

# ÉVALUER LA MODÉLISATION INFORMATIQUE AVEC UNE APPROCHE INTERDISCIPLINAIRE

| LECOMPTE\* GABRIEL

**Résumé** | Ce texte explore la définition des concepts de modèle et de démarche de modélisation à travers trois disciplines : la mathématique, l'informatique et la science et la technologie. Les textes relevés permettent de distinguer les similitudes des concepts de modèle et de modélisation à travers ces disciplines, mais aussi d'en comprendre les distinctions. Des méthodes pour évaluer le modèle et les compétences de modélisation sont abordées.

**Mots-clés** : programmation informatique, modélisation, science et technologie, évaluation, interdisciplinarité

**Abstract** | This text explores the definition of the concept of models and modelling approaches across three disciplines: mathematics, computer science, and science and technology. The targeted texts identify the similarities of the concepts of model and modelling across these disciplines and to understand the distinctions. Then, methods for evaluating the model and modelling skills are discussed.

**Keywords**: Coding, modelling, science education, evaluation, interdisciplinarity

## I. LA PLACE DE LA MODÉLISATION INFORMATIQUE À L'ÉCOLE

Avec l'incorporation d'initiatives telles que le Plan d'action du numérique (Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur, 2018) et l'ajout d'un cours de programmation informatique dans le programme collégial des Sciences de la nature, l'enseignement de la programmation informatique prend de plus en plus d'ampleur au Québec (Ministère de l'Enseignement supérieur, 2021). La programmation est un terrain fertile à l'interdisciplinarité entre le domaine de la mathématique et celui de la science et la technologie (ST), car elle permet de mobiliser des notions de ces deux domaines pour concevoir un programme informatique. L'informatique peut aussi permettre de travailler des savoirs mathématiques et scientifiques à l'aide des outils qui lui sont propres. La démarche de modélisation se prête bien à cette interdisciplinarité. De plus, elle permet d'aborder les savoirs mathématiques dans un contexte proche du travail des scientifiques utilisant la programmation.

Cette communication s'inscrit dans le cadre de ma recherche doctorale. La communication cherche à circonscrire, le concept de modèle, l'activité de modélisation et son évaluation en informatique en mobilisant des recherches provenant des domaines de la mathématique, de la ST et de l'informatique. Ainsi, ce travail s'inscrit dans le domaine de la didactique et les textes sur lesquels il s'appuie sont issus du champ des sciences de l'éducation<sup>1</sup>.

Les textes présentés dans ce qui suit ont d'abord été récoltés à l'aide de mots-clés sur plusieurs bases de données francophones et anglophones. À partir de ces textes, d'autres articles ont été répertoriés pour comprendre les définitions proposées, entre autres en examinant les références des textes bibliographiques d'abord sélectionnés. En raison de l'espace imparti pour ce texte et du champ

---

\* Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR) – Canada – [gabriel.lecompte@uqtr.ca](mailto:gabriel.lecompte@uqtr.ca)

<sup>1</sup> Ainsi, les définitions propres à des domaines spécifique de l'informatique, des mathématiques ou de la science n'ont pas été discuté. Par exemple, les définitions en lien avec la théorie des ensembles, la théorie des modèles et la théorie des catégories en mathématique ou encore la définition d'un modèle d'intelligence artificielle en informatique n'est, elle non plus, pas abordée ici.

d'expertise de l'auteur (en didactique de la science et de la technologie plus qu'en didactique des mathématiques ou de l'informatique), la recension ne vise pas l'exhaustivité.

Selon le domaine, le concept de modèle revêt des définitions somme toute similaires, mais des particularités disciplinaires sont relevées. Ainsi, cette proposition comparera les manières dont on conçoit le modèle en mathématique, en ST et en informatique – toujours lorsqu'il en est question en éducation – pour en relever les similitudes et les divergences. Puis, en s'appuyant sur une revue de la littérature sur les approches évaluatives de la modélisation, cet article proposera des pistes pour l'évaluation de modèles informatiques réalisés par les élèves en s'appuyant sur les approches utilisées dans les écrits.

## II. QU'EST-CE QU'UN MODÈLE ET UNE MODÉLISATION ?

Dans la section qui suit, les définitions des modèles et des différentes démarches de modélisation en mathématique, en informatique et en ST seront présentées. Par la suite, une comparaison de ces trois disciplines sera dressée.

### 1. *Modèles et modélisations mathématiques*

Un modèle mathématique est une traduction d'un phénomène du monde réel à l'aide du langage mathématique pour pouvoir tirer des conclusions sur le monde réel à l'aide d'outils mathématiques (Niss, Blum et Galbraith, 2007). Pour Chevallard (1989), la modélisation mathématique est l'étude d'objets extra-mathématiques, par exemple des systèmes physiques, biologiques et sociaux à l'aide des mathématiques. Selon lui, le processus de modélisation comprend un système qui peut être mathématique ou non et un modèle mathématique de ce système. Bien que selon Chevallard, la modélisation d'éléments intra-mathématiques est aussi possible, cet article traitera seulement de la modélisation de systèmes extra-mathématiques en raison de leur proximité conceptuelle avec les autres modélisations présentées. La modélisation mathématique suit trois étapes. D'abord, le système est analysé afin de faire ressortir ses aspects pertinents. Ces aspects seront identifiés en tant que variables. Ensuite, un modèle est produit en établissant des relations entre ces variables. Finalement, le modèle obtenu est travaillé à l'aide de notions mathématiques afin de produire des connaissances sur le système prenant la forme de nouvelles relations mathématiques (Chevallard, 1989). Dans ce contexte, la mathématisation représente la traduction en éléments mathématiques des aspects importants du système. Kuzniak (2024) explique que le processus de mathématisation peut prendre une forme plus dynamique, comme avec le courant de la *Realistic Mathematics Education* (RME). Ce processus amène l'élève à réinventer progressivement les concepts mathématiques à partir d'une situation réelle, ou avec le courant des *Espaces de travail mathématique*, où la mathématisation est présente dans la représentation symbolique, le choix des outils mathématiques et la construction de la preuve mathématique.

Pour Greer et Verschaffel (2007), il existerait deux types de modélisation mathématique présentant des complexités différentes. D'abord, la modélisation implicite serait l'activité routinière de résolution de problèmes stéréotypés basée sur des modèles existants, qui est demandée aux élèves alors qu'ils doivent appliquer des méthodes de résolution de problèmes à des problèmes scolaires. Ils contrastent cette modélisation avec la modélisation explicite, qui demande plutôt à l'élève de résoudre des problèmes plus authentiques dans lesquels les apprenants sont amenés à réfléchir à l'activité de modélisation et à ses contraintes sociales. Les éléments suivants peuvent être considérés durant la création du modèle : les buts de la modélisation, les outils et l'aide disponibles, ou encore les débats entourant le choix du modèle. À la suite de la modélisation, l'élève peut aussi avoir à réfléchir à la communication de l'interprétation de son modèle à un public cible. La modélisation explicite propose

donc un enseignement qui dépasse l'application d'un modèle existant, mais qui considère la création et la critique d'un modèle.

## 2. Modèles et modélisations scientifiques

En ST, la définition du modèle est plus large. Comme le proposent Harrison et Treagust (2000), dans le cadre de l'enseignement de la ST, le concept de modèle peut revêtir plusieurs formes et fonctions, comme l'illustre le Tableau 1.

**Tableau 1 – Topologie des modèles scientifiques selon Harrison et Treagust (2000)<sup>2</sup>**

Types de modèle	Définition	Exemples
Modèles matériels	Représentation proportionnelle des formes, des structures et des couleurs d'un objet.	Modèle réduit d'un pont ou maquette d'une cellule animale
Modèles pédagogiques analogiques	Analogie concrète ou abstraite partageant des informations avec le concept qu'il représente. Cette catégorie de modèle comprend les représentations symboliques, les modèles mathématiques et les modèles concept-processus.	L'analogie du courant d'un fluide pour le courant électrique
Modèles iconiques et symboliques	Représentation symbolique ou iconique qui permet de communiquer ou d'expliquer un concept scientifique.	$\text{CO}_2$ ou $\text{C}=\text{O}=\text{C}$ pour le dioxyde de carbone
Modèles mathématiques	Des équations ou des graphiques permettant de décrire la relation entre des concepts du monde réel dans des conditions idéales (par exemple en négligeant le frottement dans le calcul de force)	L'équation $F = ma$ ou le diagramme de phase de l'eau
Modèles théoriques	Modèle décrivant une entité théorique soutenu par un argumentaire logique auquel sont rattachées des explications.	Le modèle de la théorie cinétique des gaz <sup>3</sup> , les lignes de champ magnétique
Cartes, diagrammes et tableaux	Représentation qui permet à l'élève de visualiser des motifs, des chemins ou des relations.	Une carte météorologique, un arbre phylogénétique ou le tableau périodique des éléments
Modèles concepts-processus	Représentation de processus plutôt que d'objet ou une relation.	La théorie de Brønsted-Lowry pour expliquer les réactions entre acides et bases.
Simulations	Représentation dynamique de processus complexes. Ces modèles permettent aux apprenants et chercheurs de développer des compétences sans nécessiter beaucoup de ressources et en minimisant les risques. Ce type de modèle comprend aussi les simulations informatiques.	Une simulation d'aérodynamisme ou une simulation de fluctuation de population

<sup>2</sup> Les exemples sont parfois tirés de Harrison et Treagust (2000) ou ont été ajoutés par l'auteur afin de fournir des exemples plus adaptés au système éducatif québécois. La traduction de Roy (2018) est utilisée dans un but de cohérence dans les recherches en français. Cependant, les traductions de la première et dernière catégorie du tableau ont été modifiées. La traduction de modèle matériel a été préférée à celle de Roy (modèle à l'échelle), puisque l'expression « à l'échelle » réfère à un sujet de même grandeur, alors que les modèles peuvent être une représentation agrandie ou réduite du référent, ou même qui n'en respecte pas les proportions initiales, comme dans le cas classique des représentations du système solaire. En ce qui concerne la simulation, Roy proposait « simulation informatique », alors qu'Harrison et Treagust expliquent que la catégorie des simulations peut inclure la réalité virtuelle. Par exemple, des simulations peuvent être réalisées de manière physique, comme c'est le cas de la rivière expérimentale du Complexe de recherche multi-échelle en hydrologie, hydraulique et environnement (Université de Sherbrooke, 2024).

<sup>3</sup> Ce modèle est la représentation simplifiée des atomes comme étant des billes de volume négligeable seulement influencé par les collisions entre ces particules ou avec les parois du contenant.

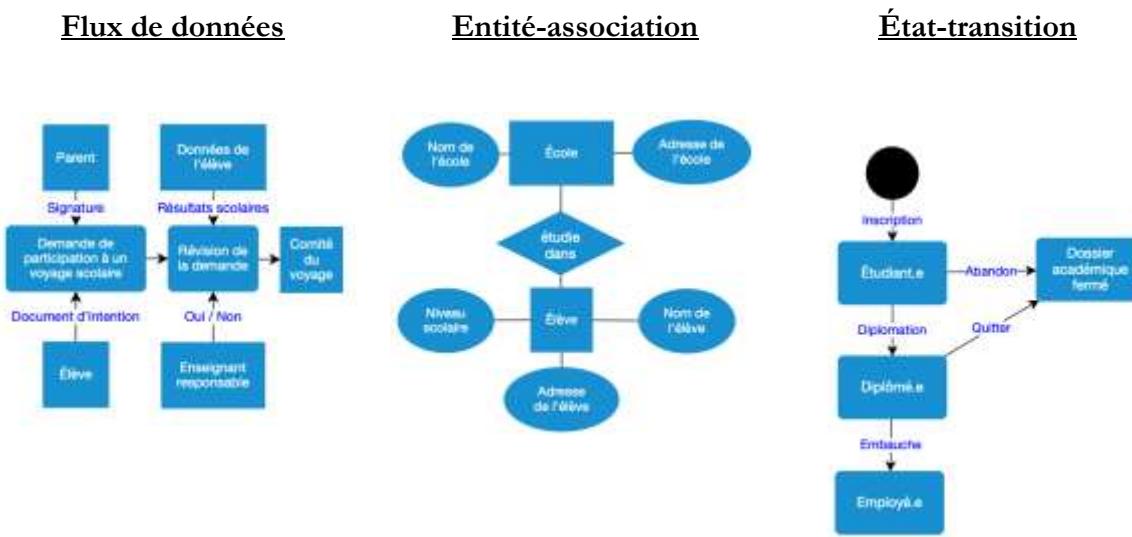
Ces auteurs différencient dix types de modèles qu'ils divisent en quatre catégories. Les modèles scientifiques et pédagogiques (en vert) sont utilisés durant l'appropriation des connaissances. Ils permettent une comparaison entre des concepts proches de la réalité de l'élève et des apprentissages à réaliser. La catégorie des modèles pédagogiques analogiques (en blanc) comprend les modèles qui permettent à l'élève de construire un apprentissage conceptuel. Ces modèles peuvent être utilisés par l'élève pour résoudre des problèmes ou proposer des explications. La catégorie des modèles représentant plusieurs concepts ou procédés (en bleu) comprend la représentation de phénomènes complexes comme des procédés, des relations et des simulations. Harisson et Treagust (2000) proposent également une catégorie comprenant les modèles mentaux et les modèles synthétiques qui, bien qu'ils soient pertinents pour analyser l'apprentissage des élèves, ne sont pas manipulés par les élèves, donc ne seront pas discutés dans ce texte.

Face à ces différents types de modèles, Roy (2018) propose cinq caractéristiques de modèles scientifiques. Premièrement, ce sont des représentations simplifiées du monde réel. Deuxièmement, ce sont des outils de pensée agissant en tant qu'intermédiaire entre le monde théorique et le monde empirique pour la représentation, la description, l'explication et la prédition des phénomènes. Troisièmement, un modèle peut être représenté par une grande diversité de registres de représentation sémiotique, c'est-à-dire qu'ils peuvent prendre des formes variées comme l'objet matériel, la représentation algébrique, l'animation, l'analogie, etc. Quatrièmement, un modèle peut représenter plusieurs référents, et plusieurs modèles peuvent représenter le même référent. Cinquièmement, les modèles peuvent être révisés.

Cette dernière caractéristique est importante dans la démarche de modélisation constructiviste proposée par Roy (2018). Ce processus est organisé autour de 4 étapes : 1) la création, c'est-à-dire la problématisation d'un phénomène ouvert et complexe et la réflexion à un modèle explicatif ; 2) la planification d'une validation de ce modèle explicatif ; 3) la mise à l'essai du modèle et 4) l'utilisation du modèle pour proposer des solutions au problème de base. Ces étapes sont réalisées de manière collective, ce qui permet de mettre à l'épreuve les modèles mis en place par l'argumentation. Cette démarche constructiviste ressemble au travail des scientifiques actuels, par exemple, lorsqu'on pense au modèle météorologique *Canadian Earth System Model*, qui est le fruit d'efforts collaboratifs de plusieurs laboratoires partageant leur expertise et leurs données pour améliorer ce modèle de simulation (Seinen et Kushner, 2024).

### 3. Modèle et modélisation informatique

Issu du domaine de l'informatique, le modèle informatique partage des caractéristiques avec les modèles mathématiques et scientifiques. Butterfield et Ekembe Ngondi (2016) proposent qu'un modèle soit une représentation simplifiée d'un référent. Ils ajoutent qu'en informatique, les modèles sont généralement abstraits et représentés sous forme de diagrammes. Par exemple, un diagramme de flux de données peut être utilisé en conception fonctionnelle ; un diagramme d'entité-association pour une organisation de données et un diagramme d'état-fonction peut être utilisé pour représenter un comportement désiré par le logiciel (Butterfield et Ekembe Ngondi, 2016). La figure 1 propose des exemples de ces diagrammes en lien avec le milieu scolaire pour illustrer leur fonctionnement. Pour Weintrop et ses collègues (2016), une autre caractéristique des modèles informatiques (*computational models*) est qu'ils sont des représentations non statiques de phénomènes qu'il est possible de simuler à l'aide d'un ordinateur. Ces auteurs soulignent que l'avantage pédagogique de ce type de modèles est que l'élève est en mesure de concevoir, de construire et de tester son propre modèle (Weintrop et al., 2016).



**Figure 1 – Exemple de types de digrammes utilisés en informatique**

Dans le contexte de l'informatique, la modélisation a pour objectif de représenter un référent dans un but spécifique, par exemple pour le décrire, le comprendre ou en déduire ses propriétés (Butterfield et Ekembe Ngondi, 2016). Cette démarche est réalisée par la simplification, l'idéalisation ou l'abstraction et oriente le type de représentation adoptée et les manières d'exprimer les propriétés sélectionnées du référent (Butterfield et Ekembe Ngondi, 2016).

#### 4. Comparaison du concept de modèle et de la modélisation à travers ces disciplines

En somme, il est possible de constater des caractéristiques communes du concept de modèle dans les trois disciplines. Pour chacune d'entre elles, la modélisation est une représentation simplifiée d'un référent.

Cependant, les types de représentation et les démarches mises en place pour atteindre ces représentations varient. Les modèles mathématiques sont représentés à l'aide d'expressions, d'équations ou de notations symboliques propres à cette discipline. Un modèle scientifique, pour sa part, peut prendre une grande variété de modes de représentation incluant le modèle mathématique et le modèle informatique. Les modèles informatiques sont non statiques et sont généralement représentés sous forme de diagrammes.

Aussi, la définition du modèle scientifique, étant très large, englobe les modélisations des deux autres disciplines. On constate que les modèles présents dans les trois disciplines peuvent être en relation. Par exemple, une ou un élève pourrait concevoir un modèle informatique de simulation des populations d'un écosystème en s'appuyant sur un modèle mathématique de croissance exponentielle et afficher une carte de densité de population, un modèle scientifique. Cette relation permet d'entrevoir une possibilité de travail de ces concepts en parallèle.

Les disciplines placent différentes notions au centre de la démarche de modélisation. Pour la modélisation mathématique, le concept de mathématisation, soit la traduction en termes mathématiques des propriétés du référent, est au cœur de la démarche. Pour la modélisation scientifique, la validation revêt une place importante. La validation est planifiée juste après avoir proposé un modèle explicatif. Ainsi, la validation arrive tôt dans le processus de modélisation scientifique afin de prévoir avant même la réalisation du modèle les critères qui permettront de s'assurer qu'il est valide. Cette étape peut impliquer d'autres personnes dans la démarche. Cette étape est

comparable aux débats entourant le choix du modèle dans la modélisation explicite en mathématique. Cependant, en ST, la réflexion sur la validité du modèle arrive avant la réalisation du modèle alors qu'en mathématique, cette étape survient après la création du modèle. Pour la modélisation informatique, les concepts d'abstraction, de simplification et d'idéalisation prennent une place primordiale dans la démarche de modélisation. Ainsi, cette démarche a pour but de représenter un référent comme une abstraction ou une collection d'abstractions de manière schématisée en ne conservant que les caractéristiques (comportement, fonction, données, etc.) qui sont essentielles.

### III. ÉVALUER UN MODÈLE ET L'ACTIVITÉ DE MODÉLISATION

Cette section propose des pistes d'évaluation de la modélisation et des modèles créés en mathématique, en science et technologie et en informatique.

#### 1. *Pistes d'évaluation en mathématique*

Deux approches d'évaluation de la modélisation mathématique ont été relevées. Une approche cible le niveau d'habileté à réfléchir au modèle et l'autre vise à évaluer des habiletés de modélisation. La première approche, celle de Henning et Keune (2007), propose trois niveaux de développement des compétences de modélisation explicite. Dans le premier niveau, l'élève est en mesure de reconnaître et de décrire un processus de modélisation existant et d'en identifier et d'en caractériser les différentes phases. Dans le deuxième niveau, l'apprenant est en mesure de réaliser seul les différentes tâches relatives à la modélisation, c'est-à-dire qu'il est capable d'analyser et de structurer des problèmes, des quantités abstraites, d'adopter différentes perspectives, de mettre en place les modèles mathématiques ainsi que de les valider. Il est aussi capable d'adapter son modèle à de nouvelles circonstances. Dans le troisième niveau de compétence, l'apprenant est en mesure de réfléchir de manière critique à son modèle et de formuler des critères pour l'évaluer. Il est capable de réfléchir à l'utilité de la modélisation dans la création des savoirs.

La seconde approche vise l'évaluation des activités réalisée dans chacune des phases de la modélisation. Houston (2007) recense diverses listes de critères proposés pour évaluer les élèves lors de tâches de modélisation. Par exemple, la liste du groupe *Assessment Research Group* (ARG) propose vingt critères pour évaluer les élèves durant des processus de modélisation. Parmi ces critères, neuf concernent les aptitudes de communication et onze visent spécifiquement l'activité de modélisation. Les critères que l'élève doit respecter sont les suivants :

**Tableau 2 – Critères proposés par l'Assessment Research group**

- |   |
|---|
| 1. Énoncer les objectifs de la tâche.                           |
| 2. Identifier les principales caractéristiques de la tâche.     |
| 3. Formuler des hypothèses simplificatrices.                    |
| 4. Identifier les variables d'intérêt possibles.                |
| 5. Explorer les relations et développer un modèle mathématique. |
| 6. Énoncer le problème mathématique.                            |
| 7. Trouver une solution.  |
| 8. Interpréter la solution.                                     |
| 9. Valider la solution.   |
| 10. Montrer des preuves de recherche.                           |
| 11. Faire preuve d'initiative, de détermination et de flair.    |

(Source : Haines et Dunthorne, 1996, dans Houston, 2007)

## 2. *Pistes d'évaluation en science et technologie*

En ST, l'évaluation du processus de modélisation n'est pas directement abordée. L'apprentissage de la modélisation scientifique vise plutôt à favoriser l'apprentissage de concepts touchés dans le cadre de la démarche plutôt que le processus lui-même (Chastenay, 2013 ; Chastenay et Guay-Fleurent, 2022). Dans ce cas, la démarche est mobilisée pour créer un contexte de manipulation des concepts scientifiques.

La démarche peut aussi être évaluée par le biais de compétences disciplinaires en appréciant le développement de compétence en lien avec la modélisation. Au niveau secondaire, Talbot et Boissard (2021) proposent des grilles de vérification et des grilles descriptives facilitant l'évaluation de démarches. La liste de vérification est organisée autour des quatre composantes de la compétence 1 qui sont les suivantes (Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur, 2007, p. 14) : « Cerner le problème », « Élaborer un plan d'action », « Concrétiser le plan d'action » et « Analyser les résultats ». Ces critères peuvent donc être utilisés pour évaluer une démarche scientifique comme celle de modélisation.

## 3. *Pistes d'évaluation en informatique*

Louca et ses collègues (2011) ont proposé cinq éléments à observer pour évaluer un modèle informatique élaboré par les élèves. Ces critères sont la représentation de l'objet physique, la représentation des caractéristiques physiques de l'objet, la représentation des interactions entre les composantes du modèle, la représentation des comportements de l'objet ainsi que l'exactitude du phénomène étudié. La modélisation de phénomènes physiques était centrale à cette recherche, mais ces critères pourraient être élargis pour admettre d'autres types de modèle en les remplaçant « objet physique » par « objet modélisé ».

En ce qui a trait à la compétence de modélisation, Magana (2024) propose une échelle du niveau de compétence. Bien que cette proposition s'adresse aux personnes apprenantes de niveau universitaire, le premier niveau de l'échelle nous paraît pertinent pour baliser l'apprentissage de débutant en modélisation. Cette chercheuse propose d'évaluer les manifestations<sup>4</sup> en lien avec quatre pratiques de modélisations. D'abord, les compétences attendues en lien avec la construction d'un modèle sont que l'élève soit en mesure de construire une représentation visuelle des données. Cette représentation peut prendre la forme d'un graphique, d'un tableau ou d'un schéma (Magana, 2024). Aussi, en leur fournissant un modèle mathématique simple, les élèves doivent être en mesure d'identifier les modèles mathématiques (ex. : une équation) correspondant à l'utilisation qu'ils cherchent et d'utiliser les méthodes de programmation adéquates pour représenter les abstractions au moyen de commande dans le code informatique (ex. : formule mathématique, équation, inégalité, conditions). Ensuite, par rapport à l'utilisation du modèle, l'élève doit employer des modèles ou simulations existants pour comprendre, caractériser ou interpréter des données en évaluant les conditions à la limite, en prenant en compte les *patterns* et en identifiant les relations dans les modèles. Puis, les manifestations en lien avec l'évaluation du modèle demandent que l'élève soit en mesure de comparer les résultats de modèles, par exemple ses prédictions, et de simulations avec des expériences ou des théories ainsi que de réaliser des tests concrets pour déterminer la justesse des modèles utilisés. Finalement, les manifestations en lien avec la révision des modèles demandent que l'élève adapte ou développe davantage un modèle simple. Cette adaptation demande de partir d'une situation à une autre, soit en modifiant le code informatique déjà existant ou en modifiant les paramètres du modèle existant.

---

<sup>4</sup> Magana (2024) les nomme « *performances* ».

Aussi, bien qu'ils ne traitent pas exclusivement de modélisation, mais aussi de compétences de programmation, Vasconcelos et Kim (2020) présentent des modalités d'évaluation formatives et sommatives de l'activité de modélisation scientifique en classe d'informatique. Ils proposent quatre modalités d'évaluation formative. D'abord, il y a l'explication basée sur les artefacts, c'est-à-dire que les élèves sont amenés à expliquer comment un concept de programmation est utilisé. Ensuite, les auteurs proposent l'utilisation de terminologie informatique et scientifique. Puis, les commentaires de pairs sur le code sont nommés et, finalement, les stratégies documentées de construction et de débogage lors de la simulation d'un phénomène sont abordées. Les évaluations sommatives que ces auteurs suggèrent sont l'explication de la manière dont le code est utilisé dans un scénario de modélisation scientifique, le débogage de code défectueux pour améliorer une simulation et le transfert de compétences de modélisation scientifique d'un contexte à un autre.

#### *4. Constats pour l'évaluation de la modélisation informatique*

En conclusion, cette contribution permet de baliser les pratiques évaluatives autour de la démarche de modélisation dans les trois disciplines et les approches pour l'évaluer. Ces différentes façons de concevoir l'évaluation de l'activité de modélisation permettent de réfléchir à différentes modalités d'évaluation qui ciblent différentes compétences. En effet, en mathématique, l'évaluation cible davantage la réflexion sur le modèle et le processus de modélisation, alors qu'en informatique, l'évaluation porte plutôt sur le modèle produit par l'apprenant. Dans le contexte de l'évaluation des modèles et de la modélisation en informatique, qui est un domaine encore peu développé, ces propositions permettent de ne pas seulement évaluer des éléments statiques comme un modèle complété ou le niveau de compétence à un certain moment de l'élève. Concrètement, des critères d'évaluation durant l'activité pourraient être intégrés afin de pouvoir fournir des rétroactions à l'élève durant la démarche. Les approches utilisées en mathématique et en ST permettent d'envisager la modélisation comme un processus dynamique dont la démarche peut être segmentée afin d'évaluer le processus de réalisation plutôt que seulement son produit.

Dans les recherches futures, il serait important de réfléchir aux manières dont ces cadres de référence peuvent être appliqués au contexte particulier de l'évaluation de la modélisation en informatique. Par exemple, une spécificité de ce contexte d'évaluation concerne les traces de l'évolution de la démarche de l'élève. Puisque le code informatique est travaillé par l'élève en ajoutant, modifiant ou en supprimant des portions lors du développement et la mise à l'essai du modèle, il sera important de réfléchir à des manières de consigner des ajustements réalisés durant la démarche de modélisation informatique.

### RÉFÉRENCES

- Butterfield, A. et Ekembe Ngondi, G. (2016). *A dictionary of computer science* (7<sup>e</sup> éd.). Oxford University Press.
- Chastenay, P. (2013). *Conception et évaluation d'une intervention didactique à propos des phases de la Lune dans un planétarium numérique* [Thèse de doctorat, Université de Montréal]. Papyrus. <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/9893>

- Chastenay, P. et Guay-Fleurent, F. (2022). Former à l'enseignement de l'astronomie par le biais d'une démarche d'investigation scientifique, d'observation, de modélisation et de vulgarisation : le cas des phases de la Lune. Dans A. Araújo-Oliveira et É. Tremblay-Wragg (dir.), *Des pratiques inspirantes au cœur de la formation à l'enseignement* (p. 69-91). Presses de l'université du Québec. <https://doi.org/10.1515/9782760556430-009>
- Chevallard Y. (1989). Le passage de l'arithmétique à l'algébrique dans l'enseignement des mathématiques au collège. Deuxième partie : perspectives curriculaires : la notion de modélisation. *Petit x*, 19, 43-72.
- Greer, B. et Verschaffel, L. (2007). Modelling competencies - overview. Dans W. Blum, P. L. Galbraith, H. W. Henn et M. Niss (dir.), *Modelling and applications in mathematics education: The 14th ICMI study* (p. 219-224). Springer.
- Harrison, A. G. et Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011–1026.
- Henning, H. et Keune, M. (2007). Levels of modelling competencies. Dans W. Blum, P. L. Galbraith, H. W. Henn et M. Niss (dir.), *Modelling and applications in mathematics education: The 14th ICMI study* (p. 225-232). Springer.
- Houston, K. (2007). Assessing the “phases” of mathematical modelling. Dans W. Blum, P. L. Galbraith, H. W. Henn et M. Niss (dir.), *Modelling and applications in mathematics education: The 14th ICMI study* (p. 249-256). Springer.
- Kuzniak, A. (2024). Enseignement de la modélisation mathématique et construction du travail mathématique : une dynamique problématique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, (Numéro spécial), 91-110.
- Louca, L. T., Zacharia, Z. C., Michael, M. et Constantinou, C. P. (2011). Objects, entities, behaviors, and interactions: A typology of student-constructed computer-based models of physical phenomena. *Journal of Educational Computing Research*, 44(2), 173-201.
- Magana, A. J. (2024). *Teaching and learning in STEM with computation, modeling, and simulation practices: A guide for practitioners and researchers*. Purdue University Press.
- Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur. (2007). *Programme de formation de l'école québécoise. Domaine de la mathématique, de la science et de la technologie*. Gouvernement du Québec.
- Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur. (2018). *Plan d'action numérique en éducation et en enseignement supérieur*. Gouvernement du Québec.
- Ministère de l'Enseignement supérieur (2021). *Sciences de la nature (200.B1)*. Bibliothèque et Archives nationales du Québec.
- Niss, M., Blum, W et Galbraith, P. (2007). Introduction. Dans W. Blum, P. L. Galbraith, H. W. Henn et M. Niss (dir.), *Modelling and applications in mathematics education: The 14th ICMI study* (p. 3-32). Springer.
- Roy, P. (2018). *Modèles et modélisation en physique dans les pratiques d'enseignement d'enseignants québécois du secondaire : le cas de la cinématique* [Thèse de doctorat, Université de Sherbrooke].
- Seinen, C. et Kushner, P. (2024, 3 juin). *7030 collaborative earth system modelling in Canada* [Session de congrès]. 58<sup>e</sup> congrès CMOS. Youtube. [https://www.youtube.com/watch?v=wtzDs-8oYMI&ab\\_channel=MeteorologicalandOceanographicSocietyCMOS](https://www.youtube.com/watch?v=wtzDs-8oYMI&ab_channel=MeteorologicalandOceanographicSocietyCMOS)

Talbot, N. et Boissard, B. (2021). *Guide d'accompagnement en évaluation des apprentissages de la science et de la technologie – Deuxième cycle du secondaire*. AESTQ. <https://www.aestq.org/fr/guides-evaluation>

Université de Sherbrooke. (2024). *Complexe de recherche multiéchelle en hydrologie, hydraulique et environnement*. <https://www.usherbrooke.ca/recherche/fr/udes/caractere-distinctif/infrastructures-uniques/complexe-hydrologie-hydraulique-environnement>

Vasconcelos, L. et Kim, C. (2020). Coding in scientific modeling lessons (CS-ModeL). *Educational Technology Research and Development*, 68(3), 1247-1273.