

# **Le processus de modélisation d'objets complexes dans le cadre d'une démarche d'investigation interdisciplinaire : enjeux épistémologiques, didactiques et de formation**

Bertrand Gremaud

Professeur associé, Haute école pédagogique Fribourg  
UR enseignement et apprentissage des disciplines scientifiques  
bertrand.gremaud@edufr.ch

## **Résumé**

Dans le monde scolaire, les modèles vus comme des représentations, des schémas, des dessins ou encore des croquis se dévoilent sous différentes apparences. Dans le but de susciter l'intérêt en classe, de montrer ou démontrer un phénomène, de présenter une situation, d'apporter un témoignage ou de faciliter un apprentissage, les modèles occupent souvent une place privilégiée. Cependant, les modèles n'ont pas tous le même pouvoir de représentation.

Si l'on considère que la modélisation désigne toute la procédure individuelle et collective de construction au cours de laquelle on a recours à un ou plusieurs modèles afin de répondre à des questions dites fécondes (Gremaud, soumis), le processus de modélisation s'inscrit alors comme une forme particulière de démarche d'investigation à visée interdisciplinaire afin de mieux appréhender la complexité du monde qui nous entoure.

Cette communication sur le processus de modélisation d'objets complexes questionne la place du modèle comme un outil de pensée à disposition des élèves dans leurs apprentissages scientifiques (enjeu épistémologique), la place des modèles dans leur utilisation épistémologique et didactique par les enseignant.e.s (enjeu didactique) et enfin soulève la problématique de la formation des enseignant.e.s (enjeu de formation).

## **Mots clés**

Modèle ; modélisation ; pensée complexe ; communauté de pratique ; objet biface

## Introduction

Cette contribution présente une réflexion épistémologique, didactiques et de formation en s'appuyant sur une thèse déposée en mars 2023 (Gremaud, soumis) autour du processus de modélisation d'objets complexes dans le cadre d'une démarche d'investigation interdisciplinaire convoquant les disciplines scolaires que sont les SHS et SN. Elle s'inscrit dans les axes 2 et 3 de ce colloque en présentant la modélisation comme un outil didactique puissant, mais avec lequel il est nécessaire de penser une formation adaptée du corps enseignant.

Si les phases didactiques de problématisation et de conceptualisation sont au centre de cette réflexion didactique, les apprentissages des élèves avec des modèles tout au long de leurs investigations s'inscrivent selon nous dans les démarches et les concepts disciplinaires. Cela implique que les enseignant.e.s soient en mesure de maîtriser les enjeux didactiques et épistémologiques de l'utilisation des modèles en classe dans une perspective interdisciplinaire. Corollaire de ces enjeux didactiques et épistémologiques, l'ambition de cet article est de contribuer à la formation du corps enseignant à ce processus de modélisation à portée émancipatrice

Notre premier chapitre s'intéresse aux principaux éléments de la problématique soulevée. Il questionne et identifie des axes de recherche autour des difficultés rencontrées par les élèves et les enseignant.e.s dans une démarche didactique réfléchie. Celle-ci s'inscrit dans une investigation interdisciplinaire visant l'émergence d'un futur.e citoyen.ne critique sur des questions qui socialement et scientifiquement font débat.

Les chapitres deux, trois et quatre développent quelques aspects conceptuels nouveaux en tentant de mettre en cohérence les enjeux liés aux apprentissages des élèves, à leur(s) utilisation(s) des modèles et aux enjeux didactiques du processus de modélisation dans la perspective de former des élèves critiques et aussi de s'interroger sur les enjeux d'une formation professionnalisante des enseignant.e.s. afin que ceux.celles-ci puissent poser un regard critique sur leurs gestes métier.

Le cinquième chapitre nous permet de synthétiser les principaux éléments de notre réflexion en les discutant autour des enjeux didactiques, épistémologiques et de formation. Quelques limites seront relevées, tout en envisageant des perspectives nouvelles en matière de recherche.

## 1. Problématique

Si l'école est non seulement un lieu d'appréhension et de développement des savoirs, elle est aussi un lieu de compréhension du monde contemporain par la formation de futur.e.s citoyen.ne.s capables de penser et de questionner notre société actuelle dans une perspective réflexive et critique (Gagnon et al., 2018 ; Gremaud & Roy, 2022). Une grande variété de curriculums de formation à travers le monde place le développement des futur.e.s citoyen.ne.s comme prioritaire. Leur autonomie et leur capacité à analyser des situations complexes en construisant progressivement un esprit scientifique est un vrai défi.

Qu'elles proviennent des sciences de l'homme, de la société ou des sciences de la nature, les incertitudes font aujourd'hui partie du quotidien et impacte sur le monde scolaire. Dans les disciplines scolaires, les savoirs conceptuels, les habiletés et les attitudes sont questionnés constamment, mais exigent de pouvoir s'appuyer sur des faits scientifiques, même si nous vivons à une époque où l'effritement de la place des faits semble s'installer dans la sphère sociale (Hasni, 2022). Dans notre société, un nombre de plus en plus grand d'acteur.trice.s sociaux souligne la nécessité de se tourner vers les institutions scolaires afin d'offrir aux élèves une formation citoyenne, une capacité à développer une pensée scientifique et critique.

L'école est de pouvoir donner des outils intellectuels aux élèves pour qu'ils puissent mieux comprendre le monde dans lequel ils vivent, et interagir avec celui-ci. Les enseignant.e doivent pouvoir dispenser une éducation morale à leurs élèves en leur transmettant des valeurs selon Fabre (2014). Il s'agit d'enseigner les sciences dans une perspective d'instruction et de socialisation émancipatrice (Roy & Gremaud, 2017), visant ainsi la construction des savoirs disciplinaires autour de problématiques sociales et scientifiques actuelles, comme peuvent l'être les questions socialement vives (Albe, 2009 ; Legardez, 2004, 2006 ; Legardez & Simonneaux, 2006 ; Simonneaux & Simonneaux, 2005, 2007). Les disciplines doivent pouvoir doter les élèves d'outils de pensée mobilisable pour les aider à comprendre le monde en leur permettant de dépasser les savoirs de sens commun ou les savoirs d'expérience pour développer des savoir évolutifs et émancipateurs. La compréhension du monde complexe dans lequel nous vivons dans une perspective

émancipatrice passe ainsi par les disciplines (Hertig, 2015 ; Roy et Gremaud, 2017) sans pour autant conditionner les élèves à des normes imposées.

Les curriculums de formation sont composés de nombreuses injonctions présentant des intentions louables visant le développement de la capacité des élèves à penser la complexité (Audigier et al., 2011 ; Hertig, 2015 ; Gremaud, soumis). Il s'agit de pouvoir outiller les élèves afin qu'il puisse faire des choix dans leur vie actuelle et future, de pouvoir prendre des décisions censées et durables, de mettre en œuvre une ou des solutions à des problématiques identifiées en amont. Nous rejoignons Hertig (2015, p.126) qui définit la pensée complexe comme "un outil d'analyse et de compréhension des systèmes que constituent les acteurs, les facteurs et leurs interactions, et de leur dynamique".

La pensée complexe est un outil de pensée qui permet d'appréhender les problèmes et les phénomènes de manière globale, en prenant en compte leur complexité, les interactions entre les éléments, les perspectives multiples et l'incertitude inhérente (Hertig, 2018). Elle favorise une approche plus holistique et nuancée, permettant ainsi une meilleure compréhension et une prise de décision plus éclairée.

L'approche systémique et le paradigme de la complexité invitent les enseignant.e.s à un positionnement novateur (Hertig, 2018 ; Morin, 2007) qui ne s'inscrit plus dans une approche cumulative des savoirs, mais bien dans une toile à tisser entre les concepts, notions et savoirs propres à chaque discipline. Des enjeux épistémologiques et didactiques de taille se dressent sur la route des enseignant.e.s lorsque ceux.elles-ci décident de penser la complexité avec leurs élèves afin de les engager dans des apprentissages scientifiques (Hertig, 2018). Force est de constater qu'il n'existe que peu de pistes didactiques et de ressources pédagogiques pour apprendre aux élèves, dès les degrés primaires, à enquêter puis à représenter les composantes d'un phénomène ou d'une situation complexe.

Le principal défi pour les enseignant.e.s est justement d'accompagner leurs élèves à penser la complexité en s'appuyant sur les pôles épistémologiques, social et psychologique (Fabre, 2005 ; Roy et Gremaud, 2017). Il s'agit pour eux en premier lieu d'accompagner leurs élèves à pouvoir questionner et problématiser, puis construire et représenter un système complexe à partir d'une amorce ou d'une situation problématisante.

Ainsi, les différents travaux convoqués dans cette communication s'appuient sur plusieurs articles (Gremaud & Roy, 2017, 2022 ; Gremaud et al., 2022) et soulignant l'importance de

cette phase de problématisation afin d'amener les élèves à construire des questions fécondes<sup>8</sup> suffisamment porteuses de sens.

A la suite de cette phase de problématisation, les solutions, propositions de réponses peuvent se présenter sous forme classique de synthèse textuelle, mais aussi de construction de modèles qui permettent une appréhension des faits scientifiques issus d'une réalité naturelle et technique (Astolfi & Develey, 2016; Martinand, 1994), mais aussi d'une réalité humaine et sociale souvent complexe (Gremaud et al., 2022).

Par leur nature visuelle, symbolique ou encore schématique, les modèles sont des outils fondamentaux de la pensée scientifique (Bachelard, 1938/1967) et de la pensée complexe en particulier (Hertig, 2015, 2017, 2018 ; Gremaud & Roy, 2022, Gremaud, soumis ; Roy, 2018). Ils aident à penser la complexité en permettant d'identifier et manipuler des systèmes déjà existants (Astolfi & Develay, 2016), mais aussi d'en créer de nouveaux en fonction des besoins et de leurs utilisations (Varenne, 2006, 2017).

Un grand nombre d'auteur.e.s de différentes disciplines scientifiques à l'école souligne que le terme de modèle est polysémique, même si chacun s'accorde à dire qu'il s'agit d'une représentation réduite ou simplifiée du réel (Justi & Gilbert, 2003 ; Orange, 1997, Roy & Hasni, 2014 ; Roy 2018 ; Varenne, 2014). Nous nous appuyons sur Varenne (2015, p.15) qui relève que le modèle signifie une « construction matérielle ou formelle servant à représenter quelque chose de réel ou de fictif qui se rapporte à ce qu'on imite (objet modélisé), mais aussi ce qui imite (un objet modélisant) ».

L'élaboration d'un modèle s'inscrit dans un processus didactique de modélisation permettant à l'élève de visualiser et conceptualiser des faits, des phénomènes réels ou une réalité humaine ou sociale complexe, répondant à une ou des questions. Le modèle devient ainsi un outil pour pouvoir répondre à un problème ou proposer des pistes de résolution. Il s'agit selon nous d'appréhender le processus de modélisation comme un cas particulier de la démarche d'investigation interdisciplinaire (Roy, 2018 ; Gremaud et al., 2022).

La modélisation représente un vaste champ pour les recherches relatives à l'enseignement des disciplines scientifiques à l'école (Coquidé & Le Maréchal, 2006 ; Giordan & De Vecchi, 1987 ; Hertig, 2015, 2018 ; Jenni et al., 2013 ; Martinand 1994 ; Roy, 2018 ; Sanchez 2008 ; Thibergien, 1994 ; Varenne, 2010, 2014, 2016, 2017) tant au niveau des sciences naturelles (SN) que les sciences humaines et sociales (SHS).

La modélisation, en faisant références aux travaux de Varenne (2014, 2016, 2017) dans le domaine, désigne la procédure individuelle ou collective de construction durant laquelle l'apprenant.e a recourt à un ou plusieurs modèles. Elle s'inscrit dans un processus itératif et systémique d'enquête afin de répondre à des objectifs. Ainsi, Varenne (2006) définit la modélisation comme la pratique

qui consiste à choisir, concevoir ou produire un ou des modèles pour lesquels on a les moyens de les évaluer comme étant parmi les plus performants dans une ou plusieurs des fonctions de connaissance attendues (cognition pratique ou théorique), cela dans un cadre donné (p.11).

Au niveau didactique, un des enjeux de la modélisation est d'identifier les outils mobilisables par les enseignant.e.s pour accompagner les apprentissages de leurs élèves dans les disciplines scientifiques.

Plusieurs études mentionnent dans le monde scolaire que l'apprentissage avec les modèles posent des défis importants aux élèves (Chittleborough et al., 2005 ; Treagust et al., 2002), mais aussi aux enseignant.e.s (Crawford & Cullin, 2004 ; Henze et al., 2007 ). Le corps professoral a besoin d'aide pour faire face à cela, mais la recherche n'a pas beaucoup progressé dans ce domaine (Manz et al. 2020). Ainsi, le corps enseignant considère très souvent les modèles comme des représentations exactes, absolues et leur compréhension épistémologique est ainsi limitée et influence négativement le plan didactique (Roy & Hasni, 2014).

Fierz et ses collègues (2022) soulignent encore, en s'appuyant sur une analyse exploratoires des moyens d'enseignements romands en géographie, que les enseignant.e.s positionnent la modélisation comme un outil de pensée, pour autant que le processus de modélisation puisse

se défaire de l'idée classique que le modèle n'est qu'une application ou représentation de lois scientifiques et devenir un instrument pour s'emparer du réel, dont on pourrait cerner les limites, les principes de construction, les simplifications choisies, les éléments écartés. Il s'agit de construire la conscience que le modèle est une réduction du réel, nécessaire à l'esprit humain pour répondre à une intention de compréhension du monde, selon les questions que l'on se pose (p.131).

Le modèle, dans son utilisation scolaire, reste souvent un impensé didactique du corps enseignant (Fierz et al., 2022 ; Gremaud et al., 2022 ; Roy et al., sous-presse), mais il est

nécessaire de bien faire la distinction entre l'enseignement de la modélisation comme objet d'apprentissage et la modélisation comme processus d'apprentissage s'inscrivant dans une démarche d'investigation interdisciplinaire.

Notre communication abordera quelques enjeux liés à la question de recherche principale suivante :

Pour les enseignant.e.s et les formateurs.trices d'enseignant.e.s, quels sont les enjeux épistémologiques, didactiques et de formation liés au processus de modélisation d'objets complexes dans le cadre d'une démarche d'investigation interdisciplinaire à portée émancipatrice ?

Au regard des différents objets présentés dans ce premier chapitre, cette contribution s'appuie sur une thèse sur article (Gremaud, soumis) déposée en mars 2023 et qui renvoie à plusieurs articles (Gremaud et Roy, 2017 ;2022 et Gremaud & al., 2022). Nous synthétisons les principaux constats et éléments de réflexion résultat liés à ma thèse (Gremaud, soumis) selon trois axes :

**Un premier axe épistémologique** questionne plus particulièrement la mobilisation des modèles par les enseignant.e.s dans le cadre de l'enseignement des disciplines scientifiques.

**Un deuxième axe didactique** concerne le modèle comme outil de pensée à disposition des élèves pour leurs apprentissages scientifiques.

Un **troisième axe** se dégage encore au niveau des enjeux liés à la **formation des enseignant.e.s** dans l'usage didactique des modèles en classe.

## **2. Le modèle comme objet hybride de formation entre le monde des théories et la réalité sociale et naturelle**

Le modèle est souvent utilisé comme un outil de jonction entre le monde réel et la réalité humaine et sociale par rapport au monde des théories (Gremaud et al., 2022 ; Martinand, 1996 ; Orange, 2000 ; Roy, 2018 ; Sanchez, 2008). Il sert régulièrement à construire des théories parfois complexes. Hudson (2009) parle des modèles fonctionnant comme des dispositifs d'échafaudages grâce auxquels les scientifiques donnent un sens provisoire à la construction de leurs réflexions souvent complexes. Il s'agit ainsi d'un outil pour penser

(Hertig, 2015, 2018) souvent mobilisé en didactique des sciences naturelles et dans les sciences humaines et sociales.

La construction de modèles (figure 1 ci-dessous) s'inscrit dans une logique d'allers et retours entre les mondes réels et le monde des théories. Le modèle devient un outil de pensée multifonctionnel entre ces deux mondes permettant de décrire, d'expliquer ou de prédire en mobilisant une multiplicité de registres de représentation sémiotique (Roy, 2018) comme les outils graphiques, les outils textuels ou encore les outils 3D. Dans le cadre de notre réflexion et en nous appuyant sur les travaux de Varenne (2014, 2016, 2017), nous proposons d'aborder le modèle comme un objet isomorphe entre ces deux mondes qui les met en interaction. Le modèle ne peut ainsi se cantonner à être un instrument intermédiaire entre la théorie et la réalité naturelle et sociale car il est par essence incomplet. C'est un objet hybride (Varenne, 2017) mobilisant à la fois le monde réel et humain comme référent empirique et le monde théorique pour puiser son énergie et sa raison d'être.

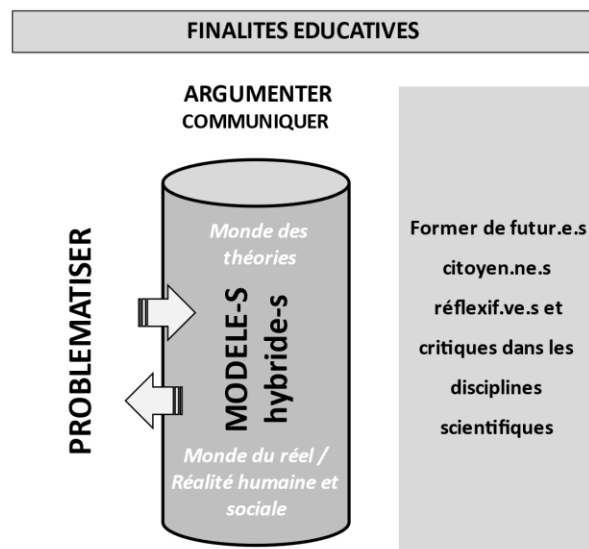


Figure 1 : le modèle hybride comme outil de pensée dans le processus de modélisation (Gremaud, soumis)

Le modèle quitte ainsi son statut privilégié de référence théorique. Il devient un objet temporaire, non stabilisé, permettant de penser et de représenter un objet complexe. Dans l'incertitude de la construction de chaque modèle, ce processus peut ainsi contribuer à former

les citoyen.ne.s de demain. Ces éléments de réflexion nous amènent à proposer une définition du modèle dans une perspective didactique :

En didactique des sciences, le modèle est un objet d'apprentissage hybride et évolutif, aux fonctions multiples permettant de construire ou déconstruire une réalité naturelle et sociale afin de représenter ses apprentissages dans différentes disciplines scolaires en réponse à des questions fécondes (Gremaud, soumis).

Le modèle devient un véritable outil de pensée pour les différent.e.s acteurs·trices concerné·e·s afin de développer leurs connaissances et leurs compétences à élaborer, mener, analyser leur propre démarche d'investigation interdisciplinaire.

Soulignons encore que la construction d'un modèle s'inscrit dans un véritable processus de modélisation ayant pour défi de connecter ces deux mondes à partir de questions fécondes (Gremaud et al., 2022) issues de la phase de la phase de problématisation. La modélisation, en didactique des sciences, est ainsi un processus itératif et dynamique articulant les phases de problématisation et d'élaboration de modèles (Gremaud, soumis). Nous considérons ce processus de modélisation comme une configuration particulière de la démarche d'investigation interdisciplinaire.

### **3. Le modèle comme outil de pensée tout au long du processus de modélisation interdisciplinaire**

L'apprenant.e, par l'intermédiaire du modèle, peut réfléchir sur sa propre production. L'enquête qu'il.elle a menée peut l'amener à questionner ce qu'il a découvert et modéliser durant son investigation, mais aussi ce qu'il n'a pas expliqué, ce qui est resté incomplet. C'est une piste de réflexion que nous estimons importante et surtout intéressante didactiquement car elle place le savoir modélisé comme un produit évolutif. Ce processus favorise la compréhension de la modélisation et la capacité des élèves à critiquer leurs propres affirmations ou celles des autres apprenant.e.s.

Nos travaux de recherche convoqués dans cette communication (Gremaud et Roy, 2017, 2022 ; Gremaud et al. 2022 ; Gremaud, soumis) plaident pour que les élèves soient en mesure de prendre en charge progressivement le processus de modélisation. Le modèle devient à la fois un élément déclencheur et un objet à construire pour problématiser, investiguer ou

conceptualiser des apprentissages. Les inexactitudes et les incertitudes des premières productions peuvent ainsi engager les apprenant.e.s à vouloir produire de nouveaux modèles plus adaptés. Le modèle ou les modèles développés tout au long du processus sont des réponses partielles ou complètes à une ou des questions posées en amont dans la phase de problématisation.

La formation de l'esprit scientifique peut passer par l'apprentissage de la modélisation car il s'agit là d'un acte mental complexe. L'apprenant.e devient le.la concepteur.trice de son propre modèle mais dans un processus didactique souvent « impensé » (Fierz & al., 2022) car les modèles étant souvent fournis dans les ressources pédagogiques clé en main. Peu de pistes pour les élaborer avec les élèves sont proposées aux enseignant.e.s, raison pour laquelle nos différents travaux et productions scientifiques réunis dans la thèse de Gremaud (soumis), souligne que le processus de modélisation s'inscrit dans la construction de un ou plusieurs modèles en réponse à des questions fécondes initialement construites en classe avec les élèves. La phase de problématisation en interaction avec la construction du modèle est essentielle comme le montre la figure 2 ci-dessous.

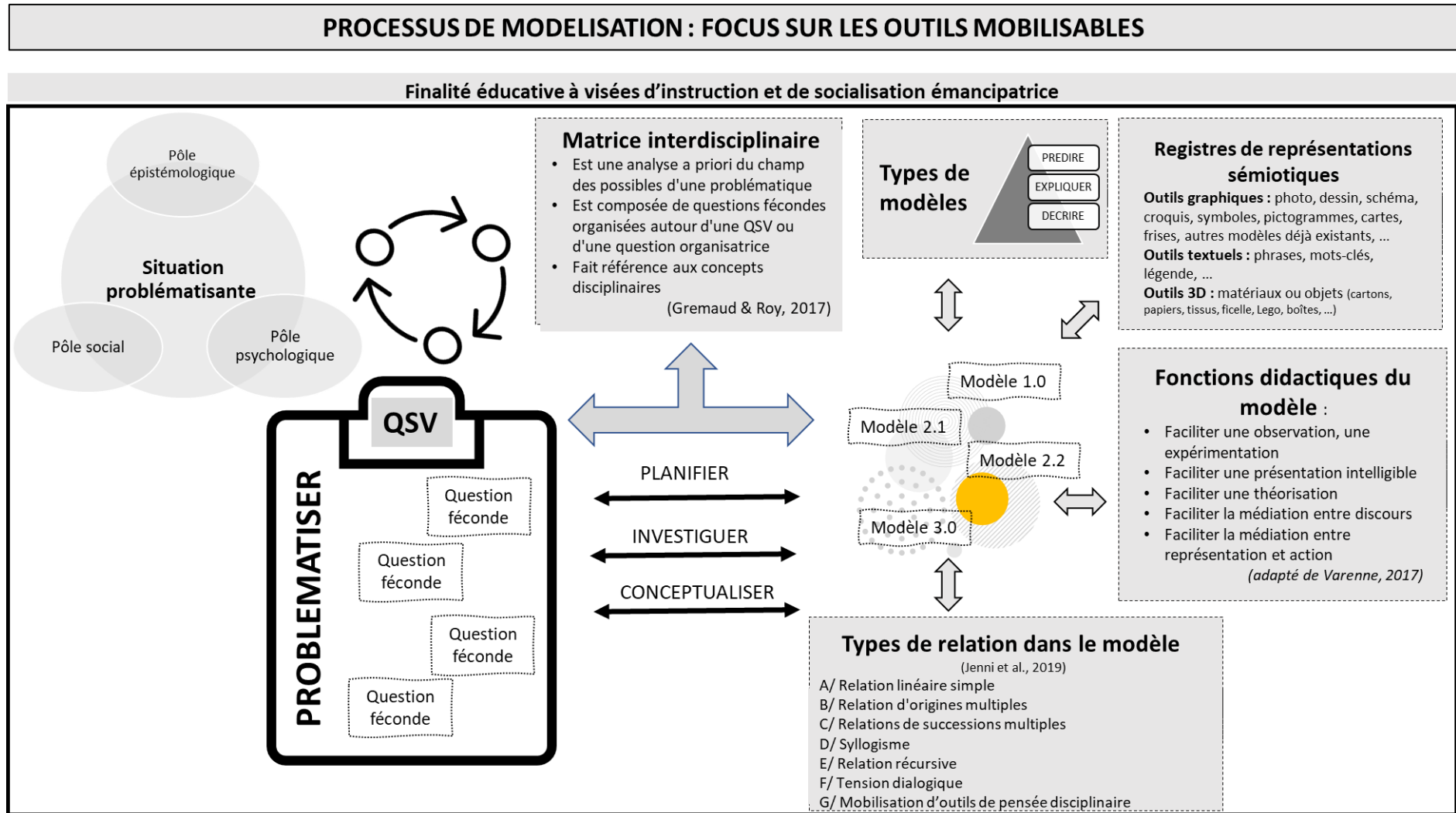


Figure 2 : les outils didactiques mobilisables dans le processus de modélisation (Gremaud, soumis)

Articulés autour des deux phases didactiques de problématisation et de construction de modèles, les principaux outils suivants peuvent être mobilisés (éléments en grisé dans la figure 2) :

- La situation problématisante (Gremaud & Roy, 2017 ; Roy & Gremaud, 2017) est l'élément déclencheur essentiel du processus de modélisation. Cette première étape équilibrée et adaptée sur les plans épistémologique, psychologique et social (Fabre, 1999) doit proposer aux élèves ou à la classe une situation suffisamment problématisante et réfléchie pour les pousser à dégager des questions fécondes qui orienteront les différents modèles produits.
- La matrice interdisciplinaire (Gremaud & Roy, 2017, 2022) est un outil à fort ancrage épistémologique dans les disciplines scolaires convoquées et fait écho à la situation problématisante. Elle permet de se donner une représentation interdisciplinaire (Fourez, 1997) de la problématique posée par la situation-problème. En cartographiant le champ des possibles (Orange, 2005), cette matrice est d'abord considérée comme un outil d'exploration pour l'enseignant.e visant une analyse a priori poussée afin de se préparer au mieux avant de s'engager dans l'élaboration de questions fécondes avec ses élèves.
- Plusieurs types de modèles (Hasni, 2010 ; Roy & Hasni, 2014 ; Martinand, 1994 ; Orange, 1997) permettent aux enseignant.e.s d'élaborer et planifier leur séquence et ainsi mieux accompagner les élèves dans leurs apprentissages. Les visées descriptives, explicatives ou prédictives sont présentées en niveaux taxonomiques.
- Les enseignant.e.s peuvent s'appuyer sur des fonctions de modèles (Gremaud et al., 2022 ; Varennes, 2014, 2017) qui sont des vecteurs didactiques. Tout au long du processus de modélisation, ces fonctions permettent de faciliter une observation, une expérimentation ; faciliter une présentation intelligible ; faciliter une théorisation ; faciliter la médiation entre discours et enfin faciliter la médiation entre représentation et action. Si ces facilitateurs peuvent être convoqués tout au long de la démarche, c'est bien l'enseignant.e qui aura la responsabilité de leur utilisation au fur et à mesure du processus de modélisation.

- La complexité d'un modèle dépend aussi des relations le constituant. En nous appuyant sur les travaux de Jenni et ses collègues (2013, 2019), plusieurs types de relations peuvent apparaître dans un modèle comme déposé dans la figure 2.
- Les outils de représentations sémiotiques (Kohler & Chabloz, 2016 ; Roy, 2018 ; Roy et al., sous-presse) sont généralement utilisés par les enseignant.e.s en classe et peuvent être sollicités à tout moment dans le processus en fonction des intentions didactiques, des objectifs d'apprentissage visés, des modèles à élaborer et surtout des besoins des élèves.

Le processus de modélisation n'est pas simple à cerner conceptuellement et encore moins à opérationnaliser pour les enseignant.e.s. Le défi de la formation du corps enseignant apparaît tant au niveau de l'utilisation du modèle comme objet d'apprentissage par les élèves que de celui-ci comme objet de formation.

#### **4. La communauté de pratiques comme outil de formation**

Si le processus didactique de modélisation tel que nous l'avons présenté dans les chapitres précédents est porteur de sens, la question de la formation reste centrale car le modèle est souvent exploité dans les séquences d'enseignement comme une finalité d'apprentissage.

Plusieurs articles (Gremaud, soumis ; Gremaud et al., 2021, 2022 ; Roy et al., sous presse) convoquent les communautés discursives de pratique interdisciplinaires (CDPI) comme porteuses de sens pour la formation continue des enseignant.e.s. Elles s'inscrivent comme une forme particulière de communauté de pratique professionnelle (CDPP) (Marlot & Roy, 2020 ; Roy et al., sous-presse). La démarche de coconstruction d'une séquence d'enseignement-apprentissage en commun avec l'ensemble des acteurs.trices (enseignant.e.s, collaborateurs.trices pédagogiques, formateur.trice.s, chercheur.euse.s,...) s'appuient sur les épistémologies pratiques différentes de ces différents acteurs (Marlot & Toullec-Thériy, 2014 ; Sensevy, 2007 ; Sensevy & Mercier, 2007 ; Toullec-Théry & Marlot, 2013).

En mobilisant les principes d'une ingénierie didactique coopérative (IDC) (Daguzon & Marlot, 2019 ; Marlot & Roy, 2020), les différent.e.s acteurs.trices s'engagent dans une démarche commune en partageant les compétences de chacun.e au service du

développement des ressources didactiques pour la communauté de praticien.ne.s (Desgagné, 2001 ; Desgagné et al., 2001). L'IDC propose ainsi une approche méthodologique de coélaboration de séquences d'enseignement avec et pour les enseignant.e.s en offrant à chacun un espace pour jouer un rôle d'informateur.trice, voire d'expert.e de sa pratique.

La production de ressources didactiques intègre le modèle dans un dispositif de formation visant l'émergence progressive d'un espace interprétatif partagé (Bednarz et al., 2015 ; Ligozat & Marlot, 2016). Dès lors, le modèle joue un rôle d'objet de travail suffisamment commun aux différent.e.s acteur.trice.s de la communauté pour qu'il assure un minimum d'identité commune. La mise en œuvre du processus de modélisation et par là l'utilisation du modèle se fait grâce à la multiplicité des regards croisés des participant.e.s. Le modèle assure dès lors une liaison symbolique entre ces acteurs.trices aux niveaux épistémologique et didactique relatifs aux savoirs à enseigner et pour enseigner. Les échanges langagiers peuvent s'opérer à partir de cet objet biface (OB) (Marlot & Roy, 2020 ; Roy et al., sous-presse) car il est suffisamment hybride pour renvoyer à des situations de classe pour le.la praticien.ne et à des concepts didactiques et épistémologiques pour les formateur.trice.s-chercheur.euse.s.

Comme le montre la figure 3 ci-dessous, le modèle est mobilisé comme outil dans un double système didactique (Maldonado, 2020) pour former dans un système de formation (SF sur la figure) et un système classe (SC sur la figure). Étant au carrefour de ce double système, l'enseignant.e est un rouage central. Dans la situation de formation (SF) articulée dans une communauté de pratique, il joue un rôle d'acteur.trice au même titre que les formateur.trice.s mobilisant et développant des savoirs didactiques afin de produire une séquence d'enseignement-apprentissage par exemple.

Dans le deuxième triangle, ce.cette même enseignant.e. a la possibilité de mobiliser le modèle comme objet pour enseigner dans un processus de construction des savoirs avec ses élèves dans son propre système classe (SC)

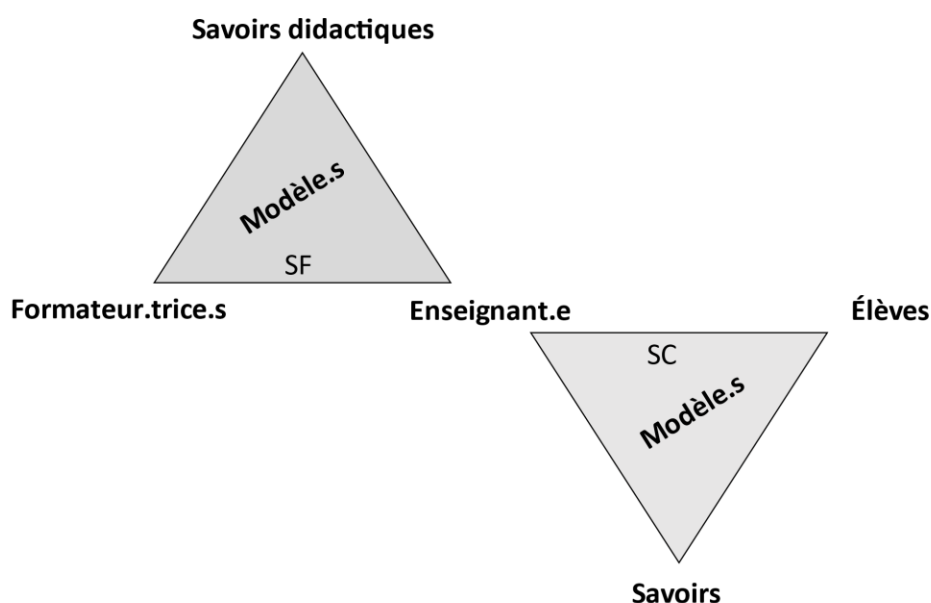


Figure 3 : le modèle comme objet de formation dans le double système didactique (Gremaud, soumis, adapté de Maldonado, 2020)

Le modèle comme objet biface peut ainsi être un objet de formation sur le plan didactique pour l'élaboration d'une séquence d'enseignement-apprentissage et pour le développement de nouvelles compétences professionnelles des acteur.trice.s de la CDPP. Il permet à chacun d'être un.e coparticipant.e, un.e coconstructeur.trice et même un cochercheur.euse (Desgagné et al., 2001). Nous relevons là un double intérêt du modèle comme objet de formation didactique à visée professionnalisante et comme objet pour former les élèves.

## 5. Conclusion

L'utilisation du modèle dans un processus de modélisation implique de se questionner et de proposer des outils au corps enseignant pour les accompagner sur les plans épistémologique et didactique. Il reste cependant beaucoup à faire pour rendre opérationnelle la réflexion menée dans cette contribution et tant au niveau de la formation des enseignant.e.s que pour l'acquisition de compétences à modéliser pour les élèves.

La mise en œuvre d'une CDPP peut jouer un rôle important dans la professionnalisation des enseignant.e.s du fait de son approche coopérative. La création d'une intelligence collective par l'intermédiaire du processus de modélisation contribue selon nous à l'émancipation des apprenant.e.s engagé.e.s dans une démarche d'investigation

interdisciplinaire, mais reste à opérationnaliser dans des dispositifs de formation encore peu exploités.

La construction de modèles dans un processus de modélisation peut à la fois être mobilisé dans l'espace classe entre enseignant.e.s et élèves, mais aussi dans le cadre de la formation des enseignant.e.s. avec une CDPP sur le principe d'une explicitation partagée (Sensevy, 2011) et la construction d'un « espace interprétatif partagé de significations » (Ligozat & Marlot, 2016) grâce à un objet biface comme le modèle. Le développement d'une culture de travail commune peut émerger et rendre la formation porteuse (Roy et al., sous-presse). Les participant.e.s à une CDPP peuvent agir comme coparticipant.e.s, coconstructeur.rices.s et même cochercheur.euse.s du savoir lié au processus de modélisation tout en étant conscient des limites de chacun et chacune dans sa fonction et son expertises (Desgagné et al., 2001) dans une perspective de complémentarité.

## 6. Bibliographie

Albe, V. (2009). *Enseigner des controverses*. Presses universitaires de Rennes. <https://doi.org/10.4000/rfp.2491>

Astolfi, J.-P., & Develay, M. (2016). *La didactique des sciences*. Presses universitaires de France. DOI : [10.3917/puf.astol.2016.01](https://doi.org/10.3917/puf.astol.2016.01)

Audigier, F., Fink, N., Freudiger, N., & Haeberli, P. (2011). *Éducation en vue du développement durable et sciences sociales : des élèves en débats*. Université de Genève.

Bachelard, G. (1938/1967). *La formation de l'esprit scientifique*. Vrin.

Bednarz, N., Rinaudo, J.-L., & Roditi, E. (2015). La recherche collaborative. *Carrefours de l'éducation*, 39(1), 171-184. <https://doi.org/10.3917/cdle.039.0171>

Coquidé, M., & Maréchal, J.-M. (2006). Modélisation et simulation dans l'enseignement scientifique : usages et impacts. Institut national de recherche pédagogique, *Aster*, 43, 47-56. [hal-00372868](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00372868)

Chittleborough, G. D., Treagust, D. F., Mamiala, T. L., & 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. <https://doi.org/10.1080/02635140500266484>

Crawford, B. A., & Cullin, M. J. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modelling in science. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1379-1401. <https://doi.org/10.1080/09500690410001673775>

Daguzon, M., & Marlot, C. (2019). Co-enseignement et ingénierie coopérative : les conditions d'un développement professionnel. *Éducation & didactique*, 13, 9-30. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.3938>

Desgagné, S. (2001). La recherche collaborative : nouvelle dynamique de recherche en éducation. In M. Anadón (Ed.), *Des nouvelles dynamiques de recherche en éducation* (pp. 51- 76). Presses de l'Université Laval.

Desgagné, S., Bednarz, N., Lebuis, P., Poirier, L., & Couture, C. (2001). L'approche collaborative de recherche en éducation : un rapport nouveau à établir entre recherche et formation. *Revue des Sciences de l'Éducation*, 27(1), 33-64. <https://doi.org/10.7202/000305ar>

Fabre, M. (1999). *Situations-problèmes et savoir scolaire*. Presses universitaires de France.

Fabre, M. (2005a). Deux sources de l'épistémologie des problèmes : Dewey et Bachelard. *Les Sciences de L'éducation : pour l'ère nouvelle*, 38(3), 53-67. <https://doi.org/10.3917/lstdle.383.0053>

Fabre, M. (2005b). La problématisation : approches épistémologiques. *Les Sciences de L'éducation Pour L'ère Nouvelle*, 38(3).

Fabre, M. (2014). Les « Educations à » : problématisation et prudence. *Education et Socialisation. Les Cahiers Du CERFEE*, 36, 1-14. <https://doi.org/10.4000/edso.875>

Fierz, S., Gremaud, B. & Jenni, P. (2022). Ancrer la complexité dans les pratiques de la géographie scolaire : un défi didactique d'envergure. In Durisch Guathier, N., Fink, N. & Pache, A. (Dir.). *Former dans un monde en crise. Les didactiques des sciences humaines et sociales face aux transformations sociétales*. (pp. 121-136). Edition Alphil. DOI 10.33055/ALPHIL.03210

Fourez, G. (1997). Qu'entendre par îlot de rationalité et par « îlot interdisciplinaire de rationalité » ? *Aster*, 25, 217-225. DOI : [10.4267/2042/8686](https://doi.org/10.4267/2042/8686)

Gagnon, M., Marie, S., & Bouchard, D. (2018). Quelles pratiques critiques

manifestées par des élèves du secondaire en contexte de situations d'apprentissage en histoire ? In M.-A. Éthier, D. Lefrançois, & F. Audigier (Eds.), *Pensée critique, enseignement de l'histoire et de la citoyenneté* (pp. 53-70). De Boeck Supérieur.

Giordan, A., & De Vecchi, G. (1987). *Les origines du savoir : des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Delachaux et Niestlé.

Gremaud, B. (soumis). Le processus de modélisation d'objets complexes dans le cadre de la démarche d'investigation scientifiques à portée émancipatrice : Quels enjeux épistémologiques, didactiques et de formation. Université de Fribourg : thèse de doctorat.

Gremaud, B., & Roy, P. (2022). Le développement d'une pensée critique et citoyenne par la problématisation interdisciplinaire d'un fait historique improbable : le mythe. In A. Hasni & J. Lebeaume (Eds.), *L'usage des faits dans la construction de la réalité sociale et naturelle à l'école : enjeux scientifiques et socioéducatifs* (pp. 119-151). Editions Cursus universitaires.

Gremaud, B., Roy, P., Mauron, A., Jenny, S., Angeloz, C., & Julmy, A. (2021). Problématiser et modéliser l'objet chocolat dans une perspective d'éducation en vue d'un développement durable. In P. Roy (Ed.), *Des recherches participatives dans les didactiques disciplinaires et autres domaines de connaissance. Quelles finalités ? Quels savoirs ? Et quelles stratégies méthodologiques pour favoriser leur circulation dans les milieux de la recherche, de la formation et de la pratique ?* (pp. 143-157). Colloque international francophone mené à la Haute école pédagogique, Fribourg, Suisse.

Gremaud, B. & Roy, P. (2017). La matrice interdisciplinaire d'une question scientifique socialement vive comme outil d'analyse a priori dans le processus de problématisation. In P. Roy, A. Pache, & B. Gremaud (Éd.). *La problématisation et les démarches d'investigation scientifique dans le contexte d'une éducation en vue d'un développement durable. Formation et pratiques d'enseignement en question*, 22, 125-141. [https://www.revuedeshep.ch/site-fpeq-n/Site\\_FPEQ/22\\_files/22-07-Gremaud-Roy.pdf](https://www.revuedeshep.ch/site-fpeq-n/Site_FPEQ/22_files/22-07-Gremaud-Roy.pdf)

Gremaud, B., Letouzey, J., Roy, P. & Mauron, A. (2022). Problématiser et modéliser pour appréhender le chocolat comme un objet d'investigation complexe à l'école maternelle. In B. Urgelli, A. Hasni & Morin. O. (Eds.). *Questionner l'éducation par les controverses. Enjeux, défis, méthodes. Questions vives. Recherches en éducation*. 37 (en ligne). <https://doi.org/10.4000/questionsvives.6748>

Gremaud, B., Letouzey-Pasquier, J., Roy, P. & Mauron, A. (2022). Problématiser et modéliser pour appréhender le chocolat comme un objet d'investigation complexe à l'école maternelle. In B. Urgelli, A. Hasni & O. Morin. (Eds.), *Questions vives. Recherches en éducation*. 37 (en ligne). *Questionner l'éducation par les controverses. Enjeux, défis, méthodes*. <http://journals.openedition.org/questionsvives/6748>

Hasni, A. (2022). Les faits pour la construction des réalités naturelle, humaine et sociale : quel rôle pour l'école ? In A. Hasni & J. Lebeaume (Eds.), *L'usage des faits dans la construction de la réalité sociale et naturelle à l'école : enjeux scientifiques et socioéducatifs* (pp. 5-20). Editions Cursus universitaires.

Hasni, A. (2010). L'éducation à l'environnement et l'interdisciplinarité : de la contextualisation des savoirs à la scolarisation du contexte ? In A. Hasni & J. Lebeaume (Eds.), *Nouveaux enjeux de l'éducation scientifique et technologique : visées, contenus, compétences et pratiques* (p. 179-222). Presses de l'Université d'Ottawa.

Henze, I., van Driel, J. H., & 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. <https://doi.org/10.1007/s11165-006-9017-6>

Hertig P. (2015). Approcher la complexité à l'École : enjeux d'enseignements et d'apprentissages disciplinaires et interdisciplinaires. In F. Audigier, A. Sgard, & N. Tutiaux-Guillon (Eds.). *Sciences de la nature et sciences de la société dans une école en mutation. Fragmentations, recompositions, nouvelles alliances ?* (pp. 125-137). De Boeck.

Hertig P. (2017). Éducation à la complexité. In A. Barthes, J.-M. Lange, & N. Tutiaux-Guillon (Eds.). *Dictionnaire critique des enjeux et concepts des « Éducatifs à »*(pp. 74-81). L'Harmattan.

Hertig, P. (2018). Géographie scolaire et pensée de la complexité. *L'Information géographique*, 82(3), 99-114. <https://doi.org/10.3917/lig.823.0099>

Hodson, D. (2009). *Teaching and learning about science: Language, theories, methods, history, traditions and values*. Brill.

Jenni P., Varcher P., & Hertig P. (2013). Des élèves débattent : sont-ils en mesure de penser la complexité ? *Penser l'éducation*, hors-série, 187-203.

Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2003). Teachers' views on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1369-1386. <https://doi.org/10.1080/0950069032000070324>

Kohler, A., & Chabloz, B. (2016). *L'enseignant concepteur de séquences d'enseignement à partir d'un dispositif mi-fini*. Communication présentée au colloque La conception d'un artefact : approches ergonomiques et didactiques, Lausanne.

Legardez, A. (2004). Transposition didactique et rapports aux savoirs : l'exemple des enseignements de questions économiques et sociales, socialement vives. *Revue française de pédagogie*, 149, 19–27. <https://www.jstor.org/stable/41202002>

Legardez, A. (2006). Enseigner des questions socialement vives. Quelques points de repères. In A. Legardez & L. Simonneaux (Eds.), *L'école à l'épreuve de l'actualité. Enseigner des questions vives* (pp. 19-31). ESF.

Legardez, A., & Simonneaux, L. (2006). *L'école à l'épreuve de l'actualité*. ESF éditeur.

Ligozat, F., & Marlot, C. (2016). Un espace interprétatif partagé entre l'enseignant et le didacticien est-il possible ? Développement de séquences d'enseignement scientifique à Genève et en France. In F. Ligozat, M. Charmillot, & A. Muller (Eds.), *Le partage des savoirs dans les processus de recherche en éducation* (pp. 143-164). De Boeck Supérieur.

Maldonado, M. (2020). Le stage en enseignant du point de vue de sa didactique : réflexions autour de la constitution du champ disciplinaire en Argentine. *Recherches en didactique des langues et des cultures. Les cahiers de l'Acedle*, 17(17-2). <https://doi.org/10.4000/rdlc.7906>

Manz, E., Lehrer, R., & Schauble, L. (2020). Rethinking the classroom science investigation. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(7), 1148-1174.

Marlot, C., & Roy, P. (2020). La Communauté Discursive de Pratiques : un dispositif de conception coopérative de ressources didactiques orienté par la recherche. *Formation et Pratiques d'Enseignement en Questions*, 26, 163- 183.

Martinand, J. L. (1994). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. INRP.

Martinand, J.-L. (1996). Introduction à la modélisation. In J.-L. Martinand (Ed.),

*Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques 1994-95* (pp. 1-12). Liaison interuniversitaire pour la recherche en éducation scientifique et technologique.

Morin, E. (2007). Complexité restreinte, complexité générale. In J.-L. Le Moigne & E. Morin (Eds.). *Intelligence de la complexité. Épistémologie et pragmatique*. La Tour d'Aigues, L'Aube, p. 28-64.

Orange, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie : quels apprentissages pour le lycée ?* Presses universitaires de France.

Orange, C. (2005). Problématisation et conceptualisation en sciences et dans les apprentissages scientifiques. *Les sciences de l'éducation-pour l'ère nouvelle*, 38(3), 69-94. <https://doi.org/10.3917/Isdle.383.0069>

Roy, P. (2018). *Modèles et modélisation en physique dans les pratiques d'enseignement d'enseignants québécois du secondaire : le cas de la cinématique* (Doctoral dissertation, Thèse de doctorat, Université de Sherbrooke, Québec, Canada)

Roy, P., Pache, A., & Gremaud, B. (2017). La problématisation et les démarches d'investigation scientifique dans le contexte d'une éducation en vue d'un développement durable. *Formation et pratiques d'enseignement en questions*, 22. 7-20.

Roy, P., & Gremaud, B. (2017). Une démarche d'investigation interdisciplinaire pour traiter des problématiques d'EDD dans une perspective d'instruction et de socialisation émancipatrice. *Formation et pratiques d'enseignement en questions*, 22, 99-123. <https://folia.unifr.ch/unifr/documents/312600>

Roy, P., & Hasni, A. (2014). Les modèles et la modélisation vus par des enseignants de sciences et technologies du secondaire au Québec. *McGill Journal of Education/Revue des sciences de l'éducation de McGill*, 49(2), 349-371. <https://doi.org/10.7202/1029424ar>

Roy, P., Gremaud, B., & Jenni, P. (sous presse). Instituer une Communauté Discursive de Pratiques Interdisciplinaires dans le champ de l'éducation en vue d'un développement durable à l'école obligatoire : les assises théorico-méthodologiques (volet 1). In Orange, C., & Roy, P. (Eds.), *Recherches collaboratives en sciences de la nature et en « éducations à » : pour construire quels savoirs ?* Presses Universitaires de Liège.

Roy, P., Gremaud, B., & Jenni, P. (sous presse). Faire vivre une Communauté Discursive de Pratiques Interdisciplinaires dans le champ de l'éducation en vue d'un développement durable à l'école obligatoire pour faire évoluer le statut de l'objet « chocolat » (volet 2). In Orange, C., & Roy, P. (Eds.), *Recherches collaboratives en sciences de la nature et en « éducations à » : pour construire quels savoirs ?* : Presses Universitaires de Liège.

Sanchez, É. (2008). Quelles relations entre modélisation et investigation scientifique dans l'enseignement des sciences de la terre ?. *Éducation et didactique*, (2-2), 93-118. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.314>

Sensevy, G. (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action didactique. In G. Sensevy & A. Mercier (Eds.), *Agir ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves* (pp. 13-49). Presses Universitaires de Rennes.

Sensevy, G. (2011). *Le sens du savoir : Éléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique*. De Boeck.

Sensevy, G., & Mercier, A. (2007). *Agir ensemble : Éléments de théorisation de l'action conjointe du professeur et des élèves*. Presses Universitaires de Rennes.

Simonneaux, L., & Simonneaux, J. (2005). Argumentation sur des questions socio-scientifiques. *Didaskalia*, 27, 79–108.

Simonneaux, J., & Simonneaux, L. (2007). L'EDD sous l'angle des Questions Socialement Vive (QSV): l'exemple des biocarburants en bac technologique. Communication présentée dans le Colloque *Éducation à l'Environnement pour un Développement Durable: informer, former et éduquer*. IUFM Montpellier. Montpellier, France, 6-7 juin 2007.

Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and instruction*, 4(1), 71–87. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90019-1](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90019-1)

Toullec-Théry, M., & Marlot, C. (2013). Les déterminations du phénomène de différenciation didactique passive dans les pratiques d'aide ordinaire à l'école élémentaire. *Revue Française de Pédagogie. Recherches en Éducation*, 182, 41-54. <https://doi.org/10.4000/rfp.3998>

Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-68. <https://doi.org/10.1080/09500690110066485>

Varenne, F. (2006). Les Notions de métaphore et d'analogie dans les épistémologies des modèles et des simulations.

Varenne, F. (2010). Les simulations computationnelles dans les sciences sociales. *Nouvelles perspectives en Sciences Sociales : revue internationale de systémique complexe et d'études relationnelles*, 5(2), 17-49. <https://doi.org/10.7202/044073ar>

Varenne, F. (2014). Épistémologie des modèles et des simulations : tour d'horizon et tendances. In J.M. Levy (Ed.), *Les modèles, possibilités et limites* (pp. 13-46). Éditions Matériologiques.

Varenne F., (2016). La sous-détermination des modèles explicatifs par les lois empiriques. Un problème récurrent mais fécond en géographie de modélisation. In C. Blanckaert, D. Samain & J. Léon (Eds.), *Modélisations et sciences humaines*(pp. 85-101). L'Harmattan.

Varenne, F. (2017). *Théories et modèles en sciences humaines : Le cas de la géographie*. Éditions Matériologiques.