



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

Jérôme Santini

► To cite this version:

Jérôme Santini. 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. RDST - Recherches en didactique des sciences et des technologies , 2010, 2, pp.159-191. 10.4000/rdst.319 . halshs-01162367

HAL Id: halshs-01162367

<https://shs.hal.science/halshs-01162367>

Submitted on 10 Jun 2015

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

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

Jérôme Santini

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

Avertissement

Le contenu de ce site relève de la législation française sur la propriété intellectuelle et est la propriété exclusive de l'éditeur.

Les œuvres figurant sur ce site peuvent être consultées et reproduites sur un support papier ou numérique sous réserve qu'elles soient strictement réservées à un usage soit personnel, soit scientifique ou pédagogique excluant toute exploitation commerciale. La reproduction devra obligatoirement mentionner l'éditeur, le nom de la revue, l'auteur et la référence du document.

Toute autre reproduction est interdite sauf accord préalable de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France.

revues.org

Revues.org est un portail de revues en sciences humaines et sociales développé par le Cléo, Centre pour l'édition électronique ouverte (CNRS, EHESS, UP, UAPV).

Référence électronique

Jérôme Santini, « 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 », *RDST* [En ligne], 2 | 2011, mis en ligne le 15 mars 2013, consulté le 05 décembre 2013. URL : <http://rdst.revues.org/319>

Éditeur : Éditions de l'École normale supérieure de Lyon

<http://rdst.revues.org>

<http://www.revues.org>

Document accessible en ligne sur : <http://rdst.revues.org/319>

Ce document est le fac-similé de l'édition papier.

© Éditions de l'École normale supérieure de Lyon

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.

Jérôme SANTINI

Université Nice-Sophia-Antipolis, ERTE DATIEF, IUFM Célestin-Freinet

RÉSUMÉ • Nous étudions un même système sémiotique graphique, une coupe verticale d'appareil volcanique conique, à partir de deux pratiques professorales choisies pour leur contraste. Nous analysons, puis nous comparons ces deux pratiques dans le cadre théorique de l'action conjointe en didactique. Nous montrons alors qu'elles diffèrent tant dans les usages des systèmes sémiotiques auxquels se trouvent confrontés les élèves que, concomitamment, dans les savoirs en jeu. Nous caractérisons ces différences dans une dialectique entre les notions de jeu d'apprentissage et de jeu épistémique. Notre étude de cas nous amène également à nous intéresser à la coupe verticale comme un objet du milieu. Nous analysons alors comment cette coupe peut fonctionner comme un objet du milieu didactique avec ses rétroactions.

MOTS-CLÉS • milieu, géologie, jeu, épistémique, sémiotique.

Dans cet article, nous présentons une étude de cas de séances d'enseignement de géologie dans deux classes de CM2 (grade 5). Avec cette étude de cas, nous cherchons à étudier les usages et les rôles des systèmes sémiotiques dans la classe. En effet, lors des séances que nous allons analyser, les deux professeurs fondent une partie de l'étude du volcanisme sur celle d'un système sémiotique graphique emblématique de la volcanologie : une coupe verticale d'un modèle d'appareil volcanique conique.

Notre première question de recherche concerne les usages effectifs de ce système sémiotique auxquels sont confrontés les élèves (et qu'ils sont donc susceptibles d'apprendre). Notre travail d'analyse consiste alors à caractériser ces usages et à rendre compte de leurs possibles différences. Pour ce faire, nous développons la notion de jeu épistémique au sein du cadre de la Théorie de l'action conjointe en didactique ou TACD (Sensevy & Mercier, 2007 ; Sensevy, 2008a).

Notre seconde question de recherche porte sur la place et le rôle du système sémiotique dans le milieu didactique de la classe. Nous cherchons alors à décrire

la manière dont un système sémiotique mis à l'étude comme un enjeu des apprentissages peut également fonctionner comme un objet du milieu didactique. Dans cette perspective, nous appréhendons la notion de milieu, initialement développée en didactique des mathématiques, au sein d'une approche comparatiste en didactique (Mercier, Schubauer-Leoni & Sensevy, 2002 ; Sensevy, 2008b) pour un usage en didactique des sciences de la Terre.

Avant de procéder à l'étude de cas elle-même, nous présentons brièvement les éléments théoriques de la TACD que nous utilisons pour l'analyse.

1. Éléments théoriques

Le fondement de la TACD est d'appréhender comme une action conjointe les actions didactiques de l'instance élève et de l'instance professeur. La TACD mobilise alors la notion de jeu afin de rendre compte de la grammaire (au sens de Wittgenstein, 1953-2004), c'est-à-dire des règles constitutives, de cette action conjointe.

1.1. Jeu didactique et jeux d'apprentissage

Par l'utilisation contrastée du singulier « jeu didactique » et du pluriel « jeux d'apprentissage », nous voulons mettre en exergue, dès le titre de cette partie, le caractère générique du jeu didactique et celui, spécifique, de son actualisation dans des jeux d'apprentissage pour des savoirs particuliers.

Le jeu didactique

Dans la TACD, nous considérons les actions du professeur et des élèves dans la classe comme participant d'un *jeu didactique* (Sensevy, 2007). Ce jeu didactique est alors organiquement coopératif entre l'instance professeur et l'instance élève, mais également dissymétrique. Coopératif car, dans un tel jeu, le joueur E (l'instance élève) gagne s'il produit raisonnablement de lui-même les stratégies gagnantes relatives aux savoirs en jeu et le joueur P (l'instance professeur) gagne à son tour en seconde main lorsque le joueur E gagne en première main. Pour ce faire, P ne peut raisonnablement dévoiler à E, outre mesure, les stratégies gagnantes à mettre en œuvre, sous peine de le priver de son gain, c'est-à-dire de s'approprier les savoirs visés. C'est ce que Sensevy (*op. cit.*) nomme la *réticence didactique* dans une acception vieillie du terme de réticence comme omission volontaire. Le jeu didactique est également dissymétrique car P et E sont, par essence, inégaux face aux savoirs en jeu mais également car c'est P qui décrète le gain de E. Le joueur P occupe ainsi une position où il est à la fois juge et partie.

Ainsi, la TACD appréhende les interactions didactiques comme des *transactions* entre P et E à propos des savoirs en jeu. En effet, envisager l'action didactique comme une action conjointe entre P et E nécessite de référer systématiquement l'action de l'un des deux à celle de l'autre. Le préfixe *trans-* signifie alors que l'action didactique prend sa forme, pour le professeur « à travers » l'élève, et, pour l'élève, « à travers » le professeur. Ce préfixe doit donc inciter celui qui décrit l'action

didactique du professeur ou de l'élève à chercher son « complément » dans l'action de l'autre afin de mieux les comprendre.

Les jeux d'apprentissage

Dans le cours d'un jeu didactique, un didacticien peut découper une « succession de moments à la fois connexes et clos sur eux-mêmes » (*ibid.*) caractérisés par de nouveaux enjeux de savoir. Ces moments sont des jeux, au sens précédent de jeu didactique, produits par « la nécessité d'avancer dans l'apprentissage » d'où leur désignation sous la notion de *jeu d'apprentissage* (*ibid.*). Le travail d'analyse permet alors de caractériser les règles définitoires d'un jeu d'apprentissage (comment joue-t-on ?), ses règles stratégiques (comment gagne-t-on ?) ainsi que les stratégies possibles ou effectives (que fait-on ici et maintenant ?).

La dialectique contrat-milieu

Un jeu d'apprentissage peut également être caractérisé avec les notions de contrat et de milieu didactiques (Brousseau, 1998 ; Sensevy, *op. cit.*). La notion de contrat didactique rend compte du système d'attentes réciproques entre le professeur et les élèves à propos du savoir ; la notion de milieu du système de possibles et de nécessaires qui constitue l'environnement à la fois matériel et symbolique de l'action didactique. La dynamique d'un jeu d'apprentissage se comprend alors dans une *dialectique contrat-milieu* (Sensevy, *op. cit.*). Ainsi, dans sa production de stratégies gagnantes, l'élève peut s'orienter grâce à ce qu'il perçoit des attentes du professeur, c'est-à-dire au contrat, ou grâce aux rétroactions fournies par les objets du milieu, ou, le plus souvent, dans un mixte, plus ou moins équilibré, des deux.

Un triplet de genèses des systèmes didactiques

Nous utilisons également un triplet de descripteurs théoriques solidaires : la chronogénèse, la topogénèse et la mésogénèse (Chevallard, 1991 ; Sensevy, *op. cit.*). La *chronogénèse* décrit le fonctionnement du temps didactique, c'est-à-dire l'avancée des savoirs dans la classe. La *topogénèse* décrit les responsabilités prises par le professeur et par les élèves quant aux savoirs en jeu. La *mésogénèse* décrit la construction du milieu, ou de la succession des milieux, dans la classe.

1.2. Le milieu en didactique des SVT

Historiquement, la notion de *milieu* a été développée au sein de recherche en didactique des mathématiques (Brousseau, 1998). Nous mobilisons cette notion en didactique des sciences en considérant, à la suite de Sensevy (2008b), que « quelle que soit la discipline, il y a intérêt scientifique à pouvoir désigner ce qui, dans l'environnement cognitif et matériel au sein duquel évolue l'élève, lui résiste adéquatement (c'est-à-dire de manière à favoriser le projet d'enseignement du professeur), en lui permettant par là même une forme d'émancipation du contrat didactique et de ses habitudes conjointes » (p. 135). Notre intérêt est alors d'avoir un usage de la notion de milieu qui nous permette de rendre compte, et de manière appropriée, de ce type de résistances en didactique des sciences. Pour ce faire, nous

appréhendons la notion de milieu à partir de la distinction spécifique/générique, distinction qui est au cœur de l'approche comparatiste en didactique (Mercier, Sensevy & Schubauer-Leoni, *op. cit.* ; Sensevy, *op. cit.*). Ainsi, à un niveau spécifique, il nous faut retravailler la notion afin de l'aménager à un usage avec les savoirs en SVT. Nous allons commencer par expliciter ce que veut dire, selon nous, qu'un milieu résiste à l'action de l'élève.

Le milieu résiste à l'action de l'élève

Un jeu d'apprentissage s'actualise dans un système d'objets, matériels ou symboliques, qui vont constituer le milieu didactique. Dire que l'un de ces objets du milieu résiste à l'action de l'élève c'est, pour nous, considérer, avec l'épistémologue Fleck (1934-2005), que cet objet « exerce sur la pensée la plus grande force de contrainte possible tout en permettant le moins d'arbitraire de pensée possible » (p. 171). Un milieu didactique peut alors être caractérisé par 1) la présence (ou l'absence) d'objets, 2) sa densité en objets, 3) la plus ou moins grande résistance de ces objets ainsi que 4) les possibles et les nécessaires que cette résistance détermine. Lors du déroulement du jeu d'apprentissage, en fonction de ses caractéristiques, le milieu va fournir à l'élève des résistances qui peuvent lui permettre de réguler son action.

Sensevy (1998) distingue les rétroactions causales et les rétroactions rationnelles du milieu. Les rétroactions causales fournissent des causes : quand un élève exécute telle action concrète, il se passe tel événement, et cet événement valide ou invalide directement la stratégie mise en œuvre par l'élève. L'événement est alors cause directe de validation ou d'invalidation. C'est, par exemple, le ressort de la situation de l'agrandissement du puzzle (Brousseau, *op. cit.*) : si l'élève agrandit correctement les pièces, elles s'emboîtent et forment le puzzle ; dans le cas contraire, elles ne s'emboîtent pas. Les rétroactions rationnelles fournissent des raisons : tel énoncé est valide parce qu'il est possible d'établir un argument rationnel garanti par tel ou tel objet du milieu. Nous avons étudié un cas où les élèves se réfèrent, comme raison d'un argument, à un article de journal pour affirmer qu'il existe des séismes qui ne sont pas catastrophiques et que ce n'est donc pas caractéristique du concept de séisme (Santini, 2007).

En outre, ces deux exemples montrent comment le milieu didactique peut résister de deux manières différentes : il peut résister en empêchant l'action de l'élève (les pièces du puzzle ne s'emboîtent pas) et il peut résister comme appui pour l'action de l'élève (la coupure de presse vient étayer l'assertion sur les caractéristiques d'un séisme).

Généricité de la notion

La notion de milieu didactique a été travaillée et mobilisée dans de nombreux travaux en didactique. Dans un article récent, Amade-Escot et Venturini (2009, p. 26) dégagent trois points de convergence dans les recherches menées : 1) le milieu n'est pas un donné mais un construit, 2) le milieu est co-construit par le professeur et les élèves et 3) il n'y a pas un milieu unique mais des milieux qui peuvent se succéder ou co-exister dans une classe à un moment donné.

Si nous reprenons ces trois points de convergence, le premier d'entre eux rend sensible au « processus évolutif » (*ibid.*) de construction d'un milieu, la mésogénèse, et met en garde contre une naturalisation abusive de cette construction. En effet, la simple présence d'un objet dans le milieu ne suffit pas pour qu'il soit reconnu comme tel par les acteurs du système didactique.

Comme deuxième point de convergence, Amade-Escot et Venturini notent que le processus mésogénétique « relève d'une action conjointe du professeur et des élèves » (*ibid.*). Cette co-construction du milieu par les acteurs du système didactique est, pour nous, un élément essentiel de la compréhension du déroulement effectif des jeux d'apprentissage.

Enfin, ces deux auteurs relèvent comme convergence l'idée d'une « émergence au fil des interactions didactiques de plusieurs milieux » (*ibid.*). Ainsi, au fur et à mesure du déroulement d'un jeu d'apprentissage, les milieux se succèdent, mais ils peuvent également se juxtaposer lorsque les acteurs du système didactique évoluent dans des milieux différents.

Spécification de la notion aux SVT

Par-delà les convergences, Amade-Escot et Venturini (*ibid.*) relèvent une divergence sur une définition du milieu comme « système antagoniste du système enseigné » (Brousseau, *op. cit.*, p. 93). C'est notamment le cas en didactique des SVT et nous considérons, à la suite d'Orange (2007), qu'envisager la notion de milieu dans sa seule valence antagoniste est alors problématique. En effet, Orange montre qu'il n'existe pas en SVT de situation comparable à celle de l'agrandissement du puzzle (telle que décrite plus haut). Ceci tient au fait que le milieu en SVT « ne permet pas à l'élève de décider de lui-même de la validité de son travail » (*op. cit.*, p. 46) comme le permet l'emboîtement des pièces du puzzle. La seule notion d'antagonisme ne peut donc rendre compte du fonctionnement du milieu lors des apprentissages scientifiques. En SVT, le milieu joue alors le rôle de « lieu pour le travail sur le texte des savoirs par la classe » (*op. cit.*, p. 50) dans lequel les élèves vont rencontrer, ou non, une plus ou moins grande résistance (au sens défini plus haut) des objets matériels et symboliques qui construisent ce milieu. En ce sens, le milieu en SVT est davantage le « contexte cognitif de l'action » (Sensevy, *op. cit.*) qu'un milieu antagoniste *stricto sensu*. Dans cette perspective, Orange propose alors d'étudier la « physiologie » du milieu : « Comment fonctionne-t-il ? Quelles sont ses entrées et ses sorties ? Que produit-il ? » (*op. cit.*, p. 53). Ce questionnement nous apparaît également essentiel. D'ailleurs, nos questions de recherche présentées en introduction nous semblent participer de ce questionnement.

1.3. Jeu épistémique, compréhension conceptuelle et jeu d'apprentissage

Au sein de la TACD, nous appréhendons la compréhension conceptuelle avec la notion de *jeu épistémique* (Loquet, 2009 ; Santini, *op. cit.*, 2009) : comprendre un concept, c'est être capable d'agir dans un certain nombre de jeux épistémiques qui le mettent en jeu, et des jeux d'autant plus heuristiques que la compréhension de ce

concept est fine. Dans la classe, les élèves ne sont pas confrontés directement à des jeux épistémiques mais à des jeux d'apprentissage dont la référence, explicitement ou non, est constituée par des jeux épistémiques. Les jeux d'apprentissage rendent compte de « l'ici et maintenant » de la classe et les jeux épistémiques rendent compte d'usages culturels des savoirs. La caractérisation de jeux épistémiques nous sert alors d'*objet de comparaison* pour décrire et analyser les jeux d'apprentissage.

Prenons l'exemple du concept de volcanisme. Nous pouvons énoncer une grande variété de jeux épistémiques mettant en jeu le concept de volcanisme : argumenter sur la nature volcanique d'une roche, mesurer la température d'une coulée de lave, déterminer la composition d'un magma, expliquer le mécanisme éruptif d'un volcan, analyser une lame mince¹ de lave, etc.

Cependant, ces différents jeux ne nécessitent pas une compréhension conceptuelle égale du phénomène volcanique. Ainsi, un géologue amateur peut aisément argumenter la différence entre une roche volcanique et une roche sédimentaire². À l'inverse, il faut toute la compréhension fine d'un volcanologue pour analyser une lame mince de lave, telle que celle de la figure suivante, et en inférer des éléments d'un modèle.



Figure 1. Lame mince de la lave constitutive du dôme de Cerro Chiquito, Guatemala
(© Bardintzeff J.M., Dunod, 2006, p. 62)

- 1 En géologie, une lame mince est un « échantillon de roche aminci jusqu'à le rendre transparent afin d'en permettre l'observation en lumière transmise au microscope optique (généralement au microscope polarisant) » (Foucault & Raoult, 2005, p. 192).
- 2 Ce qui peut sembler trivial aujourd'hui, mais qui n'a pas toujours été le cas d'après Gohau : « En fait, la première querelle portait sur l'origine du basalte, qu'on sait aujourd'hui être une lave volcanique, mais que l'on crut d'abord de nature sédimentaire. Ceux qui s'opposaient sur ce problème reçurent les noms de neptunistes et de vulcanistes, suivant qu'ils évoquaient la sédimentation, domaine de Neptune, ou la montée profonde, domaine de Vulcain » (1990, p. 104).

Le volcanologue Bardintzeff commente ainsi cette photographie de lame mince : « L'échelle de la lame mince montre un contact sinueux entre les deux phases : dacite porphyrique (au-dessus) et enclave andésito-basaltique doléritique (en dessous) » (*ibid.*). Il infère de ce contact un modèle de volcan soit à deux chambres magmatiques soit à une chambre magmatique avec refusion du magma.

Ce dernier exemple de jeu épistémique nous permet alors de mettre en exergue la nécessité d'un rapport réglé de l'acteur à un système sémiotique – la lame mince analysée avec un microscope polarisant³ – pour être capable d'agir dans ce cas. Ce système sémiotique joue ainsi un rôle essentiel dans la conceptualisation du phénomène volcanique et sa modélisation. En l'absence d'un rapport adéquat, le jeu épistémique d'analyse d'une lame mince de lave ne peut être mené à bien. Du point de vue de la TACD, c'est alors l'étude des transactions didactiques, qui président à l'établissement de ce rapport, qui va nous intéresser.

En définitive, décrire et analyser les transactions didactiques observées comme participant d'un jeu d'apprentissage, nous permet d'explicitier « l'ici et maintenant » de l'action didactique, ses moyens et ses enjeux. Dans un second mouvement, caractériser les jeux épistémiques à partir de l'analyse de ces jeux d'apprentissage nous permet de rendre compte de l'agir qui sert de référence, explicitement ou non, à ces mêmes transactions didactiques. C'est alors la mise en dialectique des jeux d'apprentissage et des jeux épistémiques ainsi caractérisés qui nous permet de penser la manière dont les élèves sont susceptibles de s'approprier un certain type de compréhension des concepts scientifiques – comme un système d'usages des savoirs en jeu – plutôt qu'une autre. Toutefois, nous considérons également, avec le phénomène de transposition didactique (Chevallard, *op. cit.*), que les jeux d'apprentissage des classes de CM2 de notre étude de cas ne vont pas confronter les élèves directement aux jeux épistémiques experts des volcanologues. Notre perspective est descriptive et consiste ainsi à spécifier les jeux épistémiques que le déroulement effectif des jeux d'apprentissage actualise. Cette analyse didactique est en particulier étayée par une analyse des savoirs géologiques que nous présentons avec la partie suivante.

2. Analyse des savoirs volcanologiques à l'école primaire

Notre analyse des transactions didactiques, et des savoirs effectivement enseignés, s'outille d'une analyse des savoirs géologiques à enseigner. Pour ce faire, nous utilisons un outil d'analyse, une *grille*, développé par Buty, Tiberghien et Le Maréchal (2004). Ces auteurs développent cet outil à partir d'un positionnement épistémologique qui place la modélisation au cœur de la construction des savoirs en physique et en chimie. Nous partageons en géologie, d'où notre choix de cet outil. Nous appréhendons l'activité de modélisation comme la mise en relation du conceptuel et de l'empirique (Sensevy & Santini, 2006), ce que Buty *et al.* décrivent respectivement comme le

3 Un microscope polarisant va teinter différemment certains minéraux selon les réglages de l'expérimentateur. Ces teintes, en plus de la forme des cristaux, sont autant de signes pour le géologue.

monde des théories et des modèles et le monde des objets et des événements. Nous considérons alors, à la suite de ces auteurs, que « la compréhension se construit par des relations entre des éléments de savoir » (Tiberghien *et al.*, 2007, p. 97) de ces deux mondes, mais aussi à l'intérieur de ces deux mondes.

Nous commençons par une première analyse de la transposition didactique de la volcanologie au cycle 3 à partir des documents officiels de l'école primaire, d'un ouvrage de référence de biologie et géologie pour les enseignants du premier degré (Tavernier & Lamarque, 2006) et d'un ouvrage de référence universitaire (Bardintzeff, *op. cit.*). Avec cette analyse, nous caractérisons les savoirs géologiques en jeu dans l'enseignement de la volcanologie au cycle 3 de l'école primaire et les éléments de conceptualisation attendants. Par exemple, lorsque Tavernier et Lamarque désignent comme l'une des « notions visées à l'école élémentaire » (*op. cit.*, p. 408) le fait que le magma se compose de « roches en fusion situées en profondeur » (*ibid.*), nous remontons au savoir savant avec le concept de fusion partielle du manteau avec Bardintzeff (*op. cit.*, p. 7-16). Nous résumons ce premier travail d'analyse de transposition didactique avec le tableau suivant⁴.

Savoirs transposés à l'école primaire	Éléments de conceptualisation attendants
Un volcan est le lieu de sortie du magma	Remontée du magma par densité
Le magma (la lave) est de la roche fondue contenant du gaz	Fusion partielle, dissolution des gaz
La lave est un magma qui atteint la surface	Dégazage du magma
Les éruptions sont de type explosif ou effusif	Viscosité du magma, pression des gaz dissous
Un cône volcanique est formé de roches volcaniques	Solidification de la lave liquide
L'activité d'un volcan est intermittente et finie	Stockage du magma dans un réservoir
La répartition des volcans correspond en partie aux limites des plaques tectoniques	Volcanisme de subduction, volcanisme de dorsale

Tableau 1. Savoirs et conceptualisation en volcanologie au cycle 3 de l'école primaire

Ce tableau nous sert de base pour construire la colonne des savoirs à enseigner de la grille ci-après (tableau 2). Pour la première colonne, ce qui a déjà été appris, remarquons que le cycle 3 marque le début de l'enseignement de la géologie et, en conséquence, au sens strict, rien n'a déjà été appris à ce niveau sur le volcanisme. Cependant, la *fiche connaissances* « manifestations de l'activité de la Terre » (MEN, 2002, p. 41), en vigueur au moment de notre étude, indique comme « réinvestissements, notions liées » les deux fiches intitulées « états de la matière et changements d'état » et « mélanges et solutions ». Quant à la deuxième colonne, ce qui est déjà connu du quotidien, nous nous appuyons sur le travail d'Allain (1995).

⁴ La construction de ce tableau nous permet de faire remarquer que le volcanisme des points chauds n'est pas abordé en tant que tel. Ceci ne veut pas dire que les volcans issus de points chauds ne sont pas évoqués à l'école primaire mais plutôt que la localisation de ces volcans au sein des plaques tectoniques n'est pas un enjeu à ce niveau du curriculum.

	Déjà appris	Déjà connu du quotidien	A enseigner (volcanologie)
Théorie/modèle	La matière se présente sous trois états : solide, liquide et gazeux. La matière peut changer d'état. La température est un facteur du changement d'état. Un gaz peut être dissous dans un liquide.	Un volcan est une montagne émettant des laves. Un volcan a la forme d'une montagne. Les produits volcaniques ont une chaleur extrême.	Un volcan est le lieu de sortie du magma. Le magma (la lave) est de la roche fondue contenant du gaz. La lave est un magma qui atteint la surface. Les éruptions sont de type explosif ou effusif. Un cône volcanique est formé de roches volcaniques. L'activité d'un volcan est intermittente et finie. La répartition des volcans correspond en partie aux limites des plaques tectoniques.
Relations entre th./mod. et obj./évⁿ	La glace et l'eau liquide sont le même corps. Un corps est plus froid à l'état solide qu'à l'état liquide, et vice-versa (hors du changement de phase). Les bulles d'un liquide contiennent du gaz.	L'extrême chaleur est la cause des dégâts.	La lave liquide se solidifie en roches spécifiques. Les trous de ces roches sont les traces des gaz dissous. Le gaz fait monter le magma. La quantité de gaz est un facteur du type d'éruption. La viscosité du magma est un facteur du type d'éruption. Le cône se forme par accumulation lors des éruptions. Le magma sort par des fissures de la croûte terrestre. Les différents stades d'activité volcanique se succèdent dans le temps.
Objets/événements	Glace <=> eau liquide. Thermomètre. Relevés de températures. Soda, eau gazeuse.	Dégâts liés au volcanisme. Articles, photographies, reportages.	Roches volcaniques. Températures de laves. Ébullition de l'eau. Dégazage brusque d'une bouteille de soda chaud. Volcans à différents stades (actif, inactif, éteint). Films d'éruption explosive/effusive. Animations ou modèles réduits (volcans, convection). L'écorce terrestre est solide (analogie modélisante terre/œuf). Cartes du volcanisme.

Tableau 2. Grille d'analyse des savoirs volcanologiques au cycle 3 de l'école primaire

Selon le contexte, il est tout à fait légitime de considérer qu'un même énoncé de ce tableau puisse être considéré, alternativement, comme un élément de la catégorie théorie/modèle, relation entre théorie/modèle et objets/événements, ou objets/événements. En effet, un énoncé tel que « les éruptions sont de type explosif ou effusif » peut référer à une modélisation des éruptions, à la relation à établir entre le phénomène éruptif et les produits volcaniques ou à des événements éruptifs.

Afin de déterminer où placer un tel énoncé dans notre grille, nous nous inspirons de l'*analyse ascendante des savoirs* (Mercier, 2008). Il s'agit alors pour nous de partir des savoirs à enseigner, tels qu'ils sont énoncés dans les programmes officiels et dans un ouvrage qui fait autorité à l'école primaire (Tavernier & Lamarque, *op. cit.*), pour reconstruire dans notre grille les savoirs géologiques qui servent de référence, dans le but de « comprendre quels savoirs transposés trouveront à vivre » (Mercier, *op. cit.*, p. 12) dans les séances observées.

À titre d'exemple, citons l'énoncé suivant noté comme l'une des « notions visées à l'école élémentaire » par Tavernier & Lamarque : « Il existe différents types d'éruptions volcaniques : certaines sont explosives, d'autres ne présentent que des coulées » (*op. cit.*, 408). Cet énoncé comprend un élément de modélisation des éruptions en deux types (cf. tableau 2 : les éruptions sont de type effusif ou explosif). Dans la classe, cette modélisation peut vivre à partir de l'étude de films d'événements éruptifs particuliers (*op. cit.*, p. 406 ; cf. tableau 2 : films d'éruption

explosive/éruptive). Tavernier & Lamarque proposent alors de comprendre le type explosif par analogie avec le dégazage brusque d'une bouteille de soda chaud (*op. cit.*, p. 405). Dans cette analogie, les bulles du soda chaud sont au liquide comme les gaz dissous sont au magma d'une éruption explosive. C'est leur quantité qui entraîne le soda qui déborde soudainement ou le magma qui est projeté dans les airs. La relation à construire entre types éruptifs et la présence de gaz dans un magma est alors d'ordre quantitatif (cf. tableau 2 : la quantité de gaz est un facteur du type d'éruption⁵). C'est de ce type d'analyse des savoirs, dont rend compte le tableau 2, qui vient armer notre étude de cas de la partie suivante.

3. Étude de cas : la coupe d'un modèle d'appareil volcanique

3.1. Prolégomènes

Nous présentons ici les éléments nécessaires à la compréhension de l'étude de cas. Cette étude de cas est issue de notre travail de thèse en didactique des Sciences de la Terre au Cours Moyen de l'école élémentaire.

Éléments méthodologiques

Nous situons notre travail dans une *approche clinique/expérimentale du didactique ordinaire* (Schubauer-Leoni & Leutenegger, 2002) dans une posture de *chercheur-praticien* (Sensevy, 1998). Notre étude se déploie dans trois classes de CM2 (professeurs P1, P2 et P3), et notre propre classe de CM1/CM2 (professeur P4), sur une séquence complète d'enseignement de géologie comprenant volcans, séismes et une reprise des deux phénomènes dans une amorce de la tectonique des plaques, ce qui représente une quarantaine de séances au total. Notre choix d'un recueil de données de séquences d'enseignement complètes – évaluations des professeurs comprises – résulte d'une volonté d'étudier des séances qui ne soient pas des séances « héroïques » mais des séances plongées dans les contraintes et les attentes de l'institution scolaire auxquelles doivent répondre les professeurs.

Les données recueillies sont de différentes natures : 1. des entretiens avec les professeurs (entretien anté-séquence, entretien d'auto-analyse et entretien d'analyse croisée), 2. les films des séances des quatre professeurs réalisés en auto-filmage, 3. les documents utilisés par les professeurs en classe et pour leur préparation, 4. les productions d'élèves à caractère public dans les séances, et 5. les productions des élèves à un pré-test et un post-test.

Nous conduisons nos analyses de corpus à différentes échelles de temps (Tiberghien *et al.*, *op. cit.*), du macrodidactique au microdidactique, et en établissant des liens entre ces différents niveaux d'analyse. Ces différentes analyses s'adossent à notre analyse des savoirs volcanologiques à l'école primaire présentée avec la partie 2 de cet article.

5 Lors d'une éruption, la viscosité du magma joue davantage que la quantité de gaz comme détermination du type éruptif.

Notre première analyse des données filmiques est un découpage du cours de l'action didactique en jeux d'apprentissage. Nous menons cette analyse en utilisant le logiciel Transana (2010), au-delà de sa fonction première d'aide à la transcription, comme un outil d'organisation d'une base de données filmiques, en particulier grâce à l'insertion de repères temporels. Nous découpons ainsi des jeux d'apprentissage à partir de l'analyse des changements d'enjeux de savoir ou de règles définitoires dans le cours de l'action didactique, en insérant des repères temporels dans nos données filmiques. À une échelle de temps plus grande, lorsqu'au cours du travail d'analyse, plusieurs jeux d'apprentissage présentent une cohérence thématique dans les savoirs visés, nous les subsumons sous un même thème de la même manière que, au théâtre, un acte regroupe plusieurs scènes.

Nous caractérisons ensuite des jeux épistémiques à partir de l'analyse des jeux d'apprentissage. Nous qualifions ces jeux épistémiques d'*émergents* de l'action didactique car nous les spécifions à partir de l'analyse des pratiques étudiées. Dans cette analyse, nous utilisons la question directrice suivante : « *Quels sont les usages avec les savoirs dont les élèves peuvent se rendre capables s'ils réalisent la stratégie gagnante du jeu d'apprentissage ?* ». Ce sont alors les éléments de réponse que nous apportons qui nous permettent de décrire les jeux épistémiques émergents des jeux d'apprentissage. Enfin, nous affinons ces jeux épistémiques avec les descripteurs de densité et de spécificité épistémiques. La densité d'un jeu épistémique est fonction de la stratégie gagnante *a minima* à mettre en œuvre pour le mener à bien. Plus celle-ci est exigeante du point de vue des savoirs requis, plus la densité est élevée. Par ailleurs, plus ces savoirs sont attachés au champ de la connaissance en jeu, plus nous attribuons une grande spécificité au jeu épistémique analysé. Dans cet article, nous travaillons ces descripteurs des jeux épistémiques dans la partie 4.1.

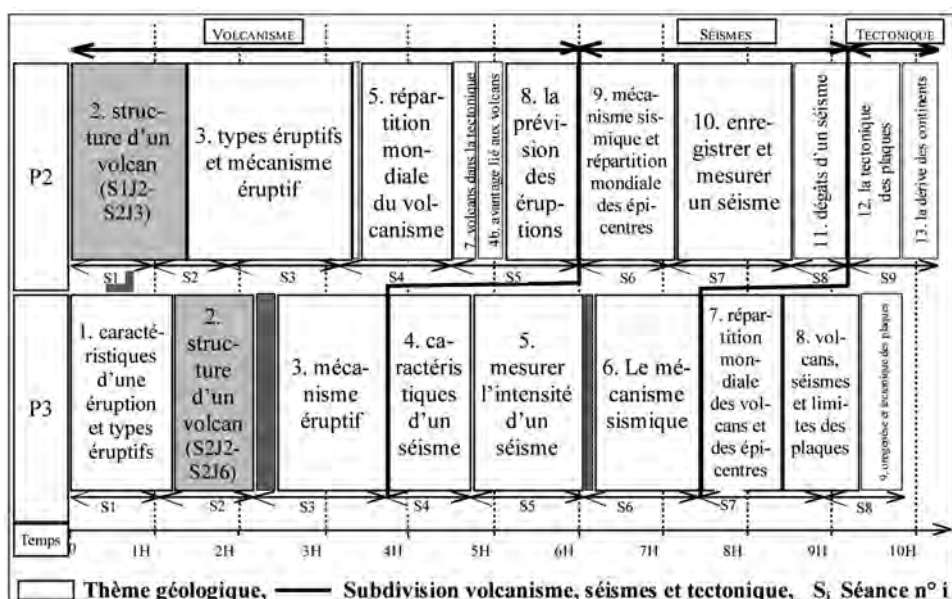
Présentation de l'étude de cas

Notre première analyse des données filmiques est une analyse inaugurale, dans le sens où elle vise à rendre compte de l'action didactique pour elle-même, sans autre orientation préalable. À l'issue de cette analyse inaugurale, nous caractérisons les pratiques de P2 et de P3 comme particulièrement contrastées, ce qui nous conduit à les choisir pour notre étude de cas. Nous résumons ci-dessous les résultats qui nous amènent à cette conclusion.

P2 est un professeur d'une dizaine d'années d'ancienneté, dont une moitié au cycle 3 dans son école actuelle. L'analyse montre que la majeure partie de la séquence d'enseignement de P2 est une exposition des élèves aux savoirs géologiques par des lectures de documents, parfois explicatives et associant les élèves, parfois uniquement magistrales, le plus souvent accompagnés de questions. Cette démarche « expositive » présente directement les modèles des objets géologiques étudiés et le particulier des phénomènes étudiés est rarement abordé. La pratique de P2 est une actualisation d'un *contrat didactique classique* (Brousseau, *op. cit.*) où le professeur dispense le savoir, les élèves l'appliquent et le professeur en évalue leur application.

P3 est un enseignant maître-formateur d'une vingtaine d'années d'ancienneté au cycle 3. Notre travail d'analyse nous permet de caractériser sa pratique comme une démarche inductive, mise en œuvre dans un enchaînement de type PHERIC⁶ où le questionnement initial du problème est posé à partir d'événements volcaniques singuliers avec une conclusion de plus grande généralité. Dans la construction du jeu didactique, cela se traduit par un air de famille pour les huit séances qui composent sa séquence. En effet, toutes sont bâties sur un châssis quaternaire avec 1) rappel de la séance précédente et question de départ, 2) travail de groupe pour produire une affiche, 3) débat dans la classe à partir des affiches disposées au tableau et 4) trace écrite lacunaire à compléter.

Afin de rendre compte des séquences d'enseignement de P2 et de P3 sous une taille raisonnable, nous produisons ci-après un chronogramme des thèmes géologiques (cf. figure 2) qu'ils mettent à l'étude. Notre étude de cas porte sur les jeux d'apprentissage pour lesquels la coupe verticale est un enjeu de savoir. Afin de les situer dans l'ensemble des séquences, nous les codons sous la forme SxJy, c'est-à-dire « Jeu numéro y de la séance numéro x », éventuellement complétée par Pz pour Professeur z. Ces jeux d'apprentissage (avec d'autres) font partie du thème « structure d'un volcan » en grisé sur le chronogramme. Nous présentons, à la suite, une vision synoptique de l'étude de cas avec le tableau 3.



6 Acronyme de Problème, Hypothèse, Expérience, Résultat, Interprétation et Conclusion.

7 À cette échelle, dans la séquence de P2, les thèmes « 1. pré-test », « 4a. avantage lié au volcanisme » et « 6. roche volcanique » ne sont pas visibles.

Ce chronogramme peut donner une idée de la variété des systèmes sémiotiques graphiques convoqués par P2 et P3 pour mettre à l'étude des phénomènes géologiques⁸. Parmi ceux-ci, nous centrons notre étude de cas sur une coupe emblématique de la volcanologie, celle, verticale, d'un modèle d'appareil volcanique conique. Le tableau suivant présente une vision synoptique de l'étude de cas. Le codage des jeux d'apprentissage les situe dans le thème « structure d'un volcan » sur la figure 2. De même, les extraits de transcriptions sont codés afin de permettre de les resituer, par la suite, d'une échelle d'analyse à l'autre.

	Jeu d'apprentissage	Jeu épistémique (avec le symbole [pour imbrication])	Code extrait	Organi- sation classe	Durée (mm:ss)	
P2	S1J5 – Colorier un schéma en coupe de volcan	Analyser une coupe verticale	A2	Groupe	6:34	32:29
	S2J1 – Rappel de la séance S1 et correction S1J5			Collectif	12:24	
	S2J2 – Compléter la légende du schéma de S1J5		B2	Groupe	8:27	
	S2J3 – Correction de S2J2			Collectif	5:04	
P3	S2J2 – Schématiser et légender une coupe de volcan	Décrire la structure interne d'un volcan avec une coupe	A3	Groupe	11:20	51:12
	S2J3 – Recopier l'affiche de son groupe			Individuel	9:34	
	S2J4 – Confronter les affiches	Critiquer les descriptions des pairs ⁹	B3 et C3	Collectif	12:27	
	S2J6 – Légender deux coupes muettes	Écrire la réponse à la question de départ		Collectif	17:51	

Tableau 3. Une vue synoptique de l'étude de cas

Ce tableau permet de mettre en évidence que le contraste des pratiques professorales de P2 et de P3 ne se dissout pas à un grain d'analyse plus fin. Bien au contraire, il se retrouve, à la fois, dans la succession des jeux d'apprentissage, construite par P2 et P3, et dans les jeux épistémiques émergents de leur action didactique. En

8 Dans notre recueil de données en classe, nous recensons :

- a) des coupes : appareil volcanique (verticale ou en bloc-diagramme), coupes de la structure concentrique de la Terre (d'un quartier ou du globe, en deux ou trois dimensions), mécanisme sismique avec propagation des ondes sismiques depuis le foyer (en deux dimensions ou en bloc-diagramme avec le rejet de la faille) ;
- b) des cartes : planisphères de la répartition mondiale du volcanisme actif, isoséistes, planisphères de la répartition mondiale des épicentres de séismes contemporains, une série de six planisphères paléogéographiques, des planisphères figurant les limites des plaques tectoniques (avec ou sans leur sens de déplacement) ;
- c) des tableaux : masques de tableau à remplir, degrés de l'échelle MSK, effets et fréquence des séismes en fonction de leur magnitude ;
- d) des schémas : sismographe, sismogramme, schémas (modestes) de synthèse de la tectonique des plaques expliquée par les courants de convection.

9 La formulation condensée de ce jeu épistémique ne doit pas faire oublier que les descriptions dont il est question sont des descriptions produites lors du jeu précédent, c'est-à-dire des descriptions de la structure interne d'un volcan avec une coupe.

particulier, il semble que les jeux épistémiques auxquels sont confrontés les élèves de P3 soient plus denses en savoirs géologiques, ainsi que plus spécifiques de ces savoirs, que le jeu épistémique qui sert de référence dans l'action didactique de P2. Une analyse plus fine des transactions didactiques des jeux d'apprentissage de P2 et de P3 doit nous permettre de caractériser plus avant les différents usages avec le système sémiotique de la coupe, qui sont susceptibles d'être appris par les élèves. C'est cette analyse que nous allons mener dans les deux sous-parties suivantes.

3.2. Le professeur P2

Dans la séquence de P2, quatre jeux d'apprentissage (S1J5, S2J1, S2J2 et S2J3) ont pour enjeu une même coupe verticale d'appareil volcanique. Cette coupe est intitulée « schéma d'un volcan en éruption » et est apprêtée pour être légendée.

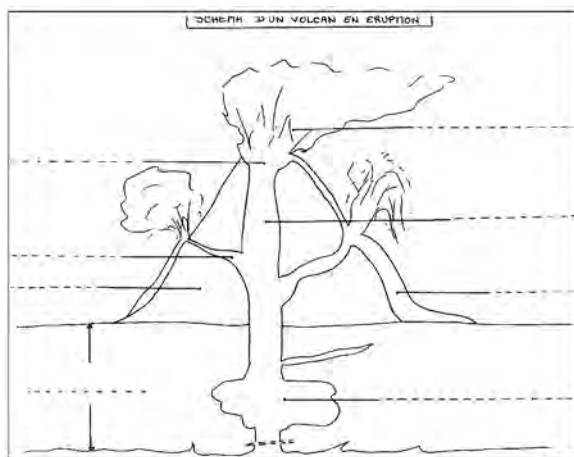


Figure 3. Coupe verticale d'appareil volcanique employée par P2

Au cours des deux premiers jeux d'apprentissage, la structure de l'appareil volcanique est coloriée selon un code et, dans les deux suivants, elle est légendée. Coloriage et légende sont organisés d'une manière similaire : le premier jeu est un travail de groupe dans lequel P2 suspend relativement son action didactique et le deuxième est un jeu de correction collective à partir d'une reproduction de la coupe sur le tableau de classe.

Colorier la coupe (S1J5P2 et S2J1P2)

Lors de S1J5, P2 donne pour consigne de colorier la coupe ci-dessus selon un code de couleurs : *la consigne c'est de colorier en rouge le magma et la lave + en jaune le cône volcanique et en marron la croûte terrestre* (Tdp 304)¹⁰. Quelques tours de parole plus loin, AN interpelle P2 dans l'extrait suivant.

10 Dans la transcription, les locuteurs sont désignés par P2 ou P3 pour les professeurs, deux ou trois lettres en majuscule pour un élève identifié et E pour un élève non-identifié. Le symbole + rend compte d'une pause dans l'énonciation de l'ordre de la seconde. Une pause de plusieurs secondes est marquée par ++ et une pause plus importante par +++ . Le code « Tdp » désigne « tour de parole ». Les tours de parole sont numérotés à partir du début de la séance.

Extrait A2

317-AN : *mais maître je ne comprends pas* [inaudible]

318-P2 : *tu ne comprends pas le dessin*

319-MAL : *ah mais ça y est j'ai compris*

320-P2 : *qu'est-ce qu'y a que tu comprends pas*

321-MAL : [en montrant sur le document d'AN] *c'est là le volcan là avec les traits là c'est ça hein*

322-P2 : *oui ça c'est le volcan*

323-MAL : *et ça c'est le dedans en fait*

324-P2 : *voilà*

325-MAL : *et ça c'est là et ben c'est ce qui est dehors*

326-P2 : *exactement*

327-AN : *et ça c'est quoi les petits* [inaudible]

328-MAL : *et ben c'est ce qui sort*

329-AN : *ça sort par là les*

330-P2 : [à la classe] *alors AN il me dit je ne comprends pas bien le schéma c'est le schéma de quoi comment ça s'appelle ça* [montre le document]

331-E : *un volcan*

332-P2 : *un schéma de volcan d'accord mais on dit qu'il est comment*

333-E : *en éruption*

334-P2 : *ça oui il est en éruption + est-ce que si je me balade dehors et que je vois un volcan je vais le voir comme ça*

335-E [plusieurs] : *non*

336-E : *éteint*

337-P2 : *alors qu'est-ce qui qu'est-ce qu'il a*

338-E : *on le voit de l'intérieur*

339-P2 : *on le voit de l'intérieur on dit qu'on le voit en coupe c'est comme si je l'avais coupé et que je vois l'intérieur alors euh le effectivement MAL nous a expliqué + que ça là [montre sur le document] c'était le volcan + et puis que ça là c'était l'intérieur + alors AN il me dit mais c'est quoi les machins là sur les côtés + qu'est-ce que c'est.*

Manifestement, AN n'arrive pas à distinguer dans la coupe l'aspect d'un volcan en éruption (Tdp 317). Dans les tours de parole qui s'ensuivent (Tdp 318 à 329), il est alors intéressant de remarquer que ce n'est pas P2 qui apporte lui-même, directement, les indications qui vont permettre à AN de s'orienter dans le système sémiotique, mais que c'est MAL soutenue par les encouragements du professeur.

P2 manifeste ainsi une certaine réticence didactique (cf. 1.1) et adopte une position topogénétique plus basse que celle qui consisterait à répondre directement lui-même. Ceci permet, par la suite, à P2 de réadresser à la classe, en racontant pour tous, l'épisode qui vient d'avoir lieu, et de définir l'interprétation de la coupe comme un enjeu de savoir (Tdp 330 à 339). Fort de la publicité de cet enjeu, P2 procède alors à une micro-institutionnalisation (Brousseau, *op. cit.*) du terme savant *coupe* ainsi que du procédé conceptuel qui permet d'obtenir une telle représentation d'un appareil volcanique *c'est comme si je l'avais coupé et que je vois l'intérieur* (Tdp 339).

En définitive, cet extrait montre comment une coupe verticale qui peut, à première vue, sembler triviale, n'est pas un système sémiotique immédiatement accessible, mais nécessite, au moins pour certains élèves, l'apprentissage d'une interprétation adéquate. Il s'agit non plus de voir (au sens de percevoir) une situation matérielle, mais de la construire avec le point de vue de la volcanologie. Cet apprentissage est celui d'un « voir comme », au sens de Wittgenstein (*op. cit.*), c'est-à-dire de se rendre capable de *voir* la coupe *comme* la structure interne d'un volcan sur l'arrière-fond d'un usage géologique. Si l'on suit Benoist (2006), cet arrière-fond est déterminant dans la notion de « voir comme ». Cela tient à la nature même du « voir comme » qui « n'est pas un voir simple + un interpréter (...) On ne « voit comme » que sur fond de certains usages » (*op. cit.*, p. 240-241). D'ailleurs, nous pouvons également remarquer comment P2 souligne la rupture avec l'expérience du quotidien *si je me balade dehors et que je vois un volcan* (Tdp 334). Ce faisant, P2 replace alors, en creux, le système sémiotique de la coupe dans son usage scientifique. Ainsi, l'apprentissage de l'interprétation de la coupe se double de celui d'un usage du monde différent de celui du quotidien.

Dès lors, si nous nous demandons maintenant de quels usages avec les savoirs peuvent se rendre capables les élèves de P2 s'ils réalisent la stratégie gagnante de S1J5, la réponse à une telle question n'a vraisemblablement pas trait au coloriage en lui-même. C'est ici une pratique sociale de décodage du système sémiotique de la coupe qui émerge du jeu d'apprentissage S1J5, ce qui nécessite de se placer dans un plan vertical ainsi que de faire des différents tracés les limites des éléments composant la coupe. En d'autres termes, le jeu épistémique émergent de S1J5 consiste à analyser une coupe verticale.

Lors de S2J1, P2 mène une correction collective du coloriage de la coupe qu'il a reproduite sur le tableau de la classe. L'action didactique de P2 continue ainsi à actualiser le jeu épistémique d'analyser une coupe verticale. Lors de cette correction, un élève connecte directement, avec la confirmation de P2, la chambre magmatique avec le noyau terrestre qui serait empli de lave. Pour le didacticien, cet extrait est un indice d'une conception *centrale* du volcanisme (Orange, 1995) partagée dans la classe par le professeur et les élèves. C'est ce que confirme l'analyse des séances de P2 et, notamment, l'extrait B2.

Légender la coupe (S2J2P2 et S2J3P2)

Pour S2J2, P2 donne comme consigne de légender la coupe à partir d'une liste de huit termes notée au tableau (cf. figure 4) Pendant que les élèves travaillent, P2 circule dans la classe et AN lui pose une question qui débute l'extrait suivant.

Extrait B2

507-AN : *à un moment il y a des petits ronds et après il y a deux flèches une en bas une en haut*

508-P2 : *oui c'est pour délimiter une profondeur +++ [à la classe] tout à l'heure il y a une chose qu'on n'a pas dit qu'on n'a pas dite on n'a pas dit là [montre sur la coupe du globe ; cf. figure 4 en haut à droite] on a le noyau et qu'est-ce que j'ai entre les deux*

509-E : [inaudible]

510-P2 : *et après*

511-E : [inaudible]

512-P2 : *voilà donc vous avez la croûte terrestre qui est là ++ [colorie la croûte terrestre en marron sur le petit schéma] ce qui fait que tout ce qu'on a colorié tout à l'heure en marron à peu près au niveau des pointillés [montre sur le grand schéma] si vous voulez là comme les pointillés ça marque la profondeur qu'on n'a pas ici + entre entre la croûte terrestre et puis là le magma on va avoir on va avoir le manteau [efface une partie du coloriage rouge] + il y a trois couches [montre sur le petit schéma] + c'est bon c'est fait + TH c'est pas ça le plus important le plus important c'est de marquer les mots*

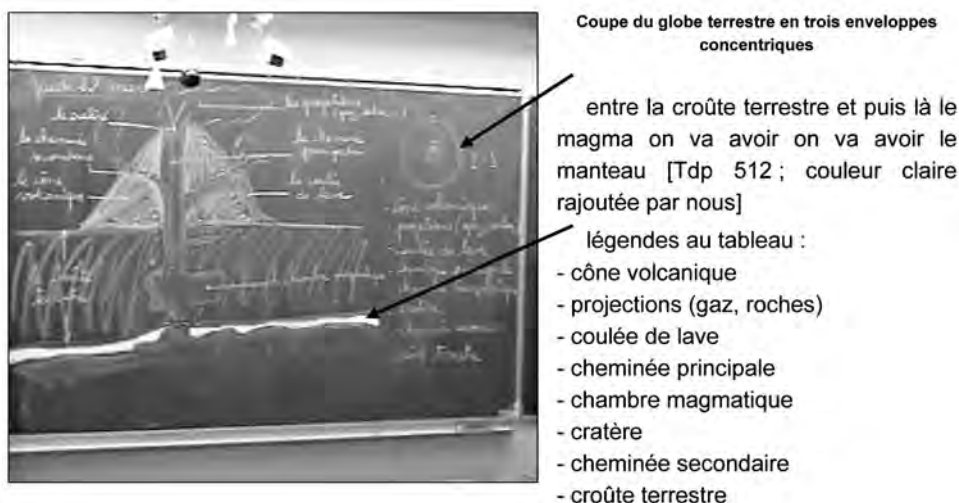


Figure 4. Tableau à l'issue du jeu d'apprentissage S2J3P2

Suite à la question d'AN, à laquelle il répond directement, P2 considère un instant la coupe d'appareil volcanique au tableau puis s'adresse à la classe pour pointer un oubli à partir d'une coupe du globe terrestre, également au tableau (Tdp 508). P2 fait rappeler aux élèves les trois enveloppes telluriques – noyau, manteau et croûte terrestre – à partir de ce schéma. Il revient ensuite sur la coupe d'appareil volcanique sur laquelle il désigne la croûte terrestre et la colorie (Tdp 512). P2 rappelle que les doubles pointillés sous la chambre magmatique figurent un espace manquant et il situe le manteau dans cet espace, en effaçant une partie du coloriage rouge sous la croûte (Tdp 512 ; cf. figure 4).

P2 confronte ainsi les élèves à une « résistance » (au sens défini plus haut) du système sémiotique qui serait l'impossibilité de ne pas légender une épaisseur de la coupe verticale, ce qui est usuellement le cas. La coupe fonctionne ici comme un objet du milieu dont P2 signale aux élèves une rétroaction rationnelle : le manteau doit se situer dans l'espace désigné *parce que* c'est l'espace qui n'est pas légendé entre la croûte terrestre et le manteau. La convention des doubles pointillés permet, en outre, de justifier les différences de proportion par rapport à celle du modèle de structure concentrique de la Terre (présent en haut à droite du tableau de la classe ; cf. figure 4). Tout ceci se déroule sur l'arrière-fond d'une conception centrale du volcanisme (Orange, *op. cit.*) qui fait référence dans la classe dès le jeu d'apprentissage S1J2¹¹. Cependant, si P2 s'appuie ici sur une rétroaction rationnelle du milieu, rien ne garantit que l'ensemble des élèves s'approprient cette rétroaction.

Ce faisant, P2 place le magma sous le manteau, c'est-à-dire dans le noyau. Il met ainsi en cohérence une coupe d'appareil volcanique, *a priori* exacte, avec une conception centrale du volcanisme erronée en interprétant les doubles pointillés comme le signe de l'épaisseur du manteau. Cet extrait nous permet de montrer comment un système sémiotique n'est pas scientifiquement exact en lui-même. Dans le cas de P2, cette interprétation va au-delà du système sémiotique originaire pour le mettre en cohérence avec la conception centrale du volcanisme qui fait référence dans la classe.

Enfin, lors de S2J2, la stratégie gagnante consiste à apparier, dans un plan vertical, les traits figurant les éléments représentés de la structure volcanique et la légende de la coupe donnée par le professeur. Gagner à un tel jeu, c'est développer un rapport réglé idoine avec une représentation emblématique de la volcanologie qui cristallise les savoirs géologiques. Ce faisant, S2J2 et, par extension, S2J3 qui en est la correction, prolonge l'actualisation du jeu épistémique d'analyser une coupe verticale entamée avec le coloriage de la coupe lors de S1J5 et S2J1. En définitive, notre analyse nous amène à conclure que c'est la succession de ces quatre jeux d'apprentissage qui actualise ce même jeu épistémique.

11 Lors de la séance précédant celle de l'étude de cas, P2 dessine au tableau une coupe du globe terrestre où il connecte directement un volcan avec le noyau.

3.3. Le professeur P3

Dans la séquence de P3, les élèves sont confrontés au système sémiotique graphique de la coupe d'appareil volcanique dans quatre jeux d'apprentissage lors de la deuxième séance (S2J2, S2J3, S2J4 et S2J6). Avec les deux premiers jeux, les élèves réalisent cette coupe sur une affiche (cf. figure 5). Les affiches sont ensuite confrontées lors du jeu suivant et, enfin, la coupe est institutionnalisée lors du quatrième de ces jeux.

Produire des affiches (S2J2P3-S2J3P3)

Lors de S2J2, les élèves produisent en groupe une affiche, au format A3, qui doit répondre à une question de P3 *que se passe-t-il dessous + sous la terre pour qu'on puisse voir ceci sur la terre* (Tdp 1). Avec cet énoncé, P3 veut dévoluer aux élèves le problème, qui consiste à savoir quelle structure de l'appareil volcanique permet d'obtenir un cône volcanique, tel que ceux étudiés lors de la séance précédente S1. Pour ce faire, P3 aménage le milieu pour équiper les élèves avec les éléments graphiques nécessaires à la réalisation d'une coupe verticale. Tout d'abord, il explique le procédé conceptuel qui permet d'obtenir une telle représentation d'un volcan *vous allez imaginer + qu'on a coupé notre volcan en deux avec un grand couteau + qu'on a coupé comme ça et qu'on voit à travers* (Tdp 1). Pendant son explication, P3 se sert d'une silhouette de volcan tracée au tableau pour situer, dans l'espace de la coupe, les espaces aérien et tellurique. Dans le cadre fourni par le tableau, l'espace aérien occupe le tiers supérieur et l'espace tellurique les deux tiers inférieurs. Cette disposition laisse ainsi un grand espace tellurique vide à remplir par les élèves sur leur affiche. Par ailleurs, P3 précise également la signification du trait horizontal qui sépare ces deux espaces *la surface de la terre moi je veux savoir ce qui se passe dessous* (Tdp 3). Enfin, il termine en demandant aux élèves de produire une légende (Tdp 7).

Avec ces premiers tours de parole, P3 définit le jeu d'apprentissage S2J2 de production d'une coupe verticale d'appareil volcanique. L'action didactique de P3 vise ainsi à confronter les élèves aux usages relatifs d'un tel système sémiotique particulier comme réponse au problème de la structure interne d'un volcan. Il aménage alors le milieu en conséquence et commence donc par occuper une position moyenne dans la topogenèse. Moyenne car P3 prend en charge le cadre graphique de la coupe mais conserve une posture de réticence didactique vis-à-vis des savoirs proprement volcanologiques en jeu. Avec cette partition épistémique particulière, P3 adopte une posture d'accompagnement des élèves dans un usage de la coupe comme outil de communication, comme peut le montrer l'extrait suivant.

Extrait A3 (cf. figure 5, affiche de MOR-MAH-MG-CLY)

24-P3 : *allez [à MAH] voilà mais tu as raison il faut que tout le monde soit d'accord*

25-MAH : *là y a de la terre y a cinquante centimètres de terre je crois*

26-CLY : *même plus*

27-E : *cinquante centimètres*

28-MAH : *cinquante mètres je crois*

29-P3 : *bon peu importe*

30-MAH : *après y a des braises*

31-P3 : *donc il faudrait*

32-MAH : *et après les braises*

33-P3 : *tu veux qu'on fasse la limite*

34-E : *oui*

35-P3 : *vas-y*

36-MAH : *on va faire ça et après*

37-CLY : *le volcan il a une poche de lave*

38-P3 : *ben vas-y allez elle est où cette poche tu la ferais où*

39-MAH : *on la fait là*

40-P3 : *est-ce que vous êtes d'accord*

41-CLY : *oui non moi je la, la poche de lave je l'aurais plus fait dans le volcan*

42-MG : *ben non parce que*

43-P3 : *et là c'est quoi alors*

44-CLY : *là ici on va faire le noyau*

45-P3 : *allez-y voilà le noyau de quoi*

46-MG : *le noyau de la Terre*

47-P3 : *d'accord alors allons-y ++ [à un E] qu'est-ce que c'est ce mot que je viens d'entendre*

48-CLY : *on le fait comme ça tu peux le faire comme ça le noyau*

49-P3 : *plus gros*

50-MAH : *[inaudible]*

51-P3 : *et là alors ça serait quoi il faut penser qu'est-ce que ça serait*

Dans cet extrait, les élèves progressent de la surface au noyau de la Terre pour structurer l'espace tellurique à l'aplomb du cône volcanique. Lors de cette descente, au fur et à mesure des tours de parole, les élèves mettent en jeu les termes *braises* (Tdp 32), *poche* (Tdp 37), *noyau* (Tdp 44) que P3 réemploie le tour de parole suivant,

dans la perspective de les représenter dans la coupe (Tdp 33, 38 et 45), mais sans statuer sur leur exactitude. P3 conserve ainsi sa posture d'accompagnement, initiée au début de S2J2, en limitant ses interventions à la représentation graphique des éléments géologiques énoncés par les élèves. En jouant en seconde main, P3 prend ainsi la responsabilité de laisser jouer les élèves en première main et les amène ainsi à se confronter, plus expressément, à la production d'un système sémiotique que dans le cadre d'un contrat didactique classique.

Cet extrait nous éclaire également sur le jeu épistémique émergeant du jeu d'apprentissage S2J2. Avec la production d'une coupe verticale de volcan, il émerge de l'action didactique de P3 un jeu épistémique qui consiste à décrire la structure interne d'un volcan avec une coupe. Pour gagner à ce jeu épistémique, il faut établir une relation entre l'émission de la lave à la surface et le trajet du magma dans l'appareil volcanique schématisé. Évidemment, un tel schéma peut présenter des degrés très divers de complexité selon le nombre d'éléments structuraux, voire d'étapes, pris en compte. La stratégie gagnante consiste à établir, *a minima*, une relation entre une origine interne du magma avec le lieu de sortie de la lave au sein d'une structure de l'appareil volcanique.

Quand nous considérons les productions des élèves (cf. trois exemples, figure 5), nous constatons que toutes reprennent les outils sémiotiques introduits par P3 : la silhouette de volcan, les espaces aérien et tellurique, délimités par un trait représentant la surface, ainsi qu'une légende. Toutes sont également des réponses au problème de la structure interne du volcan défini au début du jeu d'apprentissage, même celle de la figure 5 qui laisse vide l'espace correspondant au manteau mais qui précise, avec la légende, que le noyau *réchauffe le volcan*. Ces affiches sont des résultats du jeu d'apprentissage S2J2 et constituent de premiers modèles conceptuels de la structure d'un appareil volcanique. C'est d'ailleurs ce dont veut garder trace P3, avec S2J3, en demandant aux élèves à ce que chacun recopie sur son cahier de sciences, en réduction, l'affiche de son groupe. Ainsi, le jeu d'apprentissage S2J3 continue d'actualiser le jeu épistémique qui consiste à décrire la structure interne d'un volcan avec une coupe. De même, P3 conserve lors de S2J3 une position topogénétique basse en suspendant relativement son action le temps du jeu d'apprentissage.

Confronter les affiches (S2J4P3)

Une fois les affiches de S2J2 (cf. trois exemples, figure 5) disposées sur le tableau, P3 demande aux élèves de les lire dans l'idée de *les comparer* (Tdp 124). Dans cette perspective, P3 note sur le volet droit du tableau une colonne « commun » et une colonne « différent » qu'il remplit au fur et à mesure de l'avancée de S2J4. Avant l'extrait suivant, P3 a noté dans ces deux colonnes : *commun* : *noyau, cheminée/différent* : *rochers, magma, egma*¹², *poche de lave, poche de magma, plaques, eau, remontée de lave*.

12 Vraisemblablement une confusion d'élève avec le terme magma.

Extrait B3

205-P3 : *d'accord qui n'apparaissent que là hein ah y a un quelque chose qui apparaît à plusieurs endroits quand même*

206-FV : *entre le noyau terrestre et le volcan y a un petit chemin là une petite cheminée on dirait*

207-P3 : *est-ce que c'est chez tout le monde*

208-E [plusieurs] : *non*

209-FV : *mais chez quasiment tout le monde*

210-P3 : *ah non là regardons alors ici est-ce que c'est relié au noyau*

211-E : *oui*

212-P3 : *ben non il n'y a pas marqué que c'est ah si noyau là donc la cheminée ça c'est une grosse différence c'est bien y en a plein qui il y a plusieurs dessins qui disent que la cheminée elle part du noyau alors on le trouve dans le dessin 1 on trouve dans quel dessin aussi que la cheminée part du noyau du centre de la Terre*

213-FV : *le 4*

214-P3 : *le 4 est-ce que ici ça part du centre*

215-E [plusieurs] : *non*

216-P3 : *est-ce que ça part du noyau la cheminée est-ce qu'ici ça part du noyau ?*

217-E [plusieurs] : *non*

218-E : *on dirait qu'il y a du feu un peu de*

219-P3 : *non + ici*

220-E [plusieurs] : *oui*

P3 : *oui donc on a le 1 le 5 le 7 ici aussi et ici aussi donc la majorité pense on est bien d'accord que la cheminée je vais faire un petit dessin comme ça elle part du noyau et que ça passe dans la cheminée avant de sortir mais il y en a quand même trois autres qui pensent que non deux autres qui pensent que non*

Jusqu'à présent, les élèves ont cité plus de différences que de ressemblances entre les affiches. P3 fait alors remarquer qu'il y a une ressemblance importante qui n'a pas encore été énoncée, et il commence ainsi à sortir de la position topogénétique relativement basse qu'il occupe depuis le début de la séance (Tdp 205). FV propose une liaison entre le noyau terrestre et le volcan (Tdp 206), énoncé que P3 renvoie à la classe (Tdp 207). Plusieurs élèves ne sont pas d'accord (Tdp 208) et, en réponse, FV modalise son assertion *mais chez quasiment tout le monde* (Tdp 209). P3 commence par vérifier sur la première affiche (Tdp 210) pour réfuter par un contre-argument cette assertion mais s'aperçoit que ce dernier a raison (Tdp 212). Il en signale alors l'intérêt (Tdp 212) et entreprend de vérifier, en interrogeant les élèves, sur quelles affiches *la cheminée part du noyau du centre de la Terre* (Tdp 212). Après huit tours de parole, P3 conclut *la majorité pense on est bien d'accord que la cheminée je vais*

faire un petit dessin comme ça elle part du noyau (Tdp 221). Quelques tours de parole plus tard, il revient à cette conclusion, lors de l'extrait suivant, suite à la remarque d'un élève (Tdp 256).

Extrait C3

256-E : *maître + aussi je ne comprends pas sur le cinquième ils mettent le noyau mais il n'est même pas relié le noyau il est tout en bas comme ça y a rien*

257-P3 : *ben parce qu'ils pensent que la lave donc*

258-E : *se fait chauffer par le noyau*

259-P3 : *mais qu'elle ne vient pas du noyau d'après eux hein donc c'est justement en fait y a deux on va dire il y a deux grandes conceptions dans la classe il y a une conception des élèves une partie des élèves qui pensent que la lave elle vient directement du noyau et y a un autre groupe d'élèves un peu moins nombreux qui pensent qu'elle ne vient pas du noyau donc c'est important de on va voir qui oui*

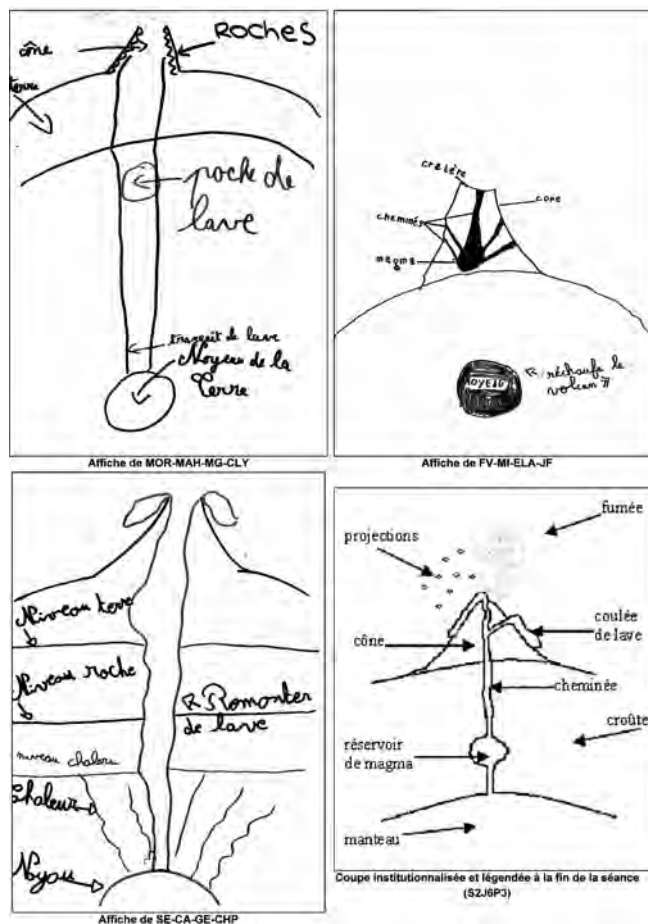


Figure 5. Affiches d'élèves (format A3) et coupe distribuée (échelle 1:1) par P3

Au début de l'extrait C3, un élève pointe ce qui lui semble être une incohérence (Tdp 256). P3 signale qu'il y a, dans cette production, une raison à cela (Tdp 257) en laissant à un élève le soin de compléter son énoncé inachevé (Tdp 258). P3 reformule alors plus longuement la conclusion de l'extrait B3 et pose publiquement la controverse autour de la conception centrale (Orange, *op. cit.*) du volcanisme (Tdp 259). Dans ce jeu d'apprentissage, c'est la comparaison, et l'interprétation, de différentes actualisations d'un même système sémiotique qui permet à P3 de poser l'origine de la lave comme problématique. En ce sens, les coupes affichées au tableau fonctionnent comme un milieu pour le débat et fournissent des rétroactions pour la discussion. Il est ainsi possible, pour P3, d'affirmer dans ce débat qu'il existe dans la classe une ignorance quant à l'origine de la lave, sans user d'un argument d'autorité, car il n'existe pas de consensus¹³ autour de cet objet de savoir. Par la suite, P3 situe l'origine de la lave dans le manteau à partir d'un modèle analogique de la structure concentrique de la Terre lors de S2J5 (que nous n'analysons pas, ici, car cela nous ferait sortir du cadre de cet article).

Avec le jeu d'apprentissage S2J4, le jeu épistémique émergent ne consiste pas seulement à confronter les descriptions des pairs produites lors de S2J2 mais également à les critiquer. Par ailleurs, nous pouvons relever que les jeux épistémiques « décrire la structure interne d'un volcan avec une coupe » et « critiquer les descriptions des pairs » sont pris dans une imbrication telle que les productions du premier deviennent des objets du second.

Légender deux coupes muettes (S2J6P3)

Avec ce dernier jeu d'apprentissage, P3 conduit l'institutionnalisation des savoirs avec un travail, mené collectivement, de légende d'une coupe muette d'appareil volcanique (cf. figure 5). L'action didactique de P3 vise alors, à la fois, une interprétation adéquate de la coupe et les savoirs géologiques qu'elle cristallise, c'est-à-dire que cette action contribue à renforcer le fonctionnement de ce système sémiotique comme immédiatement accessible, préfigurant ainsi l'aboutissement du jeu didactique. À la suite de Sensevy (2010), nous considérons que cette coupe, à l'issue de l'institutionnalisation, est susceptible de fonctionner comme un (macro-) signe immédiatement perçu – une icône au sens de Peirce (1978) – des usages dans lesquels elle a été travaillée ou, pour le dire autrement, des jeux épistémiques auxquels les élèves ont été confrontés lors des jeux d'apprentissage précédents.

Enfin, lors de son entretien d'auto-analyse¹⁴, P3 explique que sa façon de conduire l'institutionnalisation *le fait que ça soit eux qui me dictent ce qu'il faut*

13 Ce qui ne veut pas dire, pour autant, que tout ce qui fait consensus dans un débat est exact.

14 Dans cet entretien, il est demandé au professeur de procéder à une auto-analyse de sa propre pratique à partir du visionnage du film de ses séances. Cette technique d'entretien est inspirée de celle de l'auto-confrontation en ergonomie (Clot, 2006, p. 131-159). Nous conduisons cet entretien avec chacun des professeurs de notre étude mais, en revanche, nous ne citons, dans cet article, qu'un extrait de celui de P3 car nous l'analysons comme pertinent pour notre étude de cas.

qu'on mette lui permet d'évaluer sa pratique. P3 constate également *quelque part parce que ce n'est pas moi qui donne la synthèse avec la légende*. Avec S2J6, P3 cherche à instaurer une topogénèse dans laquelle les élèves endossent une part de la responsabilité de l'institutionnalisation des savoirs. Bien évidemment, tout ceci se passe sous l'égide de P3. Mais, celui-ci occupe alors une position topogénétique moins haute que dans le cas où l'institutionnalisation consisterait à donner à copier une coupe déjà légendée. Idéalement, S2J6 peut se jouer uniquement avec des énonciations d'élèves et des acquiescements de P3. S2J6 est un jeu d'inscription du savoir qui, replacé dans le déroulement du thème, actualise le jeu épistémique d'écrire la réponse à la question de départ définie par P3 lors de son premier tour de parole de S2J2.

4. Reprise et discussion

4.1. Système sémiotique et usages avec les savoirs

Nous avons vu que les jeux d'apprentissage construits par P2 et P3 confrontent les élèves à des usages différents d'une même coupe, usages que nous avons caractérisés avec la notion de jeu épistémique. Afin de préciser plus avant ces différences, nous nous intéressons maintenant à la densité de ces jeux en savoirs et à leur spécificité à la géologie.

Pour ce faire, nous les comparons et nous les plaçons sur un gradient de densité et un gradient de spécificité. Cette comparaison n'est pas une comparaison absolue par rapport à une norme établie mais *une comparaison relative et contextuelle* dans une étude de cas donnée. Nous comparons la densité des jeux épistémiques à partir de la stratégie gagnante *a minima* qu'il est possible d'y mettre en œuvre. Plus cette stratégie est exigeante en savoirs géologiques, plus nous attribuons au jeu épistémique analysé une grande densité. Nous comparons la spécificité des jeux épistémiques par rapport à leur possibilité d'exister ailleurs qu'en géologie. Ainsi, plus un jeu épistémique peut exister dans d'autres champs de la connaissance, moins sa spécificité épistémique est grande.

Nous commençons avec le jeu épistémique « décrire la structure interne d'un volcan avec une coupe » (professeur P3). Ce jeu n'est pas à proprement parler un jeu de production de savoirs apodictiques¹⁵ mais il est dense des savoirs géologiques dont il finalise l'inscription. Si ce jeu présente une certaine spécificité à la géologie par son objet volcanique, le système sémiotique de la coupe verticale n'est pas particulièrement spécifique de la géologie, dans la mesure où il est mobilisé dans des jeux d'autres disciplines. Nous pouvons ainsi aisément nous représenter des jeux, analogues à celui analysé, en biologie à partir de la coupe d'un organe, en

¹⁵ Est apodictique, par opposition à assertorique, un savoir qui présente un caractère de nécessité. La stratégie gagnante *a minima* de ce jeu épistémique peut relever de la contingence, ce qui ne serait pas le cas du jeu épistémique qui consisterait à expliquer la structure interne d'un volcan. En didactique des sciences, cette réflexion est particulièrement développée par Orange, notamment dans Orange (2006).

histoire à partir de la coupe des tranchées de la première guerre mondiale, ou bien encore en architecture à partir de la coupe d'un bâtiment. Toutefois, ce jeu épistémique n'est pas particulièrement générique non plus, puisque nous ne le retrouvons pas en français ou en mathématiques (ou alors comme import d'une autre discipline pour rendre, par exemple, une situation de mesure d'échelle plus « authentique »). Nous plaçons, dans nos deux gradients, les autres jeux épistémiques par comparaison avec celui-ci.

Le jeu épistémique « analyser une coupe verticale » (professeur P2) relève d'une réappropriation des savoirs cristallisés dans le système sémiotique de la coupe verticale. Gagner à ce jeu consiste alors à mettre en œuvre une opération inverse de celle de l'inscription des savoirs dans cette représentation culturelle. Chevallard caractérise une telle opération comme une « excription » (2004, p. 12) qui va « redonner vie » à la teneur des savoirs que l'« inscription en ce texte aura peu ou prou « dévitalisée » » (*ibid.*). Ce jeu d'excription des savoirs peut alors être envisagé comme le symétrique du jeu précédent qui relève de l'inscription des savoirs. Cependant, nous attribuons à ce jeu d'excription une densité moindre car la responsabilité de la validité de la coupe n'y est pas celle de l'élève, alors qu'elle est sienne dans le jeu précédent. En effet, la stratégie gagnante *a minima* du jeu « décrire la structure interne d'un volcan avec une coupe » nécessite d'apprécier l'exactitude des éléments de savoir à représenter, ce qui n'est pas le cas de celle du jeu « analyser une coupe verticale ». Cependant, nous considérons que ces deux jeux relèvent de la même spécificité car la comparaison avec les exemples pris dans d'autres disciplines, lors du paragraphe précédent, demeure ici valable.

Pour la même raison, nous considérons que le jeu épistémique « critiquer les descriptions des pairs » (professeur P3) est d'une spécificité équivalente à celui qui consiste à produire ces descriptions. Ces deux jeux sont d'ailleurs imbriqués dans la séance de P3. En définitive, cela revient à allouer la même spécificité aux jeux épistémiques qui consistent à analyser une coupe verticale, à décrire avec une coupe verticale (la structure interne d'un volcan actif) et à critiquer les coupes verticales (qui sont des descriptions produites par les pairs). Toutefois, de ces trois jeux, critiquer est le plus dense. En effet, il requiert une compréhension conceptuelle plus fine – ainsi qu'une capacité plus générique de distanciation à la fois cognitive et affective – afin de discerner dans une production les points exacts ou positifs des points négatifs ou erronés. Dans une analyse d'une coupe issue d'un manuel, ce travail n'est pas à faire car ses auteurs sont garants de la validité de l'objet tandis que, lors d'une description, l'agent n'a pas accès à ce qui est négatif ou erroné dans sa production (sinon il ne le représenterait vraisemblablement pas).

Dans le jeu épistémique « écrire la réponse à la question de départ » (professeur P3), la coupe n'est plus, comme dans les jeux des paragraphes précédents, respectivement un outil ou un objet mais un élément disponible : il s'agit ici d'écrire une réponse avec la coupe travaillée auparavant. En considérant la coupe comme une information élémentaire, nous pouvons alors aisément nous

représenter ce jeu épistémique actualisé en E.P.S. (avec, par exemple, la question : comment faire pour se démarquer ?), en français (comment décrire un paysage ?), en histoire (pourquoi la Révolution française a-t-elle débuté ?), etc. Si nous comparons avec les exemples donnés plus haut pour le jeu épistémique « décrire la structure interne d'un volcan avec une coupe », nous pouvons en produire dans de plus nombreux champs de connaissances. Ainsi, le jeu épistémique « écrire la réponse à la question de départ » (professeur P3) est moins spécifique de la géologie que les précédents, voire relativement générique. Par contre, c'est un jeu dense à hauteur de la densité de la question à laquelle il apporte une réponse. Nous le plaçons donc, sur notre gradient de densité, à la même position que le jeu « décrire la structure interne d'un volcan avec une coupe ».

Nous reprenons ce qui précède dans une figure où nous plaçons, en abscisses, le gradient de spécificité et, en ordonnées, celui de densité. Dans cette figure, seules les positions relatives sont significatives, pas les distances, ce qui fait de la densité et de la spécificité des variables uniquement ordinales.

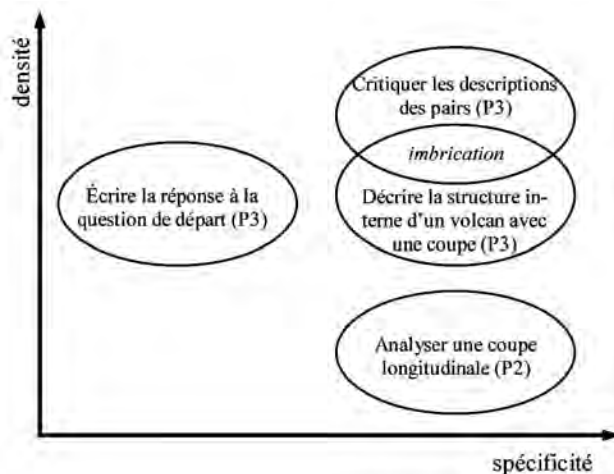


Figure 6. Gradients de densité et de spécificité relatives des jeux épistémiques analysés

Avec cette analyse des jeux épistémiques émergents de l'action didactique de P2 et P3, nous montrons que les élèves de P3 sont confrontés à une compréhension conceptuelle plus fine du volcanisme que ceux de P2 par des usages avec le système sémiotique de la coupe plus denses en savoirs et tout autant spécifiques de ces savoirs. Par ailleurs, nous analysons cette compréhension conceptuelle à partir du déroulement de jeux d'apprentissage où les jeux épistémiques émergents ont pu être raisonnablement approchés par les élèves. En effet, l'analyse des transactions didactiques montre que les professeurs ont pu déclarer gagnantes aux jeux d'apprentissage des stratégies d'élèves qui convergent raisonnablement avec les stratégies gagnantes des jeux épistémiques. Pour toutes ces raisons, et selon notre point de vue, nous concluons alors que l'action didactique de P3 est plus efficace que celle de P2 dans cette étude de cas.

4.2. Système sémiotique et mésogénèse

Dans les séquences d'enseignement étudiées, l'introduction de la coupe verticale d'appareil volcanique génère un nouveau système de possibles et de nécessaires pour l'action conjointe. Ce système sémiotique graphique participe ainsi de la mésogénèse, mais à des titres différents selon les pratiques observées, ce qui nécessite de se replacer à l'échelle du thème pour l'expliquer.

Dans la séquence de P2, l'étude du thème « structure d'un volcan » se réalise dans une triple exposition aux savoirs géologiques. La première débute avec la lecture explicative d'un texte intitulé « Qu'est-ce qu'un volcan ? ». Ce texte, de niveau encyclopédique, est particulièrement dense en savoirs géologiques. P2 donne ensuite aux élèves pour consigne de définir sept termes volcanologiques, dont six sont déjà expliqués dans le texte précédent. Ceci constitue une deuxième exposition aux savoirs géologiques, mais avec un enjeu différent sous la forme de définitions. La troisième exposition se fait avec la coupe muette d'appareil volcanique (cf. figure 3) qui structure et relie dans un plan vertical les éléments de savoirs précédents. Avec cette coupe muette, P2 se dote d'un milieu pour que ses élèves inscrivent les éléments de savoir en langue naturelle (le texte et les définitions) dans un système sémiotique graphique. Inscription évidente à première vue mais l'étude des transactions didactiques des extraits A2 et B2 montre qu'il n'en est rien. L'action didactique vise alors un « voir comme » (Wittgenstein, *op. cit.* ; Benoist, *op. cit.*, Sensevy, Tiberghien, Santini, Laubé & Griggs, 2008) où les tracés du schéma sont vus comme une coupe fictive d'un appareil volcanique. Fictive car une telle coupe n'est évidemment jamais concrétisée, à la différence des coupes en biologie, mais également abstraite car elle est déjà une modélisation de l'appareil volcanique. En définitive, c'est un tel « voir comme » qui est le gain des jeux d'apprentissage de P2.

Avec les jeux d'apprentissage de P3, la coupe verticale d'appareil volcanique est d'abord un enjeu de S2J2P3 avant d'être un objet du milieu lors de S2J4P3 où sont affichées au tableau les coupes produites par les élèves. Le milieu formé par ces affiches sous-tend alors le débat conduit par P3 sur la structure d'un volcan. Il fournit aux élèves des rétroactions rationnelles, c'est-à-dire des raisons pour la discussion. C'est à partir de ce type de rétroactions du milieu que le rôle du noyau dans le volcanisme (extrait B3 et C3) est désigné comme problématique alors que ce n'est pas le cas, par exemple, du cratère. Le système sémiotique graphique occupe ici dans la mésogénèse une place radicalement différente de celle qu'il occupe dans les jeux d'apprentissage de P2, aussi bien dans la manière dont il est introduit que dans les possibles et les nécessaires qu'il génère pour l'action didactique.

À l'échelle de la séquence d'enseignement, c'est *in fine* le projet d'enseignement du professeur, globalement expositif pour P2 et inductif pour P3, qui va donner sa place au système sémiotique dans la mésogénèse par les rétroactions du milieu auxquelles il souhaite confronter les élèves. Par ailleurs, comme nous l'avons écrit plus haut, un objet du milieu n'existe pas en tant que tel de lui-même mais bien

parce qu'il est reconnu par le professeur et les élèves. C'est ce que montrent les extraits analysés avec notre étude de cas : c'est l'action conjointe de P2 et P3 avec leurs élèves qui réalise l'actualisation, que nous avons décrite, de potentialités de rétroactions de la coupe mise à l'étude. En particulier, dans l'analyse des jeux d'apprentissage de P2 et de P3, nous avons montré, à plusieurs reprises, comment ces deux professeurs adoptent des positions topogénétiques relativement basses, notamment en jouant en seconde main par rapport aux élèves. Nous avons donc là un point commun, entre deux pratiques professorales très différentes, qu'il nous semble pouvoir expliquer de la manière suivante. Dès lors que le professeur aménage le milieu de telle sorte que son intention est de confronter les élèves aux systèmes sémiotiques des sciences, il se doit alors de prendre la responsabilité que ce soit le milieu, et non lui-même, qui fournisse des rétroactions à l'action des élèves. Cependant, s'il descend dans la topogénèse, le professeur n'en est pas pour autant absent. En effet, un système sémiotique n'est pas porteur en soi d'une intentionnalité didactique. Ce sont les jeux d'apprentissage avec un système sémiotique qui le sont, et c'est le professeur qui conduit, même dans une posture d'accompagnement, le déroulement de ces jeux d'apprentissage.

Conclusion

Dans les séquences de géologie à l'école primaire que nous étudions, les professeurs emploient de nombreux systèmes sémiotiques graphiques. Parmi ceux-ci, nous avons fait le choix de nous intéresser aux pratiques contrastées de deux professeurs avec une même coupe emblématique de la cristallisation de savoirs volcanologiques dans la culture.

Au fur et à mesure des analyses empiriques, nous avons pu montrer comment, dans le déroulement des jeux d'apprentissage, les transactions didactiques renforcent une interprétation adéquate – au moins du point de vue du professeur – du système sémiotique mis à l'étude. Cette interprétation peut alors se comprendre comme l'appropriation d'un « voir comme » (Wittgenstein, *op. cit.*) sur le fond d'un certain usage géologique. Ceci nous semble souligner tout l'intérêt qu'il peut y avoir, dans l'analyse de séances de classe, à travailler la question des usages auxquels l'action didactique confronte, plus ou moins directement, les élèves. Pour répondre à cette question, la notion de jeu épistémique, en dialectique avec celle de jeu d'apprentissage, nous semble particulièrement féconde, notamment pour aborder l'efficacité des pratiques enseignantes. En effet, dans la mesure où, avec l'action didactique, un système sémiotique en vient à fonctionner comme une icône, c'est alors la caractérisation de la dialectique entre jeux d'apprentissage et jeux épistémiques, qui a contribué à cette iconicité, qui nous semble particulièrement à même de rendre compte des apprentissages potentiels des élèves.

Enfin, dans cette étude de cas, nous avons caractérisé les différences dans les pratiques observées dans des analyses à différentes échelles de temps (Tiberghien

et al., op. cit.), du macrodidactique au microdidactique, qui nous ont permis de les rapporter à des projets d'enseignement différents. Cette construction en amont du jeu didactique par le professeur se retrouve dans la place que va prendre la coupe dans la mésogénèse. Cette place s'actualise avec les potentialités de rétroaction du système sémiotique, comme objet du milieu, que l'action conjointe du professeur et des élèves met en jeu dans la classe pour l'étude des savoirs géologiques. Ainsi, la mise à l'étude d'un système sémiotique est à la fois l'étude des savoirs que la culture y a inscrits et la rencontre, dans un certain usage, de ses rétroactions potentielles.

Jérôme SANTINI

jerome.santini@unice.fr

BIBLIOGRAPHIE

- ALLAIN J.-C. (1995). Séismes, éruptions volcaniques et intérieur de la Terre : conceptions d'élèves de huit à dix ans. *Aster*, n° 20, p. 43-60.
- AMADE-ESCOT C. & VENTURINI P. (2009). Le milieu didactique : d'une étude empirique en contexte difficile à une réflexion sur le concept. *Éducation & Didactique*, vol. III, n° 1, p. 7-43.
- BARDINTZEFF J.-M. (2006). *Volcanologie*. Paris, Dunod.
- BENOIST J. (2006). Voir comme quoi ? In S. Laugier & C. Chauviré, *Lire les Recherches philosophiques de Wittgenstein*, Paris : Vrin, p. 237-253.
- BROUSSEAU G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble, La Pensée sauvage.
- BUTY C., TIBERGHEN A. & LE MARÉCHAL J. F. (2004). Learning hypotheses and associated tools to design and to analyse teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education*, vol. XXVI, n° 5, p. 579-604.
- CHEVALLARD Y. (1991). *La transposition didactique*. Grenoble : La Pensée sauvage.
- CHEVALLARD Y. (2004). Vers une didactique de la codisciplinarité. Notes pour une nouvelle épistémologie scolaire. *Journées d'étude de l'Association pour des Recherches Comparatistes en Didactique (ARCD)*, Lyon, 3-4 mai 2004. Disponible sur Internet : <http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/IMG/pdf/Vers_une_didactique_de_la_codisciplinarite.pdf> (consulté le 27 août 2010).
- CLOT Y. (2006). *La fonction psychologique du travail*. Paris, PUF.
- FLECK L. (1934-2005). *Genèse et développement d'un fait scientifique*. Paris : Les Belles-Lettres.
- FOUCAULT A. & RAOULT J.F. (2005). *Dictionnaire de géologie*. Paris : Masson.
- GOHAU G. (1990). *Une histoire de la géologie*. Paris : Le Seuil.
- LOQUET M. (2009). *Jeu épistémique et jeu d'apprentissage dans les activités physique, sportive et artistique : vers une approche comparatiste en didactique*. Note de synthèse pour l'Habilitation à diriger des recherches, université Rennes 2.

- MERCIER A. (2008). Pour une lecture anthropologique du programme didactique. *Éducation & Didactique*, vol. II, n° 1, p. 7-40.
- MERCIER A., SCHUBAUER-LEONI M-L. & SENSEVY G. (2002). Vers une didactique comparée. *Revue française de pédagogie*, n° 141, p. 5-16.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (2002). *Fiches connaissances*. Paris : CNDP.
- ORANGE C. (1995). Volcanisme et fonctionnement interne de la Terre : repères didactiques pour un enseignement de l'école élémentaire au lycée. *Aster*, n° 20, p. 85-103.
- ORANGE C. (2006). Problématisation, savoirs et apprentissage en sciences. In M. Fabre & E. Vellas (dir.), *Situations de formation et problématisation*, Bruxelles : De Boeck, p. 75-90.
- ORANGE C. (2007). Quel milieu pour l'apprentissage par problématisation en Sciences de la Vie et de la Terre ? *Education & Didactique*, vol. I, n° 2, p 37-56.
- PEIRCE C. (1978). *Écrits sur le signe*. Paris, Le Seuil.
- SANTINI J. (2007). Jeux épistémiques et modélisation en classe ordinaire : les séismes au cours moyen. *Didaskalia*, n° 31, p. 47-83.
- SANTINI J. (2009). *Caractérisation de l'élaboration conjointe de la compréhension conceptuelle et des performances associées. Volcans et séismes au Cours Moyen*. Thèse de sciences de l'éducation, université Rennes 2.
- SCHUBAUER-LEONI M.L. & LEUTENEGGER F. (2002). Expliquer, comprendre dans une approche clinique/expérimentale du didactique ordinaire. In F. Leutenegger & M. Saada-Robert. *Expliquer, comprendre en sciences de l'éducation*. Bruxelles : De Boeck, p. 227-251.
- SENSEVY G. (1998). *Institutions didactiques. Étude et autonomie à l'école élémentaire*. Paris : PUF.
- SENSEVY G. (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action du professeur. In G. Sensevy & A. Mercier. *Agir ensemble*. Rennes : Presses universitaires de Rennes, p. 13-49.
- SENSEVY G. (2008a). Le travail du professeur pour la théorie de l'action conjointe en didactique : une activité située ? *Recherche et formation*, n° 58, p. 39-50.
- SENSEVY G. (2008b). Didactique comparée et générale. In A. Van Zanten (dir.), *Dictionnaire de l'éducation*. Paris : PUF, p. 133-136.
- SENSEVY G. (2010). Esquisse d'une pragmatique didactique. *Psychologie de l'interaction*, n° 27-28, p. 179-224.
- SENSEVY G. & SANTINI J. (2006). Modélisation : une approche épistémologique. *Aster*, n° 43, p. 163-188.
- SENSEVY G. & MERCIER A. (éd.). (2007). *Agir ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves*. Rennes, Presses universitaires de Rennes.

- SENSEVY G., TIBERGHIE A., SANTINI J., LAUBÉ S. & GRIGGS P. (2008).
An epistemological approach to modeling : cases studies and implications
for science teaching. *Science Education*, vol. XCII, n° 3, p. 424-446.
- TAVERNIER R. & LAMARQUE J. (2006). *Enseigner la biologie et la géologie à l'école
élémentaire*. Paris : Bordas.
- TIBERGHIE 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. *Agir ensemble*. Rennes : Presses universitaires
de Rennes, p. 93-122.
- TRANSANA [logiciel informatique] (2010). Madison : *The Board of Regents
of the University of Wisconsin System*. Disponible sur Internet :
<<http://www.transana.org>> (consulté le 27 août 2010).
- WITTGENSTEIN L. (1953-2004). *Recherches Philosophiques*. Paris : Gallimard.

Abstracts • Zusammenfassungen • Resúmenes

Semiotic systems in joint actions in didactics. A case study in geology in primary school: a section of a volcanic system

Choosing the contrasted practices of two teachers as our starting point, we study the same graphic semiotic system – a vertical section of a conical volcanic system. We analyse then compare the two practices within the theoretical framework of joint action in didactics. We show that they differ not only in their uses of the semiotic systems the pupils are confronted with but also and concomitantly in the knowledge brought into play. We define these differences using the dialectics of the notions of learning interaction and epistemic interaction. The case study also leads us to focus on the vertical section as an object of the didactical environment. We proceed to analyze how this section can function as an object of the didactical environment and the retroactions produced.

KEYWORDS • Milieu, geology, game, semiotics.

Semiotische Systeme in der gemeinsamen Aktion in Didaktik. Ein Studienfall in Geologie in der Grundschule : Querschnitt eines Vulkans.

Wir untersuchen das gleiche semiotische graphische System – den Längsschnitt eines kegelförmigen Vulkans – aus zweier Lehrpraktiken heraus, die für ihren Kontrast gewählt wurden. Wir analysieren und vergleichen diese beiden Praktiken im theoretischen Rahmen der gemeinsamen Aktion in Didaktik. Dann zeigen wir, dass sie sich zweifach unterscheiden: was den Gebrauch der semiotischen Systeme angeht, mit denen die Schüler konfrontiert werden und gleichzeitig was die Kenntnisse anbelangt, die dabei auf dem Spiel stehen. Wir charakterisieren diese Unterschiede in einer Dialektik zwischen den Begriffen des Lernspiels und denen des epistemischen Spiels. Unser Studienfall führt uns auch dazu, den Längsschnitt als einen Milieugegenstand zu betrachten. Zudem analysieren wir, wie dieser Längsschnitt als ein Gegenstand des didaktischen Milieus mit seinen Rückwirkungen funktionieren kann.

**Los sistemas semióticos en la acción conjunta en didáctica.
Un estudio de caso en geología en la escuela elemental:
el corte de un aparato volcánico**

Estudiamos un mismo sistema semiótico gráfico, un corte vertical de aparato volcánico cónico, à partir de dos prácticas profesoras elegidas por su contraste. Analizamos, y luego comparamos, estas dos prácticas en el marco teórico de la acción conjunta en didáctica. Mostramos entonces que difieren tanto en los usos de los sistemas semióticos con los cuales se enfrentan los alumnos como, conjuntamente, en los saberes solicitados. Caracterizamos estas diferencias en una dialéctica entre las nociones de juego de aprendizaje y de juego epistémico. Nuestro estudio de casos nos lleva igualmente à interesarnos por el corte vertical como un objeto del entorno. Analizamos entonces de qué forma este corte puede funcionar como un objeto del entorno didáctico con sus retroacciones.