

Modèles analogiques, jeux épistémiques et apprentissages de l'usage des modèles. Une étude de cas à l'école élémentaire.

SANTINI Jérôme, Doctorant, CREAD, Université Rennes 2-UBO/IUFM de Bretagne, France, jerome.santini@gmail.com

SENSEVY Gérard, Professeur, CREAD, Université Rennes 2-UBO/IUFM de Bretagne, France, gerard.sensevy@bretagne.iufm.fr

Mots-clés : action conjointe, géologie, jeu épistémique, modèle analogique, usage des modèles.

Résumé

Dans cette communication, nous nous intéressons à la question de l'apprentissage de l'usage des modèles à partir d'une étude de cas. Notre terrain de recherche se compose de quatre classes de Cours Moyen filmées lors de leur étude des volcans et des séismes. Nous conduisons également des entretiens avec les professeurs et nous collectons les productions des élèves à un test. Nous analysons notre corpus au sein de la théorie de l'action conjointe en didactique (Sensevy & Mercier, 2007 ; Sensevy, 2007, 2008). En particulier, nous analysons les usages des modèles analogiques auxquels sont confrontés, plus ou moins explicitement, les élèves lors des jeux d'apprentissage en les référant à des jeux épistémiques (Santini, 2009). Nos analyses qualitatives nous amènent à produire une conjecture sur l'efficacité des pratiques professorales étudiées que nous testons à partir des données quantitatives issues du codage des productions des élèves au test. Nous concluons en tirant de nos résultats quelques implications pour l'enseignement-apprentissage de l'usage des modèles.

Introduction

L'étude de cas présentée fait partie d'un travail de thèse (Santini, 2009) dont nous présentons les principaux éléments nécessaires à l'appréhension du cas. Nous traitons ici deux questions de recherche : 1) quels peuvent être les apprentissages relatifs à l'usage des modèles à partir des modèles analogiques ? et 2) quelles sont les performances des élèves qui peuvent attester de ces apprentissages ? Nous commençons par exposer les linéaments théoriques et méthodologiques de notre travail avant de procéder à l'étude de cas elle-même.

1- Présentation de la recherche

1.1- Eléments théoriques

Nous situons notre travail dans la *théorie de l'action conjointe en didactique* ou TACD (Sensevy & Mercier, 2007 ; Sensevy, 2007, 2008). Le fondement de la TACD est d'appréhender l'action du professeur et des élèves comme un *jeu de langage au sein d'une forme de vie* (Wittgenstein, 1953/2004) spécifique du didactique, organiquement coopératif et asymétrique. Nous décrivons ces *jeux d'apprentissage* (Sensevy, 2007) dans une dialectique entre milieu et contrat didactiques (Brousseau, 1998) et au moyen d'un triplet solidaire de genèses : la chronogénèse, la topogénèse et la mésogénèse (Chevallard, 1991 ; Sensevy, Mercier & Schubauer-Leoni, 2000).

Lors des jeux d'apprentissage, les élèves sont confrontés, plus ou moins explicitement, à certains usages des savoirs. Ces usages constituent ainsi une cible, plus ou moins lointaine, de l'action didactique que nous décrivons avec la notion de *jeu épistémique* (Santini, *op. cit.*). Ces jeux épistémiques nous permettent de caractériser plus finement les jeux d'apprentissage mais également l'élaboration de la compréhension conceptuelle dans la classe. En effet, nous appréhendons la compréhension conceptuelle comme la capacité à agir dans un certain nombre de jeux épistémiques afférents au concept, ou au système de concepts en jeu, et dans des jeux d'autant plus complexes que la compréhension conceptuelle est plus fine.

Nous abordons la modélisation en sciences à partir des travaux en épistémologie de Fleck (1934/2005), Hacking (1983/1989) et Cartwright (1999). Ceci nous conduit à considérer l'activité de modélisation scientifique sous l'angle du « contextualisme » (Sensevy & Santini, 2006 ; Sensevy, Tiberghien, Santini, Laubé & Griggs, 2008). Sous cette description, les modèles sont intrinsèquement contextuels, c'est-à-dire qu'ils sont indissolublement liés à leurs conditions de production et d'usages, mais également qu'ils ne fonctionnent plus en tant que modèle en dehors de ces conditions. Cette contextualité leur permet en particulier de contribuer à l'articulation de l'abstrait au concret qu'on peut considérer comme centrale dans le processus de modélisation (Cartwright, *op. cit.*). Enfin, avec S. Bachelard, nous considérons « le caractère abstrait-concret de la fonction de modélisation en nous référant aux deux bords extrêmes du spectre du concept de modèle » (1979, p. 8) avec, respectivement, les notions de modèle conceptuel et de modèle analogique.

1.2- Eléments méthodologiques

Nous suivons une méthodologie clinique/expérimentale du didactique ordinaire (Schubauer-Leoni & Leutenegger, 2002). Notre terrain de recherche se compose de trois classes de CM2 et d'une classe de CM1/CM2. L'un de nous (J. Santini) participe au dispositif de recherche dans une posture de *chercheur-praticien* (Sensevy, 1998) en tant que professeur P4. Dans chaque classe, nous filmons l'intégralité des séances de la séquence d'enseignement « volcans et séismes ». Nous conduisons également des entretiens avec les professeurs avant et après la séquence. Enfin, notre dispositif comporte la passation d'un pré-test et d'un post-test par les élèves. Ce test est construit en collaboration avec les quatre professeurs des classes enquêtées afin de réaliser une certaine adéquation entre ce qui est enseigné et ce qui évalué.

Nous faisons une analyse du corpus ainsi collecté à différentes échelles de temps (Tiberghien, Malkoun, Buty, Souassy & Mortimer, 2007). Nous poursuivons ensuite ces analyses qualitatives par une analyse quantitative des tests des élèves dans un continuum qualitatif-quantitatif (Ercikan & Roth, 2006). Nous faisons alors un usage de statistiques non-

paramétriques qui ne vise pas à généraliser à une population plus grande d'élèves mais à éprouver la robustesse des conclusions de l'analyse qualitative (Shaffer & Serlin, 2004).

2- Etude de cas

2.1- Analyse inaugurale du corpus

Notre première analyse du corpus est une analyse inaugurale dans le sens où elle vise à rendre compte des séquences d'enseignement et des pratiques professorales pour elles-mêmes et prépare une deuxième analyse plus topique. Dans cette visée, nous analysons tout autant les films des séances que les entretiens avec les professeurs, la mise en relation de ces deux sources de données nous permettant alors de réduire l'incertitude de notre analyse clinique par la constitution d'un faisceau d'indices. Lors de l'analyse inaugurale, nous caractérisons notamment des éléments de l'*épistémologie pratique*¹ (Sensevy, *op. cit.*) des professeurs observés ainsi que leur gestion du *capital-temps* (Assude, 2005). Nous résumons ceci avec le tableau 1.

<p>P1 Pratique de classe de cours dialogué</p> <p>Primauté accordé aux conceptions dans les apprentissages scientifiques</p> <p>Démarche inductive des phénomènes géologiques étudiés vers leur modèle</p> <p>Faire des sciences, c'est faire des expérimentations²</p> <p>Dépense plus de capital-temps pour les volcans car plus propice à l'expérimentation</p>	<p>P2 Pratique de classe de cours dialogué</p> <p>Subsidiarité des conceptions des élèves dans les apprentissages scientifiques</p> <p>Démarche expositive et déductive à partir des modèles des phénomènes géologiques étudiés</p> <p>Mise en œuvre d'un contrat didactique classique (Brousseau, <i>op. cit.</i>)</p> <p>Dépense plus de capital-temps pour les volcans car plus propice à l'expérimentation</p>
<p>P3 Pratique articulée autour d'une phase de débat scientifique dans la classe</p> <p>Primauté accordé aux conceptions des élèves dans les apprentissages scientifiques</p> <p>Démarche inductive des phénomènes géologiques étudiés vers leur modèle</p> <p>Séances bâties selon le modèle pédagogique PHERIC³</p> <p>Dépense sensiblement la même part de capital-temps pour les volcans et les séismes</p>	<p>P4 Pratique articulée autour d'une phase de débat scientifique dans la classe</p> <p>Subsidiarité des conceptions des élèves dans les apprentissages scientifiques</p> <p>Démarche inductive des phénomènes étudiés vers leur modèle les six premières séances</p> <p>Démarche déductive à partir des modèles des phénomènes étudiés les deux dernières séances</p> <p>Dépense sensiblement la même part de capital-temps pour les volcans et les séismes</p>

Tableau 1 : Caractérisation des pratiques professorales observées

En définitive, ce tableau permet de mettre en évidence que seul P2 ne met pas en œuvre une démarche d'investigation, telle que préconisée dans les documents officiels de l'école

¹ La notion d'épistémologie pratique du professeur rend compte de sa « théorie plus ou moins implicite de la connaissance (des savoirs enseignés), de son sens, de son usage, des relations que telle connaissance entretient avec telle autre » ainsi que de sa « conception de ce qu'est l'apprentissage, de ce que peuvent être les difficultés d'apprentissage, de ce que peuvent signifier les différences entre élèves, etc. » (Sensevy, 2007, p. 37).

² Avec une acception *sensu largo* du terme comme manipulation concrète.

³ Acronyme pour Problème, Hypothèse, Expérience, Résultat, Interprétation et Conclusion.

primaire, tandis que les trois autres professeurs l'actualisent de manière différente dans leur classe.

L'analyse inaugurale est également l'occasion de faire un recensement des modèles analogiques utilisés par les professeurs dans leur séquence d'enseignement. Elle fait apparaître les modèles analogiques de la propagation des ondes sismiques comme propices à la comparaison entre les classes..

2.2- Les modèles analogiques dans l'étude de la propagation des ondes sismiques

Nous présentons ici, sous une forme succincte, notre analyse des jeux d'apprentissage où les quatre professeurs mettent à l'étude un modèle analogique de la propagation des ondes sismiques. Nous commençons par un tableau synoptique.

P	Jeu d'apprentissage	Jeu épistémique cible	Modalité	Durée
P1	regarder deux extraits vidéo	analyser un discours de vulgarisation scientifique	collectif	15:14
	quoi de nouveau sur les séismes ?		collectif	07:39
P2	lâcher un caillou dans l'eau : manipulation et analogie	décrire le mécanisme sismique avec une coupe longitudinale	groupe	10:32
P3	simulation magistrale des dégâts d'un séisme	critiquer les explications des pairs sur la forme des isoséistes grâce à une simulation	collectif	08:33
P4	simulation magistrale des dégâts d'un séisme	critiquer les explications des pairs sur la forme des isoséistes grâce à une simulation	collectif	06:40

Tableau 2 : Vue synoptique de la dialectique jeu d'apprentissage – jeu épistémique dans la mise à l'étude des modèles analogiques de la propagation des ondes sismiques

Ce tableau permet une première comparaison des jeux épistémiques (qu'on peut également décrire comme des *usages* particuliers), auxquels sont confrontés les élèves lors de jeux d'apprentissage.

Le professeur P1

Après avoir fait travailler les élèves à des hypothèses sur la cause des séismes, P1 leur fait visionner deux extraits vidéos d'une émission de vulgarisation scientifique. Un premier jeu d'apprentissage consiste à les regarder et un deuxième à énoncer ce que ces extraits permettent d'apprendre de nouveau sur les séismes. Lors du premier extrait vidéo, le présentateur de l'émission utilise un modèle analogique qui figure la propagation des ondes sismiques par celle de rides à la surface d'un plan d'eau lorsque l'on y jette une pierre. En définitive, avec ces jeux d'apprentissage, P1 souhaiterait que ses élèves comprennent la propagation des ondes sismiques à partir du visionnage des extraits vidéo, c'est-à-dire qu'ils maîtrisent un jeu épistémique qui consisterait à analyser un discours de vulgarisation scientifique pour le comprendre.

Le professeur P2

Au début de la séance, P2 distribue à chaque groupe d'élèves un récipient d'eau et un caillou. Il donne pour consigne de lâcher ce dernier au centre du récipient et de trouver « ce que ça peut représenter au niveau de la Terre ». Au fur et à mesure du jeu d'apprentissage, P2 sollicite les commentaires des élèves et trace au tableau un schéma qui est une première

représentation du mécanisme d'un séisme. Par son action didactique, P2 engage les élèves sur un processus inverse de celui de la modélisation. En effet, il s'agit de remonter du modèle analogique, c'est-à-dire du produit de la modélisation, vers le phénomène qu'il représente ou, plus exactement, vers un modèle conceptuel de ce phénomène. Nous considérons cette opération comme une « excription⁴ » des savoirs cristallisés dans le modèle analogique. Dans le même temps, P2 procède à une inscription de ces savoirs dans un modèle conceptuel avec une coupe longitudinale. En définitive, ce jeu d'apprentissage entre dans une dialectique d'excription et d'inscription qui conduit à passer d'un système sémiotique (le modèle analogique) à un autre (la coupe longitudinale). Nous concluons alors que l'action didactique de P2 cible un jeu épistémique qui consiste à décrire le mécanisme sismique avec une coupe longitudinale.

Le professeur P3

En milieu de séance, P3 fait la démonstration d'une simulation des dégâts d'un séisme en fonction de la distance à l'épicentre et de l'intensité du séisme. Dans ce modèle analogique, une feuille de carton représente la surface du sol, des planchettes de bois les constructions humaines et une règle, en partie sous le carton, permet de figurer des séismes d'intensité croissante en donnant à voir la force avec laquelle l'opérateur appuie sur la règle. Après chaque fonctionnement de la simulation, P3 sollicite les commentaires des élèves. Il s'agit ici de tester des hypothèses dans un milieu didactique alimenté par les résultats successifs de la simulation. Par son action didactique, P3 vise ainsi un jeu épistémique qui consiste à critiquer les explications des pairs – produites lors du jeu d'apprentissage immédiatement précédent – grâce à une simulation. Une différence fondamentale entre le jeu d'apprentissage et le jeu épistémique qu'il cible réside ici dans la garantie de validité qu'apporte le contrat didactique au modèle analogique introduit par le professeur.

Le professeur P4 (= J. Santini)

Le jeu d'apprentissage précédent se conclut avec l'énonciation d'une relation préquantitative entre la distance à l'épicentre et l'intensité sismique mesurée. P4 introduit alors une simulation identique à celle de P3, ce qui peut aisément se comprendre dans la mesure où les deux professeurs l'ont élaborée ensemble (avec P4 dans une posture de chercheur-praticien). Au fur et à mesure du jeu d'apprentissage, P4 confronte la relation préquantitative avec les résultats du modèle analogique en annonçant l'intensité du séisme simulé. En ce sens, les différents états de la simulation fournissent des rétroactions causales (telle impulsion sur la règle donne tel état de la simulation) et des rétroactions rationnelles (tel bâtiment n'est qu'endommagé parce qu'il n'est pas tombé). P4 vise ici un jeu épistémique qui permet de critiquer une hypothèse préquantitative, c'est-à-dire d'en montrer les succès et les limites, grâce à une simulation.

⁴ Au sens d'une opération inverse de l'inscription (Chevallard, 2004).

3- Reprise et discussion

3.1- Des usages différents des modèles analogiques

Pour l'étude de la propagation des ondes sismiques, P1 et P2 se servent du modèle analogique des rides sur un plan d'eau tandis que P3 et P4 emploient un modèle analogique des dégâts causés par un séisme aux constructions humaines. Dans les deux cas, ces modèles analogiques concrétisent un aspect du modèle conceptuel du mécanisme sismique. Cependant, cette fonction commune de représentation ne doit pas occulter une différence dans l'usage. En effet, P1 et P2 utilisent les rides d'eau concentriques dans des jeux épistémiques d'excription, c'est-à-dire qu'il s'agit de faire observer aux élèves le fonctionnement du modèle analogique comme s'ils observaient le mécanisme sismique lui-même. Ce n'est pas l'usage que font P3 et P4 du modèle analogique de dégâts aux constructions. Dans leur séance, les états successifs du modèle servent à tester des hypothèses candidates à expliquer la forme concentrique des isoséistes. Ce modèle analogique est alors plutôt mobilisé dans des jeux épistémiques d'heuristique plus que d'excription.

Si nous revenons maintenant à l'échelle macrodidactique, nous constatons que cette différence dans les jeux épistémiques ciblés par l'action didactique avec les modèles analogiques en classe se retrouve tout au long de la séquence d'enseignement. Notre cadre théorique nous fait appréhender l'action didactique du professeur comme la construction d'un *collectif de pensée* (Fleck, *op. cit.*) assujetti à une perception dirigée par l'épistémologie pratique de ce professeur. En conséquence, les différences d'épistémologie pratique des professeurs enquêtés, quant aux modèles analogiques, nous amènent à considérer une différence dans les apprentissages afférents des élèves sur l'usage des modèles. Ainsi, nous conjecturons que les professeurs P3 et P4 sont plus efficaces pour ces apprentissages car ils mobilisent, en plus de la fonction de représentation, la fonction heuristique des modèles analogiques, ce que ne font pas P1 et P2.

3.2- Efficacité des pratiques professorales analysées

Lors du post-test, nous cherchons à recueillir des traces des apprentissages des élèves relatifs aux usages des modèles avec un doublet d'items ouverts. Dans le premier item, l'élève doit décrire une « expérience » (cf. note 2) étudiée et la commenter ensuite dans sa réponse au second item. Nous codons ce doublet d'items avec le tableau 3.

Item A : décris à l'aide d'un texte et d'un schéma une expérience que tu as faite en classe sur les volcans ou les séismes.	
Item B : à quoi sert cette expérience ?	
0	Le commentaire ne correspond pas au modèle analogique décrit dans l'item A. Non-réponse.
1	Le commentaire et le modèle décrit dans l'item A correspondent et le commentaire fait référence au phénomène géologique modélisé.
2	Le commentaire et le modèle décrit dans l'item A correspondent et le commentaire énonce un élément de conceptualisation en jeu dans la relation didactique.
3	Comme précédemment et le commentaire fait état d'une différence entre le modèle analogique et le phénomène géologique modélisé.

Tableau 3 : Codage du doublet d'items A et B

Nous donnons des exemples de ce codage avec des productions d'élève dans le tableau 4.

Elève	Modèle représenté à l'item A	Item B (syntaxe conservée et orthographe corrigée)	Codage
CAM	Faire vibrer un support où sont disposés des dominos	Une expérience sert à nous faire comprendre comment ça se passe et grâce à quoi.	0
AY	Effervescence du bicarbonate de soude avec du vinaigre	Elle ressemble à un volcan parce que si on met tous ces ingrédients ça monte et ça fait un volcan effusif.	1
CA	Faire vibrer un support où sont disposés en ligne des bâtonnets de bois	Cette expérience nous a appris que si le tremblement de terre avait lieu à un endroit à l'autre bout de la ville on le sentira pas mais qu'à l'endroit où il y a le tremblement de terre les immeubles s'écroulent.	2
MM	Effervescence du bicarbonate de soude avec du vinaigre	Admettons que c'est un volcan, le gaz remonte et selon la dose peut être effusif ou explosif, mais il faut suffisamment de lave. Ensuite les bulles éclatent.	3

Tableau 4 : Exemples de codage du doublet d'items A et B

Après codage, les performances des élèves se répartissent selon les quatre boîtes à moustaches de la figure 1.

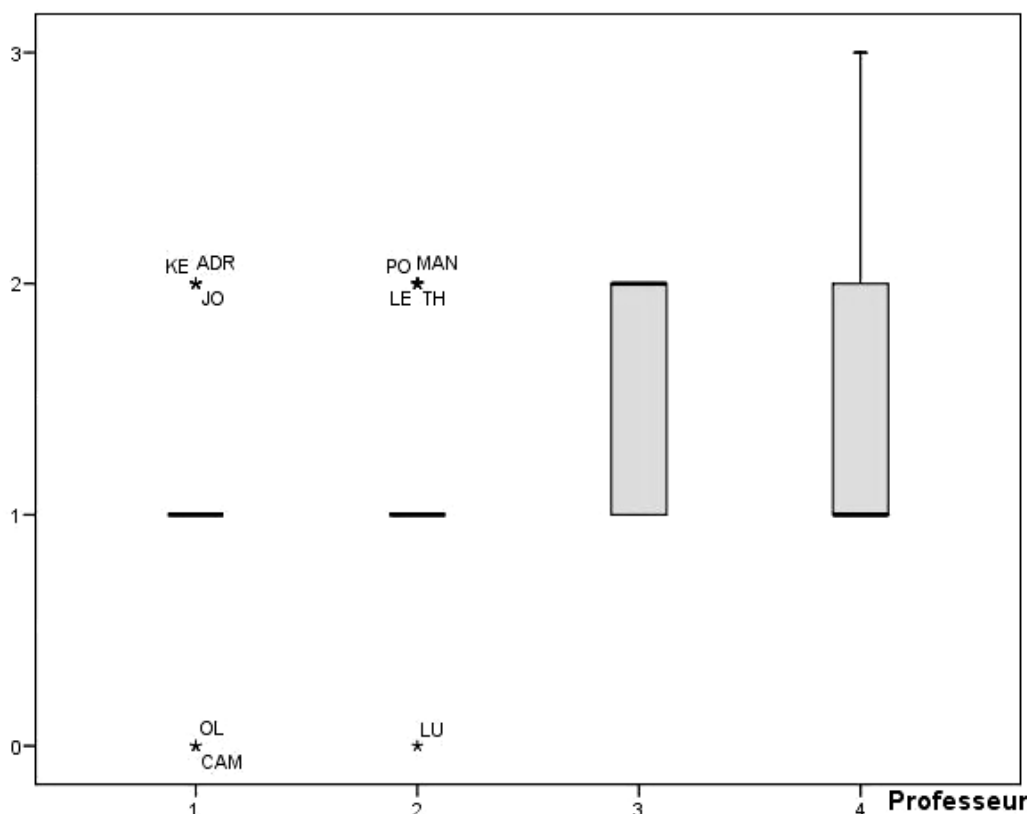


Figure 1 : Boîtes à moustaches de la dispersion des performances par classe (le premier quartile, la médiane et le troisième quartile sont confondus pour P1 et P2 ; les codes désignent des élèves)

La figure 1 montre des différences dans la répartition des performances des élèves en fonction du professeur. Nous cherchons à déterminer dans quelle mesure ces différences sont significatives (au seuil de 5%) avec le test de l'hypothèse nulle H_0 selon laquelle il n'y a pas de différences de performances au doublet d'items A et B entre les élèves des binômes de professeurs P1/P2 et P3/P4. Un test du t de Student pour la comparaison des moyennes de ces

binômes au doublet item est très significatif ($t = 4,98$; $dl = 91,997$; $p = 0$) et en faveur du binôme P3/P4. Ce résultat tend alors dans le sens d'une validation de notre conjecture. Nous testons alors H_0 pour la répartition des meilleures performances d'élèves entre les deux binômes.

Binômes	autres valeurs	valeur maximale ⁵	total
P1/P2	37	8	45
P3/P4	19	30	49
total	56	38	94

Tableau 5 : Nombre de valeurs maximales obtenues au post-test au doublet d'items A et B par binômes de professeurs

Pour la répartition des meilleures performances, un test du Khi-deux est très significatif ($\chi^2 = 18,386$; $dl = 1$; $p = 0$) et les différences constatées sont à l'avantage du binôme P3/P4. Ce résultat vient alors corroborer le précédent. Un test similaire de la répartition des moins bonnes performances n'est pas significatif ($\chi^2 = 1,562$; $dl = 1$; $p = 0,211$).

Nous avons donc rejeté deux fois H_0 , ce qui nous donne de bonnes raisons de valider notre conjecture. Toutefois, il nous faut encore considérer la possibilité selon laquelle les différences constatées entre les binômes de professeur soient dues à un professeur en particulier. Nous reprenons alors nos tests statistiques précédents pour les quatre professeurs pris deux à deux et nos résultats nous permettent d'écarter cette éventualité. En conséquence, nous concluons par une validation de notre conjecture d'une plus grande efficacité de ces professeurs quant aux apprentissages relatifs aux usages des modèles analogiques utilisés lors des séquences d'enseignement.

4- Conclusion et implications

Au terme de cette étude de cas, nous commençons par mettre en perspective la validation de notre conjecture d'efficacité avec notre analyse inaugurale. Nous constatons alors que la différence d'efficacité des pratiques professorales analysées ne recouvre pas la distinction entre démarche d'investigation et démarche expositive. C'est une analyse à un grain plus fin de la dialectique jeu d'apprentissage – jeu épistémique qui nous a permis de montrer les différences dans les usages des modèles auxquels sont confrontés les élèves. Une telle caractérisation des pratiques professorales nous semble alors à même de spécifier utilement des différences de mise en œuvre de la démarche d'investigation dans la classe.

Notre analyse clinique, qualitative puis quantitative, nous amène à conclure que l'efficacité d'une pratique professorale pour l'apprentissage de l'usage des modèles est déterminée, au moins en partie, par les jeux épistémiques, visés par l'action didactique, avec les modèles analogiques. Dès lors, la question de la concrétisation de la modélisation dans la classe nous apparaît décisive pour les apprentissages afférents. Il s'agit alors, pour reprendre Cartwright,

⁵ Pour le doublet d'item A et B, les meilleures performances obtenues dans les quatre classes n'atteignent pas la valeur de 3 mais la valeur de 2, à l'exception notable d'un élève. En conséquence, nous considérons ici comme meilleure performance une production codée 2 et nous intégrons l'élève précédent dans l'effectif de ces meilleures performances.

de se rendre sensible à l'opération de réduction au particulier dans la classe de l'abstrait de l'activité scientifique avec les modèles.

De manière effective, cette réduction au particulier est construite par le professeur en amont de l'action didactique. Dans cette construction, la part de l'épistémologie pratique nous semble prépondérante. Ainsi, avec notre analyse inaugurale, nous avons pu noter que les professeurs P1 et P2 survalorisent l'expérimentation dans l'enseignement des sciences. Or, les sciences ne se résument pas à l'expérimentation (Hacking, *op. cit.* ; Orange, 2002). La question de l'épistémologie pratique des professeurs, et de sa constitution notamment par des actions de formation ou au contact de manuels, nous semble alors de première importance.

Bibliographie

- Assude, T. (2005). Time management in the work economy of a class. *Educational Studies in Mathematics*, 59, 183-203.
- Bachelard, S. (1979). Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles. In P. Delattre & M. Thellier. (Eds.). *Elaboration et justification des modèles* (pp. 3-18). Paris : Maloine.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Cartwright, N. (1999). *The dappled world*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Chevallard, Y. (2004). Vers une didactique de la codisciplinarité. Notes pour une nouvelle épistémologie scolaire. *Journées d'étude de l'Association pour des Recherches Comparatistes en Didactique (ARCD)*, Lyon, 3-4 mai 2004.
- Ercikan, K., & Roth, W. (2006). What good is polarizing research into qualitative and quantitative ? *Educational Researcher*, 35(5), 14-23.
- Fleck, L. (1934/2005). *Genèse et développement d'un fait scientifique*. Paris : Les Belles Lettres.
- Hacking, I. (1983/1989). *Concevoir et expérimenter*. Paris : Bourgois.
- Orange, C. (2002). L'expérimentation n'est pas la science. *Cahiers pédagogiques*, 409, 19-20.
- Santini, J. (2009). *Caractérisation de l'élaboration conjointe de la compréhension conceptuelle et des performances associées. Volcans et séismes au Cours Moyen*. Thèse de Sciences de l'Education, Université Rennes 2.
- Schubauer-Leoni, M.L., & Leutenegger, F. (2002). Expliquer, comprendre dans une approche clinique/expérimentale du didactique ordinaire. In F. Leutenegger & M. Saada-Robert (Eds), *Expliquer, comprendre en sciences de l'éducation* (pp. 227-251). Bruxelles : De Boeck.
- Sensevy, G. (1998). *Institutions didactiques*. Paris : PUF.
- Sensevy, G. (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action du professeur. In G. Sensevy & A. Mercier (Eds), *Agir ensemble* (pp. 13-49). Rennes : PUR.
- Sensevy, G. (2008). Le travail du professeur pour la théorie de l'action conjointe en didactique : une activité située ? *Recherche et Formation*, 58, 39-50.

Sensevy, G., Mercier, A., & Schubauer-Leoni, M-L. (2000). Vers un modèle de l'action didactique du professeur. *Recherches en Didactique des mathématiques*, 20(3), 263-304.

Sensevy, G., & Santini, J. (2006). Modélisation : une approche épistémologique. *Aster*, 43, 163-188.

Sensevy, G., & Mercier, A. (Eds). (2007). *Agir ensemble*. Rennes : PUR.

Sensevy, G., Tiberghien, A., Santini, J., Laubé, S. & Griggs, P. (2008). An epistemological approach to modeling : cases studies and implications for science teaching. *Science Education*, 92(3), 424-446.

Shaffer, D., & Serlin, R. (2004). What good are statistics that don't generalize? *Educational Researcher*, 33(9), 14-25.

Tiberghien, A., Malkoun, L., Buty, C., Souassy, N., & Mortimer, E. (2007). Analyse des savoirs en jeu en classe de physique à différentes échelles de temps. In G. Sensevy & A. Mercier (Eds), *Agir ensemble* (pp. 93-122). Rennes : PUR.

Wittgenstein, L. (1953/2004). *Recherches Philosophiques*. Paris : Gallimard.