



INSPE Académie de Limoges
Métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation
Second degré
Physique-Chimie

2024/2025

Enseignement de/par la modélisation :

- **Analyse des conceptions des élèves et des enseignants en lycée général et technologique**
- **Application au cas de la description d'un mouvement en classe de sixième**

Melvyn Grenier

Master MEEF « Professeur de Physique-Chimie »

INSPE de l'académie de Limoges – Université de Limoges

Mémoire encadré par

Fabien Rémondière (encadrant) et Jérôme Fatet (rapporteur)



Remerciements

Je tiens à remercier tout d'abord mon tuteur de mémoire Monsieur Fabien Rémondière pour toute la bienveillance et le professionnalisme dont il fait preuve tout au long de l'année. Je remercie également mes camarades de promo pour leur soutien durant cette année et leur passation des questionnaires dans leur établissement. Je remercie aussi mes tuteurs de stage, Madame Florence Magnac et Monsieur Jérôme Lascaux, pour leur amour de la profession et tout ce qu'ils m'ont transmis durant les stages de cette année. Pour finir, je remercie ma famille ainsi que ma fiancée pour le soutien et l'amour qu'ils me témoignent quotidiennement.

Droits d'auteurs

Cette création est mise à disposition selon le Contrat :

« **Attribution-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de modification 3.0 France** »

disponible en ligne : <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>



Table des matières

Introduction	6
1. Aspects théoriques	8
1.1. La modélisation.....	8
1.1.1. Modélisation et modèle : une limite à définir	8
1.1.2. La modélisation dans l'enseignement de la Physique-Chimie.....	10
1.2. L'apprentissage.....	14
1.2.1. L'apprentissage : une définition complexe	14
1.2.2. Analyse des différents apprentissages dans les Bulletins Officiels de l'Éducation nationale de Physique-chimie.....	17
1.3. Modélisation et apprentissage.....	19
1.3.1. Lien entre les concepts : les modèles d'apprentissage	19
1.3.2. Limites des modèles d'apprentissages	22
1.4. Analyse des Bulletins Officiels de l'Éducation Nationale (BOEN)	23
1.4.1. Le Bulletin Officiel de la classe de Seconde	23
1.4.2. Le Bulletin Officiel de la classe de Première spécialité	24
1.4.3. Le Bulletin Officiel de la classe de Terminale spécialité	24
1.5. Mettre en place la modélisation dans une classe	24
2. Aspects méthodologiques.....	28
Théories et expérimentations envisagées	28
2.1. Expérimentation au lycée : « expérience terrain ».....	28
2.2. Expérimentation au collège : « expérience pédagogique »	29
3. Analyse des résultats	31
3.1. Expérience terrain : la vision des enseignants et des élèves au lycée.....	31
3.1.1. Les enseignants	31
3.1.2. Les élèves	37
3.1.3. Enseignants et élèves : similarités et divergences ?	44
3.1.3.1. Question 1	44
3.1.3.2. Question 2	45
3.1.3.3. Question 3	46
3.2. Expérience pédagogique : proposition de séquence en classe de sixième	47
3.2.1. Séance 1 : Découverte de la modélisation et première partie du cours.....	47
3.2.2. Séance 2 : Description de mouvements du quotidien et relativité	49
3.2.3. Séance 3 : Évaluation formative	51
3.2.4. Séance 4 : Évaluation sommative.....	52
Conclusion	53
Références bibliographiques	56
Annexe 1 : Questionnaire élève.....	59
Annexe 2 : Questionnaire enseignant.....	60
Annexe 3 : Fiche de séquence « Chapitre IV : le Mouvement ».....	61
Annexe 4 : Carte mentale sur la modélisation – Séance 1.....	70
Annexe 5 : Activité du manuel – Séance 1	71
Annexe 6 : Fiche d'institutionnalisation – Séance 1	72
Annexe 7 : Activité « Mais qui bouge ? » - Séance 2.....	73

Annexe 8 : Fiche d'institutionnalisation – Séance 2	74
Annexe 9 : Evaluation formative – Séance 3	75
Annexe 10 : Evaluation sommative – Séance 4.....	76

Introduction

Lorsque l'on pense à l'enseignement de la physique-chimie, deux notions sont primordiales. Tout d'abord, la notion de modélisation, celle-ci étant liée à la démarche scientifique et au cœur de tous les concepts abordés dans la discipline. La seconde notion est bien évidemment l'apprentissage, du fait de son lien intrinsèque avec l'évolution de l'Homme. Il me paraît donc important de développer ces deux notions en tant qu'enseignant dans le but d'être le plus efficace possible.

Le choix de ce sujet fut évident pour l'enseignant que je souhaite devenir. D'une part, par mon attrait pour les matières scientifiques, j'ai, depuis mon plus jeune âge, été sensibilisé au terme « modélisation ». Lorsque j'ai été mis face aux propositions de sujet, j'ai directement été sensible à celui-ci dans le but de définir clairement la modélisation et les modèles associés. D'autre part, de mon désir de devenir enseignant, la notion d'apprentissage m'intéresse fortement. D'ailleurs, ayant assisté à une conférence abordant les modèles d'apprentissage, j'y ai porté un intérêt concret. De plus, ce sujet est pluridisciplinaire que ce soit au sens des notions qu'il aborde (modélisation et apprentissage) ou encore, des domaines d'application qu'il possède : il peut être sujet d'expérimentation à la fois en cours de physique et en cours de chimie.

Le questionnement initialement envisagé pour ce travail de recherche était *Quelle(s) influence(s) le modèle, qu'il soit notionnel ou d'apprentissage, a-t-il sur la compréhension d'une notion scientifique ?* Seulement, à l'issue du travail du premier semestre et des séminaires qui ont eu lieu, une seconde problématique a vu le jour. *En quoi la place de la modélisation dans la conception de séquence pédagogique a-t-elle une influence sur les apprentissages ?* Cette problématique me semblait plus complète d'un point de vue de l'apprentissage. Cette problématique m'a été inspirée par l'expérience terrain que j'ai gagné tout au long du semestre. A l'issue du semestre 3, j'ai de nouveau modifié ma problématique afin de la préciser et l'adapter à l'élaboration de questionnaires. *Quelles conceptions et utilisations de la modélisation ont les enseignants et les élèves en classes de lycée général et technologique ?* Pour répondre à cette problématique, j'ai pu dégager trois hypothèses majeures.

- **La connaissance de l'enseignant des modèles et de la modélisation a un impact sur les apprentissages.** Ce qui est entendu par là c'est que si l'enseignant a une mauvaise connaissance du modèle ou de la modélisation, la transmission de ces notions sera inévitablement plus compliquée.
- **La connaissance approfondie d'un modèle de la part des enseignants peut être un obstacle à la compréhension des élèves.** En effet, le modèle peut être

tellement ancré dans l'esprit de l'enseignant, que les difficultés du modèle que peuvent ressentir ces élèves lui paraissent invraisemblable.

- **Le caractère abstrait de la modélisation, et donc des modèles, révèle une véritable difficulté dans la compréhension, du point de vue de l'élève.** Cela signifie que l'intérêt de la modélisation n'est pas toujours explicite pour les élèves. Ce caractère implicite peut donc être un frein à la transmission de notion.

J'ai également décidé de mener une séquence pédagogique dans une classe de sixième au collège Jean-Baptiste Corot (Aixe-Sur-Vienne, 87). Ainsi, une seconde problématique peut être proposée pour guider l'analyse de cette séquence. *Comment mettre en œuvre un enseignement de la modélisation et par la modélisation en classe de sixième ?*

Nous allons donc, dans un premier temps, établir l'état de l'art de mon sujet. Nous aborderons, d'abord, la modélisation d'un point de vue épistémologique. Cela nous permettra de la définir mais aussi de définir la notion de modèle. Nous exploiterons ensuite la modélisation dans la discipline de la physique-chimie. Nous étudierons également la notion de l'apprentissage, avec un état de l'art permettant de lui donner une définition, puis nous porterons un regard sur les Bulletins officiels de l'Éducation nationale dans le but d'analyser la façon dont sont organisés les apprentissages. Pour donner suite, nous verrons ce qui lie les deux concepts, en utilisant directement une application de la démarche de modélisation à la notion d'apprentissage, cela en explicitant les différents modèles de l'apprentissage. Nous définirons les limites de ces mêmes modèles. Pour clore cette première partie, nous expliciterons des éléments permettant la mise en place de la modélisation dans une classe.

Dans un second temps, nous aborderons les aspects méthodologiques, qui serviront dans le but de réaliser mes propres expérimentations afin d'illustrer toutes les notions abordées au cours de ce travail de recherche. Dans cette partie, nous aborderons donc l'expérimentation terrain dans un premier temps, et dans un second l'expérimentation pédagogique.

Dans un dernier temps, nous analyserons les résultats de l'expérimentation terrain et la séquence pédagogique de l'expérimentation pédagogique. Cela nous permettra ainsi de conclure sur la validation ou non des hypothèses de recherche et ainsi, apporter des réponses claires aux problématiques proposées.

1. Aspects théoriques

1.1. La modélisation

1.1.1. Modélisation et modèle : une limite à définir

« *Établissement de modèles, notamment des modèles utilisés en automatique, en informatique, en recherche opérationnelle et en économie* », cette définition est celle que l'on retrouve dans le dictionnaire *Larousse* pour le terme « modélisation ». « *Représentation schématique d'un processus, d'une démarche raisonnée* », cette définition, quant à elle, correspond dans le dictionnaire *Larousse* au terme « modèle ». Ces deux définitions montrent bien la distinction à effectuer entre les deux termes. Cependant, ces derniers sont liés par le fait que le nom « modèle » intervienne dans la définition donnée pour la modélisation. En sciences, que ce soit en mathématiques, en sciences de la vie et de la terre ou bien également en physique-chimie, la modélisation peut être définie comme un processus permettant l'élaboration d'un modèle et notamment par l'expérience.

Selon le ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse (2019), la science peut être définie comme une vaste étendue de connaissances, basée sur des concepts, des théories et des expériences permettant d'expliquer et de comprendre le monde qui nous entoure. Ainsi, la modélisation peut être placée en son centre du fait de sa capacité à la « *description théorique d'une situation matérielle* », comme à « *l'exploitation d'éléments théoriques pour fournir des prévisions* » (ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse, 2019). On peut définir deux mondes, le monde de la théorie et le monde matériel. Ainsi, l'activité de modélisation peut donc être utilisée pour faire le lien entre ces deux mondes, tout comme l'expérience dans la démarche scientifique. Le monde théorique est celui de l'abstrait tandis que le monde matériel est celui du concret. Pour faire le lien entre ces « deux mondes », on peut s'appuyer sur la modélisation dite « descriptive » ou « réalité idéalisée ». L'étape supérieure est le modèle explicatif. Il découle de la modélisation de description mais est plus élaboré et possède un lien plus profond avec la théorie. La modélisation est donc très utile pour travailler les compétences scientifiques et la démarche expérimentale. C'est pour ces raisons que l'on peut lier le processus de modélisation à la démarche scientifique.

En effet, comme l'a montré M. Coquidé et J.L Maréchal (2006), la modélisation a différentes fonctions. Elle peut être tant un outil intellectuel qu'un outil d'analyse. Ainsi, on peut différencier trois types de modèles issus des processus de modélisation :

- « *Les modèles d'hypothèses* » : modèles basés sur les hypothèses simplificatrices. Par exemple, en mécanique classique, les forces de frottements sont négligées dans plusieurs problèmes.
- « *Les modèles de mécanisme* » : modèles basés sur la modélisation de mécanismes. Par exemple, en chimie organique, nous pouvons retrouver le symbolisme des flèches et la modélisation de réactions chimiques.
- « *Les modèles de décision et de prévision* » : Le modèle le plus connu de ce type est le modèle météorologique.

Les fonctions d'un modèle peuvent donc être diverses, mais toutes liées d'une certaine façon par l'expérience (M. Coquidé & J.L. Maréchal, 2006). Ainsi, on comprend que la démarche de modélisation peut donner lieu à plusieurs types de modèles, tous s'appuyant sur l'expérience.

Dans ses recherches, Franck Varenne (2016) explicite ce que l'on appelle « modèle » selon Marvin Minsky (1965), Jean-Marie Legay (1997) et Alain Pavé (1994).

Tout d'abord, pour Minsky (1965), un modèle peut être caractérisé comme dans l'exemple qui suit : « *pour un observateur B, un objet A* est un modèle d'un objet A dans la mesure où B peut utiliser A* pour répondre à des questions qui l'intéressent au sujet de A* ». On remarque donc dans cette caractérisation du terme « modèle » qu'il n'est pas nécessaire qu'il soit l'exacte représentation de ce qu'il modélise.

Ensuite, Legay (1997) caractérisait les modèles comme pouvant être des outils qui permettaient d'améliorer l'aspect expérimental des sciences, sans être des représentations de l'objet modélisé.

Enfin, pour Alain Pavé (1994), « *un modèle est une représentation symbolique de certains aspects d'un objet ou d'un phénomène du monde réel* ». Cette caractérisation est plus large du fait que l'on s'attache à la sélection d'aspects de l'objet que l'on représente dans le modèle.

Selon Varenne (2016), il existe cinq grandes fonctions de modèles. La première permet de « *faciliter une observation, une expérimentation* ». Le modèle peut donc être un substitut de l'objet modélisé permettant alors de le rendre mémorisable, il peut également faciliter l'expérience par l'utilisation d'objets facilement disponibles.

Deuxièmement, le modèle « *facilite une présentation intelligible* ». On note ainsi que le modèle permet d'augmenter la compréhension lors d'une présentation du fait de l'utilisation

de représentations mentales, donc d'ordre psychologique. Les modèles explicatifs sont un type de modèle possédant cette fonction.

La troisième fonction qu'un modèle peut posséder est de « *faciliter une théorisation* ». D'après Varenne, « *une théorie peut être défini comme un ensemble d'énoncés formant un système et donnant lieu à des inférences susceptibles de valoir descriptivement pour tout domaine de réalités ou pour tout un type de phénomènes.* ». Un modèle est donc à différencier d'une théorie mais peut néanmoins aider à sa conception. En effet, un modèle aide à la conception d'une théorie, à son interprétation mais également à la rendre plus représentative, plus concrète, en l'illustrant. Un modèle peut également lier deux théories comme dans les équations de Maxwell sur les ondes électromagnétiques. Un modèle permet aussi de valider la cohérence d'une théorie par la validation mathématique.

Quatrièmement, le modèle sert à « *faciliter la médiation entre discours* ». Ainsi, le modèle permet une meilleure communication entre les chercheurs. Par conséquent, un modèle de ce type permet, avant tout, la coopération entre les groupes, ceci permettant d'effectuer des avancées dans plusieurs domaines scientifiques.

Pour finir, la dernière fonction qu'un modèle peut posséder est de « *faciliter la médiation entre représentation et action* ». Ici, un modèle sert donc à la prise de décision. Pour l'illustrer, on a d'ailleurs récemment utilisé ce type de modèle lors de la pandémie de Covid-19, où un modèle de gestion d'épidémie avait été mis en place.

Pour conclure sur ce point, les recherches effectuées sur la modélisation et les différents modèles auxquels elle a pu donner naissance permettent de comprendre sa nature et de lui donner une définition complète. Par les recherches, nous pouvons définir la modélisation comme un processus semblable à une démarche scientifique qui a pour but de donner naissance à un modèle. Ce modèle peut avoir différentes finalités et fonctions, ceci créant une grande diversité dans l'utilisation de la modélisation, que ce soit dans un but descriptif, prévisionnel ou encore didactique. Ainsi, la modélisation est appliquée et utilisée dans un grand nombre de domaines où son utilité ne fait aucun débat.

1.1.2. La modélisation dans l'enseignement de la Physique-Chimie

Les notions de modélisation et de modèle interviennent dans les programmes dès les classes de collège. D'après les études de Morge et Doly (2013), l'enseignant se doit de transmettre à l'élève ce qu'est un modèle et son utilité. Cependant, pour enseigner, l'enseignant fait face aux limites du modèle et doit les connaître.

En effet, du point de vue de l'enseignement, l'assimilation du modèle à la réalité va être naturelle pour l'élève. Ce dernier va supposer que le modèle est une simple représentation de la réalité. Or, les élèves doivent faire la distinction entre la réalité et un modèle. Cette confusion peut se traduire par l'incapacité de l'adolescent à comprendre qu'un même objet peut avoir différents modèles. Il est donc nécessaire pour l'enseignant, lors de la présentation de cette notion, d'aborder un angle épistémologique. Ce point de vue permettra à l'enseignant, de, non seulement, pallier les limites d'utilisation du modèle dans son enseignement, mais également de développer la culture et l'intérêt des élèves. Ces derniers seront donc confrontés à l'exploration de l'origine et des limites scientifiques du modèle, permises par l'étude épistémologique. Cela permet également le développement de l'esprit critique des élèves. En effet, la démonstration des limites permet de représenter un modèle et ses limites d'application.

Morge et Doly (2013) démontrent également que ces connaissances permettent de bien situer le modèle et d'éviter la confusion entre celui-ci et la réalité. Pour faire comprendre la notion de modèle, il faut donc l'enseigner en ayant une vision à la fois épistémologique et didactique. L'enseignant doit donc présenter le modèle comme médiation entre la théorie et la réalité empirique. Il faut donc amener l'élève sur cette réflexion complexe. Pour cela, l'enseignant doit respecter trois conditions didactiques : « *l'objet modélisé doit être directement perceptible* », « *l'objet doit pouvoir être modélisé de différentes manières* » et « *l'objet et son modèle ne doivent pas être dans un rapport descriptif* ». L'enseignant doit donc veiller à ce que les élèves comprennent bien ce qu'est un modèle, c'est-à-dire qu'il n'a pas forcément fonction à la description.

D'autre part, M. Coquidé et J.L Maréchal (2006) différencient « *enseigner la modélisation* » et « *enseigner par la modélisation* ». Cette distinction doit être également faite par l'enseignant. Derrière « *enseigner la modélisation* » se cache l'enseignement de la notion de modélisation, ce que cela signifie et son utilité. Ce travail peut être antérieur à « *l'enseignement par la modélisation* » afin de le compléter.

En effet, lorsque l'on parle d'« *enseignement par la modélisation* », l'objectif pédagogique majeur attendu est que l'élève forme son savoir par la modélisation des concepts. D'une part, cela permet aux élèves de travailler les compétences en lien avec la démarche scientifique, cette dernière suivie dans l'enseignement. D'autre part, les élèves pourront comprendre la façon dont les savoirs scientifiques sont construits. Dans cette façon d'enseigner, on déconstruit les modèles « initiaux » des élèves pour les emmener vers un système de modèles « scientifiques ». Ces modèles sont, bien entendu, construits par les

élèves pour qu'ils se rapprochent le plus possible des modèles scientifiques classiques. On différenciera tout de même les modèles des élèves et les modèles scientifiques puisqu'ils appartiennent à deux ordres différents. En effet, les modèles mentaux que se construisent les élèves sont de l'ordre psychologique, tandis que les modèles scientifiques se rapportent au domaine épistémologique.

Selon le ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse (2019), la diversité d'application de la modélisation ne doit pas être considérée comme un frein pour l'intégrer à l'enseignement, notamment dans celui de la Physique-Chimie dans le second degré.

Dans les programmes, la démarche de la modélisation est liée à la démarche expérimentale. L'enseignement desservi aux élèves doit donc être parsemé de modélisation. En effet, si l'élève parvient à faire le lien entre la modélisation et la démarche scientifique, cela lui permettra d'atteindre une autre sphère de compréhension des activités expérimentales effectuées en classe. Il pourra ainsi en comprendre l'origine et être davantage intéressé et motivé par la discipline.

Le ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse (2019) montre également que la caractérisation de l'activité de modélisation, comme la mise en relation entre monde théorique et monde matériel, doit être explicitée par l'enseignant lors de l'enseignement par la modélisation. L'exercice d'établir un lien entre le concret et l'abstrait est assez compliqué pour les élèves puisque les concepts scientifiques sont, en effet, souvent abstraits pour ceux-ci. On peut prendre pour exemple le concept d'énergie qui n'est pas évident du fait de l'absence de tangibilité ou de la pluralité d'application que possède le concept. C'est pour cela que la modélisation est une tâche considérée comme complexe pour les élèves. En effet, elle met en jeu les compétences de la démarche scientifique.

Pour finir, pour une utilisation adaptée d'un modèle il faut s'approprier le problème auquel on fait face, valider ou invalider nos hypothèses grâce au modèle, et enfin analyser et raisonner sur le problème à la façon du modèle employé. Cela permet d'accroître la maîtrise que les élèves ont du modèle en les faisant penser par celui-ci. Ils seront également capables d'en identifier les limites, cela mettant en jeu leur esprit critique.

Laurence Viennot (2006), nous expose un exemple de modélisation utilisé face à des élèves, appelée « *modélisation dimensionnellement réductrice* ». Cette modélisation peut être définie comme étant le fait de reconstruire un ensemble continu par des éléments de dimension mineure.

Un exemple de ce type de modélisation se retrouve en optique, discipline de la physique, enseignée aux élèves. En effet, dans cette branche, on modélise une source de lumière par un point car elle peut être considérée comme constituée d'un ensemble de points. Aussi, un flux de lumière est composé d'une infinité de rayons. Il est donc modélisé par une flèche ou un ensemble de flèches. Cependant, une limite de cette modélisation peut se faire ressentir lorsque l'on l'enseigne. En effet, la modélisation d'un flux par une flèche ou des flèches pour un élève peut être perçue comme erronée puisque, pour ce dernier, le bout d'une flèche est un point. Or, le flux peut éclairer une surface. Ici, il faut donc faire comprendre à l'élève qu'un ensemble de points peut ainsi former une surface. On peut ainsi allier au modèle une représentation visuelle, sous forme de graphique, pouvant permettre à l'élève de valider personnellement le modèle.

Ce type de modélisation est souvent mal utilisé et mène à des confusions puisque le but de ces modèles est totalement différent : on ne présume pas d'une structure de la matière. Ce n'est pas un modèle au sens descriptif mais plutôt un modèle permettant de traiter des situations problèmes. On retrouve ici, la caractérisation du modèle pour Minsky qu'évoque Varenne (2016) : un modèle n'est pas forcément une représentation de l'objet qu'il modélise de façon descriptive, mais peut être considéré comme un modèle du fait qu'il permette de répondre à des interrogations sur l'objet initial.

Malgré la constante évolution des programmes d'enseignement de la physique-chimie, la matière est souvent victime du désintérêt des élèves. En effet, selon Gaidioz et Tiberghien (2003), cela peut être dû à l'écart entre les sujets abordés dans la discipline et la réalité. Cela est donc une des raisons pour lesquelles les élèves trouvent la discipline déroutante.

Le but de l'enseignement des sciences physiques et chimiques se fonde principalement dans le fait d'intéresser les élèves dans l'objectif que ces derniers poursuivent leur avenir dans les études supérieures. Cela peut être dû à la façon dont l'enseignant délivre le savoir et les concepts (P. Gaidioz & A. Tiberghien, 2003). En effet, l'enseignant est dicté par les modèles qu'il connaît et maîtrise : il pense principalement par ceux-ci. Il lui est donc difficile de transmettre aux élèves la connaissance d'un modèle si, pour lui-même, il est tellement ancré qu'il n'en voit pas la difficulté. Pour ne pas désarçonner l'élève, il est donc nécessaire de lui faire part de la notion de modèle au préalable. En effet, introduire la notion de modèle aux élèves, en leur explicitant qu'il a ses limites, permettra de mieux appréhender chaque nouveau modèle auquel ils auront à faire face. Cela fait écho aux recherches de Morge et Doly (2013), où il est conseillé d'enseigner la modélisation puis par la modélisation, et ainsi développer la notion de modèle avec les élèves.

Lors de ses apprentissages dans la discipline, l'élève est mis face à une démarche scientifique implicite. Effectivement, il doit faire le lien entre réalité et théorie, et, cela grâce à un modèle. C'est pour cette raison que la modélisation occupe une part centrale dans l'enseignement des sciences expérimentales. En effet, l'absence de la notion de modèle est un frein dans la compréhension de la démarche de modélisation puisqu'elle en est le produit. Il semble donc nécessaire d'aborder cette notion avec l'élève.

De plus, il est important de faire la distinction entre une théorie et un modèle (Varenne, 2016). En effet, un modèle peut avoir comme fonction d'étayer la théorie mais il n'est pas pour autant son équivalent. La différence est aussi à noter entre un objet et un événement. L'enseignant doit donc se convaincre qu'une de ses missions primordiales dans l'enseignement des sciences expérimentales réside dans le fait d'insister sur ces notions afin que les élèves puissent acquérir les compétences nécessaires, tant scientifiques qu'en termes de réflexion.

Le langage peut également apparaître comme une difficulté (Gaidioz & Tiberghien, 2003). Certains mots n'ont pas le même sens dans le langage courant et dans le langage de la discipline. Nous pouvons prendre l'exemple du terme « accélérer ». Dans le langage courant, cela signifie une augmentation d'une vitesse tandis que dans le langage scientifique, notamment en mécanique, le terme « accélérer » signifie que le mouvement possède une accélération et non une augmentation de la vitesse. Les expressions peuvent aussi desservir la compréhension du vocabulaire scientifique. Par exemple, l'expression « l'énergie du désespoir » ne prend pas en compte la conservation de l'énergie et amène ainsi les élèves à considérer l'énergie comme un fluide, ceci n'ayant aucun sens physique.

1.2. L'apprentissage

1.2.1. L'apprentissage : une définition complexe

Le dictionnaire Larousse définit l'apprentissage comme un « *ensemble des processus de mémorisation mis en œuvre par l'animal ou l'homme pour élaborer ou modifier les schèmes comportementaux spécifiques sous l'influence de son environnement et de son expérience* ». On peut donc noter que l'apprentissage est un « *processus de mémorisation* » permettant l'adaptation de l'être qui l'utilise.

De nombreuses recherches ont eu pour thématique la notion d'apprentissage. Cela a permis d'établir, au fil des années, des définitions complémentaires les unes des autres.

Mehlinger et Briswalter (2022), ont rédigé un article universitaire sur les théories de l'apprentissage, en faisant au préalable un état des lieux de cette notion, notamment à travers les différentes définitions proposées au fil des recherches. Philippe Meirieu (1987) définit l'apprentissage comme le fait de « *construire de nouvelles compétences, modifier sa façon d'agir / de penser [...], d'aller de ce que l'on sait vers ce que l'on ignore, et du connu vers l'inconnu* » (Meirieu, 1987). D'autre part, l'apprentissage est, selon Bruner (1996) « *un processus interactif à travers lequel les gens apprennent les uns des autres* ». De ces deux définitions, nous pouvons retirer les particularités autocentrées. En effet, l'homme part de ce qu'il sait et se dirige vers ce qu'il ne sait pas, ceci devenant, par la suite, connu, par le processus d'apprentissage. Nous pouvons également noter des spécificités sociales de l'apprentissage, notamment chez Bruner (1996), où l'être humain n'apprend que par les interactions entre eux.

Perrenoud (2004) quant à lui, lie l'action d'apprendre à un état évolutif de l'apprenant. Ainsi, « *au fil des apprentissages, on devient quelqu'un d'autre, on transforme sa vision du monde et des problèmes. Certains ne s'en rendent pas compte, d'autres vivent fort bien ce changement intellectuel mais aussi identitaire, d'autres encore y résistent vigoureusement* ». Cette vision rejoint celle de Meirieu (1987), le passage d'un état à un autre.

Pour De Ketele (1989), l'action d'apprendre est liée à l'apprentissage. En effet, l'apprentissage est « *un processus systématiquement orienté vers l'acquisition de certains savoirs, savoir-faire, savoir-être et savoir-devenir* ».

Enfin, Paivandi (2015) retira qu'« *avec sa conception pédagogique, l'enseignant tend à introduire un modèle d'apprenant attendu : il propose ce qui doit être appris, comment cela doit être appris, le rythme des pratiques d'apprentissages, les interactions au sein de la classe, le mode d'évaluation* ». Cette vision se centre davantage sur l'enseignant et sa place dans les apprentissages de l'élève.

Cette pluralité de définitions possède certaines similitudes, notamment un lien certain entre les notions d'apprentissage, de changements, ou encore de savoirs. On remarque également un lien entre l'apprentissage et l'enseignement, du fait de son rôle et des choix pédagogiques que l'enseignant réalise dans la classe. En effet, il est le régisseur de la notion d'apprentissage, du moment où il fait ses préparations jusqu'au moment où il dispense son cours. Seulement, ce grand nombre de définitions montre avant tout le caractère variable et complexe de cette notion ainsi que son caractère pluridisciplinaire, tant pédagogique que didactique.

Jean Berbaum (2005) explique l'origine de la notion d'apprentissage. En effet, originellement cette notion est apparue de la description de l'Homme dans son environnement. Celle-ci a fait l'objet de nombreuses recherches, desquelles nous avons pu retirer deux démarches d'investigation. La première est basée sur l'observation de la relation de l'Homme vis-à-vis de son environnement. Cette démarche est donc essentiellement basée sur la relation Homme-environnement et sur une réaction comportementale de celui à la suite d'une modification de son environnement. La seconde démarche, elle, est fondée sur la différenciation des réponses de l'Homme par rapport à différents domaines d'ordre psychologique, que ce soit cognitifs ou encore conatifs. Cela se réfère donc plus à une démarche d'analyse psychologique.

En combinant ces deux démarches, la dynamique comportementale et la dynamique psychologique de l'Homme peuvent donc être étudiées. En mettant ces dynamiques en exergue, c'est-à-dire en observant les différents types de réactions que l'Homme a face à diverses actions de son environnement, la notion d'apprentissage peut ainsi apparaître. L'apprentissage est donc une notion assimilable à un processus qui permet à la fois la construction d'une nouvelle réponse face aux actions de l'environnement mais aussi l'assimilation de cette réponse par l'individu. Cela permet à l'Homme d'ajuster son comportement à son environnement, la nécessité d'ajustement dépendant de la perception, qu'elle soit cognitive ou conative.

L'enseignement peut donc être défini comme une formation qui a pour but de former les élèves à devenir des citoyens éclairés de la société.

Ainsi, la formation agit donc comme une intervention qui a pour but une réponse comportementale de l'élève. On peut donc lier l'apprentissage à l'enseignement. L'apprentissage ne recouvre donc pas seulement l'obtention de nouveau savoir-faire manuels, mais tout type de savoir-faire. Selon Berbaum (2006), un apprentissage n'est effectif sur l'individu seulement dans le cas où la connaissance acquise est pérenne dans le temps.

De plus, une seule situation peut à la fois générer des adaptations des savoirs, des savoir-être ainsi que des savoir-faire. Ainsi, l'enseignement, qui est une situation d'apprentissage préparée, peut générer des adaptations non anticipées. L'adaptation générée par la faculté d'apprentissage ne modifie donc pas seulement les savoirs, mais elle influence également l'acquisition de nouvelles compétences cognitives. Effectivement, en situation d'apprentissage, nous pouvons développer de nouvelles compétences d'analyse, ou encore développer nos capacités sensorielles. L'apprentissage permet donc un développement tant des capacités cognitives que physiques et a un impact non négligeable sur les domaines affectifs et conatifs.

Ces études permettent donc de mettre en lumière le caractère complexe de la notion d'apprentissage. Les domaines d'impacts de cette notion la rendent fondamentale à maîtriser en tant qu'enseignant et en font, avec la modélisation, deux piliers de l'enseignement des sciences, et plus précisément de la physique-chimie, du fait de la complexité ainsi que de la diversité des concepts participant aux apprentissages de cette discipline.

1.2.2. Analyse des différents apprentissages dans les Bulletins Officiels de l'Éducation nationale de Physique-chimie

Les Bulletins Officiels de l'Éducation nationale (BOEN), sont différencier en quatre cycles. Nous allons nous intéresser au cycle 3 qui s'étend de la classe de CM1 à la classe de sixième, au cycle 4 allant de la classe de cinquième à celle de troisième, ainsi qu'aux trois classes du lycée. Ces BOEN sont des ressources provenant du ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse.

Dans le BOEN du cycle 3 est explicité le rôle des apprentissages, notamment dans la partie « *Sciences et technologies* » à laquelle appartient la physique-chimie. Le ministère de l'Éducation et de la Jeunesse explique la diversité des apprentissages à aborder au cours du cycle ayant pour but premier la formation des élèves en vue de devenir des citoyens éveillés et cultivés sur le monde qui les entoure et sur la société. Les sciences et les nouvelles technologies occupent une place centrale dans le monde. C'est pour cela que le but du cycle 3, en termes d'apprentissage, est basé sur le fait de transmettre aux élèves un début de démarche scientifique du fait de l'apprentissage de nouvelles notions comme celle de la modélisation. L'autre objectif de la science est la stimulation de l'esprit critique de l'enfant, toujours dans le but de la formation des futurs citoyens.

Au cycle 4, la physique-chimie devient une matière à part entière et, de ce fait, voit ses apprentissages évoluer vers une hiérarchisation beaucoup plus explicite que simplement le développement de l'esprit critique et la formation d'un citoyen cultivé et éclairé sur les concepts scientifiques. Le ministère de l'Éducation et de la Jeunesse, définit le cycle 4 comme un cycle qui construit réellement une connaissance scientifique de l'élève. En effet, l'enseignant doit construire ses apprentissages selon quatre grands thèmes définis par le ministère :

- « *Organisation et transformation de la matière* »
- « *Mouvements et interactions* »
- « *L'énergie, ses transferts et ses conversions* »
- « *Des signaux pour observer et communiquer* ».

En effet, ces thèmes permettent aux élèves une lecture des phénomènes physiques et chimiques par leurs apprentissages au cours du cycle. Pour finir, ce cycle a pour objectif

intrinsèque le détachement des élèves de leurs conceptions initiales du monde par un apprentissage de la physique-chimie lié à la construction de concept scientifique. L'angle d'apprentissage proposé par le cycle 4 permet un développement des capacités cognitives que sont, par exemple, l'observation ou encore l'interprétation, compétences présente dans la démarche scientifique. Cette vision permet également de développer des compétences liées à la posture scientifique telles que l'ouverture d'esprit ou encore la curiosité.

En seconde générale et technologique, nous pouvons noter dans le BOEN que les apprentissages doivent être orientés vers un développement lié à la démarche et la pratique expérimentale, et ceux en passant par la modélisation. En faisant cela, l'objectif mis en œuvre par le ministère de l'Éducation et de la Jeunesse s'appuie sur le développement de la démarche de résolution des élèves en leurs faisant acquérir des compétences expérimentales techniques, nécessaires à la conception de protocoles et la mise en application d'expérimentations. On observe donc une grande variété dans les apprentissages. En effet, ces derniers peuvent être de deux ordres. Certains apprentissages sont de nature technique, notamment ceux relatifs aux compétences expérimentales et aux dispositifs mis en jeu. D'autres apprentissages sont davantage basés sur la théorie à proprement parlé, comme avec les notions des grandeurs utilisées en physique et en chimie. L'angle utilisé pour les apprentissages proposés par la classe de seconde permet un grand développement vis-à-vis de savoir-faire manuels ainsi que des savoirs. Le ministère suggère donc à l'enseignant d'adopter une préparation de ses apprentissages avec un angle visant le développement accentué des compétences expérimentales et également de lier la démarche de modélisation à cela.

En classe de première spécialité physique-chimie, le ministère accentue un peu plus les apprentissages sur la démarche scientifique ainsi que sur la démarche de modélisation. Seulement, l'accent est également mis sur la création de liens entre les apprentissages, que ce soit directement dans les apprentissages de la discipline, mais également avec les apprentissages des matières voisines à la physique-chimie, comme les mathématiques, ce qui correspondra plus à un lien sur les apprentissages théoriques. Pour illustrer cela, nous pouvons prendre l'exemple de l'utilisation de fonctions utiles dans les deux matières. Du côté des apprentissages techniques, plus lié aux sciences et vie de la terre, ces deux disciplines peuvent être liées par l'utilisation de matériels semblables en travaux pratiques. Ce lien peut également être fait par les visions différentes du monde qui nous entoure que possèdent les trois matières. Elles sont donc intrinsèquement liées. Cela permet de faire du lien pour les élèves, ces derniers pouvant s'ouvrir à la complexité du monde qui nous entoure.

Pour finir, le ministère de l'Éducation et de la Jeunesse décrit la classe de terminale en spécialité physique-chimie comme une classe où les apprentissages doivent être comme dans

la classe précédente, orientés vers la démarche scientifique et la démarche de modélisation. Seulement, en classe de terminale les apprentissages s’ancrent avec une contextualisation accentuée ainsi qu’un développement des compétences liées à la résolution de situation-problèmes. L’enseignant doit également aborder les apprentissages sous un angle épistémologique en enseignant le plus régulièrement possible l’histoire des sciences.

Pour conclure cette partie, le ministère répartit les apprentissages au cours de la scolarité des élèves. Cela montre un étayage progressif de certaines compétences liées à la démarche scientifique ainsi que d’autres liées à la modélisation. On ressort des différents BOEN, par les apprentissages de la physique-chimie, un objectif commun qui a vocation à donner aux élèves les compétences nécessaires à leur développement au sein de la société tout en développant des capacités liées à l’ouverture d’esprit, comme l’esprit critique. Toutes ces compétences et capacités mises bout à bout permettent aux élèves d’améliorer leur compréhension du monde qui les entoure en leur donnant une vision plus scientifique de celui-ci.

1.3. Modélisation et apprentissage

1.3.1. Lien entre les concepts : les modèles d’apprentissage

Briswalter et Mehlinger (2022), exposent les six modèles d’apprentissage et les fondateurs de ceux-ci.

Dans un ordre chronologique, le premier modèle d’apprentissage à avoir été recensé est « *le modèle de l’empreinte* » également nommé « *le modèle transmissif* ». Ici, la définition de l’apprentissage correspondant à ce modèle est relative au fait de recevoir des savoirs. Selon Bourgeois (2011) ce modèle provient de l’Antiquité, et était utilisé par les pédagogues de l’époque, notamment Socrate et Platon, grands pédagogues de l’Antiquité. Ce modèle s’est également enrichie des travaux de John Locke (1693), selon qui le savoir est une transmission unilatérale de l’enseignant pour l’élève. On base donc ce modèle uniquement sur la « *transposition didactique* ». Ce modèle tient en deux points essentiels. Le premier s’appuie sur « *la neutralité conceptuelle de l’apprenant* ». Cela signifie que l’élève est considéré comme une coquille vide de toute connaissance et nu d’expérience. Ainsi, le modèle considère que l’élève n’apprend rien en dehors de l’enseignement délivré par le système scolaire. L’enseignant a donc pour rôle le remplissage de cette enveloppe vide qu’est l’élève. Le second point se base sur « *la non-déformation du travail transmis* ». Ici, le modèle donne la mission à l’enseignant de vérifier si l’élève a bien assimilé l’information souhaitée et qu’elle n’est en aucun cas déformée.

Le second modèle d'apprentissage, est « *le modèle behavioriste* », ce modèle vient du « *behaviorisme* », terme de John Watson (1913). En effet, ce terme provient de l'anglais « *behavior* » qui signifie comportement. John Watson (1913) présuppose que tout individu est prédisposé au conditionnement par son environnement. Ce modèle est donc également inspiré des travaux de Skinner (1930) et de Pavlov (1890) sur le conditionnement en psychologie. Le conditionnement peut être résumé comme le fait que tout stimulus possède une réponse comportementale prédéfinie en tout individu. Skinner (1930) a expliqué le concept de « *boîte noire* ». Celle-ci renferme les adaptations cognitives réalisées par l'élève. Seulement, ces transformations ne sont pas visibles, ce qui les rend « observables » ce sont les modifications comportementales qu'elles engendrent chez les élèves. Dans le conditionnement, Skinner (1930) a développé le conditionnement dit « *opérant* ». Ce type de conditionnement est basé sur les renforcements positifs et négatifs. Ces deux types de renforcements sont effectués lorsque l'élève réussit (renforcement positif) et lorsqu'il échoue (renforcement négatif). Le comportement au sens behavioriste est une manifestation des savoirs transmis par l'enseignant. Dans ce modèle, apprendre équivaut donc à la modification du comportement de l'élève. Selon Carré et Mayen (2019), les enseignants doivent communiquer aux élèves leurs objectifs dans le but de définir leurs observables. Ainsi, la formulation de sa pédagogie constitue « *l'héritage behavioriste* » de l'enseignant et est au cœur de ce modèle. L'enseignant met en quelque sorte en relief son « contrat didactique ».

Le modèle d'apprentissage suivant est : « *le modèle cognitiviste* », il est issu de la psychologie cognitive. Ce modèle assimile le cerveau de l'élève à un ordinateur qui stocke et traite les concepts que l'enseignant lui transmet. Atkinson et Shiffrin (1968), considère que l'élève est un acteur de ses apprentissages. Il n'est donc pas considéré comme vide de tout expérience. La mémoire joue un rôle central dans « *le modèle cognitiviste* ». En effet, face à un stimulus, l'élève va réagir avec deux mémoires différentes : « *la mémoire à court terme* » et « *la mémoire à long terme* ». La mémoire à court terme a pour rôle d'élaborer une stratégie de récupération de l'information, située dans la mémoire à long terme. Elle sert également à l'encodage de l'information, celui-ci permettant le passage des informations de « *la mémoire à court terme* » à « *la mémoire à long terme* ». D'autre part, la mémoire à long terme, a pour rôle l'assimilation des apprentissages, c'est-à-dire, les expériences, les compétences et connaissances liées à celle-ci, qu'elles soient propres au milieu scolaire ou à l'extérieur (Atkinson et Shiffrin, 1968). Ce modèle d'apprentissage a également bénéficié des apports de Dehaene (2013), qui définit, à l'aide des neurosciences, les quatre piliers de l'apprentissage. Le premier est « *l'attention* », celui-ci exprime le fait que l'élève ne sélectionne et ne fait donc attention qu'aux informations qui l'intéresse. Le second est « *l'engagement actif* », montrant un élève qui n'est pas passif, qui construit ses propres connaissances. Un autre pilier est « *le retour d'information* », lié à l'action de l'enseignant. Ce dernier doit faire un retour rapide sur

les erreurs des élèves. Plus rapide est ce retour, meilleure sera l'adaptation de l'élève. Le dernier pilier est « *la consolidation* », basé sur la répétition d'une tâche permettant à l'élève d'assimiler les connaissances sur le long terme.

D'autre part, Jean Piaget (1950), fait émerger « *le modèle constructivisme* ». Celui-ci modélise l'apprentissage comme la construction des savoirs par l'élève. Ce modèle explique que les élèves possèdent une capacité dite d'adaptation qui dépend elle-même de deux processus : « *l'assimilation* » et « *l'accommodation* ». Le processus d'« *assimilation* » repose sur les schèmes de pensées préexistants pour répondre aux actions de l'environnement. À l'opposé, « *l'accommodation* » modifie la structure cognitive de l'élève pour adapter la réponse et la métaboliser. Ces deux processus permettent de définir l'apprentissage comme un modèle dynamique provenant d'une modification de l'environnement (Carré et Mayen, 2019). Ce modèle est une ouverture pour accéder aux « *pédagogies active* ».

En 1960, Lev Vygotski fait émerger « *le modèle socio-constructiviste* ». Ce modèle reprend l'aspect constructiviste du modèle précédent, tout en ajoutant la dimension sociale de la salle de classe. Les relations enseignant-élève ainsi qu'élève-élève sont donc fondamentales dans ce modèle. C'est en matérialisant l'écart entre la possibilité qu'un élève réussisse à résoudre une situation-problème seul et la possibilité où il est assisté et où il échoue quand même. Il nomme cet écart : « *la zone proximale de développement* ». Il faut donc que l'enseignant propose aux élèves des problèmes adaptés aux difficultés de chacun afin de rester dans cette « *zone proximale de développement* ».

Pour finir, Georges Siemens et Stephen Downes, explique « *le modèle connectiviste* ». Ce modèle est dans l'air du temps. En effet, le numérique étant extrêmement présent dans la vie des élèves à l'extérieur comme à l'intérieur de l'établissement ou même encore en tant que compétences dans les BOEN, ce modèle visualise l'apprentissage comme dépendante du flux constant d'informations mises à disposition par Internet et les réseaux sociaux. Ce modèle prend donc en considération ces interactions numériques. Dans ce modèle, l'enseignant doit permettre à l'élève de poursuivre son apprentissage sur le numérique en l'orientant vers des sites web ou bien en créant un site pour la classe recensant des contenus intéressants pour le développement des connaissances et des savoirs de l'élève.

L'existence de tous ces modèles d'apprentissage démontrent le lien évident entre les notions d'apprentissage et de modélisation puisque l'on a utilisé une démarche de modélisation pour mettre au point des modèles d'apprentissage.

1.3.2. Limites des modèles d'apprentissages

Briswalter et Mehlinger (2022) expliquent qu'il ne faut surtout pas se contenter d'un seul modèle d'apprentissage du fait que tous les modèles ne conviennent pas à toute la variété d'élèves que l'on côtoie en tant qu'enseignant. Il est donc plus sage de métaboliser plusieurs de ces modèles dans le but de pouvoir fournir un enseignement convenant à l'ensemble de ces élèves, cela permettant la différenciation des enseignements.

On dénombre un total de six modèles de l'apprentissage. « *Le modèle de l'empreinte* », nous dévoile ses limites en étant exclusivement basé sur la « *transposition didactique* », qui est le passage du savoir savant au savoir dispensé par l'enseignant. En se basant uniquement là-dessus, le modèle néglige totalement la différenciation du fait de la non-prise en compte de la différence des rythmes d'apprentissage de chaque élève.

Ensuite, « *le modèle de behavioriste* », permet à l'enseignant de mettre en avant le développement d'automatismes et de réflexes. Cela permet donc dans un contexte professionnel de développer les gestes nécessaires à la bonne réussite de ces travaux. Cependant, le fait de présupposés que tous les élèves sont conditionnés en fonction du travail que l'on attend de lui, forme une limite pour ce modèle puisque cela ne permet pas de différencier son enseignement mais également retire un développement de l'esprit critique et de l'ouverture d'esprit que l'on doit transmettre en tant qu'enseignant. De plus Astolfi (2014) explique que, dans ce modèle, l'erreur est évitée par l'enseignant en guidant au maximum les élèves. Or, en physique-chimie la base de l'évolution de la démarche scientifique est basé sur l'erreur.

En ce qui concerne « *le modèle cognitiviste* », étant basée sur le développement de stratégies durant les apprentissages cela permet une excellente capacité d'adaptation pour les élèves, seulement avec ce modèle l'enseignant manque de temps pour différencier sa pédagogie en fonction des profils d'élèves. Cette différenciation étant nécessaire du fait que chaque profil d'élève a ses spécificités.

Pour « *le modèle constructiviste* », ce modèle permet à l'enseignant d'effectuer de la différenciation, du fait que le modèle laisse l'élève avoir sa propre conception de l'apprentissage. Seulement, l'enseignant doit être attentifs, puisque ce modèle considère que l'ensemble des élèves sont aptes à avoir leur conception de l'apprentissage cela présuppose donc d'une capacité d'autonomie dont tous les élèves ne sont pas pourvus.

Dans « *le modèle socio-constructiviste* », la collaboration entre pair étant au centre de ce modèle, cela peut pallier les limites du modèle précédent, cependant cela nécessite des capacités matériel et temporel de la part de l'enseignant. En effet, l'enseignant doit pouvoir

organiser sa classe en groupe, seulement ce n'est pas toujours le cas, du fait du nombre d'élèves souvent trop élevé, ou du nombre d'heure insuffisant pour rendre ce modèle efficient.

Le dernier modèle, « *le modèle connectiviste* » est favorisant le développement de l'élève à l'extérieur de la classe, les limites de ce modèle sont donc matériel, tous les élèves ne possèdent pas toujours internet, cela dépend de la précarité ou non des familles.

1.4. Analyse des Bulletins Officiels de l'Éducation Nationale (BOEN)

L'enseignement étant régi par les Bulletins Officiels, il paraît primordial de faire une analyse approfondie de la place de la modélisation et des apprentissages dans ceux-ci. L'étude sera centrée sur les programmes de Lycée général puisque les cibles de l'étude de terrain réalisée sont les enseignants et élèves des lycées généraux. Dans cette partie nous allons réaliser l'analyse des préambules, qui servent à définir le cadre dans lequel l'enseignement de la physique-chimie doit se placer.

1.4.1. Le Bulletin Officiel de la classe de Seconde

En classe de seconde, deux objectifs sont mis en avant : le travail de la « pratique expérimentale » et « l'activité de modélisation ». Ces deux notions étant intrinsèquement liées, il paraît logique que l'on demande aux enseignants de les mettre en avant dans la même classe. Les Bulletins Officiels étant une ressource ministérielle, il semble tout à fait normal que la définition que l'on retrouve dans le BOEN de seconde soit identique à la définition donnée par le ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse (2019). Ce dernier explicite deux mondes, le monde « matériel » et le monde « théorique », et définit la modélisation comme l'outil permettant le lien entre ces deux mondes. La définition que fournit le BOEN pour l'activité de modélisation est identique : « établir un lien entre le « monde » des objets, des expériences, des faits et le « monde » des modèles et des théories. » L'objectif de la classe de seconde est donc un premier contact avec la modélisation. Cette classe sert à poser les fondations pour le cycle terminal. La modélisation apparaît donc dans les notions à maîtriser en classe de seconde. Les cinq compétences que sont Approprier, Analyser/Raisonner, Réaliser, Valider et Communiquer voient dans les capacités qui leurs sont associées la modélisation apparaître. Par exemple, pour évaluer la compétence Réaliser, un élève doit être capable de faire l'activité de modélisation dans le but d'utiliser un modèle. Cette classe commence à définir la modélisation comme activité menant à la construction d'un modèle.

1.4.2. Le Bulletin Officiel de la classe de Première spécialité

Le BOEN de la classe de Première s'inscrit dans la continuité de celui de Seconde, c'est-à-dire que les notions de modélisation et de modèle sont définies de la même manière. En effet, le lien entre monde « théorique » et monde « matériel » est toujours la modélisation. Seulement, en classe de Première, on formalise aux élèves la « démarche de modélisation » qui est très proche de la démarche expérimentale puisque toutes deux sont liées par l'expérience. Lorsque l'on se plonge dans la lecture du BOEN de Première, on observe que la classe de Première a pour vocation d'approfondir les notions et concepts vus précédemment en classe de Seconde. La démarche de modélisation qui est centrale démontre l'utilisation de l'évolution des modèles dans le but d'approfondir les notions étudiées en classe de Seconde.

1.4.3. Le Bulletin Officiel de la classe de Terminale spécialité

Dans cette classe, comme pour les deux précédentes, la démarche de modélisation est de plus en plus présente dans la façon d'aborder les concepts et les notions et de les approfondir. Au cours de la lecture de ce BOEN, l'enseignant conscientise le lien qu'il doit faire entre démarche expérimentale et démarche de modélisation, dans le but d'accompagner les élèves dans la conception de « modèles mentaux » qui s'approchent des modèles scientifiques. Cette manière d'enseigner est relative aux recherches de M. Coquidé et J.L Maréchal (2006). Dans l'ensemble des BOEN étudiés dans cette partie, l'enseignement décrit peut être assimilé à « l'enseignement par la modélisation » décrit par M. Coquidé et J.L Maréchal (2006). Cette définition correspond bien à celle des BOEN puisque dans cette manière d'enseigner, on déconstruit les modèles « initiaux » des élèves dans le but de leurs faire construire, par application de la démarche de modélisation, un modèle « mental » plus proche du modèle scientifique établi.

1.5. Mettre en place la modélisation dans une classe

Selon Lemeignan et Weil-Barais (1988), la démarche de modélisation permet de passer d'une représentation d'expérience, de manipulation ou d'évènements observés, à une représentation décrite par des grandeurs physiques. On observe ici le lien entre « monde matériel » et « monde théorique ».

Dans le but de mettre la modélisation au cœur d'une classe, il faut prendre en compte certaines difficultés. Si nous prenons l'exemple de la quantité de mouvement, la modélisation de cette grandeur s'effectue méthodiquement en passant par un découpage temporel. Celui-ci est synonyme de difficultés pour les élèves. En effet, on s'intéresse à la quantité de mouvement avant application de la force ainsi qu'à la quantité après l'application de la force.

Or, les élèves posent leur attention sur la quantité de mouvement durant l'application de la force. Ainsi, Lemeignan et Weil-Barais (1988) précise qu'il est naturel pour les élèves de s'intéresser aux changements et non aux états initiaux et finaux puisque, selon eux, le changement est le cœur du problème. Cette difficulté se fait également ressentir en mécanique classique : on découpe les caractéristiques d'un mouvement en trois grandeurs : accélération, vitesse et position. Les élèves éprouvent des difficultés à comprendre la notion d'accélération. De plus, une même propriété peut être modélisée mathématiquement de manière différente. Cela est également une difficulté pour les élèves. D'autre part, les enseignants étant à l'aise avec les modèles, ils n'en voient pas toujours la difficulté d'appréhension. Cette difficulté est liée à la mise en jeu des compétences de la démarche scientifique. Cela est une tâche complexe pour les élèves. L'enseignant doit donc apporter les outils nécessaires à l'appropriation de ces compétences. Nous retrouvons cette difficulté dans les recherches de Gaidioz et Tiberghien (2003).

Si l'enseignant veut transmettre un modèle, pour faciliter l'apprentissage des élèves, il doit passer par différentes étapes. Tout d'abord, il transmet la démarche de modélisation amenant au modèle dans le but de définir les origines du modèle ainsi que ses limites. Pour cela, il peut emprunter un angle épistémologique. Deuxièmement, l'enseignant définit les propriétés d'application du modèle formé par les élèves. Pour finir, les élèves utilisent le modèle enseigné.

Pour mettre en place la démarche de modélisation dans une classe, Lemeignan et Weil-Barais (1988) préconisent de réaliser une évaluation diagnostique des modèles mentaux initiaux des élèves, autrement appelés « conceptions initiales ». Ce diagnostic permet à l'enseignant de cerner les modèles mentaux de ses élèves, dans le but de les déconstruire pour que les élèves forment de nouveaux modèles s'approchant des modèles scientifiques. Le caractère personnel des modèles mentaux est donc conservé. Cependant, ces derniers tendent vers un modèle commun à la classe.

Deuxièmement, l'enseignant doit utiliser des situations quotidiennes, connues des élèves, dans l'objectif de les intéresser et de faciliter la définition du modèle pour ces objets. Pour définir cela, les élèves passent par les compétences de la démarche scientifique (Lemeignan et Weil-Barais, 1988) en observant les objets et en émettant des hypothèses sur ceux-ci. Ensuite, ils réalisent des expériences et recueillent des résultats. Pour finir, ils valident ou non leurs hypothèses à l'aide des résultats obtenus dans la phase précédente. De plus, les écarts avec la réalité qu'ils obtiennent par l'expérience démontrent que le modèle n'est pas

une exacte représentation de la réalité et cela permet ainsi de développer l'esprit critique des élèves.

Troisièmement, l'enseignant propose des situations problèmes dans le but que les élèves utilisent le modèle enseigné. Il les met en place dans l'objectif d'étendre le champ expérimental d'opération du modèle.

Toutes ces étapes sont supervisées par l'enseignant. En effet, il se sert des compétences qu'il connaît de ses élèves pour orienter leur raisonnement en passant par ce qu'ils savent faire. Ainsi, Lemeignan et Weil-Barais (1988) définissent plusieurs types de « guidages » :

- « *Inciter* » : L'enseignant incite les élèves à formuler des hypothèses pour prendre en compte certains aspects théoriques.
- « *Rappeler des procédures* » de la démarche scientifique : L'enseignant rappelle à certains élèves comment organiser les résultats et les exploiter.
- « *Apporter des informations* » : L'enseignant prend ici une posture d'étayage scientifique. En effet, l'enseignant effectue des apports théoriques aux élèves en difficulté sur la compréhension des modèles mathématiques.
- « *Accompagner et orienter la démarche des élèves* » : L'enseignant accompagne et oriente les élèves dans l'objectif qu'ils forment le modèle attendu.

D'autre part, selon les chercheurs de l'Université de Genève (2011), la construction d'un modèle se construit dans un problème posé aux élèves. Cette idée est commune avec les recherches de Lemeignan et Weil-Barais (1988). On peut donc noter une forte corrélation entre le modèle et les situations problèmes. Ces situations mettent à l'épreuve les modèles mentaux des élèves dans le but de les déconstruire par un rendu obsolète de ceux-ci. Cette mise à l'épreuve des conceptions des élèves via la démarche scientifique permet une validation empirique du nouveau modèle scientifique. Nous retrouvons ainsi le passage des « modèles mentaux » (Lemeignan et Weil-Barais, 1988) aux « modèles scientifiques » (Lemeignan et Weil-Barais, 1988).

Les chercheurs de l'Université de Genève (2011) préconisent un aller-retour entre les observations et la modélisation, entre « l'induction » et la « déduction ». Ils suggèrent ainsi trois approches complémentaires de la modélisation. Premièrement, l'élève se représente un ensemble de situations qui sont unifiées avec l'enseignement par la modélisation. Deuxièmement, soumettre les élèves à des questions leur permet de relier les modèles scientifiques aux phénomènes observables, et ainsi de faire un aller-retour entre induction et

déduction, comme préconisé par les chercheurs de l'Université de Genève (2011). Troisièmement, ces questions permettent d'utiliser et de se familiariser avec le modèle.

2. Aspects méthodologiques

Théories et expérimentations envisagées

Dans le but de réaliser des expérimentations lors de mes stages de cette année, le cadre théorique préalablement présenté va servir d'appui théorique et d'analyse dans le but d'élaborer ces expérimentations.

Ce sujet de recherche permet une grande variété d'expériences possibles, qu'elles soient sur la notion de modélisation, sur la notion d'apprentissage ou encore sur les deux. Nous avons donc deux variables, et des observables décrits par les différents apports théoriques précédents. Nous pouvons donc penser à fixer une variable pour étudier l'autre et inversement.

J'ai fait le choix d'élaborer deux expériences. Nous allons explorer ces deux formes d'expériences : l'expérience « terrain » et l'expérience « pédagogique ».

2.1. Expérimentation au lycée : « expérience terrain »

L'expérience menée au lycée est une « expérience terrain ». Ainsi, cette expérience a pour objectif de recueillir les conceptions des enseignants et des élèves concernant la modélisation. En effet, j'ai fait circuler un questionnaire réservé aux enseignants et un questionnaire réservé aux élèves. Ces derniers comportent chacun trois questions ayant pour objectif de faire émerger des définitions et de pousser élèves et enseignants à se questionner sur leurs conceptions de la notion de modélisation. Les questionnaires ont circulé dans les lycées de Limoges auprès d'enseignants et de leurs élèves.

Pour la version enseignante (annexe 2) la première question est : « Qu'est-ce que la modélisation selon-vous ? ». L'objectif de cette question est d'observer si la définition fournie par les enseignants correspond à celle fournie par le ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse (2016), et les BOEN. Pour rappel, la modélisation est définie comme le lien entre monde « matériel » et monde « théorique ».

La seconde question est : « Comment l'implantez-vous dans l'enseignement de la Physique-Chimie ? ». L'objectif est d'observer la compréhension des BOEN. Dans ceux-ci, la modélisation s'ancre dans l'enseignement par sa nécessité. En effet, l'enseignant doit utiliser l'enseignement par la modélisation pour transmettre sa passion et ses connaissances, savoirs et savoir-faire de Physique-Chimie, dans l'objectif que les élèves réalisent l'importance de cette notion.

La dernière question est : « Vous sentez-vous à l'aise avec cette notion ? Pourquoi ? ». Cette question est présente dans l'objectif d'observer si la compréhension de la notion de modélisation n'est pas elle-même une barrière pour l'enseignant. L'opposé est également observable, c'est-à-dire que l'enseignant est à l'aise avec la notion, et, comme évoqué par P. Gaidioz et A. Tiberghien (2003), la notion peut être tellement ancrée dans les connaissances de l'enseignant qu'il n'en perçoit pas la difficulté.

En ce qui concerne le questionnaire à destination des élèves, la première question est identique au questionnaire pour enseignant : « Qu'est-ce que la modélisation selon-vous ? ». L'objectif de cette question est d'observer si les élèves perçoivent la définition de la modélisation que le BOEN demande aux enseignants de transmettre implicitement à l'aide de l'enseignement par la modélisation. Seulement, on peut s'attendre à ce que les élèves n'aient pas les mêmes définitions par la difficulté de lecture de l'implicite.

La seconde question est « Comment retrouvez-vous cette notion dans l'enseignement de la Physique-Chimie ? ». Par cette question, on cherche à observer si les élèves perçoivent que la démarche de modélisation est liée à la démarche expérimentale. Il n'est évidemment pas attendu que les élèves le verbalisent de cette façon, mais l'idée est de vérifier s'ils lient modélisation et expérience.

La dernière question du questionnaire élève est : « Comment l'utilisez-vous ? ». Celle-ci a pour but de déterminer si les élèves comprennent la notion dans sa globalité. Les enseignants, en appliquant les BOEN, utilisent l'enseignement par la modélisation. Les élèves sont donc, de façon logique, en contact avec cette notion et l'utilisent. Cette question sert donc à faire verbaliser aux élèves ce qu'ils perçoivent de la modélisation dans l'enseignement de la Physique-Chimie.

2.2. Expérimentation au collège : « expérience pédagogique »

Cette expérience prend place au début du stage du semestre 4, aux côtés de Madame Florence Magnac. La séquence pédagogique (cf. annexe 3) construite s'intitule « Chapitre IV : Le Mouvement ». Celle-ci s'inscrit dans le domaine « Matière, mouvement, énergie, information » du BOEN du cycle 3, et plus précisément dans le sous-domaine « Différents types de mouvement ». A la fin de la séquence, les élèves doivent être capables d'appréhender la notion de modélisation ; savoir décrire un mouvement et savoir modéliser la trajectoire d'un mouvement.

Cette séquence s'inscrit de façon pertinente dans les BOEN du cycle 3 puisqu'elle participe à l'acquisition de l'attendu de fin de cycle 3 suivant : « Décrire un mouvement en précisant le

point de vue », cela associant des connaissances et des compétences telles que « Décrire un mouvement et identifier les différences entre mouvements circulaire ou rectiligne », « mouvement d'un objet (trajectoire et vitesse : unités et ordres de grandeur) », ou encore « exemples de mouvements simples : rectiligne, circulaire ». Pour débiter et entrer aisément dans cette séquence, les élèves doivent différencier « bouger » et « être en mouvement ». De plus, ils doivent être capables de reconnaître un cercle, une droite, une courbe quelconque.

La séquence se découpe en quatre séances.

La séance 1 s'intitule « Découverte de la modélisation et première partie du cours ». À la fin de cette séance, les élèves doivent être capables de définir la modélisation, le rôle de l'observateur ainsi qu'un mouvement en utilisant la variation de la vitesse et la trajectoire.

La séance 2 s'intitule « Description de mouvements du quotidien et relativité ». Trois objectifs sont définis pour les élèves : définir la relativité du mouvement, modéliser un mouvement et décrire un mouvement en précisant le rôle de l'observateur.

La séance 3 s'intitule « Évaluation formative » et reprend les objectifs des deux séances précédentes. Ici, l'élève peut se positionner au regard de ses réussites aux compétences.

La séance 4 s'intitule « Évaluation sommative » et reprend les objectifs des deux premières séances. Ici, l'élève est évalué au regard des compétences définies dans le BOEN du cycle 3.

3. Analyse des résultats

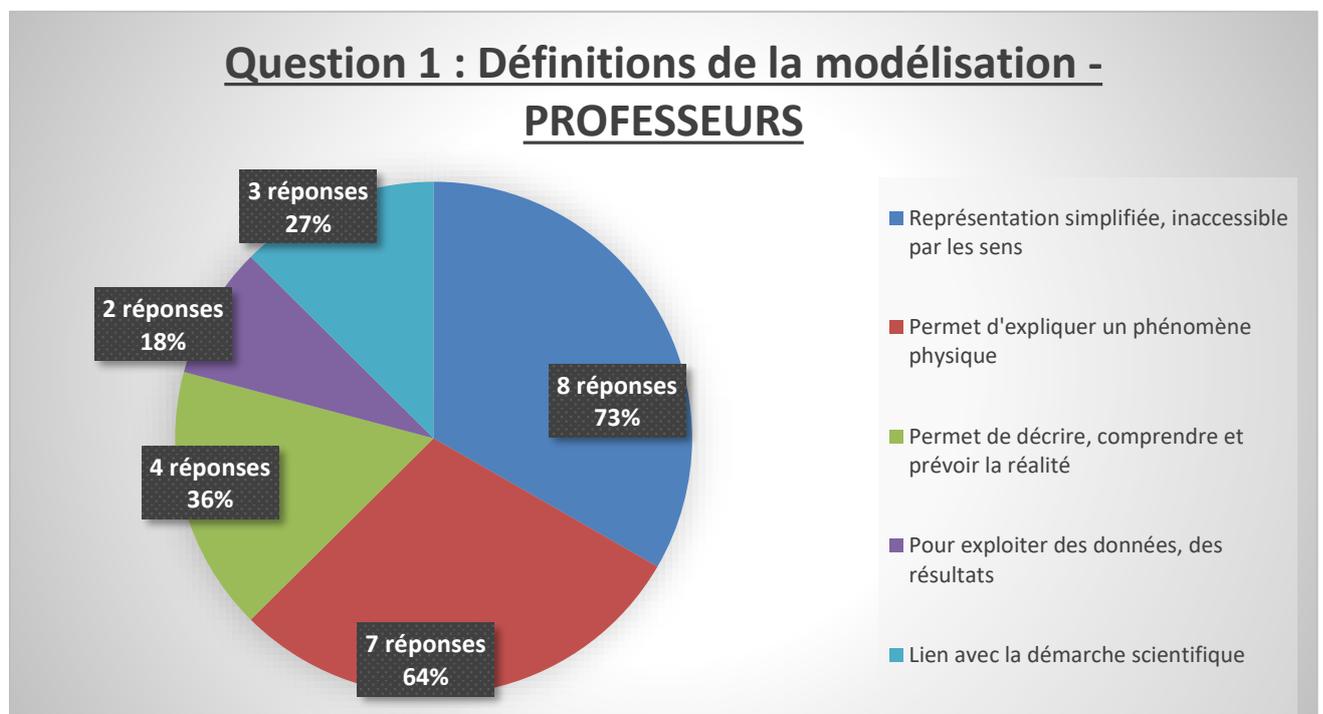
3.1. Expérience terrain : la vision des enseignants et des élèves au lycée

Tout d'abord, nous précisons que les pourcentages notés sur les graphiques sont relatifs à la proportion de réponses sur l'ensemble des participants. Ainsi, il y a un pourcentage (sur 100%) par type de réponse. Cependant, le nombre de réponses présent indique que sur l'ensemble des réponses à la question, x réponses correspondent à un type de réponse (une couleur).

Deuxièmement, 11 professeurs de physique-chimie et 81 élèves de différents lycées de Limoges ont répondu à l'étude. Nous pouvons tout d'abord noter que l'échantillon est malheureusement faible et ne peut donc pas être considéré comme randomisé. L'étude n'est donc pas quantitative mais davantage qualitative. Nous analyserons tout de même les résultats dans l'objectif de visualiser la place de la modélisation dans les lycées du Limousin.

Pour finir, les critères de réponses ont été définis à l'aide du cadre théorique. Pour cela, nous avons classifié les différentes réponses du questionnaire en fonction des critères élaborés. Nous nous sommes donc appuyés sur les points communs de chaque réponse aux différents questionnaires. Il faut noter que certaines réponses proposées par les enseignants ou les élèves peuvent entrer dans plusieurs critères de réponses.

3.1.1. Les enseignants



Pour la première question « Qu'est-ce que la modélisation selon vous ? », nous pouvons observer que deux critères ressortent de l'échantillon.

En effet, 73% des enseignants définissent la modélisation comme une représentation simplifiée, inaccessible par les sens. En ce sens, Morge et Doly (2013), définissent la modélisation comme le lien entre « *monde matériel* » et « *monde théorique* ». Ainsi, la conception d'un modèle facilite donc la description d'éléments imperceptibles, inaccessibles par les sens. D'ailleurs, le ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse (2019) définit la modélisation comme une tâche complexe par le lien entre le monde concret et le monde abstrait. Ainsi, cette notion d'imperceptibilité est relevée par les enseignants et reste très complexe pour les élèves. Les enseignants définissent également la modélisation avec un aspect simplificateur. Nous pouvons lier ce critère avec les travaux de Varenne (2016) sur les cinq grandes fonctions du modèle qui ont pour objectif de faciliter l'appréhension des notions scientifiques. L'aspect représentatif de la modélisation se retrouve également dans les travaux de Viennot (2006) sur la modélisation dimensionnellement réductrice qui permet d'exprimer le rôle de la modélisation situationnelle, s'appuyant sur une représentation visuelle du phénomène et relative à un problème.

D'autre part, 64% des enseignants ajoutent que la modélisation permet d'expliquer un phénomène physique. Le ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse (2019) présente la modélisation comme étant le lien entre le monde théorique et matériel, par les caractères descriptifs et explicatifs de la modélisation. Ainsi, il n'est pas étonnant d'obtenir ces premiers éléments de définition de la part d'enseignants guidés par le ministère de l'Éducation Nationale dans leur vie professionnelle. Ainsi, l'aspect explicatif se retrouve dans les publications du ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse (2019) mais aussi dans les recherches de Varenne (2016) exprimant qu'une des grandes fonctions des modèles s'appuie sur la « *facilitation d'une présentation intelligible* » des concepts et phénomènes physiques. Ainsi, la modélisation aide à la compréhension par l'explication.

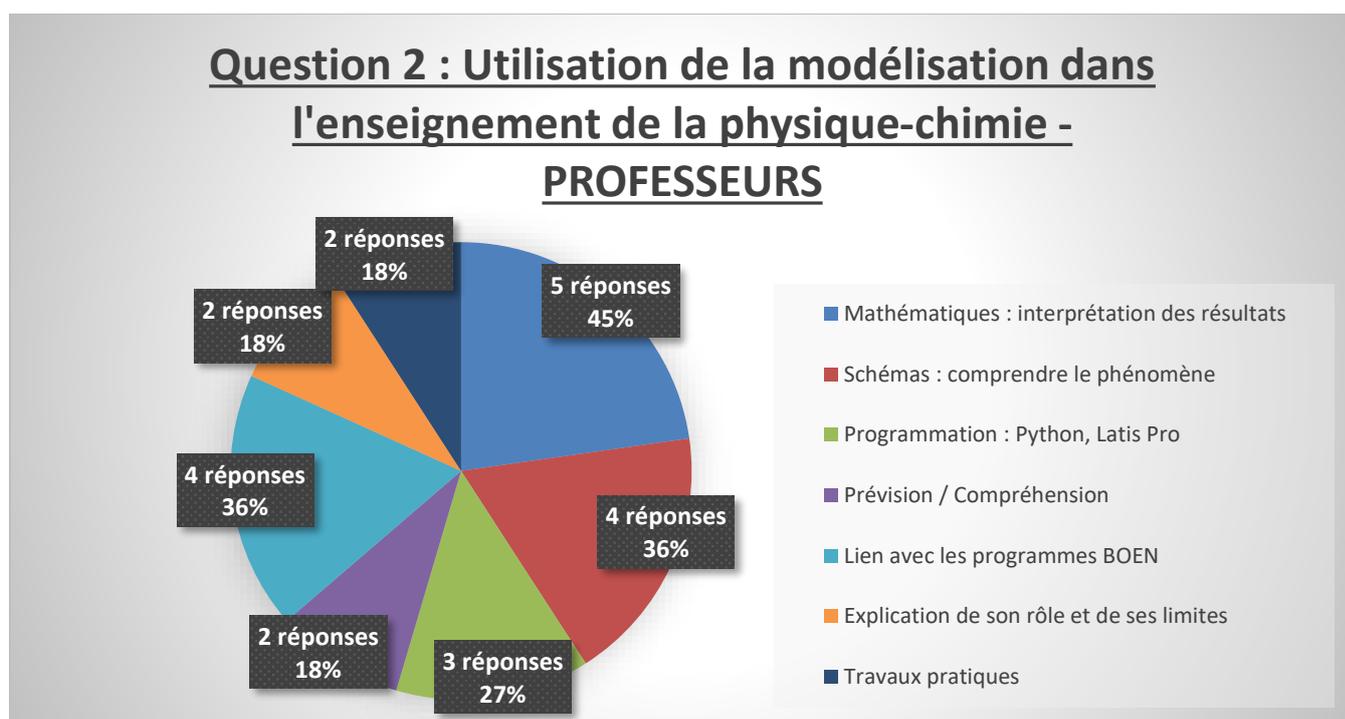
Nous trouvons ensuite trois réponses ayant une place « mineure ». Pour 36% des enseignants, la modélisation permet de décrire, comprendre et prévoir la réalité. Les aspects descriptifs et compréhensifs de la modélisation sont redondants avec le paragraphe précédent, mais exprimés différemment. D'autre part, par ce critère, les enseignants ont exprimé l'aspect prévisionnel de la modélisation tout comme les recherches de Coquidé et Maréchal (2006). En effet, les chercheurs définissent la liaison entre modélisation et modèle comme relative à l'expérience et, différents types de modèles, notamment « *les modèles de décision et de prévision* ».

Pour 27% des enseignants, la modélisation est en lien avec la démarche scientifique. Le ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse (2019) précise que la modélisation et la démarche scientifique entretiennent un lien étroit par la mobilisation des compétences expérimentales lors de la démarche de modélisation. Ce résultat est donc étonnant puisque

seulement 27% des enseignants interrogés établissent ce lien fondamental entre pratique expérimentale et démarche de modélisation explicité par les Bulletins Officiels de l'Éducation Nationale relatifs au lycée général et technologique, documents officiels d'appui pour les professeurs.

Pour 18% des enseignants, la modélisation permet l'exploitation de résultats. Ainsi, nous comprenons que la modélisation est ici considérée comme un outil permettant l'exploitation et l'amélioration de l'aspect expérimental (Legay, 1997). Ce lien étroit entre modélisation et résultats est également perceptible dans les travaux de Lemeignan et Weil-Barais (1988), notamment lors de l'élaboration du modèle par les élèves.

Pour conclure sur ce premier item, nous pouvons noter que les enseignants définissent en majorité la modélisation, mais ils indiquent aussi son domaine d'application et ses utilisations.



Pour la deuxième question : « Comment l'implantez-vous dans l'enseignement de la Physique-Chimie ? », nous pouvons observer qu'un critère majoritaire ressort de l'étude.

En effet, 45% des enseignants utilisent la modélisation sous son aspect mathématique, dans l'objectif d'interpréter les résultats. La modélisation est implantée dans l'enseignement de la physique-chimie comme un outil mathématique permettant l'exploitation des données expérimentales (Legay, 1997). Ce lien étroit entre modélisation et résultats est également perceptible dans les travaux de Lemeignan et Weil-Barais (1988), notamment lors de

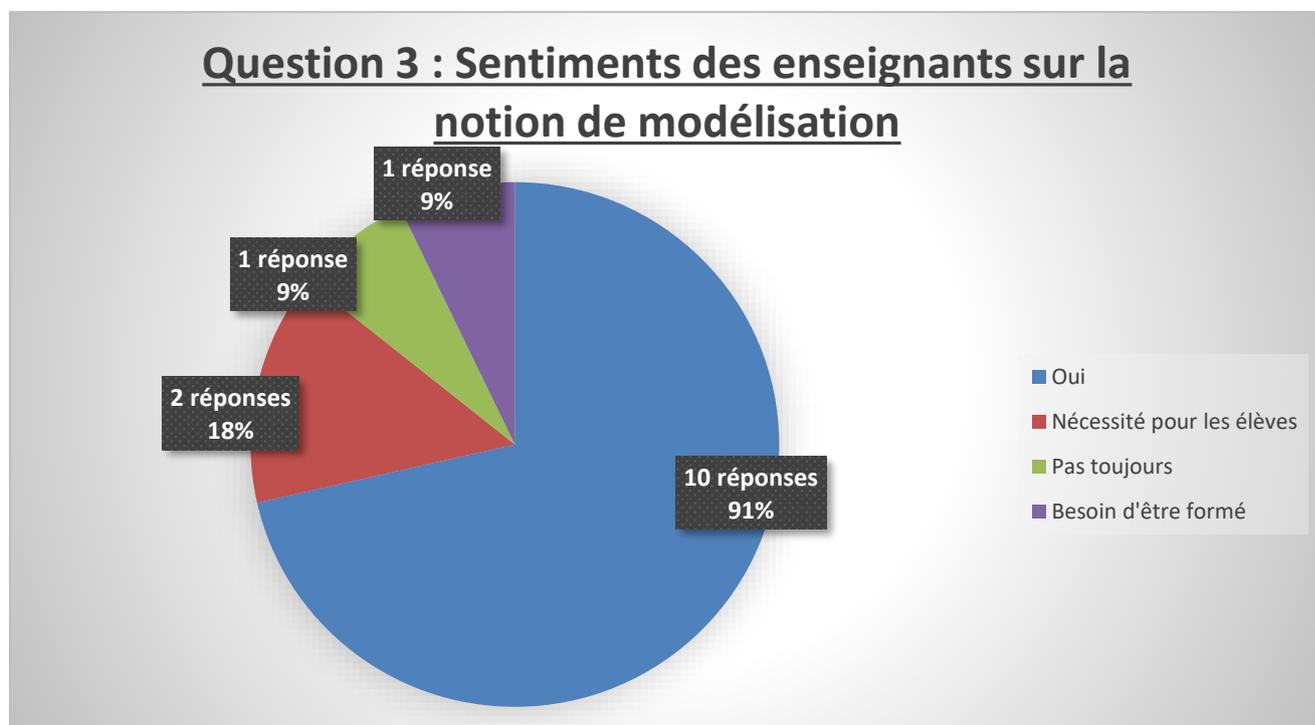
l'élaboration du modèle par les élèves. Ce point concorde parfaitement avec une des fonctions de la modélisation définies dans la question précédente par les enseignants. Les enseignants sont donc plutôt d'accord entre eux sur l'aspect mathématique d'interprétation des résultats. En ce sens, Lemeignan et Weil-Barais (1988) font le lien entre l'utilisation de la modélisation et le formalisme mathématique. Cela est encore en lien avec les publications du ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse, définissant la modélisation comme le lien entre le « monde théorique » et le « monde matériel ».

Deux autres critères restent prépondérants. 36% des enseignants utilisent la modélisation comme une schématisation du problème ou du phénomène physique. Cette utilisation est logique puisque 73% des enseignants définissent la modélisation comme une représentation simplifiée. Les schémas sont donc considérés comme des représentations visuelles ayant pour but de simplifier le phénomène physique et ainsi faciliter la compréhension de l'élève (Viennot, 2006). 36% des enseignants disent également suivre les programmes officiels de l'Éducation Nationale dans leurs utilisations de la modélisation. En effet, dès les programmes de Seconde Générale et Technologique, le lien entre la démarche expérimentale et l'activité de modélisation est réalisé et développé jusqu'à la classe de Terminale spécialité. Dans cette classe, on retrouve une forme de conscientisation des démarches qui est exécutée dans le but que les élèves soient capables d'utiliser la démarche de modélisation de façon autonome et avertie.

Quatre critères sont mineurs. 27% des enseignants utilisent la modélisation comme outil de compréhension de la programmation. Cela est en lien avec les BOEN étant donné que la programmation fait partie des capacités numériques exigibles. Les enseignants précisent également certains logiciels comme Python ou encore Latis Pro. 18% des enseignants font de la modélisation un outil à la prévision des résultats et à la compréhension des notions. D'autre part, Varenne (2016) définit dans les cinq grandes fonctions d'un modèle « *l'aspect facilitateur de la théorisation* ». En effet, la modélisation aide à la conception de la théorie et à son interprétation ce qui la rend donc plus concrète et compréhensive. Nous pouvons également rappeler que l'aspect prévisionnel est présent dans les recherches de Coquidé et Maréchal (2006) par « *les modèles de décision et de prévision* ». Ce pourcentage reste cependant assez faible aux vues des définitions apportées à la question précédente par les enseignants. En effet, 36% des professeurs définissaient la modélisation comme étant utilisée pour aider à la compréhension des notions et prévoir les résultats. D'autre part, 18% des enseignants enseignent le rôle de la modélisation et ses limites. Morge et Doly (2013) différencient « enseigner la modélisation » et « enseigner par la modélisation ». Ici, 18% des enseignants utilisent l'enseignement de la modélisation. Le fait de commencer à enseigner la modélisation avant d'enseigner par la modélisation est conseillé par les chercheurs. En effet, cela facilite la

compréhension de l'élève et développe ses compétences expérimentales liées à la démarche de modélisation (Morge et Doly, 2013). Pour finir, 18% des enseignants utilisent la modélisation dans les travaux pratiques. Cela n'est pas étonnant étant donné que l'enseignant doit suivre les instructions officielles présentes dans les Bulletins Officiels. Les travaux pratiques mettent en jeu la démarche scientifique. En utilisant la démarche de modélisation, les enseignants explicitent le lien entre les démarches. Les compétences expérimentales mettent bien en jeu deux démarches : la démarche de modélisation et la démarche scientifique (ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse, 2019).

Pour conclure, les enseignants utilisent principalement la modélisation comme outil mathématique de prévision et d'exploitation des résultats. Un peu moins de la moitié des professeurs interrogés implantent la modélisation dans leur enseignement comme une représentation schématique ou se limitent aux indications des Bulletins Officiels. Une minorité d'enseignants usent de la modélisation comme un langage de programmation, comme un outil à la compréhension mais aussi dans les travaux pratiques en lien avec la démarche scientifique. Pour finir, quelques enseignants enseignent la modélisation avant d'enseigner par la modélisation.



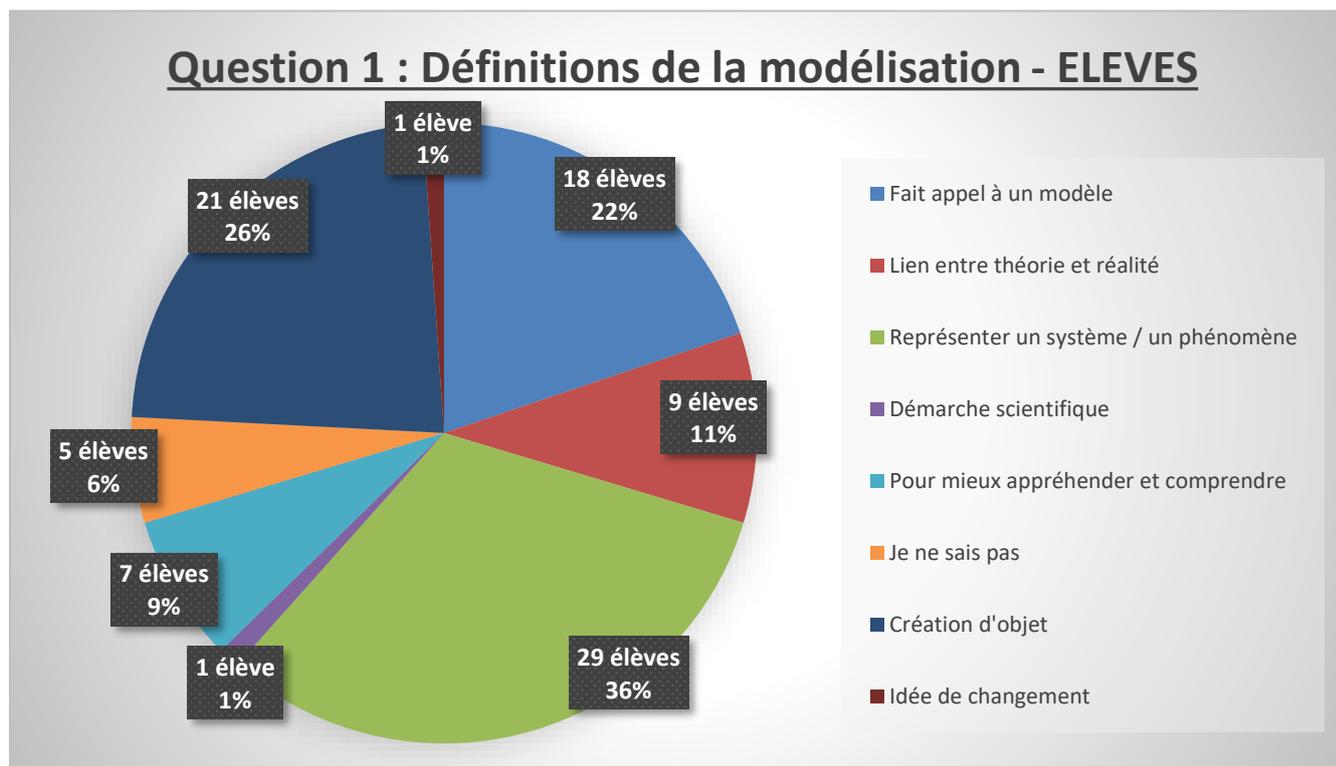
Pour la troisième question : « Vous sentez-vous à l'aise avec cette notion ? Pourquoi ? », nous pouvons observer qu'un critère majoritaire ressort de l'étude.

Ainsi, la grande majorité des enseignants se sent à l'aise avec la modélisation du fait de leurs expériences. Ces résultats vont dans le sens de la recherche actuelle. D'après Gaidioz et Tiberghien (2003) mais aussi Lemeignan et Weil-Barais (1988), l'une des principales difficultés pour les élèves relève du fait de la maîtrise du modèle par l'enseignant mais aussi que la démarche de modélisation soit une tâche complexe par la mobilisation des compétences expérimentales. En effet, l'enseignant a une maîtrise tellement avancée du modèle qu'il peut lui sembler trivial et qu'il n'arrive pas à discerner les difficultés liées à celui-ci. Cela est une barrière à la transmission du modèle et de ses limites. Il n'est donc pas étonnant, et même rassurant, qu'une majorité d'enseignants se sentent à l'aise avec la modélisation. Nous pouvons également noter que seulement 18% des enseignants précisent que la maîtrise de la modélisation est une nécessité pour les élèves. Cela va donc dans le sens des recherches de Gaidioz et Tiberghien (2003) puisqu'une minorité se rend compte de la difficulté de la notion de modélisation pour les élèves.

D'autre part, 9% des enseignants signifient ne pas être à l'aise avec cette notion, et ainsi avoir besoin de formation à ce sujet.

Pour conclure, la grande majorité des enseignants disent être à l'aise avec cette notion par leurs obligations institutionnelles et leurs expériences dans le monde scientifique. Cependant, quelques enseignants demandent une formation pour se mettre à jour sur la maîtrise de l'enseignement des modèles et ainsi enseigner la modélisation et par la modélisation, de la meilleure des façons possibles.

3.1.2. Les élèves



Pour la première question « Qu'est-ce que la modélisation selon vous ? », nous pouvons observer que deux critères ressortent de l'échantillon.

36% des élèves de lycée définissent la modélisation comme étant la représentation d'un phénomène. Minsky (1965) définit la modélisation comme une représentation non-exacte de la réalité. Ainsi, l'aspect représentatif est bien présent dans les recherches depuis de nombreuses années. Il n'est donc pas étonnant que les élèves repèrent cet élément de définition. Legay (1997) caractérise les modèles comme un outil pour améliorer la représentation expérimentale. Pavé (1994) exprime que la modélisation est une représentation symbolique. Varenne (2016) exprime que la modélisation facilite l'observation expérimentale en permettant une représentation mémorisable et facilitant la représentation de l'expérience. Ainsi, nous pouvons également noter ici l'aspect aidant de la modélisation, qui se répercutera dans le critère « Pour mieux appréhender et comprendre » où 9% des élèves expriment cette fonction de la modélisation.

26% des élèves définissent la modélisation comme la création d'objet. Cette définition est liée à l'essor de l'intelligence artificielle et des nouvelles technologies permettant la création d'objet en 3D. Cette assimilation de la modélisation à l'informatique est compréhensible du fait du lien étroit qu'il existe entre programmation et modélisation.

Deux autres critères sont moins présents. 22% des élèves définissent la modélisation comme faisant appel à un modèle. Nous pouvons noter qu'il n'y a donc pas de confusions

notables entre « *modèle* » et « *modélisation* », mais un lien entre les deux concepts, notamment sur la racine linguistique du mot « *modélisation* ». La modélisation est bien un processus défini par l'élaboration d'un modèle.

11% définissent la modélisation comme le lien entre la théorie et la réalité. Dans les recherches actuelles, le lien entre le monde théorique et le monde matériel est prépondérant. En effet, ces deux mondes sont liés par la modélisation (ministère de l'Éducation Nationale et la Jeunesse, 2019), qui, elle-même, est liée à la démarche scientifique par l'expérience (Coquidé et Maréchal, 2006). Morge et Doly (2013) précisent que les élèves doivent tout de même différencier « modèle » et « réalité » puisqu'un même objet peut être modélisé de différentes manières. L'angle épistémologique est donc utile pour définir les origines et les limites du modèle. Cela engage ainsi le développement de l'esprit critique des élèves. Ce lien réalisé entre la théorie et la réalité montre ainsi que les élèves sont sur la voie de la maîtrise des limites du modèle (Lemeignan et Weil-Barais, 1988).

Les quatre derniers critères sont mineurs. 9% des élèves définissent la modélisation comme un outil d'appréhension et de compréhension. La modélisation augmente la compréhension de notions scientifiques par la formation de modèles mentaux (Varenne, 2016). La modélisation facilite également la compréhension et l'interprétation de la théorie en la rendant plus concrète (Varenne, 2016).

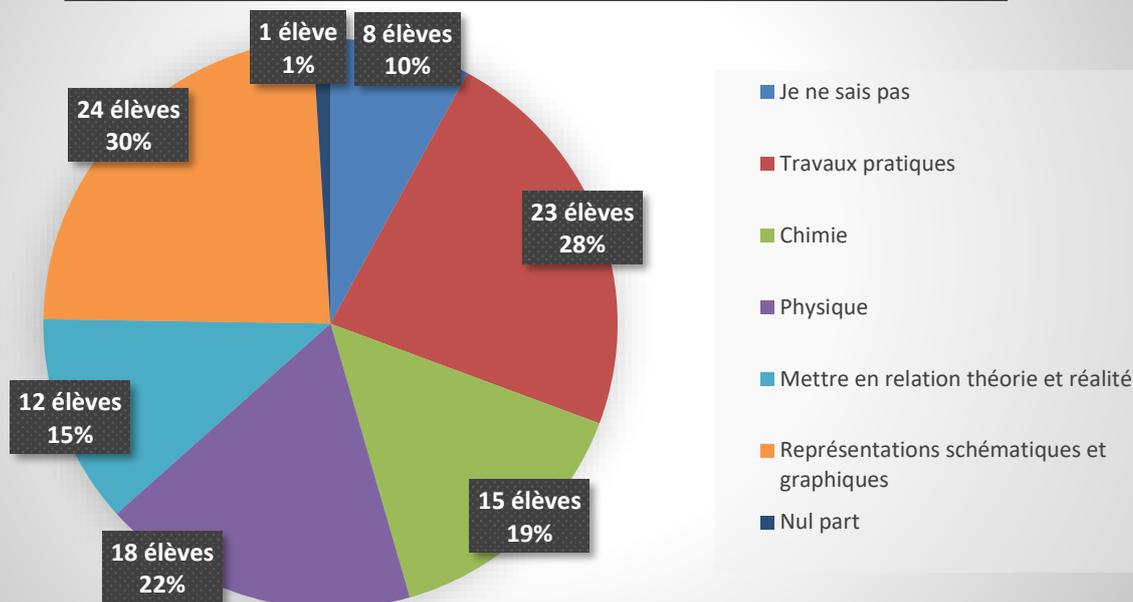
6% des élèves ne savent pas définir la modélisation. Comme les élèves n'ont pas justifié leur propos, nous pouvons supposer que 6% de l'ensemble des élèves interrogés ressentent des difficultés à assimiler les connaissances d'un modèle du fait que l'enseignant ne voit pas les difficultés liées à cette assimilation. Cette difficulté réside principalement dans le lien entre démarche de modélisation et la démarche scientifique, qui rend cette modélisation assimilable à une tâche complexe. Nous pouvons également supposer que ces élèves assimilent les modèles à une représentation exacte de la réalité. Cela ne les aide pas à remarquer qu'ils modélisent. Ainsi, la notion de modélisation n'est pas présente de façon explicite pour eux. D'autre part, la barrière du vocabulaire peut être reconnue comme une difficulté puisque le vocabulaire scientifique utilisé lors de la modélisation n'est peut-être pas compris par tous les élèves, notamment du fait d'expressions communes venant déformer les propos scientifiques (Gardioz et Tiberghien, 2003).

1% des élèves font le lien entre la démarche de modélisation et la démarche scientifique. Ainsi, la modélisation est au cœur de la science par la description théorique d'une situation matérielle faisant ainsi un lien entre la démarche de modélisation et la démarche scientifique, par l'exploitation d'éléments théoriques (ministère de l'Éducation Nationale et la Jeunesse, 2019).

1% d'autres élèves lient modélisation et changement. Les réponses relatives au changement peuvent provenir du lien entre démarche de modélisation et démarche expérimentale. En effet, l'élève construit de nouvelles compétences, il passe d'un état de savoir à un état d'apprenant, et ainsi il passe de ce qu'il sait à ce qu'il ignore (Meirieu, 1987). Cette notion de changement peut donc être perçue dans l'apprentissage en lui-même. De plus, d'après Bruner (1996), l'élève apprend par interactions entre pairs. Celles-ci interviennent également dans la notion de changement étant donné que sa pensée évolue avec celles des autres. D'autre part, cette notion de changement peut être traduite comme une difficulté (Lemeignan et Weil-Barais, 1988). En effet, dans certaines situations de modélisation, l'élève va avoir tendance à poser son attention sur le changement et à négliger les états initiaux et finaux du phénomène modélisé, primordiaux pour l'étude. Ainsi, ce lien entre modélisation et changement peut montrer une difficulté dans le découpage temporel de la situation problème.

Pour conclure sur cette première question, il n'est pas étonnant que la grande majorité des élèves soient capables d'apporter des éléments de définition de la modélisation puisque l'enseignement de la physique-chimie est parsemé de modélisation car cela participe à l'intéressement de la discipline (ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse, 2019). Nous pouvons tout de même noter quelques difficultés potentielles en lien avec la notion de changement ou encore le vocabulaire, pouvant être des biais de compréhension et d'assimilation des modèles et de la modélisation. Nous pouvons également remarquer que les élèves semblent différencier « modèle » de « modélisation » et « théorie » de « réalité », ce qui n'est pas forcément aisé pour eux. La place des nouvelles technologies est également prépondérante dans la définition de la modélisation, par le lien étroit avec l'informatique. Pour finir, les élèves définissent la modélisation à l'aide de critères définissables mais aussi d'objectifs.

Question 2 : Places de la modélisation dans l'enseignement de la physique-chimie - ELEVES



Pour la deuxième question « Comment retrouvez-vous cette notion dans l'enseignement de la Physique-Chimie ? », deux critères sont prépondérants.

En effet, 30% des élèves trouvent la modélisation dans les représentations schématiques et graphiques. Les élèves mettent ici en avant les caractères descriptifs et explicatifs de la modélisation (ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse, 2019). Varenne (2016) explicite le fait que la modélisation permette de faciliter la compréhension d'expériences par schématisation mais également les observations expérimentales en interprétant des graphiques. Le modèle peut être allié à une représentation visuelle ayant pour objectif d'aider l'élève à valider le modèle (Viennot, 2006). Les élèves ont donc plus de facilités à lier la modélisation à la représentation schématique et graphique étant donné qu'ils s'en servent en travaux pratiques.

D'ailleurs, 28% des élèves notent que la modélisation est présente dans les travaux pratiques. Le fait que le modèle scientifique soit commun aux élèves leur permet « une médiation dans leur discours », dans le but de coopérer, notamment dans les travaux pratiques (Varenne, 2016). Ainsi, comme nous l'avons vu précédemment, les élèves perçoivent de façon explicite que la modélisation est au cœur des enseignements scientifiques. Cela est un aspect « rassurant » sur l'enseignement car ces recommandations sont relatives au ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse (2019). La démarche de modélisation est liée à la démarche scientifique utilisée dans les travaux pratiques. Les élèves associent donc la modélisation aux travaux pratiques par le fait que les modèles soient liés par l'expérience (Coquidé et Maréchal, 2006). En ce sens, 15% des élèves remarquent la modélisation dans

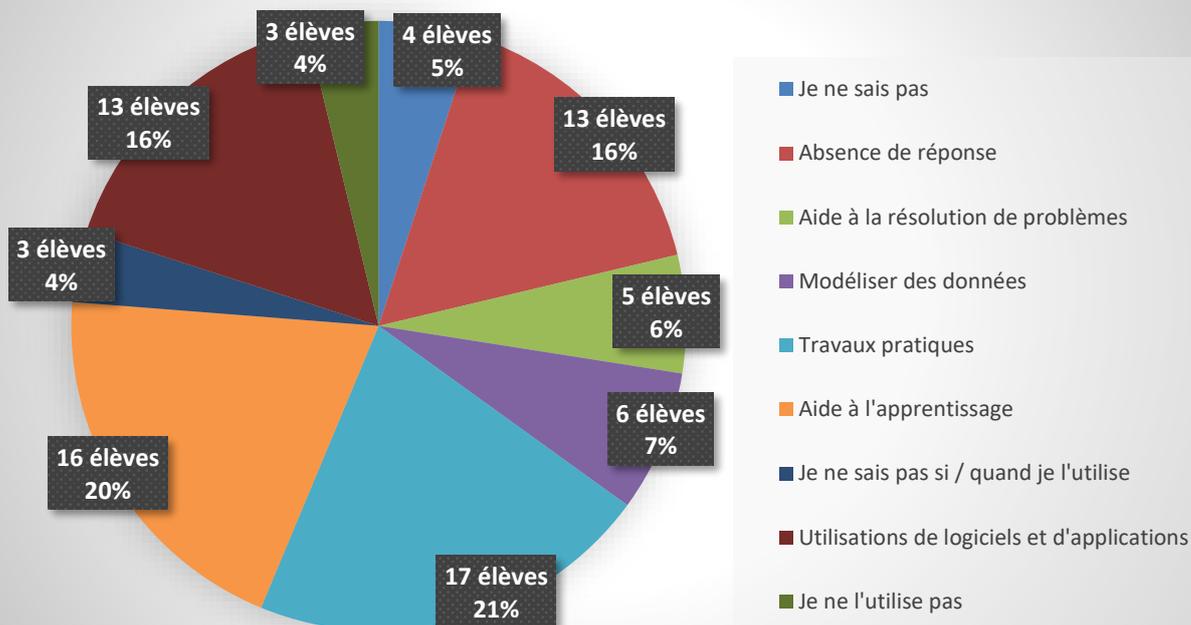
la mise en relation de la théorie à la réalité. Ainsi, par l'expérience, ce lien entre la modélisation et la démarche scientifique est explicité. Les travaux pratiques peuvent donc naturellement être liés avec la mise en relation du monde « *théorique* » et du monde « *matériel* ». Il faut cependant être vigilant face à ces résultats. En effet, nous ne pouvons pas percevoir si les 30% d'élèves font bien une différence entre la représentation et la réalité. Minsky (1965) nous met en garde sur la représentation, en explicitant que cette dernière n'est pas l'exacte réalité, ce sont des outils (Legay, 1997). La réalité peut ainsi être modélisée selon différents modèles (Morge et Doly, 2013).

Trois autres critères sont moins présents. En effet, 22% des élèves voient la modélisation dans la physique tandis que 19% la remarquent dans la chimie. Ces élèves ont ainsi conscience de pratiquer la démarche de modélisation, ayant une place prépondérante dans l'enseignement de la physique-chimie (ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse). Les élèves semblent ainsi percevoir certains modèles d'hypothèses, présents notamment en physique (mécanique classique, ...) ; tandis que d'autres perçoivent davantage des modèles de mécanismes, présents notamment en chimie (Coquidé et Maréchal, 2006). Il peut être considéré comme naturel que la modélisation soit présente en physique-chimie étant donné ses fonctions facilitatrices (Varenne, 2016) de compréhension et de théorisation. Certains élèves peuvent cependant ne pas être capables d'identifier l'activité de modélisation dans un contexte précis.

10% des élèves n'identifient pas la modélisation dans leurs apprentissages en physique-chimie. La difficulté principale de la physique-chimie réside dans l'écart entre les sujets abordés dans la discipline et la réalité. Cette complexité intervient dans la transmission de la connaissance des modèles (Gaidioz et Tiberghien, 2003). 1% des élèves pensent que la modélisation n'est pas présente en physique-chimie. Nous pouvons supposer que la démarche de modélisation étant tellement présente dans l'enseignement de la discipline, qu'elle en est implicite. Il peut y avoir donc, chez ces élèves, une confusion entre la théorie et la réalité. En effet, les modèles peuvent être perçus comme une représentation réelle et exacte de la réalité. Ces élèves peuvent donc rencontrer des difficultés lors de l'évolution de modèles puisqu'ils ne pourront pas les comprendre et les assimiler. Ainsi, l'élève est incapable de faire évoluer ses modèles mentaux vers un modèle scientifique, commun.

Pour conclure sur cette seconde question, les élèves perçoivent principalement la modélisation dans les travaux pratiques et les représentations schématiques et graphiques. Ils sont également capables d'observer que la modélisation intervient tant en physique qu'en chimie. Les élèves semblent également comprendre que la modélisation s'utilise dans le lien entre la théorie et la réalité. Pour finir, certains élèves ne voient pas où la modélisation peut être dans l'apprentissage en physique-chimie.

Question 3 : Utilisations de la modélisation - ELEVES



Pour la dernière question « Comment l'utilisez-vous ? », deux critères sont dominants.

21% des élèves utilisent la modélisation dans les travaux pratiques. Cela fait référence à la question précédente. En effet, comme le préconise le ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse (2019), la démarche de modélisation est liée à la démarche scientifique utilisée dans les travaux pratiques. Il est donc naturel que les élèves associent la modélisation aux travaux pratiques par le fait que les modèles soient liés par l'expérience (Coquidé et Maréchal, 2006).

D'autre part, 20% des élèves utilisent la modélisation comme outil pour l'apprentissage. L'apprentissage est définie come un processus de mémorisation et d'adaptation aux modifications de l'environnement dans lequel on évolue. Certains élèves explicitent ainsi que la modélisation est une modification de leur environnement. En effet, la modélisation permet la déconstruction des modèles mentaux initiaux, vers des modèles scientifiques, plus élaborés, ce qui modifie l'environnement de réflexion des élèves. En ce sens, une des grandes fonctions du modèle est de « faciliter la mémorisation » (Varenne, 2016). De plus, Meirieu (1987) explique que l'apprentissage est le fait de construire de nouvelles compétences, aller de ce que l'on sait vers ce que l'on ignore. On peut faire un parallèle entre la modélisation et la démarche scientifique, ces deux dernières étant liées par l'expérience. L'activité de modélisation mobilise ainsi les nouvelles compétences liées à la démarche scientifique. Cela fait écho aux propos de Meirieu et ainsi, la modélisation est vue comme « facilitatrice » pour apprendre de nouvelles connaissances et compétences.

Deux critères sont également présents, de façon non-négligeable.

16% des élèves relèvent utiliser la modélisation dans les logiciels et applications comme SolidWork, Python ou encore Latis Pro. En effet, comme notifié précédemment, l'essor de l'informatique et de l'intelligence artificielle installe la modélisation dans la vie quotidienne. Les élèves sont donc conscients qu'ils utilisent de la modélisation lors de manipulations informatiques. De plus, dans certains logiciels comme Latis Pro, le terme « modélisation » est utilisé et visible pour nommer une fonction permettant d'extrapoler des résultats.

16% des élèves expriment ne pas savoir quand ils l'utilisent. Par définition, la modélisation représente des notions abstraites et imperceptibles par les sens (Morge et Doly, 2013). Le caractère descriptif de la modélisation et la difficulté de décorrélation entre « monde théorique » et « monde matériel » peut représenter une difficulté supplémentaire dans l'identification de la modélisation pour l'élève.

D'autres critères sont présents, de façon mineure.

7% des élèves utilisent la modélisation pour modéliser des données. Varenne (2016) précise que la modélisation facilite l'expérience et l'exploitation des données en augmentant la compréhension à l'aide de modèles mentaux. De plus, la conception de ces modèles améliore l'interprétation et rend l'expérience plus concrète. Cette illustration des données permet de valider la cohérence mathématique du modèle. Cela permet aux élèves de travailler leur esprit critique. Le travail de compétences transversales permet aux élèves de prendre du recul sur les compétences scientifiques, et ainsi de rendre visible la modélisation. D'autre part, dans l'élaboration du modèle, la modélisation des données est un état crucial qui permet la validation des hypothèses ayant données naissance au modèle (Lemeignan et Weil-Barais, 1988).

6% des élèves utilisent la modélisation pour résoudre des situations problèmes. En effet, dans une situation problème, il est nécessaire de s'appropriier le problème, former des hypothèses, les invalider ou les invalider grâce au modèle et enfin analyser le problème à l'aide du modèle (ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse, 2019). La place de la modélisation dans la situation-problème est donc prépondérante, il est donc naturel que les élèves l'utilisent pour ce genre d'activités. Cet exercice permet aux élèves de maîtriser et d'identifier les limites du modèle. De plus, un autre lien avec les situations problèmes réside dans le fait que le modèle n'est pas au sens descriptif, mais plutôt adapté à la situation du fait qu'il permette de répondre au problème (Varenne, 2016). Les élèves perçoivent donc que la modélisation n'a pas qu'une fonction de description.

Trois autres critères sont minoritaires mais ont tout de même leur importance.

5% des élèves ne savent pas répondre à la question. 4% des élèves ne savent pas quand ils l'utilisent ou s'ils l'utilisent. 4% des élèves déclarent ne pas utiliser la modélisation. Ces pourcentages d'élèves, bien qu'étant minoritaires, expriment la difficulté d'assimilation de la démarche de modélisation. En effet, il est compliqué pour un élève d'extraire la démarche de modélisation au contexte scolaire, c'est-à-dire de s'en servir consciemment dans un contexte scolaire ou extérieur. Le caractère implicite de la modélisation dans l'enseignement la rend compliquée à discerner pour les élèves. Les élèves peuvent donc prendre un modèle pour la réalité et ainsi, ne pas percevoir le lien que la modélisation réalise entre la théorie et la réalité.

Pour conclure sur cette question, une majorité d'élèves utilise consciemment la modélisation dans un contexte scolaire, notamment en travaux pratiques (modélisation de données, situations problèmes) et en informatique (logiciels de programmation) ; ou dans un contexte extérieur, notamment dans l'utilisation de l'informatique (impression 3D) et l'aide à l'apprentissage (modéliser pour mémoriser). Une minorité d'élèves ne perçoit pas son utilisation de la modélisation.

3.1.3. Enseignants et élèves : similarités et divergences ?

3.1.3.1. Question 1

Nous pouvons noter des critères similaires entre les définitions de la modélisation apportées par les professeurs de physique-chimie et les élèves.

Les caractères représentatif et explicatif de la modélisation est commun aux enseignants et aux élèves. Cette similarité n'est pas étonnante. En effet, elle provient des préconisations du ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse (2019). Ainsi, la modélisation étant au cœur de la science par la description théorique d'une situation matérielle, elle rend compte de son caractère descriptive et explicatif en mettant en lien la démarche de la modélisation et la démarche expérimentale.

Les enseignants et les élèves sont également d'accord, à moindre mesure, sur le fait que la modélisation facilite la compréhension et la description de la réalité. Cela fait référence aux travaux de Varenne (2016) puisque les cinq grandes du modèle résident toutes dans la facilitation de la compréhension de la démarche scientifique.

Nous pouvons noter des divergences entre les professeurs de physique-chimie et les élèves.

En effet, la démarche scientifique est présente dans les réponses des enseignants tandis qu'elle est quasi-absente dans les réponses des élèves. Cela peut s'expliquer par le fait que la modélisation est explicite pour l'enseignant alors qu'elle est implicite pour l'élève (Lemaignan et Weil-Barais, 1988). Les enseignants pensent que la modélisation est un concept simple puisqu'ils la maîtrisent. Or, le fait que cela mette en jeu les compétences de la démarche scientifique, cela devient une tâche complexe pour les élèves (Gaidioz et Tiberghien, 2003).

Deuxièmement, les élèves sont nombreux à mettre en lien la modélisation et le modèle. Cependant, aucun enseignant n'a abordé ce terme. Cela est étonnant puisque la définition de la modélisation est directement liée au terme « modèle ». Ainsi, nous pouvons penser que les enseignants pensent le modèle de façon implicite mais le transmettent aux élèves. Nous pouvons aussi émettre l'hypothèse que les élèves se sont appuyés sur la racine du mot « modélisation » pour faire naître le terme « modèle » dans leurs réponses.

Troisièmement, les élèves abordent de nombreuses fois la création d'objet dans la définition de la modélisation alors que ce critère est inexistant dans les réponses des enseignants. Cela peut être dû à l'essor des nouvelles technologies, auxquelles sont beaucoup plus sensibles les jeunes que les enseignants.

3.1.3.2. Question 2

Nous pouvons noter un seul critère similaire sur la place de la modélisation dans l'enseignement de la physique-chimie par les professeurs de physique-chimie et les élèves.

Les élèves et les professeurs abordent la représentation et l'interprétation des résultats, sous forme graphique ou schématique, comme étant de la modélisation. Ces résultats vont dans le sens des recherches de Lemaignan et Weil-Barais (1988). En effet, l'élaboration d'un modèle passe, entre autres, par la représentation et l'interprétation des résultats pour valider ou non les hypothèses. De plus, Varenne (2016) indique que l'illustration et l'interprétation des résultats valident la cohérence mathématique du modèle. Tout ces éléments font intervenir la notion de modélisation dans les activités de représentation et d'interprétation des résultats.

Nous pouvons noter deux critères divergents entre les professeurs de physique-chimie et les élèves.

Une grande majorité d'élèves perçoit la modélisation en travaux pratiques. Or, très peu d'enseignants disent l'utiliser sur ces séances. En séance de travaux pratiques, la modélisation est explicitée par l'enseignant et pratiquée par les élèves. C'est ainsi ce qui leur permet de se rendre compte de la place qu'elle occupe dans les travaux pratiques. De plus, l'enseignant utilise la modélisation naturellement et donc inconsciemment. Pourtant, elle est bien présente et perceptible par l'élève, comme en traduit les résultats de l'étude.

Les enseignants abordent le sujet des préconisations officielles (BOEN) tandis que ce critère est inexistant chez les élèves. Cela est parfaitement logique et naturel. En effet, les enseignants sont guidés par ces documents officiels dont les élèves n'en ont pas connaissance et donc pas conscience.

3.1.3.3. Question 3

Nous pouvons noter une corrélation entre le sentiment des professeurs de physique-chimie face à la modélisation et l'utilisation qu'en font les élèves, cela explicitant d'une certaine façon leur sentiment face à la modélisation. En effet, un élève qui n'utilise pas ou peu la modélisation est moins à l'aise qu'un élève s'en servant.

La grande majorité des professeurs dit être à l'aise avec la modélisation. Cependant, une proportion d'élèves indique ne pas utiliser la modélisation ou ne pas savoir quand l'utiliser. Cela peut indiquer que la transmission de connaissances d'un modèle n'est pas effective étant donné la difficulté du modèle qui n'est pas prise en compte par l'enseignant (Gaidioz et Tiberghien, 2003). En effet, l'enseignant a un degré de maîtrise du modèle très élevé par rapport à l'élève. Les enseignants pensent donc qu'il est aisé pour l'élève de maîtriser le modèle car ils en ont la maîtrise. Or, le fait que cela mette en jeu les compétences de la démarche scientifique, la modélisation devient une tâche complexe pour l'élève que l'enseignant doit gérer (Lemeignan et Weil-Barrais, 1988). Ainsi, certains professeurs se rendent compte de l'écart entre leurs connaissances et leurs pratiques, et indiquent ne pas toujours à l'aise avec cette notion et souhaitent une formation supplémentaire.

3.2. Expérience pédagogique : proposition de séquence en classe de sixième

3.2.1. Séance 1 : Découverte de la modélisation et première partie du cours

La séance commence par une phase d'accueil durant cinq minutes. Ensuite, l'enseignant demande aux élèves de poser des mots sur le terme « modélisation ». Il recueille les idées et les note au tableau, en induisant le vocabulaire qu'il attend. L'enseignant est donc ici dans une posture de guidage puisqu'il accompagne et oriente la démarche des élèves (Lemeignan et Weil-Barrais, 1988). Il ne valide et n'invalide rien dans un premier temps. Cette phase est une évaluation diagnostique. Celle-ci est fondamentale dans l'enseignement de la modélisation. En effet, comme exprimé par Lemeignan et Weil-Barrais (1988), il est nécessaire de partir des conceptions initiales des élèves. Cela permet ainsi à l'enseignant de pouvoir les déconstruire mais aussi de prendre conscience de la complexité de la notion de modélisation pour les élèves, et ainsi, de tous les biais qu'elle implique. Ici, les élèves participent au recueillement des idées et écoutent les autres. Les élèves ont lié à la modélisation les mots « modèle », « réflexion », « schéma », « créer », « modéliser », « pâte à modeler », « modèle 3D ». Une fois toutes les réponses relevées, l'enseignant définit les termes et construit la carte mentale (Annexe 4) avec les élèves. Voici les définitions apportées par l'enseignant :

- Modèle : produit de la modélisation
- Réflexion : quand on réfléchit pour résoudre un problème, on utilise un modèle mental
- Modèle mental : propres à chacun d'entre nous et nous aide à répondre à des problèmes
- Schéma : modèle simplifié d'un problème
- Modéliser : créer un modèle

Pour donner suite à la séance, l'enseignant explicite l'objectif d'apprentissage comme tel : « *Vous vous demandez pourquoi nous avons parlé de la modélisation. Durant cette séquence et durant tout le reste de l'année, nous allons utiliser la modélisation.* ». Ensuite, vient la phase d'expérience. L'enseignant demande si un élève a une montre. L'élève est donc sollicité par l'enseignant pour tourner sur lui-même, le bras (où il y a la montre) levé devant lui. Cela permet de définir les rôles d'observateur et d'acteur, en passant par le vécu d'une situation concrète comme préconisé par les recherches de Lemeignan et Weil-Barrais (1988). Cette situation familière sert d'accroche pour définir le formalisme des objets d'étude et ainsi élaborer le modèle. L'enseignant pose des questions aux élèves « *Qui est en mouvement ?* », « *Qui est immobile ?* », « *La montre est-elle en mouvement ?* ». Les élèves ont répondu correctement aux questions, soit « *Les autres sont en mouvement. C'est moi qui suis immobile. La montre est immobile.* » pour l'élève en mouvement ; et « *L'élève qui tourne sur lui-même est en*

mouvement. C'est la classe qui est immobile. La montre est en mouvement » pour les autres élèves de la classe. Cela montre bien l'efficacité de commencer l'élaboration d'un modèle par une situation vécue des élèves. Comme il n'y a pas eu d'erreurs, les élèves sont entrés aisément dans l'élaboration du modèle. De plus, cette phase d'expérience suit les trois étapes de construction d'un modèle indiquées dans les recherches des chercheurs de l'Université de Genève (2012). En effet, l'enseignant a tout d'abord présenté le problème, les élèves l'ont ensuite mis à l'épreuve par une tâche d'observation et de débat puis, le groupe-classe a validé le modèle.

Lors de la phase d'institutionnalisation, durant 35 minutes, l'enseignant distribue la feuille de cours. Ils demandent aux élèves de la lire silencieusement, de réfléchir au vocabulaire manquant puis ils sollicitent les élèves pour lire et compléter la feuille (annexe 5). Les élèves participent à la construction de la leçon à l'oral et complètent la feuille en notant le vocabulaire. Ils questionnent l'enseignant si besoin. Ici, l'enseignant use d'une autre posture d'étayage puisqu'il apporte les informations (Lemeignan et Weil-Barrais, 1988), le vocabulaire scientifique de description du mouvement.

Pour terminer ce cours, l'enseignant demande aux élèves de réaliser une activité d'entraînement présente dans le manuel de la classe (annexe 6). L'enseignant prend ainsi une posture d'étayage où il peut rappeler des procédures, apporter les informations mais aussi accompagner et orienter la démarche des élèves (Lemeignan et Weil-Barrais, 1988). Il navigue ainsi dans la classe. Cette activité a pour but d'appliquer les notions du cours afin que les élèves les assimilent. De plus, les élèves pourront se familiariser avec le vocabulaire pour la prochaine séance. Cette phase d'entraînement permet également aux élèves l'utilisation du modèle par la résolution d'une situation-problème étendue à un champ expérimental d'opération du modèle (Lemeignan et Weil-Barrais, 1988).

Pour conclure sur cette séance, celle-ci débute par l'enseignement de la modélisation (Morge et Doly, 2013). Cela permet ainsi, dès le début de la séance, d'éviter les confusions que peuvent faire les élèves entre modèle et réalité. Ainsi, par l'évaluation diagnostique réalisée, l'enseignant prend conscience de la complexité d'un modèle pour les élèves (Gaidioz et Tiberghien, 2003). De plus, il déconstruit les conceptions initiales des élèves pour créer de nouveaux modèles mentaux plus proches des modèles scientifiques (Morge et Doly, 2003).

Une fois l'enseignement de la modélisation abordé, l'enseignant aborde ensuite la description d'un mouvement à travers l'enseignement par la modélisation (Morge et Doly, 2003). Ici, les élèves travaillent des compétences en lien avec la démarche scientifique. Lors de la phase d'expérience, partir d'une situation vécue par l'élève facilite l'élaboration du

modèle. D'ailleurs, cette élaboration suit les préconisations des recherches de Lemeignan et Weil-Barrais (1988) : observation, hypothèses, expériences, résultats, validation des hypothèses. Dans cette phase, nous aurions pu demander aux élèves d'élaborer leurs hypothèses en amont de l'expérience afin d'être au plus proche des recommandations des chercheurs dans l'élaboration d'un modèle. La phase d'entraînement permet ainsi l'utilisation du modèle enseigné dans les phases d'expérience et d'institutionnalisation.

Pour finir, l'enseignant occupe une place de guidage pendant toute la séance, celle-ci relevant de plusieurs fonctions comme celles citées précédemment.

3.2.2. Séance 2 : Description de mouvements du quotidien et relativité

La séance 2 débute par l'appel et l'installation des élèves. Ensuite, l'enseignant procède à un rappel de la séance précédente, en insistant sur la définition de la modélisation. Il attend la réponse suivante : « *La dernière fois, nous avons appris la définition de la modélisation. La modélisation produit un modèle qui sert à résoudre un problème. On avait ensuite fait une expérience qui nous a montré le rôle de l'observateur : observer et décrire le mouvement. Pour finir, nous avons appris à décrire un mouvement en utilisant la variation de vitesse, définie comme le fait qu'un mouvement peut être ralenti, accéléré ou uniforme, et la trajectoire, définie comme l'ensemble des positions occupées par un objet au cours du mouvement.* » Cette phase s'inscrit dans l'enseignement de la modélisation (Morge et Doly, 2013). Ainsi, l'enseignant rappelle ce qu'est la modélisation afin d'éviter les biais et les confusions possibles entre modèle et réalité, amalgames pouvant être faits par les élèves. Cette phase permet ainsi une entrée dans la deuxième séance mais aussi de reformuler, s'approprier et se positionner en tant qu'élève dans l'apprentissage. Avec la question « Qu'avons-nous appris la dernière fois ? », l'enseignant réalise finalement une sorte d'évaluation formative et voit où en sont les élèves dans la compréhension de la notion de modélisation.

Pour donner suite à la séance, 45 minutes sont consacrées à une phase d'activité. L'enseignant distribue la situation-problème (annexe 6) et énonce les critères de réussite « *Je veux que les cinq prénoms apparaissent dans chacune des phrases. Il faudra bien faire attention aux précisions du texte. Une fois que vous avez rempli les phrases, vous pouvez compléter le tableau récapitulatif à la fin de la feuille. Pour la deuxième question, il vous suffit de reprendre les phrases que vous venez de compléter pour donner un exemple. Pour la troisième question, demandez-vous ce que vous venez de définir : l'observateur ou l'acteur ?* ». Ici, l'enseignant accompagne les élèves et les oriente dans leur démarche pour réussir (Lemeignan et Weil-Barrais, 1988). Durant cette phase, l'enseignant corrige au fur et à mesure l'activité en faisant passer les élèves au tableau. Il passe dans les rangs, regarde le travail de chacun et apporte une aide individuelle et différenciée. L'activité était globalement

réussie par les élèves. Cela peut être expliqué par le fait que la séance 1 ait respecté le déroulé de l'enseignement de la modélisation puis par la modélisation (Morge et Doly, 2013) mais aussi qu'elle ait suivi les étapes de l'élaboration du modèle (Lemeignan et Weil-Barrais, 1988). L'enseignant a noté un problème récurrent. En effet, des élèves n'avaient pas acquis le prérequis suivant : différencier « bouger » et « être en mouvement ». Pour cela, l'enseignant se met en position d'acteur et définit ce qu'est « être en mouvement ». Il montre de façon concrète, avec son corps que cela signifie « aller d'un point à un autre ». Il définit ensuite ce qu'est « bouger » de la même façon, en marchant sur place à côté d'un élève et en indiquant à la classe « Je bouge à côté de X, mais je ne vais pas d'un point à un autre, je ne suis donc pas en mouvement. ». Cette difficulté est reprise avec l'intégralité du groupe-classe pour analyser et ainsi apporter des précisions sur la question qui pose des problèmes. Durant cette phase, l'enseignant circule dans les rangs et use de différentes postures d'étayage permettant de rappeler des procédures, apporter des informations et accompagner et orienter la démarche des élèves (Lemeignan et Weil-Barrais, 1988), en rappelant notamment les critères de réussite.

La séance 2 se clôture par une phase de mise en commun et d'institutionnalisation.

Ici, l'enseignant anime la correction de l'activité de la séance 1. Les élèves proposent leurs réponses au tableau et l'enseignant corrige et demande si les réponses apportées peuvent être améliorées. Ici, l'enseignant tend à rapprocher les modèles mentaux des élèves à des modèles mentaux plus élaborés, proches des modèles scientifiques (Morge et Doly, 2013). Pour permettre à tous les élèves de percevoir le lien entre description du mouvement et modélisation, l'enseignant annonce explicitement l'objectif mis en jeu : « *Ici, vous avez modélisé la trajectoire d'un wagon, d'un siège ou d'une nacelle.* ». L'enseignant distribue la leçon et demande de la coller. Ils demandent aux élèves de la lire silencieusement, de réfléchir au vocabulaire manquant puis ils sollicitent les élèves pour lire et compléter la feuille (annexe 8). Ici, l'enseignant use d'une autre posture d'étayage puisqu'il apporte les informations (Lemeignan et Weil-Barrais, 1988) et plus précisément le vocabulaire scientifique.

Pour conclure sur cette séance, celle-ci utilise que peu l'enseignement de la modélisation. En effet, la définition est seulement reprise en début de séance. Ainsi, l'enseignant développe davantage l'enseignement par la modélisation. Cela semble logique puisque l'objectif de la séance 2 ne réside plus dans l'élaboration d'un modèle mais bien dans l'utilisation du modèle. De plus, l'enseignement de la modélisation ne nécessite qu'un apport théorique sur la modélisation, apport réalisé en séance 1. Cependant, l'enseignement par la modélisation est le fait d'enseigner une notion en utilisant la démarche de modélisation (Morge et Doly, 2013).

La séance 2 se base donc davantage sur des situations problèmes, ce qui permet d'entendre le champ expérimental d'opération du modèle, ici la description d'un mouvement.

L'enseignant utilise ici, comme dans la séance 1, différentes postures de guidage ayant des fonctions diverses, comme le montrent les recherches de Lemeignan et Weil-Barrais (1988).

3.2.3. Séance 3 : Évaluation formative

La séance 3 se découpe en deux temps. Un premier temps est consacré à l'évaluation formative, qui durera 30 minutes (5 minutes d'installation, 15 minutes d'évaluation et 10 minutes de correction). Les 55 minutes restantes sont consacrées au début d'une autre séquence, qu'il est inutile de développer ici.

Dans cette évaluation formative (annexe 9), l'enseignant cherche à positionner les élèves dans leurs apprentissages concernant la description d'un mouvement, la définition des paramètres d'un mouvement, le rôle de l'observateur et la définition du produit de la modélisation et son rôle. Nous proposons ainsi une analyse des réponses des élèves à chaque objectif.

Concernant la description d'un mouvement, le rôle de l'observateur et la définition du produit de la modélisation, l'enseignant n'a noté aucune difficulté particulière. D'abord, nous pouvons noter que les élèves ont appris leur leçon.

Concernant la définition des paramètres d'un mouvement, l'enseignant a noté une confusion entre « rôle » et « paramètres ». Les « rôles » correspondent à l'observateur et l'acteur tandis que les « paramètres » servent à la description directe du mouvement. Les paramètres peuvent être modélisés tandis que les rôles définissent un point de vue. Certains élèves font donc une confusion entre la théorie et la réalité. Cela n'est pas étonnant puisque, dans les recherches, Morge et Doly (2013) notent que les élèves ont tendance à assimiler le modèle à la réalité, et donc à confondre les caractéristiques du modèle (ici, les paramètres) et de la réalité (ici, les rôles).

Concernant le rôle d'un modèle, certains élèves ont compris que le modèle crée un problème au lieu d'aider à la résolution. Comme remédiation, l'enseignant a rajouté une phrase explicative de la carte mentale pour éviter toute confusion. Nous pouvons donc ici noter une limite à la modélisation. En effet, la carte mentale modélisait la définition d'un modèle et son rôle. Malgré le caractère facilitateur de la modélisation (Varenne, 2016), certains élèves ne se sont pas approprié la carte mentale.

Pour terminer la séance, l'enseignant a décidé de réaliser la phase de correction juste après la fin de l'évaluation formative. Cela a permis aux élèves d'avoir un retour rapide et direct

sur leur évaluation. L'enseignant a donc utilisé d'une posture de guidage en rappelant des informations et des procédures.

3.2.4. Séance 4 : Évaluation sommative

Cette évaluation sommative (annexe 10) fait le bilan du chapitre portant sur le mouvement. Celle-ci a duré 35 minutes. Ici, l'enseignant cherche à voir si les élèves savent décrire un mouvement, définir les paramètres d'un mouvement, comprendre le rôle de l'observateur et modéliser une trajectoire.

L'évaluation sommative a été globalement réussie par tous les élèves. Ces résultats vont dans le sens des recherches de Varenne (2016) démontrant les aspects facilitateurs d'un modèle. En effet, celui-ci facilite la mémorisation, et ainsi, les élèves ont restitué leurs leçons. Le modèle augmente également la compréhension grâce aux modèles mentaux plus élaborés et proches des modèles scientifiques. Ce caractère s'illustre dans la réussite des élèves aux situations problèmes proposées dans l'évaluation sommative. Le modèle permet aussi une meilleure interprétation et un rendu concret de la théorie.

Les élèves ont rencontré des difficultés sur une question ne nécessitant pas la modélisation mais la compréhension du rôle de l'observateur. Ainsi, cela peut s'expliquer par le fait que cette notion soit compliquée à modéliser et qu'on ne puisse donc pas faciliter sa compréhension et sa mémorisation par modélisation. Cela vient confirmer que la modélisation joue un rôle facilitateur dans l'apprentissage d'un modèle.

Conclusion

Lier modélisation et apprentissage nous a permis de distinguer deux types d'enseignement à savoir l'enseignement de la modélisation et l'enseignement par la modélisation. En Physique-Chimie, l'enseignement par la modélisation est couramment pratiqué et consiste à établir un lien explicite entre modélisation et apprentissage. Afin de limiter les biais de compréhension, il est néanmoins nécessaire de proposer aux élèves un enseignement préalable de la modélisation. Les objectifs seraient de rappeler l'origine épistémologique des modèles, leurs limites d'utilisations, ainsi que leur nature évolutive. En effet, nous avons vu, au cours des siècles, que certains modèles scientifiques se sont retrouvés dépassés tandis que d'autres n'ont subi qu'une évolution partielle.

L'expérience de terrain que j'ai proposé m'a permis de valider ou d'invalider certaines de mes hypothèses de recherche.

- **Hypothèse n°1 : La connaissance de l'enseignant des modèles et de la modélisation a un impact sur les apprentissages.** Cette hypothèse est validée. En effet, les enseignants ont exprimé dans le questionnaire le fait d'être relativement à l'aise vis-à-vis de cette notion et ont tendance à l'implémenter dans leur enseignement. L'impact dans les apprentissages est avéré car la majorité des élèves indiquent percevoir la modélisation lors d'apprentissages réalisés en travaux pratiques. Ceci est en totale conformité avec la demande institutionnelle (BOEN) qui stipule que l'enseignant doit lier « démarche de modélisation » et « démarche expérimentale ». D'autre part, en analysant les résultats, nous avons pu noter que l'utilisation de la modélisation en classe était en partie corrélée avec le sentiment de bonne maîtrise de la notion par l'enseignant. En effet, les enseignants indiquent simultanément se sentir à l'aise avec la notion et la pratiquer quotidiennement dans les apprentissages réalisés.
- **Hypothèse n°2 : La connaissance approfondie d'un modèle de la part des enseignants peut être un obstacle à la compréhension des élèves.** Cette hypothèse est validée. Il nous est apparu que les enseignants conceptualisaient la modélisation par des aspects complexes et sophistiqués (impliquant une certaine aisance dans la manipulation notionnelle). Or, quand nous comparons cet aspect avec l'impression des élèves concernant la perception de l'utilisation dans les apprentissages de physique-chimie (ou encore leur utilisation de la modélisation), il se trouve que certains élèves indiquent ne pas voire explicitement l'action de modélisation. Ainsi, pour reprendre les travaux de Morge et Doly (2013), la

modélisation serait tellement ancrée dans les savoirs de l'enseignant qu'il n'en verrait pas les difficultés et peinerait donc à enseigner les modèles aux élèves.

- **Hypothèse n°3 : Le caractère abstrait de la modélisation, et donc des modèles, révèle une véritable difficulté dans la compréhension, du point de vue de l'élève.** Cette hypothèse demeure discutable. En effet, les élèves ne sont pas capables de savoir s'ils sont en train de réaliser l'action de modéliser. Certains pensent même ne pas s'en servir du tout. De plus, la délimitation quelque peu floue qui existe entre le monde des idées et le monde réel n'est pas forcément perçue par les élèves. Cela ajoute donc une difficulté supplémentaire étant donné qu'ils assimilent les modèles à une description exacte de la réalité.

D'autre part, au cours de ce travail de recherche, j'ai pu proposer à une classe de sixième dont j'ai la gestion une séquence d'enseignement par la modélisation portant sur le thème des mouvements. Cette expérience m'a confirmé qu'il était nécessaire d'effectuer une séance préalable d'enseignement de la modélisation. J'ai donc été amené à recueillir les conceptions initiales des élèves sur la modélisation dans le but de les déconstruire ensuite et d'en proposer de nouvelles au moyen d'une démarche de modélisation assez proche de la démarche scientifique. Il est ensuite important d'apporter une définition claire et précise, adaptée à la classe d'âge des élèves, des notions de « modélisation » et de « modèle ». Une fois ce travail préalable réalisé, il est possible avec des élèves d'élaborer un modèle et de l'appliquer dans un cas concret afin de le valider voir même de le faire évoluer vers un modèle scientifique : ceci revient à réaliser un enseignement par la modélisation. Une contextualisation familière est particulièrement recommandée.

Cette démarche d'élaboration d'un modèle s'inscrit parfaitement dans la démarche scientifique puisqu'elle se base sur l'observation, la proposition d'hypothèses, la réalisation expérimentale, l'obtention et l'interprétation de résultats, et enfin la validation de cette interprétation par les élèves. Une fois que le modèle est élaboré et testé, il est nécessaire d'étendre son champ d'opération de l'utiliser dans des situations problèmes variées.

Le fait que cette démarche d'enseigner par la modélisation ait pu être possible en classe de sixième, nous indique qu'elle est probablement transposable pour n'importe quelles autres classes supérieures.

La modélisation est au cœur de la dynamique qui existe entre modèle et expérience, et donc un moteur essentiel de l'élaboration de nouvelles connaissances en physique-chimie. On entend souvent dire les élèves qu'un phénomène est « magique » lorsqu'il n'arrive pas à l'expliquer ou à manipuler des concepts ambitieux. La démarche qui est proposée dans ce

travail peut permettre de rendre les connaissances un peu plus abordables pour les élèves, et de nourrir la réflexion et l'esprit critique des élèves.

Il serait ainsi pertinent de continuer les recherches sur la modélisation au travers des différents niveaux du second degré. De nouvelles questions apparaissent. Nous avons observé que la modélisation permettait la compréhension de notions complexes. Comment inviter les enseignants à mieux expliciter, mieux nuancer, mieux distinguer l'action de modéliser de son objet qu'est le modèle ? Certains enseignants ont manifesté l'envie ou le besoin de se former sur ce sujet.

Au terme de ce mémoire, nous pouvons affirmer que cette problématique demeure cruciale et il me semble de prime importance d'essayer de consolider les résultats en élargissant l'échantillonnage à une taille académique voire nationale.

Références bibliographiques

1. AMATO IMBODEN, M., COULIN TALABOT, F., KUMMER, J., PRIMATESTA, S., VAN TUINEN-SABBADINI, G., ZAHND, L., KOPP, & LOMBARD. (s. d.). *La modélisation en biologie, comment la traiter en classe ?* Travail Réalisé Dans le Cadre D'un Projet de Recherche Pour les Formateurs de Terrain En Biologie, 2011-2012, Genève, Suisse.
2. Berbaum, J. (2005). Apprentissage et pratiques de formation : notions préliminaires. Dans : Jean Berbaum éd., *Apprentissage et formation* (pp. 5-18). Paris cedex 14: Presses Universitaires de France.
3. BRISWALTER, M. B., & MEHLINGER, M. M. (2022). LES THÉORIES DE L'APPRENTISSAGE. *Université de la Lorraine DACIP*. https://sup.univ-lorraine.fr/files/2022/01/FS_les_theories_de_apprentissage.pdf
4. BRISWALTER, M. B., & MEHLINGER, M. M. (2022). LES THÉORIES DE L'APPRENTISSAGE. *Université de la Lorraine DACIP*. https://sup.univ-lorraine.fr/files/2022/01/FS_les_theories_de_apprentissage.pdf
5. Coquidé, M., & Maréchal, J. L. (2006). Introduction. Modélisation et simulation dans l'enseignement scientifique : usages et impacts. *Aster*, 43(1), 7-16.
<https://doi.org/10.4267/2042/16799>
6. GAIDIOZ, P., & TIBERGHIE, A. (2003). Un outil d'enseignement privilégiant la modélisation. *BUP*, 97, 71-83. <http://pegase.ens-lyon>.
7. Larousse, É. (s. d.). *Définitions : modélisation - Dictionnaire de français Larousse*.
<https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/mod%C3%A9lisation/51923>
8. Larousse, É. (s. d.-a). *Définitions : apprentissage - Dictionnaire de français Larousse*.
<https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/apprentissage/4748>

9. Larousse, É. (s. d.-a). *Définitions : modèle - Dictionnaire de français Larousse*.
<https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/mod%C3%A8le/51916>
10. LEMEIGNAN, G., & WEIL-BARAIS, A. (1988). GESTION D'ACTIVITES DE MODELISATION EN CLASSE. *ASTER*, 7, 124-139.
11. Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse. (2019, août). LA MODÉLISATION, UNE ACTIVITÉ ESSENTIELLE POUR TRAVAILLER LES COMPÉTENCES DE LA DÉMARCHE SCIENTIFIQUE. *éduscol*.
<https://eduscol.education.fr/document/22672/download>
12. Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse. (2020, 30 juillet). Programme du cycle 4. *Eduscol*. Consulté le 22 novembre 2023, à l'adresse
<https://eduscol.education.fr/90/j-enseigne-au-cycle-4>
13. Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse. (2023, 22 juin). Programme de sciences et technologie du cycle 3. *Eduscol*. Consulté le 22 novembre 2023, à l'adresse <https://eduscol.education.fr/87/j-enseigne-au-cycle-3>
14. Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse. (s. d.). Programme de physique-chimie de seconde générale et technologique. *education.gouv.fr*.
<https://www.education.gouv.fr/les-programmes-du-lycee-general-et-technologique-9812>
15. Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse. (s. d.-a). Programme de physique-chimie de première générale. *Eduscol*.
<https://eduscol.education.fr/1648/programmes-et-ressources-en-physique-chimie-voie-gt>
16. Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse. (s. d.-c). Programme de physique-chimie de terminale générale. *Eduscol*.

<https://eduscol.education.fr/1648/programmes-et-ressources-en-physique-chimie-voie-gt>

17. Morge, L., & Doly, A. (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.
18. Varenne, F. (2016, 6 décembre). *Histoire de la modélisation : quelques jalons*.
<https://hal.science/hal-02495473>
19. Viennot, L. (2006). Modélisation dimensionnellement réductrice et traitement « particulière » dans l'enseignement de la physique / A new way of looking at size reduction in the teaching of physics. *Didaskalia*, 28(1), 9-32.
<https://doi.org/10.3406/spira.2013.1066>

Annexe 1 : Questionnaire élève

La Modélisation en physique-chimie

Qu'est-ce que la Modélisation selon vous ?

Comment le retrouvez-vous dans l'enseignement de la physique-chimie ?

Comment l'utilisez-vous ?

Annexe 2 : Questionnaire enseignant

La Modélisation en physique-chimie

Qu'est-ce que la Modélisation selon vous ?

Comment l'implantez-vous dans l'enseignement de la physique-chimie ?

Vous sentez-vous à l'aise avec cette notion ? Pourquoi ?



CHAPITRE IV : Le Mouvement

<i>Nombre de séances</i>	<i>Niveau(x)</i>	<i>Période</i>	<i>Domaine</i>	<i>Sous-domaine</i>
4	Sixième	3	Matière, mouvement, énergie, information	Différents types de mouvement
<i>Objectifs généraux</i>				
<ul style="list-style-type: none"> - Appréhender la notion de modélisation - Savoir décrire un mouvement - Savoir modéliser la trajectoire d'un mouvement 				
<i>Attendu de fin de cycle 3</i>			<i>Connaissances et compétences attendues en fin de sixième</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Décrire un mouvement en précisant le point de vue 			<ul style="list-style-type: none"> • Décrire un mouvement et identifier les différences entre mouvements circulaire ou rectiligne. • Mouvement d'un objet (trajectoire et vitesse : unités et ordres de grandeur). • Exemples de mouvements simples : rectiligne, circulaire 	
<i>Prérequis</i>		<i>Bilan de la séquence</i>		
Différencier « être en mouvement » et « bouger » Reconnaître un cercle, une droite, une courbe quelconque				



DÉROULEMENT DE LA SÉQUENCE

Déroulement	Activités des élèves	Différenciations
<p>SÉANCE 1 : Découverte de la modélisation et première partie du cours</p> <p>Objectifs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Définir la modélisation - Définir le rôle de l'observateur - Définir un mouvement en utilisant la variation de vitesse et la trajectoire 		
<ul style="list-style-type: none"> • <u>Phase d'accueil (5min)</u> : L'enseignant fait l'appel. Il fait noter les devoirs dans l'agenda et il demande aux élèves de sortir leurs affaires. • <u>Phase d'évaluation diagnostique (25min)</u> : L'enseignant demande aux élèves de poser des mots sur le terme « modélisation ». Il recueille les idées et les note au tableau, en induisant le vocabulaire qu'il attend. L'enseignant ne valide et n'invalide rien dans un premier temps. <i><u>Réponses attendues</u> : modèle, réflexion, schéma, modéliser</i> Une fois que les élèves n'ont plus d'idées, l'enseignant définit les termes attendus et commence la construction de la carte mentale avec les élèves. <i><u>Définitions</u> :</i> <ul style="list-style-type: none"> - Modèle : produit de la modélisation - Réflexion : quand on réfléchit pour résoudre un problème, on utilise un modèle mental 	<ul style="list-style-type: none"> • Lors de la <u>phase d'accueil</u>, les élèves posent leur manteau au fond de la salle, s'installent, répondent à l'appel et notent les devoirs. Ils sortent également leurs affaires. • Lors de la <u>phase d'évaluation diagnostique</u>, les élèves participent au recueillement des idées. Ils proposent des idées sur le terme « modélisation ». <i><u>Réponses possibles</u> : modèle, réflexion, schéma, créer, modéliser, pâte à modeler, modèle 3D</i> Les élèves écoutent les définitions, posent des questions et copient la carte mentale. 	<p>L'enseignant reformule, image, prend des exemples, et demande de reformuler pour vérifier la compréhension.</p> <p>Phase d'entraînement : posture de lâcher-prise : l'enseignant est présent pour les élèves en ayant besoin, apporte son soutien et précise le vocabulaire</p>



<ul style="list-style-type: none"> - Modèle mental : propres à chacun d'entre nous et nous aide à répondre à des problèmes - Schéma : modèle simplifié d'un problème - Modéliser : créer un modèle • <u>Phase d'expérience (10 min)</u> : L'enseignant explicite l'objectif d'apprentissage : « <i>Vous vous demandez pourquoi nous avons parlé de la modélisation. Durant cette séquence et durant tout le reste de l'année, nous allons utiliser la modélisation.</i> » L'enseignant demande si un élève a une montre. L'élève est donc sollicité par l'enseignant pour tourner sur lui-même, le bras (où il y a la montre) levé devant lui. Cela permet de définir les rôles d'observateur et d'acteur, en passant par le vécu d'une situation concrète. L'enseignant pose des questions aux élèves (à la classe ainsi qu'à l'élève vivant l'expérience) : <ul style="list-style-type: none"> - « <i>Qui est en mouvement ?</i> » - « <i>Qui est immobile ?</i> » - « <i>La montre est-elle en mouvement ?</i> » • <u>Phase d'institutionnalisation (35 min)</u> : L'enseignant distribue la feuille de cours. Ils demandent 	<ul style="list-style-type: none"> • Lors de la <u>phase d'expérience</u>, les élèves écoutent l'objectif d'apprentissage. Un élève possédant une montre est sollicité par l'enseignant pour participer à l'expérience. <u>Réponses attendues</u> : <ul style="list-style-type: none"> - <i>Par l'élève en mouvement</i> : « <i>Les autres sont en mouvement. C'est moi qui suis immobile. La montre est immobile.</i> » - <i>Par les autres élèves de la classe</i> : « <i>L'élève qui tourne sur lui-même est en mouvement. C'est la classe qui est immobile. La montre est en mouvement</i> ». • Lors de la <u>phase d'institutionnalisation</u>, ils collent dans leur cahier la feuille de cours distribuée. Ils la lisent silencieusement puis, à haute voix, s'ils sont sollicités par 	
---	---	--



<p>aux élèves de la lire silencieusement, de réfléchir au vocabulaire manquant puis ils sollicitent les élèves pour lire et compléter la feuille.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Phase d'entraînement (10 min)</u> : L'enseignant demande aux élèves de sortir leur manuel et de réaliser l'activité 1 page 60. L'enseignant prend une posture d'étayage et circule dans la salle en apportant son aide si besoin. <p>Cette activité a pour but d'appliquer les notions du cours afin que les élèves les assimilent. De plus, les élèves pourront se familiariser avec le vocabulaire pour la prochaine séance.</p>	<p>l'enseignant. Ils participent à la construction de la leçon à l'oral et ils complètent la feuille en notant le vocabulaire. Ils questionnent l'enseignant si besoin.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lors de la <u>phase d'entraînement</u>, les élèves sortent leur manuel ou vont le chercher au fond de la salle s'ils ne l'ont pas. Ils réalisent l'activité demandée, en s'aidant de la leçon si besoin. De plus, comme l'enseignant est disponible, ils peuvent lui poser des questions. 	
--	---	--

SÉANCE 2 : Description de mouvements du quotidien et relativité

Objectifs :

- Définir la relativité du mouvement
- Modéliser un mouvement
- Décrire un mouvement en précisant le rôle de l'observateur

<ul style="list-style-type: none"> • <u>Phase d'accueil et de rappel de la séance précédente (10min)</u> : L'enseignant fait l'appel. Il fait noter les devoirs dans l'agenda et il demande aux élèves de sortir leurs affaires. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lors de la <u>phase d'accueil et de rappel de la séance précédente</u>, les élèves posent leur manteau au fond de 	<p>L'enseignant reformule, image, prend des exemples, et demande de reformuler pour</p>
--	---	---



<p>L'enseignant demande : « Qu'a-t-on fait et appris la dernière fois ? Sur la phase de rappel, l'enseignant n'hésite pas à relancer les élèves, à les aiguiller sur la réponse attendue.</p> <p><u>Réponse attendue</u> : « <i>La dernière fois, nous avons appris la définition de la modélisation. La modélisation produit un modèle qui sert à résoudre un problème. On avait ensuite fait une expérience qui nous a montré le rôle de l'observateur : observer et décrire le mouvement. Pour finir, nous avons appris à décrire un mouvement en utilisant la variation de vitesse, définie comme le fait qu'un mouvement peut être ralenti, accéléré ou uniforme, et la trajectoire, définie comme l'ensemble des positions occupées par un objet au cours du mouvement.</i> »</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Phase d'activité (45min)</u> : L'enseignant distribue l'activité « Mais, qui bouge ? ». Il demande de coller la feuille et demande à un élève de lire à haute voix le texte ainsi que la consigne du premier exercice. L'enseignant donne les critères de réussite : « Je veux que les cinq prénoms apparaissent dans chacune des phrases. Il faudra 	<p>la salle, s'installent, répondent à l'appel et notent les devoirs. Ils sortent également leurs affaires. Ils rappellent ensuite le travail fait précédemment et définissent la modélisation, le rôle de l'observateur, la variation de vitesse et la trajectoire.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lors de la <u>phase d'activité</u>, les élèves prennent connaissance de la feuille d'activité. Un élève interrogé lit le texte et la consigne. Ils réalisent les questions et se manifestent s'ils doutent, s'ils veulent avoir des précisions, ... Ils participent également à la correction en allant au tableau lorsqu'ils sont sollicités par l'enseignant. • Lors de la <u>phase de mise en commun et d'institutionnalisation</u>, les élèves participent à la correction de 	<p>vérifier la compréhension.</p> <p>Tutorat entre élèves de niveaux hétérogènes</p>
--	---	--



<p>bien faire attention aux précisions du texte. Une fois que vous avez rempli les phrases, vous pouvez compléter le tableau récapitulatif à la fin de la feuille. Pour la deuxième question, il vous suffit de reprendre les phrases que vous venez de compléter pour donner un exemple. Pour la troisième question, demandez-vous ce que vous venez de définir : l'observateur ou l'acteur ? ». Durant cette phase, l'enseignant corrige au fur et à mesure l'activité en faisant passer les élèves au tableau. Il passe dans les rangs, regarde le travail de chacun et apporte une aide individuelle et différenciée. Si un problème récurrent est visible par l'enseignant, il reprendra l'intégralité du groupe-classe pour analyser / apporter des précisions sur la question qui pose des problèmes.</p> <p><u>Difficulté envisagée</u> : Des élèves peuvent ne pas avoir le prérequis suivant : différencier « bouger » et « être en mouvement ». Pour cela, l'enseignant se met en position d'acteur. Il définit ce qu'est « être en mouvement » : aller d'un point à un autre (ce qu'il montre de façon concrète avec</p>	<p>l'activité de la séance précédente en allant au tableau. Ils prennent conscience qu'ils ont utilisé la modélisation pour modéliser une trajectoire. Les élèves reçoivent ensuite la leçon à trous, la collent dans leur cahier, la lisent puis participent à sa construction.</p>	
--	--	--



son corps). Il définit ensuite ce qu'est « bouger » de la même façon, en marchant sur place à côté d'un élève et en indiquant à la classe « Je bouge à côté de X, mais je ne vais pas d'un point à un autre, je ne suis donc pas en mouvement. »

- **Phase de mise en commun et d'institutionnalisation (30 min) :**

L'enseignant anime la correction de l'activité de la séance 1 (1 page 60). Les élèves proposent leurs réponses au tableau et l'enseignant corrige et demande si les réponses apportées peuvent être améliorées. Il explicite chaque terme en lien avec la démarche de modélisation. Il annonce l'objectif mis en jeu : « *Ici, vous avez modélisé la trajectoire d'un wagon, d'un siège ou d'une nacelle.* »

L'enseignant distribue la leçon et demande de la coller. Ils demandent aux élèves de la lire silencieusement, de réfléchir au vocabulaire manquant puis ils sollicitent les élèves pour lire et compléter la feuille.

SÉANCE 3 : Évaluation formative

Objectifs :

- **Décrire un mouvement : circulaire, rectiligne, quelconque**
- **Définir les paramètres d'un mouvement : trajectoire et variation de vitesse**



<ul style="list-style-type: none"> - Comprendre le rôle de l'observateur - Définir le produit de la modélisation et le rôle d'un modèle 		
<ul style="list-style-type: none"> • <u>Phase d'accueil (5min)</u> : L'enseignant fait l'appel. Il fait noter les devoirs dans l'agenda et il demande aux élèves de sortir leurs affaires. • <u>Phase d'évaluation formative (15 min)</u> : Test de leçon sur les notions abordées depuis le début du chapitre. Comme c'est une évaluation formative, l'enseignant n'intervient pas, sauf en cas d'incompréhension des consignes. Cette évaluation permettra à l'élève de voir où il en est de ses apprentissages. • <u>Phase de correction (10 min)</u> : L'enseignant sollicite les élèves à venir au tableau pour corriger les questions du test de leçon. Il redéfinit les notions et apporte des exemples pour illustrer et ainsi faciliter la compréhension. Cette phase permet à l'enseignant de voir les notions maîtrisées ou non par les élèves. Ces derniers peuvent également se positionner sur leur compréhension et leur appropriation des contenus du cours. Cette phase de correction éclaire aussi les difficultés des élèves. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lors de la <u>phase d'accueil et de rappel de la séance précédente</u>, les élèves posent leur manteau au fond de la salle, s'installent, répondent à l'appel et notent les devoirs. Ils sortent également leurs affaires. • Lors de la <u>phase d'évaluation sommative</u>, les élèves réalisent l'évaluation, seuls. Ils peuvent questionner l'enseignant seulement pour des questions liées à la compréhension des consignes. • Lors de la <u>phase de correction</u>, les élèves viennent au tableau et proposent leurs réponses. Ils notent aussi la correction, qu'ils aient bien ou mal répondu. Les élèves n'hésitent pas à poser des questions. 	<p>L'enseignant reformule, image, prend des exemples.</p>
SÉANCE 4 : Évaluation sommative		



Objectifs :

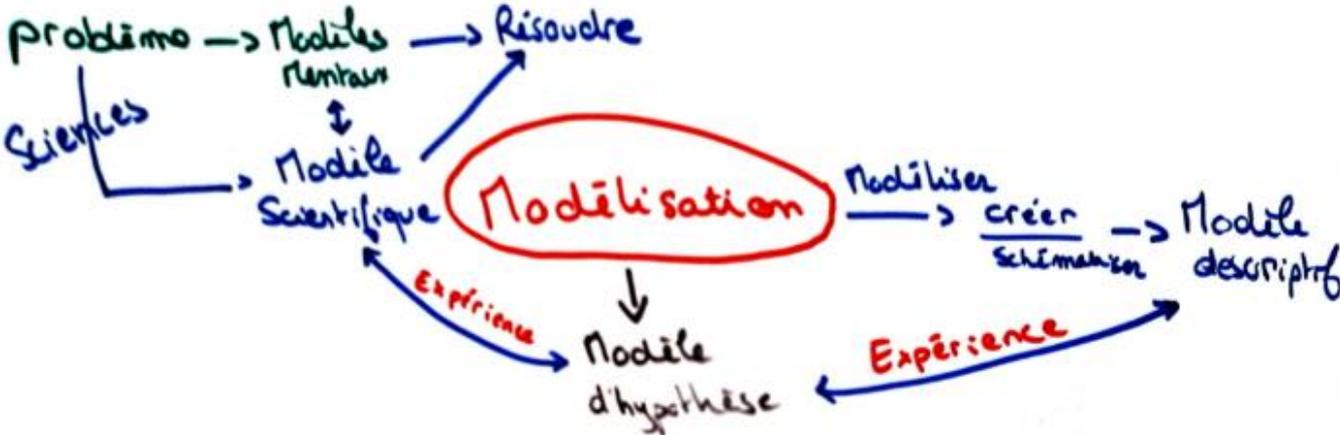
- **Décrire un mouvement : circulaire, rectiligne, quelconque ; accéléré, ralenti, uniforme**
- **Définir les paramètres d'un mouvement : trajectoire et variation de vitesse**
- **Comprendre le rôle de l'observateur**
- **Modéliser une trajectoire**

- **Phase d'accueil (5min)** :
L'enseignant fait l'appel. Il fait noter les devoirs dans l'agenda et il demande aux élèves de sortir leurs affaires.
- **Phase d'évaluation sommative (35min)** : Devoir surveillé sur la mole et les aspects historiques. Comme c'est une évaluation sommative, l'enseignant n'intervient pas, sauf incompréhensions des consignes.

- Lors de la phase d'accueil et de rappel de la séance précédente, les élèves posent leur manteau au fond de la salle, s'installent, répondent à l'appel et notent les devoirs. Ils sortent également leurs affaires.
- Lors de la phase d'évaluation sommative, les élèves réalisent l'évaluation seul. Ils peuvent questionner l'enseignant seulement pour des questions liées à la compréhension des consignes.



Annexe 4 : Carte mentale sur la modélisation – Séance 1



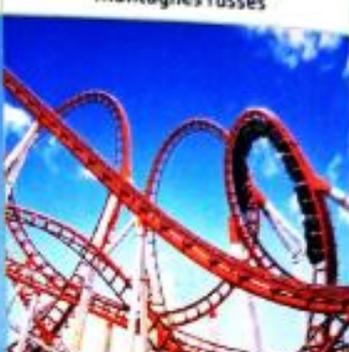
ACTIVITÉ

1

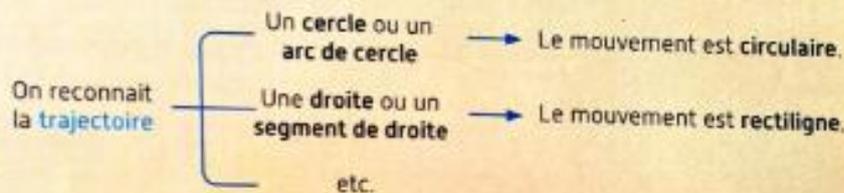
Comment reconnaître un mouvement ?

Une fête foraine s'est installée près du collège de Mirna et Wael. Ils décident de dessiner les trajectoires des véhicules dans lesquels ils pourraient prendre place.

Active DOC lienmini.fr/sci6-037
 D'autres attractions
 Mouvement accéléré et ralenti

Grande roue	Ascenseur à sensations	Montagnes russes
		
Objet observé par Wael et Mirna :		
Une nacelle	Un siège	Un wagon

1 Les attractions de la fête foraine.



Si on ne reconnaît pas la trajectoire, on dit que le mouvement est quelconque.

2 Différents types de mouvements.

J'extrais et j'exploite les informations

- Doc. 1** Wael et Mirna observent les attractions. Sans lever la pointe du crayon à papier, tracer le chemin parcouru par une nacelle de la grande roue, puis par un siège de l'ascenseur à sensation.
- Doc. 1** Serait-il facile de relever l'allure de la trajectoire d'un wagon des montagnes russes ? Pourquoi ?

Je conclus

- Préciser quelle serait la nature du mouvement de Mirna et Wael s'ils montaient dans chacune des attractions.

Vocabulaire

Trajectoire : ligne que décrit un objet au cours de son mouvement.



Description du mouvement d'un objet

Deux acteurs principaux interviennent dans l'étude d'un mouvement :(il décrit le mouvement) et(il vit le mouvement).

A. Rôles de l'observateur

Les enfants sur le manège sont, alors que les enfants en dehors de l'attraction sont des

Cas d'étude : un élève tourne sur lui-même.

Qu'est-ce qui est mobile pour les observateurs ? Immobile ?

.....
.....

Qu'est-ce qui est mobile pour l'enfant en mouvement ? Immobile ?

.....
.....



B. Comment décrire un mouvement ?

Il y a deux paramètres à prendre en compte pour décrire un mouvement : sa, ainsi que sa

Définitions :

Vitesse :

Trajectoire :

Exemple : Décrire le mouvement du carrousel.

.....
.....
.....
.....
.....
.....



Annexe 7 : Activité « Mais qui bouge ? » - Séance 2

NOM :	Classe :			
Prénom :	Date :			
Compétence 1 : EXPLIQUER UN PHÉNOMÈNE EN UTILISANT UN VOCABULAIRE PRÉCIS	I	F	S	TB
Compétence 2 : UTILISER UN TABLEAU POUR RENDRE COMPTE DES RECHERCHES	I	F	S	TB
Activité 13. Mais qui bouge ?				

Denis, immobile sur le sol, regarde Abou, Elena, Bob et Caroline qui sont sur le tapis roulant d'un aéroport.

Abou et Elena discutent, ils ne marchent pas.

Bob marche dans le sens de roulement du tapis pour sortir plus tôt.

Caroline marche dans l'autre sens, en s'amusant à rester tout le temps à la même hauteur que Denis.

1. **Pour chacun des cinq personnages, complète le texte qu'il pourrait prononcer :**



Je m'appelle....., je vois en mouvement
 et je voisImmobile.

Je m'appelle....., je vois en mouvement
 et je vois immobile.

Je m'appelle....., je vois en mouvement
 et je voisImmobile.

Je m'appelle....., je vois en mouvement
 et je voisImmobile.

Je m'appelle....., je vois en mouvement
 et je voisImmobile.

2. **A l'aide des réponses précédentes, montre qu'un objet peut-être à la fois immobile et en mouvement ?**

.....

.....

3. **Rédige une phrase indiquant ce qu'il faut préciser pour décrire un mouvement ?**

.....

.....

Complète le tableau récapitulatif suivant avec **I** pour immobile et **MVT** pour en mouvement :

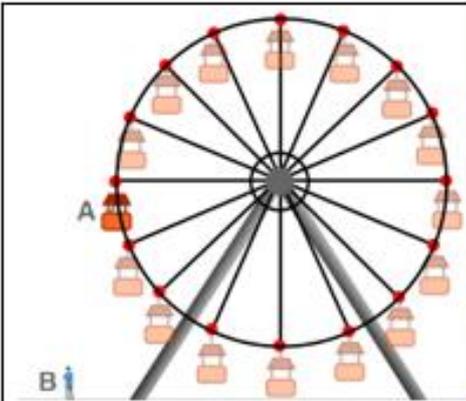
OBSERVATEUR	Denis	Caroline	Abou	Elena	Bob
Denis voit					
Caroline voit					
Abou voit					
Elena voit					
Bob voit					



Description de mouvement du quotidien

Description et modélisation de la trajectoire d'un objet :

- 1^{ère} case : photo de l'attraction
- 2^{ème} case : Modéliser la trajectoire à main levée
- 3^{ème} case : Description de la trajectoire avec le vocabulaire adéquat

Conclusion :

.....

.....

.....

.....



Annexe 9 : Evaluation formative – Séance 3

Test de leçon

Compétence (s)	I	F	S	TB
Mobiliser ses connaissances				

Quels sont les deux paramètres à prendre en compte pour décrire un mouvement ?

.....

.....

.....

Quel est le rôle de l'observateur ?

.....

.....

.....

Comment nomme-t-on un mouvement dont la trajectoire dessine un cercle ?

.....

.....

.....

Que produit-on lorsque l'on utilise la modélisation ? À quoi cela sert-il ?

.....

.....

.....



Annexe 10 : Evaluation sommative – Séance 4

NOM :	Classe :			
Prénom :	Date :			
Compétence 1 : faire des phrases entières et bien construites	I	F	S	TB
Compétence 2 : Utiliser différents modes de représentation (Modéliser une trajectoire)	I	F	S	TB
Compétence 7 : Extraire des informations pertinentes d'un document pour répondre à une question	I	F	S	TB
Compétence 12 : Mobiliser ses connaissances	I	F	S	TB

1. Exercice 1 : Technique ninja !

Naruto a créé trois clones. Ses trois clones A, B et C. Ils courent autour de Naruto qui lui reste immobile.

1. En attribuant le rôle d'observateur à Naruto, exprimer qui est en mouvement.

.....

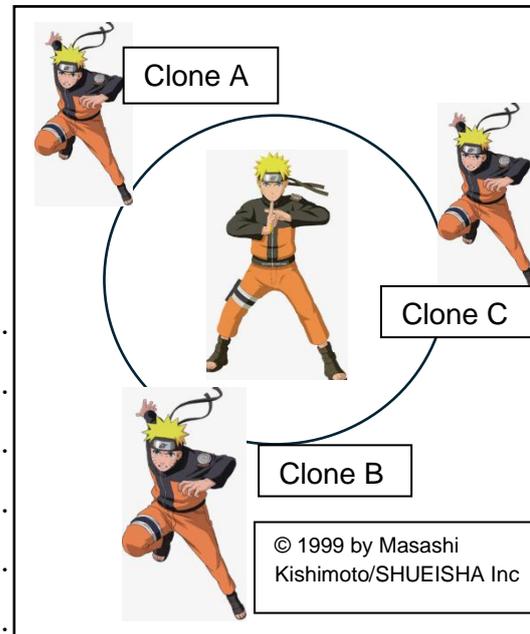
.....

.....

.....

.....

.....



2. En attribuant le rôle de l'observateur au clone A, exprimer qui est en mouvement, et qui est immobile.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Décrire le mouvement des clones par rapport à Naruto, sachant que les clones courent à une vitesse constante.



.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Exercice 2 : Un manège à sensations fortes !

Un manège à sensations fortes a publié les plans de son attraction, voici la description de l'attraction :

- Sur la partie A de l'attraction, la trajectoire du wagon dessine un cercle.
- Sur la partie B de l'attraction, la trajectoire du wagon dessine une droite.
- Sur la partie C de l'attraction, la trajectoire ne dessine pas de forme connue.

3. Modéliser les trajectoires du wagon dans chacune des parties.

Partie A	Partie B	Partie C

4. Décrire le mouvement du wagon avec le vocabulaire adapté, pour chacune des parties.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. De nouvelles informations nous sont parvenues :

- Sur la Partie A, la vitesse du wagon est constante.
- Sur la Partie B, la vitesse du wagon augmente.



- Sur la Partie C, la vitesse du wagon diminue.

Compléter la description du mouvement du wagon avec le vocabulaire adapté pour chacune des parties.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

6. Durant l'ensemble de l'attraction, le mouvement du wagon est-il circulaire, rectiligne ou quelconque ?

.....

.....

.....



Enseignement de/par la modélisation : Analyse des conceptions des élèves et des enseignants en lycée général et technologique ; Application au cas de la description d'un mouvement en classe de sixième

La modélisation est une notion riche et complexe, faisant partie intégrante de la démarche scientifique puisqu'elles se fondent en partie sur les mêmes étapes. Les Bulletins Officiels de l'Éducation Nationale demandent tout particulièrement aux enseignants d'explicitement le lien aux élèves. J'ai moi-même été surpris par la complexité et la richesse que possède le terme « modélisation ». Dans ce travail je suis parvenu à montrer qu'on ne pouvait pas enseigner par la modélisation sans au préalable préparer le terrain en enseignant explicitement la modélisation. Ainsi, j'ai souhaité axer mon mémoire sur les conceptions et les utilisations de la modélisation chez les élèves et les enseignants en lycée. J'ai également pris l'initiative de proposer une séquence pédagogique d'enseignement de la modélisation et par la modélisation en classe de sixième, en m'appuyant sur l'état de l'art actuel.

Mots-clés : modélisation, modèle, enseignant, élève, conceptions, modèles mentaux, modèles scientifiques, second degré

Modeling: Study of teachers' and students' conceptions and uses in general and technological high schools; Teaching modeling and through modeling: the case of modeling the trajectory of a movement in the sixth-grade class

Modeling is a rich and complex concept, and an integral part of the scientific approach, since it is based in part on the same steps. The Bulletins Officiels de l'Éducation Nationale specifically ask teachers to explain the link to students. I myself was surprised by the complexity and richness of the term "modeling". In this work, I've managed to show that you can't teach through modeling without first preparing the ground by explicitly teaching modeling. I therefore decided to focus my dissertation on students' and teachers' conceptions and uses of modeling. I also took the initiative of proposing a teaching sequence for teaching modeling and through modeling in the sixth grade, based on the current state of the art.

Keywords : modeling, model, teacher, student, conceptions, mental models, scientific models, second degree

