

Jeux épistémiques et modélisation en classe ordinaire : les séismes au cours moyen

**Epistemic games and modelling in ordinary
classrooms: the study of earthquakes in primary
school**

**Juegos epistémicos y modelización en una clase
ordinaria: los séismos en cuarto y quinto de
primaria en Francia**

**Epistemische Spiele und Modellisierung in einer
gewöhnlichen Klasse : die Erdbeben in der
Grundschule (4 Klasse)**

Jérôme SANTINI

Université de-Haute- Bretagne, université- Rennes 2
Équipe CREAD (Centre de recherche sur l'éducation, les apprentissages et la
didactique).

Résumé :

Nous présentons dans cet article une recherche empirique sur l'étude des séismes à l'école élémentaire. Les séismes sont, par essence, un objet d'étude qui exclut l'expérimentation comme moyen d'enseignement et d'apprentissage. Corrélativement, nous identifions dans les séances observées des activités de modélisation. Nous développons la notion

de jeu épistémique qui nous permet de produire une analyse didactique qui rend compte de la construction des éléments du modèle et de son évolution dans la classe. Puis, nous reprenons notre analyse en terme de milieu pour la modélisation dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences.

Mots-clés : débat, jeu épistémique, milieu, modélisation, simulation.

Abstract:

We present in this paper an empirical research on the study of earthquakes in primary school. Earthquakes, by nature, can't be studied through experimentation. Correlatively, we identify modelling activities in classroom observations. We develop the notion of epistemic game to produce a didactical analysis accounting for the construction of elements of the model and its evolution through teaching. We then do a second analysis in terms of didactical milieu for modelling in teaching and learning sciences.

Keywords: debate, epistemic game, milieu, model, simulation.

Resumen:

Presentamos en este artículo una investigación empírica sobre el estudio de los seísmos en la escuela primaria. Los seísmos son, por esencia, un objeto de estudio que excluye la experimentación como medio de enseñanza y de aprendizaje. Correlativamente identificamos en las sesiones observadas actividades de modelización. Desarrollamos la noción de juego epistémico que nos permite producir un análisis didáctico que da cuenta de la construcción de los elementos del modelo y de su evolución en la clase. Luego, retomamos nuestro análisis en término de ámbito para la modelización en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias.

Palabras clave: debate, juego epistémico, ámbito, modelización, simulación.

Zusammenfassung :

Wir legen in dieser Arbeit eine empirische Forschungsarbeit über die Art und Weise vor, wie man über Erdbeben in der Grundschule unterrichten kann. Erdbeben sind ihrem Wesen nach ein Thema, bei dem

Experimentierung als Lernmittel auszuschließen ist. Dementsprechend erkennen wir in den beobachteten Unterrichtssequenzen verschiedene Modellierungsaktivitäten. Wir entwickeln den Begriff des epistemischen Spieles, was uns ermöglicht, eine didaktische Analyse durchzuführen, die die Bildung der Modellbestandteile und seine Entwicklung in der Klasse berücksichtigen. Dann nehmen wir unsere Analyse wieder auf und betrachten sie als ein Medium zur Modellisierung fürs Unterrichten und Lernen der Wissenschaften.

Schlüsselwörter : *Debatte, epistemisches Spiel, Medium, Modellisierung, Simulation*

INTRODUCTION

Dans cet article, nous allons étudier une activité de modélisation au cours moyen de l'école primaire (4^e et 5^e primaire) dans l'enseignement et l'apprentissage de la sismologie. Les séismes sont un objet d'étude qui n'est pas, par essence, directement accessible, même pour les spécialistes. Il n'est pas possible de mettre en œuvre un enseignement basé sur l'expérimentation. Cela constitue, on le verra, une difficulté pour les professeurs observés. Par contrainte, ceux-ci recourent alors, sans que cela soit totalement explicite, à des activités de modélisation¹, dont des activités de simulation, en tant que représentation des phénomènes. Fort de ce constat, nous allons tâcher de décrire et d'analyser comment élèves et professeur concourent (ou non) dans leurs actions à la construction d'un modèle du séisme en classe. Par la suite, nous reprenons notre analyse en termes de milieu pour la modélisation.

1 UNE RECHERCHE SUR LA MODÉLISATION DES SÉISMES

1.1 Vue synoptique

Notre terrain de recherche se compose de deux classes de cycle 3 de l'école primaire, une classe de CM2 d'un professeur novice P₁ et une classe de CM1/CM2 d'un professeur expérimenté P₂. La méthode employée

(1) Le terme « modèle » recouvre des acceptions différentes. Dans cet article, nous employons les termes de modèle et de modélisation au sens de modèle conceptuel. Lorsque ce n'est pas le cas, nous le précisons. Le terme de simulation est à référer à une autre acception de modèle : celle de modèle analogique. Pour une typologie des modèles, on pourra se référer à Desbiaux-Salviat & Rojat (2006).

est une méthode clinique/expérimentale (Schubauer-Leoni & Leutenegger, 2002) de l'étude du didactique ordinaire. Notre corpus se compose de transcrits de films de séances de classe (deux séances par professeur), d'entretiens avec les professeurs (ante et post séances) ainsi que de pré-tests et post-tests d'élèves. Dans notre analyse du corpus, nous trouvons des signes de la construction de *modèles* dans l'activité des élèves dans les moments de débat scientifique et de simulation. Nous analysons les séances en termes de *jeux d'apprentissage* (cf. 2.2) et de *jeux épistémiques* (cf. 2.3). Dans cet article, nous présentons tout d'abord notre analyse de la modélisation des séismes, et de son évolution, dans les deux séances de P₂ (parties 4 et 5), puis des éléments d'une analyse comparative entre P₁ et P₂ (partie 6). Nous exposons dans les deux tableaux suivants une vue synoptique des séances de P₁ et de P₂ à laquelle nous nous référons par la suite.

| Séance | Phase | Jeux d'apprentissage | Jeux épistémiques | % durée |
|------------------------|------------------------------|--|--|---------|
| Séance S ₁₁ | Caractéristiques d'un séisme | Qu'est-ce qu'un séisme d'après vous ? | | 3 % |
| | | Lecture du manuel | | 16 % |
| | | Quels sont les caractères d'un séisme d'après les documents lus ? | | 14 % |
| | | Trouver les caractéristiques d'un séisme relevées par P ₁ | | 20 % |
| | Macro-séismes | Que donne la carte comme information ? | | 7 % |
| | Trace écrite | Pourquoi intensité et nombre de morts ne sont-ils pas liés ? | Expliquer l'indépendance des 2 données | 7 % |
| | | Copie de la trace écrite | | 33 % |
| Séance S ₁₂ | À la surface de la Terre | Rappel de la séance S ₁₁ | | 5 % |
| | | Lecture du manuel | | 17 % |
| | | Qu'est-ce que l'épicentre ? | | 12 % |
| | Sous la surface | Peut-on prévoir les séismes ? | Expliquer l'imprédictibilité des séismes | 5 % |
| | | Quelle est leur cause ? | | 23 % |
| | Trace écrite | Copie de la trace écrite | | 38 % |

Tableau 1 • Analyse synoptique des deux séances de P1

| Séance | Phase | Jeux d'apprentissage | Jeux épistémiques | % durée |
|---------------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------------|---------|
| Séance S ₂₁ | Caractéristiques d'un séisme | Production d'affiches | Décrire un phénomène | 33 % |
| | | Débat scientifique | Critiquer les affiches | 22 % |
| | | Synthèse du débat | | 7 % |
| | | Copie de la synthèse | | 27 % |
| | Mesure | Évaluer avec l'échelle MSK | Décrire l'intensité | 11 % |
| Séance S ₂₂ | de l'intensité d'un séisme | Rappel de S ₂₁ | | 4 % |
| | | Évaluer avec l'échelle MSK | Décrire l'intensité | 7 % |
| | | Débat scientifique | Critiquer les mesures | 21 % |
| | | Le sismographe | | 16 % |
| | Ondes sismiques | Courbes isoséistes | Expliquer des isoséistes | 14 % |
| | | Simulation | Prédire un événement | 5 % |
| | Trace écrite | Copier et schématiser | | 15 % |
| | Au foyer | Production d'affiches | | 18 % |

Tableau 2 • Analyse synoptique des deux séances de P2

Par la suite, nous présentons une analyse détaillée seulement des séances de P₂. Il nous semble malgré tout utile de présenter les deux tableaux synoptiques pour permettre au lecteur la comparaison et pour ne pas lui faire croire que l'accent que nous allons mettre sur les jeux épistémiques est la règle. On peut déjà s'en persuader en comparant les pourcentages de la durée des jeux dans chaque séance. Il en est de même pour la pratique du « débat scientifique dans la classe » (Johsua & Dupin, 1989). Ainsi, nous avons intitulé les jeux d'apprentissage de P₁ sous forme de questions pour souligner la prépondérance du cours dialogué dans ses deux séances.

1.2 La sismologie au cycle des approfondissements

Le cycle 3 de l'école primaire marque le début du curriculum de géologie. Dans les documents officiels, l'étude des séismes fait partie des contenus de la partie « le ciel et la Terre » des sciences expérimentales sous le libellé « manifestations de l'activité de la Terre ».

| | |
|---|--|
| Programmes (MEN, 2002a, p. 246-247) | Le ciel et la Terre L'objectif est en tout premier lieu d'observer méthodiquement les phénomènes les plus quotidiens et d'engager les élèves dans <i>une première démarche de construction d'un modèle scientifique</i> ² : [...] manifestations de l'activité de la Terre (volcans, séismes). |
| Fiche connaissance n° 22 : Manifestations de l'activité de la Terre (MEN, 2002b, p. 41) | <i>Connaissances</i> Un séisme correspond au mouvement brusque d'une ancienne fracture de roches en profondeur ou à la formation d'une nouvelle faille. Des vibrations plus ou moins fortes peuvent être ressenties en surface. Ces manifestations peuvent être catastrophiques ou imperceptibles. |
| Documents d'application cycle 3 (MEN, 2002c, p. 27) | <i>Compétences spécifiques</i> Connaître les caractéristiques d'un séisme. Dans les régions à risque, être capable de mettre en œuvre les attitudes à adopter en cas de séisme. <i>Commentaires</i> Cette question peut être traitée en liaison avec l'actualité. Éviter de s'attacher au seul catastrophisme des photographies. Éviter de réduire l'étude des manifestations de la Terre à la connaissance de structures. |
| Socle commun (MEN, 2006, p. 8-10) | À l'issue de la scolarité obligatoire, tout élève doit avoir une représentation cohérente du monde reposant sur des connaissances. Chacun doit donc [...] savoir que la planète Terre [...] présente une structure et des phénomènes dynamiques internes et externes. |

Tableau 3 • la sismologie dans les documents officiels

Les documents d'application des programmes précisent aussi la démarche attendue pour l'enseignement des sciences à l'école primaire. Démarche que l'on peut trouver résumée dans le sous-titre « du questionnement à la connaissance en passant par une investigation expérimentale » (MEN., 2002c, p. 6), avec une « expérimentation directe, à privilégier à chaque fois qu'elle est possible » (*Ibid.*). Cette expérimentation directe est impossible dans l'étude des séismes – elle ne l'est d'ailleurs pas moins pour le géologue que pour l'élève. L'étude des séismes est l'occasion d'« une première démarche de construction d'un modèle scientifique » (cf. tableau 3). La démarche attendue par l'institution dans ce début de curriculum de géologie est une modélisation du phénomène sismique par l'investigation.

Notre analyse de la transposition didactique (Chevallard, 1991) de la sismologie au cycle 3 nous conduit à identifier cinq savoirs géologiques en jeu et les notions scientifiques correspondantes.

| Savoir géologique | Notion scientifique |
|---|---------------------|
| Un séisme se manifeste par des secousses plus ou moins violentes du sol | notion d'intensité |

(2) Souligné par nous.

| Savoir géologique | Notion scientifique |
|--|---|
| Il existe des séismes perçus seulement par les instruments | notions d'instruments de mesure de l'intensité et de microséismes |
| La propagation en surface du séisme est concentrique | notion d'épicentre et d'isoséistes |
| L'origine d'un séisme est profonde | notion de foyer (ou hypocentre) |
| L'origine d'un séisme est mécanique | notions de rupture au foyer, de résistance des matériaux, de contraintes/déformations |

Tableau 4 • savoirs géologiques et notions scientifiques en jeu

Ces savoirs seront repris dans la suite du curriculum au collège en classe de 4^e (MEN, 2005, p. 31-33) où l'investigation entreprise au cycle 3 est poursuivie afin de « relier les manifestations d'un séisme à des phénomènes qui se déroulent en profondeur » (*Ibid.*, p. 31).

1.3 Modélisation

Nous présentons ici les grandes lignes d'une épistémologie de la modélisation (Sensevy & Santini, 2006) à laquelle s'adosse par la suite notre analyse didactique.

Pour définir ce qu'est un modèle, commençons par une acception du terme telle que la donne *Le Nouveau Littré* (C. Blum, 2005) comme « représentation formalisant les différentes relations entre les éléments d'un système, d'un processus, d'une structure ». Nous spécifions cette définition en considérant avec Hacking que « sont aussi des représentations certains événements qui n'impliquent pourtant que le verbe » (Hacking, 1989, p. 221-222) et que « toutes [les représentations] sont publiques » (*Ibid.*). Gagner un caractère public aux représentations nous éloigne du mentalisme qui leur est souvent associée (Sensevy, 2002) et nous rend sensible à l'arrière-fond, matériel et sémiotique, qui les sous-tend. Cartwright (1999) fait de ce contexte un élément constitutif du modèle en montrant qu'un modèle ne s'applique que localement là où ses *conditions de clôture* (shielding conditions) s'appliquent elles aussi. La notion de « collectif de pensée » (Fleck, 1934 et 2005) rend compte de « la perception visuelle de forme [...] reproductible et conforme à un style [de pensée] » (Fleck, 2005, p. 164) nécessaire pour s'accorder avec l'Autre sur un arrière-fond sémiotique du modèle comme référence commune. Nous désignons cette solidarité entre un modèle et son arrière-fond par *holisme* du modèle.

Cartwright développe une analogie entre fable et modèle pour expliquer les relations abstrait/concret qu'actualise un modèle : « Les fables transforment l'abstrait en du concret, en faisant cela, je prétends

qu'elles fonctionnent comme des modèles en physique. [...] La morale générale est une affirmation purement symbolique ; la fable lui donne un contenu spécifique afin que nous puissions établir avec clarté la relation qu'il est supposé être entre les idées³ » (Cartwright, 1999, p. 37-38). De même que la fable avec la morale, le modèle donne un contenu à la théorie qui permet de comprendre des concepts abstraits dans leurs descriptions plus concrètes dans une opération de *réduction du général au particulier*. Inversement, on utilise ces descriptions concrètes pour *aménager* la théorie à une situation donnée.

En même temps qu'elle développe l'analogie entre la fable et le modèle, Cartwright en souligne les différences. Différences que l'on pourrait résumer ainsi : a) les concepts scientifiques ne sont pas les stéréotypes bien connus de tous que sont les personnages des fables, ils doivent être longuement étudiés et spécifiés avant de pouvoir fonctionner comme tels, et b) la mathématisation du modèle permet une adhésion fine de celui-ci au réel. La mathématisation au sens où Hacking définit le calcul : « par *calcul*, je n'entends pas un simple alignement de chiffres, mais l'altération mathématique d'une hypothèse donnée qui se trouve ainsi en résonance plus intime avec le monde » (Hacking, 1983 et 1989, p. 345). C'est le rôle que peut jouer, dans les séances étudiées, le sismogramme qui, s'il n'est pas le support d'un raisonnement quantitatif *stricto sensu*, peut être le substrat d'un raisonnement « pré-quantitatif » (Johsua & Dupin, 1989, p. 95) qui porte sur les ordres de grandeur et l'évolution dans le temps de l'amplitude des secousses enregistrées graphiquement.

2 OUTILS DE DESCRIPTION GÉNÉRIQUE DE LA RELATION DIDACTIQUE

2.1 Des catégories de description de l'action conjointe professeur-élèves

Nous considérons les actions conjointes produites dans le système didactique par le professeur et les élèves comme des *transactions didactiques* (Sensevy, 2007). Par l'usage du terme transaction, Sensevy insiste en particulier sur le fait que les interactions professeurs-élèves sont organiquement coopératives et gagnent presque toujours à être pensées solidairement. Nous serons donc incités à nous demander, en face de toute action de professeur : à quelle(s) action(s) d'élève(s) réfère-t-elle ?

(3) Traduit par nous.

Et toute action d'élève sera soumise à la même question réciproque : à quelle(s) action(s) du professeur réfère-t-elle ?

Pour outiller l'étude des transactions didactiques, dans la dialectique contrat-milieu, nous disposerons de quelques topiques, dont nous décrivons certaines ci-dessous.

Chronogénèse, mésogénèse, topogénèse

Ces trois catégories solidaires (Chevallard, 1991 ; Sensevy, Mercier, Schubauer-Leoni, 2000) constituent des descripteurs du système didactique.

La chronogénèse décrit l'avancée du savoir dans la classe, donc le fonctionnement du temps didactique.

La mésogénèse décrit la construction du milieu, de la référence dans la classe.

La topogénèse décrit la part prise respectivement par le professeur et les élèves dans l'activité didactique. Nous allons préciser cela dans le paragraphe qui suit.

Topogénèse et partition épistémique

Décrire des transactions didactiques, cela signifie, nous l'avons dit, décrire une action conjointe. Mais dire que l'action est conjointe ne signifie pas pour autant assurer que chacun des transactants assume des responsabilités identiques par rapport au savoir. Il nous semble donc particulièrement important de caractériser la *partition épistémique* présente dans une topogénèse donnée. Nous tenterons donc de répondre à certains moments à une question du genre : quelle est la part prise par le professeur, quelle est la part prise par les élèves dans la production du savoir dans la classe ?

2.2 Dialectique contrat-milieu, jeu didactique et jeux d'apprentissage

Nous considérons de manière classique le contrat didactique comme un système d'attentes réciproques entre le professeur et les élèves à propos du savoir. Nous considérons le *milieu* comme le système de possibles et de nécessaires qui constitue l'environnement à la fois matériel et symbolique de l'action didactique (Brousseau, 1998 ; Sensevy *et al.*, 2000, 2005).

On peut décrire la relation didactique dans une dialectique entre le contrat et le milieu : pour agir dans la classe, l'élève peut évoluer « sans milieu » en se fiant uniquement à ce qu'il peut déchiffrer des attentes et des intentions du professeur. À l'opposé, il peut agir sans tenir aucunement compte du professeur, uniquement en interaction avec le milieu, dénué, lui, de toute intention (didactique). Dans la plupart des cas, la relation didactique peut se décrire comme un mixte : l'élève agit pour une part dans une perception plus ou moins incertaine des intentions du professeur, et pour une part guidé par les interactions qu'il entretient avec le milieu.

L'une des dimensions fondamentales de l'action professorale réside dans la régulation de ce partage : le professeur peut ainsi dévoiler plus ou moins clairement ses intentions didactiques, de manière à ce que l'élève avance « par contrat ». Il peut aussi espérer que l'élève progressera grâce aux relations établies avec un milieu plus ou moins adéquatement pensé. Ce partage contrat/milieu nous semble constituer une dimension essentielle de la caractérisation de l'action conjointe professeur/élèves.

Dans notre modélisation de l'action par le jeu, penser conjointement le jeu du professeur et le jeu de l'élève, c'est considérer comme gagnant le professeur à son jeu avec le jeu de l'élève si cet élève produit *proprio motu* les stratégies gagnantes dans son jeu d'élève. Professeur et élève(s) sont alors engagés dans un *jeu didactique* (Sensevy, 2007), intrinsèquement *coopératif*, où le premier accompagne le deuxième dans son jeu et gagne dans la mesure où le deuxième gagne raisonnablement de son propre fait. Dans le flux du jeu didactique, un observateur peut reconnaître une « succession de moments à la fois connexes et clos sur eux-mêmes » (*Ibid.*, p. 26) que l'on peut caractériser, tour à tour, par un nouvel enjeu de savoir. Ces moments sont des jeux, au sens précédent de jeu didactique, produits par « la nécessité d'avancer dans l'apprentissage » (*Ibid.*) : ce sont des *jeux d'apprentissage* (*Ibid.*).

2.3 Jeux épistémiques

Collins & Ferguson (1993) décrivent l'activité d'investigation des sciences en termes de jeux épistémiques (*epistemic games*) qui ont pour cibles des configurations épistémiques (*epistemic forms*) dont les modèles scientifiques. Ces deux auteurs se réfèrent à la notion de jeu pour rendre compte de l'investigation scientifique parce qu'« ils [les jeux épistémiques] ne sont pas simplement des stratégies ou des méthodes d'investigation, ils impliquent plutôt un complexe de règles, de stratégies et de coups associé avec des représentations particulières (c'est-à-

dire les configurations épistémiques)⁴ » (1993, p. 26). On voit bien ici comment la notion de jeu permet d'éviter l'algorithmisation⁵ inhérente à la notion de méthode relativement éloignée de l'activité scientifique. Collins & Ferguson qualifient ces jeux d'épistémiques « dans ce qu'ils impliquent la construction d'un nouveau savoir » (*Ibid.*, p. 26). Construction que l'on retrouve au cœur de la notion de jeu d'apprentissage et qui permet d'entrevoir des rapprochements entre jeu d'apprentissage et jeu épistémique. Rapprochements mais pas recouvrement car « on ne peut faire abstraction du fait que le chercheur qui élabore un savoir nouveau [jeu épistémique⁶], lequel par définition n'existe pas encore, se trouve dans une situation fondamentalement différente de l'élève qui doit s'approprier un savoir [jeu d'apprentissage] dont toute l'institution (et l'élève lui-même) sait qu'il est déjà présent sous une certaine forme ailleurs » (Johsua & Dupin, 1999, p. 136). Fort de cette différence, nous considérons que certains jeux d'apprentissage peuvent être comparés, pour mieux les comprendre, à certains des jeux épistémiques spécifiques de l'activité scientifique, tout en leur conservant les contraintes génériques du jeu didactique. Dans la suite de cet article, c'est dans cette optique que nous utilisons la notion de jeu épistémique.

S'inspirant de Collins & Ferguson (1993), Ohlsson (1996) développe la notion de tâche épistémique (*epistemic task*) comme prémices d'une théorie des apprentissages des savoirs déclaratifs (*declarative knowledge*), dont les concepts scientifiques. Ohlsson construit ainsi « un essai de taxonomie d'activités épistémiquement pertinentes [qui] est court mais étonnamment complet⁷ » sous la forme de catégories de tâches épistémiques : décrire, expliquer, prédire, argumenter, critiquer, expliciter et définir (1996, p. 51). Ohlsson considère que lors d'une tâche épistémique « la compréhension semble particulièrement exercée et engagée » (*Ibid.* p. 52). C'est en ce sens que Tiberghien, Buty et Le Maréchal (2005a) convoquent la notion de tâches épistémiques dans leur cadre théorique. Ils l'expliquent ainsi : « Du point de vue de l'apprentissage, nous considérons que construire une compréhension d'un concept ou d'une notion nécessite d'établir

(4) Traduit par nous, ainsi que le reste des citations de Collins & Ferguson (1993).

(5) Algorithmisation que l'on retrouve à l'école sous la forme d'une démarche scientifique cristallisée dans le moyen mnémotechnique Oheric (observation, hypothèse, expérience, résultat, interprétation, conclusion) alors que l'on sait que l'activité scientifique est faite d'aller-retour et d'articulation entre l'empirie et la théorie, sans respecter un ordonnancement de tâches.

(6) Nous rajoutons les deux expressions entre crochets [jeu épistémique] et [jeu d'apprentissage] dans la citation elle-même, bien que ce ne soit pas le propos de ses auteurs, afin de mieux faire comprendre ce qui nous semble être une différence majeure entre les deux notions.

(7) Traduit par nous, ainsi que le reste des citations d'Ohlsson (1996).

de nouvelles relations entre des éléments de savoir. [...] Des relations entre éléments de savoir peuvent être construites par différents types de raisonnement. Pour les caractériser nous nous référons aux tâches épistémiques (Ohlsson, 1996)⁸ » (2005a, p. 31). Tiberghien *et al.* (2005a ; 2005b) identifient ainsi dans la compréhension des concepts scientifiques une difficulté majeure dans les relations que doit construire l'élève entre les théories/modèles du concept et les objets/événements correspondants. On perçoit ici comment une telle analyse entre en consonance avec le genre d'épistémologie qui sous-tend notre description de la modélisation (cf. 1.3) : il s'agit bien de travailler à *aménager* la théorie, à la concrétiser et à la particulariser en reconnaissant des objets et événements, et des relations avec, et entre, ces objets ou événements. Si l'on conçoit le contexte dans lequel s'opèrent l'enseignement et l'apprentissage comme un milieu (cf. 2.2), on peut considérer qu'un enjeu essentiel des transactions professeur-élèves réside dans la mise en relation objets/événements et théories/modèles au sein de jeux épistémiques. Tiberghien *et al.* reprennent la taxonomie de tâches épistémiques d'Ohlsson, l'étendent et en précisent les modalités sous la forme de huit catégories : décrire, interpréter (étendu des seuls événements aux éléments théoriques), prédire, définir, expliquer, questionner (ajouté), argumenter, critiquer (*Ibid.*, p. 40-41). Nous reprenons cette taxonomie pour caractériser les jeux épistémiques que nous analysons dans les parties 4 et suivantes de cet article.

Par ailleurs, l'approche de l'investigation scientifique développée par Collins & Ferguson nous intéresse particulièrement par les liens organiques qu'elle tisse entre les deux notions au centre de nos préoccupations : la modélisation et le jeu. Ces liens sont d'autant plus serrés que Collins & Ferguson présentent le modèle-enjeu de savoir comme l'état du jeu épistémique une fois l'investigation menée à bien : « la différence entre les configurations (*forms*) et les jeux est semblable à la différence entre les cases qui sont remplies dans le jeu de morpion et le jeu lui-même » (*Ibid.*, p. 25). Dans cette perspective, nous représentons l'avancée de la modélisation dans la classe par les relations construites entre les éléments de théorie/modèle et d'objets/événements à deux moments différents (cf. figure 2 et figure 4). Ces deux figures sont construites dans la veine de Tiberghien *et al.*, en particulier des figures 4 et 5 de Tiberghien & Vince (2005b).

Au terme de notre cadrage didactique théorique, nous sommes clairement ancrés dans le cadre de *la théorie de l'action didactique conjointe* (Sensevy & Mercier, 2007 ; Sensevy, 2007 ; Tiberghien *et al.*, 2007). C'est ce que cadre que nous mobilisons dans les différentes analyses de notre corpus. Comme de rigueur, en préalable à ces analyses, nous faisons une

(8) Traduit par nous.

analyse *a priori* (Mercier & Salin, 1988) des savoirs en jeu dans les séances de classe étudiées.

3 ÉLÉMENTS D'ANALYSE ÉPISTÉMIQUE

Nous envisageons notre analyse *a priori* en termes de jeux épistémiques. Dans cette perspective, nous considérons les cinq savoirs à enseigner (cf. tableau 4) comme concourant à construire un modèle du séisme et nous considérons les objets ou événements à mettre en regard de chacun de ces savoirs ainsi que les relations à établir entre ces objets ou événements avec les éléments du modèle .

- 1- Un séisme se manifeste par des secousses plus ou moins violentes du sol

L'échelle MSK et l'échelle de Richter sont deux objets correspondant à ce savoir. Des événements tels que des séismes de forte magnitude causant peu de dégâts et, à l'inverse, des séismes de faible magnitude causant d'importants dégâts permettent de mettre en perspective ces deux échelles. La relation à établir ici est que les dégâts causés par un séisme ne sont pas exclusivement fonction de sa magnitude mais également fonction d'un contexte local, c'est-à-dire des caractéristiques géologiques du lieu où il se produit mais aussi des caractéristiques des constructions atteintes par le séisme.

- 2- Il existe des séismes perçus seulement par les instruments

Deux objets : le sismographe et le sismogramme, et une relation : le second est produit par le fonctionnement du premier. Il y a une relation au sein du sismographe entre le déplacement mécanique du stylet sur la feuille de papier et les déplacements du sol. Le sismographe est le lieu où se crée un lien entre le sol qui vibre (le bâti de l'appareil est solidaire du sol) et un référent qui ne vibre pas par son inertie (le stylet). Le principe de fonctionnement du sismographe permet de comprendre que le tracé du sismographe est une représentation de l'activité de la Terre.

- 3- La propagation en surface du séisme est concentrique

Les cartes d'isoséistes établies à partir des dégâts observés ont ici le statut d'objets. La relation à établir est que les isoséistes se présentant sous forme de lignes courbes fermées (idéalement des cercles si le milieu était isotrope) emboîtées localisent l'événement d'origine (l'arrivée du séisme) au centre de ces lignes.

4- L'origine d'un séisme est profonde

L'objet est ici une représentation en coupe de la Terre où figurent les positions du foyer et de l'épicentre. La relation entre ces deux positions est une propagation du séisme, ou plus exactement des ondes sismiques, du foyer à l'épicentre.

5- L'origine d'un séisme est mécanique

Une représentation en coupe de la Terre où figurent un plan de faille et de part et d'autre des contraintes de sens opposé (sous forme de flèches par exemple) constitue ici un objet. La relation entre cet objet et le modèle du séisme est qu'un relâchement brutal de ces contraintes va provoquer un glissement, lui aussi brutal, des compartiments rocheux de part et d'autre du plan de faille qui est à l'origine du séisme. Nous n'envisageons pas ici le cas moins fréquent d'une faille néoformée.

Cet ensemble théorie/modèle, objets/événements et relations entre les deux concerne les savoirs géologiques à enseigner. Si l'on examine ce qui est déjà connu des élèves, nous constatons qu'au sens strict rien n'a été précédemment appris sur les séismes puisqu'il s'agit là d'un premier enseignement dans le cursus scolaire. En revanche, les élèves ont déjà des connaissances sur les séismes (Allain, 1995 ; Deunff, 1995), notamment relatives aux représentations sociales véhiculées par les médias. Elles concernent généralement les macroséismes médiatisés sous leur aspect de catastrophe naturelle destructrice. Dans notre ensemble théorie/modèle, objets/événements et relation théorie/modèle-objets/événements, les articles, les photographies ou bien encore les reportages sur les destructions sont des objets. Dans le modèle médiatisé, le macroséisme est une manifestation de l'activité de la Terre. La relation entre l'objet et le modèle est que le macroséisme est la cause des dégâts.

Nous reprenons notre analyse *a priori* sous la forme d'une « grille » (Buty, Tiberghien et Le Maréchal, 2004) dans le tableau 5.

| | Déjà appris | Déjà connu du quotidien | À enseigner (sismologie) |
|---|---|--|--|
| Théorie/modèle | Dans un sens scolaire strict, rien n'a été appris sur les séismes puisqu'il s'agit au cours moyen du début du curriculum de géologie. | Un macroséisme est une manifestation de l'activité de la Terre. | Un séisme se manifeste par des secousses plus ou moins violentes du sol. Il existe des séismes perçus seulement par les instruments. La propagation en surface du séisme est concentrique. L'origine d'un séisme est profonde. L'origine d'un séisme est mécanique. |
| Relation entre théorie/modèle et objet/événement. | | Le macroséisme est la cause des dégâts. | Les dégâts d'un séisme sont fonction du contexte local. Un sismographe est solidaire des mouvements de la Terre. Plus on s'éloigne de l'épicentre, plus l'intensité du séisme diminue. Le séisme se propage du foyer à l'épicentre. Une masse rocheuse soumise a de fortes contraintes se faille. |
| Objet/événement | | Macroséismes sous leur aspect de catastrophe naturelle destructrice (articles, photographies, reportages, etc.). | Échelle MSK, échelle de Richter. Séismes de forte magnitude causant peu de dégâts et vice-versa. Sismographes et sismogrammes. Cartes d'isoséistes. Représentations en coupe de la Terre avec position du foyer et de l'épicentre. Représentations en coupe de la Terre figurant les contraintes au foyer et le plan de faille. |

Tableau 5 • Analyse *a priori* de la sismologie au Cours Moyen (4^e et 5^e primaire)

4 ANALYSE DU DÉBAT SCIENTIFIQUE DANS LA CLASSE

Dans les séances de classes observées, nous identifions dans la pratique de P_2 deux moments de débat scientifique dans la classe (cf. tableau 2) tel que le définissent Joshua et Dupin (1989). Le premier porte sur les *caractéristiques d'un séisme* à partir d'affiches produites par les élèves et correspond dans notre corpus aux tours de parole 156 à 345 de S_{21} . Le deuxième a pour enjeu la *mesure de l'intensité d'un séisme* à partir d'une échelle MSK partielle et correspond aux tours de parole 84 à 469 de S_{22} . Lors de ce débat, élèves et professeur se réfèrent à un objet inaugural de la séance : une sélection de cinq extraits d'articles de journaux relatant cinq macroséismes. Dans ce qui suit, nous allons tout d'abord analyser des extraits de débat puis montrer le fonctionnement de jeux épistémiques dans le débat proprement dit.

4.1 Éléments de savoir et relations construites dans le débat

Au début de la première séance, P₂ distribue aux élèves une sélection d’articles de journaux relatifs à cinq macroséismes (Iran, 1990 ; Mexico, 1985 ; San Francisco, 1989 ; Haute-Savoie, 1996 ; Kobe, 1995). Il leur demande de les lire silencieusement puis de compléter une affiche de format A3 (cf. figure 2) par groupe de quatre. Le professeur s’arrête voir le travail des différents groupes, échange avec les élèves, rappelle les consignes ou donne des précisions.

| Les caractéristiques d'un séisme | |
|----------------------------------|--|
| manifestation : | |
| durée : | |
| effets/dégâts : | |

Figure 1 • affiche à compléter lors de la 1^{re} phase de S₂₁

Une fois les affiches disposées sur le tableau, P₂ demande aux élèves de s’asseoir de manière à pouvoir les lire et leur laisse un bref moment à cet effet. P₂ demande ensuite *est-ce que vous avez des choses à dire par rapport à la comparaison des différents panneaux* (S₂₁-173P₂⁹). Notre premier extrait débute par une reformulation par P₂ de cette question.

| | | |
|-----|----------------|---|
| 193 | P ₂ | Est-ce qu'il y a des choses alors on va dire autrement est-ce qu'il y a des choses qu'on retrouve dans tous les panneaux |
| 194 | E | Oui |
| 195 | P ₂ | Comme ça ce qui est pareil on va chercher ce qui est pareil JE |
| 196 | JE | Qu'il y a des blessés et des morts |
| 197 | P ₂ | Bon qu'il peut y a voir des blessés ou des morts ALE |
| 198 | ALE | Que la terre elle tremble |
| 199 | P ₂ | Que la terre tremble |
| 200 | BA | Déjà que c'est moins des minutes |
| 201 | P ₂ | C'est |
| 202 | BA | Moins des minutes par exemple moins cinq ou moins dix mais on est tous d'accord que c'est moins et qu'on retrouve aussi quinze secondes |

Lors de ces quelques tours de parole, sur la base des affiches des groupes à partir des articles de journaux, les élèves JE, ALE et BA énoncent

(9) S₂₁-173P₂ renvoie à la première séance de P₂, tour de parole n° 173, le locuteur étant le professeur P₂.

les premiers termes du débat : « il y a des blessés et des morts » (196JE), « la terre elle tremble » (198ALE) et « c'est moins des minutes » (200BA). Remarquons que ces énoncés répondent chacun à une des catégories introduites par P_2 via l'objet affiche : effets/dégâts pour JE, manifestation pour ALE et durée pour BA. Si l'essence du phénomène sismique (198ALE) et sa brièveté (200BA) sont peu débattus, la question des dégâts (196JE) qu'est capable de causer un tremblement de terre va occuper plus de la moitié du temps et plus de la moitié des tours de parole consacrés au débat par P_2 . Les deux extraits suivants en sont l'exemple.

| | | |
|-----|-------|--|
| 278 | PL | Un blessé parce qu'il y a eu des éclats de verre |
| 279 | P_2 | Bon donc un blessé + léger un blessé léger donc est-ce qu'on a toujours des victimes et beaucoup de victimes |
| 280 | E | Non |
| 281 | P_2 | Non donc ça dépend |
| 282 | PL | Il y a toujours des blessés parce que c'est rare qu'il n'y a pas de blessés quand même légers |
| 283 | P_2 | Dans ce que tu as là peut-être pas que dans ce que tu as lu là tu ne peux pas généraliser |
| 284 | AN | Ça arrive dans le désert il n'y a personne alors |
| 285 | P_2 | Ah |
| 286 | E | Oui mais il n'y en a jamais |
| 287 | E | Il peut y en avoir |
| 288 | E | Et il y a beaucoup de |
| 289 | E | Si ça se peut |
| 290 | P_2 | Tu as entendu ce qu'il |
| 291 | E | Tous les jours il y en a |
| 292 | E | En France |
| 293 | P_2 | Donc il a dit ça dépend s'il y a du monde ou pas effectivement s'il n'y a personne |

La sélection de séismes de P_2 comporte un article « La Haute-Savoie secouée » où sont relatés peu de dégâts. PL y relève « un blessé parce qu'il y a eu des éclats de verre » (278PL). P_2 valide l'énoncé de PL en le reprenant en partie, puis il modalise par l'emploi des adverbes « toujours » et « beaucoup » sa question à la classe « est-ce qu'on a toujours des victimes et beaucoup de victimes » (279 P_2), montrant ainsi qu'il a pris en compte le point de vue de PL. Malgré tout, PL ne renonce pas « il y a toujours des blessés » (282PL). P_2 souligne la non-exhaustivité de sa sélection d'articles « dans ce que tu as là peut-être » (283 P_2). AN transgresse alors une des règles du débat, qui était jusqu'alors de se référer exclusivement aux articles de la classe, en énonçant la possibilité d'un séisme dans une région inhabitée « ça arrive dans le désert il n'y a personne alors » (284AN). P_2 souligne l'intérêt de cet énoncé par une

interjection (285). Un élève conteste cette possibilité (286E), un autre soutient au contraire la déclaration d'AN (287E), un troisième rajoute que le phénomène est fréquent (291E). Après une première tentative avortée (290P₂), P₂ reprend alors la main pour procéder avec l'adverbe « effectivement » à une micro-institutionnalisation « donc il a dit ça dépend s'il y a du monde ou pas effectivement s'il n'y a personne » (293P₂). Remarquons ici comment P₂ laisse la responsabilité de l'énoncé à AN « il a dit » tout en donnant son avis « effectivement ». Cette orchestration de deux points de vue dans le même énoncé permet à P₂ de faire avancer le temps didactique tout en veillant à conserver une position basse dans la partition épistémique pour la poursuite du débat. Comme nous l'avions signalé plus haut, le débat continue sur la question des dégâts qu'est susceptible de causer un séisme.

| | | |
|-----|----------------|---|
| 320 | VI | Au troisième je ne suis pas d'accord parce que provoquer des incendies c'est juste la terre qui tremble ça ne provoque pas des incendies |
| 321 | PL | Non ils le disent à un moment |
| 322 | E | Il n'y a pas de flammes |
| 323 | E | Si |
| 324 | E | Si ils le disent |
| 325 | PL | Au moins 158 incendies dus aux ruptures des canalisations |
| 326 | P ₂ | Oui alors regarde c'est à cause du mot effet ça c'est le dégât tu as raison il y a des trucs qui se cassent et tout ça les effets c'est ce qui se passe il y a un groupe qui m'a dit les effets qui est-ce qui m'a dit ça |

VI exprime son désaccord avec l'affiche d'un groupe « au troisième je ne suis pas d'accord » (320VI). VI conteste la liaison directe, faite par ce groupe en l'inscrivant dans la rubrique effets/dégâts de leur affiche, entre le séisme et les incendies relatés dans l'article en revenant sur une définition stricte du phénomène « c'est juste la terre qui tremble ça ne provoque pas des incendies » (320VI). PL récusé l'argument en citant l'article en question (321PL et 325PL). P₂ valide l'énoncé de PL « oui » (326P₂) puis introduit une différence entre la notion d'effet du séisme et de dégât du séisme « c'est à cause du mot effet ça c'est le dégât ». Les incendies sont un dégât indirect du séisme « il y a des trucs qui se cassent et tout ça » et pas un effet propre au phénomène « les effets c'est ce qui se passe il y a un groupe qui m'a dit les effets ». Comme dans l'extrait précédent, nous voyons ici comment P₂ donne son avis sans s'exprimer à la première personne et en orchestrant deux points de vue présents dans la classe : « tu as raison il y a des trucs qui se cassent avec il y a un groupe qui m'a dit les effets ». Malgré tout, ces deux points de vue n'ont pas une valeur équivalente et P₂ donne un avantage aux tenants du deuxième en leur redonnant la main « qui est-ce qui m'a dit ça » (326P₂). Au terme de cet extrait, P₂ a validé les tours de parole de VI et PL mais pour des raisons

différentes : ceux de PL (321PL et 325PL) parce qu'ils respectent les règles définitives du débat en cours par une référence stricte aux articles et celui de VI (320VI) car il fait avancer le temps didactique en précisant la nature indirecte de la liaison entre les incendies et le séisme.

Au début de la séance S_{22} , P_2 demande aux élèves de poursuivre un travail de mesure de l'intensité des séismes de la sélection d'articles de journaux, travail entamé à la fin de la séance S_{21} . Pour ce faire, P_2 a distribué aux élèves une feuille comportant une échelle MSK partielle (degrés 1, 2, 5, 8, 9 et 12) et un tableau à remplir. Par groupe de quatre, les élèves doivent attribuer un degré sur cette échelle à chacun des séismes et indiquer quels indices dans les articles ont guidé leurs décisions. S'ensuit alors une phase de débat sur le degré à accorder à chacun des différents séismes. Dans l'extrait suivant, le débat porte sur le séisme de Mexico.

| | | |
|---|-------|--|
| 167 | JE | Douze |
| 168 | LA | Non trop violent |
| <i>Plusieurs E parlent en même temps.</i> | | |
| 169 | P_2 | Ah stop stop LA il te dit c'est trop violent |
| 170 | E | Beaucoup trop |
| 171 | P_2 | Pourquoi c'est trop violent |
| 172 | BA | Ben euh déjà bouleversement total ça ils ne le disent pas déjà |
| 173 | P_2 | Mmm |
| 174 | BA | Ils disent drame peut-être mais pour moi bouleversement total ce n'est pas un drame |
| 175 | P_2 | Ah |
| 176 | BA | Je trouve que c'est trop parce que la surface du sol toutes les constructions humaines sont détruites une nouvelle morphologie du terrain apparaît je trouve que ce n'est pas très bien j'aurai mis huit |
| 177 | E | Oui |
| 178 | TH | Non non |
| 179 | P_2 | TH dit non c'est intéressant d'argumenter là-dessus |
| 180 | TH | Nous on a mis dix parce qu'il y a il y a quatre cent vingt immeubles écroulés huit hôpitaux cent trente sept écoles et trois mille immeubles endommagés |
| 181 | BA | Ben oui mais le huit écroulement écroulement des constructions traditionnelles beaucoup de dégâts |
| 182 | TH | Ben voilà mais école ce n'est pas une construction traditionnelle |

JE attribue le degré maximum de l'échelle MSK au séisme de Mexico (167JE). LA conteste cette mesure qui correspondrait à un séisme plus violent que celui étudié « non trop violent » (168LA). P_2 signale cet énoncé par une interjection « Ah » (169 P_2), demande à ceux qui parlent en même temps de s'arrêter « stop stop » et répète l'énoncé de LA mais sans le prendre à son compte en précisant à la fois l'énonciateur LA et

le destinataire *te* de cet énoncé « LA il te dit c'est trop violent » (169P₂). Un élève approuve (170E). P₂ demande une justification (171P₂). BA se réfère à une partie de la description du degré douze de l'échelle MSK « bouleversement total » (172BA) et le signale comme absent de l'article relatant le séisme « ça ils ne le disent pas déjà ». Il nuance par rapport au terme employé dans l'article *drame* (174BA) puis poursuit avec la description du degré douze « la surface du sol toutes les constructions humaines sont détruites une nouvelle morphologie du terrain apparaît » (176BA). Les dégâts décrits dans ce degré sont pour BA exagérés par rapport à ceux partiellement décrits dans l'article « ce n'est pas très bien » et il préfère pour en rendre compte choisir « un degré inférieur j'aurai mis huit ». BA établit une liaison entre les dégâts observés et la violence du séisme grâce à l'objet échelle MSK.

TH n'est pas d'accord avec BA (178TH). P₂ le signale tout en laissant la responsabilité du désaccord à l'élève « TH dit non » (179P₂) et encourage la poursuite du débat « c'est intéressant d'argumenter là-dessus ». TH explique pourquoi, avec son groupe, il a évalué à un degré dix ce séisme par une référence directe au texte de l'article (180TH). BA répond que le degré huit suffit à rendre compte des dégâts lus par TH en citant sur l'échelle MSK *écroulement des constructions traditionnelles beaucoup de dégâts* (181BA). TH conteste que les écoles puissent être comptabilisées comme des constructions traditionnelles comme le fait BA « école ce n'est pas une construction traditionnelle » (182TH). TH établit ici une liaison entre les dégâts observés et la qualité des constructions à la différence de BA qui établit une liaison entre les dégâts observés et la violence du séisme. Quelques tours de parole plus loin, P₂ confirme que les écoles sont construites « en béton » (190P₂). La qualité des constructions devient par la suite un argument qui sera repris, en plus de la violence du séisme, pour les séismes de San Francisco et de Kobé.

En conclusion de ces analyses d'extraits, comme nous l'avions signalé plus haut, nous représentons, dans une visée synoptique et dans la veine de Tiberghien *et al.* (2005a, 2005b), les liaisons entre éléments du savoir construites lors du débat dans la figure suivante.

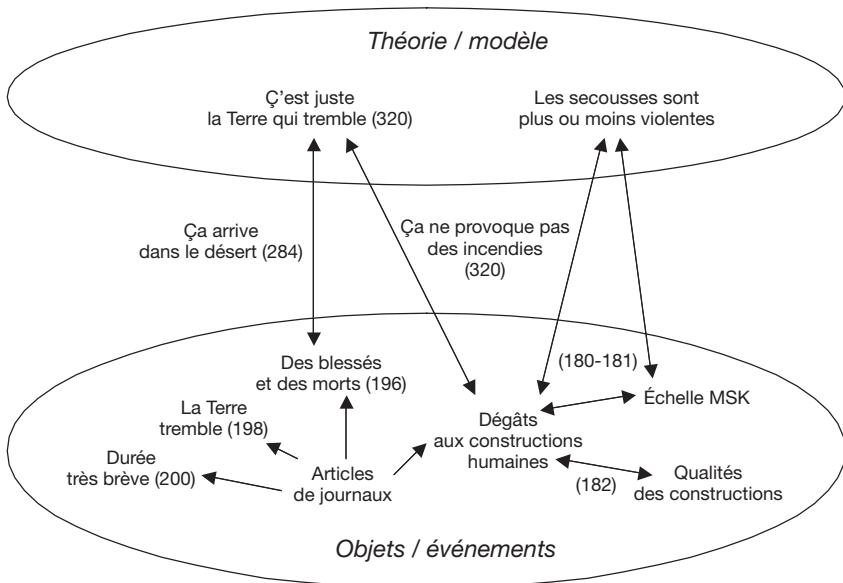


Figure 2 • Relations établies lors du débat (les numéros entre parenthèses renvoient à des tours de parole dans les extraits analysés)

Avant enseignement, les élèves ont une conception des séismes que nous qualifions de *macrosismique* dans le sens où le séisme y est littéralement un tremblement de terre : l'observateur sent la terre trembler et voit les dégâts des secousses. Dans cette conception macrosismique, l'avancée de la modélisation à l'issue du débat scientifique permet d'envisager comme séisme des événements géodynamiques qui ne sont pas obligatoirement destructeurs, selon la contextualisation du phénomène. Par la suite, le modèle évolue pour que soit pris en compte les microséismes.

Au fur et à mesure du débat, des éléments de modèle sont développés mais tout autant éprouvés par les élèves. En effet, les éléments de modèles acceptés sont ceux qui font l'objet d'un consensus dans la relation didactique mais aussi ceux qui sont en cohérence avec les

macroséismes décrits par la sélection d'articles de journaux, sélection qui fonctionne ici comme une référence, et donc comme un milieu, fournissant des *rétroactions rationnelles*¹⁰, des raisons, pour la discussion. Notons également que ce sont ces mêmes articles de journaux à partir desquels les élèves ont produit les affiches qui initient la première phase de débat. C'est à cette articulation entre la production des affiches et le débat que nous allons maintenant nous intéresser.

4.2 Débat scientifique dans la classe et jeux épistémiques

En préalable au débat, chaque groupe de quatre élèves a rempli une affiche (cf. figure 2) qui sera ensuite placée sur le tableau lors du débat proprement dit. Nous analysons ce moment de production d'une affiche en groupe comme un premier jeu épistémique qui consiste à *décrire* sur l'affiche les cinq macroséismes relatés comme événements dans la sélection d'articles. La mise en relation de ces événements avec le modèle s'effectue au travers d'une décomposition et d'un tri. La stratégie gagnante pour les élèves consiste à trier les faits qui composent l'événement selon les catégories introduites par le professeur (manifestation, durée, effets/dégâts).

Le deuxième jeu épistémique fait immédiatement suite à ce premier jeu dans le déroulement de la séance. P₂ annonce la fin du temps imparti pour la première partie de la séance (le premier jeu selon notre description). Les élèves lui apportent leur affiche et il les dispose en ligne sur le volet central du tableau. P₂ demande aux élèves de lire puis de commenter les affiches. C'est lui qui conduit le débat. Le jeu qu'il propose aux élèves est ici de *critiquer* les productions des groupes lors du premier jeu. Ces productions jouent ici le rôle d'hypothèses candidates à la définition d'un modèle du séisme. La stratégie gagnante, pour les élèves, est dans ce deuxième jeu de confirmer ou de réfuter des éléments des affiches en se référant à des faits relatés dans les articles de la sélection du professeur.

Dans ce premier débat scientifique dans la classe, les affiches produites par les élèves lors du premier jeu épistémique ont le rôle de

(10) Les *rétroactions causales* fournissent des causes : quand on fait telle chose concrète, il se passe telle chose, et cet événement valide ou invalide directement la stratégie mise en oeuvre, l'évènement est cause directe de validation ou d'invalidation. C'est le cas de la situation de l'agrandissement du puzzle (Brousseau, 1998) : si l'élève agrandit correctement les pièces, elles s'emboîtent et forment le puzzle ; dans le cas contraire, non. Les *rétroactions rationnelles* fournissent des raisons : tel énoncé est valide parce qu'on peut établir un argument rationnel garanti par tel ou tel élément du milieu. C'est le cas lors de la discussion des dégâts que peut occasionner un séisme : on peut affirmer qu'il est possible qu'un séisme ne soit pas meurtrier en évoquant l'article relatif au séisme d'Annecy comme raison de cette affirmation.

« base explicite d'un processus de modélisation » (Johsua & Dupin, 1999, p. 335). Ce processus se poursuit dans le deuxième jeu épistémique où les productions affichées sont mises en discussion dans un débat conduit par P_2 « entre pairs » avec « des arguments « logiques » (c'est-à-dire considérés comme tels par la population d'élèves) » (*Ibid.*, p. 336). Ces deux jeux épistémiques fonctionnent de manière imbriquée : le premier jeu vise à produire des hypothèses candidates à être des éléments du modèle scientifique, puis ces hypothèses constituent le matériau du jeu suivant. Ce deuxième jeu consiste à valider ou à invalider les hypothèses modélisantes, issues du premier jeu, en les mettant en relation avec les objets ou les événements du modèle. Ces objets et événements du modèle sont majoritairement apportés par le professeur dans la définition du premier jeu et sont des objets du milieu de l'étude.

Dans le deuxième débat, nous identifions d'une manière isomorphe deux jeux épistémiques imbriqués dont la mise en œuvre est identique : le premier jeu fournissant le matériau pour le deuxième au cours duquel des éléments du modèle sont construits. Il s'agit d'attribuer un degré sur l'échelle MSK à chacun des macroséismes de la sélection d'articles de journaux et d'indiquer d'après quels indices dans le texte. C'est au regard de notre analyse *a priori* un jeu épistémique dont l'enjeu est *décrire* cinq macroséismes grâce à un outil : l'échelle MSK La stratégie gagnante est de classer les faits composant un événement macrosismique selon les degrés de l'échelle MSK ¹¹ et d'en retenir le degré le plus élevé comme intensité du séisme. Dans ce jeu, la mise en relation s'effectue entre le modèle du séisme comme « secousses plus ou moins violentes » et les événements macrosismiques par une relation de dépendance des dégâts au contexte local. Dans le déroulement de la séance, P_2 change de jeu pour la confrontation des résultats. Cette confrontation doit permettre de se mettre « d'accord sur les indices valables » (S_{22} -84P2) pour attribuer une intensité. P_2 conduit le débat dans l'ordre du tableau support de l'activité et le complète au fur et à mesure de l'avancée du débat. Au premier jeu épistémique de *décrire* l'intensité succède ainsi un deuxième jeu épistémique consistant à *critiquer* les propositions de réponses des autres élèves produites lors du jeu précédent. Au-delà de la réponse chiffrée, l'enjeu est une critique de la stratégie d'utilisation de l'échelle MSK des autres élèves. La stratégie gagnante est une confirmation ou une réfutation se référant à la sélection d'articles de journaux relatant les macroséismes évalués.

(11) Chaque degré de l'échelle MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik) comporte une description. Par exemple, au degré 5 correspond « les dormeurs sont réveillés, les volets battent, les tableaux bougent » et au degré 8 correspond « certaines maisons s'effondrent en partie, beaucoup ont de larges fissures, de nombreuses personnes éprouvent des difficultés à rester debout, des fissures apparaissent dans le sol ».

Nous avons spécifié ici quatre jeux épistémiques, fonctionnant deux par deux, constitutifs du débat analysé précédemment à partir d'extraits de corpus. C'est dans la mise en œuvre de ces jeux que les liaisons entre éléments de savoir résumés dans la figure 2 sont établies. Les énoncés d'élèves analysés plus haut sont autant de coups dans ces deux doublets de jeux épistémiques qui font avancer la modélisation du phénomène sismique dans la classe. Fort de ce premier résultat, nous poursuivons l'analyse de notre corpus.

5 MODÈLE ANALOGIQUE ET ÉVOLUTION DU MODÈLE CONCEPTUEL

Faisant suite au débat scientifique et à une présentation magistrale du sismographe, P₂ montre aux élèves une simulation des dégâts causés par des séismes d'intensité croissante. Cette simulation est un modèle analogique qui va contribuer à l'évolution du modèle conceptuel¹². Nous présentons tout d'abord l'introduction du sismographe dans le milieu par le professeur, avant de montrer à partir de la figure 2 l'évolution de la modélisation, puis nous nous intéressons aux jeux épistémiques dont l'issue fournit au modèle en cours de construction ses nouveaux éléments.

5.1 Le sismographe

Notre dispositif de recherche comporte un moment d'analyse croisée¹³ du travail des deux professeurs. L'analyse croisée rassemble les deux professeurs, le chercheur et les films des séances observées de P₁ et de P₂. Elle est croisée dans le sens où chacun des deux professeurs va commenter le travail de l'autre. Lors de cet entretien, un des deux professeurs visionne la séance mise en œuvre par son collègue, commente le travail de celui-ci et échange avec lui. Les rôles sont inversés dans un deuxième temps.

Au moment de l'analyse croisée qui nous intéresse, P₂ commente le travail de P₁. P₂ arrête le film pour remarquer avec P₁ que tous deux ont présenté le sismographe d'une façon magistrale en l'accompagnant de

(12) Le cas se rencontre également dans l'histoire de la géologie. Ainsi, la géologue Atwater (2003, p. 245) relate-t-elle l'importance du modèle analogique de faille transformante de Wilson (une feuille de papier coupée et pliée) pour le modèle conceptuel de la tectonique des plaques et comment elle utilise encore ce modèle analogique avec ses étudiants. Earle (2004) reprend et détaille ce cas particulier de modélisation en didactique de la géologie.

(13) Pour ce point, notre méthodologie s'inspire de la méthode, en ergonomie, d'autoconfrontation croisée (Clot, 1999).

gestes à valeur explicative : P_1 et P_2 représentent avec une main le stylet et avec l'autre le cylindre enregistreur du sismographe. Puis, ils figurent une secousse où le stylet écrit sur le cylindre enregistreur.

| | | |
|-----|-------|---|
| 168 | P_2 | Parce que là on n'est que dans le + moi ils n'ont pas compris non plus ils ont compris à quoi ça servait + mais comment ça marchait je ne suis pas sûr je ne sais pas toi |
| 169 | P_1 | Non |
| 170 | P_2 | Moi c'est pareil j'y pense parce que je te vois faire les mêmes gestes que j'ai fait moi |
| 171 | P_1 | Non moi je leur disais vu que le stylo il est posé sur une feuille si ça tremble le stylo il bouge en fait mais tu vois c'était très caricaturé |
| 172 | P_2 | Oui mais de toutes façons comment tu veux + moi je n'en ai jamais vu de ma vie |
| 173 | P_1 | Moi non plus + et je leur ai dit si ça tremble le stylo il tremble et donc du coup il écrit sur la feuille + je crois que j'avais dit ça si ça tremble |

Dans leur analyse croisée, les deux professeurs soulignent l'importance des gestes du maître pour aider les élèves à se représenter le fonctionnement d'un sismographe. Tous deux représentent par leurs gestes les mouvements du bras d'un sismographe mécanique lors d'un séisme. Tous deux commettent d'ailleurs la même erreur puisque, lors d'un séisme, ce n'est pas le stylet qui bouge mais le bâti. Malgré tout, ce qui est important à montrer, et ce que les élèves doivent se représenter, par le geste, est le principe de solidarité du tracé du sismographe avec les mouvements du sol.

Dans les deux séances, à ce moment-là, les élèves disposent dans le milieu d'un sismogramme. P_1 et P_2 expliquent par des gestes d'ostension la relation du sismogramme à l'événement sismique par le principe de solidarité de mouvement du sismographe et du sol. P_1 et P_2 réalisent cette ostension car ils n'arrivent pas à construire le jeu épistémique correspondant pour les élèves, jeu dont l'enjeu serait la mise en relation sismogramme-séisme. L'action du professeur vise ici à produire une conception du fonctionnement du sismographe pour que l'élève se l'approprié. L'analyse peut faire relever, alors, deux aspects contradictoires. D'une part, le travail sur l'instrument sismographe peut en puissance – en utilisant le vocabulaire de l'épistémologie développée par Cartwright (1999) – constituer cet *aménagement* d'une théorie « abstraite » des séismes à un modèle particulier dans lequel les « comportements » sur sismographe, une fois qu'ils seront établis sous la forme graphique des sismogrammes, vont fournir les éléments d'un modèle interprétatif. D'autre part, il est clair que cette fonction de l'instrument n'est pas vraiment pensée en tant que telle par les professeurs. Expliquer le fonctionnement d'un sismographe ne semble aisé ni pour P_1 ni pour P_2 . P_1 analyse son explication comme « très caricaturée » (171 P_1). P_2 y voit le résultat d'un manque « moi je n'en ai jamais vu de ma vie » (172 P_2). Cette difficulté nous semble en partie expliquée dans le travail de Roubaud (2001, p. 96). Dans son analyse

des manuels scolaires, celui-ci constate que « plus que l'explication de son fonctionnement, c'est surtout du rôle des sismographes dont il est question dans les manuels contemporains », manuels dont on peut sans doute penser avec l'auteur qu'ils constituent l'origine essentielle du savoir géologique de bon nombre de professeurs. Dans cette perspective, ceux-ci n'ont pas la possibilité d'étudier le fonctionnement d'un sismomètre (moderne) en construisant leur séance à l'aide d'un manuel. Ils y sont surtout confrontés au rôle d'un sismographe (mécanique) qu'ils *enseignent* à leur tour, ceci contribuant à en faire, pour le sismologue Bernard une « image d'Épinal [qui] se porte bien » (Bernard, 2003, p.42). Toutefois, dans la suite de la séance, le sismographe devient un objet du milieu disponible pour continuer à faire évoluer le modèle du séisme en cours de construction.

5.2 De nouvelles relations

Lors de la phase que nous avons intitulée « ondes sismiques », P₂ demande aux élèves de décrire une carte d'isoséistes du séisme d'El Asnam (Algérie) de 1980 puis de répondre à la question *Pourquoi, d'après vous, l'intensité du séisme est différente selon les endroits ?* Les élèves répondent par groupe puis P₂ conduit la mise en commun des réponses. Nous classons ces réponses en deux catégories :

- une première catégorie où les énoncés produits sont plus une description de l'objet carte d'isoséistes et de la situation géographique qu'une explication proprement dite

S₂₂-730JE : Au plus c'est loin au moins c'est fort

S₂₂-748LE : Les villes sont plus loin du séisme donc l'intensité n'est pas la même

S₂₂-764PL : L'intensité est plus forte si on est à côté du centre du séisme elle est moins forte si on est plus loin

- une deuxième catégorie, moins descriptive et plus spéculative, où les élèves cherchent à expliquer les faits représentés par la carte d'isoséistes

S₂₂-753BO : L'intensité est différente selon les endroits car plus on s'éloigne moins le séisme a de puissance

S₂₂-757AL : Car en se déplaçant elle perd de la puissance

S₂₂-773BA : S'éloignent d'où ils frappent comme les tremblements de terre s'éloignent ils sont moins puissants car les villes sont trop éloignées.

Dans une transition vers le jeu d'apprentissage suivant, P₂ souligne le consensus dans les hypothèses « vous avez tous parlé de distance par rapport au tremblement de terre » (789P₂). Puis, il propose aux élèves une simulation pour valider ou non cette hypothèse. La simulation est magistrale. Sur une table, le professeur a disposé régulièrement quatorze cartes à jouer dressées deux par deux en ligne :

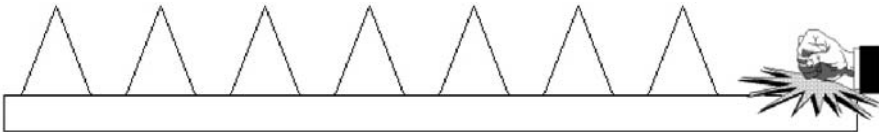


Figure 3 : **Simulation magistrale d'un séisme**

Les cartes à jouer figurent des constructions humaines. Le professeur frappe du poing de plus en plus fort pour figurer des séismes d'intensité croissante¹⁴. Dans l'épisode que nous relatons, l'enseignant s'apprête à donner un premier choc sur la table.

| | | |
|---|----------------|---|
| 814 | P ₂ | Il [le séisme] perd de la puissance en se déplaçant alors on va voir donc je vais simuler un séisme un petit chut un petit d'abord pour voir hein ici |
| <i>P₂ frappe sur la table. Toutes les cartes restent debout.</i> | | |
| 815 | E | Ça ne marche pas |
| 816 | P ₂ | Rien ne se passe |
| 817 | PL | Non perçu par les hommes + non perçu par les hommes |
| 818 | P ₂ | Ah bravo qu'est-ce que tu viens de dire ? |
| 819 | PL | C'est degré un sur la CMS |
| 820 | P ₂ | Sur l'échelle de MSK il a dit non perçu par les hommes ça serait peut-être le degré un |
| 821 | PL | Que par les sismographes |
| 822 | P ₂ | Personne s'en est aperçu que par les sismographes peut-être |
| 823 | E | Ben c'est normal |

Le choc du poing sur la table ne fait tomber aucune des paires de cartes. Dans le langage du modèle, le séisme ne détruit aucune construction humaine. PL établit une relation entre ce résultat de la modélisation et l'échelle MSK : le séisme est *non perçu par les hommes* (817PL). P₂ félicite PL « bravo » et lui demande de répéter « qu'est-ce que

(14) Soulignons au passage la source potentielle de conceptions erronées que peut constituer de représenter un phénomène souterrain comme le séisme par un choc « en surface ». Dans une simulation analogue, Deunff (1995, p. 130) figure le séisme par un choc sous la table. Remarquons également qu'un séisme n'est pas causé par un choc, mais par le « rebond élastique » (Reid, 1910) de contraintes accumulées de part et d'autre d'une faille. Figurer un séisme par un choc peut, au moins en puissance, venir renforcer la conception erronée selon laquelle un séisme résulte d'un heurt entre deux plaques tectoniques.

tu viens de dire ? » (818P₂). PL poursuit son explication « c'est degré un » (819PL) mais se trompe sur le nom de l'échelle. P₂ le corrige et reprend la déclaration de PL « il a dit non perçu par les hommes ça serait peut-être le degré un » (820P₂). PL précise une deuxième fois son explication « que par les sismographes » (821PL) et P₂ lui fait écho (822P₂). Un élève déclare que « c'est normal » (823E). Dans cet épisode, les prévisions des élèves et le résultat de la simulation sont en accord. Cet accord permet de valider comme élément du modèle l'amortissement du séisme avec la distance.

Nous notons également à l'œuvre dans ce bref épisode une orientation de la perception qui nous permet de le caractériser comme significatif d'un collectif de pensée (Fleck, 1934/2005). En effet, élèves et professeur font le même constat : lors de cette première simulation, aucune carte n'est tombée. En quelques tours de parole, on passe d'un constat d'échec de la simulation « ça ne marche pas » (815E) à un résultat de la simulation « c'est degré un » (819PL) alors qu'à l'évidence rien n'a changé sur la table. Cette deuxième façon de voir la situation est un élément fondateur du collectif de pensée en gestation dans la classe où elle tend à se naturaliser « ben c'est normal » (823E).

Tout ceci nous conduit à faire évoluer les relations entre éléments du savoir construites de la figure 2 à la figure 4.

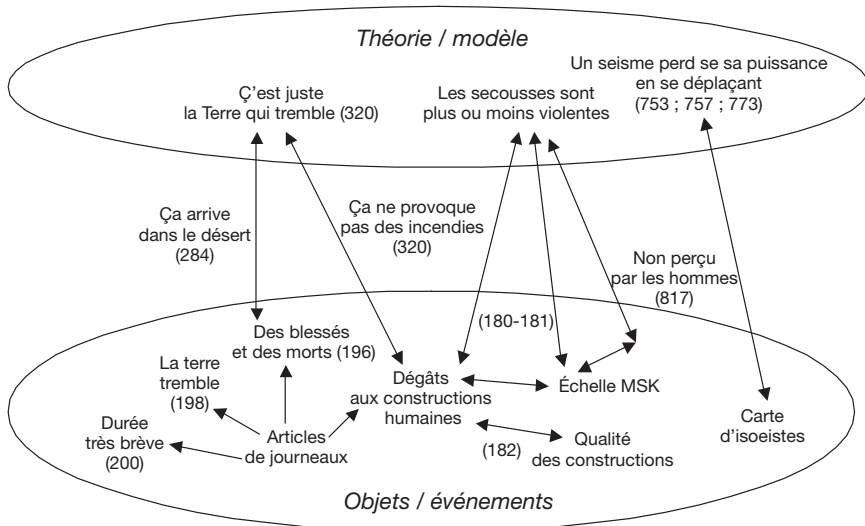


Figure 4 • Relations établies à l'issue de l'épisode de simulation magistrale (les éléments nouveaux par rapport à la figure 2 sont en majuscules)

5.3 Jeux épistémiques imbriqués

À l'instar de notre analyse du débat scientifique, nous identifions dans cette mise en simulation du modèle un doublet de jeux épistémiques imbriqués.

Le premier jeu épistémique prend place avant la simulation de la figure 3. Il consiste à *expliquer* les faits observés que représente la carte d'isoséistes du séisme d'El Asnam. La stratégie gagnante est de construire une relation entre l'épicentre du séisme et les mesures de l'événement en des points différents par l'amortissement en surface du séisme à partir de l'épicentre. Le deuxième jeu est de *prédire* les résultats de la simulation magistrale d'un macroséisme. Cette prévision se fait sur la base de la carte d'isoséistes étudiée dans le jeu précédent. Ce deuxième jeu de *prédire* permet de mettre en relation le modèle de propagation du séisme avec un des objets du modèle, les courbes isoséistes, par l'amortissement du séisme à partir de l'épicentre de la même manière que dans le jeu épistémique précédent.

De même que lors des deux phases de débat scientifique, la construction d'éléments du modèle peut ici aussi se comprendre comme le fonctionnement d'un doublet de jeux épistémiques imbriqués. Le premier jeu épistémique a pour enjeu la production d'hypothèses d'éléments du modèle et le deuxième jeu a pour enjeu de valider ou d'invalider ces hypothèses, faisant ainsi évoluer ou non le modèle en cours de construction.

Dans ces jeux, on peut se rendre attentif à certains équilibres didactiques. Un équilibre milieu-contrat, dans la mesure où les remarques des élèves (en particulier, ici, PL) sont produites en appui sur le milieu – milieu immédiatement antérieur à l'activité présente (carte d'isoséistes) et milieu actuel (les cartes dressées sur la table choquée par le professeur). Les documents, tout comme la simulation professorale, constituent ainsi des sources pour la réflexion et l'action verbale des élèves, sources dotées d'une certaine autonomie par rapport aux intentions professorales (la carte d'isoséistes est un objet en soi, et les conséquences des chocs sur la table possèdent un pouvoir causal indépendant). Cela dit, on voit bien que les remarques des élèves ne sont pas indépendantes du contrat didactique : P₂ résonne ainsi avec force aux remarques de PL, pour le féliciter (818P₂), puis pour reprendre en polyphonie¹⁵ deux tours de parole de PL (817 et 819) dans une seule déclaration (820P₂), polyphonie qu'il réitère en 822 lorsqu'il reprend en écho l'expression « que par les sismographes ». À cet équilibre contrat-milieu correspond une partition épistémique

(15) Terme employé ici au sens de certains linguistes – notamment Bakhtine (1970) et Ducrot (1984) – et qui consiste à voir dans un énoncé les traces de plusieurs points de vue différents (Charaudeau et Maingueneau, 2002).

particulièrement intéressante, dans laquelle l'interprétation des effets de *l'instrument* que constituent les cartes assemblées sur la table choquée est menée de manière coopérative par le professeur et PL : le professeur, comme nous venons de le décrire, reprend les déclarations de PL et les objets et relations qu'elles actualisent. Ce faisant, il les institutionnalise dans le fonctionnement de la classe, validant ainsi l'avancée du temps didactique que produisent les énoncés de PL, qu'on peut ici considérer comme élève *chronogène* (Sensevy, 1998).

6 MODÉLISATION, MILIEU, ET CONSTRUCTION DE LA RÉFÉRENCE

Dans cette partie, nous reprenons les éléments précédents de construction d'un modèle du séisme en terme de milieu didactique.

6.1 Systèmes sémiotiques et instruments

Les séismes sont par essence un objet d'étude qui n'est directement ni observable ni propice à l'expérimentation. Professeurs et élèves ont alors recours à la manipulation de représentations publiques dans la construction d'un modèle du séisme. L'importance du choix de ces représentations (proprement verbales, ou sémiotiques) réside dans le fait que ce sont ces mêmes ostensifs qui permettent par leur manipulation l'élaboration du modèle et sa validation. C'est le cas de la sélection d'extraits d'articles de journaux relatant des macroséismes. Leur manipulation permet d'élaborer les premières hypothèses d'éléments non-ostensifs du modèle et de les éprouver dans un doublet de jeux épistémiques imbriqués *expliquer/critiquer*. On a vu dans l'analyse du débat comment les articles de journaux fonctionnent comme un ensemble de faits qu'il s'agit de « reprendre » et de résumer au sein d'un système sémiotique déterminé (le tableau à remplir par les groupes). Les jeux épistémiques que nous avons décrits peuvent ainsi s'articuler à une représentation publique (l'ensemble des affiches produites par les groupes) qui constitue alors un objet majeur du milieu pour la discussion. Le professeur conduit les transactions au sein des jeux épistémiques en montrant notamment aux élèves comment s'orienter dans les textes et dans les affiches, dans une sorte de lecture dirigée qui oriente la perception des élèves et commence à dessiner les linéaments d'un collectif de pensée spécifique des séismes.

Il semble trivial d'écrire que, la sélection d'articles de journaux ne comportant pas de microséismes, les élèves ne peuvent pas en la

manipulant construire un modèle intégrant les microséismes. Or les microséismes sont plus nombreux et plus fréquents que les macroséismes. Leur étude est un élément important de notre compréhension de l'activité géodynamique. Le choix en amont des objets du milieu surdétermine le modèle que pourront construire les élèves.

De même, l'échelle MSK partielle est une forme sémiotique particulière à l'étude des séismes dans un deuxième doublet de jeux épistémiques imbriqués *expliquer/critiquer*. Lors de l'analyse croisée de leurs séances, les deux professeurs P_1 et P_2 reviennent sur son caractère partiel.

| | | |
|----|-------|---|
| 27 | P_2 | Ça ça a été une grosse erreur parce que l'échelle que j'ai donnée elle n'était pas complète il y avait un trois quatre huit |
| 28 | P_1 | Et s'ils voulaient mettre au milieu ils ne pouvaient pas |
| 29 | P_2 | Et alors on va discuter pendant des heures moi je pense c'est plutôt ++ oui tu vois c'était un mauvais choix je ne suis pas arrivé à les mettre d'accord ++ tu vois là discussion de marchands de tapis |

Dans ce bref échange, P_1 explique les difficultés d'utilisation de l'échelle MSK partielle par les actions limitées que permet cet objet « s'ils [les élèves] voulaient mettre au milieu ils ne pouvaient pas » (28 P_1). P_2 ajoute qu'avec cet objet il n'est « pas arrivé à les [les élèves] mettre d'accord » (29 P_2) pendant le débat scientifique dans la classe. L'échelle MSK partielle n'a pas permis d'arriver à un consensus entre élèves aussi large que dans la précédente phase de débat scientifique. Dans le jeu du débat scientifique dans la classe, la stratégie gagnante doit rallier les autres élèves sur la base d'« arguments *logiques* (c'est-à-dire considérés comme tels par la population d'élèves) » (Johsua & Dupin, 1999, p.336). Ces arguments logiques ont pour substrat les objets du milieu. Le choix en amont de la séance des objets du milieu surdétermine le déroulement du débat par les possibilités de rétroactions rationnelles, et par là de consensus, qu'ils permettent. Une échelle MSK complète dans ses degrés nous semble plus adaptée dans ce cas. Elle laisse le jeu « *ouvert* aux yeux des élèves et nécessitant une recherche effective » (*Ibid.*, p.338) et est plus propice au consensus dans le débat.

Les séismes sont un objet d'étude « non-ostensible » à la différence, par exemple, de la germination que l'on peut expérimenter en classe. Le seul moyen pour le professeur de donner à se représenter les séismes aux élèves réside dans l'emploi des formes sémiotiques et leur manipulation, en relation avec des instruments existants (le sismographe) ou *ad hoc*. Les jeux construits par le professeur avec ces instruments, et les systèmes sémiotiques qui les accompagnent, sont déterminés par les *comportements* et les *capacités* (Cartwright, 1999) inhérents à ces mêmes instruments, tels qu'ils peuvent être sémiotisés, et faire consensus dans le collectif

de pensée de la classe. Ainsi, ce qui est essentiel dans un sismographe mécanique, c'est la *capacité* d'inertie de la masse pesante qu'il comporte et qui va permettre d'enregistrer sur un tracé le *comportement* du bâti de l'appareil qui, lui, est solidaire des mouvements de la Terre.

6.2 L'attestation de nouvelles actions

L'introduction du sismographe dans le milieu par P_1 et P_2 permet aux élèves d'envisager de nouvelles actions, principalement la possibilité d'enregistrer des microséismes et de mesurer leur magnitude, mais aussi de mesurer la magnitude de macroséismes en dehors de toute construction humaine, ce que ne permet pas l'échelle MSK. Dans les séances observées, P_1 et P_2 valident les nouvelles possibilités du milieu quand les élèves en font état. Par cette technique d'aménagement du milieu, par exemple en faisant écho à certains énoncés, P_1 et P_2 attestent pour tous les élèves de la classe de nouvelles actions disponibles dans le milieu. Les stratégies gagnantes ne sont plus les mêmes et la conception macrosismique apparaît comme un cas particulier d'une conception où le séisme est défini comme l'activité géodynamique qui s'enregistre par des pics sur un sismogramme. Conception que nous qualifions de *sismographique*. Avec ces nouvelles actions, le collectif de pensée de la classe peut continuer à élaborer le modèle du séisme du macroséisme à l'ensemble des séismes. La construction du modèle en classe évolue avec la succession des milieux didactiques, comme on peut le voir en comparant la figure 2 avec la figure 4.

Dans la construction du milieu pour le débat, le professeur choisit des objets-instruments qui contiennent eux aussi des possibles et des nécessaires. Par exemple, la présence d'un sismogramme dans le milieu du débat indique déjà *un possible*, enregistrer l'activité sismique, et *un nécessaire*, le modèle construit doit être en accord avec la trace sismique scientifique. De même, après l'introduction dans le milieu du sismographe, les possibles et les nécessaires changent de façon déterminante. Il devient possible de mesurer l'intensité d'un séisme de manière absolue, indépendamment du contexte local, et il devient nécessaire de faire évoluer le modèle pour y intégrer les microséismes. Les possibles et les nécessaires construits dans le débat, et par extension la construction du modèle, sont en interaction avec les possibles et les nécessaires générés par le milieu. La construction du milieu par le professeur surdétermine ainsi la modélisation en classe : l'évolution du domaine des actions possibles est ainsi une évolution des comportements et capacités que les élèves deviennent capables de reconnaître dans les instruments étudiés.

CONCLUSION

Des conceptions du séisme

De l'analyse de notre corpus, nous inférons deux grands types de conceptions du séisme par les élèves. La première est littéralement celle du tremblement de terre : l'observateur sent la terre trembler et voit les dégâts des secousses. Seuls les macroséismes existent dans cette conception. Les secousses peuvent s'expliquer par un mécanisme souterrain ou non. Nous qualifions cette conception de macrosismique. La deuxième grande conception du séisme est celle d'une activité tellurique qui s'enregistre par des pics sur un sismogramme. Cette définition du séisme envisage macroséismes et microséismes. Elle s'affranchit du contexte local (effet de site, qualité des constructions, etc.). Le séisme s'explique par un mécanisme uniquement souterrain, qui peut-être le même que dans la première conception, mais qui est plus ou moins perceptible en surface. Nous qualifions cette conception de sismographique. L'introduction, dans l'étude, du sismographe, et des nouvelles actions disponibles qui lui sont associées, fait de ce moment un moment de rupture avec la conception macrosismique et va vers la conception sismographique.

Ces deux conceptions ne sont pas exclusives de celles identifiées par Allain (1995) ou Deunff *et al.* (1995) chez les élèves de l'école élémentaire ni de celles identifiées par Roubaud (2001) chez les professeurs des écoles stagiaires. Nous retrouvons dans nos observations la conception d'un choc entre deux plaques tectoniques (plus ou moins bien identifiées) comme étant à l'origine du séisme, conception que l'on retrouve dans les trois travaux cités. Cette conception d'un choc tectonique est compatible aussi bien avec une conception macrosismique du séisme qu'avec une conception sismographique. La violence du choc peut alors permettre d'expliquer l'existence des microséismes, comme on peut l'inférer de cet énoncé d'élève (S₁₂-67RO) « c'est juste au moment où les plaques elles vont à peine mais à peine mais à peine se toucher et ça ne va pas faire beaucoup ». Si le mécanisme reste analogue, le modèle diffère dans ses capacités (choc très violent ou léger) et ses comportements (perceptible ou imperceptible), tel que l'actualise l'extrait de corpus analysé en 5.2 ou, pour prendre un exemple dans les séances de P₁, l'énoncé S₁₂-88BE « s'il faut là il y en a un [un séisme] nous mais on ne le sent pas et le sismographe lui il le sent. » Notons au passage une différence d'ordre méthodologique : les auteurs cités infèrent les conceptions qu'ils décrivent à partir de questionnaires (d'élèves ou de professeurs stagiaires) tandis que nous les inférons à partir de transcriptions de séances de classe.

Ce qui nous intéresse dans l'évolution de la conception macrosismique à la conception sismographique, rendue possible par

l'instrument éponyme, c'est l'extension du phénomène sismique du seul catastrophique au relatif, puis à l'imperceptible. Ainsi, entre le début de la séance S_{21} et la fin de la séance S_{22} , le terme de séisme, ou tremblement de terre, passe d'une première acception intuitive et spontanée à une acception plus proche de celle du collectif de pensée des sismologues. Ainsi, outre le progrès que cela représente en lui-même, l'évolution de l'acception du terme est consubstantielle aux propositions pré-quantitatives des figures 2 (les secousses sont plus ou moins violentes) et 4 (un séisme perd de sa puissance en se déplaçant) qui sont des éléments du modèle. Nous retrouvons ici ce que nous désignions en début d'article par le holisme du modèle, c'est-à-dire sa solidarité avec un arrière-fond matériel et sémiotique qui lui donne un contenu spécifique.

Jeux épistémiques et modélisation

Dans les séances étudiées, la construction d'éléments du modèle s'effectue dans des jeux épistémiques que nous avons décrits comme imbriqués. En premier lieu, nous identifions un premier jeu épistémique qui a pour enjeu la production écrite d'hypothèses candidates à être par la suite des éléments du modèle scientifique. Puis, ces hypothèses issues du premier jeu sont ensuite le matériau d'un deuxième jeu qui consiste à les valider ou à les réfuter, en les mettant en relation avec les objets ou les événements relatifs au modèle qui sont disponibles dans la classe. C'est cette reprise des résultats du premier jeu comme éléments du second qui nous conduit à les considérer dans une imbrication. Cette technique professorale nous semble particulièrement adaptée à la modélisation dans la classe. Du point de vue de *la théorie de l'action didactique conjointe* (Sensevy & Mercier, 2007 ; Sensevy, 2007), les éléments du modèle du séisme sont tout autant une cible des jeux d'apprentissage que les jeux épistémiques où ils s'élaborent. C'est selon nous la relation à établir entre les deux notions : en classe, les jeux épistémiques sont des *cibles* des jeux d'apprentissage. Ainsi, lors du débat sur les caractéristiques d'un séisme, le jeu d'apprentissage a pour enjeu à la fois l'appropriation d'un savoir sur les séismes et l'appropriation du jeu épistémique *critiquer* les affiches, les productions écrites des pairs. Le professeur n'accorde généralement pas le gain à un élève produisant un énoncé correct mais qui relève d'un argument d'autorité. Il faut également que l'élève montre que cet énoncé est bien une critique raisonnée. Un moyen privilégié pour ce faire est la mise en jeu de rétroactions rationnelles du milieu qui viennent dans le débat objectiver le point de vue défendu. Ainsi, dans la classe, le professeur agit afin que les élèves tirent parti du milieu. C'est par exemple le cas lors de l'introduction du sismographe dans le milieu. Les deux professeurs

observés utilisent alors une même technique d'attestation de nouvelles actions disponibles dans le milieu : celles relatives aux microséismes et à la mesure absolue que permet un sismographe. Il ne s'agit alors pas seulement pour le professeur de construire un milieu pour la modélisation mais de jouer sur le jeu de l'élève de telle sorte que les potentialités du milieu soient actualisées.

D'un point de vue méthodologique, la spécification de jeux épistémiques cibles comme concourant à la modélisation des séismes dans la classe a nécessité que nous produisions une analyse des savoirs en jeu à deux échelles de temps : une analyse à l'échelle mésoscopique, celle du temps didactique et de l'introduction de nouveaux éléments de savoir, et une analyse microscopique, celle de l'énoncé, d'une granularité plus fine (Tiberghien *et al.*, 2007). À l'échelle mésoscopique, nous avons pu identifier les jeux épistémiques cibles au sein des séances (tableau 2, mais aussi tableau 1 pour P_1) et décrire leur fonctionnement (cf. 4.2 et 5.3). À l'échelle microscopique, nous nous sommes intéressés aux énoncés des élèves et du professeur, via des extraits de corpus dans cet article, et nous avons montré quelles relations s'établissaient (cf. figure 2 et figure 4) entre des éléments de savoir. Ces énoncés se comprennent alors comme autant de coups dans les jeux épistémiques cibles. Nous n'aurions su parvenir à ce résultat avec une analyse à une échelle de temps unique. C'est dans une « complexité organisée des niveaux de description » (Descombes, 1998, cité par Sensevy, 2007, p. 42-43) que nous l'obtenons.

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.
- 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*. Boulder COBLE, Westview press, p. 243-263.
- BAKHTINE M. (1970). *La Poétique de Dostoïevski*. Paris, Seuil.
- BERNARD p. (2003). *Qu'est-ce qui fait trembler la terre ?* Paris, EDP Sciences.
- BLUM C. (Dir.) (2005). *Le Nouveau Littré*. Paris, édition Garnier.
- BROUSSEAU G. (1998). *Théorie des situations didactiques*, Grenoble, La Pensée Sauvage.
- BUTY C., TIBERGHIE A. & LE MARECHAL 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.
- CARTWRIGHT N. (1999). *The dappled world. A Study of the boundaries of sciences*. Cambridge, Cambridge university press.
- CHARAUDEAU P. & MAINGUENEAU D. (2002). *Dictionnaire d'analyse du discours*. Paris, Seuil.
- CHEVALLARD Y. (1991). *La transposition didactique*. Grenoble, La Pensée Sauvage.
- CLOT Y. (1999). *La fonction psychologique du travail*. Paris, PUF.

- COLLINS A. & FERGUSON W. (1993). Epistemic forms and epistemic games: Structures and strategies to guide inquiry. *Educational Psychologist*, vol. XXVIII, n° 1, p. 25-42.
- DESBIAUX-SALVIAT R. & ROJAT D. (2006). Réalité et virtualité dans l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre. *Aster*, n° 43, p. 109-132.
- DEUNFF J. (Dir.). (1995). *La géologie à l'école. Découverte du monde qui nous entoure. La Terre notre planète. Tome 1*. Poitiers, CRDP Poitou-Charentes.
- DUCROT O. (1984). *Le Dire et le dit*. Paris, Minuit.
- EARLE S. (2004). A simple paper model of a transform fault at a spreading-ridge. *Journal of geoscience education*, vol. IV, n° 52, p. 391-392.
- FLECK L. (1934/2005). *Genèse et développement d'un fait scientifique*. Paris, Les Belles Lettres.
- HACKING I. (1983/1989). *Concevoir et expérimenter*. Paris, Bourgois.
- JOHSUA S. & DUPIN J.-J (1989). *Représentations et modélisations : le « débat scientifique » dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne, Peter Lang.
- JOHSUA S. & DUPIN J.-J (1999). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, PUF.
- MERCIER A. & SALIN M.-H. (1988). L'analyse a priori, outil pour l'observation. *Actes de l'Université d'été « Didactique et formation des maîtres à l'école élémentaire »*, Bordeaux, IREM de Bordeaux.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (2002a). *Qu'apprend-on à l'école élémentaire ? Les nouveaux programmes*. Paris, CNDP.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (2002b). *Fiches connaissances. Cycles 2 et 3*. Paris, CNDP.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (2002c). *Enseigner les sciences à l'école. Outil pour la mise en œuvre des programmes 2002 cycle 3*. Paris, CNDP.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (2005). Programmes des collèges. Volume 2. Classes de cinquième et de quatrième. Mathématiques, sciences de la vie et de la Terre, physique-chimie. *BOEN*, hors-série n° 5.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (2006). Socle commun de connaissances et de compétences. *BOEN*, n° 29, p. 1-15.
- OHLSSON S. (1996). Learning to do and learning to understand: a lesson and a challenge for cognitive modeling. In P. Reiman & H. Spada (éd.), *Learning in Humans and Machine*. Oxford, Pergamon Elsevier Science, p. 37-62.
- REID H. (1910). *The California earthquake of April 18, 1906. Vol. 2 Mechanics of the earthquake*. Washington D.C., Carnegie Institution of Washington.
- ROUBAUD J.-L. (2001). *Une approche de la Transposition Didactique : étude des conceptions d'étudiants de première année d'IUFM sur les grands phénomènes géologiques, objets à enseigner à l'école élémentaire*. Thèse de doctorat en science de l'éducation, université de Aix-Marseille-1.
- SCHUBAUER-LEONI M.-L. & LEUTENEGGER F. (2002). Expliquer, comprendre dans une approche clinique/expérimentale du didactique ordinaire. In F. Leutenegger & M. Saada-Robert (éd.), *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. (2002). Représentations et action didactique. *L'Année des sciences de l'éducation 2002*, p. 67-90.