Une étude du système de jeux de savoirs dans la théorie de l'action conjointe en didactique. Le cas de l'usage des modèles concrets en géologie au Cours Moyen

*A Study of the Knowledge Games System in the Joint Action Theory in Didactics.
The Case of the Uses of Concrete Models in Geoscience in Primary School.*

Jérôme Santini

Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/educationdidactique/1765>

DOI : [10.4000/educationdidactique.1765](https://doi.org/10.4000/educationdidactique.1765)

ISSN : 2111-4838

Éditeur

Presses universitaires de Rennes

Édition imprimée

Date de publication : 30 octobre 2013

Pagination : 69-94

ISBN : 978-2-7535-3255-7

ISSN : 1956-3485

Référence électronique

Jérôme Santini, « Une étude du système de jeux de savoirs dans la théorie de l'action conjointe en didactique. Le cas de l'usage des modèles concrets en géologie au Cours Moyen », *Éducation et didactique* [En ligne], 7-2 | 2013, mis en ligne le 31 octobre 2015, consulté le 10 décembre 2020. URL : <http://journals.openedition.org/educationdidactique/1765> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.1765>

UNE ÉTUDE DU SYSTÈME DE JEUX DE SAVOIRS DANS LA THÉORIE DE L'ACTION CONJOINTE EN DIDACTIQUE LE CAS DE L'USAGE DES MODÈLES CONCRETS EN GÉOLOGIE AU COURS MOYEN

Jérôme Santini

I3DL, université de Nice Sophia Antipolis, ESPE de l'académie de Nice

Cet article s'intéresse à la question des usages des modèles concrets dans la classe, et à l'apprentissage de ces usages, à partir d'extraits d'une étude longitudinale à l'école primaire (Santini, 2009a). Cette étude comporte quatre classes de Cours Moyen filmées tout au long de leur étude des volcans et des séismes, l'auteur de l'article étant, en posture de chercheur-professeur (Sensevy, 1998), le professeur de l'une des classes. Au sein de ce corpus, nous sélectionnons, pour chaque classe, un extrait propice à apporter des éléments de réponse à notre question de recherche. Nous retenons ainsi des moments où les quatre professeurs mettent en jeu des modèles comparables d'un même objet, le mécanisme sismique. Nous en menons l'analyse au sein de la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD; Sensevy & Mercier, 2007; Sensevy, 2011). En particulier, nous développons la notion de *jeu épistémique* pour rendre compte des usages des modèles concrets auxquels sont confrontés les élèves. Notre analyse des transactions didactiques dans la classe nous amènent également à produire une conjecture sur l'efficacité des pratiques professorales étudiées. Nous testons cette conjecture à partir des productions des élèves des quatre classes à un même test. Nous concluons par les implications de notre étude de cas pour l'enseignement-apprentissage de l'usage des modèles, ainsi que par ses apports, théoriques et méthodologiques, à la TACD.

Mots-clés: action conjointe, efficacité professorale, géologie, jeu épistémique, méthode clinique, usage des modèles.

A Study of the Knowledge Games System in the Joint Action Theory in Didactics. The Case of the Uses of Concrete Models in Geoscience in Primary School

This paper addresses the issues of using concrete models in science education and of the learning of using concrete models in science. It relies on excerpts of a longitudinal study in primary schools (Santini, 2009a). This study investigates three 5th grade and one 4th-5th grade classes videotaped all along their geosciences courses. Being one of the four teachers, the author endorses a posture of teacher-researcher (Sensevy, 1998). Amongst our corpus, we select for each class one excerpt addressing our research questions. Thus, we select episodes putting at stake comparable models of a same object, the earthquake mechanism. We analyse these episodes within the Joint Action Theory in Didactics (JATD; Sensevy & Mercier, 2007; Sensevy, 2011). We develop the notion of epistemic game to account for the uses of concrete models met by the students in the classroom. We also produce claims about the comparative efficiency of the investigated teaching practices. We test these claims by the means of students' productions to a research test. We conclude with the implications of our case study for the teaching-learning of using models and with the advances, both theoretical and methodological, for the JATD.

Keywords: clinical approach, epistemic game, geoscience, joint action, teaching efficiency, uses of models.

L'objet de cet article est une étude de cas issue d'une recherche longitudinale (Santini, 2009a) sur l'élaboration de la compréhension conceptuelle en situation didactique. Cette recherche a mobilisé quatre classes de Cours Moyen (4^e et 5^e primaire) tout au long de la séquence d'enseignement correspondant aux volcans et aux séismes dans les programmes de l'école primaire française. Dans ces quatre classes, les professeurs mettent les volcans et les séismes à l'étude à partir de modèles, ce qui peut aisément se comprendre dans la mesure où il est impossible de produire ces phénomènes dans la classe (à la différence, par exemple, de celui de germination) et relativement rare de pouvoir les étudier sur le terrain. L'étude des volcans et des séismes se fait donc essentiellement à partir de leurs traces (roches volcaniques, affleurement de failles, etc.), d'inscriptions (comptes-rendus, films, etc.) et de modèles concrets. Il est ainsi peu surprenant que l'usage de modèles représente une régularité dans les quatre classes étudiées. Dans notre étude de cas, nous travaillons deux questions de recherche : 1) que peuvent apprendre les élèves des usages des modèles concrets dans le déroulement des séances de classe ? et 2) quelle est l'efficacité des pratiques professorales étudiées pour l'apprentissage des usages des modèles concrets ? Nous apportons alors des éléments de réponse à ces deux questions en développant la notion de *jeu épistémique*, ainsi qu'un usage des statistiques non-paramétriques dans une méthodologie clinique (au sens de Foucault, 1963).

Nous commençons par présenter la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD ; Sensevy & Mercier, 2007 ; Sensevy, 2011). Puis, nous poursuivons en exposant notre mise en œuvre d'une méthodologie clinique/expérimentale du didactique ordinaire (Leutenegger, 2000, 2009 ; Schubauer-Leoni & Leutenegger, 2002). Nous continuons avec l'analyse de notre étude de cas, que nous discutons ensuite. Enfin, nous concluons par les implications et les apports de notre étude.

LA THÉORIE DE L'ACTION CONJOINTE EN DIDACTIQUE (TACD)

Pour l'étude du didactique, la TACD considère le primat de la grammaire de l'action (Wittgenstein, 2004), c'est-à-dire une prééminence de la compréhension de l'action didactique par la description de

sa logique interne. Nous utilisons la notion de jeu, et le vocabulaire afférent (gagner, règle¹, stratégie, enjeu, etc.), pour rendre compte de cette grammaire de l'action didactique. Il ne s'agit donc pas de déterminer si les apprentissages doivent être, ou non, ludiques, mais bien de modéliser l'action didactique *comme* un jeu, de même que l'on peut poser la question « à quoi joues-tu ? » à quelqu'un qui n'est pas en train de jouer, mais dont on ne comprend pas le comportement (Sensevy, 2012).

Nous décrivons ainsi la structuration de l'action didactique conjointe comme un *jeu d'apprentissage*, puisqu'il s'agit pour l'élève d'apprendre un savoir et pour le professeur de faire apprendre un savoir. La description d'un jeu d'apprentissage est spécifique d'un enjeu de savoir. Concomitamment, nous nommons *jeu didactique* la description de la grammaire générique des jeux d'apprentissage. Pour le dire autrement, nous estimons que tout jeu d'apprentissage relève de la logique décrite avec la notion de jeu didactique. Dans l'autre sens, nous considérons que le jeu didactique s'actualise dans des jeux d'apprentissage qui sont spécifiés par leur enjeu de savoir. Enfin, nous appréhendons les savoirs également du point de vue actionnel, c'est-à-dire dans leur actualisation dans des pratiques culturelles. Nous décrivons ces pratiques comme des *jeux épistémiques*.

D'une manière synthétique, sous cette description, élèves et professeurs participent ensemble à une activité didactique, que nous modélisons en particulier sous la forme de jeux d'apprentissage, eux-même inclus dans le jeu didactique, afin que l'élève se rende capable de certains comportements, que nous pouvons modéliser en référence à un jeu épistémique, ou à un système de jeux épistémiques élémentaires. Nous reprenons et détaillons ceci dans les sous-parties suivantes.

Le jeu didactique

La notion de jeu didactique nous sert à décrire la grammaire générique des situations d'enseignement-apprentissage. Le jeu didactique comporte deux joueurs : le joueur élève (noté X) et le joueur professeur (noté Y). Plus que des personnes, ces deux joueurs représentent une instance élève et une instance professeur. En effet, le nombre d'élèves, et le nombre de professeurs, ne relèvent pas d'une nécessité grammaticale. Différents cas de figure peuvent

exister mais, dans tous ces cas, un observateur peut identifier X et Y.

Le jeu didactique a pour enjeu du savoir. Pour gagner au jeu didactique, X doit s'approprier ce savoir et Y doit faire en sorte que X puisse s'approprier ce savoir. Autrement dit, X gagne s'il se rend capable du savoir en jeu et Y gagne si, et seulement si, X gagne. Le jeu didactique est donc, grammaticalement, un jeu d'action conjointe entre X et Y². Cette coopération entre X et Y se fait depuis des positions asymétriques, relativement au savoir. En effet, Y sait ce que X ne sait pas encore. Pour autant, Y ne peut dévoiler directement ce qu'il sait à X, sous peine de le priver de la possibilité d'un gain légitime au jeu didactique. L'observation des classes montre ainsi des moments où un élève sollicite le professeur, et où celui-ci feint de ne pas savoir. Malgré tout, personne n'est dupe et l'élève accepte cette dissimulation du professeur³. Nous nommons ceci *réticence didactique* (Sensevy & Quilio, 2002). La réticence didactique de Y vise une action de X de sa propre initiative. Dans la grammaire du jeu didactique, cette règle de réticence didactique est le corollaire de la règle du *proprio motu* (de son propre mouvement). Cependant, dans le déroulement de l'action didactique, Y doit tout autant être expressif, que réticent, sur le savoir en jeu. Il importe ainsi de considérer la réticence didactique dans sa dialectique avec son complément d'expression didactique. En substance, le jeu didactique est un jeu coopératif, asymétrique ainsi que de dialectique entre réticence et expression.

Dans le jeu didactique, les coups sont des *transactions*. La métaphore est ici celle de la transaction marchande à propos d'un objet qui en est l'enjeu. Les transactions didactiques ont pour objet un enjeu de savoir. La notion de transaction didactique nous sert alors à rendre compte d'une action de X, articulée à celle de Y et orientée vers un savoir, et, réciproquement, d'une action de Y, articulée à celle de X et orientée vers un savoir. Les transactions didactiques X-Y sont ainsi déterminées par la grammaire générique du jeu didactique et déterminées par un enjeu de savoir spécifique, ce dont nous rendons compte avec la notion de jeu d'apprentissage.

Les jeux d'apprentissage

Nous modélisons la structuration de l'action didactique conjointe comme un jeu d'apprentissage autour d'un enjeu de savoir ou, le plus souvent,

comme une succession de jeux d'apprentissage autour d'une succession d'enjeux de savoir. Un jeu d'apprentissage est donc, à la fois, spécifique d'un enjeu de savoir et tributaire de la grammaire générique du jeu didactique. Le fonctionnement d'un jeu d'apprentissage se décrit par un système de règles définitoires (comment joue-t-on ?), de règles stratégiques (comment gagne-t-on ?) et de stratégies (que fait-on *hic et nunc* ?).

Nous étudions alors la mise en œuvre effective d'un jeu d'apprentissage, ou d'une succession de jeux d'apprentissage, par l'analyse du contrat et du milieu didactiques (Brousseau, 1998) qu'il actualise. Nous suivons la reconceptualisation produite par Sensevy (*op. cit.*) de ces deux notions. Dans un jeu d'apprentissage, le contrat didactique est un descripteur du système stratégique immédiatement disponible, spécifique de l'enjeu de savoir, qui permet à X et Y de jouer ce jeu. Le milieu didactique⁴ est un descripteur de l'environnement, matériel et symbolique, des acteurs de la situation didactique. En complément du contrat, il constitue un système stratégique potentiel à partir duquel X et Y peuvent jouer. Ainsi, dans la classe, X et Y peuvent agir soit à partir des ressources actuelles du contrat didactique, soit à partir des potentialités du milieu didactique ou, le plus souvent, dans une équilibration (*ibid.*) des deux.

Enfin, pour comprendre le déroulement d'un jeu d'apprentissage, nous mobilisons également le triplet de genèses du système didactique : chronogénèse, topogénèse et mésogénèse (Brousseau, *op. cit.* ; Chevallard, 1991 ; Sensevy, *op. cit.*). La chronogénèse rend compte de l'avancée du temps didactique, c'est-à-dire de l'évolution du temps des savoirs dans la classe. La topogénèse décrit les responsabilités respectives de X et de Y vis-à-vis des savoirs en jeu. La mésogénèse représente la genèse du milieu didactique ou, plus exactement, de la succession des milieux didactiques.

Les jeux épistémiques

Nous envisageons un savoir comme un système de capacités d'action, doté d'une certaine efficacité en situation. Dans cette perspective, nous décrivons un savoir à partir des usages culturels au sein desquels il est mobilisé. Nous les modélisons avec la notion de *jeu épistémique* (Santini, 2007, *op. cit.* ; Sensevy, *op. cit.*). Considérant n'importe quel savoir, nous

cherchons alors à caractériser les jeux épistémiques où il est à l'œuvre. Ces jeux épistémiques nous servent d'*objet de comparaison* avec les jeux d'apprentissage afférents aux mêmes savoirs. Cette comparaison nous permet ainsi d'analyser en quoi tel jeu d'apprentissage peut permettre à l'élève de se rendre capable d'agir dans tel jeu épistémique. Dans cette perspective de travail de la transposition didactique (Chevallard, *op. cit.*), nous distinguons les jeux épistémiques qui peuvent servir, consciemment ou non, de sources pour l'action didactique et les jeux épistémiques qui émergent, en actes, de l'action didactique. Cependant, de même que nous avons décrit la grammaire du jeu didactique préalablement à la modélisation en jeux d'apprentissage, nous caractérisons la grammaire de la pratique du géologue sous la forme d'un jeu épistémique générique, le jeu géologique.

La grammaire du jeu géologique

Par jeu géologique, nous entendons une caractérisation de la grammaire de la pratique du géologue, sous la forme d'un jeu épistémique relativement générique. Dans ce sens, le jeu géologique est, tout d'abord, un jeu tellurique. Il a pour enjeu de reconstruire l'histoire de la Terre à partir de traces qu'elle a pu laisser (Gohau, 1990, p. 7 ; Celâl Sengör, 2005a, p. 25). En ce sens, le jeu géologique est logiquement rétrodictif. Il s'agit d'expliquer le présent à partir de spéculations sur le passé. Ces spéculations se fondent sur des traces géologiques, ce qui en fait également un jeu indiciaire (au sens de Ginzburg, 2010), analogue à celui du médecin ou du détective (Frodeman, 1995, p. 963). Toutefois, ces spéculations sont doubles. Le jeu géologique vise tout autant à expliquer des événements en construisant un phénomène, et en les subsumant sous ce phénomène dans une logique fonctionnaliste, qu'à expliquer un événement pour lui-même, avec sa part de contingence, dans une logique historique (Frodeman, *op. cit.* ; Orange-Ravachol, 2012).

Les événements géologiques ainsi enquêtés sont de toutes tailles et de toutes durées, de la soudaineté du phénomène sismique à la très lente mise en charge de la faille qui en est à l'origine, et leurs traces peuvent varier de l'échelle microscopique de l'observation d'une lame mince à un affleurement d'échelle kilométrique. Ceci amène le géologue à travailler avec des emplans de temps et d'espace qui dépassent largement l'entendement humain (Gould,

1990 ; Frodeman, *op. cit.* ; Orange-Ravachol, *op. cit.*). Pour Raab & Frodeman (2002), s'il est évident que le géologue ne peut concevoir directement de tels emplans, il peut les appréhender dans des « analogies avec l'expérience quotidienne » (p. 72, notre traduction). Par exemple, les géologues « manipulent des blocs dans leur imagination pour comprendre la tectonique des plaques » (*ibid.*, notre traduction). Outre ces analogies spatio-temporelles, la pratique du géologue l'amène à transformer de l'espace en du temps, que ce soit à l'échelle de couches géologiques comme de lames minces. Par exemple, avec l'étude de lames minces, le géologue Chopin déclare « je voyais presque la réaction progresser » (Chopin, *in* Orange *et al.*, 1999, p. 114).

En définitive, la grammaire du jeu géologique se caractérise comme un jeu tellurique rétrodictif, indiciaire, doublement fonctionnaliste et historique, d'analogies et de transformations spatio-temporelles. Dans ce jeu, diverses stratégies sont déployées, ou ont été déployées. Ainsi, les stratégies mobilistes l'ont emporté sur les stratégies fixistes, qui réfutaient la possibilité de mouvements horizontaux, dès lors que le fixisme « a échoué à répondre aux nouvelles observations et aux déductions théoriques de la géophysique faites entre 1900 et 1915 » (Celâl Sengör, 2005b). Ces deux types de stratégies ressortent à la grammaire du jeu géologique, mais, de nouveaux « coups » (*i.e.* observations et déductions théoriques) dans le jeu géologique ont disqualifié les unes au profit des autres. De même, actuellement, la préférence est donnée aux stratégies uniformitaristes, qui privilégient une continuité des causes dans le temps, par rapport aux stratégies contraires, dites catastrophistes. D'autres stratégies existent concernant la conception et le développement d'instruments, comme c'est le cas pour les sismographes (Dewey & Byerly, 1969). Du point de vue de notre modélisation, nous considérons ces différentes stratégies comme l'actualisation de jeux épistémiques spécifiques. Nous allons le montrer, au travers de deux exemples, pour des stratégies utilisant des modèles concrets dans le jeu géologique.

Un premier exemple de jeu épistémique source

Notre premier exemple est celui de Reid (1910), dont le travail est reconnu comme fondateur de la compréhension moderne du concept de séisme.

Suite au séisme catastrophique de San Francisco (18 avril 1906, magnitude estimée autour de 8), le gouverneur de Californie nomme une commission scientifique d'enquête. Du point de vue géologique, cette commission possède l'avantage de bénéficier des données de deux campagnes de relevés de terrain (1851-1865 et 1874-1892). Leur comparaison avec celle en cours au moment du séisme (1906-1907) va permettre d'étudier les déplacements du sol. Reid va alors proposer d'expliquer les déplacements relatifs du sol à partir de la théorie physique de l'élasticité :

external forces must have produced an elastic strain in the region about the fault-line, and the stresses thus induced were the forces which caused the sudden displacements, or elastic rebounds when the rupture occurred (p. 17).

En conséquence, la théorie sismique de Reid est souvent nommée *théorie du rebond élastique*. Pour faire comprendre son hypothèse théorique, Reid utilise alors, dans son texte princeps, un modèle concret (cf. fig. 1) pour étayer son propos :

The following very simple experiments were made to illustrate the conclusions we have arrived at regarding the elastic strains and the relations between the slip at the fault-plane and the displacements of distant points. A sheet of stiff jelly about 2 cm thick and 4 cm wide was formed between two pieces of wood (fig. 7) to which it clung fairly well. (p. 19).

Figure 1 : Modèle concret utilisé par Reid (1910, p. 20).

Les parties hachurées sont en bois et celles en clair sont en gelée rigide (*stiff jelly*). La ligne tt' représente une faille par une incision dans la gelée, et les autres lignes pleines sont tracées sur la gelée. Les lignes hachurées représentent les positions avant déplacement.

Ce modèle concret se compose d'un morceau de gelée rigide (*stiff jelly*) placé entre deux morceaux de bois. Une incision, dans le sens de la longueur, dans la gelée représente une faille. Des segments sont marqués sur la gelée. Reid procède à des déplacements parallèles des morceaux de bois et commente les nouvelles positions des segments. Il conclut que les résultats obtenus reproduisent ceux des relevés de terrain. Le modèle concret est ici utilisé pour l'heuristique, c'est-à-dire que les comportements du modèle servent à tester une hypothèse théorique. La pratique de Reid peut se modéliser comme un jeu épistémique qui consiste à *argumenter*⁵ une hypothèse théorique du mécanisme sismique grâce à un modèle concret. Dans le vocabulaire théorique présenté jusqu'ici, nous l'appréhendons comme un *jeu épistémique source* pour l'action didactique que nous allons étudier dans la suite de l'article.

Un second exemple de jeu épistémique source

Le travail de Wilson (1965) nous fournit un second exemple de jeu épistémique source mettant en jeu un modèle concret. En 1965, Wilson produit le concept de *faille transformante* qui est une contribution majeure à la théorie de la tectonique des plaques. La géophysicienne Atwater (2003) relate ainsi une conférence de 1965 de Wilson :

After he had explained his idea, he passed out paper diagrams with two mid-ocean ridges connected by a transform fault. It said "cut here", "fold here", "pull here". We all laughed, and I felt embarrassed (kindergarten games at this august scientific meeting?), but I took the paper back to the privacy of my hotel room and cut and folded and pulled and, wow: the light bulbs really went on in my brain. The simple geometry of the transform faults with their fracture zones holds the key to the geometry of formation of all the ocean basins - right there in that little piece of paper. I've been handing out versions of that diagram to students ever since, and urging them, after they stop laughing, to cut, fold and pull. (p. 245)

Depuis, ce modèle concret d'une faille transformante, par une feuille de papier coupée-pliée, a été repris par Earle (2004), comme ci-après.

Figure 2: Reprise par Earle (2004, p. 392) du modèle concret de faille transformante, par une feuille de papier coupée-pliée, de Wilson, et cité par Atwater (2003, p. 245)

Si l'on suit Atwater, Wilson utilise ce modèle concret pour « allumer une lumière » (*the light bulbs*) chez ses auditeurs. Les comportements du modèle servent ici à rendre présent le fonctionnement du phénomène, auparavant démontré, de faille transformante. Nous caractérisons cette pratique par le jeu épistémique source expliciter⁶ le fonctionnement d'un phénomène tectonique grâce à un modèle concret.

Les jeux épistémiques émergents

Avec la notion de jeu d'apprentissage, nous modélisons l'activité didactique comme un jeu du professeur sur le jeu de l'élève. La notion de jeu épistémique source nous sert à modéliser l'activité du connaisseur dans ses usages avec les savoirs. Nous travaillons également un troisième élément de modélisation qui vise à répondre à la question suivante : quelle(s) capacité(s) l'élève peut-il être en mesure de s'approprier en gagnant ce(s) jeu(x) d'apprentissage ? Nous cherchons ainsi à spécifier quels sont les usages en actes, avec les savoirs, dans l'action didactique. Le cas échéant, nous les modélisons comme des jeux épistémiques émergents. Le qualificatif *émergent* vient alors rendre compte du fait que c'est le didacticien qui reconstruit le jeu épistémique, qui le fait émerger, à partir de l'analyse qu'il a de l'action didactique. C'est ce que nous faisons dans les analyses de l'étude de cas que nous présentons dans cet article.

Le système de jeux de savoirs dans la TACD

Nous synthétisons notre approche théorique des pratiques didactiques, et des pratiques culturelles avec les savoirs, dans la figure suivante. Cette figure rend compte des relations, dans la modélisation que nous développons, entre les différents jeux de savoirs que nous venons de décrire.

Au sein d'un système didactique, il se déploie une action d'enseignement-apprentissage que nous modélisons, à un premier niveau très générique, comme un jeu didactique. À un grain plus fin, ce jeu didactique se modélise comme une succession de jeux d'apprentissage, spécifiques d'enjeux de savoir décrits par l'analyse. C'est également l'analyse qui va conduire à caractériser des jeux épistémiques émergents du déroulement de l'action didactique.

Dans la société, il est possible d'identifier différentes pratiques culturelles avec les savoirs, dont le jeu géologique qui va servir de référence pour les enseignements correspondants. Ce jeu géologique se spécifie dans un système de jeux épistémiques élémentaires, à partir d'enjeux de savoir. Parmi ces jeux épistémiques élémentaires, certains peuvent être analysés comme des jeux épistémiques sources de l'action didactique. Source est alors à considérer ici dans un double mouvement : 1) il est possible de décrire comment tel jeu épistémique source s'actualise dans un jeu d'apprentissage, et 2) il est possible de référer tel jeu d'apprentissage à un jeu épistémique source.

Figure 3 : Niveaux de modélisation en jeux de savoirs dans la TACD

À la frontière du didactique et du culturel, l'analyse construit des jeux épistémiques émergents comme des objets de comparaison entre des jeux d'apprentissage et des jeux épistémiques sources. Cette comparaison nous donne alors les moyens d'étudier ce que la participation à des jeux d'apprentissage peut permettre de s'approprier de jeux épistémiques sources. C'est tout le sens de l'étude de cas menée dans cet article.

ÉLÉMENTS MÉTHODOLOGIQUES

Cet article est extrait d'une recherche longitudinale qui a impliqué trois classes de CM2 et une classe de CM1/CM2, tout au long de l'enseignement correspondant au point « volcans et séismes » dans les programmes officiels de l'école élémentaire. L'objectif poursuivi est d'avoir l'intégralité de ces quatre séquences d'enseignement, de leur début à leur fin, et de se donner les moyens de les comparer, sans en postuler *a priori* la possibilité. Dans notre démarche, nous suivons une méthodologie clinique/expérimentale du didactique ordinaire (Leutenegger, *op. cit.* ; Schubauer-Leoni & Leutenegger, *op. cit.*), en

posture de chercheur-professeur (Sensevy, 1998) comme professeur de l'une des classes. Pour chacune des quatre classes, nous filmons l'intégralité des séances de la séquence d'enseignement « volcans et séismes ». Nous conduisons des entretiens avec les professeurs, avant et après la séquence. Notre dispositif comporte également 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, et ce afin d'éviter le biais d'une inadéquation entre ce qui est enseigné et ce qui est évalué.

La posture de chercheur-professeur

Notre choix de participer au dispositif de recherche est délibéré dans la mesure où, nous considérons, avec Sensevy (*op. cit.*), que ce peut être un moyen d'approcher au mieux les pratiques enseignantes, sans rabattre la théorie sur la pratique, ou vice-versa :

le chercheur-praticien qui produit un geste, le produit en tant que chercheur *et*⁷ en tant que praticien : cette association complexe est destinée à dépasser deux

obstacles (...) l'obstacle empiriste que l'instance « chercheur » de la posture de chercheur-praticien peut déjouer, et l'obstacle intellectualiste dont l'instance « praticien » peut prémunir (p. 74-75)

Ainsi, la posture de chercheur-professeur doit nous permettre de maintenir théorie et empirie dans une dialogie, sans céder à l'attraction ni de l'une ni de l'autre. Au dépassement de ces deux obstacles, empiriste et intellectualiste, Sensevy ajoute deux types de vigilance épistémologique que le chercheur-professeur doit s'efforcer de mettre en œuvre.

La première de ces vigilances épistémologiques consiste à se prémunir contre « la tentation, pour celui qui théorise, de croire que le modèle qu'il vient d'objectiver est au principe des pratiques qu'il décrit » (*ibid.*). Pour exercer cette vigilance vis-à-vis d'un panlogisme exacerbé, Sensevy considère alors que le chercheur-professeur étant « confronté chaque jour à la réalité bruyante, il est peut-être moins de chance que le chercheur l'oublie pour trop lisser des modèles finalement réducteurs » (*ibid.*). Autrement dit, adopter une posture de chercheur-professeur peut permettre d'interroger plus avant les réductions inhérentes à l'activité de modélisation de l'action didactique.

Le deuxième type de vigilance épistémologique qu'il nous faut exercer est le symétrique du premier. Ainsi, si le chercheur-professeur se doit de questionner son objectivation, il se doit tout autant d'être vigilant envers un « subjectivisme qui peut l'amener, éventuellement contre son gré, à reproduire dans l'abord de son objet d'étude des catégorisations "spontanées" de la pratique qu'il n'aura pas passées au moule de l'objectivation » (*ibid.*). Ce deuxième type de vigilance épistémologique nous conduit donc non seulement à éprouver les catégorisations que nous serons amenés à produire, et ce afin d'éviter une naturalisation de notre propre pratique, mais également à nous garder de rabattre notre propre pratique sur celles des autres professeurs du dispositif.

En définitive, la posture de chercheur-professeur nécessite de mettre en tension deux points de vue différents dans le champ du didactique : le point de vue de l'enseignant de la classe et le point de vue du chercheur en didactique. Sensevy (*ibid.*) rapproche alors la posture de chercheur-professeur de la notion d'objectivation participante de Bourdieu en sociologie. Selon Bourdieu, l'objectivation participante permet :

une objectivation qui ne soit pas la simple vision réductrice et partielle qu'on peut prendre, de l'intérieur du jeu, sur un autre joueur, mais la vision globale que l'on prend sur le jeu que l'on peut appréhender en tant que tel parce qu'on s'en est retiré (Bourdieu & Wacquant, 1992, p. 230)

Avec cette dernière citation, nous pouvons souligner la faculté dont doit faire preuve le chercheur-professeur pour se prendre au jeu de la pratique étudiée et s'en dessaisir par la suite, c'est-à-dire à accepter tout à la fois de jouer pour gagner, et de renoncer ensuite à ce gain.

Un dispositif méthodologique d'auto-filmage

Une des originalités expérimentales de notre dispositif est de confier la responsabilité du filmage des séances au professeur de la classe, le chercheur n'étant pas présent. Ce dispositif d'auto-filmage a été élaboré pour ne pas contraindre l'emploi du temps des professeurs et s'adapter à leur ordinaire. En effet, notre volonté est de suivre une séquence d'enseignement complète, ce qui représente ici, peu ou prou, une dizaine de séances et une dizaine d'heures par professeur. Le choix de l'auto-filmage nous apparaît être un moyen efficace pour permettre une continuité du dispositif et résister aux impondérables qui ponctuent l'ordinaire (absence inopinée, modification d'emploi du temps, etc.). Il nous semble également que c'est un élément de nature à préserver l'adhésion des professeurs au fur et à mesure du déroulement du dispositif.

Lors d'une première rencontre, nous avons présenté aux professeurs les éléments structurant le contrat de recherche de notre dispositif : 1) chaque professeur est libre de mener la séquence d'enseignement « volcans et séismes » à sa guise, 2) filmer chaque séance de la séquence, 3) adjoindre à chaque film les documents utilisés et 4) enregistrer des commentaires « à chaud ». Pour assurer la réussite des auto-filmages, nous avons fait le choix d'un matériel relativement léger et comportant assez peu d'éléments : une caméra mini-dv, un trépied, un objectif grand-angle, et un micro-cravate émetteur avec récepteur HF. Nous avons également consacré un moment spécifique de notre dispositif pour prendre des repères au sol pour la mise en place du trépied d'une séance sur l'autre, faire une démonstration

du matériel de filmage à chacun des professeurs et leur faire réaliser des bouts d'essai. Nous avons aussi produit à leur intention une notice, concise, récapitulant les points essentiels de l'auto-filmage.

Rétrospectivement, le dispositif d'auto-filmage a bien fonctionné et les enregistrements vidéo sont de bonne qualité, aussi bien au niveau du son que de l'image. Nous ne connaissons pas d'autres recherches en éducation basées sur des auto-filmages qui auraient pu nous servir de comparaison. Cependant, nous retrouvons les résultats de Goetz *et al.* (2008) dans leur étude clinique, en neurosciences, sur un suivi de patients parkinsoniens à partir d'auto-filmages au domicile. Goetz *et al.* constatent un taux élevé de conformation au dispositif et de réussite des enregistrements, ce qui est également notre cas. En définitive, il nous semble que l'auto-filmage, en confiant la responsabilité de l'enregistrement aux professeurs des classes étudiées, a servi le déroulement de notre dispositif méthodologique. En particulier, cette manière de filmer leur a laissé une plus grande liberté de choix dans les horaires de leur séance par rapport à des filmages où enseignant et chercheur prennent rendez-vous.

Clinique des transactions didactiques et clinique des configurations statistiques non-paramétriques

Notre recherche articule, dans une clinique du didactique, des analyses qualitatives avec des analyses statistiques, dans la perspective élaborée par Schubauer-Leoni & Leutenegger (*op. cit.*) et sa première mise en œuvre par Sensevy (2009). Du point de vue qualitatif, nous menons des analyses cliniques des transactions didactiques, à partir des retranscriptions des films de séances et des entretiens avec les professeurs. Du point de vue statistique, nous conduisons des analyses cliniques à partir des résultats d'un codage des productions des élèves au pré-test/post-test, suivant en cela la méthodologie développée par Chi (1997), et de tests statistiques non-paramétriques. Notre dispositif d'analyses se déroule comme suit.

Dans un premier temps, la clinique des transactions didactiques que nous mettons en œuvre se déploie dans un raffinement progressif des hypothèses (*progressive refinement of hypotheses*; Engle, Conant, & Greeno, 2007), fondée sur une analyse

épistémique (Sensevy, *op. cit.*) des savoirs en jeu, notamment une étude épistémologique de la modélisation (Sensevy & Santini, 2006; Sensevy *et al.*, 2008). En particulier, notre analyse inaugurale du corpus vise à identifier les éléments comparables entre des séquences d'enseignement que, à partir d'un même objet des programmes officiels, les professeurs ont pu mener librement. Ce repérage alimente alors des analyses, plus précises, sur les usages des modèles concrets dans la classe. Ce faisant, nos analyses parcourent différentes granularités temporelles (Tiberghien *et al.*, 2007), de l'échelle microdidactique de l'énoncé d'un acteur à celle macrodidactique de la séquence elle-même.

Lors d'une étude clinique/expérimentale du didactique ordinaire, Schubauer-Leoni & Leutenegger notent que méthodologiquement « rien n'empêche le recours à des étapes d'analyses statistiques pour traiter de configurations de données interprétables comme des configurations de faits » (*op. cit.*, p. 235). Nous situons ainsi notre analyse statistique des productions des élèves aux tests comme participant du faisceau d'indices que rassemble, et relie, le travail d'analyse clinique. Le travail d'analyse clinique des transactions didactiques aboutit à une caractérisation, à un grain fin, de l'action didactique des professeurs et des élèves. Dans un second temps, ces résultats sont alors le support d'hypothèses d'efficacité des pratiques professorales pour l'analyse clinique des configurations statistiques. Ces hypothèses sont travaillées au moyen de tests statistiques non-paramétriques, dans un continuum qualitatif-quantitatif (Ercikan & Roth, 2006), afin d'éprouver plus avant les conclusions de l'analyse qualitative (Shaffer & Serlin, 2004). C'est alors la concordance des résultats de l'analyse des transactions et de ceux de l'analyse statistique qui contribuent ensemble aux conclusions de notre étude de cas (cf. fig. 4).

Figure 4: Articulation des analyses cliniques des transactions didactiques et des configurations statistiques non-paramétriques

Nous conduisons l'analyse statistique après l'analyse des transactions didactiques, et ce afin de ne pas orienter la perspective qualitative par des données quantitatives connues à l'avance. Pour autant, nous ne nous engageons pas dans une dichotomie entre le qualitatif et le quantitatif, mais bien dans une dialectique entre ces deux pôles de la recherche, comme le soutiennent Ercikan & Roth (*op. cit.*). Dès lors, l'emploi d'outils statistiques, dans notre étude, n'a pas prétention à « généraliser à une population d'élèves plus grande » (notre traduction, Shaffer & Serlin, *op. cit.*, p. 17) mais à être « un moyen d'apporter des garanties supplémentaires » (*ibid.*) aux conclusions de l'analyse qualitative. La clinique des configurations statistiques vient donc prolonger la clinique des transactions didactiques pour apporter une garantie supplémentaire aux résultats de cette dernière.

ÉTUDE DE CAS

Comme nous l'avons exposé ci-dessus, notre méthodologie se déploie dans une succession d'analyses de plus en plus précises et croisant différentes échelles de temps. Tout d'abord, notre analyse inau-

gurale du corpus nous amène à circonscrire une étude de cas propice à la comparaison des pratiques professorales enquêtées. Nous conduisons ensuite des analyses, plus précises, de chacune de ces pratiques professorales à partir des enjeux didactiques caractérisés avec l'analyse inaugurale, en l'occurrence l'usage des modèles concrets en géologie.

Analyse inaugurale

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 un deuxième niveau d'analyses plus précises. 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 caractéristiques des pratiques professorales à l'échelle macrodidactique des séquences observées. Nous résumons ceci avec le tableau 1.

Tableau 1 : Caractérisation des pratiques professorales observées (à partir de Santini, 2009a, p. 137-192)

P1 Pratique de classe de cours dialogué Primauté accordé aux conceptions dans les apprentissages scientifiques Démarche inductive des phénomènes géologiques étudiés vers leur modèle Faire des sciences, c'est faire des expérimentations ⁸ Consacre plus de temps au volcanisme car l'estime plus propice à l'expérimentation	P2 Pratique de classe de cours dialogué Subsidiarité des conceptions des élèves dans les apprentissages scientifiques Démarche expositive et déductive à partir des modèles des phénomènes géologiques étudiés Mise en œuvre d'un contrat didactique classique (Brousseau, <i>op. cit.</i>) Consacre plus de temps au volcanisme car l'estime plus propice à l'expérimentation
P3 Pratique articulée autour d'une phase de débat scientifique dans la classe Primauté accordé aux conceptions des élèves dans les apprentissages scientifiques Démarche inductive des phénomènes géologiques étudiés vers leur modèle Séances bâties selon le modèle pédagogique PHERIC ⁹ Consacre sensiblement le même temps aux volcans et aux séismes	P4 Pratique articulée autour d'une phase de débat scientifique dans la classe Subsidiarité des conceptions des élèves dans les apprentissages scientifiques Démarche inductive des phénomènes étudiés vers leur modèle les six premières séances Démarche déductive à partir des modèles des phénomènes étudiés les deux dernières séances Consacre sensiblement le même temps aux volcans et aux séismes

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 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 concrets utilisés par les professeurs dans leur séquence d'enseignement, et des éléments géologiques qu'ils mettent ainsi à l'étude dans leur classe.

Tableau 2 : Eléments géologiques mis à l'étude par les professeurs à travers l'usage en classe de modèles concrets

	Formation du cône	Formation du cratère	Mécanisme éruptif	Structure de la Terre	Propagation des ondes sismiques	Jeu d'une faille	Orogenèse
P1	X	par effondrement de la partie centrale du volcan	grâce à la pression des gaz contenus dans le magma	X	1. par rapport à la distance à l'épicentre ; 2. dégâts par rapport à la configuration des constructions	X	X
P2	X	X	fonction de la viscosité du magma	X	par rapport à la distance à l'épicentre	X	X
P3	par accumulation de couches	X	grâce à la pression des gaz contenus dans le magma	propriétés différentes de la croûte, du manteau et du noyau	1. par rapport à la distance à l'épicentre ; 2. dégâts par rapport à l'intensité	X	par déformation de la « plaque » chevauchante
P4	X	X	grâce à la pression des gaz contenus dans le magma	propriétés différentes de la croûte, du manteau et du noyau	par rapport à la distance à l'épicentre	par mise en charge et relaxation de contraintes	par déformation de la « plaque » chevauchante

Ce tableau fait apparaître les modèles concrets de la propagation des ondes sismiques comme propices à la comparaison entre les classes. Dans notre approche comparatiste (Mercier *et al.*, 2002 ; Sensevy, 2008), notre étude de cas vise alors à comparer des pratiques didactiques à partir d'un même type de modélisation concrète de la propagation des ondes sismiques.

Une présentation synoptique de l'étude de cas

Avant de rentrer dans le détail des analyses pour chacune des classes, il nous semble utile pour le lecteur de commencer par présenter ici, sous une forme succincte, notre analyse des jeux d'apprentissage où les quatre professeurs mettent chacun à l'étude un modèle concret de la propagation des ondes sismiques. Ceci prend la forme du tableau synoptique ci-après. Il permet de se faire une première idée des jeux d'apprentissage analysés plus finement dans la suite de l'article.

Tableau 3 : Vue synoptique de la dialectique jeu d'apprentissage – jeu épistémique dans la mise à l'étude de modèles concrets de la propagation des ondes sismiques¹⁰

P	Jeu d'apprentissage	Jeu épistémique émergent	Modalité	Durée
P1	regarder deux extraits vidéo de l'émission <i>C'est pas Sorcier</i>	expliciter le mécanisme sismique à partir de l'analyse d'un discours de vulgarisation scientifique	collectif	15 :14
	formuler ce que ces deux extraits vidéo apprennent de nouveau sur les séismes		collectif	07 :39
P2	faire fonctionner un modèle concret de propagation des ondes sismiques	décrire le mécanisme sismique avec une coupe longitudinale	groupe	10 :32
P3	faire fonctionner un modèle concret des dégâts d'un séisme	critiquer des hypothèses sur le mécanisme sismique à partir du fonctionnement d'un modèle concret	collectif	08 :33
P4	faire fonctionner un modèle concret des dégâts d'un séisme	critiquer une hypothèse sur le mécanisme sismique à partir du fonctionnement d'un modèle concret	collectif	06 :40

Ce tableau rend possible une première comparaison des jeux épistémiques émergents du déroulement des jeux d'apprentissage. Nous voyons ainsi que les quatre professeurs ne confrontent pas leurs élèves aux mêmes usages des modèles concrets à travers leurs jeux d'apprentissage respectifs. Nous présentons, avec les sous-parties suivantes, le détail des analyses qui nous ont permis d'arriver à ce premier résultat de notre étude de cas.

Analyse de l'action didactique de P1

Le professeur P1 fait travailler un modèle concret de propagation des ondes sismiques avec le visionnage d'extraits de l'émission de vulgarisation scientifique *C'est pas Sorcier* (France Télévision, 2004). Ces extraits servent de support à deux jeux d'apprentissage, un premier où les élèves visionnent les extraits, avec quelques commentaires du professeur, et un deuxième où les élèves doivent formuler ce que ces extraits leur ont permis d'apprendre sur les séismes.

Lors du premier extrait vidéo, Jamy, le présentateur de l'émission *C'est pas Sorcier*, expose le mécanisme d'un séisme¹¹.

333 - Jamy : tiens bon Sabine + un peu de vocabulaire histoire de reprendre nos esprits + le foyer d'un séisme c'est l'endroit précis où la roche commence à céder + on parle aussi d'hypocentre à ne pas confondre avec l'épicentre qui se trouve lui pile à la verticale du foyer + la question maintenant c'est pourquoi la Terre se met-elle à trembler au moment de cette rupture hé bien lorsque la faille cède + l'énergie libérée forme des ondes qui partent de toute la surface de la faille qui est en train de se rompre + ces ondes se propagent dans la roche et remontent jusqu'en surface où elles font onduler le sol + comme l'eau quand on y jette un caillou + là vous avez une petite idée de ce que peut donner un tremblement de terre + une petite idée car lors d'un séisme plusieurs types d'ondes se propagent + certaines engendrent des mouvements verticaux + d'autres des mouvements horizontaux auxquels [P1 interrompt le visionnage]

Dans ce tour de parole (TdP), Jamy disparaît un instant de l'écran, pour laisser la place à la maquette flottante de la figure ci-dessous.

Figure 5: Modèle concret de propagation des ondes sismiques utilisé dans l'extrait de l'émission *C'est pas Sorcier* (France Télévision, 2004)

« ces ondes se propagent dans la roche et remontent jusqu'en surface où elles font onduler le sol + comme l'eau quand on y jette un caillou » (333Jamy)

En soi, cette maquette est un modèle concret de propagation des ondes sismiques. En effet, les ondes

sismiques se propageant sont ici modélisées par le mouvement concentrique des rides d'eau générées par le choc du caillou sur la surface du plan d'eau. C'est une variation d'un modèle concret courant, comme peut en attester la lecture de manuels scolaires ou bien encore celle du sismologue Bernard (2003, p. 38-39). Nous pouvons, toutefois, noter que la maquette représente une construction humaine et que celle-ci est posée sur un morceau de matériau flottant.

Dans le déroulement de la séance, P1 interrompt la vidéo juste après le gros plan de la figure ci-dessus qu'il demande aux élèves de commenter avec l'extrait suivant.

334 - P1 : alors j'arrête là parce que + est-ce que + quand il a montré la pierre le caillou qu'il jetait dans l'eau quelle différence très très importante il y a avec un VRAI tremblement de terre comme il vous l'a montré

335 - T1 : le caillou ça va plus doucement que le tremblement de terre ça fait plus de dégâts

336 - P1 : le caillou va plus doucement et le tremblement de terre fait des dégâts oui mais c'était pour te montrer la propagation des ondes là t'as vu on envoie à un endroit et ça va sur l'eau ça va faire des petits cercles t'as déjà vu ça hein et puis ça va faire bouger la maison qui était sur l'eau mais quelle est la différence ENORME fondamentale la plus importante avec un séisme

337 - DO : ben quand on envoie une pierre dans l'eau y a plusieurs petites couches et quand y a un séisme y a une seule grande couche

338 - P1 : non

339 - CL : le temps

340 - P1 : le temps

341 - CL : quand euh quand on lance une pierre dans l'eau ça va ça va + ça va comment dire ça va rester moins longtemps que

342 - P1 : moins longtemps qu'un séisme on a vu que les séismes c'était pas très long + OL

343 - OL : ben si on lance la pierre ben ben ça va durer moins longtemps mais aussi ça va faire (inaudible)

344 - P1 : oui parce que c'était pas une grosse pierre

345 - E : mais quand on jette la pierre dans l'eau ça fait plus de dégâts au début et à la fin ça fait moins de dégâts donc c'est

346 - P1 : non plus + NI

347 - NI : parce que ben la pierre elle ne vient pas du centre de la Terre

348 - P1 : voilà tu répètes

349 - NI : la pierre elle ne vient pas du centre de la Terre

350 - P1 : la pierre elle vient de l'extérieur et c'est comme ça serait une météorite d'accord tandis que

nous on a bien dit que le + ça remonte du centre de la Terre + donc attention à la comparaison de cette expérience là hein que ça ne vous + que ça ne vous convainque pas que le tremblement de terre ça vient de l'extérieur ça vient bien du centre tandis que là la pierre elle tombe d'ailleurs d'accord

Avec le TdP 334, P1 annonce qu'il arrête l'extrait vidéo pour signaler aux élèves une *différence très très importante* à connaître entre le modèle concret présenté et la conception scientifique du mécanisme sismique. En réponse, des élèves énoncent des différences en terme de dégâts (335TI, 343OL, 345E), de quantité (337DO) ou de durée (339CL-341CL). P1 réfute ces propositions, jusqu'à celle de NI (347NI). Cet élève propose une différence dans la localisation d'origine, externe *versus* interne. P1 lui fait écho et rapproche la pierre du modèle d'une *météorite* (350P1). Il conclut par une micro-institutionnalisation de cette différence entre le modèle concret et la conception scientifique (350P1).

Tout d'abord, cette analyse d'extrait nous permet d'exemplifier le souci qu'a P1, dans son action didactique des conceptions des élèves¹² et l'anticipation qu'il a d'une « cause extra-terrestre » (Allain, 1995, p. 52) du séisme¹³. Cette manière de faire est un élément fort de la pratique de P1. Ensuite, cet extrait de séance nous permet de caractériser le jeu épistémique émergent des deux jeux d'apprentissage où les élèves visionnent, puis commentent l'extrait vidéo choisi par P1. Pour ce faire, il nous faut poursuivre l'analyse ci-dessus en décrivant la(les) nouvelle(s) capacité(s) dont les élèves sont susceptibles de se rendre capables en gagnant ces deux jeux d'apprentissage. Cette nouvelle capacité relève de l'appréhension du mécanisme sismique à partir du visionnage d'une émission de vulgarisation scientifique. Elle s'inscrit dans un jeu épistémique émergent qui consiste à expliciter le mécanisme sismique à partir de l'analyse d'un discours de vulgarisation scientifique. Enfin, nous concluons cette analyse en spécifiant l'usage des modèles concrets que P1 met en jeu dans son enseignement. Il s'agit ici de faire « parler » le modèle concret afin qu'il « livre » quelque chose du phénomène. Autrement dit, dans l'action didactique de P1, le modèle concret sert à décrire le réel, en vue d'une explicitation du mécanisme sismique.

Analyse de l'action didactique de P2

Dans la classe de P2, les tables des élèves sont disposées par groupes de quatre. Au début de sa première séance sur les séismes, P2 distribue à chacun de ces groupes d'élèves un récipient rempli d'eau et un caillou. Il leur donne pour consigne de lâcher ce caillou au centre du récipient en observant ce qu'il se passe et de trouver *ce que ça peut représenter au niveau de la Terre qu'est-ce que c'est si au niveau de la terre il se produit la même chose* (3P2). P2 met ici en jeu un modèle concret similaire à celui de P1 : à la surface d'un plan d'eau heurté par une pierre, il se forme des rides qui se propagent depuis le point d'impact de manière concentrique, comme les ondes sismiques à partir de l'épicentre¹⁴. Lorsqu'il s'agit de définir le jeu d'apprentissage pour les élèves, P2 insiste particulièrement sur deux conditions nécessaires à l'observation du fonctionnement de ce modèle concret : 1) la vigilance *il faut pas lancer le le caillou dedans et puis ne rien voir faut être attentif regarder comment c'est avant et comment c'est après* (7P2) et 2) la hauteur depuis laquelle est lâché le caillou *pas trop trop haut non plus parce qu'autrement vous allez vous éclaboussez et vous verrez rien* (9P2). Les élèves répètent alors cette manipulation plusieurs fois, puis, au bout d'environ trois minutes, P2 demande *alors expliquez-moi qu'est-ce que vous voyez d'abord ce que vous voyez* (20P2). Des élèves décrivent les rides à la surface de l'eau et P2 les représente au tableau par des cercles concentriques (20P2-41TH). Avec l'extrait suivant, P2 oriente les transactions vers la dynamique du phénomène sismique présenté par le modèle concret.

41 - TH : ben ça faisait comme des vagues qui partaient de tous les côtés

42 - P2 : donc ça fait des vagues qui partent sur les côtés bon donc ça c'est ce que vous avez vu maintenant si j'essaie de rapporter ça au au niveau de la Terre qu'est-ce que ça peut être + LE

43 - LE : ben c'est comme si je sais pas moi euh un hélicoptère il tombe en panne et il tombe dans l'eau

44 - P2 : d'accord oui mais c'est pas par c'est pas ça que je demande je dis par rapport aux mouvements de la Terre + qu'est-ce que ça peut représenter

45 - TH : une bombe nucléaire qui explose

46 - P2 : non non non c'est pas dans ce sens là que je

47 - E : une comète

48 - P2 : non vous partez complètement à côté de ce qu'il faut là on est en train de parler de tremblement de terre et de séisme, donc au niveau des tremblements de terre et des séismes ce ce ce mouvement là

ce qu'on a vu qu'est-ce que ça peut qu'est-ce qui peut en être à l'origine et comment ça se ça se traduirait au niveau de la Terre parce que là c'est de l'eau mais moi je voudrais savoir au niveau de la Terre

49 - AW : que les maisons

50 - P2 : qui font quoi

51 - AW : ben que quand on doit quand on construit une maison à cause du poids

52 - P2 : non

53 - MAB : ben l'eau c'est ce qui bouge c'est la Terre

54 - P2 : d'accord

55 - MAB : et voilà

56 - P2 : alors + [P2 dessine au tableau] là vous c'était l'eau là maintenant ça va être la Terre ++ et alors ce caillou qui est au fond de l'eau maintenant qu'est-ce que ça peut être qu'est-ce que c'est qui va provoquer ce mouvement

57 - MLO : euh ça peut être les deux plaques qui se cognent

58 - P2 : les plaques qui se cognent donc ça voudrait dire que là en dessous [P2 dessine deux plaques qui se cognent sous la surface de la terre] j'ai quelque chose qui s'affronte c'est ça hein

Dans cet extrait, P2 commence par faire écho à TH et rappelle que l'enjeu est ici de se servir du modèle concret pour étudier un phénomène géologique (42P2). En réponse à P2, des élèves proposent de voir le caillou comme *un hélicoptère (...) en panne* (43LE), *une comète* (47E) ou *une bombe nucléaire qui explose* (45TH). P2 invalide ces trois réponses (44P2, 46P2 et 48P2). Il régule alors le fonctionnement du jeu d'apprentissage, en précisant que l'enjeu de savoir concerne plus spécifiquement le phénomène sismique (48P2). AW propose alors une correspondance entre la manipulation réalisée et l'enfoncement d'une maison dans le sol à cause de son poids, faisant ainsi du caillou une maison (49AW et 51AW), énoncé que P2 infirme (52P2). MAB établit une relation entre le plan d'eau du modèle et la surface de la Terre (53MAB), ce que P2 valide (54P2), mais sans préciser cette relation plus avant (55MAB). Sur le volet droit du tableau, P2 dessine alors un trait horizontal qui entérine la relation entre le plan d'eau du modèle et la surface de la Terre (56P2). Il commence ainsi un schéma du mécanisme sismique qu'il va compléter au fur et à mesure (cf. fig. 6). P2 poursuit en demandant ce que peut représenter le caillou (56P2). MLO propose de voir le caillou comme *deux plaques qui se cognent* (57MLO). P2 lui fait écho et continue son schéma en dessinant deux masses qui s'affrontent sous la surface de la Terre (58P2). Il poursuit en posant ensuite d'autres questions et

complète en même temps le schéma au tableau. Notons que ce schéma est erroné, dans la mesure où il situe les plaques tectoniques en profondeur alors qu'elles constituent la lithosphère qui est l'enveloppe externe du globe, et qu'un séisme ne résulte pas d'un choc de « plaques » mais du rebond élastique suite au jeu d'une faille (Reid, *op. cit.*) au sein d'une même plaque tectonique.

Figure 6 : Schéma du mécanisme sismique tracé au tableau par P2. Le tracé s'effectue par étapes lors de l'extrait ci-dessus, et le schéma est légendé par la suite

Dans le déroulement de ce jeu d'apprentissage, P2 demande aux élèves d'observer, par groupe, et de commenter, collectivement, le modèle concret. À partir d'une sélection de commentaires d'élèves, P2 trace au tableau le schéma qui est la visée de ce jeu d'apprentissage. Ce schéma représente le mécanisme d'un séisme. L'action didactique de P2 consiste ainsi à inférer du modèle concret le phénomène qu'il représente ou, plus exactement, d'inférer un modèle conceptuel de ce phénomène. Dans le même temps, P2 représente ce modèle conceptuel avec une coupe longitudinale dessinée sur le tableau de la classe. Ce jeu d'apprentissage conduit donc à passer d'une représentation du mécanisme sismique par un premier système sémiotique (le modèle concret) à un second (la coupe longitudinale). De même que pour P1, notre analyse de l'action didactique de P2 s'intéresse à(aux) capacité(s) que les élèves peuvent s'approprier en gagnant au jeu d'apprentissage. L'analyse des transactions montre que les élèves gagnent s'ils produisent, à partir du modèle concret,

des éléments de description qui permettent de tracer le modèle en coupe que P2 dessine au tableau. En ce sens, nous concluons que le jeu épistémique qui émerge de l'action didactique de P2 consiste à décrire le mécanisme sismique avec une coupe longitudinale. Le modèle concret est ici un succédané de séisme que l'observation, dans une perspective assurément positiviste, permet de décrire. P2 met ainsi en jeu un usage du modèle concret comme une représentation qui se substitue au phénomène et qu'il est possible d'étudier comme s'il était le phénomène lui-même.

Analyse de l'action didactique de P3

Le professeur P3 utilise un modèle concret d'un ressort différent de ceux de P1 et P2. En effet, là où P1 et P2 utilisent les propriétés d'une épaisseur liquide, P3 mobilise celles d'une épaisseur solide. Ce modèle concret (cf. fig. 7) se compose d'une feuille de carton représentant la surface du sol, de cinq planchettes de bois figurant des constructions humaines et d'une règle, en partie sous le carton, permettant de simuler des séismes d'intensité croissante, tout en donnant à voir la force avec laquelle l'opérateur appuie sur la règle.

Figure 7 : Modèle concret utilisé par P3 (vue de dessus)

Au début du jeu d'apprentissage, P3 installe le modèle sur une table au centre de la classe. Il demande aux élèves ce que représente le carton

(la croûte terrestre) et les planchettes de bois (des constructions). P3 répartit les élèves autour de lui et s'assure que tous peuvent voir correctement le modèle avant de le faire fonctionner. Dans ce qui précède, P3 a fait étudier aux élèves une carte d'isoseistes avec pour consigne de produire une hypothèse expliquant la forme particulière de ces courbes concentriques. Ces hypothèses sont formulées ainsi : 1) le séisme ralentit en se déplaçant, 2) plus on est loin du « centre » du séisme, moins on le ressent, et 3) ça dépend de la géographie du lieu (mer, plaine ou montagne). P3 présente le modèle ci-dessus comme un moyen de vérifier ces hypothèses inscrites au tableau. La première impulsion que P3 donne sur la règle ne fait tomber aucune planchette, mais fait seulement osciller la plus proche. Il sollicite les commentaires des élèves, reproduit l'impulsion sur la règle afin que tous les élèves puissent voir l'oscillation de la première planchette comme un effet d'un séisme de faible intensité. P3 poursuit en simulant un séisme de plus forte intensité. Il demande d'en commenter le résultat lors de l'extrait suivant.

267 - GB: y en a trois qui sont tombés et celui de la droite là qui a bougé
 268 - P3: oui mais ça me suffit pas ça
 269 - E: les plus près de (inaudible)
 270 - P3: il y en a trois qui sont tombés mais ils étaient les proches de comment on a appelé ça
 271 - E: de la secousse
 272 - P3: de la secousse ou du [P3 regarde les hypothèses inscrites au tableau] centre est-ce que c'est donc la secousse qui s'est déplacée
 273 - E: non
 274 - P3: est-ce qu'elle s'est faite là là là [P3 montre trois endroits différents]
 275 - IN: non elle a juste un peu (inaudible)
 276 - P3: donc la se est-ce que le séisme se déplace
 277 - E: non
 278 - P3: il a lieu où
 279 - CLM: ça fait un ça fait une onde
 280 - P3: ah ça s'appelle une onde c'est pas le séisme qui se déplace c'est l'onde du séisme donc déjà est-ce que moi j'ai déplacé la règle

Dans cet extrait, GB commence par décrire le résultat du fonctionnement du modèle : les trois premières planchettes sont tombées et la suivante a oscillé (267GB), ce qui ne satisfait pas pleinement P3 (268P3). Un échange entre P3 et deux autres élèves conduit alors à l'énoncé d'une relation entre

la chute et la distance à la secousse (269E-271E). Il organise alors une confrontation entre les hypothèses notées au tableau et le résultat produit par le modèle (272P3-280P3). Dans cette confrontation, CLM décrit le modèle comme mettant en jeu *une onde* (279CLM). P3 reprend cet énoncé en écho. Il procède alors à une micro-institutionnalisation en attestant que *c'est pas le séisme qui se déplace c'est l'onde du séisme* (280P3). P3 poursuivra avec deux nouveaux essais du modèle, en figurant des intensités croissantes. De même que lors de cet extrait, il sollicitera les élèves et conclura le jeu d'apprentissage en validant la deuxième des hypothèses notées au tableau *au plus on s'éloigne du centre de l'endroit où y a le séisme au moins on le ressent* (297P3).

Ainsi, lors du déroulement du jeu d'apprentissage, P3 produit quatre essais du modèle qui vont servir d'arguments pour discuter les hypothèses. Les résultats de ces quatre essais sont alors autant d'éléments du milieu didactique que les élèves peuvent convoquer et que P3 leur signale. Dans les transactions didactiques, les élèves font ainsi appel à ces potentialités du milieu pour justifier leur point de vue. En gagnant ce jeu d'apprentissage, les élèves peuvent alors approcher un jeu épistémique émergent qui consiste à critiquer des hypothèses (de la forme concentrique des isoséistes) à partir du fonctionnement d'un modèle concret. P3 confronte ainsi ses élèves à un usage des modèles concrets comme un dispositif permettant de tester des hypothèses pour produire un savoir nouveau, qui sera inscrit dans une modélisation formelle du mécanisme sismique.

Analyse de l'action didactique de P4

Comme nous l'avons exposé dans le cadrage méthodologique en première partie, P4 est l'auteur de cet article, dans une posture de chercheur-professeur. Dans sa séance, P4 utilise un modèle concret élaboré ensemble avec P3 (cf. fig. 7). De même que dans la séance de P3, le jeu d'apprentissage précédent celui de l'utilisation du modèle se conclut avec l'hypothèse d'une relation entre la distance à l'épicentre et l'intensité sismique mesurée.

À partir de cette hypothèse, P4 initie un nouveau jeu d'apprentissage en définissant un nouvel enjeu *cette idée plus on s'éloigne moins c'est fort euh pour le vérifier on va faire une petite simulation* (158P4). P4 demande alors aux élèves de se regrouper autour

d'une même table sur laquelle il installe le modèle concret. Au fur et à mesure qu'il place les éléments, P4 interroge les élèves sur ce qu'ils représentent : les planchettes de bois sont mises pour des bâtiments, la grande feuille de carton pour la croûte terrestre, le plateau de la table pour le manteau et le pied de P4 pour le noyau (159P4-175P4). P4 précise également que la règle ne représente aucune structure *y a juste la règle qui est en plus* (175P4). Lors de l'extrait suivant, P4 s'apprête à figurer un premier séisme de faible intensité par une légère impulsion sur le bras de levier que fait la règle avec le bord de la table.

182 - P4: moins c'est violent donc ici si j'appuie là quand je vais appuyer là l'épicentre il va être par là donc plus on s'éloigne de l'épicentre moins ça va être violent alors bon on va faire on va voir euh + si je fais ici un tout petit séisme + comme ça
183 - DE: y a rien qui bouge
184 - P4: y a rien qui bouge c'est possible ça
185 - E (plusieurs): oui
186 - MU: comme Nice
187 - P4: comme Nice + [P4 refait la simulation] à la rigueur on voit un peu celui-là bouger hein bon si je fais un peu plus fort + donc là oui + ça serait un peu le gros camion + donc là celui-là
188 - E: c'est mort
189 - P4: c'est pas mort
190 - JOH: détruit
191 - MU: écroulé
192 - P4: écroulé
193 - AXM: endommagé
194 - P4: non endommagé peut-être celui-là pourquoi celui-là endommagé ne vous appuyez pas parce que
195 - E: parce qu'il est pas tombé

Au début de l'extrait, P4 situe *l'épicentre*, rappelle l'hypothèse du jeu d'apprentissage précédent et frappe légèrement la règle pour représenter *un tout petit séisme* (182P4). DE constate qu'aucune planchette ne *bouge* (183DE). P4 reprend cet énoncé et demande si *c'est possible* (184P4). Plusieurs élèves répondent *oui* (185E), ce que MU rapporte à un événement sismique particulier étudié lors de séances précédentes *comme Nice* (186MU). P4 donne une certaine résonance à l'énoncé de MU et refait la simulation. À l'instar de MU, P4 en décrit le résultat par une référence à un objet précédemment étudié avec un élément de la définition du degré 4 de l'échelle MSK¹⁵ *ça serait un peu le gros camion* (187P4). P4 poursuit avec une impulsion plus forte : la planchette la plus proche de la règle tombe, et celle

immédiatement après vacille mais ne tombe pas. Un élève emploie l'adjectif *mort* pour qualifier l'état de la première planchette (188E), ce que P4 récuse (189P4). JOH propose alors *détruit* (190JOH), MU *écroulé* (191MU) et AXM *endommagé* (193AXM). P4 fait écho à l'énoncé de MU (192P4), validant ainsi son énoncé, conteste celui d'AXM qu'il juge plus approprié pour la deuxième planchette et demande aux élèves de justifier cette distinction entre les deux planchettes *pourquoi celui-là endommagé* (194P4). Un élève répond que le deuxième bâtiment ne serait qu'*endommagé parce qu'il est pas tombé* (195E). Le jeu d'apprentissage se poursuit avec deux essais du modèle poursuivant la représentation d'intensités croissantes débutée avec 182P4. P4 sollicite alors les commentaires des élèves de la même manière que dans ce qui précède. P4 termine en validant la relation *plus je m'éloigne de l'épicentre moins c'est fort* (219P4) car les résultats du modèle et la carte d'iso-séistes sont en adéquation *ce qu'on a fait ça valide ça confirme ça veut dire que c'est vrai cette idée* (221P4).

Ainsi, au fur et à mesure du jeu d'apprentissage, P4 confronte cette hypothèse d'une relation entre la distance à l'épicentre et l'intensité sismique mesurée avec les résultats du modèle et en annonçant l'intensité du séisme simulé. En ce sens, les différents états du modèle participent au milieu didactique. Ils l'alimentent en potentialités pour jouer le jeu d'apprentissage (telle impulsion sur la règle donne tel résultat du modèle, tel bâtiment n'est qu'*endommagé* parce qu'il n'est pas tombé, etc.). En gagnant au jeu d'apprentissage, les élèves peuvent gagner une capacité de test d'hypothèses à partir d'un modèle. Dans le vocabulaire théorique que nous travaillons, notre analyse de ce jeu d'apprentissage nous fait conclure sur un jeu épistémique émergent qui consiste à critiquer une hypothèse, c'est-à-dire d'en montrer les succès et les limites, à partir du fonctionnement d'un modèle concret. P4 met ici en jeu un usage des modèles concrets qui est celui d'une production d'un savoir nouveau, sous la forme d'une modélisation formelle du mécanisme sismique, par la critique d'hypothèses.

REPRISE ET DISCUSSION

Les pratiques professorales analysées s'affrontent à un problème commun : comment mettre à l'étude dans la classe un phénomène qui n'est pas directe-

ment expérimentable ? Ce faisant, elles transposent dans la classe la pratique de modélisation des scientifiques confrontés au même problème. Notre étude de cas de jeux d'apprentissage et de jeux épistémiques (émergents et sources) nous permet alors, dans un premier temps, de discuter ces différentes transpositions didactiques de la modélisation en sciences et de conclure quant à leur efficacité pour les apprentissages des élèves. Puis, dans un second temps, à partir de cette première discussion, nous reprenons notre conclusion sur l'efficacité des pratiques professorales analysées en la testant comme une conjecture dans une clinique des statistiques non-paramétriques, qui vient prolonger la clinique des transactions didactiques.

Des usages différents des modèles concrets

Pour chacune des pratiques professorales étudiées, notre analyse du déroulement des jeux d'apprentissage nous conduit à caractériser des jeux épistémiques émergents. La comparaison de ces caractérisations met en évidence que, dans l'action, les élèves sont confrontés à des usages différents des modèles concrets en sciences (cf. tableau 3 ou 4). Du point de vue des savoirs en jeu, les actions didactiques de P1 et de P2 mettent en jeu un usage représentationnel des modèles concrets. Il s'agit d'étudier le modèle en lieu et place du phénomène lui-même. Les actions didactiques de P3 et de P4 actualisent un usage heuristique des modèles concrets. Le fonctionnement des modèles sert l'étude d'une modélisation formelle du phénomène. Dans une fiction didactique, nous pourrions imaginer échanger le modèle d'onde liquide, utilisé par P1 et P2, avec le modèle de dégâts, utilisé par P3 et P4. Le modèle des uns peut-il être mis en œuvre dans l'usage du modèle des autres ? La réponse nous semble positive. En effet, le modèle de dégâts pourrait être utilisé pour représenter une propagation et un amortissement du séisme qu'il s'agirait d'étudier comme tels. À l'inverse, le modèle de l'onde liquide serait susceptible de servir à critiquer des hypothèses sur le mécanisme sismique, en particulier si le plan d'eau est assez étendu pour que l'onde s'éteigne. En définitive, dans la classe, la question de l'étude de phénomènes scientifiques à partir de modèles concrets ne se résume pas à la qualité des modèles en eux-mêmes, mais elle est tout autant celle des usages qui sont faits de ces modèles.

Pour poursuivre cette réflexion, nous remontons alors de notre caractérisation de jeux épistémiques émergents, lors de l'analyse de jeux d'apprentissage, à celle de jeux épistémiques sources, avec l'analyse de sources primaires (Reid, *op. cit.* ; Wilson, *op. cit.* ; cf. *supra*). Nous suivons ainsi un mouvement d'analyse ascendante de la transposition didactique (Mercier, 2008). Jusqu'à cet article, nous avons envisagé une dialectique des jeux d'apprentissage et des jeux épistémiques émergents (Santini, *op. cit.*) en analysant les capacités dont peuvent se rendre capables les élèves s'ils venaient à gagner au jeu d'apprentissage. Nous étendons ici cette dialectique aux pratiques culturelles avec les savoirs, en considérant la continuité des jeux épistémiques émergents avec des jeux épistémiques sources. Les usages représentationnels des modèles nous apparaissent en continuité avec le jeu épistémique source caractérisé à partir du travail de Wilson. Les usages heuristiques des modèles s'inscrivent, eux, dans une continuité avec le jeu épistémique source décrit depuis l'étude de Reid. Nous établissons ainsi des liens entre trois jeux de savoirs : ce que le professeur fait faire aux élèves dans la classe (jeu d'apprentissage), ce dont les élèves peuvent se rendre capables dans l'action didactique (jeu épistémique émergent) et ce que font les savants (jeu épistémique source).

à une pratique culturelle de production d'un savoir géologique nouveau. Si nous revenons maintenant à l'échelle macrodidactique, nous constatons que cette différence dans les usages des modèles concrets mis à l'étude se retrouve tout au long des séquences d'enseignement. Ainsi, à travers les usages de modèles concrets mis en jeu, les élèves de P1 et de P2 sont plutôt confrontés à un jeu épistémique de communication scientifique, tandis que les élèves de P3 et de P4 sont plutôt confrontés au jeu géologique (cf. *supra*). Nous concluons alors à une meilleure efficacité des pratiques professorales de P3 et de P4 pour l'apprentissage des usages des modèles concrets en géologie.

Efficacité des pratiques professorales analysées

Dans ce qui suit, nous reprenons la conclusion de la sous-partie précédente d'une meilleure efficacité des pratiques professorales de P3 et de P4, pour l'apprentissage des usages des modèles concrets, comme une conjecture, que nous testons à partir des performances des élèves au post-test de notre dispositif. 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 « expé-

Tableau 4 : Dialectique jeu d'apprentissage, jeu épistémique émergent et jeu épistémique source de l'étude de cas

P	Jeu d'apprentissage	Jeu épistémique émergent	Jeu épistémique source
P1	regarder deux extraits vidéo de l'émission C'est pas Sorcier	expliciter le mécanisme sismique à partir de l'analyse d'un discours de vulgarisation scientifique	expliciter le fonctionnement d'un phénomène tectonique grâce à un modèle concret
	formuler ce que ces deux extraits vidéo apprennent de nouveau sur les séismes		
P2	faire fonctionner un modèle concret de propagation des ondes sismiques	décrire le mécanisme sismique avec une coupe longitudinale	expliciter le fonctionnement d'un phénomène tectonique grâce à un modèle concret
P3	faire fonctionner un modèle concret des dégâts d'un séisme	critiquer des hypothèses sur le mécanisme sismique à partir du fonctionnement d'un modèle concret	argumenter une hypothèse théorique du mécanisme sismique grâce à un modèle concret
P4	faire fonctionner un modèle concret des dégâts d'un séisme	critiquer une hypothèse sur le mécanisme sismique à partir du fonctionnement d'un modèle concret	argumenter une hypothèse théorique du mécanisme sismique grâce à un modèle concret

Dans cette remontée de la transposition didactique, nous montrons que l'action didactique de P1 et de P2 engage les élèves sur une pratique culturelle de diffusion d'un savoir géologique déjà produit, tandis que l'action didactique de P3 et de P4 réfère

rience » (cf. note 8) étudiée et la commenter ensuite dans sa réponse au second item. Nous codons ce doublet d'items avec le tableau 5. Par ailleurs, nous avons mis en œuvre la méthode des juges pour tester le codage que nous avons construit. Pour ce faire,

nous avons soumis à trois autres chercheurs en didactique de la géologie un échantillonnage, aléatoire et représentatif, de réponses d'élèves. Nous leur avons alors demandé de les coder en utilisant notre codage. Nous avons ensuite testé le degré d'accord dans les codages de ces trois didacticiens et nous-même grâce au coefficient K de Fleiss (Fleiss, 1971). Nous obtenons alors un accord fort entre les codeurs ($K = 0,621$; $Z = 22,01$; $p = 0$). Ce résultat nous permet d'écarter le biais d'un codage *ad hoc*.

Tableau 5 : Codage du doublet d'items A et B

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 concret 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 concret et le phénomène géologique modélisé.

Nous donnons des exemples de ce codage avec des productions d'élève dans le tableau 6.

Tableau 6 : Exemples de codage du doublet d'items A et B

Élève	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

Après codage, les performances des élèves se répartissent selon les quatre boîtes à moustaches de la figure 8.

Figure 8 : Boîtes à moustaches¹⁶ 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 8 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 ($t = 4,98$; $dl = 91,997$; $p = 2,44 \times 10^{-5}$) 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.

Tableau 7 : Nombre de valeurs maximales obtenues au post-test au doublet d'items A et B par binômes de professeurs

Binômes	Autres valeurs	Valeur maximale	Total
P1/P2	37	8	45
P3/P4	19	30	49
total	56	38	94

Pour la répartition des meilleures performances, un test du Khi-deux est très significatif ($\chi^2 = 18,386$; $dl = 1$; $p = 1,81 \times 10^{-5}$) 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 rejetons donc 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, ceci vient conforter notre conclusion d'une meilleure efficacité d'une action professorale mettant en jeu un usage heuristique des modèles concrets pour les apprentissages scientifiques afférents.

CONCLUSION ET IMPLICATIONS

Notre étude de cas comprend plusieurs résultats : des résultats plus spécifiques de la didactique des sciences, des résultats plus génériques concernant une méthodologie clinique du didactique et des résultats, également plus génériques, portant sur un développement théorique de la TACD.

Tout d'abord, nous avons montré que des pratiques professorales avec des modèles concrets, similaires au premier abord, peuvent présenter, dans l'action, des différences telles que les apprentissages des élèves sont différents. Ces apprentissages sont d'ailleurs différents à un double titre : ce qui est appris est différent et ce qui est appris réfère à des pratiques culturelles différentes. Nous avons expliqué ceci par les usages des modèles qu'actualise le déroulement des jeux d'apprentissage. Nous avons ainsi caractérisé

un usage représentationnel des modèles où l'étude du modèle remplace celle du phénomène, et un usage heuristique des modèles où l'étude du modèle sert à raisonner sur le phénomène. Bien évidemment, nous ne considérons pas ces deux usages comme exclusifs

l'un de l'autre, mais, avec notre étude de cas, nous avons conclu que confronter les élèves à un usage heuristique est plus efficace pour l'apprentissage de l'utilisation des modèles concrets en géologie.

Ensuite, notre recherche contribue à la méthodologie clinique/expérimentale du didactique ordinaire en développant la technique d'auto-filmage ainsi que la clinique des statistiques non-paramétriques. En effet, notre dispositif méthodologique s'appuie sur une technique d'auto-filmage des professeurs dans leur classe. Cette technique nous est apparue particulièrement féconde pour contrôler les perturbations engendrées par un dispositif d'enregistrement de séances et préserver l'engagement des professeurs dans la durée. En outre, un enjeu majeur de notre étude de cas a été d'éprouver, au sein de la clinique, une articulation entre analyse des transactions didactiques et analyse des statistiques non-paramétriques. Cette articulation appelle à repenser une utilisation des résultats statistiques comme un indice, parmi d'autres, que la clinique rassemble en faisceau. Dans cette méthodologie, il n'y a donc pas d'autorité du chiffre sur le verbe, mais bien une réciprocité entre les deux. La clinique des statistiques non-paramétriques n'est pas une validation, ou une réfutation, de

la clinique des transactions didactiques, mais elle est sa continuation dans une recherche d'indices convergents qui font système.

Enfin, avec cet article, nous participons au développement de la TACD en documentant le système théorique {jeu d'apprentissage, jeu épistémique émergent, jeu épistémique source} et les relations entre ces trois jeux de savoir. La caractérisation systémique ainsi produite demeure spécifique des enjeux de savoir. Notre étude de cas montre alors comment décrire un tel système de jeux de savoir contribue à penser la question de l'efficacité de l'action professorale. La comparaison des actualisations, dans chaque classe, de ce système de jeux de savoir nous permet de conclure quant à l'efficacité relative des pratiques enseignantes analysées. L'étude des performances des élèves, grâce à un test des capacités scientifiques acquises, redouble cette conclusion. Il nous apparaît alors fondamental de faire observer que le lien ainsi tissé entre la pratique du professeur et les acquisitions des élèves est rendu possible par une caractérisation de l'action qui rend compte des enjeux de savoir. Nous retrouvons ici tout l'intérêt d'une approche didactique qui place les savoirs au cœur des questions d'éducation.

NOTES

1. Sans développer ceci plus avant, il nous semble utile de préciser que nous suivons une conception moniste de la notion de règle, telle que peut l'exposer (Cometti, 2008). Cette conception s'oppose au dualisme qui appréhende séparément la compréhension de la règle et son application. Nous considérons, au contraire, que les deux sont intrinsèquement entrelacés, dans l'implicite comme dans l'explicite.
2. Une action est conjointe lorsque deux participants (ou plus) occupent des positions différentes et ne font pas la même chose, mais pour un résultat qui leur est commun. Contrairement à ce que peut laisser croire certaines connotations du terme conjoint, une action conjointe n'est pas forcément une action heureuse, ni dans son succès, ni dans les relations entre partenaires. Vernant (1997, p. 160) prend ainsi l'exemple du tango et de la corrida. Tango et corrida sont deux actions conjointes, au sens défini ici, mais n'en sont pas pour autant toutes les deux heureuses. Cette précision est nécessaire car elle permet de se prémunir contre un certain romantisme pédagogique.
3. À l'inverse, au quotidien, il est peu évident que quelqu'un accepte d'un autre ce type de dissimulation manifeste. Parmi d'autres possibles, prenons un exemple typique : une personne demande l'heure à un passant qui porte ostensiblement une montre et ce dernier lui répond qu'il ne sait pas. Il est vraisemblable que ce refus génère un certain ressentiment. Il se joue ici un autre jeu que le jeu didactique. La dissimulation d'informations par celui qui sait n'en est pas une nécessité grammaticale.
4. La notion de *milieu didactique* a été initialement travaillée en didactique des mathématiques. Nous l'utilisons en didactique des sciences de la Terre dans ce qu'elle permet de rendre compte de ce qui, dans l'environnement de l'élève, fournit des points d'appui à son action ou résiste suffisamment à l'arbitraire de son action (Santini, 2010, p. 161-163).
5. Argumenter est ici entendu au sens d'Ohlsson (1996) : « Argumenter, c'est énoncer des raisons pour (ou contre) une position particulière sur une certaine question, et par ce moyen augmenter (ou diminuer) la confiance du destinataire dans l'exactitude de la position » (p. 17, notre traduction). Dans notre méthodologie d'analyse des jeux épistémiques, nous convoquons la typologie des tâches épistémiques d'Ohlsson. Cette typologie, bien qu'incomplète et très générique, nous semble utile, car elle propose un vocabulaire théorique stabilisé qui contribue à une caractérisation fine, et reproductible, des jeux épistémiques. Ohlsson explicite ainsi les contenus propositionnels de sept verbes du discours : décrire, expliquer, prédire, argumenter, critiquer, expliciter et définir.
6. « Expliciter un concept c'est fabriquer un discours tel que la personne qui participe à ce discours acquiert une compréhension plus claire de sa signification » (Ohlsson, *op. cit.*). La différence dans la caractérisation des jeux épistémiques sources issus des exemples de Reid et de Wilson tient dans le fait que le premier utilise les résultats de son modèle comme des raisons (cf. note précédente) pour son hypothèse théorique et que le second ne le fait pas. D'ailleurs, à la différence de Reid, Wilson n'a pas publié son modèle concret. Nous ne le connaissons que par des compte-rendus de certains de ces auditeurs, comme Atwater.
7. C'est l'auteur qui souligne.
8. Avec une acception *sensu largo* du terme comme manipulation concrète.
9. Acronyme pour Problème, Hypothèse, Expérience, Résultat, Interprétation et Conclusion.
10. Certaines formulations peuvent légèrement différer de publications ou communications antérieures. La reprise de notre travail pour cet article nous a conduit à remettre sur l'ouvrage certaines de nos descriptions et à les faire évoluer.
11. Pour la transcription, nous numérotions les tours de parole (TdP) depuis le début de séance. Nous incluons les extraits d'émission visionnés par les élèves dans les TdP de la classe. Chaque TdP se voit affecter, en plus d'un numéro d'ordre, de son locuteur. Le TdP noté « 333Jamy » code donc le 333^e TdP depuis le début de la séance et il est produit par Jamy. Les professeurs sont notés par P1, P2, P3 ou P4 ; les élèves le sont par deux à trois lettres en majuscule, s'ils sont identifiés, ou par E s'ils ne le sont pas. Dans un TdP, une pause de l'ordre de la seconde est notée +, de plusieurs secondes par ++ et une pause plus longue que quelques secondes par +++.
12. Nous appréhendons ici la notion de conception comme un modèle explicatif, différent de celui accepté par la communauté scientifique, que décrit un chercheur pour rendre compte de certains comportements d'élève. Nous avons, par ailleurs, plus longuement discuté la question des conceptions des élèves dans l'enseignement des sciences du point de vue de la recherche en didactique (Santini, 2009b) et du point de vue de son utilisation par les enseignants (Santini, 2012). Nous reprenons pas ceci dans cet article, car ce n'en est pas l'objet central.
13. P1 signale cette différence d'origine interne/externe comme majeure. Ce n'est pas le cas du sismologue Bernard (2003) pour qui la différence essentielle porte sur les forces de rappel : « La différence avec les ondes sismiques

est que la force de rappel agissant sur l'eau est liée non pas à son élasticité, mais à la force de gravité : dans le champ de pesanteur terrestre, une bosse à la surface de l'eau a tendance à redescendre pour retrouver son équilibre et inversement pour un creux, ce qui explique l'apparition d'ondes lorsque la surface est perturbée » (*op. cit.*, p. 38-39). Par ailleurs, nous pouvons également noter que P1 ne relève pas que la maquette flotte, ce qui peut laisser croire à une « plaque » flottant sur un manteau terrestre liquide. P1 abordera ceci plus spécifiquement lors d'une séance postérieure.

14. En donnant bien à l'adjectif concentrique son acception stricte de partage d'un même centre. En effet, au cours de leur propagation, les ondes sismiques rencontrent des milieux physiquement différents. Elles présentent donc rarement la forme circulaire des rides d'eau qui se déplacent, elles, dans un milieu isotrope. Néanmoins, ces deux types d'ondes sont concentriques, puisqu'elles partagent, respectivement, un même centre.

15. L'échelle MSK est travaillée lors de la séance précédente à celle analysée dans cet article. Le principe de cette échelle repose sur l'observation des dégâts aux constructions humaines pour mesurer l'intensité d'un séisme. Dans la version distribuée aux élèves, la définition du degré 4 est

« Ressenti à l'intérieur des habitations par de nombreuses personnes, à l'extérieur par un petit nombre. Quelques personnes sont réveillées. Les fenêtres, les portes et la vaisselle vibrent. Vibrations comparables à celles provoquées par le passage d'un gros camion ». Ce degré est attribué au séisme de Nice, du 2 septembre 2006, étudié lors de la séance précédente.

16. Une boîte à moustaches (Box and Whiskers Plot) est une représentation graphique de la distribution d'une population. Les largeurs du rectangle correspondent au premier quartile Q1 et au troisième quartile Q3, sa longueur à l'espace interquartile $Q3 - Q1$. Le trait foncé à l'intérieur du rectangle est la médiane. Enfin, les « moustaches » sont les lignes qui partent du rectangle et le rejoignent à la valeur extrême la plus éloignée, avec un maximum d'une fois et demie l'espace interquartile. Les valeurs au-delà sont considérées comme exceptionnelles.

17. Pour le doublet d'item A et B, et à la différence des autres items du test, 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 des meilleures performances.

RÉFÉRENCES

- Allain, J.-C. (1995). Séismes, éruptions volcaniques et intérieur de la Terre: conceptions d'élèves de huit à dix ans. *Aster*, 20, 43-60.
- Atwater, T. (2003). When the plate tectonic revolution met Western North America. In N. Oreskes (éd.), *Plate tectonics. An insider's history of the modern theory of the Earth* (p. 243-263). Boulder, CO: Westview Press.
- Bernard, P. (2003). *Qu'est-ce qui fait trembler la terre ?* Les Ulis: EDP Sciences.
- Bourdieu, P., & Wacquant, L. (1992). *Réponses*. Paris: Le Seuil.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble: La Pensée Sauvage.
- Celâl Sengör, A.-M.-C. (2005a). *Une autre histoire de la tectonique*. Paris: Fayard.
- Celâl Sengör, A.-M.-C. (2005b). *L'histoire de la Tectonique depuis les temps les plus reculés jusqu'à l'apparition de la tectonique des plaques: une étude épistémologique*. Cours au Collège de France. Disponible sur Internet: <http://www.cdf.u-3mrs.fr/sengor.html> (consulté le 19 janvier 2013).
- Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique*. Grenoble: La Pensée Sauvage.
- Chi, M. T. H. (1997). Quantifying qualitative analyses of verbal data: a practical guide. *Journal of the Learning Sciences*, 6(3), 271-315.
- Cometti, J.-P. (2008). Qu'est-ce qu'une règle? *Éducation et Didactique*, 2(2), 139-148.
- Dewey, J., & Byerly, P. (1969). The early history of seismometry (to 1900). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 59(1), 183-227.
- Earle, S. (2004). A simple paper model of a transform fault at a spreading-ridge. *Journal of Geoscience Education*, 52(4), 391-392.
- Engle, R. A., Conant, F. R., & Greeno, J.-G. (2007). Progressive refinement of hypotheses in video-supported research. In R. Goldman, R. Pea, B. Barron & S. J. Derry (éd.), *Video research in the learning sciences* (p. 239-254). Mahwah, N.J.: Erlbaum.
- Ercikan, K., & Roth, W. M. (2006). What good is polarizing research into qualitative and quantitative? *Educational Researcher*, 35(5), 14-23.
- Fleiss, J.-L. (1971). Measuring nominal scale agreement among many raters. *Psychological Bulletin*, 76(5), 378-382.
- Foucault, M. (1963). *Naissance de la clinique*. Paris: Presses Universitaires de France.
- France Télévision. (2004). *C'est pas Sorcier: à la découverte de la géologie*. Paris: France Télévision.
- Frodeman, R. (1995). Geological reasoning: geology as an interpretive and historical science. *Geological Society of America Bulletin*, 107(8), 960.
- Ginzburg, C. (2010). *Mythe, emblèmes, traces*. Lagrasse: Verdier.
- Goetz, C., Leurgans, S., Hinson, V., Blasucci, L., Zimmerman, J., Fan, W., Nguyen, T., & Hsu, A. (2008). Evaluating Parkinson's disease patients at home: utility of self-videotaping for objective motor, dyskinesia, and ON-OFF assessments. *Movement Disorders*, 23(10), 1479-1482.
- Gohau, G. (1990). *Une histoire de la géologie*. Paris: Le Seuil.
- Gould, S.-J. (1990). *Aux racines du temps*. Paris: Grasset.
- Leutenegger, F. (2000). Construction d'une « clinique » pour le didactique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 20(2), 209-250.
- Leutenegger, F. (2009). *Le temps d'instruire*. Berne: Peter Lang.
- Mercier, A. (2008). Pour une lecture anthropologique du programme didactique. *Education et Didactique*, 2(1), 7-40.
- Mercier, A., Schubauer-Leoni, M., & Sensevy, G. (2002). Vers une didactique comparée. *Revue française de pédagogie*, 141, 5-16.
- Ohlsson, S. (1996). Learning to do and learning to understand: a lesson and challenge for cognitive modeling. In P. Reiman & H. Spada (éd.), *Learning in Humans and Machine* (p. 37-62). Oxford: Pergamon.
- Orange, C., Beorchia, F., Ducrocq, P., & Orange-Ravachol, D. (1999). Réel de terrain, réel de laboratoire et construction de problèmes en sciences de la vie et de la Terre. *Aster*, 28, 107-129.
- Orange-Ravachol, D. (2012). *Didactique des sciences de la vie et de la terre*. Rennes: Presses Universitaires de Rennes.
- Raab, T., & Frodeman, R. (2002). What is it like to be a geologist? A phenomenology of geology and its epistemological implications. *Philosophy & Geography*, 5(1), 69-81.
- Reid, H. (1910). Permanent displacements of the grounds. In A. Lawson & H. Reid (éd.), *The Mechanics of the Earthquake, The California Earthquake of April 18, 1906, Report of the State Investigation Commission*, vol. 2 (p. 16-28). Washington, DC: Carnegie Institution of Washington.
- Santini, J. (2007). Jeux épistémiques et modélisation en classe ordinaire: les séismes au cours moyen. *Didaskalia*, 31, 47-83.
- Santini, J. (2009a). *Caractérisation de l'élaboration conjointe de la compréhension conceptuelle et des performances associées. Volcans et séismes au Cours Moyen*. Thèse de Sciences de l'éducation, Université Rennes 2, Rennes.
- Santini, J. (2009b). Les conceptions des élèves: des données empiriques aux résultats inférés. Questionner l'implicite d'un objet des didactiques à partir des conceptions du mécanisme sismique. In C. Cohen-Azria & N. Sayac (éd.), *Questionner l'implicite. Les méthodes de recherche en didactiques*, vol. 3 (p. 227-242). Villeneuve d'Ascq: Presses Universitaires du Septentrion.
- Santini, J. (2010). Les systèmes sémiotiques dans l'action conjointe en didactique. Une étude de cas en géologie à l'école élémentaire: la coupe d'un appareil volcanique.

- Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 2, 159-191.
- Santini, J. (2012). D'après vous, qu'est-ce qu'une tomate ? *Cahiers Pédagogiques*, 494. Disponible sur Internet : <http://www.cahiers-pedagogiques.com/spip.php?article7685> (consulté le 19 janvier 2013).
- Schubauer-Leoni, M.-L., & Leutenegger, F. (2002). Expliquer et comprendre dans une approche clinique/expérimentale du didactique ordinaire. In F. Leutenegger & M. Saada-Robert (éd.), *Expliquer, comprendre en sciences de l'éducation* (p. 227-251). Bruxelles : De Boeck.
- Sensevy, G. (1998). *Institutions didactiques*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Sensevy, G. (2008). Didactique comparée et générale. In A. Van Zanten (Dir.), *Dictionnaire de l'éducation* (p. 133-136). Paris : Presses Universitaires de France.
- Sensevy, G. (2009). Étude d'un enseignement de la lecture au cours préparatoire : esquisse d'articulation de divers types d'analyse. *Revue française de pédagogie*, 168, 38-58.
- Sensevy, G. (2011). *Le Sens du Savoir*. Bruxelles : De Boeck.
- Sensevy, G. (2012). Le jeu comme modèle de l'activité humaine et comme modèle en théorie de l'action conjointe en didactique. Quelques remarques. *Nouvelles Perspectives en Sciences Sociales*, 7(2), 105-131.
- Sensevy, G., & Quilio, S. (2002). Les discours du professeur. Vers une pragmatique didactique. *Revue française de pédagogie*, 141, 47-56.
- Sensevy, G., & Santini, J. (2006). Modélisation : une approche épistémologique. *Aster*, 43, 163-188.
- Sensevy, G., & Mercier, A. (Éd.). (2007). *Agir ensemble*. Rennes : Presses Universitaires de Rennes.
- 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 (éd.), *Agir ensemble* (p. 93-122). Rennes : Presses Universitaires de Rennes.
- Vernant, D. (1997). *Du discours à l'action*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Wilson, J. (1965). A new class of faults and their bearing on continental drift. *Nature*, 207(4995), 343-347.
- Wittgenstein, L. (2004). *Recherches philosophiques*. Paris : Gallimard.