



HAL
open science

L'enseignement de notion de modèle : quels modèles pour faire comprendre la distinction entre modèle et réalité ?

Ludovic Morge, Anne-Marie Doly

► To cite this version:

Ludovic Morge, Anne-Marie Doly. L'enseignement de notion de modèle : quels modèles pour faire comprendre la distinction entre modèle et réalité?. Spirale - Revue de Recherches en Éducation , 2013, 52, pp.149-175. hal-00853456

HAL Id: hal-00853456

<https://hal.science/hal-00853456v1>

Submitted on 3 Feb 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

L'enseignement de la notion de modèle : quels modèles pour faire comprendre la distinction entre modèle et réalité ?

Morge Ludovic, Anne Marie Doly, Clermont Université, Université Blaise Pascal, laboratoire ACTé, EA 4281

Résumé :

La notion de modèle, en tant que notion commune à la physique, la chimie, la biologie, la géologie, est susceptible de donner une cohérence aux enseignements scientifiques. Les programmes français demandent aux enseignants d'aborder la notion de modèle dès le collège alors que des recherches ont montré que cette notion pose des problèmes de compréhension aux élèves et aux enseignants qui touche à son épistémologie. C'est pourquoi dans cette recherche nous nous sommes intéressés à un enseignement capable de favoriser la distinction entre le modèle et ce qu'il représente qui est centrale du point de vue épistémologique mais fait difficulté. Dans cette perspective, nous faisons une proposition didactique soutenue par une réflexion épistémologique afin d'examiner ce qui peut faciliter cette distinction chez les élèves et les conduire à interroger le réalisme naïf qu'une majorité d'entre eux manifeste à l'égard de la conception de la science. Il résulte que les modèles choisis par les enseignants pour favoriser cette compréhension des élèves devraient satisfaire à trois conditions : s'appuyer sur un référent empirique perceptible ; permettre de rompre la relation biunivoque entre l'objet et la représentation de l'objet ; présenter un écart important avec le phénomène étudié. Une étude menée par questionnaire auprès de 25 enseignants débutants français de physique-chimie en collèges et lycées, montre que la grande majorité des enseignants ne situent par leur enseignement dans ce cadre, ce qui interroge la formation des enseignants ainsi que la place des modèles dans les programmes. Après avoir cerné les conditions favorables à la construction de la notion de modèle commune aux sciences expérimentales, nous replacerons cette discussion dans le cadre de l'EIST.

1. Introduction

L'Enseignement Intégré de Science et Technologie, initié en 2006 (Romanens et al., 2007) vise plusieurs objectifs : stimuler la curiosité et développer le goût des sciences des élèves ; faciliter la transition entre l'école élémentaire et le collège ; donner une cohérence entre les disciplines scientifiques et technologiques ; pratiquer la démarche d'investigation telle qu'elle est inscrite dans les nouveaux programmes de sciences. Cet article explore les conditions favorables à l'enseignement de la notion de modèle commune aux différentes disciplines scientifiques. En ce sens, il contribue principalement à la réflexion sur la recherche de cohérence entre différentes disciplines scientifiques (Physique, Chimie, Biologie, Géologie) et permet également de pratiquer la démarche d'investigation de manière raisonnée en interrogeant la nature des savoirs mis en jeu. Bien comprendre la notion de modèle, c'est donner aux élèves la possibilité de faire du lien entre les disciplines scientifiques, mais c'est aussi, comme nous le verrons à la fin de cet article, leur permettre de situer les disciplines entre elles. Si la majorité des exemples présentés dans cet article s'appuie sur des exemples dans le domaine de la physique et de la chimie, nous pensons néanmoins que les réflexions

didactiques et épistémologiques développées dans cet article dépassent le simple cadre de ces deux disciplines et incitent à s'interroger sur leur domaine de validité.

Les sciences physiques qui visent à l'intelligibilité de la nature, jamais rationnelle d'elle-même, ont recours, à côté des théories et des lois, à la modélisation. Le modèle, qui prend place dans la construction de cette intelligibilité est devenu un outil majeur de la démarche scientifique et on comprend que les programmes d'enseignement lui fassent une large place. Les programmes français suggèrent d'aborder la notion de modèle, dès le collège, lors de rencontres avec des contenus qui en permettent l'initiation : « *La propagation rectiligne, élément nouveau par rapport à l'école primaire, est un excellent moyen pour introduire la notion de modèle avec le rayon lumineux.* » (MEN, 2008, p.10). Cette réflexion sur la notion de modèle est prolongée en lycée.

Cependant des études (R. Porlàn et al., p.209 ; Pope et Scott 1983) convergent sur un constat dont Halbwachs (1974, p.41) perçoit même des indices chez Planck qui montre dit-il, un certain réalisme «...quand il affirme que la tendance historique du développement du « système physique de l'univers » est « un mouvement d'approche de plus en plus serré du monde réel », il paraît adhérer à l'idée très courante, que le monde réel constitue une sorte de limite asymptotique vers laquelle tend la représentation physique au cours de son développement ». Les enseignants et leurs élèves ont eux-aussi et majoritairement des conceptions épistémologiques de type réaliste et positiviste de la science qui les conduisent à considérer que le rôle de la science est de « découvrir » peu à peu, comme on lève un voile, les lois qui organisent le réel indépendamment de toute construction humaine, et cela selon une méthode expérimentale qui conduit le chercheur continûment de l'observation à la théorie. Cette perspective inductiviste conduit nécessairement à comprendre le modèle dans une fonction descriptive des phénomènes et illustrative des théories, en excluant tout caractère explicatif, heuristique et prédictif. Le modèle, loin d'être un outil de développement de la science, nécessairement hypothétique et évolutif, devient ainsi une représentation qui fige la réalité empirique à laquelle en plus, il doit ressembler pour être « vrai » comme dit Fourez (1992, p. 53) à propos de ce réalisme naïf : « *selon cette manière de voir, ce qui rend « vrai » une proposition ou un modèle théorique, c'est qu'il correspond aux choses telles qu'elles seraient dans la réalité* ».

Cette confusion entre le modèle et ce qu'il représente ne peut donc pas être prise pour anecdotique ; elle est au cœur de la compréhension épistémologique du modèle, de la démarche des sciences physiques et de la notion de vérité qu'elle met en oeuvre ainsi que, plus largement, de ce qui définit les sciences physiques où s'opposent thèses réalistes et antiréalistes. Il est donc essentiel qu'un enseignement de la notion de modèle prenne en compte en priorité la question de la différence entre le modèle et la réalité qu'il représente, que l'on va dire empirique dans un premier temps avant de la définir.

Dans ce but, à la suite d'une étude épistémologique de la notion de modèle et de ses caractères qui permettra de construire des conditions pour son enseignement, nous proposons un exemple didactique susceptible de faciliter aux élèves la distinction entre modèle et réalité empirique que complètera une enquête faite auprès de professeurs débutants.

2. Les motifs d'une réflexion épistémologique et d'un choix didactique pour enseigner le modèle

Etudions, comme le propose la démarche de réflexion de Munier et Passelaigue (2012) à propos des grandeurs et mesures, les exigences et les fondements épistémologiques des

programmes scolaires en matière d'enseignement du modèle afin de pouvoir faire une proposition didactique adéquate.

2.1 Les exigences des programmes pour le collège et le lycée sur l'enseignement du modèle

Dès les premiers niveaux, la notion de modèle est introduite avec ses déterminants épistémologiques : le rapport au langage *mathématique*, son rôle de *description* et de *représentation*, le rapport du *modèle au réel*, la question de sa validité. Le professeur devra « *introduire la notion de modèle* » sur certains exemples comme la propagation de la lumière et « *donner l'idée qu'un modèle peut fournir une certaine représentation de la réalité* », avec d'emblée, une mise en garde contre la confusion entre « *réalité et simulation* » et l'exigence de faire systématiquement réfléchir les élèves sur la distinction entre « *le réel et le virtuel* ». En 3^{ème}, le modèle apparaît aux côtés des lois, comme moyen privilégié de la science pour « *comprendre la réalité du monde* », pour la « *décrire* » et établir des prévisions sur « *le comportement de la nature* ». Notons que les termes choisis pour désigner cette relation du modèle à « *la réalité du monde* » et la « *nature* » révèlent une forme de réalisme des programmes dont il faudra élucider le sens et les conséquences, d'autant qu'il alterne avec une conception utilitariste du modèle.

Sur le plan didactique, si les programmes insistent sur la liberté du professeur, deux directions sont proposées : utiliser des modèles constitués comme illustration d'une théorie et support d'une réflexion des élèves et mobiliser l'activité de « *modélisation* » des élèves. Il s'agit alors de leur faire construire des modèles, tester leur fiabilité et, « *par allers et retours inductifs et déductifs entre modélisation théorique et vérification expérimentale* », les faire prendre comme points de départ d'autres hypothèses et modélisations ; ce qui leur permet d'apprendre en quoi les modèles sont des outils de la science, ce que sont « *leurs conditions de validité, leurs exploitations possibles* » et leur pouvoir heuristique.

L'apprentissage progressif, actif et épistémologique de la notion de modèle participe ainsi de l'accès des élèves à une véritable culture scientifique. Outre que, par son rapport aux mathématiques, la modélisation permet de faire comprendre comment la science expérimentale peut « *accéder à l'universel à partir du particulier* », elle fait apparaître, au travers de ses caractères propres, la science comme un questionnement permanent et rigoureux, évolutif et hypothétique et non un savoir « *dogmatique et intangible* ».

Les programmes, qui demandent une initiation des élèves à la notion de modèle, invitent les professeurs à leur faire faire une réflexion de type épistémologique à travers une démarche didactique de modélisation, insistent dès les premiers niveaux de classe sur l'exigence de différenciation entre le modèle et ce qu'il représente.

Une réflexion épistémologique sur la notion de modèle s'impose au didacticien de la physique, soucieux de former des enseignants sur le sujet. Il s'agit d'en définir les caractères et les conditions de validité, en insistant sur la distinction entre le modèle et le « *réel* » cette dernière notion, utilisée dans les programmes sous divers vocables, étant elle-même à élucider puisque, de cette clarification dépend à la fois la compréhension du modèle et la conception de la nature de la science, ou du moins les débats que cette question suscite aujourd'hui encore entre réalisme et anti-réalisme. L'enjeu didactique de cette distinction est donc majeur.

2.2. Difficultés des élèves et enjeu de la distinction entre modèle et réalité

Le risque encouru par des élèves qui ne font pas la distinction modèle (M) et réalité (R) est de croire que les modèles appris à l'école sont la réalité des phénomènes. Ainsi, pour prendre l'exemple des modèles moléculaires, les élèves peuvent prendre les boules assemblées par des bâtons comme de simples grossissements de la réalité moléculaire, ce qui est une erreur à la fois sur la nature des molécules, du modèle et plus largement de la science qui ne serait que description d'une réalité mal définie.

De plus, la confusion M-R peut poser des problèmes de cohérence des contenus scolaires. Par exemple, les programmes commencent l'enseignement de la lumière par l'idée qu'elle est constituée de rayons lumineux se propageant en ligne droite, pour être définie quelques années plus tard comme une onde qui peut se diffracter, pour finir sur la conception de la lumière comme photon, comme grain d'énergie qui explique le phénomène photoélectrique. Pour des élèves qui confondent M et R, comment comprendre quoi que ce soit à un enseignement qui leur présente une succession de modèles différents pour un même objet ?

Sensibiliser les élèves à la notion de modèle par ce qui la définit épistémologiquement, notamment par la distinction M-R, c'est leur donner les moyens de comprendre ce qu'ils apprennent et de pouvoir accéder à une véritable *culture* scientifique.

2.3. Les difficultés des enseignants et leurs conséquences

Les enseignants ont souvent eux-aussi, comme le notent de nombreux travaux (e.g. Désautels et al., 1993 ; Robardet, 1994 ; Van Driel & Verloop, 1999 ; Gilbert, 2004 ; Porlàn et al., 1998) des difficultés dans la compréhension épistémologique de la notion de modèle alors même que celle-ci a dans certaines situations « *une importance centrale dans la conception et la conduite des situations d'enseignement* »¹ (Justi & Van Driel, 2005). Or, outre que « *dans de nombreux pays, les pratiques d'enseignement comportent rarement des activités de modélisation* » (*ibid.*), de nombreux enseignants manifestent « *une tendance majoritaire* » à « *une vision positiviste (empirico-inductiviste) de la science* » liée à « *une vision inductiviste de la méthodologie scientifique* » et à « *une version absolutiste de la vérité et des connaissances* » (Pope et Gilbert, 1983 cité par Porlàn Ariza et al., 1998, p.212). De telles conceptions épistémologiques ne peuvent conduire qu'à une définition réaliste et confuse du modèle comme représentation fidèle et, par là-même, figée de la réalité que ces enseignants transmettent à leurs élèves induisant chez eux non seulement cette même confusion M-R mais à travers elle toute une conception erronée de la science et de ses modes de développement. Leurs enseignements « *ne présentant pas le développement de la connaissance scientifique comme un processus continu de production et de révisions de modèles* » (Justi & Van Driel, 2005), ils risquent de transmettre « *une image déformée des connaissances et des travaux scientifiques* » (Porlàn Ariza et al., 1998).

Guerra-Ramos, (2011), dans une enquête sur les idées des enseignants sur la nature de la science donne comme trait dominant le « *scientisme* » : ils pensent que « *le savoir est vrai, prouvé, incontestable et atteint à travers une observation neutre et objective des phénomènes naturels et en suivant une méthode scientifique universelle* » et à propos des travaux des chercheurs sur l'atome, « *ils peuvent être certains de leur structures car ils ont vu les atomes au microscope* », ce qui conduit Munby (cité par Guerra-Ramos) à parler d'une « *doctrine de l'immaculée perception* » !

Cependant, elle insiste sur le fait que ces savoirs ne sont pas stables et ni uniformes selon les enseignants et les situations d'enseignement. Ainsi, les enseignants observés en situation

¹ Les traductions sont faites par nos soins.

pédagogique qui met les élèves en activité, manifestent des connaissances épistémologiques qui n'apparaissent pas dans les enquêtes par questionnaires, abstraites par rapport aux situations de classes. Ce qui fait dire à l'auteur que les professeurs ne sont en général pas conscients des connaissances qu'ils ont et sont pourtant capables d'utiliser en situation d'enseignement. Ceci confirme l'existence d'un décalage entre la conscience que les professeurs peuvent expliciter de leur conception et ce qu'ils manifestent lorsqu'ils font classe (Morge, 1997).

Deux choses sont donc à retenir. Une bonne connaissance de la Nature de la Science (Abd-El-Khalick and Lederman, 2000) qui relève d'une réflexion épistémologique, est une condition nécessaire pour garantir la réussite de cet enseignement. Ils rejoignent en cela les conclusions d'Osborne et al. (2002) et de Bartholomew (2004, p.24), qui précisent qu'« *un véritable enseignement des « idées sur la science » exige que soit développé dans la classe un contexte pédagogique qui permette aux élèves d'engager un dialogue sur une réflexion épistémologique* ». Mais selon ces auteurs, cette réflexion épistémologique aura d'autant plus d'impact sur l'enseignement qu'elle sera focalisée sur un aspect spécifique de la science, comme la question du modèle, et que la démarche pédagogique sera celle, active, de modélisation par les élèves qui favorise en même temps leur réflexion épistémologique et l'activation des connaissances épistémologiques des enseignants. Cette perspective pédagogique, rencontrée dans les programmes, est celle que l'on retrouve dans de nombreux travaux sur l'enseignement de la notion de modèle (e.g. Martinand et al. 1994 ; Porlàn Ariza et Al., 1998 ; Buty, 2003 ; Viennot, 2006, Raghaven & Glaser, 1995; Davies & Gilbert, 2003, Justi et Van Driel, 2005) qui en soulignent l'intérêt par rapport à une pédagogie de seule transmission de modèles construits, pour engager leur réflexion épistémologique. Guerra-Ramos (2011) signale à ce propos que les incidents et échecs rencontrés en classe active, favorisent, outre la révélation au professeur d'éléments de sa conception de la nature de la science, son recours, devant les propositions des élèves, à des recherches et explications sur la situation, mais aussi à des discussions entre professeurs et élèves, relevant souvent de fondements épistémologiques comme d'éléments de méthodologie qui vont bien au-delà de ce qui avait d'abord été prévu.

Ces études montrent ainsi, que ce choix de l'activité de modélisation est un bon moyen pour conduire à l'exigence d'aborder les caractéristiques épistémologiques du modèle dont les programmes se font aussi l'écho.

3. La réflexion épistémologique : que faut-il savoir du modèle pour en faire un enseignement ?

Bien que leur usage y soit constant, « *il n'est pas aisé de s'entendre sur le rôle et la portée des modèles en sciences physiques* » dit Canguilhem (1968, p.305), d'autant qu'il y en a de plusieurs types (Robardet et Guillaud, 1997, p. 98-99) des plus concrets, comme la maquette, homothétiques à la réalité (notion précisée ultérieurement) qu'ils représentent, aux plus abstraits, des plus matériels et iconiques aux plus formalisés. On pourrait encore différencier ceux qui représentent une réalité visible de ceux qui représentent une réalité invisible, car ce critère joue sur la confusion entre le modèle et ce qu'il représente dont nous venons de voir que cela constituait l'un des obstacles majeurs à l'appréhension de la notion de modèle.

Mais au-delà de ces différences, il y a des caractéristiques fondamentales communes aux différents types de modèles et ce sont elles que nous devons dégager pour justifier le choix d'une approche didactique du modèle en Sciences Physiques au collège.

Qu'est-ce donc qu'un modèle ? « *Un modèle*, dit Canguilhem (1968, p.313), *n'est rien d'autre que sa fonction* », ce qui signifie que la valeur du modèle ne tient pas à ce qu'il est mais à ce qu'il *représente*, qu'il est un *outil* construit par le chercheur pour remplir une fonction et que c'est pour remplir une fonction qu'il répond à certaines *caractéristiques*.

3.1. Quelles sont les fonctions du modèle : pour quelles raisons les scientifiques ont-ils recours au modèle alors qu'ils ont déjà les théories ?

Les sciences physiques sont un ensemble organisé de productions intellectuelles, les théories, qui rendent compte sous formes d'énoncés formalisés, des phénomènes du monde physique pour en construire de façon progressive et évolutive, une connaissance la plus objective possible. Pour cela, elles organisent en systèmes des lois qui établissent entre ces phénomènes, choisis et expérimentés par le chercheur à l'inverse du donné immédiat de l'observation de sens commun, des relations mesurables, constantes, nécessaires et universelles. Le recours au modèle prend place dans cette dynamique de compréhension des phénomènes. Mais pourquoi ce doublage de la théorie par le modèle ? Pour répondre à cette question, il faut comprendre la différence entre théorie et modèle, et par là-même le rôle du modèle et le rapport à ce qu'il représente qui nous préoccupe particulièrement puisque la confusion M-R est celle que notre choix didactique vise à travailler avec les élèves.

3.2. De quoi parlons-nous lorsqu'on parle de réalité ?

Le terme de réalité est utilisé à la fois comme référent des théories, des lois, des modèles ainsi que dans un sens commun. Savoir dans chaque cas de quoi on parle exigerait, dans un travail proprement épistémologique qui n'est pas le nôtre à vocation didactique, un détour précis et argumenté par la controverse entre réalisme et antiréalisme (Soler, soumis, Lecourt, 1999, pp.802-806, Koponen, 2002). Il nous suffira ici d'en tracer les grandes lignes afin d'arrêter un sens indispensable pour effectuer un choix didactique et comprendre la difficulté des élèves.

3.3. Réalisme, antiréalisme : faut-il choisir ?

Le réalisme, dans lequel il faut différencier le réalisme scientifique du réalisme naïf, invoque l'existence d'un monde physique réel en dehors et au-delà de toute expérience humaine, que l'on pourrait nommer transcendant, ou métaphysique (Soler, soumis) dont la science dévoilerait peu à peu les lois pour en réduire progressivement la part d'inconnu, visible et invisible, dans un progrès cognitif indéfini mais certain. Pour le réalisme naïf, pour une part celui des élèves de collège et peut-être de certains de leurs enseignants, ce qui est donné à voir à tout un chacun ne fait qu'un avec la réalité de la science. Cette perception immédiate et subjective correspond à ce que Bachelard (1960, p. 23) appelle « *l'expérience première* » et qu'il définit comme « *premier obstacle épistémologique* » parce que chargé d'autant de certitudes que de préjugés en lieu et place du travail scientifique critique d'observation et d'expérimentation. C'est cette confiance intuitive que ce dont parle la science est la perception immédiate qui conduit les élèves à confondre le modèle avec la réalité, la figuration modélisée de l'atome avec l'atome réel, jusqu'à inférer de cette similitude, la vérité du modèle.

L'antiréalisme, qui recouvre aussi plusieurs écoles², soutient à l'inverse que la réalité est inaccessible (ou sans importance), « *qu'il n'y a pas de monde au-delà de nos théories et que celles-ci sont vraies seulement parce que nous les acceptons et avons les critères empiriques pour le faire* » (Lecourt, 1999, p. 801). La science est alors à comprendre comme une pure construction, voire une invention, utile et non un dévoilement, et les théories, lois et modèles n'en sont que les instruments temporaires et hypothétiques, au point que des théories contradictoires sur un même objet sont possibles.

S'il est vrai que chaque position a un grand intérêt scientifique et que nombre de chercheurs les utilisent au grès des problèmes qu'ils se posent et des paradigmes dominants, le débat théorique reste peu concluant. Aussi choisirons-nous, comme le fait de façon générale une majorité de chercheurs et comme le font aussi les programmes, la « *troisième voie* » (Lecourt, 1999, p.805), à la fois médiane et pragmatique, qui est celle d'un « *réalisme minimum* » (Koponen, 2002) qui ne postule aucune réalité transcendante qui excèderait la connaissance scientifique, tout en acceptant l'idée que les théories portent bien sur un monde objectif extérieur à elles mais circonscrit aux objets dont elles construisent la connaissance. On peut ainsi parler de « *réalité scientifique* » (Soler, soumis) puisqu'il s'agit bien de désigner une réalité sur laquelle travaillent les chercheurs, mais non pas celle que l'on voit, immédiate et intuitive, mais celle, contre-intuitive, qui est définie et désignée par la connaissance scientifique. Mais cette réalité scientifique (RS) a deux faces situées à deux niveaux différents : l'un *théorique* (RST) qui recouvre ce qui constitue les théories scientifiques dans leur représentation plus ou moins formalisée, et l'autre, *empirique* (RSE), qui recouvre des objets naturels ou techniques, des phénomènes, c'est-à-dire la réalité empirique sur laquelle porte cette formalisation des lois et théories qui, si elle est bien observable ou rendue telle par l'expérimentation, n'est pas la réalité immédiate du sens commun.

Cette réalité empirique (RSE) étant extérieure aux théories, l'établissement de leur vérité exige qu'elles y confrontent tôt ou tard leurs résultats. On ne peut donc pas, comme le font les antiréalistes, se contenter de la cohérence interne des théories pour juger de leur validité, les soustraire à l'épreuve de leur confrontation à la réalité externe dont elles sont censées rendre compte et admettre que des théories contradictoires peuvent porter sur le même objet.

Les théories constituent donc des connaissances à la fois valides (par cohérence interne et externe -avec les autres théories-) et vraies (par adéquation de leurs conséquences au réel empirique de référence) ou en attente de l'être, comme cela a été le cas du bozon de Higgs (Morge, 2007). Elles ne sont pas des images-copies de cette réalité empirique mais elles en sont une traduction formalisée, fidèles en ce sens à ce qu'elles représentent, mais toujours comme dit Popper (1968), falsifiables, c'est-à-dire prêtes au feu de la critique scientifique.

3.4. Alors pourquoi des modèles ?

La science dans sa mission cognitive vise, entre autres, à unifier la connaissance scientifique en réunissant des théories et des lois éparses en même temps que les éléments de réalité empirique qu'elles recouvrent, visibles et/ou invisibles : elle les formalise dans un langage mathématique et les rassemble sous quelques hypothèses devenant des principes explicatifs généraux, comme ce fut le cas de la gravitation universelle qui mit en cohérence un ensemble de connaissances et de phénomènes d'abord extérieurs les uns aux autres. Les théories deviennent ainsi des ensembles à la fois de plus en plus vastes et de plus en plus complexes, la réalité empirique qu'elles recouvrent n'est plus manipulable et les problèmes que les chercheurs veulent y poser ne peuvent pas faire l'objet des études expérimentales nécessaires.

² Des Positivistes, aux idéalistes en passant par les instrumentalistes, les pragmatiques et les constructivistes.

C'est là qu'intervient le modèle. Il permet de reproduire, en la formalisant de manière plus ou moins abstraite selon les besoins, mais en la *simplifiant* et en la *localisant*, une réalité scientifique, sous ses deux aspects théoriques et empiriques, trop lourde pour pouvoir être manipulée, que ce soit par expérimentation ou par simulation informatique. Le chercheur conserve des parties de la réalité et des paramètres, en élimine d'autres jugés non essentiels (Rumelhard, 1988), pour traiter le problème qui est le sien tout en restant dans le cadre d'une théorie de référence avec laquelle il doit être en cohérence pour garder sa valeur scientifique. « *L'intérêt principal d'un modèle est de rendre compte de manière particulièrement économique de phénomènes n'ayant apparemment que peu de rapport entre eux* », pour cela il « *opère sur une partie plus limitée, plus localisée de la réalité empirique (...)* » comme « *reconstruite par la pensée, simplifiée, -prémodélisée- par le scientifique* » (Robardet et Guillaud, 1997, p.98).

Ainsi, tandis que la théorie représente une réalité empirique vaste et complexe dont elle construit la connaissance et que c'est l'adéquation de ses conséquences au réel qui en assure la vérité, le modèle qui n'est pas dans l'exigence d'une telle validation par confrontation au réel puisqu'il n'est que dans celle que lui crée son usage, est par nécessité distancié de ce qu'il représente – « infidèle » - (Soler, soumis). Ce qui le définit en effet étant son rôle et son rôle n'étant pas de représenter la réalité dans sa totalité pour en construire une connaissance mais de répondre à un problème posé dans une réalité empirique qu'il doit « déformer » pour la rendre manipulable afin de l'étudier, la non correspondance entre le modèle (M) et la réalité scientifique empirique (RSE) et la réalité scientifique théorique (RST) n'est pas un accident mais une nécessité radicale qui le définit et qu'exige sa fonction d'abord heuristique.

3.5. *Quels sont alors les autres caractères auxquels répond le modèle ?*

Le décalage nécessaire entre M et R ne doit cependant pas soustraire le modèle à la cohérence interne et externe (par rapport aux théories disponibles) sous peine de ne plus pouvoir être un outil d'intelligibilité rationnel et rigoureux. Un modèle est construit pour répondre à une question portant sur des aspects d'une réalité empirique, il ne peut le faire que si son langage lui donne une cohérence interne mais si également, ce qu'il représente est cohérent avec l'état de la théorie sur le sujet³. C'est cette double cohérence qui assure en priorité sa *validité*.

3.6. *Pluralité, hypothèse et prévision*

Le premier caractère que permet le décalage M-R, qui différencie également le modèle de la théorie en donnant au modèle une souplesse que la théorie ne peut avoir sous peine de ne pas pouvoir constituer une connaissance, est la *pluralité des modèles* pour un même objet que ce soit en fonction de la plus ou moins grande formalisation, d'une approche de plus en plus précise du problème posé ou de la théorie à mobiliser pour répondre à la question posée à cet objet. Cette pluralité possible des modèles, atteste de leur *caractère hypothétique*. Un modèle est une construction parmi d'autres possibles : le choix d'un modèle, les modifications qui lui sont apportées, la construction d'autres modèles sur le même sujet tiennent à la fois à la volonté de simplification, à la fécondité scientifique du modèle et la postérité du problème qu'il est censé éclairer. Il peut ainsi y avoir une succession de modèles approchants, de plus en plus adéquats au problème, soit en supprimant des paramètres soit en faisant appel à d'autres jugés plus pertinents, soit en focalisant sur des éléments différents de la réalité

³ S'il est vrai que depuis Kepler on peut modéliser des mouvements des astres par un système de points matériels, cela devient impossible lorsque l'on veut représenter des particules élémentaires comme le photon étant donnée la connaissance qui en a été construite. Ce qui oblige les chercheurs à trouver d'autres modélisations.

empirique de référence, soit en allant vers une plus grande formalisation plus simplificatrice, soit encore en croisant le problème avec des champs de recherche différents.

Ils gardent avec les théories le caractère de *prévision* qui fait aussi sa valeur d'outil de construction de la connaissance scientifique. La question posée à la réalité empirique que le modèle doit actualiser en des formes analysables par le chercheur doit trouver une réponse, certes hypothétique, mais opérationnelle pour préciser et poursuivre la construction de la connaissance. Elle doit donc pouvoir prendre place dans la dynamique explicative propre à la recherche scientifique qui passe par la prévision. L'existence du bozon de Higgs, d'abord prévue dans les années 60 à l'aide de sa modélisation a été confirmée par des observations récentes : c'est la confrontation de la prévision à l'expérimentation et aux faits que celle-ci permet d'établir qui valide cette connaissance. Cependant, et à la différence de la théorie, établir la vérité n'est pas, comme on l'a dit, le but direct du modèle : il est un instrument pour aider les théories à la construire et doit pour cela être valide au sens où nous l'avons défini précédemment. C'est ainsi que certains (Koponen, 2002 ; Robardet et Guillaud, 1997 ;) définissent le modèle comme médiation entre théorie et réalité empirique. Mais il peut parfaitement s'écarter de ce qui est observable expérimentalement ou même vérifié en l'état présent de la science -c'est même là son intérêt-, pour mettre en scène des phénomènes à titre d'hypothèses. Ainsi, le modèle est par principe à distance de l'objet qu'il représente, hétérogène à sa réalité et les mettre sur le même plan pour les comparer n'a pas de sens. Un modèle ne sera donc pas valide parce qu'il est conforme à la réalité à laquelle il est hétérogène, mais parce les prévisions en observation et mesures qu'il permet de faire, correspondent aux observations et mesures tirées de la réalité, cette comparaison étant possible du fait de l'homogénéité des éléments comparés.

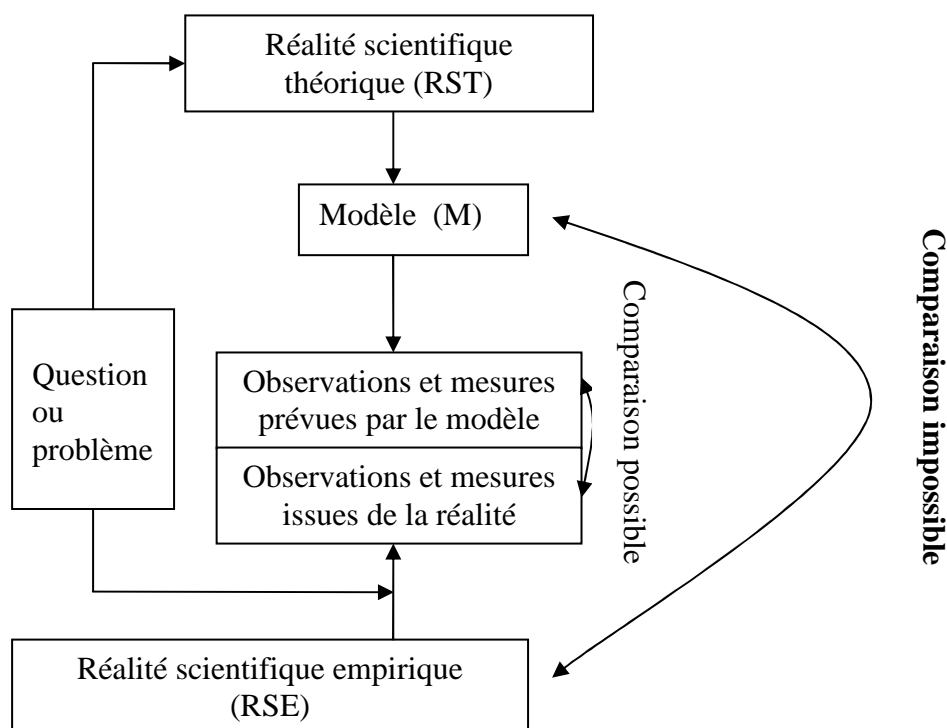


Figure 1 : Modalité de comparaison entre modèle et réalité

Fonction heuristique, réponse à un problème, valeur hypothétique, prévision et pluralité désignent donc les caractères du modèle. Mais ce qui est déterminant pour qu'il remplisse sa fonction, par quoi il est différent de la théorie et qui en justifie le recourt, c'est la radicale hétérogénéité entre le modèle tel qu'il se présente, sous une forme plus ou moins formalisée, et la réalité empirique qu'il modélise laquelle est élaguée, simplifiée, localisée, bref, déformée par rapport à la réalité empirique découpée par la théorie d'où il est issu.

Or, c'est ce décalage M-R de principe qui engage aussi la conception de la science qui fait problème dans l'enseignement du modèle comme cela a été souligné plus haut (1.2. et 1.3.). La tendance à prendre la représentation pour la réalité empirique qu'elle représente conduit aussi, comme nous l'avons souligné plus haut, à comprendre la science toute entière comme un lent et progressif dévoilement de la réalité. Pour ce réalisme naïf que l'on trouve chez les élèves non seulement la réalité existe en dehors de toute investigation scientifique, mais la perception commune en saisit des parties. Et si la science dévoile cette réalité, elle la restitue sous une figuration la plus proche possible de ce qu'elle est. Les atomes sont bel et bien comme ces boules reliées par ces bâtonnets. Et cela est d'autant plus vrai que la réalité représentée est invisible et laisse la porte ouverte à l'idéologie de « l'expérience première » - la science ne pouvant que présenter les choses telles qu'elles sont dans la nature-.

« Un modèle est une représentation à caractère systémique mais aussi hypothétique (ce dernier éliminant les représentations purement descriptives) lié à la nécessité de résoudre un problème » (Astolfi & Drouin, 1992, p. 66). Modéliser demande donc plusieurs choses aux élèves. Ils se posent un problème dans la réalité, face à un objet ou phénomène naturel ou technique, et concevoir une représentation formalisée de cette réalité, un modèle qui est une « substitution du réel » (ibid. p. 68) sur laquelle devra se porter l'activité mentale nécessaire pour résoudre le problème et cela de telle sorte qu'il ne puisse pas y avoir pour eux de « confusion entre la réalité étudiée et la représentation hypothétique de cette réalité ». Et comme cette confusion a tendance à être commune et spontanée chez les élèves à l'image de ce que Bachelard (1960) nomme un « obstacle épistémologique », il faut que leur soit présentée sur le plan didactique une situation ou un objet à modéliser qui les conduise non à éliminer la question de la relation M-R, mais au contraire à l'interroger afin d'établir clairement la « distance entre discours scientifique et réalité » (ibid. p.65) propre à la science en général et que traduit le modèle en particulier. Ainsi à travers un tel travail sur le modèle, le professeur pourra conduire les élèves vers ce qui caractérise la science dans son ensemble et qui doit les faire rompre avec le réalisme naïf qui fait obstacle à la conquête d'un « esprit scientifique ».

4. Quelles conditions didactiques peuvent favoriser un enseignement de la modélisation ciblé sur la distinction entre modèle et réalité ?

Pour que l'élève soit capable de différencier le M et R il doit pouvoir différencier le modèle de la réalité empirique observable et de la réalité théorique scientifique. L'enseignant qui a le souci d'introduire la distinction M-R doit s'appuyer sur un ou des exemples de modèles qui favorisent la réflexion épistémologique qu'elle exige, développée dans le point précédent. La question se pose donc de savoir quel(s) modèle(s) choisir, c'est-à-dire quels caractères doivent présenter les modèles choisis pour qu'ils puissent faire émerger cette réflexion épistémologique.

- **Permettre de rompre avec la relation bi-univoque modèle-réalité**

Dans les situations habituelles d'enseignement, les élèves utilisent les mêmes modélisations pour les mêmes objets : la pile est modélisée par sa tension en électricité ; la boule de pétanque est modélisée par sa masse et son centre de gravité en mécanique ; etc. A chaque objet d'un domaine particulier est associée une modélisation. L'élève peut donc être amené à penser que la modélisation utilisée en cours de physique est la seule manière de représenter l'objet, ce qui induit une relation bi-univoque entre modèle et réalité. Il convient donc tout d'abord de trouver des situations qui permettent de rompre avec ces relations bi-univoques, telles celles dans lesquelles plusieurs modèles rendent compte d'une seule réalité.

- **Permettre aux élèves de modéliser des objets perceptibles**

Il paraît également important de proposer des situations didactiques permettant aux élèves de voir l'objet à représenter afin qu'ils puissent comparer le modèle à la réalité observable et perceptible. On peut penser en effet que l'impossibilité de percevoir directement l'objet modélisé risque de favoriser la confusion avec sa représentation comme dans le cas déjà cité de l'atome. Celui-ci n'étant pas perceptible, aucune analyse du rapport entre l'objet perçu et sa représentation ne peut s'effectuer. Le modèle présenté peut ainsi être plus facilement pris pour une copie conforme au réel, la tendance spontanée du sens commun étant d'aller au plus simple.

Cette proposition se heurte cependant au point de vue de Halbwachs (1974 : 42) selon lequel les modèles descriptifs de ce qui est perçu seraient à l'origine de la confusion entre modèle et réalité : « ... dans un traité de mécanique céleste, ou de mécanique des fluides, les notions maniées par la théorie seront des copies schématisées des objets tels que nous les percevons, les éléments du modèle (points matériels, éléments du fluide) seront de simples descriptions de l'aspect sensible des objets... A ce niveau, **on pense en général que le modèle, décrivant les choses telles qu'on les voit, les décrit ainsi telles qu'elles sont.** Comme il y a adhérence entre la situation, l'apparence perceptive, et leur transcription théorique, on est porté à identifier la représentation et la réalité qu'elle représente. ».

Pour sortir de cette impasse, nous suggérons d'assortir le choix des modèles d'une condition complémentaire : pour l'enseignement il faut éviter d'en rester à des modèles trop descriptifs de leur objet qui peuvent laisser penser aux élèves qu'une seule représentation est possible et risque de faire disparaître tout caractère théorique et abstrait de la représentation.

Trois conditions didactiques nous paraissent donc de nature à favoriser l'enseignement de la modélisation de telle sorte que les élèves questionnent la différence entre modèle et réalité :

- L'objet modélisé doit être directement perceptible.
- L'objet doit pouvoir être modélisé de différentes manières.
- L'objet et son modèle ne doivent pas être dans un rapport descriptif.

L'évolution du modèle de l'atome, et le modèle de la pile nous permettent d'illustrer notre propos.

5. L'histoire de l'évolution du modèle de l'atome : un exemple peu pertinent pour distinguer le modèle et la réalité

L'exemple de l'atome est souvent utilisé pour aborder à la fois la notion de modèle et l'histoire des sciences, laquelle a fourni une succession de représentations de l'atome. Sauf

que l'évolution historique des modèles peut laisser penser que le dernier est meilleur que les autres, ce qui n'est pas toujours le cas puisque leur différence peut ne venir que de la différence des questions auxquelles ils répondent. S'il est vrai que la référence à l'histoire peut illustrer le caractère évolutif du modèle, les élèves qui peuvent en rester à l'idée que le dernier est le meilleur, ne remettent nullement en question la relation bi-univoque entre modèle et réalité.

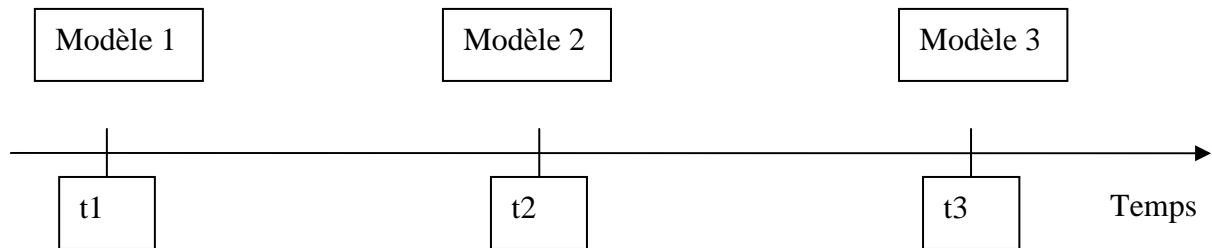


Figure 2 : la présentation habituelle de l'évolution historique du modèle de l'atome

5.1. La modélisation de la pile

La pile nous paraît répondre davantage aux exigences didactiques que nous avons définies. C'est un objet directement perceptible et qui peut intervenir dans différents domaines de la physique -électricité, optique, mécanique-. Ainsi, en changeant les domaines dans lesquels l'objet intervient et doit être modélisé, on modifie nécessairement à la fois la question posée à l'objet et le cadre théorique mobilisé pour le modéliser (cf. fig.1).

La première situation étudiée ici est la suivante : une pile est reliée à un circuit électrique, posée sur un levier, éclairée par une source de lumière, placée devant une lentille derrière laquelle se situe un écran (cf. image ci-dessous). A cette situation réelle, le physicien peut poser plusieurs questions.

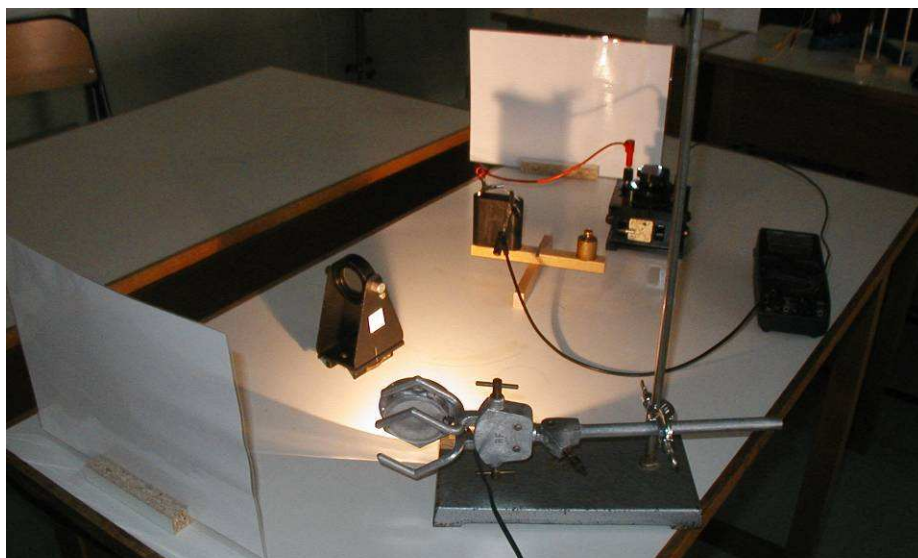


Fig. 3 : Une réalité modélisable de différentes manières selon la question qui lui est posée.

Si la question est de savoir quelle est l'intensité dans le circuit, la pile pourra dans un premier temps être considérée comme un générateur parfait de tension. Pour répondre à ce type de question, c'est le cadre théorique de l'électrocinétique qu'il faut mobiliser.


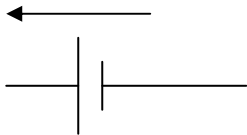
La pile	Une représentation de la pile pour prévoir/expliciter le comportement d'un circuit électrique
	<p style="text-align: center;">$U = 4,5V$</p> 

Tableau 1 : modélisation de la pile comme générateur de tension

Selon le niveau de précision souhaité dans la prévision et l'explication des phénomènes, un second modèle prenant en compte la résistance interne de la pile ($U = E - rI$) peut être utilisé. Ce deuxième modèle n'est pas plus proche de la réalité observable car il n'y a pas véritablement de « résistance » dans la pile. Mais si on modélise la pile de cette nouvelle manière, alors les mesures prévues par le modèle correspondent mieux aux mesures prises dans la réalité. Ce nouveau modèle de la pile se rapproche alors de la réalité scientifique.

Si la question est maintenant de savoir où placer l'écran pour obtenir une image nette de la pile sur l'écran, la pile pourra être modélisée par un ensemble de points envoyant des rayons lumineux dans plusieurs directions de l'espace. Pour répondre à ce type de question c'est le cadre théorique de l'optique qui est pertinent. L'objet sera représenté par une flèche, ne gardant que la dimension haut-bas et une seule des trois dimensions de la taille de l'objet (généralement la hauteur). Ce modèle s'éloigne de la réalité observable (la pile n'est pas une flèche) et également de la réalité scientifique de l'objet (l'objet optique est constitué d'une infinité de points renvoyant chacun une infinité de rayons dans plusieurs directions de l'espace).

La pile	Une représentation de la pile pour prévoir/expliciter l'image de la pile à travers une lentille convergente


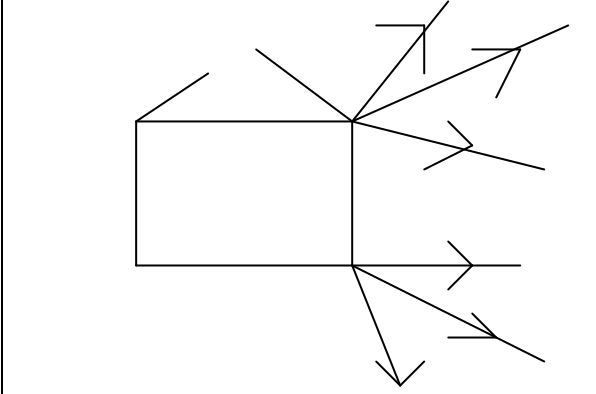
	
---	--

Tableau 2 : Modélisation de la pile comme source de lumière.

Si la question est de prévoir la taille de l'ombre portée de la pile sur l'écran, la pile sera représentée par ses dimensions et le caractère opaque de sa surface. Cependant, il faut être prudent car cette modélisation est très descriptive, et on tombe alors sous la critique d'Halbwachs (1974). Cet exemple de modélisation de la pile serait donc à éviter avec des élèves dans un premier temps ou doit être manipulé avec beaucoup de précautions. Pour répondre à cette question, c'est encore une fois le cadre de l'optique géométrique qui va être utilisé, mais le modèle de la pile sera alors un rectangle mobilisant deux des trois dimensions de la pile.


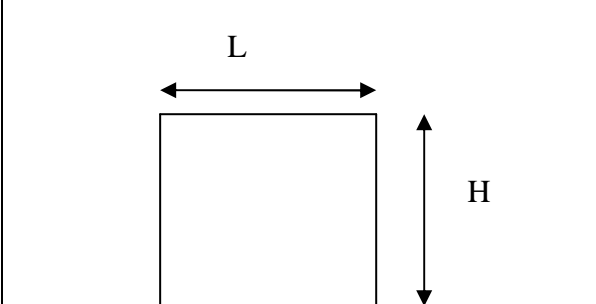
La pile	Une représentation de la pile pour prévoir/expliciter la taille de son ombre portée
	

Tableau 3 : Modélisation de la pile comme objet opaque.

Pour déterminer à quel endroit la pile doit être posée pour que le levier soit à l'équilibre, la pile va cette fois être modélisée par son poids (ou même directement par sa masse), son centre de gravité et sa distance par rapport à l'axe. Là encore, l'écart entre le modèle et la réalité perceptible est apparent (le centre de gravité n'est pas l'objet). Le centre de gravité pourra être considéré dans un premier temps comme le point d'intersection des diagonales du rectangle de la surface de la pile, considérant dans un premier temps que la pile est homogène et que l'on néglige le poids des lamelles.

La pile	Une représentation de la pile pour prévoir sa position sur le levier à l'équilibre
---------	--

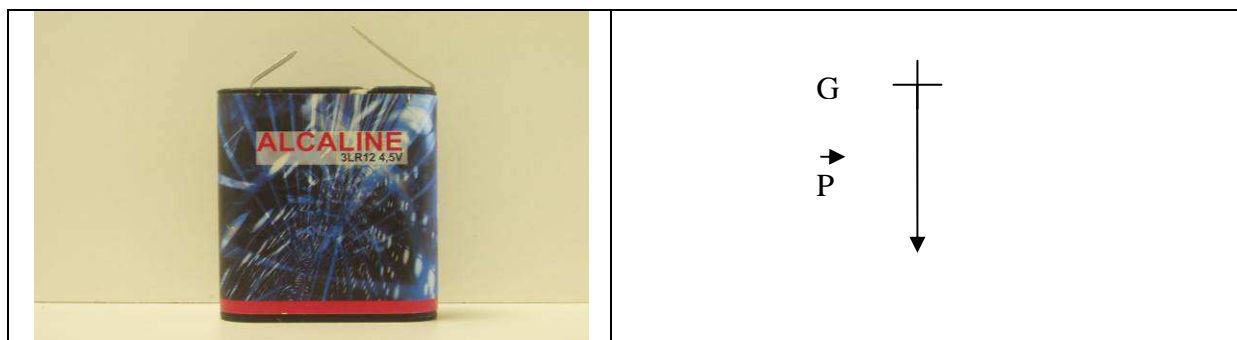


Tableau 4 : Modélisation de la pile comme un objet de masse m .

Il faut noter que la pile n'est pas le seul objet directement perceptible qui permette d'illustrer la différence entre modèle et réalité et que les sciences physiques et chimiques ne sont pas les seules disciplines à utiliser des modèles. Le corps humain peut lui aussi être modélisé selon la question qu'on lui pose, comme un objet qui transforme et consomme de l'énergie, comme un objet ayant une masse, comme un ensemble composé d'organes, comme une source de lumière, comme une résistance électrique, etc. Ceci ne faisant qu'illustrer les possibilités et mais aussi l'intérêt de liens interdisciplinaires pour aborder la notion de modèle.

Si les caractères des modèles adéquats à enseigner la distinction entre modèle et réalité, sont ceux auxquels nous sommes parvenus, il est intéressant dans le cadre de la formation des enseignants, de savoir si les professeurs débutants les prennent spontanément en compte pour concevoir leur enseignement.

6. La distinction entre modèle et réalité chez des enseignants débutants

Il s'agit de savoir si les critères de choix des enseignants rejoignent ceux auxquels nous sommes parvenus, autrement dit,

- (1) s'ils choisissent une réalité directement perceptible ;
- (2) s'ils pensent spontanément qu'ils peuvent utiliser plusieurs modèles pour représenter la même réalité
- (3) s'ils considèrent que l'existence d'un écart important entre modèle et réalité est une condition favorable à leur distinction.

6.1. Méthodologie

Les 25 enseignants de l'échantillon sont en première année d'enseignement dans des établissements du second degré (après obtention de leur concours d'enseignement). Le questionnaire distribué aux enseignants, intitulé « Différencier modèle et réalité », comporte deux parties :

- La première porte sur le choix des modèles qui permettraient d'illustrer la distinction. Les questions (posées au conditionnel parce qu'en début d'année) sont : « *En classe, quel(s) exemples utiliseriez-vous pour illustrer la différence entre modèle et réalité ? Quelles caractéristiques doit avoir un bon / mauvais exemple pour illustrer cette différence ? Pourquoi ?* ». Il s'agit de voir si les enseignants d'une part utilisent une réalité directement

perceptible et d'autre part avancent l'idée qu'un écart important entre modèle et réalité est une condition favorable à leur différenciation.

- La deuxième partie présente la photographie d'une pile. La consigne est la suivante : « *Modélisez cet objet et justifiez votre proposition* ». Cette consigne ne précise ni de champ spécifique de la physique ou de la chimie dans lequel la modélisation doit être effectuée, ni de question qui pourrait orienter leur choix. L'enjeu est de savoir si les enseignants ont conscience de pluralité possible des modèles pour un objet : proposent-ils plusieurs modèles pour un même objet ? Explicitent-ils la nécessité d'avoir une question ou un cadre théorique pour modéliser.

6.2. Résultats

- *Des modèles qui représentent une réalité non directement perceptibles sont choisis pour illustrer la distinction*

Aucun enseignant ne mentionne d'objet qui serait directement perceptible. Les enseignants s'appuient majoritairement sur des modèles de la matière (modèle atomique : N= 4 ; Lewis : N= 1 ; modèle particulaire de la matière : N = 4 ; modèle moléculaire : N = 9 ; Evolution historique du modèle de l'atome N= 4 ; le modèle du gaz parfait : N = 1). D'autres proposent de modéliser la lumière (N=3) ou le courant électrique (N = 2). Enfin, deux enseignants évoquent des relations mathématiques ($U=RI$, calcul de puissance) (N= 2)).

Les réponses montrent une assez grande diversité de justifications qui sont parfois contradictoires. Dans l'exemple ci-dessous, l'enseignant pense qu'il est intéressant de lister les différences entre modèle et réalité, mais il choisit pour cela le modèle atomique :

« (...) j'utiliserais le modèle atomique où il serait facile d'expliquer la simplification apportée par le modèle et lister les différences avec la réalité. ». D'un point de vue épistémologique cette justification est compréhensible puisque l'enseignant envisage ici de pointer la différence entre le modèle de l'atome et la réalité scientifique de l'atome, c'est-à-dire tout ce que la théorie dit actuellement sur l'atome. Mais, on peut cependant se demander d'un point de vue didactique, comment un élève peut percevoir la différence entre le modèle d'un atome et l'atome sans pouvoir observer l'atome. Que la réalité dont l'enseignant parle ici soit la réalité observable ou la réalité scientifique, ces deux réalités ne sont pas facilement accessibles à l'élève.

Différencier modèle et réalité

Nom
Prénom
Pseudonyme *

En classe, quel(s) exemple(s) utiliseriez-vous pour illustrer la différence entre modèle et réalité ? Quelle(s) caractéristique(s) doit avoir un bon / mauvais exemple pour illustrer cette différence, pourquoi ?

Pour illustrer la différence entre modèle et réalité, j'utiliserais le modèle atomique si il serait facile d'expliquer la simplification apportée par le modèle et lister les différences avec la réalité.

Un bon exemple doit contenir un modèle simple, facilement compréhensible et utilisable par les élèves. Il faut que l'élève puisse analyser rapidement les différences entre le modèle et la réalité. De plus, il ne faudrait surtout pas introduire le modèle avant que la réalité soit acquise par les élèves et s'appuyer sur les caractéristiques de la réalité pour construire le modèle.

Dans ce deuxième exemple, l'enseignant utilise l'évolution du modèle atomique au cours de l'histoire et la justifie de la manière suivante :

« *Modèle de l'atome : évolution au cours de l'histoire. Cela permet de montrer qu'un modèle peut évoluer et ne représente donc pas la réalité.* »

Ce qui va à l'encontre de ce que nous avons montré précédemment - l'évolution historique du modèle de l'atome ne permettant pas de rompre la relation biunivoque entre modèle et objet. En effet, l'élève risquerait alors de confondre la théorie de l'atome (ce que la science dit de l'atome à un moment donné de son histoire) et le modèle de l'atome (la représentation simplifiée qu'on en fait pour répondre à une question).

En classe, quel(s) exemple(s) utiliseriez-vous pour illustrer la différence entre modèle et réalité ? Quelle(s) caractéristique(s) doit avoir un bon / mauvais exemple pour illustrer cette différence, pourquoi ?

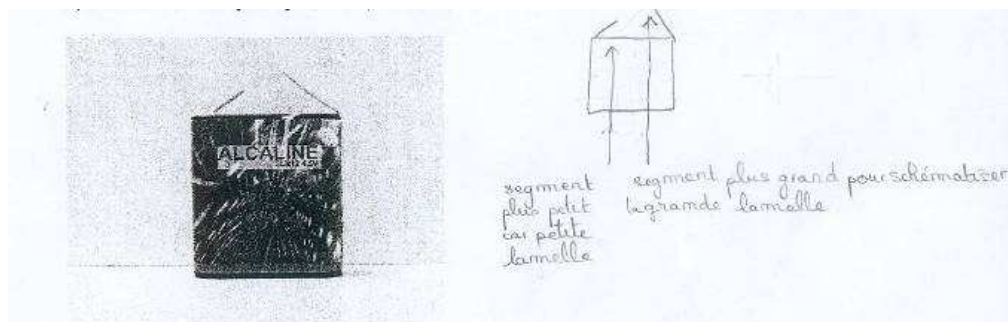
→ *Modèle de l'atome : évolution au cours de l'histoire
Cela permet de montrer qu'un modèle peut évoluer
et ne représente donc pas la réalité.*

D'après les résultats de cette première partie de questionnaire, il semblerait que les enseignants associent systématiquement la notion de modèle à un champ empirique non perceptible, comme si le modèle avait pour fonction de représenter la réalité lorsque celle-ci n'est pas perceptible.

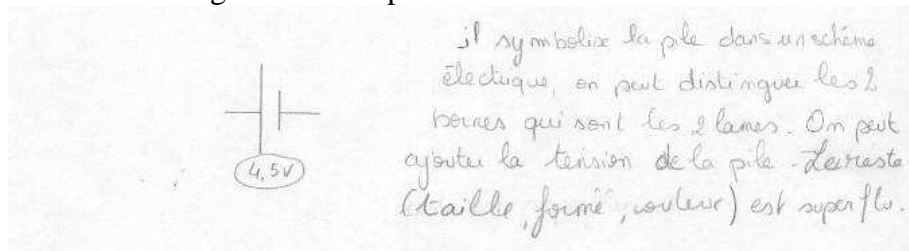
- *La modélisation de la pile par les enseignants-débutants : un seul modèle pour une réalité*

23 enseignants, présentent un seul modèle de la pile. Ce résultat peut être interprété comme étant l'expression majoritaire de la relation biunivoque entre l'objet et la représentation de l'objet.

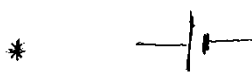
Certains enseignants représentent la pile sous la forme d'un rectangle et de deux lamelles sans spécification d'un champ ou d'une question qui nécessiterait cette modélisation. On retrouve ici l'idée selon laquelle le modèle est une copie simplifiée de la réalité indépendamment de la question posée et de la pertinence du cadre théorique mobilisé. En effet, la mobilisation d'un cadre théorique de l'optique pour répondre à un type de question pourrait justifier ce type de modélisation de la pile. En voici l'exemple.



Plusieurs enseignants-débutants explicitent l'idée selon laquelle le modèle ne reprend que quelques caractéristiques de l'objet : « Il symbolise la pile dans un schéma électrique, on peut distinguer les deux bornes qui sont les deux lames. On peut ajouter la tension de la pile. Le reste (taille, forme, couleur) est superflu. ». Si on considère que de manière implicite l'enseignant mobilise le champ de l'électricité (il mobilise la tension), on peut alors considérer que ce type d'exemple de modèle, même s'il ne permet pas de rompre la relation biunivoque entre le modèle et la réalité observable, permet d'interroger la relation entre le modèle et la réalité scientifique puisque l'enseignant ajoute la possibilité d'introduire la tension comme grandeur complémentaire à celle de l'existence des deux lames.

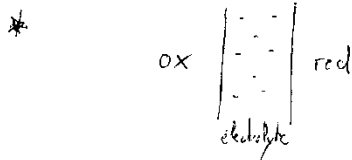


L'exemple ci-dessous illustre le cas d'un enseignant qui propose deux modélisations d'une pile. Une première avec le symbole utilisé dans les circuits électriques et une seconde visant à modéliser le fonctionnement chimique de la pile.



⊕ utilisation simple dans un schéma de circuit

⊖ n'explique pas le fonctionnement



⊕ explique le fonctionnement

⊖ géométrie de la pile non correcte

- *L'exigence d'une différence importante avec la réalité*

Lors de notre réflexion didactique sur les caractéristiques du modèle, nous avons évoqué l'exigence d'une différence importante avec la réalité.

Cette idée a été clairement identifiée chez trois enseignants sur les 25.

Exemple 1 : « Un mauvais modèle est un modèle dont l'adéquation à la réalité serait trop bonne. »

Exemple 2 : « Il faut que l'élève puisse analyser rapidement les différences entre modèle et réalité. »

Exemple 3 : « Un mauvais exemple pour illustrer la différence entre modèle et réalité serait un modèle trop proche de la réalité. »

Cependant, nous relevons des réflexions paradoxales chez les enseignants : *un bon modèle est un modèle proche de la réalité* (ce qui peut être interprété comme une confusion entre modèle et théorie, puisque c'est, d'un point de vue réaliste, une bonne théorie qui va être proche de la réalité, mais pas le modèle), *mais si ce modèle est trop proche de la réalité, il devient un mauvais modèle pour enseigner la différence entre modèle et réalité* (ce qui est contradictoire avec ce qui précède). Pour sortir du paradoxe, il ne faudrait utiliser que des « mauvais » modèles !

Ainsi, pour l'un d'eux, un bon modèle serait celui qui

- « simplifie la vision des élèves,
- doit être proche de la réalité,
- et doit être facile à utiliser »

et un mauvais modèle serait celui qui « remplace la réalité » et qui conduit les élèves à « confondre modèle et réalité. ». Le modèle devrait donc être en même temps proche et éloigné de la réalité !

Pour sortir de ce paradoxe, certains enseignants font appel à l'idée de limite du modèle. Selon eux, un modèle parfait serait une fidèle reproduction de la réalité, mais comme une telle fidélité n'est jamais possible, le modèle a des limites, ce qui prouve qu'il n'est pas la réalité. Comme le dit cet enseignant :

« Un bon exemple serait un modèle qui (ne) concorde avec la réalité que sur certaines plages (de temps, de valeurs, etc.) par exemple un dipôle ohmique ».

Ce type de raisonnement peut alors constituer un obstacle à la compréhension de la notion de modèle. Le positionnement du modèle en tant que représentation sciemment infidèle de la réalité scientifique (de la théorie) (Soler, L, soumis) devrait permettre de lever ce type de paradoxe apparent paradoxe.

7. Conclusion et discussion

La distinction entre modèle et réalité est au centre de la notion de modèle. Or, les résultats de notre recherche montrent que la majorité des enseignants ne se place pas spontanément dans les meilleures conditions pour enseigner cette différence : (1) ils s'appuient sur un référent empirique non-perceptible ; (2) ils ne cherchent pas à rompre pas la relation biunivoque entre l'objet et sa représentation ; (3) ils ne choisissent pas un modèle présentant un écart important avec la réalité. Ces résultats suggèrent que leur approche épistémologique et didactique de la notion de modèle est bien éloignée des conditions sus-citées favorables à un enseignement de la notion de modèle centré sur la distinction entre modèle et réalité. Ces résultats devraient être pris en compte par une formation d'enseignant.

Cependant si l'on prend en compte l'hypothèse (Guerra Ramos, 2011) selon laquelle il y a un écart entre la conscience que les professeurs manifestent de leur conception épistémologique et ce qu'ils manifestent en situation de classe, on peut suggérer une formation en deux moments. Le premier consisterait, pour favoriser l'expression de leur réflexion épistémologique et didactique, à demander aux professeurs en formation de choisir entre deux ensembles de modèles -les modèles de l'atome au cours de l'histoire v.s. les modèles de la pile proposés dans cet article- pour sensibiliser les élèves à la distinction M-R et de justifier leur choix. Ensuite, cette réflexion épistémologique et didactique effectuée, les professeurs seraient invités à mettre en œuvre dans leur classe, des situations d'enseignement du modèle centré sur la distinction M-R.

Les résultats de cette enquête pourraient également nous semble-t-il, être pris en compte dans la conception des programmes sur cette même question. Rappelons en effet, que les programmes français actuels suggèrent d'introduire la notion de modèle au fil des contenus scientifiques abordés - modèle du rayon lumineux, modèle moléculaire, modèle de l'œil, modèle du gaz parfait, modèle de la lumière blanche, etc.-. Cette rencontre des élèves avec la notion de modèle au fil des thèmes - un seul et même modèle étant mis en correspondance avec un seul et même thème - risque en fait de renforcer la relation biunivoque entre modèle et réalité.

Sur le plan de la formation, cette recherche confirme la nécessité d'une formation des professeurs à l'enseignement de la notion de modèle et pour cela, à la réflexion épistémologique qu'elle suppose. Les enseignants débutants de notre échantillon, pour ce que nous en donne à connaître les données recueillies, paraissent démunis pour concevoir une situation d'enseignement capable répondre aux exigences didactiques et épistémologiques que nous avons établies. Cela peut révéler un obstacle à l'enseignement de la notion de modèle, comme l'ont également montré Osborne et al., (2002). Des recherches complémentaires restent cependant à mener pour savoir comment les enseignants s'emparent dans leur classe

de l'exemple de modèles présentant les caractéristiques susmentionnées et de l'effet de cet enseignement sur la compréhension des élèves et leur conception épistémologique.

La notion de modèle permet donc de donner de la cohérence entre la physique, la chimie, la biologie et la géologie. En ce sens, un travail sur la notion de modèle permet d'atteindre partiellement un des objectifs de l'EIST : donner une cohérence entre les disciplines scientifiques et technologiques. Cet article s'est centré sur la notion de modèle, notion permettant de relier les disciplines scientifiques expérimentales. Mais qu'en est-il du lien entre un enseignement de la notion de modèle scientifique et un enseignement de technologie ? Sans chercher à approfondir cette question, nous avançons ici quelques idées. En effet, à des fins d'enseignement, il serait possible de comparer la notion de modèle scientifique à la représentation d'un objet en technologie. A l'instar du modèle, il existe en technologie plusieurs représentations d'un même objet (la perspective, la représentation éclatée, la coupe, la vue d'ensemble, le schéma de principe...), sans que l'une soit meilleure que l'autre dans l'absolu. La pertinence de la représentation dépend de la fonction que l'on veut attribuer à cette représentation : une représentation de l'objet pour le monter, le fabriquer, l'utiliser. Si on retrouve ici des similitudes entre les modèles scientifiques et les représentations en technologie, des différences peuvent aussi être repérées parmi lesquelles, les représentations d'objets technologiques ne sont pas tributaires des théories scientifiques mais de normes, elles ne permettent pas de prévoir de nouveaux phénomènes, ne représentent pas des phénomènes naturels mais des objets fabriqués par et pour l'homme. La réflexion comparatiste amorcée ici entre modèle scientifique et représentations d'objets en technologie doit bien évidemment être poursuivie. Elle permet d'illustrer le fait que si des convergences entre disciplines sont possibles, elles n'effacent pas « l'irréductible spécificité de chacune d'elles » (Coquidé, 2011, p. 59). Ce type de réflexions est selon nous propice à la construction de la conscience disciplinaire chez les élèves (Reuter, 2007).

Bibliographie

- Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. (2000). The influence of the history of science courses on students' views of the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(10), 1057–1095.
- Astolfi, J-P., Drouin, A-M., (1994). La modélisation à l'école élémentaire, in Martinand, J.L., Genzling J.-C., Pierrard, C., Larcher, C., Weil-Barais, A. & Lemeignan, G. *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- Bachelard, G. (1960). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.
- Bartholomew, H., Osborne, J. & Ratcliffe, M. (2004). Teaching Students "Ideas-About-Science": Five Dimensions of Effective Practice. *Science Education*, 88(5), 655-682.
- Buty, C. (2003). Richesses et limites d'un « modèle matérialisé » informatisé en optique géométrique. *Didaskalia*, 23, 39-63.
- Canguilhem, G. (1958). Modèles et analogies dans la découverte en biologie, in *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie*, Vrin, Paris.
- Canguilhem, G., (2002). Modèles et analogies dans la découverte en biologie. *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie*. 305-333, Paris, Vrin.
- Coquidé, M. (2011) *Étude sur l'élargissement de la spécialité enseignante dans l'enseignement intégré de science et de technologie (EIST) au collège*. Lyon : Institut français de l'éducation.

- Davies, T., & Gilbert, J. (2003). Modelling: Promoting creativity while forging links between science education and design and technology education. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 3(1), 67 - 82.
- Désautels, J., Larochelle, M., Gagné, B., & Ruel, F., (1993). La formation à l'enseignement des sciences : le virage épistémologique. *Didaskalia*, 1, 49-67.
- Drouin, A.-M. (1988). Le modèle en question. *ASTER*, 7, 1-20. Paris : INRP.
- Fourez, G. (1992). La construction des sciences. Les logiques des inventions scientifiques. Introduction à la philosophie et à l'éthique des sciences. Bruxelles : De Boeck.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and modelling: routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2, 115-130.
- Guerra-Ramos, M.T. (2012). Teachers' Ideas About the Nature of Science: A Critical Analysis of Research Approaches and Their Contribution to Pedagogical Practice. *Science & Education*, 21(5), 631-655.
- Halbwachs, F. (1974). *La pensée physique chez l'enfant et le savant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé, collection Zeithos.
- Justi, R. G., & van Driel, J. (2005). The development of science teachers' knowledge on models and modelling: promoting, characterizing, and understanding the process. *International Journal of Science Education*, 27(5), 549 - 573.
- Koponen, I. T. (2007). Models and Modelling in Physics Education: A Critical Re-analysis of Philosophical Underpinnings and Suggestions for Revisions. *Science & Education*, Volume 16, Issue 7-8, 751-773.
- Lecourt, (1999). *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*. Paris, PUF
- Martinand, J.L., Genzling J.-C., Pierrard, C., Larcher, C., Weil-Barais, A. & Lemeignan, G. (1994). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- MEN (2008). Programme d'enseignement de physique-chimie. Classe de sixième – cinquième – quatrième – troisième. *Bulletin officiel spécial n°6 du 28 Aout 2008*.
- Munier, V. & Passelaigue, D. (2012). Réflexions sur l'articulation entre didactique et épistémologie dans le domaine des grandeurs et mesures dans l'enseignement primaire et secondaire. *Tréma*, 38, 107-147.
- Morge, L. (1997). *Essai de formation professionnelle des professeurs de Sciences Physiques portant sur les interactions en classe. Etude de cas en formation initiale*. Thèse, Université Paris 7.
- Morge, L. (2007). Comparaison des conceptions épistémologiques à l'œuvre dans les anciens et les nouveaux programmes de collège sur le thème du modèle particulaire (Quelles conséquences pour l'enseignement ?). *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 890, 23-30.
- Osborne, J. F., Duschl, R., & Fairbrother, R. (2002). *Breaking the mould: Teaching science for public understanding*. London: Nuffield Foundation.
- Pope, M.L., Scott, E.M. (1983). "Teachers' Epistemology and Practice". In R. Halkes et J.K. Olson. *Teacher Thinking: a New Perspective on Persisting Problems in Education*. Lisse : Swets y Zeitlinger.
- Popper (1963/trad1985). *Conjectures et réfutations, la croissance du savoir scientifique*. Paris : Payot.
- Porlàn Ariza, R., Garcia Garcia, E., Rivero Garcia A., & Martin del Pozo, R. (1998). Les obstacles à la formation professionnelle des professeurs en rapport avec leurs idées sur la science, l'enseignement et l'apprentissage, *ASTER*, 26, p. 207-235.
- Raghaven, K. & Glaser, R. (1995). Model-based analysis and reasoning in science: The MARS curriculum. *Science Education*, 79(1), 37–61.
- Rumlhard, G. (1988). Statut et rôle des modèles dans le travail scientifique et dans l'enseignement de la biologie, *ASTER*, 7, 21-48.

- Reuter Y. (2007). La conscience disciplinaire : présentation d'un concept. *Éducation & didactique*, 1, 2, 57-72.
- Romanens, F., Salviat, B., Léna ; P., Quéré Y., Pineau, A. (2007). Dans le sillage de la main à la pâte : expérimentation, au collège, d'un enseignement intégré des sciences et technologies. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 896, 861-874.
- Robardet, G. (1994). La formation des enseignants de sciences physiques et le mythe naturaliste. In M. Caillot (Dir), *Actes du quatrième séminaire de recherche en didactique des sciences physiques*. Université de Picardie Jules Vernes (CURSEP) et I.U.F.M. de Picardie. (pp. 4-22).
- Robardet, G. & Guillaud, J.-C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques*. Paris : P.U.F.
- Soler, L. (Soumis). Qu'est-ce qu'un modèle scientifique ? Les caractéristiques du modèle qui importent du point de vue de l'enseignement des sciences. *Spirale*.
- Van Driel, J.H. & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modeling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141-1154.
- Viennot, L. (2006). Modélisation dimensionnellement réductrice et traitement « particulière » dans l'enseignement de la physique. *Didaskalia*, 28, 10-32.