les modèles symboliques (ou isohyliques). Les modèles physiques « traduisent les phénomènes sous forme de représentations concrètes, homothétiques (modèles réduits), ou analogiques (modèles analogiques) » (Robardet et Guillaud, 1997, p. 98). Citons par exemple les maquettes utilisées en astronomie pour comprendre le mouvement des corps célestes, les schémas de principe utilisés en technologie pour comprendre le fonctionnement des objets techniques et l'analogie d'une pompe hydraulique utilisée en biologie pour illustrer le fonctionnement du cœur. Quant aux modèles symboliques, ils font appel aux langages logicomathématiques. C'est le cas, par exemple, des équations mathématiques utilisées en physique pour décrire le mouvement rectiligne uniformément accéléré d'objets en chute libre.

Le concept de modèle est un concept polysémique. Selon les disciplines et les auteurs, celui-ci peut prendre des significations fort différentes (Drouin, 1988 ; Johsua et Dupin, 2003 ; Justi et Gilbert, 2003 ; Orange, 1997 ; Schwarz et al., 2009). Ainsi, il n'existe pas de définition unique de ce concept. Et pour reprendre les propos de Drouin (1988) : « Espérer trouver une définition unique est sans doute chimérique, mais en rester au constat de l'usage "éclaté" »

du terme de modèle n'est pas satisfaisant » (p. 2). D'où l'importance d'en dégager une signification. Notre analyse de la documentation scientifique permet de dégager au moins quatre principaux attributs caractéristiques d'un modèle (Tableau 1) :

1. *Un modèle est une représentation simplifiée d'une entité du monde réel* (S. Bachelard, 1979 ; Bunge, 1974-1989 ; Damska, 1959 ; Giere, 2004). L'une des principales motivations des scientifiques pour introduire les modèles dans leurs activités « repose sur leur potentialité de représentation concrète, perceptible, de concepts abstraits » (Chomat, Larcher et Méheut, 1992, p. 119). D'ailleurs, certains auteurs comme Justi et Gilbert (2000) définissent la notion de modèle en mettant l'accent sur ce que peut représenter le modèle, c'est-à-dire « une représentation d'une idée, d'un objet, d'un événement, d'un processus ou d'un système »⁵ (p. 994).

2. *Différents modèles peuvent représenter un même référent et un même modèle peut représenter plusieurs référents*. Comme le souligne Halloun (2006), tout modèle présente des limites par rapport à son référent et des modèles différents sont nécessaires afin de fournir une explication plus complète de ce référent : « Quand nous avons besoin de représenter le même référent avec différents niveaux de précision, nous avons recours à différents modèles appartenant à différentes théories scientifiques s'inscrivant ou non dans le même paradigme »⁶ (p. 44). Par ailleurs, un même modèle peut aussi rendre compte de phénomènes n'ayant parfois que peu de rapports entre eux (Robardet et Guillaud, 1997). En physique par exemple, la propagation de la chaleur et le mouvement des ondes peuvent être expliqués par des modèles mathématiques identiques.

3. *Un modèle est un objet intermédiaire entre la théorie et le phénomène dont la fonction est de représenter, d'expliquer et de prédire*. Plusieurs auteurs positionnent le modèle dans le champ théorique⁷ en tant qu'objet intermédiaire entre la théorie, qui est structurée à son niveau le plus élevé de paradigmes, de principes et de lois, et le phénomène qui se situe dans le champ empirique⁸ et sur lequel le scientifique fait des observations de nature qualitative et quantitative (S. Bachelard, 1979 ; Martinand, 1992, 1994 ; Orange, 1997 ; Robardet et Guillaud, 1997 ; Tiberghien, 1994 ; Walliser, 1977). Comme le souligne S. Bachelard (1979) : « le modèle dans son acception la plus abstraite, fonctionne d'une manière ostensive et le modèle, dans son acception la plus concrète de modèle visualisable, laisse transparaître la dominante théorique » (p. 8). En tant qu'objet intermédiaire entre la théorie et le phénomène, les modèles ont des fonctions importantes : représenter, expliquer et prédire les phénomènes.

4. *Un modèle est assujéti à des révisions*. Les modèles scientifiques s'inscrivent dans un processus continu d'évaluation où ils sont appelés à être testés, et par conséquent adaptés ou remplacés avec la progression des connaissances scientifiques. Gilbert, Boulter et Elmer (2000) appellent les modèles consensuels (consensus models) ceux qui sont reconnus comme valides par les différents

groupes sociaux, après discussion et expérimentation. Parmi ces modèles, les modèles scientifiques sont ceux qui « ont été acceptés par une communauté de scientifiques suite à une validation expérimentale formelle » (Gilbert, Boulter et Elmer, 2000, p. 12).⁹

TABLEAU 1. Quatre principaux attributs caractéristiques d'un modèle

Un modèle est une représentation simplifiée d'une entité du monde réel.
Différents modèles peuvent représenter un même référent et un même modèle peut représenter plusieurs référents.
Un modèle est un objet intermédiaire entre la théorie et le phénomène dont la fonction est de représenter, d'expliquer et de prédire.
Un modèle est assujetti à des révisions.

Qu'est-ce que la modélisation?

En sciences, la construction des modèles s'effectue selon un processus cyclique. Elle nécessite de nombreux allers et retours entre le champ empirique et le champ théorique. Plus précisément, elle se fait progressivement par formulation de modèles explicatifs hypothétiques élaborés dans le champ théorique à partir des modèles existants, puis par confirmation de ceux-ci à travers le champ empirique (Robardet et Guillaud, 1997 ; Walliser, 1977).

En s'inspirant du schéma de la *dynamique de la modélisation scientifique* de Walliser (1977), plusieurs didacticiens de sciences ont adapté ce processus à l'éducation scientifique, parmi lesquels Martinand (1996), Orange (1997) et Tiberghien (1994). Par exemple, Martinand (1996) propose un schéma de la modélisation pour les sciences physiques qui décrit la tâche ou le problème qui implique la modélisation et auquel l'élève est confronté dans son processus d'apprentissage. Ce schéma permet de distinguer entre le « registre du référent empirique », le « registre des modèles » ou l'« élaboration représentative » et la « matrice cognitive » (Figure 1). Comme le souligne Martinand (1996), ce schéma met l'accent sur « les processus de modélisation que les élèves peuvent prendre en charge, en tout ou en partie », et non sur « les modèles plus ou moins “arrangés” que nous pouvons leur présenter au nom de la science ou des programmes » (p. 7).

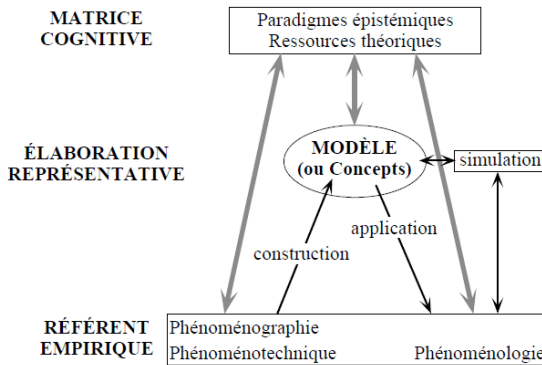


FIGURE 1. Le schéma de la modélisation de Martinand (1996)

Les schémas proposés par ces auteurs ont des implications importantes sur les démarches d'enseignement-apprentissage auxquelles les enseignants recourent pour amener les élèves à s'approprier des modèles scientifiques. Malgré la diversité de ces démarches, soulignons simplement ici l'importance de distinguer celles qui s'inscrivent dans une logique de transmission et celles qui s'appuient sur des fondements constructivistes, que certains auteurs recouvrent respectivement sous les vocables de *démarche de modélisation inductiviste* et de *démarche de modélisation constructiviste* (Johsua et Dupin, 1989, 2003 ; Robardet et Guillaud, 1997). Dans les premières, c'est le rôle de l'enseignant, du manuel scolaire ou de tout autre agent externe qui est privilégié dans la présentation des modèles scientifiques à faire apprendre aux élèves. En tant que détenteur du savoir, cet agent les transmet aux élèves selon des modalités diverses : explication, lecture d'un texte explicatif dans le manuel scolaire, etc. Le principal rôle des élèves est de mémoriser les savoirs qui leur sont exposés. Au mieux, ils pourraient être engagés dans une *expérience de référence prototypique* visant à exposer le modèle et faire admettre sa plausibilité au regard du phénomène étudié (Johsua et Dupin, 1989, 2003 ; Robardet et Guillaud, 1997). Dans ce cas, le rôle de l'enseignant est de présenter un problème de départ, d'introduire les faits scientifiques et de proposer aux élèves une expérience dont le protocole est déjà conçu afin qu'ils puissent vérifier la correspondance du modèle à l'étude avec les données obtenues par l'expérience.

Dans les secondes, il est question de recourir à des démarches qui permettent l'engagement intellectuel des élèves dans le processus d'apprentissage et l'élaboration conceptuelle. Ces démarches se distinguent des premières sur au moins trois moments forts (Johsua et Dupin, 1989, 2003 ; Robardet, 1989, 1995, 2001 ; Robardet et Guillaud, 1997) :

1. *L'introduction d'une phase de problématisation au début de la démarche plutôt qu'une expérience de référence prototypique* ; cette phase étant d'ailleurs au

cœur de la construction du savoir scientifique (G. Bachelard, 1938 ; Kuhn, 1962 ; Laudan, 1977 ; Popper, 1971). Les démarches qui s'appuient sur des fondements constructivistes, lorsqu'elles sont prises en charge par les élèves, ne consistent pas seulement à leur permettre de résoudre des problèmes déjà proposés ou formulés par d'autres (les enseignants, les concepteurs des manuels, les vulgarisateurs, etc.). Elles doivent avant tout amener les élèves à construire des problèmes pertinents, à problématiser, avant de proposer et de mettre en œuvre des manières appropriées de les résoudre (Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel et Toussaint, 1997 ; Fabre, 1999 ; Hasni et Samson, 2007, 2008). Comme le soulignent Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel et Toussaint (1997) : « le problème... doit être construit avec la classe en cours d'activité. Car l'activité scientifique ne revient pas seulement à résoudre des problèmes..., mais elle consiste d'abord à apprendre à les poser » (p. 81). Dans la phase de problématisation, les élèves sont appelés à analyser une mise en situation, décoder de nouvelles informations, identifier un problème précis et une ou des questions de recherche. Outre le fait que la construction d'un problème doit s'appuyer sur la présentation d'une situation qui interpelle les élèves et suscite chez eux leur engagement, le choix de la mise en situation nécessite de prendre en compte l'état des connaissances des élèves sur le sujet. Le problème scientifique « ne peut naître spontanément d'un contact immédiat avec une situation, même soigneusement choisie. Celui-ci ne peut pas émerger d'un vide conceptuel » (Hasni, Roy, Franc et Dumais, 2011, p. 9). Si l'absence de savoirs nécessaires à la compréhension du problème peut rendre l'obstacle infranchissable pour les élèves, à l'inverse, la maîtrise de tous les savoirs en jeu peut rendre la formulation du problème inutile (Hasni, Roy, Franc et Dumais, 2011). À la suite de Vygotski (1997), nous suggérons de proposer aux élèves des problèmes qui se situent dans leur zone proximale de développement (ZPD). Un instrument qui paraît bien adapté à la phase de problématisation est ce que l'on désigne parfois par l'expression de « situation-problème » (Robardet, 1989, 1995, 2001).

2. *La formulation d'hypothèses et d'un modèle explicatif en vue de rendre compte du phénomène à l'étude.* La phase de problématisation débouche sur la construction d'un problème autour duquel les élèves sont appelés à formuler des hypothèses de travail et un modèle explicatif hypothétique du phénomène en s'appuyant sur des observations qualitatives ou quantitatives et en mettant en relation les différents concepts en jeu.

3. *L'introduction d'une phase expérimentale dont l'objectif est de tester le modèle explicatif hypothétique proposé.* Dans cette phase, les élèves sont appelés à proposer et mettre en œuvre un protocole afin de tester leur modèle. Ces processus nécessitent le recours à différentes habiletés, par exemple collecter et analyser des données, exprimer des données sous une forme appropriée, produire et interpréter des résultats au regard des questions et des hypothèses de départ, formuler des énoncés scientifiques, etc. Ces processus conduisent à la sélection,

l'adaptation ou au rejet du modèle (dans le cas où celui-ci ne permet pas de répondre au problème posé). Par conséquent, cela abouti à l'identification d'un modèle qui permet de rendre compte le mieux possible le phénomène à l'étude, ce que Walliser (1997) appelle le modèle confirmé. Contrairement à la démarche de modélisation inductiviste où le modèle est présenté au début de la démarche, dans la démarche de modélisation constructiviste, le modèle résulte de l'aboutissement de la démarche. Soulignons par ailleurs que la phase expérimentale est souvent accompagnée d'un débat de classe¹⁰ qui donne l'occasion aux élèves de débattre des modélisations plausibles. L'argumentation n'est plus seulement du ressort de l'enseignant, mais elle interpelle l'enseignant et les élèves autour de modèles explicatifs hypothétiques contradictoires. On passe pour ainsi dire d'un discours expositif pris en charge par l'enseignant à un discours interactif entre l'enseignant et les élèves.

Questions spécifiques de recherche

En lien avec les dimensions épistémologique et fonctionnelle retenues pour décrire les pratiques d'enseignement des modèles et de la modélisation, cette étude vise à répondre à deux questions :

Question n° 1 : Quelles significations les enseignants attribuent-ils aux modèles et à la démarche de modélisation ?

Question n° 2 : Quelles sont les principales justifications évoquées par les enseignants de recourir aux modèles et à la démarche de modélisation en classe ?

MÉTHODOLOGIE

Une entrevue de groupe semi-structurée de 90 minutes a été menée auprès de 5 enseignants de S & T en provenance de quatre écoles secondaires situées dans des milieux socioéconomiques de classe moyenne de la région de Québec et Chaudière-Appalaches. Les enseignants ont été sélectionnés sur la base du volontariat. Il s'agit d'un homme et de quatre femmes qui ont entre 2 et 18 années d'expérience en enseignement des S & T. Ces enseignants interviennent de la première à la quatrième année du secondaire (élèves âgés de 13 à 16 ans) dans des classes ordinaires intégrant des élèves en difficulté ou dans des classes d'adaptation scolaire qui se composent essentiellement d'élèves en difficulté. Tous les enseignants détiennent un baccalauréat en enseignement au secondaire d'une université québécoise. Des noms fictifs ont été attribués aux enseignants de manière à assurer la confidentialité des renseignements.

Le guide d'entrevue de groupe ayant servi au recueil des données en lien avec les deux questions spécifiques de recherche est une version adaptée d'un guide qui a été élaboré en 2007 dans le cadre de la recherche *Conceptualisation et modélisation en sciences* (Hasni, 2007). Au début de l'entrevue, des questions formulées à partir d'exemples concrets des récents programmes de S & T ont été posées aux enseignants afin qu'ils puissent être en mesure d'exprimer et

de partager plus facilement leur point de vue sur le concept de modèle scientifique (Questions n° 1 à 4). Pour faire suite à ces questions contextualisées, une question plus générale leur a été posée afin qu'ils puissent préciser leur point de vue et faire une synthèse de leur réflexion sur ce concept (Question n° 5). Le guide d'entrevue comporte 9 questions (Tableau 2).

Lors des entrevues, les enseignants ont été encouragés à donner leur point de vue sur chacune des questions et à discuter ensemble. Notre rôle s'est limité à poser les questions et à les écouter. En aucun cas nous n'avons donné notre point de vue sur les questions posées. Les questions ont été projetées sur un écran de manière à ce que les enseignants puissent les garder le mieux possible à l'esprit. Ceux-ci ont été également invités à prendre des notes sur des feuilles mises à leur disposition afin de ne pas perdre leurs idées en attendant leur tour de parole. Les échanges ont été enregistrés à l'aide d'un appareil audionumérique et ont été transcrits sous forme de verbatim.

TABEAU 2. Questions du guide d'entrevue de groupe

Question n° 1 : En vous basant sur vos connaissances, citez un ou deux exemples de contenus du programme de S & T qui permet(tent) d'illustrer ce qu'est un modèle en sciences.

Question n° 2 : En quoi l'exemple (ou les exemples) que vous avez choisi(s) permet(tent)-il(s) d'illustrer ce qu'est un modèle en sciences ?

Question n° 3 : Parmi les exemples cités par vos collègues :

- a) Lequel rejoint le plus votre compréhension de ce qu'est un modèle en sciences ? Pourquoi ?
- b) Lequel rejoint le moins votre compréhension de ce qu'est un modèle en sciences ? Pourquoi ?

Question n° 4 : Voici cinq exemples de contenus en lien avec le programme de S & T :

1. La construction d'un pont avec des petits bâtons en bois
 2. La représentation graphique de la fréquence d'oscillation d'un pendule en fonction de la longueur de la corde
 3. La tectonique des plaques
 4. La représentation de la molécule d'ADN avec des morceaux de bois ou de plastique qui indiquent les bases azotées A, C, G, T avec des couleurs différentes
 5. La relation mathématique entre la tension, la résistance et l'intensité du courant dans un circuit électrique ($U = R \cdot I$)
- a) Lequel ou lesquels de ces exemples représente(nt) le mieux pour vous ce qu'est un modèle scientifique ? Expliquez pourquoi.
 - b) Lequel ou lesquels de ces exemples ne représente(nt) pas pour vous ce qu'est un modèle scientifique ? Expliquez pourquoi.

Question n° 5 : Donnez une définition de ce que vous entendez par un modèle scientifique.

Question n° 6 : En vous basant sur vos connaissances, existe-t-il différents types de modèles ? Si oui, quels sont-ils ? Pouvez-vous me donner des exemples de ces modèles ?

Vous pouvez vous inspirer des exemples de contenus qui ont été cités précédemment par vous ou par vos collègues ou fournis à la question n° 4.

Question n° 7 : Selon vous, en quoi est-il utile ou inutile pour les élèves d'apprendre les modèles scientifiques ?

Question n° 8 : Selon vous, en quoi est-il utile ou inutile pour les élèves d'apprendre les démarches de modélisation ?

Question n° 9 : En vous basant sur vos connaissances, qu'est-ce qui caractérise une démarche de modélisation en sciences? Autrement dit, en quoi consiste une démarche de modélisation ?

La procédure d'analyse retenue pour répondre aux deux questions spécifiques de recherche consiste en une analyse thématique de contenu (Bardin, 2007 ; Van der Maren, 1995) dont l'opération centrale est de catégoriser les éléments textuels issus des réponses aux questions ouvertes de l'entrevue de groupe selon une approche mixte. Il s'agit soit de repérer et d'enregistrer les unités de sens qui composent la communication dans des catégories préétablies du cadre conceptuel (c'est le cas, par exemple, de la catégorie *Un modèle est une représentation simplifiée d'une réalité* présentée dans le tableau 4 dans la section des résultats), soit de construire de nouvelles catégories thématiques à partir d'unités de sens qui n'ont pas été évoquées dans le cadre conceptuel (c'est le cas, par exemple, de la catégorie *Un modèle est rattaché à une intention pédagogique* dans le tableau 4 dans la section des résultats). L'analyse consiste par ailleurs à marquer la présence ou la fréquence d'apparition de ces catégories thématiques (Bardin, 2007) dans le discours des enseignants et à illustrer ces catégories à l'aide d'extraits du corpus.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

Quelles significations les enseignants attribuent-ils aux modèles et à la démarche de modélisation ?

À la question n° 1, les enseignants ont rapporté une diversité d'exemples qui renvoient aux principaux modèles à faire apprendre aux élèves. Sur la base des questions n° 2, 3 et 4, nous avons dégagé les exemples de contenus qui représentent le mieux et le moins ce qu'est un modèle scientifique pour les enseignants (Tableau 3).

Le Tableau 3 montre que ce sont les modèles physiques, c'est-à-dire la tectonique des plaques ($N = 3$), la représentation de la molécule d'ADN avec des morceaux de bois ou de plastique qui indiquent les bases azotées avec des couleurs différentes ($N = 3$) et le modèle atomique ($N = 3$) qui représentent le plus ce qu'est un modèle en sciences pour la majorité des enseignants interrogés. Comme l'illustre l'extrait suivant, les enseignants justifient ce choix en raison du fait que ces modèles constituent des représentations simplifiées d'une réalité qui n'est pas accessible à l'œil humain.

Myriam : Moi, je dirais le 4 : la molécule d'ADN, parce que ça donne vraiment *une image de quelque chose qu'on ne peut pas voir*. Bien, maintenant, on commence à avoir des images en 3D ou avec le microscope électronique, peu importe les techniques. Mais c'est vraiment *une représentation de quelque chose qu'on ne peut pas voir*. Ça, ça me parle un peu plus comme modèle. Puis en plus, *on simplifie au maximum* les liens qu'il y a entre ces bases-là : A, C, G, T. Je veux dire qu'on ne va pas dans le détail de chaque liaison comment ça se forme. On fait seulement faire *une représentation sommaire* que ces deux-là se joignent ensemble. Pour moi, c'est vraiment la meilleure représentation d'un modèle.

TABEAU 3. Exemples de contenus qui représentent le mieux (CMI) et le moins (CMO) ce qu'est un modèle scientifique pour les enseignants

Contenus	Nombre d'enseignants		
	CMI	CMO	Indécis
A) Parmi une liste de contenus proposés (Question n° 4)			
1. La construction d'un pont avec des petits bâtons en bois	1	3	1
2. La représentation graphique de la fréquence d'oscillation d'un pendule en fonction de la longueur de la corde	1	3	0
3. La tectonique des plaques	3	0	0
4. La représentation de la molécule d'ADN avec des morceaux de bois ou de plastique qui indiquent les bases azotées avec des couleurs différentes	3	0	2
5. La relation mathématique entre la tension, la résistance et l'intensité du courant dans un circuit électrique ($U = R \cdot I$)	1	3	0
B) Parmi les exemples cités par les autres enseignants (question n° 3)			
• Le système digestif	1	0	0
• Le modèle de la structure interne de la Terre	1	1	0
• Les schémas de principe et de construction	1	1	0
• Le dessin technique	1	1	1
• Le modèle atomique	3	0	0
• Le modèle de la démarche scientifique en général	1	0	0

Quant aux exemples qui représentent le moins ce qu'est un modèle en sciences pour les enseignants interrogés, ce sont les modèles mathématiques : la fréquence d'oscillation d'un pendule en fonction de la longueur de la corde ($N = 3$) et la relation mathématique entre la tension, la résistance et l'intensité du courant dans un circuit électrique ($N = 3$). Pour certains enseignants, les modèles mathématiques sont exclus des modèles scientifiques, soit parce qu'ils les associent à la pure réalité, soit parce qu'ils sont simplement considérés comme des outils ou des techniques de mathématiques qui permettent de visualiser des objets en sciences. Les extraits suivants sont présentés à titre illustratif :

Nathalie : Celui qui représente le moins, moi je trouve, en tout cas, c'est la représentation graphique, la fréquence d'oscillation, *parce que ce n'est pas un modèle, c'est une réalité*. Moi, ce n'est pas comme ça je voyais ça, un modèle. Pour moi, un modèle, c'était quelque chose *qui n'est pas nécessairement la réalité, mais qui permet de la visualiser*, tandis que pour moi, la représentation graphique sous forme d'un graphique, bien c'est parce que c'est ça une fréquence.... *Je ne le vois pas comme étant un modèle*. Même chose pour la relation $U = R \cdot I$. Cette relation non plus, *je ne la vois pas comme étant un modèle*.

Cindy : Avec les modèles 2 et 5, on veut rendre quelque chose de visible aux élèves, mais c'est vraiment d'*utiliser les outils mathématiques en sciences*. Donc, je le voyais comme un modèle, mais beaucoup moins étendu de ce que je le voyais dans le modèle élargi. *Je le voyais beaucoup moins dans un modèle en sciences*. Je le voyais plus comme *appliquer des techniques de mathématiques pour voir quelque chose en sciences*.

Notre analyse des réponses à l'ensemble des questions va dans le même sens. En effet, les exemples renvoyant à des modèles physiques sont de loin ceux auxquels les enseignants ont fait le plus référence au cours des entrevues : des exemples de modèles physiques ont été cités une quarantaine de fois, tandis que des exemples de modèles symboliques ont été cités une vingtaine de fois. Le Tableau 4 présente les principales caractéristiques d'un modèle évoquées par les enseignants à la question n° 5, et à d'autres moments au cours des entrevues.

TABLEAU 4. Caractéristiques d'un modèle attribuées par les enseignants

Un modèle est...	Nombre d'enseignants
une représentation simplifiée d'une réalité	5
évolutif, assujetti à des révisions	5
rattaché à une intention pédagogique	2
relié à d'autres savoirs disciplinaires (concepts, lois, théories, etc.)	2
difficulté à caractériser ce qu'est un modèle	3

Parmi les caractéristiques que les enseignants attribuent aux modèles en sciences, deux ont été évoquées par l'ensemble des enseignants. La première caractéristique est qu'un modèle est une représentation simplifiée d'une réalité qui n'est pas accessible à l'œil humain ($N = 5$). L'extrait de Myriam que nous avons présenté précédemment à propos de la molécule d'ADN illustre bien cette caractéristique des modèles.

Myriam : Moi, je dirais le 4 : la molécule d'ADN, parce que ça donne vraiment *une image de quelque chose qu'on ne peut pas voir*. Bien, maintenant, on commence à avoir des images en 3D ou avec le microscope électronique, peu importe les techniques. Mais c'est vraiment *une représentation de quelque chose qu'on ne peut pas voir*. Ça, ça me parle un peu plus comme modèle.

D'ailleurs, certains enseignants tiennent à préciser qu'un modèle n'est pas une copie parfaite de la réalité, mais qu'il doit tout de même s'en rapprocher.

Nathalie : Parce que ce n'est pas tout à fait la réalité. Mais c'est quelque chose qui s'en rapproche quand même. Oui, représentation. Je dirais que c'est une représentation d'une réalité....

Carmen : Qui n'est pas nécessairement toujours la réalité parfaite.

Nathalie : Moi, je voyais vraiment le modèle comme étant une *représentation pas tout à fait réaliste*.

Notre analyse des réponses à l'ensemble des questions montre que dans les exemples de modèles rapportés par les enseignants au cours des entrevues, l'entité que représente le modèle est souvent associée à un objet physique (ex. : la maquette d'une éolienne), mais rarement à un événement (ex. : le schéma vectoriel qui illustre les composantes de la vitesse et de l'accélération d'un projectile), un processus (ex. : le diagramme de phase d'un corps pur qui met en relation les variables température et pression) ou un système (ex. : le schéma qui illustre le fonctionnement d'un système de poulies, etc.).

La deuxième caractéristique est qu'un modèle est évolutif, et donc assujéti à des révisions avec le temps ($N = 5$). Luc illustre cette caractéristique des modèles en prenant l'exemple de l'évolution du modèle atomique.

Luc : Le modèle que j'aime le plus, c'est le modèle atomique. Pourquoi ? Bien, c'est justement parce qu'on voit qu'il y a l'évolution. Puisque l'on voit vraiment à partir de... Aristote et Démocrite... pour se rendre jusqu'au dernier modèle... Pour moi, celui-là rejoint vraiment ma compréhension de ce qu'est un modèle... Puis, comme nous l'avons mentionné précédemment, *un modèle n'est pas fixe dans le temps : il va évoluer selon les observations qu'on va faire*.

Deux autres caractéristiques ont aussi été évoquées, mais par deux enseignants, soit qu'un modèle est rattaché à une intention pédagogique ou qu'il est relié à d'autres savoirs disciplinaires de S & T comme les concepts, les lois et les théories.

Enfin, des échanges entre certains enseignants laissent présager que la majorité d'entre eux ($N = 3$) ont de la difficulté à caractériser ce qu'est un modèle en sciences. Citons par exemple le propos de Cindy à ce sujet.

Cindy : Pour moi, les modèles ... *ce n'est peut-être pas encore clair dans ma tête*. Il y a beaucoup d'autres choses qui sont là-dedans.

Le tableau 5 présente les principales caractéristiques que les enseignants attribuent à la démarche de modélisation.

TABLEAU 5. *Caractéristiques d'une démarche de modélisation attribuées par les enseignants*

Une démarche de modélisation...	Nombre d'enseignants
présente une amorce qui sollicite l'engagement intellectuel des élèves	2
amène les élèves à réfléchir, à se questionner	2
amène les élèves à construire un modèle	5
amène les élèves à expliquer leur modèle	2
amène les élèves à valider leur démarche, à tester et à réviser leur modèle	3
difficulté à caractériser ce qu'est une démarche de modélisation	3

Parmi les caractéristiques attribuées par les enseignants pour décrire ce qu'est une démarche de modélisation, l'une a été retenue par tous, soit que la démarche de modélisation doit amener les élèves à construire un modèle ($N = 5$). Les extraits de Cindy et de Myriam illustrent cette idée.

Cindy : Moi, j'aime ton exemple parce que je trouve que ça ressemble beaucoup à *une démarche où l'on veut, à la fin, que les élèves arrivent avec un modèle.*

Myriam : Bien une caractéristique, c'est qu'il faut que ça amène à un modèle.

Une autre caractéristique de la démarche de modélisation a été également évoquée par un nombre plus restreint d'enseignants, soit celle qu'une démarche de modélisation doit amener les élèves à valider leur démarche, à tester et à réviser leur modèle ($N = 3$). Cindy évoque l'idée de cycle pour mettre en évidence que toute démarche de modélisation s'inscrit dans un processus d'aller-retour dans lequel les élèves sont appelés à valider leur démarche.

Cindy : *Un cycle.* On revient en arrière sur notre démarche avant d'avancer jusqu'au moment que ça débloque. Peut-être que l'une des caractéristiques serait cela : *un retour sur ce qui a été fait, une validation...* un retour en arrière si cette démarche-là n'a pas fonctionné. Ça pourrait être une caractéristique.

Pour Luc, l'engagement des élèves dans une démarche de modélisation est une occasion pour eux de procéder à des essais pour tester les limites de leurs modèles.

Luc : Puis là, ils se rendent compte... des limites de leurs modèles, un peu comme lorsqu'on construit des avions. Ils essayent du mieux qu'ils peuvent. Bien, finalement, quand ils essayent... ils se rendent compte que ça ne vole pas. Maintenant, qu'est-ce qui fait en sorte que ça ne vole pas ? Donc là, il y a une limite à leurs modèles. Il faut qu'ils retravaillent.

Aussi, d'autres caractéristiques ont été évoquées, comme celles qu'une démarche de modélisation présente une amorce qui sollicite l'engagement intellectuel

des élèves ($N = 2$), amène les élèves à réfléchir, à se questionner ($N = 2$) ou encore les amène à expliquer leur modèle ($N = 2$). La description que les enseignants font de cette amorce est cependant très sommaire et est centrée sur des aspects motivationnels.

Myriam : Il faut qu'il y ait une amorce, un point de départ qui les pousse à se questionner, à faire des essais, à faire le retour sur ce qu'ils ont fait.

Cindy : Oui, donc il faut *créer le besoin au début*.

Enfin, comme c'est le cas des modèles, la majorité des enseignants ont de la difficulté à caractériser ce qu'est une démarche de modélisation, comme l'illustrent les exemples d'extraits suivants.

Cindy : *Je ne sais pas c'est quoi une démarche de modélisation*. Je ne sais pas ce que j'embarque là-dedans. Je ne sais pas ce que je ne mets pas.... Bien oui, je pense que c'est une démarche de modélisation, mais *je ne suis pas capable de donner des caractéristiques* : il faut qu'elle ait ça ; il ne faut pas qu'elle ait ça.

Myriam : Bien, ça pourrait être inductif. Est-ce que c'est toujours inductif?... Je ne sais pas.

Cindy : Inductif ou déductif ?

Myriam : Ou ? Oui, pas nécessairement, je pense.

Cindy : Je ne sais pas.

Au cours des entrevues, des échanges entre certains enseignants révèlent la présence de confusion entre de la démarche de modélisation et d'autres objets disciplinaires du programme de S & T. La démarche de modélisation est considérée entre autres comme un moyen pédagogique pour aider les élèves à résoudre des problèmes en général, plutôt qu'une démarche propre aux S & T. Elle permet à l'enseignant de faire du « modeling » auprès des élèves afin que ceux-ci puissent identifier des données inconnues, faire des opérations formelles ou encore exprimer une réponse avec les unités appropriées.

Quelles sont les principales justifications évoquées par les enseignants de recourir aux modèles et à la démarche de modélisation en classe ?

Deux questions (les Questions n° 7 et 8) ont été posées pour voir quelles sont les principales justifications évoquées par les enseignants de recourir aux modèles et à la démarche de modélisation en classe. Le Tableau 6 présente ces justifications.

Le Tableau 6 montre que les deux principales fonctions que les enseignants attribuent aux modèles sont la représentation et l'explication des phénomènes ($N = 4$). Comme l'illustre l'exemple d'extrait de Carmen, les modèles servent à représenter des phénomènes abstraits. Cette enseignante utilise des dessins pour représenter les échanges entre l'extérieur et l'intérieur d'une cellule de manière à faire visualiser aux élèves le phénomène d'osmose et elle utilise des

modèles concrets comme celui d'une poche de mélasse dans une membrane qui diffuse dans l'eau de manière à expliquer aux élèves le phénomène de diffusion dans le corps humain.

Carmen : Je vais utiliser beaucoup de dessins pour représenter les mouvements qui s'installent entre l'extérieur et l'intérieur de ma cellule. Ça, c'est pour l'osmose. Pour ma diffusion... j'utilise des exemples. Je vais faire un nuage de « Febreeze » dans le coin de ma classe, puis j'attends que l'élève au bout de la classe me dise qu'il l'a senti. Donc, on modélise avec les molécules volatiles pour que ça se rende jusqu'à l'autre bout, avec un colorant dans l'eau, avec une poche de mélasse dans une membrane. Bon, tout ça m'amène à leur faire voir la diffusion dans le corps humain, où est-ce qu'elle se situe.

TABEAU 6. *Les fonctions d'un modèle et de la démarche de modélisation*

1. Les modèles sont utiles pour...	Nombre d'enseignants
représenter des phénomènes abstraits	4
expliquer ou comprendre des concepts ou des phénomènes scientifiques	4
prédire des phénomènes scientifiques	3
résoudre des problèmes mathématiques	1
2. La démarche de modélisation est utile pour...	
développer la compréhension des savoirs disciplinaires en S & T	4
démontrer la compréhension des savoirs disciplinaires en S & T	5
développer la pensée réflexive (se questionner, réfléchir, confronter ses hypothèses à celles de ses pairs, etc.)	3
développer la capacité de s'organiser	3
faire des manipulations en sciences	1

Les modèles servent à expliquer ou à comprendre des concepts ou des phénomènes scientifiques autour de nous. Comme l'illustrent les exemples d'extraits suivants, Carmen utilise des modèles graphiques en astronomie pour amener ses élèves à comprendre les cycles solaires et Nathalie utilise le modèle de la cloche en biologie pour amener ses élèves à comprendre la relation entre la pression et le volume dans les poumons.

Carmen : En astronomie, la modélisation se fait à partir du cycle du soleil : on observe sur des cartes des taches solaires et on dégage le cycle en fonction du nombre de taches solaires. Donc, c'est un modèle un peu plus graphique qui m'amène à comprendre le cycle.

Nathalie : Dans la respiration, il y a toujours *la cloche qui montre les poumons*, les ballons qui gonflent. On peut utiliser *une cloche sous vide pour montrer l'effet des pressions*, quelque chose comme ça.

Une autre caractéristique qui a été attribuée aux modèles par certains enseignants est que les modèles ont une fonction de prédiction ($N = 3$). Cette fonction des modèles a été soulevée plus particulièrement pour les modèles mathématiques. À titre d'exemple, Nathalie utilise les modèles mathématiques environnementaux afin de faire des prédictions sur le réchauffement climatique.

Nathalie : Avec le *modèle mathématique*, c'est un peu ce principe-là. C'est un peu le principe que quand tu arrives, par exemple, en environnement... on sort des graphiques de réchauffement *pour être capable de prédire* un peu que ça peut être en augmentation.

Quant à la démarche de modélisation, les deux principales fonctions qui lui sont associées par la majorité des enseignants sont le développement ($N = 4$) et la démonstration ($N = 5$) de la compréhension des savoirs disciplinaires à l'étude. Pour Nathalie, le recours à une démarche de modélisation permet aux élèves de développer leur compréhension des concepts scientifiques.

Nathalie : C'est là qu'on le comprend, le concept, parce qu'il a fallu se l'approprier, puis le rendre plus simple *en utilisant un modèle plus simple*.

Pour Luc, l'engagement des élèves dans une démarche de modélisation est une occasion pour eux de démontrer leur compréhension des concepts technologiques.

Luc : Souvent, en adaptation scolaire, on fait beaucoup de *conceptions technologiques*. Ce que j'aime bien faire avec les élèves, c'est avant que l'on commence la construction, ils doivent absolument me créer un schéma, *m'expliquer ce qui leur passe par la tête*, parce que finalement, le schéma, on ne se le cachera pas, il est difficile à comprendre... Ils vont essayer et après ça, ils doivent *m'expliquer comment fonctionne leur système de poulies* pour faire actionner une lumière.

Enfin, certains d'entre eux rapportent que la démarche de modélisation permet aux élèves de développer leur pensée réflexive ($N = 3$), leur capacité de s'organiser ($N = 3$), ou encore qu'elle permet de faire des manipulations en sciences ($N = 1$).

SYNTHÈSE ET DISCUSSION

Les résultats de cette étude montrent que si les enseignants sont en mesure de donner plusieurs exemples de modèles en sciences, ils ont de la difficulté à décrire les principaux attributs qui permettent de les caractériser. La représentation simplifiée d'une entité du monde réel, laquelle est le plus souvent associée à un objet physique, et le caractère évolutif des modèles sont les deux principales caractéristiques des modèles évoquées par les enseignants. Parmi les quatre caractéristiques des modèles retenues dans le cadre conceptuel, deux

n'ont pas été rapportées par les enseignants : la multiplicité des modèles et leur position intermédiaire entre la théorie et le phénomène. Les modèles physiques sont de loin ceux qui représentent le plus ce qu'est un modèle en sciences, alors que les modèles mathématiques sont exclus des modèles scientifiques, soit parce qu'ils sont étroitement associés à la pure réalité, soit parce qu'ils sont simplement considérés comme des outils ou des techniques de mathématiques qui permettent de visualiser des objets en sciences. Quant aux attributs utilisés par les enseignants pour décrire ce qu'est une démarche de modélisation, ils sont essentiellement reliés à la phase expérimentale de la démarche, en ce sens que la démarche doit amener les élèves à construire, tester et réviser un modèle. Ce n'est qu'une minorité d'entre eux qui ont souligné l'importance de présenter une « amorce » au début de la démarche afin de solliciter l'engagement intellectuel des élèves. La description qu'ils font de cette amorce ne fait pas référence aux habiletés intellectuelles que les élèves doivent mobiliser lors de la phase de problématisation, par exemple analyser une mise en situation, décoder des informations, identifier un problème précis et une ou des question(s) de recherche. Comme c'est le cas pour les modèles, les enseignants ont de la difficulté à décrire les principaux attributs qui permettent de caractériser ce qu'est une démarche de modélisation. Les réponses obtenues à cette question témoignent par ailleurs de la présence de confusion entre la démarche de modélisation et d'autres objets disciplinaires du programme de S & T.

Du point de vue des justifications évoquées par les enseignants de recourir aux modèles en classe, notre analyse met en évidence la fonction pédagogique qu'accordent les enseignants aux modèles. En leur attribuant essentiellement les fonctions de représentation et d'explication des phénomènes, les modèles n'ont d'intérêt que s'ils permettent d'approfondir la compréhension des élèves en lien avec les savoirs conceptuels en jeu. Si le pouvoir explicatif des modèles est mis en évidence, celui de prédiction des phénomènes reste en marge de la démarche de modélisation. Quant aux deux principales justifications évoquées par les enseignants de recourir à la démarche de modélisation en classe, ce sont le développement et la démonstration de la compréhension des savoirs conceptuels (concepts et modèles) qui ressortent de leur discours.

CONCLUSION

L'objectif de cette étude exploratoire était de décrire la manière avec laquelle des enseignants québécois des S & T du secondaire conçoivent les modèles et la modélisation dans leur enseignement. L'analyse de leurs pratiques d'enseignement sous l'angle de deux dimensions (la dimension épistémologique et la dimension fonctionnelle) montre que même si les modèles et la modélisation font partie des composantes fondamentales d'enseignement et d'apprentissage des programmes de S & T au secondaire, les enseignants ont une compréhension partielle de ces objets d'étude. Les résultats de cette étude rejoignent en grande

partie ceux rapportés dans des études antérieures (Crawford et Cullin, 2004 ; Justi et Gilbert, 2002, 2003 ; Smit et Finegold, 1995 ; Van Driel et Verloop, 1999) et soulignent une fois de plus la nécessité de concevoir et mettre en place des dispositifs de formation visant le développement des compétences professionnelles des enseignants pour l'enseignement de ces objets d'étude, comme c'est le cas ailleurs dans le monde (Crawford et Cullin, 2004 ; Danusso, Testa et Vicentini, 2010 ; Schwarz et Gwekwerere, 2007). La mise en place de tels dispositifs permettrait, à tout le moins, de combler le peu de clarifications fournies aux enseignants sur les fondements didactiques liés aux modèles et à la modélisation dans les récents programmes de S & T au secondaire.

Soulignons que cette étude présente plusieurs limites sur le plan méthodologique. La stratégie d'échantillonnage qui est basée sur le volontariat et la faible taille de l'échantillon exclut toute possibilité de généraliser les résultats obtenus. Une étude similaire pourrait être réalisée sur un échantillon de plus grande taille de manière à être en mesure de généraliser les résultats. Malgré ses limites, cette étude ouvre la voie sur d'autres perspectives de recherche, par exemple, celle d'explorer les pratiques d'enseignement des modèles et de la modélisation chez les enseignants sous l'angle de la dimension opérationnelle (comment s'opérationnalisent les modèles et la modélisation dans les pratiques d'enseignement des enseignants ?) et de la dimension organisationnelle (quels sont les conditions, les contraintes, les défis et les difficultés que ces enseignants associent à l'enseignement et l'apprentissage des modèles et de la modélisation ?).

NOTES

1. Ce texte s'intéresse à la question des modèles et de la modélisation plus particulièrement dans les disciplines scientifiques (biologie, chimie, physique, etc.) enseignées à l'école. Les auteurs auxquels nous référons dans le cadre conceptuel ont contribué largement à la réflexion sur les modèles et la modélisation dans les sciences biologiques (Orange, 1997) ou physiques (Martinand, 1992, 1994 ; Robardet et Guillaud, 1997 ; Tiberghien, 1994). Ce n'est pas par hasard que le mot « science » est très peu associé au mot « technologie » dans le texte, sauf dans le cas où nous référons au domaine « science et technologie » des programmes d'étude du MELS ce domaine regroupant plusieurs disciplines scientifiques et technologiques. Les questions du guide d'entrevue sont également formulées explicitement en lien avec le domaine des sciences.
2. Traduction libre : « The core of scientific theory is not constituted by a set of axioms or laws but by a set of models » (Sanmarti, 2002, p. 45).
3. Alors que le MELS désigne la discipline « science et technologie » au singulier, nous préférons utiliser le pluriel pour désigner « les sciences et les technologies » du fait qu'il existe plusieurs sciences et plusieurs technologies.
4. Cette démarche est spécifiée explicitement dans les programmes de sciences et technologies du deuxième cycle du secondaire.
5. Traduction libre : « a representation of an idea, object, event, process, or system » (Justi et Gilbert, 2000, p. 994).
6. Traduction libre : « When we need to represent the same pattern with different levels of precision we have to resort to different models belonging to different scientific theories within or without the same paradigm » (Halloun, 2006, p. 44).

7. Le champ théorique comprend les concepts constitutifs d'un modèle (et par le fait même, des théories) qui sont généralement reliés ou définis les uns par rapport aux autres par des relations posées axiomatiquement, des principes, des règles, des théorèmes ou des lois (Robardet et Guillaud, 1997).
8. Le champ empirique est constitué de l'ensemble des objets expérimentaux (protocoles, montages, appareils de mesure, etc.), des objets physiques (ex. : cellule, lumière, etc.) et des actions réalisées sur ces objets (Robardet et Guillaud, 1997).
9. Traduction libre : « gained acceptance by a community of scientists following formal experimental testing » (Gilbert, Boulter et Elmer, 2000, p. 12).
10. Le débat de classe est considéré ici non comme une composante fondamentale de la démarche de modélisation constructiviste, mais plutôt comme une approche pédagogique permettant de faciliter le recours à cette démarche.

RÉFÉRENCES

- Astolfi, J. P., Darot, E., Ginsburger-Vogel, Y. et Toussaint, J. (1997). *Mots clés de la didactique des sciences : repères, définitions, bibliographie*. Paris, FR : De Boeck.
- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique : contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*. Paris, FR : Vrin.
- Bachelard, S. (1979). Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles. Dans P. Delattre et M. Thellier (dir.), *Élaboration et justification des modèles* (pp. 3-19). Paris, FR : Maloine S.A.
- Bailer-Jones, D. M. (2002). Scientists' thoughts on scientific models. *Perspectives on Science*, 10(3), 275-301.
- Bardin, L. (2007). *L'analyse de contenu*. Paris, FR : Presses universitaires de France.
- Besson, U. (2010). Calculating and understanding : Formal models and causal explanations in science, common reasoning and physics teaching. *Science & Education*, 19(3), 225-257.
- Bunge, M. (1973). *Method, model, and matter*. Dordrecht, NL : Reidel.
- Bunge, M. (1974-1989). *Treatise on basic philosophy* (Vols. 1-8). Dordrecht, NL : Reidel.
- Canguilhem, G. (1968). *«Modèles et analogies dans la découverte en biologie», études d'histoire et de philosophie des sciences*. Paris, FR : Vrin.
- Chittleborough, G. D., Treagust, D. F., Mamiala, T. L. et Mocerino, M. (2005). Students' perceptions of the role of models in the process of science and in the process of learning. *Research in Science & Technological Education*, 23(2), 195-212.
- Chomat, A., Larcher, C. et Méheut, M. (1992). Modèle particulière et démarches de modélisation. Dans J. L. Martinand (dir.), *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences* (p. 119-169). Paris, FR : INRP.
- Crawford, B. A. et Cullin, M. J. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modelling in science. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1379-1401.
- Damska, I. (1959). Le concept de modèle et son rôle dans les sciences. *Revue de synthèse*, 30, 39-51.
- Danusso, L., Testa, I. et Vicentini, M. (2010). Improving prospective teachers' knowledge about scientific models and modelling : Design and evaluation of a teacher education intervention. *International Journal of Science Education*, 32(7), 871-905.
- Drouin, A. M. (1988). Le modèle en question. *Aster*, 7, 1-20.
- Fabre, M. (1999). *Situations-problèmes et savoir scolaire*. Paris, FR : PUF.
- Giere, R. N. (2004). How models are used to represent reality. *Philosophy of Science*, 71, 742-752.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. et Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. Dans J. Gilbert et C. Boulter (dir.), *Developing models in science education* (pp. 3-18). Dordrecht, NL : Kluwer.

- Grosslight, L., Unger, C. et Jay, E. (1991). Understanding models and their use in science : Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799-822.
- Halloun, I. A. (2006). *Modeling theory in science education*. Dordrecht, NL : Kluwer Academic.
- Hasni, A. (2007). *Guide d'entrevue destiné aux enseignants du primaire et du secondaire sur la conceptualisation et la modélisation en sciences*. Rapport inédit, Centre de recherche sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada.
- Hasni, A. et Samson, G. (2007). Développer les compétences en gardant le cap sur les savoirs. Première partie : Place de la problématisation dans les démarches à caractère scientifique. *Spectre*, 37(2), 26-29.
- Hasni, A. et Samson, G. (2008). Développer les compétences en gardant le cap sur les savoirs. Deuxième partie : La diversité des démarches à caractère scientifique et leurs liens avec les savoirs disciplinaires. *Spectre*, 37(3), 22-25.
- Hasni, A. (2010). Modèles et modélisation en enseignement scientifique : Quelques aspects prioritaires à considérer. *Spectre*, 40(1), 10-13.
- Hasni, A., Roy, P., Franc, S. et Dumais, N. (2011). L'enseignement et l'apprentissage de la diffusion et de l'osmose au secondaire : étude de cas. Dans A. Hasni, H. Squalli, A. Bronner, et M.-T. Nicolas (dir.), *La classe de sciences, mathématiques et technologies comme objet d'étude : quels problèmes, cadres de références et méthodologies et pour quels résultats ? Actes des Troisièmes Rencontres scientifiques universitaires Sherbrooke-Montpellier* (p. 4-25). Consulté à partir : http://www.creas.ca/creas_publication/lenseignement-et-lapprentissage-de-la-diffusion-et-de-l-osmose-au-secondaire-etude-de-cas/
- Henze, I., van Driel, J. H. et Verloop, N. (2007). Science teachers' knowledge about teaching models and modelling in the context of a new syllabus on public understanding of science. *Research in Science Education*, 37(2), 99-122.
- Johsua, S. et Dupin, J.-J. (1989). *Représentations et modélisations. Le débat scientifique dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne, CH : Peter Lang.
- Johsua, S. et Dupin, J.-J. (2003). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, FR : Presses universitaires de France.
- Justi, R. et Gilbert, J. (2000). History and philosophy of science through models : Some challenges in the case of the atom. *International Journal of Science Education*, 22(9), 993-1009.
- Justi, R. S. et Gilbert, J. K. (2003). Teachers' views on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1369-1386.
- Justi, R. S. et Gilbert, J. K. (2002). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1273-1292.
- Kuhn, T. S. (1962). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris, FR : Flammarion.
- Laudan, L. (1977). *La dynamique de la science*. Bruxelles, BE: Mardaga.
- Martinand, J.-L. (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris, FR : INRP.
- Martinand, J.-L. (1994). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris, FR : INRP.
- Martinand, J.-L. (1996). Introduction à la modélisation. Dans *Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques, Cachan 1994-95* (pp. 1-12), Paris, FR : Liaison interuniversitaire pour la recherche en éducation scientifique et technologique.
- Ministère de l'Éducation du Québec. (2004). Programme de formation de l'école québécoise, enseignement secondaire, 1er cycle. Québec, QC : Gouvernement du Québec
- Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport. (2007). Programme de formation de l'école québécoise, enseignement secondaire, 2e cycle. Québec, QC : Gouvernement du Québec.
- Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport. (2009). Programme de physique, enseignement secondaire, 2e cycle. Québec, QC : Gouvernement du Québec.
- Orange, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris, FR : PUF.
- Popper, K. (1971). *La connaissance objective*. Paris, FR : Aubier.

- Robardet, G. (1989). Utiliser des situations-problèmes pour enseigner les sciences physiques. *Collectif recherche-formation en didactique des sciences physiques. IFM université Joseph Fourier Grenoble*, 23, 61-70.
- Robardet, G. (1995). Situations-problèmes et modélisation ; l'enseignement en lycée d'un modèle newtonien de la mécanique. *Didaskalia*, 7, 129-144.
- Robardet, G. (2001). Quelle démarche expérimentale en classe de physique? Notion de situation-problème. *Bulletin de l'union de physiciens*, 95(836), 1173-1190.
- Robardet, G. et Guillaud, J.-C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques*. Paris, FR : Presses Universitaires de France.
- Sanmarti, N. (2002). The cognitive turn in the new philosophy of science. Dans N. Sanmarti (dir.), *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria* (pp. 45-49). Madrid, ES : Síntesis.
- Schwarz, C. V. et Gwewerere, Y. N. (2007). Using a guided inquiry and modeling instructional framework (EIMA) to support preservice K-8 science teaching. *Science Education*, 91(1), 158-186.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D. ... Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling : Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- Smit, J. et Finegold, M. (1995). Models in physics : Perceptions held by final-year prospective physical science teachers studying at South African universities. *International Journal of Science Education*, 17(5), 621-634.
- Suarez, M. (1999). Theories, models, and representations. Dans L. Magnani, N. J. Nersessian et P. Thagard (dir.), *Model-based reasoning in scientific discovery* (pp. 75-99). New York, NY : Kluwer Academic/Plenum Press.
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching – learning situations. *Learning & Instruction*, 4(1), 71-87.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G. et Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-68.
- Van der Maren, J.-M. (1995). *Méthodes de la recherche pour l'éducation*. Montréal, QC : Presses universitaires de Montréal.
- Van Der Valk, T., Van Driel, J. H. et de Vos, W. (2007). Common characteristics of models in present-day scientific practice. *Research in Science Education*, 37(4), 469-488.
- Van Driel, J. H. et Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141-53.
- Van Driel, J. H. et Verloop, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1255-72.
- von Bertalanffy, L. (1973). *Théorie générale des systèmes*. Paris, FR : Dunod (1^{re} éd. 1968).
- Vygotski, L. (1997). *Pensée et langage*. Paris, FR : La Dispute (1^{re} édition 1934)
- Walliser, B. (1977). *Système et modèles*. Paris, FR : Seuil.

PATRICK ROY est professeur HEP en didactique des sciences à la Haute école pédagogique Fribourg (Pädagogische Hochschule Freiburg), en Suisse. Il complète son doctorat au sein du Centre de recherche sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences (CREAS) de l'Université de Sherbrooke, au Canada. Ses principaux intérêts de recherche sont la conceptualisation, la modélisation, les démarches d'investigation scientifique, l'interdisciplinarité et les pratiques d'enseignement d'enseignants du primaire et du secondaire. roy@edufr.ch

ABDELKRIM HASNI est professeur titulaire en didactique des sciences et technologie à l'Université de Sherbrooke. Il est co-titulaire de la Chaire de recherche sur l'intérêt des jeunes à l'égard des sciences et de la technologie et directeur fondateur du Centre de recherche sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences (CREAS). Ses recherches portent sur l'intérêt des élèves pour les sciences, sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences des points de vue didactique et curriculaire, sur les approches intégratives (par projets et interdisciplinaires) et sur les pratiques d'enseignement. a.hasni@usherbrooke.ca

PATRICK ROY is a professor in science education at the Haute école pédagogique Fribourg (Pädagogische Hochschule Freiburg) in Switzerland. He is currently completing his PhD in education at the Centre de recherche sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences (CREAS) at the Université de Sherbrooke in Canada. His main research interests include conceptualization, modeling, approaches to scientific inquiry, interdisciplinarity and teaching practices of teachers in primary and secondary schools. roy@edufr.ch

ABDELKRIM HASNI is a full professor of science education at the Université de Sherbrooke. Co-chair of the *Chaire de recherche sur l'intérêt des jeunes à l'égard des sciences et de la technologie* (CRIJEST), he is also the founder of the *Centre de recherche sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences* (CREAS). His research interests include interests in S&T, science curriculum, teaching methods, integrative approaches (interdisciplinary and project-based teaching), and teacher training. a.hasni@usherbrooke.ca

