

L'appréhension du concept de modèle en physique : étude de cas en classe de première année secondaire sur l'interprétation des phénomènes électrostatiques

FEHRI CHABREK¹, KAOUTHER RASSAA², CHIRAZ BEN KILANI¹

¹Institut Supérieure de l'Éducation
et de la Formation Continue
Université Virtuelle de Tunis
Tunisie
chabrekfehri@gmail.com
chiraz.kilani@yahoo.fr

²Laboratoire de Physique de la matière condensée
Faculté des Sciences de Tunis
Université de Tunis El Manar
Tunisie
kaouther.rassaa@fst.utm.tn

ABSTRACT

This research aimed to analyze and understand the teaching practices of a physics teacher during an ordinary teaching session on the interpretation of electrostatic phenomena (first-year secondary class, 15-16-year-old pupils). The double didactic and ergonomic approach (DADE) is used to analyze the data collected (class videos and semi-directive interviews). The results show that the personal dimension drives the teacher's activity concerning models when teaching the interpretation of electrostatic phenomena.

KEYWORDS

Teaching practices, double didactic and ergonomic approach, theory of the two worlds, electrostatics, models

RÉSUMÉ

Dans cette recherche, il s'agit d'analyser les pratiques enseignantes d'une enseignante de physique au cours d'une séance d'enseignement ordinaire sur l'interprétation des phénomènes électrostatiques (classe de première année secondaire, élève de 15-16 ans). La double approche didactique et ergonomique (DADE) a été mobilisée pour analyser les données recueillies (vidéos de classe et entretien semi-directif). Les résultats montrent que la dimension personnelle pilote l'activité de l'enseignante à propos des modèles lors de l'enseignement de l'interprétation des phénomènes électrostatiques.

MOTS-CLÉS

Pratiques enseignantes, double approche didactique et ergonomique, théorie des deux mondes, électrostatiques, modèles

INTRODUCTION

Les phénomènes électrostatiques constituent une des notions-clé de notre compréhension de plusieurs phénomènes avec lesquels nous sommes en interaction quotidiennement. Ces phénomènes peuvent aller de la formation d'un éclair durant un orage au petits chocs électriques ressentis lorsque nous entrons en contact avec une autre personne ou une poignée de porte. Les applications technologiques associées à l'électrostatique sont assez nombreuses. On peut citer les filtres électrostatiques ; le photocopieur ou encore la peinture électrostatique... De ce fait, les programmes scolaires des sciences physiques accordent aux phénomènes électrostatiques une place importante que ce soit au collège ou bien au lycée. Cependant, les résultats des recherches en didactique, bien que peu nombreuses, montrent que cette notion pose des problèmes de compréhension aux élèves et aux enseignants (Criado, 2000; Métioui & Trudel, 2007).

C'est pourquoi dans cette recherche nous nous sommes intéressés à comprendre comment une enseignante aborde la modélisation des phénomènes électrostatiques dans une classe de 1ère année secondaire (14-15 ans).

En prenant appui sur une étude épistémologique de la modélisation et de la notion de modèle dans l'enseignement des Sciences physiques, cet article vise à analyser la modélisation proposée lors de l'enseignement de l'interprétation des phénomènes électrostatiques Sa mise en place est ensuite analysée sous l'angle du cadre de la double approche didactique et ergonomique (DADE) (Robert & Rogalski, 2002), afin d'identifier les raisons qui sous-tendent les choix de l'enseignante.

CADRE THÉORIQUE

La double approche didactique et ergonomique

Une multitude d'approches théoriques ont été utilisées pour analyser les pratiques enseignantes. Parmi ces approches on peut citer la théorie anthropologique où on cherche des modèles les plus généraux possibles pour l'analyse des pratiques humaines en générale et en particulier les pratiques enseignantes, ou bien la théorie des situations de Brousseau (1998) dans laquelle on utilise l'analyse des milieux pour identifier les contraintes qui pèsent sur l'enseignant et qui peuvent expliquer les régulations constatées. En 2002, Robert et Rogalski (2002) introduisent un outil d'analyse des pratiques enseignantes qu'elles appellent double approche didactique et ergonomique. Dans ce cadre, l'activité d'un enseignant désigne la réponse qu'il met en œuvre pour accomplir une tâche (Robert, 2008). Les pratiques d'un enseignant (l'ensemble de ses activités) englobent « tout ce qu'il pense, dit ou ne dit pas, fait ou ne fait pas, sur un temps long, avant, pendant et après la classe » (Robert, 2008, p. 59). Selon Kermen et Colin (2017) analyser les pratiques enseignantes « revient alors à analyser le travail d'un enseignant en tant que personne singulière en tenant compte des contraintes auxquelles il fait face (aspect ergonomique) et des particularités des situations d'enseignement-apprentissage (aspect didactique) ». Les pratiques enseignantes forment un système complexe, décomposé en cinq composantes dont la recombinaison permet d'inférer les logiques d'actions de l'enseignant (Robert, 2012) :

- La composante cognitive correspond à l'élaboration des scénarios et des tâches prévues pour les élèves. Entre autres ce que l'enseignant planifie pour agir sur les connaissances des élèves. Quels savoirs vont être travaillés ? Quels itinéraires cognitifs seront choisis pour les élèves ? (Robert, 2012).
- La composante méditative : « les choix correspondant aux déroulements, les improvisations, les discours, l'enroulement des élèves, la dévolution des consignes,

l'accompagnement des élèves dans la réalisation de la tâche, les validations, les expositions des connaissances incrémentent la composante méditative. Elle renseigne sur les cheminements organisés pour différents élèves » (Robert, 2008, p. 60).

- La composante personnelle vise les représentations, les convictions personnelles sur l'enseignement, l'impact de son histoire personnelle sur son travail par exemple comment s'expriment ses représentations sur la chimie, ses convictions personnelles sur l'enseignement de la chimie (Kermen & Barroso 2013).
- La composante sociale englobe les choix collectifs dans l'établissement, les habitudes professionnelles des enseignants de physique chimie ce qui se manifeste dans la façon dont ils composent avec les choix collectifs de ses collègues dans l'établissement, les habitudes professionnelles des enseignants de physique-chimie et le milieu social de ses Élèves (Rogalski, 2012).
- La composante institutionnelle vise à déterminer comment l'enseignant prend en compte les recommandations des programmes et les ressources imposées (en chimie, par exemple, est la disponibilité du matériel et des espèces chimiques ainsi que leur absence de dangerosité).

Les deux premières composantes, cognitive et méditative, visent à caractériser les activités effectives que l'enseignant suscite parmi les élèves (aspect didactique) tandis que les composantes sociale, personnelle et institutionnelle visent le métier d'enseignant (aspect ergonomique).

La modélisation et la notion de modèle scientifique dans l'enseignement des Sciences Physiques

Dès le milieu des années 80, la communauté de recherche en didactique des sciences s'est intéressée aux activités de modélisation dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences (Martinand, 1992; Tiberghien, 1994). Tiberghien distingue deux mondes : le monde des objets et événements d'une part et le monde des théories et modèles d'autre part. Le monde des objets et événements n'est constitué que des objets matériels et des événements perceptibles. Ce monde est lié par des processus de modélisation au monde des théories/modèles distinctifs pour interpréter, prédire ou expliquer des événements dans le monde matériel (Ruthven et al., 2009). La distinction des deux mondes permet de rendre explicites ces processus en confrontant « les faits expérimentaux et leurs prévisions issues des théories et modèles » (Tiberghien & Vince, 2005, p. 4).

Bécu-Robinault (2015, p. 9) considère que : « d'un point de vue épistémologique, il est possible de caractériser le fonctionnement de la physique comme la recherche de relations entre les phénomènes et les concepts et les lois permettant d'expliquer, d'interpréter, de prédire ces phénomènes. Ces relations de modélisation, fondatrices de l'élaboration des savoirs en physique, sont aussi au cœur de l'enseignement de cette discipline ».

Pour Adúriz-Bravo (2013), la « modélisation » renvoi à la construction d'un nouveau modèle, l'utilisation d'un modèle pour interpeller des faits scientifiques, l'amélioration des modèles existants et enfin l'application des modèles dans un autre contexte. Toussaint (2004 cité dans Cheikh, 2016, p.61) distingue entre trois types de modèles : le premier type de modèle utilisé dans l'enseignement c'est la présentation de modèles existants : « les problèmes étant posés (explicitement ou non), leur résolution requiert la référence à un modèle établi, et la tâche des élèves est alors de s'approprier cet existant ». Le deuxième type de modèle c'est l'utilisation qu'il définit comme « la mise en œuvre de dispositifs construits sur un modèle précis, qui vont des maquettes aux logiciels de 'simulation' ». Le dernier type de modèle est la construction. Il le définit par « l'élaboration progressive des caractéristiques du modèle : c'est ici une activité, proposée aux élèves, de modélisation, une fabrication par abstraction. La démarche est

clairement celle du passage du constat des divers éléments visualisés du phénomène, le référent empirique, à un outil intellectuel qu'il s'agira ensuite de vérifier qu'il comporte les caractéristiques d'un modèle ».

Selon Soler (2013), il est impossible de donner une définition exhaustive de la notion de modèle. Nous reprenons le point de vue de Justin et Gilbert (2000) qui définissent la notion de modèle par ce qu'il peut représenter. Le modèle est « représentation simplifiée d'une entité du monde réel » (Larcher et al., 1992, p. 119), une « construction intellectuelle de quelque chose » (Soler, 2013, p. 183), « une représentation d'une idée, d'un objet, d'un événement, d'un processus ou d'un système » (Justi & Gilbert, 2000, p. 994). Pour construire un modèle on doit opérer des simplifications sur la réalité pour qu'il devient un opérant et efficace (Soler, 2013). C'est-à-dire, il sert à décrire, expliquer et prévoir (Robardet & Guillaud, 1997). Il est considéré comme valide si ses prévisions concordent avec les observations et les mesures effectuées. Toussaint, (2004) considère que pour l'enseignant le modèle « est une construction intellectuelle qui possède différents niveaux, et qui va servir d'outil pour résoudre, à ce niveau, le problème qui aura été repéré en présence d'un phénomène » (Toussaint, 2004).

Plusieurs modèles peuvent représenter un même référent, par exemple la lumière peut, selon le but poursuivi, être interprétée par le modèle ondulatoire ou le modèle corpusculaire. Etant donné que tout modèle présente des limites par rapport à son référent, différents modèles sont nécessaires pour 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 » (Halloun, 2006 p. 44). Inversement, un même modèle peut rendre compte de plusieurs phénomènes. On peut, par exemple, expliquer la propagation de la chaleur et le mouvement des ondes par des modèles mathématiques identiques (Robardet & Guillaud, 1997).

PROBLÉMATIQUE

Bien que les recherches en didactique montrent que la modélisation est une activité fondamentale dans l'enseignement des Sciences Physique, le programme officiel de 1ère année de l'enseignement secondaire en Tunisie ne cite le terme modèle que deux fois :

- Dans l'introduction dans la partie activité de formation à caractère expérimentale ou il est censé être présenté par l'enseignant ou dégagé par les élèves et que sa validité est exploitée ou vérifiée par les activités expérimentales.
- Étroitement lié à la résolution des situations problèmes par des activités expérimentales. Il s'agit de faire construire ou structurer un modèle modeste par les élèves.

Ce programme n'évoque ni la nature ni le rôle du modèle à construire et ne précise pas ses limites et son champ d'application.

De plus, de nombreuses études indiquent que les enseignants éprouvent des difficultés pour enseigner les modèles. Hirn, (1995) constate lors d'une enquête portant sur l'enseignement de l'optique géométrique au collège que les enseignants associent un seul contexte à un modèle. Aux Pays-Bas (Van Driel & Verloop, 1999), révèle que les points de vue des enseignants concernant les aspects le caractère explicatif ou prédictif d'un modèle divergent. Roy et Hasni (2014) dans une enquête réalisée au Québec, constatent que les enseignants n'envisagent pas la possibilité de représenter plusieurs référents par un seul modèle.

Face à ces constats, nous avons choisi d'interroger la manière dont une enseignante expérimentée s'empare de la modélisation lors de l'enseignement de l'interprétation des phénomènes électrostatiques en sciences physiques. Pour ce faire, nous utilisons le cadre de la DADE, il s'agit d'essayer de reconstruire sa logique d'enseignement en termes de tensions entre

les composantes de sa pratique, Ceci nous amènent à se poser la question de recherche suivante comment les composantes de la pratique de cette enseignante influent sur l'enseignement dispensé ?

MÉTHODOLOGIE

Recueil des données

Nous avons observé et filmé une séance ordinaire d'une enseignante en 2020 (classe entière avec). Cette enseignante est expérimentée elle a vingt-cinq années d'ancienneté, elle enseigne les sciences physiques en langue arabe et en langue française. La classe de première année observée (30 élèves) est située dans un lycée de la région de Sousse en Tunisie. L'enseignante nous a dit que la majorité des élèves ont des difficultés à comprendre et parler en français. Un entretien semi-directif poste séance de 30 minutes environ a été mené avec cette enseignante pour l'interroger sur les choix interprétatifs de l'électrisation qu'elle les a proposés, les objectifs et sur sa propre utilisation des notions de modèle et modélisation pendant la séance.

Nos données se limitent aux enregistrements audio de l'entretien et des enregistrements vidéo et audio de la séance de classe. En effet, aucun document n'a été fourni aux élèves et l'enseignante nous a déclaré, que vue son ancienneté, elle n'a pas besoin de préparer au préalable des notes ou une fiche pour son cours.

Traitement des données

Les enregistrements ont été intégralement transcrits. Les transcriptions des séances enregistrées sont découpées en épisodes, correspondant chacun à la réalisation d'une tâche par l'enseignante. En absence d'écrits préalables portant sur le scénario prévu de la séance, nous avons inféré les tâches de l'observation de l'enregistrement vidéo des séances de classe. L'examen des transcriptions de l'entretiens avec l'enseignante a permis de compléter les analyses du déroulement en recherchant les commentaires faits sur les choix de tâches effectués et sur la façon dont la première partie de la séance a été vécue.

Notre analyse se restreignant à la partie du cours portant sur l'interprétation à l'échelle microscopique des différents modes de l'électrisation. Elle se situe après deux séances qui portent sur les différents modes d'électrisation, interaction électrostatique : les deux espèces d'électricité (positive et négative) et la notion de charge électrique. Cette analyse prend appui sur les caractéristiques, dégagées dans notre cadre théorique, d'un modèle scientifique et d'activité de modélisation.

RÉSULTATS ET ANALYSES

Nous commençons par l'analyse du programme dans laquelle nous recherchons à identifier les caractéristiques de l'activité de modélisation prescrite. Vient ensuite l'analyse de l'interprétation des phénomènes électrostatiques proposée en classe pour caractériser les pratiques de l'enseignante à propos de l'activité de modélisation.

Analyse du programme

Les termes modèle ou modélisation n'apparaissent pas explicitement dans les objectifs, le contenu et les exemples de questionnement et d'activité dans la partie du programme reversée à l'enseignement de l'électrisation où les phénomènes électrostatiques sont abordés.

Le terme modèle est évoqué dans le préambule du programme de la 1^{ère} année secondaire (MEN, 2010) au niveau de la partie activité de formation à caractère expérimental ou il est censé être présenté par l'enseignant ou dégagé par les élèves et que sa validité est exploitée ou vérifiée par les activités expérimentales. Nous retrouvons le mot modèle associée à une démarche expérimentale en vue de résoudre des situations problèmes par des activités expérimentales là où les élèves sont appelés à construire ou à structurer un modèle modeste. Cette proposition pourrait faire penser que l'utilisation des modèles n'est préconisée que lors des activités à caractère expérimentale. La validité des modèles est, selon le programme, assurée par la confrontation des prévisions qu'il permet de faire aux observations et aux mesures effectuées. Ce qui peut amener à exclure toute validation non expérimentale des modèles. Nous n'avons trouvé aucune indication portant sur les limites et la fonction heuristique des modèles dans les programmes officiels.

Dans la partie commentaire associée à l'enseignement de l'électrisation, nous retrouvons une interprétation de l'électrisation est indiquée : « Pour interpréter l'électrisation, *on admettra* que les atomes sont des entités électriquement neutres formées d'un noyau porteur de charges électriques positives et d'électrons porteurs de charges électriques négatives. L'électrisation *apparaîtra* comme un transfert d'électrons » (MEN, 2010, p. 12, souligné par nous) (Figure 1). Les termes soulignés dans cette citation semblent indiquer que les auteurs du programme souscrivent à la nécessité de distinguer entre le modèle et la réalité qu'il étudie.

FIGURE 1

Objectifs	Exemples de questionnements et d'activités	Contenu	Volume horaire
<ul style="list-style-type: none"> ■ Réaliser des expériences mettant en évidence les deux espèces d'électricité. ■ Interpréter les phénomènes électrostatiques par la structure de l'atome et les transferts d'électrons. ■ Identifier les dangers de l'électricité statique dans des situations quotidiennes. ■ Expliquer comment on peut se protéger des dangers des phénomènes électrostatiques. 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Pourquoi subit-on parfois un choc électrique quand on touche la poignée métallique d'une voiture ? ▶ Pourquoi les objets en plastique attirent, dans certaines conditions, les objets légers (Cheveux brossés...)? ▶ Eclair, tonnerre, foudre..., quelle est leur origine ? ▶ Qu'est-ce que le courant électrique ? 	I. Electrisation I-1. Différents modes d'électrisation I-2. Interaction électrostatique : Les deux espèces d'électricité I-3. Notions de charge électrique I-4. Interprétation électronique II. Courant électrique	3 h

Extrait du programme officiel concernant l'électrostatique en première année secondaire (2010, p. 12)

Analyse du déroulement de la séance

Au cours des séances précédentes il a été établi :

- Les corps peuvent se charger négativement ou positivement.
- L'existence d'une attraction entre deux corps qui portent des charges de même signe et d'une répulsion entre deux corps qui portent des charges de signe contraire, s'il n'a pas été chargé, est électriquement neutre.
- La possibilité de charger des corps par frottement et que par convention l'ébonite frottée est chargée négativement et que le verre frotté est chargé positivement.

L'objectif de la séance annoncé par l'enseignante est « interprétation des phénomènes d'électrisation ». L'observation de la vidéo, nous a permis lister l'ensemble des épisodes suivants (Tableau 1).

Le transfert d'électrons d'un corps chargé positivement vers un corps neutre pose un problème particulier aux élèves et à l'enseignante. Les élèves pensent qu'il y a un déplacement des charges positives du corps chargé positivement vers le corps neutre. Pour refuser cette réponse, l'enseignante explique que les charges positives sont « cachées dans le noyau comme

les grains dans une pomme donc elles ne peuvent pas se déplacer ». L'enseignante justifie son recours à l'analogie par son expérience personnelle. Pendant ses études (lycée et université), l'utilisation des analogies lui a facilité la conceptualisation de certains concepts abstraits.

L'enseignante a choisi de ne pas interpréter les phénomènes liés à l'électrisation par influence. Pourtant cette interprétation de l'électrisation à distance, par répartition asymétrique des charges dans le corps neutre, permet de mettre en évidence les limites du modèle du transfert de charges ou son champ d'application de façon explicite.

TABLEAU 1
Listes des épisodes

Episode	Nature de la tâche	Arguments développés par l'enseignante	Mode de présentation du savoir
1	Expliquer que le bâton d'ébonite et la fourrure sont neutres avant frottement	La matière est formée par des atomes. « <i>L'atome est constitué par des électrons chargés négativement gravitent autour d'un noyau fixe chargé positivement</i> ». La somme des charges des électrons est égale à la charge du noyau, l'atome étant électriquement neutre	Rappeler les acquis antérieurs. Écrire les arguments et dessiner des schémas au tableau, Questionner les élèves.
2	Expliquer que le frottement entre l'ébonite et la fourrure occasionnant un transfert d'électrons.	Les charges peuvent passer d'un corps à l'autre par contact.	Écrire les arguments au tableau.
3	Expliquer que l'électrisation par frottement rend l'objet frotté et l'objet frottant chargés avec des charges opposées.	La fourrure se retrouve avec un déficit d'électrons elle devient par conséquent chargée positivement. Le bâton d'ébonite étant chargés négativement, il y a donc un excès d'électrons	Écrire les arguments et dessiner des schémas au tableau. Questionner les élèves.
4	Expliquer que l'électrisation par contact entre un corps neutre et un corps chargé est dû à un transfert d'électrons.	Il y a un déplacement d'électrons du corps neutre vers le corps chargé positivement. Le premier devient chargé positivement et l'autre reste chargé positivement.	Écrire les arguments et dessiner des schémas au tableau. Discuter avec les élèves.

DISCUSSION ET CONCLUSION

L'enseignante part des observations expérimentales pour justifier l'électrisation, par contact ou par frottement, a posteriori avec le modèle relatif au « transfert de charge ». Il semble donc que

le rôle attribué au modèle est alors, la justification de ce que l'expérience montre. Cela semble en adéquation avec nos constatations relatives au programme. D'ailleurs, à maintes reprises, elle affirme lors de l'entretien qu'elle s'attache à prendre en compte toutes les recommandations et suggestions du programme.

Nos analyses montrent que la notion de modèle n'est pas évoquée par l'enseignante pendant la séance. Questionnée sur ce fait, l'enseignante affirme que ce qu'elle appelle modèle se sont les dispositifs tels que les maquettes ou les logiciels de « simulation » construits pour faciliter aux élèves la compréhension des phénomènes ou concepts. Selon cette enseignante, la modélisation désigne le processus permettant de passer de la réalité à un « schéma » de cette réalité. Le schéma de l'atome représenté sur le tableau est, selon cette enseignante, sa modélisation. Ce constat, qui rejoint les résultats de Morge et Dolly (2013) et Roy et Hasni (2014), pourrait être interprété comme une influence de la composante personnelle.

Nous avons noté également que les termes utilisés par le programme « on admettra » et « apparaîtra », n'ont pas été mobilisés par l'enseignante. Lors de l'entretien, l'enseignante affirme que le savoir qu'elle enseigne est la réalité indiscutable « *l'atome et sa description en termes de noyau et des électrons qui gravitent autour, c'est la réalité* ». Cela semble incohérent avec les termes utilisés par le programme qui peuvent s'interpréter comme une volonté de faire la distinction entre le modèle et le « réel ». Nous traduisons ce choix comme une tension entre la composante institutionnelle et la composante personnelle.

Nous avons montré que certains choix, proposés par l'enseignante pour interpréter les phénomènes électrostatiques, s'expliquent en invoquant la part prépondérante de la composante personnelle de son activité : sa vision de ce qu'est un modèle dans l'enseignement des Sciences Physiques et la confusion entre modèles scientifiques et réel. D'autres choix, en revanche, s'expliquent en invoquant l'impact de la composante institutionnelle : son attachement à respecter les consignes du programme officiel. Nous avons constaté, que dans le cas où une tension se révèle entre la composante institutionnelle et la composante personnelle c'est la composante personnelle qui l'emporte.

Nos résultats sont issus d'une étude de cas qui ne peut pas être généraliser pour l'instant. Il serait intéressant de procéder par questionnaire à large échelle pour étudier l'impact des différentes composantes de la DADE sur l'enseignement des modèles et par les modèles en physique. Par ailleurs, tout cela nous a mène à s'interroger sur la vision que les élèves vont avoir sur les sciences.

RÉFÉRENCES

- Adúriz-Bravo, A. (2013). A 'semantic' view of scientific models for science education. *Science & Education*, 22, 1593-1611.
- Bécu-Robinault, K. (2015). *Un cadre épistémologique pour concevoir des séances et analyser des pratiques d'étude et d'enseignement de la physique*. Doctoral dissertation, Université Toulouse Jean-Jaurès, France.
- Brousseau, G. (1988). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble: La pensée sauvage.
- Cheikh, G. (2016). *Les concepts de l'électricité au collège en Syrie Approche exploratoire des programmes et des manuels scolaires syriens*. Thèse de Doctorat en Sciences de l'Éducation, Université de Lyon 2, Lyon, France.
- Criado, A. M. (2000). *Un estudio didáctico en torno a la enseñanza de conceptos básicos de electrostática en la formación inicial de maestros*. Doctoral dissertation, Universidad de Sevilla, Spain.
- Halloun, I. A. (2006). *Modeling theory in science education*. Dordrecht, NL: Kluwer Academic.

- Hirn, C. (1995). Comment les enseignants de sciences physiques lisent-ils les intentions didactiques des nouveaux programmes d'optique de classe de quatrième? *Didaskalia*, 6(1), 39-54.
- Justin, R., & 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.
- Kermen, I., & Barroso, M. T. (2013). Activité ordinaire d'une enseignante de chimie en classe de terminale. *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies*, 8, 91-114.
- Kermen, I., & Colin, P. (2017). Trois mises en œuvre d'une transformation chimique pour introduire le thème des piles: Des choix didactiques très contrastés. *Éducation et Didactique*, 2, 187-212.
- Larcher, C., Chomat, A., & Méheut, M. (1992). Modèle particulière et démarche de modélisation In J.-L. Martinand (Éd.), *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*, (pp. 119-169). Paris, France: INRP.
- Martinand, J.-L. (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris: INRP.
- Métioui, A., & Trudel, L. (2007). Analyse critique des expériences proposées dans les manuels destinés aux jeunes de 8 à 12 ans : :agnétisme, électrostatique et circuits électriques. In IOSTE International Meeting (Ed.), *Critical Analysis of School Science Textbooks* (pp. 764-778). Hammamet, Tunisia: IOSTE.
- MEN - Ministère de l'Éducation National. (2010). *Programmes de sciences physiques 1ère et 2ème année de l'enseignement secondaire*. Centre National Pédagogique.
- Morge, L., & Doly, A.-M. (2013). L'enseignement de notion de modèle : Quels modèles pour faire comprendre la distinction entre modèle et réalité. *Spirale - Revue de Recherches en Éducation*, 52(1), 149-175.
- Robardet, G., & Guillaud, J.-C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Robert A. (2008). La double approche didactique et ergonomique pour l'analyse des pratiques d'enseignants de mathématiques. In F. Vandebrouck (Éd.), *La classe de mathématiques : activités des élèves et pratiques des enseignants* (pp. 59-68). Toulouse: Octarès.
- Robert, A. (2012). Une analyse qualitative du travail des enseignants de mathématiques du second degré en classe et pour la classe: Éléments méthodologiques. In *Actes du colloque Les méthodes d'analyse des pratiques d'enseignement: un regard comparatif. XVIIe congrès mondial AMSE, recherche en éducation et en formation: enjeux et défis aujourd'hui*. Reims : université de Reims.
- Robert, A., & Rogalski, J. (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques : une double approche. *Canadian Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 2(4), 505-528.
- Rogalski, J. (2012). Théorie de l'activité et didactique, pour l'analyse conjointe des activités de l'enseignant et de l'élève. *Jornal Internacional de Estudos em Educação Matemática*, 5(1). Retrieved from <https://jieem.pgskroton.com.br/articulo/view/112>.
- 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.
- Ruthven, K., Laborde, C., Leach, J., & Tiberghien, A. (2009). Design tools in didactical research: Instrumenting the epistemological and cognitive aspects of the design of teaching sequences. *Educational Researcher*, 38(5), 329-342.

Soler, L. (2013). Qu'est-ce qu'un modèle scientifique? Des caractéristiques du modèle qui importent du point de vue de l'enseignement intégré de science et de technologie. *Spirale-Revue de Recherches en Éducation*, 52(1), 177-214.

Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, 4(1), 71-87.

Tiberghien, A., & Vince, J. (2005). Études de l'activité des élèves de lycée en situation d'enseignement de la physique. *Cahiers du Français Contemporain*, 10, 153-176.

Van Driel, J. H., & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141-1153.