



HAL
open science

**Investigation scientifique et modélisation pour
l'enseignement des sciences de la Terre
Contribution à l'étude de la place des technologies numériques dans la
conduite d'une classe de terrain au lycée**

Eric Sanchez

► **To cite this version:**

Eric Sanchez. Investigation scientifique et modélisation pour l'enseignement des sciences de la Terre
Contribution à l'étude de la place des technologies numériques dans la conduite d'une classe de
terrain au lycée. Education. Université Claude Bernard - Lyon I, 2007. Français. NNT: . tel-
00199077

HAL Id: tel-00199077

<https://theses.hal.science/tel-00199077v1>

Submitted on 18 Dec 2007

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.

Université de Lyon
Équipe d'accueil : EA 4148
Laboratoire d'études du phénomène scientifique (LEPS)

**Investigation scientifique et modélisation pour
l'enseignement des sciences de la Terre**
Contribution à l'étude de la place des technologies numériques
dans la conduite d'une classe de terrain au lycée

Thèse de Doctorat de l'Université de LYON

Présentée par Eric SANCHEZ
le 11 décembre 2007

Sous la direction de Christian Orange et Luc Trouche

Jury :

Samuel Johsua

Professeur des universités, Université de Provence, président

Georges-Louis Baron

Professeur des universités, Université Paris V, rapporteur

Marc Desmet

Maître de conférences HDR, INRP, Université de Savoie, rapporteur

Alain Mille

Professeur des universités, Université de Lyon, examinateur

Christian Orange

Professeur des universités, Université de Nantes, directeur

Luc Trouche

Professeur des universités, INRP, Université de Lyon, directeur

Remerciements

La rédaction de la page de remerciements d'une thèse est l'occasion de mesurer ce que le travail accompli doit aux autres. Au delà de l'exercice traditionnel, je souhaite donc souligner l'accompagnement, les collaborations, les aides et les soutiens dont j'ai pu bénéficier. Ce sont donc des remerciements très vifs et très sincères que j'adresse à toutes les personnes qui, d'une manière ou d'une autre, ont participé à ce travail.

Merci à Alain Mille, Christian Orange et Luc Trouche, qui ont dirigé ce travail, pour leurs apports scientifiques, leurs conseils, leur soutien, leur patience sans faille et tout le travail qu'ils ont accompli.

Merci à Georges-Louis Baron, Marc Desmet et Samuel Johsua qui me font l'honneur de participer au jury.

Merci à Michèle Prieur pour son implication très forte dans chacune des étapes de ce travail.

Merci à Gabriel Gohau qui a accepté de relire et corriger la partie de ce document consacrée à l'épistémologie des sciences de la Terre.

Merci à Olivier Lefèvre et Gilles Fuxa, respectivement développeurs de Géonote et du module Calendrier Géologique.

Merci à Annie Jaime, Anne Nuguet et Gilda Putinier, enseignantes du lycée du Val de Saône.

Merci aux collègues et amis de l'INRP avec lesquels les échanges sur les questions qui sont développées ici ont largement contribué à l'avancement de ce travail.

Merci enfin aux élèves des terminales S du lycée du Val de Saône qui ont accepté de subir les magnétophones et caméras de « monsieur Géonote » durant leurs pérégrinations dans le massif du Chenaillet.

A Bernard Tribollet

Résumé

Investigation scientifique et modélisation pour l'enseignement des sciences de la Terre. Contribution à l'étude de la place des technologies numériques dans la conduite d'une classe de terrain au lycée

Ce travail se situe à l'intersection de deux champs de la recherche en éducation : les didactiques des sciences et les environnements informatiques pour l'apprentissage humain. Il s'inscrit dans un cadre socio-constructiviste et vise à identifier les conditions pour que des élèves puissent s'engager de manière autonome dans un travail d'investigation lors d'une classe de terrain en sciences de la Terre.

Nous développons l'idée que l'apprentissage des sciences s'appuie nécessairement sur la conduite d'une démarche d'investigation c'est-à-dire une démarche qui, dans le cadre de la résolution d'un problème, conduit à mettre en tension un modèle scientifique – considéré comme un outil « pour penser » - et un registre empirique constitué lors d'activités de terrain. Nous montrons également que la question de l'instrumentation est une question centrale et que l'intérêt de l'Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain (EIAH) que nous avons conçu réside dans le fait qu'il peut permettre de médiatiser les interactions, c'est-à-dire d'assister les élèves dans leur démarche d'investigation, et de permettre au professeur d'exercer un certain contrôle sur ce processus. Les environnements informatiques sont alors considérés comme des instruments qui sont construits par les apprenants au cours de leur activité et qui participent à la reconfiguration des processus d'apprentissage.

Mots clés : classe de terrain, investigation scientifique, modélisation, Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain

Summary

Scientific Inquiry and Modelling for the Teaching of Earth Science. Contribution to the study of the place devoted to digital technology during a fieldwork course.

This work takes place in the intersection of two fields of the educational research : the didactics of sciences and the computerized learning environment for human learning. It relates to a socio-constructivist framework and aims at identifying the setting which is necessary so that students can be able to carry out a scientific inquiry during a fieldwork course for Earth science teaching.

We develop the view that the learning of science is an inquiry based process ; in other words, this process consists in linking, in the framework of problem solving, an empirical register - elaborated during fieldwork – and a scientific model considered as a “thinking tool”. We show that the question of instrumentation is a key question and that the benefit of the software that we have conceived relates to the fact that it mediates the interactions - eg. assists the students during the inquiry process - and allows the teacher to control the learning process. The computer based learning environments are, then, considered as tools which are constructed by the learners through their activity and participate in transforming the learning processes.

Key words : fieldwork course, scientific inquiry, modelling, computerized learning environment

LEPS - LIRDHIST

Université Claude Bernard Lyon 1

43, Boulevard du 11 Novembre 1918 - 69622 Villeurbanne Cedex

Bâtiment " La Pagode" - 38 Boulevard Niels Bohr - Campus de la DOUA

Résumé (version française longue)

Investigation scientifique et modélisation pour l'enseignement des sciences de la Terre - Contribution à l'étude de la place des technologies numériques dans la conduite d'une classe de terrain au lycée

Après avoir défini un cadre pour l'investigation dans la discipline scolaire des sciences de la Terre, nous cherchons à identifier les variables didactiques pertinentes pour que les élèves puissent s'engager de manière autonome dans ce type de travail, et à discuter les rôles que les technologies peuvent jouer dans une telle démarche. Notre recherche s'inscrit dans le cadre des théories socio-constructivistes¹. L'apprentissage est considéré comme résultant d'*interactions* : interactions entre un sujet-apprenant et un objet à connaître, interactions avec un *milieu didactique* élaboré par l'enseignant, interactions avec des instruments et interactions sociales de ce sujet-apprenant avec ses pairs et l'enseignant.

Ce travail nous a conduit à explorer différents cadres théoriques. Il s'agit d'abord des travaux d'épistémologie et de didactique des sciences de la Terre sur les rapports que la discipline entretient avec le temps et l'espace et qui apportent un éclairage sur les difficultés rencontrées par les élèves dans la discipline pour se constituer un *registre empirique* à travers la connaissance des objets et propriétés du réel. Il s'agit également des travaux qui portent sur la place de la modélisation dans le travail du chercheur² et dans la classe³. Il s'agit enfin des travaux sur la *médiation instrumentale* au cours de l'apprentissage et en particulier sur la place des artefacts informatiques dans ce processus. Les environnements informatiques sont

¹ Vygotski, L. (1934). *Pensée et langage* (1998 ed.). Paris: La Dispute.

² Bunge, M. (1975). *Philosophie de la physique*. Paris: Editions du Seuil.

³ Martinand, J-L. (1995) Introduction à la modélisation., *Séminaire de didactique des disciplines technologiques 1994-1995*. Association Tour 123, 7-19.

ainsi considérés comme des *instruments*⁴ qui sont construits par les apprenants au cours de leur activité.

Notre point de vue est que l'apprentissage des sciences s'appuie nécessairement sur la conduite d'une *démarche d'investigation* c'est-à-dire une démarche qui, dans le cadre de la résolution d'un problème, conduit à mettre en tension un *modèle scientifique* et un *registre empirique*⁵ constitué lors d'activités de laboratoire ou de terrain.

Ce travail se situe ainsi à l'intersection de deux champs de la recherche en éducation : les didactiques des sciences et les environnements informatiques pour l'apprentissage humain. Il vise à questionner deux hypothèses que nous considérons comme majeures :

Hypothèse 1 : Une démarche d'investigation procède d'une démarche de modélisation et le modèle scientifique en jeu est appelé à jouer un rôle clé pour que les élèves puissent s'engager dans cette démarche de manière autonome. Ce rôle réside dans le fait que l'investigation conduite consiste à mettre en tension ce modèle avec un *registre empirique*.

Hypothèse 2 : La question de l'instrumentation de la démarche d'investigation est une question centrale et l'intérêt d'un Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain ne réside pas dans le fait qu'il permet d'automatiser ce type d'activité mais dans le fait qu'il peut permettre de les médiatiser c'est-à-dire d'assister les élèves dans leur démarche d'investigation et de permettre au professeur d'exercer un certain contrôle sur ce processus.

Afin d'éprouver ces hypothèses, nous avons conçu un scénario d'apprentissage dans lequel des lycéens de terminale scientifique étaient engagés dans une classe de terrain. La méthodologie mise en œuvre s'appuie sur l'analyse d'un traçage informatique de l'activité des élèves ainsi que sur une analyse de leurs verbalisations et de leurs productions. Nous avons donc élaboré un dispositif permettant de recueillir et de représenter ces traces informatiques et conçu une grille d'analyse décrivant les différentes tâches d'un travail d'investigation pour analyser les verbalisations des élèves. C'est la mise en relation de ces deux types de traces qui

⁴ Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies. Approche cognitive des instruments contemporains*. Paris: A. Colin.

⁵ Orange, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie, quels apprentissages pour le lycée ?* Paris: PUF.

permet d'analyser l'activité des élèves et d'éclairer le rôle joué par l'application dans l'instrumentation du travail d'investigation.

Nous avons été amené à concevoir Géonote⁶, l'application informatique que les élèves ont utilisée. Cette application est intervenue à deux niveaux dans notre travail. En premier lieu, la conception de Géonote s'est prolongée dans l'usage que les élèves ont pu en faire au cours de nos expérimentations. Par ailleurs, cette application a permis d'instrumenter, à travers le traçage de l'activité des élèves, le travail de recherche que nous avons conduit.

Les résultats obtenus montrent que la conception de situations permettant à des élèves de s'engager dans un travail d'investigation résulte d'une double approche :

- une *approche didactique* qui conduit à l'explicitation du modèle scientifique afin qu'il puisse jouer son rôle d'outil pour la conduite d'une démarche d'investigation scientifique. Cette explicitation permet alors aux élèves d'utiliser le modèle comme un « outil pour penser » au cours des différentes phases de cette démarche ;
- une *approche instrumentale*, c'est-à-dire que la conception de l'EIAH se poursuit dans l'élaboration des *scénarios d'apprentissage* dans lesquels il est utilisé. L'application intervient alors en participant à la reconfiguration de l'ensemble du processus d'apprentissage. Elle permet ainsi d'élaborer des situations d'apprentissage dans lesquelles les élèves peuvent s'engager de manière autonome et construire des connaissances en s'affrontant aux difficultés qu'ils rencontrent.

La prise en compte de ces deux dimensions – explicitation du modèle scientifique en jeu dans le travail d'investigation à conduire et mise à disposition d'un EIAH destiné à instrumenter le travail de constitution du *registre empirique* et la confrontation de ce registre au modèle scientifique - permet alors la conception de *scénarios d'apprentissage* qui possèdent une certaine valeur générique mais dont la souplesse permet d'envisager que des enseignants puissent se les approprier et les adapter à leurs propres besoins.

⁶ Lefèvre, O., & Sanchez, E. (2006). *Géonote : un environnement informatique d'aide au travail sur le terrain pour l'enseignement des sciences de la Terre*. Paper presented at the Biennale de l'éducation, Lyon.

Table des matières

Résumé.....	8
Table des figures et des illustrations.....	12
Table des annexes	15
Introduction	17
1 Problématique de la recherche.....	20
2 Cadre théorique.....	25
3 Instrumentation d'un travail d'investigation scientifique avec Géonote.....	87
4 Questions, hypothèses et méthodologie de la recherche	107
5 Description des expérimentations conduites et méthodes de recueil des données..	134
6 Une étude de cas, le binôme 9nuguet1	152
7 Rôles joués par le modèle dans le travail d'investigation conduit par les élèves....	201
8 Activités instrumentées avec Géonote	246
9 Conclusions et perspectives	286
Bibliographie.....	293
Table des matières	306
Annexes.....	314

Table des figures et des illustrations

Figure 1 : relations entre situation, processus interactifs et connaissances.....	57
Figure 2 : Relations entre situation, connaissances et interactions et évolution dans le temps	58
Figure 3 : La classe de terrain, différents niveaux praxéologiques	84
Figure 4 : Panneau permettant le choix d'un secteur géographique lors de la création d'une session	88
Figure 5 : Les différentes fenêtré de l'application lors de son ouverture.....	89
Figure 6 : Utilisation des fonctions zoom et déplacement sur la fenêtré de visualisation....	90
Figure 7 : Utilisation du réglet pour effectuer une mesure sur la carte	91
Figure 8 : Superposition des cartes topographique et géologique et affichage de la légende	92
Figure 9 : Affichage des coordonnées géographiques.....	92
Figure 10 : Affichage du menu au niveau d'un arrêt.....	93
Figure 11 : Affichage d'une donnée et du commentaire associé.....	94
Figure 12 : Fenêtré du gestionnaire permettant de sélectionner les données disponibles	95
Figure 13 : Copie d'écran de l'aide de Géonote.....	96
Tableau 1 : Fonctionnalités de Géonote et prise en compte de difficultés d'ordre spatial....	97
Figure 14 : Copie d'écran du module Calendrier Géologique	99
Figure 15 : Fenêtré d'affichage de l'échelle stratigraphique.....	99
Figure 16 : Boite de dialogue d'édition d'un événement géologique sur la spirale	100
Tableau 2 : Fonctionnalités du module Calendrier Géologique de Géonote et prise en compte de difficultés d'ordre temporel	101
Figure 17 : Annotation de l'historique	102
Figure 18 : Édition d'un nouveau secteur géographique.....	103
Figure 19 : Fenêtré d'édition des coordonnées géographiques	104
Figure 20 : Fenêtré d'édition d'une nouvelle donnée.....	104
Figure 21 : Fenêtré de calibrage du réglet.....	105
Figure 22 : Démarche d'investigation en sciences de la Terre.....	110

Figure 23 : Une typologie de tâches au cours de l'investigation scientifique	121
Tableau 3 : Scénario d'apprentissage des expérimentations de septembre/octobre 2005...	138
Tableau 4 : Scénario d'apprentissage des expérimentations de septembre/octobre 2006...	140
Tableau 5 : Quelques exemples de tâches et techniques mises en œuvre sur le terrain par les élèves	142
Figure 24 : Reproduction du pli de Saint Clément (05) en pâte à modeler	143
Figure 25 : Extrait d'un fichier de traçage.....	147
Figure 26 : 9nuguet1, chronogramme de la séance A	150
Figure 27 : Structures géologiques et indices mentionnées par les élèves	159
Figure 28 : Chronogramme du binôme 9nuguet1 : prise en main de Géonote.....	163
Figure 29 : Détermination de l'itinéraire de la classe de terrain avec Géonote	166
Figure 30 : Extrait de chronogramme du binôme 9nuguet1 : détermination de l'itinéraire à parcourir	167
Figure 31 : Itinéraire tracé par le binôme 9nuguet1	168
Figure 32 : Liens entre registre du modèle et registre empirique, cas d'un chevauchement	171
Figure 33 : Chronogramme des échanges des élèves du binôme 9nuguet1 sur le terrain (Queyras, berges du Guil)	177
Figure 34 : Édition d'une donnée avec l'application Géonote	183
Figure 35 : Binôme 9nuguet1, chronogrammes au cours de la création des données.....	185
Tableau 6 : Modification évoquées par les élèves du binôme 9nuguet1	197
Figure 36 : Traduction du modèle en observables de terrain	202
Tableau 7 : Quelques exemples de termes employés par les élèves et portant sur le modèle au cours de l'étape de préparation de l'école de terrain.	204
Figure 37 : Liens entre registre empirique et registre du modèle dans les échanges des élèves	209
Figure 38 : Caractéristiques et phénomènes géologiques relatifs au modèle scientifique décrivant la formation d'une chaîne de collision	212
Figure 39 : Traduction du modèle en observables de terrain (expérimentation 2005).....	214
Figure 40 : Traduction du modèle en observables de terrain (2006).....	217
Tableau 8 : Eléments du modèle transposés dans le registre empirique sans mise en histoire, quelques exemples au travers des verbalisations et productions des élèves	220
Figure 41 : Détermination des mesures à effectuer sur un pli pour en évaluer le raccourcissement	224

Tableau 9 : Evocation des registres empirique et du modèle dans les commentaires des photographies rédigés par les élèves	231
Figure 42 : Mise en relation des registres empirique et théorique de l'élève.....	240
Figure 43 : Place du modèle dans l'articulation des registres empirique et théorique	242
Figure 44 : Le modèle, outil d'intelligibilité	243
Figure 45 : Chronogrammes lors de la phase de prise en main de l'application.....	249
Figure 46 : Extrait de chronogramme montrant la prise en main de l'application (9nuguet2)	251
Tableau 10 : Différents types de trajets tracés par les élèves	259
Figure 47 : Un élève du binôme sélectionne les images, l'autre écoute les commentaires enregistrés sur le terrain.	262
Figure 48 : Incorporation dans les images de couleurs permettant de les identifier	263
Figure 49 : Photographies de minéraux sur le terrain.....	264
Figure 50 : Quelques exemples de photographies modifiées	268
Figure 51 : Un élève photographie un schéma pour l'intégrer dans Géonote	270
Figure 52 : Un binôme utilise son matériel personnel.....	271
Figure 53 : : Photographies de binômes au cours de la séance consacrée à l'édition et à la géolocalisation des données	272
Tableau 11 : Usages de l'application développés par les élèves et demandes exprimées...	275
Tableau 12 : Principaux motifs informatiques identifiables dans les chronogrammes	276

Table des annexes

Annexe A : Typologie des tâches d'une démarche d'investigation.....	315
Annexe B : Expérimentations des années 2006 et 2007.....	316
Annexe C : Pages écran du site de consignes à la disposition des élèves	317
Annexe D : Description du scénario 2006.....	327
Annexe E : Documents distribués aux élèves (expérimentation 2006)	329
Annexe F : Justification de l'itinéraire choisi pour quelques binômes (expérimentation 2005).....	336
Annexe G : Extrait du fichier de trace informatique du binôme 9nuguet1 (phase C)	337
Annexe H : Transcription de l'enregistrement du binôme A9nuguet1 et codage des verbalisations	339
Annexe I : Chronogrammes du binôme 9nuguet1.....	367
Annexe J : Formulaire du questionnaire des expérimentations 2005	370
Annexe K : Formulaire du questionnaire des expérimentations 2006	373
Annexe L : Modèle scientifique proposé aux élèves (expérimentation 2005).....	376
Annexe M : Réponses du binôme 9nnuguet1 lors de la séance A (réponses rédigée dans le bloc-note de Géonote).....	377
Annexe N : Documents géoréférencés par le binôme 9nuguet1	378

Annexe O : Binôme 9nuguet1, extraits de chronogrammes correspondants à la création des données.....	382
Annexe P : Indices à rechercher indiquées par les élèves dans leurs réponses (2005)	385
Annexe Q : Extraits de chronogrammes correspondant à la prise en main de l'application	
.....	386
Annexe R : Extraits de chronogrammes du binôme 8 jaiime2 correspondants à l'ouverture d'une session et à l'organisation de l'interface.....	387
Annexe S : Extraits de chronogrammes correspondants à l'ouverture d'une donnée géoréférencée.....	388
Annexe T : Motif informatique correspondant à la consultation d'une donnée géoréférencée	
.....	389
Annexe U : Extraits de chronogramme correspondants à l'ouverture de données géoréférencées lors de la phase d'édition des données	391
Annexe V : Extraits de chronogramme au cours du tracé de l'itinéraire.....	393
Annexe W : Documents géoréférencés par les élèves (image sélectionnée, texte saisi et extrait de chronogramme correspondant)	394

Introduction

"A force de parler de roches et encore de roches, c'est devenu un peu long et presque ennuyant"

Un élève de terminale S

L'expression *classe de terrain* qui est aujourd'hui retenue par les auteurs des programmes de l'enseignement secondaire pour désigner les *sorties géologiques* vient souligner l'importance de ce dispositif d'enseignement pour l'apprentissage de la discipline. La classe de terrain, comme les activités de travaux pratiques, permet aux élèves de se confronter au réel. Ces deux modalités d'enseignement ont ainsi des statuts qui les rapprochent. Ce point a conduit les auteurs d'un ouvrage récent à qualifier la classe de terrain, comme les activités de travaux pratiques, de *labwork-activities* (Committee on High School Science Laboratories, 2006). Le fait que, en classe de première S, les rédacteurs des programmes soulignent que la classe de terrain fasse « partie intégrante du programme de sciences de la vie et de la Terre » (Bulletin Officiel de l'Education Nationale, 2002b) et que cette modalité d'enseignement soit obligatoire témoigne de l'importance que les auteurs des programmes lui accordent.

Le travail que nous présentons ici découle du constat que la classe de terrain est une pratique d'enseignement qui, selon nous, est aujourd'hui questionnée par trois types d'évolutions dans l'enseignement de la discipline.

La première évolution concerne le développement de l'usage des technologies numériques. Ce développement est lié à l'évolution de l'instrumentation de la discipline elle-même et en particulier de l'essor de la géomatique, c'est-à-dire les technologies numériques qui permettent l'édition, la visualisation et le traitement de l'information géographique. Ce développement est également lié au fait que les politiques éducatives, aux niveaux national, européen ou international, ont inscrit la culture numérique comme élément du socle commun des connaissances (OCDE, 2005). Encouragés par ces incitations, des enseignants de collège et de lycée commencent à s'emparer de ces outils et à les intégrer à leurs pratiques, parfois pour la conduite d'activités de terrain. Ainsi, les Globes Virtuels accessibles par Internet tels que Google Earth ou Géoportail, les GPS ou les Systèmes d'Information Géographique sont

utilisés par des collégiens ou lycéens pour recueillir de l'information géologique et la traiter. On observe alors des pratiques qui témoignent d'un processus de *scolarisation* (Baron & Bruillard, 2007) des outils géomatiques. Cette scolarisation concerne principalement des outils grand public (Sanchez, Genevois, & Fontanieu, 2007).

La seconde évolution qui selon nous questionne la pratique du terrain pour enseigner est liée aux appels nombreux pour le renouvellement des pratiques dans l'enseignement des sciences. Ces appels, qui émanent d'instances politiques (Rocard et *al.*, 2007), ou de chercheurs (voir par exemple (Olson & Loucks-Horsley, 2000 ; Halloun, 2004) prônent l'emploi d'une pédagogie fondée sur la conduite d'investigations scientifiques, par les élèves, dans le cadre de la résolution de problèmes. L'expression *démarche d'investigation* est présente dans le texte officiel (Bulletin Officiel de l'Education Nationale, 2000) qui définit le Plan de Renovation de l'Enseignement des Sciences et de la Technologie à l'Ecole (PRESTE). Elle a depuis été employée dans les programmes qui concernent l'enseignement scientifique au collège (Bulletin Officiel de l'Education Nationale, 2004).

La troisième évolution porte sur la place des modèles et de la modélisation pour l'enseignement des sciences que de nombreux travaux se sont attaché à explorer. Ces travaux sont peu nombreux à concerner spécifiquement les sciences de la Terre mais le fait que la douzième édition d'un manuel de géologie (Dercourt & Paquet, 2002 ; Dercourt, Paquet, Thomas, & Langlois, 2006) ait introduit le terme modèle dans son titre – « Géologie : objets et méthodes » est devenu «Géologie : objets, méthodes et modèles » - témoigne de l'actualité de cette question pour la discipline.

Un tel contexte nous paraît favorable pour porter un regard renouvelé sur la classe de terrain pour l'enseignement des sciences de la Terre et les questions qui sont l'origine de ce travail concernent ces différents aspects. Qu'est-ce qu'une démarche d'investigation et en quoi la classe de terrain procède-t-elle d'une telle démarche ? Quelle place les modèles scientifiques peuvent-ils prendre dans ce type d'enseignement ? En quoi les technologies numériques permettent-elle de renouveler les démarches comprenant une phase de travail sur le terrain ?

C'est pour tenter de proposer des éléments de réponse à ces questions que nous-nous sommes engagé dans le travail que nous présentons ici. Le document est structuré en huit parties. Une première partie prolonge cette brève introduction. Elle permettra au lecteur d'avoir une vue globale de la méthodologie que nous avons adoptée, de la démarche que nous avons suivie. La partie dans laquelle nous développons notre cadre théorique permet de préciser les fondements théoriques qui ont permis d'une part de concevoir un EIAH et d'autre part de formuler nos questions de recherche. L'EIAH est décrit dans la partie C alors que la partie D

est consacrée à des développements sur les questions de la recherche et sur la méthodologie mise en œuvre pour les aborder. Les expérimentations qui ont été conduites et les méthodes de recueil de données mises en œuvre sont exposées dans la partie E. Les parties suivantes sont consacrées à la discussion des résultats obtenus du point de vue de l'étude d'un binôme d'élèves, puis de la place du modèle dans un travail d'investigation et, enfin, des rôles joués par l'EIAH déployé.

1 Problématique de la recherche

1.1 Les objectifs de la recherche : conduire l'analyse didactique d'un travail d'investigation instrumenté

Cette première partie est destinée à préciser la problématique de la recherche. Elle indique quelques éléments de contexte personnel ainsi que les retombées attendues de ce travail.

Ce travail s'est cristallisé au point d'intersection de différentes thématiques qui sont autant de questions pour lesquelles j'ai un intérêt personnel particulier. L'une de ces thématiques est la question du renouvellement des pratiques dans l'enseignement des sciences. La crise des vocations pour les filières scientifiques a conduit différentes institutions à s'interroger sur les facteurs qui sont à l'origine de cette crise. L'un des facteurs incriminés est la manière dont les sciences sont enseignées et de nombreuses voix se sont élevées pour appeler à ce que les pratiques pédagogiques fassent plus appel à l'engagement des élèves c'est-à-dire soient fondées sur la conduite d'une démarche d'investigation (Rocard et *al.*, 2007). La seconde thématique concerne la place des technologies numériques dans l'enseignement. Au delà de leur potentiel en termes d'automatisation des tâches et d'accès à l'information des « logiciels [permettent] de nouer de nouvelles formes de confrontation au savoir, pertinentes et élaborées » (Rocard, 2007). C'est la question de la place des technologies dans le processus d'apprentissage qui est soulignée. La troisième thématique est celle de la géologie et en particulier de la géologie de terrain pour laquelle j'ai un goût personnel prononcé. La prise en compte de ces thèmes autour d'un travail de thèse nécessitait un contexte favorable. Ce contexte s'est présenté lorsque j'ai été détaché à l'Institut National de Recherche Pédagogique et que j'ai pu ainsi trouver l'environnement de travail stimulant pour conduire un travail de recherche universitaire.

1.2 Cadres de la recherche :

1.2.1 L'Épistémologie et la didactique des sciences de la Terre

Le point de vue que nous retiendrons sera celui d'Astolfi et Develay (1989) et Artigue (1991). Il existe des liens étroits entre l'épistémologie d'une discipline et sa didactique et que la compréhension des méthodes d'une science permet d'éclairer les questions relatives à son enseignement. Nos lectures nous ont donc entraîné vers les auteurs qui se sont interrogés sur la question de la genèse des connaissances dans les sciences de la Terre et vers des auteurs qui se sont intéressés à sa didactique. Une partie de cette thèse est ainsi consacrée à l'épistémologie et à la didactique de la discipline. D'un point de vue épistémologique, deux aspects ont plus particulièrement retenu notre attention. Il s'agit d'abord des rapports que la discipline entretient avec le temps et l'espace et les obstacles épistémologiques qui sont liés à ces rapports. Il s'agit également de la place de la modélisation dans la genèse des connaissances en sciences de la Terre. Ces deux questions sont également abordées pour la classe. Quels sont les difficultés et obstacles rencontrés par les élèves dans l'enseignement des sciences de la Terre ? Quels éclairages nous apportent les travaux qui se sont attachés à identifier la place des modèles dans un cadre éducatif ? La question des rôles joués par les modèles dans l'investigation scientifique doit permettre d'aider à résoudre celle de leur rôle dans la conduite d'un travail d'investigation par les élèves.

1.2.2 L'apprentissage conçu comme résultant d'interactions

Nous retiendrons les travaux qui décrivent l'apprentissage comme un processus qui résulte d'interactions (Piaget, 1967 ; Vygotski, 1934 ; Quignard & Baker, 2007) : interactions entre un sujet-apprenant et un objet à connaître, interactions avec un *milieu didactique* élaboré par l'enseignant, interactions avec des *instruments* et interactions sociales. Les connaissances sont élaborées dans l'action c'est-à-dire par une transformation matérielles ou symbolique du réel. C'est une posture socio-constructiviste que nous adoptons. Cette posture nous conduira à préciser la notion d'*interaction* à partir des travaux de Piaget et Vygotski, deux auteurs qui ont posé les fondements de ce cadre théorique. Il s'agira donc d'identifier, dans les travaux de ces auteurs, les éléments susceptibles d'éclairer cet aspect de notre travail. Cela nous conduira en particulier à examiner les questions de la nature des interactions à mettre en place pour qu'elles acquièrent un caractère *épistémique*, de la *médiatisation* de ces interactions et du type

de situations à construire dans le cadre d'un enseignement. Ce dernier point nous conduira à préciser les éléments des situations d'apprentissage dont il convient de tenir compte pour favoriser ces interactions. Cela nous amènera à regarder quels éléments de la *théorie des situations* de Brousseau peuvent s'avérer pertinents pour notre propre travail.

1.2.3 La médiation instrumentale de l'apprentissage

La question de la médiatisation des interactions sera plus particulièrement examinée du point de vue *instrumental*. Nous avons retenu, dans notre cadre théorique, des travaux qui se sont intéressés à l'influence des artefacts dans un processus de conceptualisation. Cela nous conduira à envisager la question de la place des utilisateurs – élèves ou enseignants – dans la conception des environnements informatiques pour l'apprentissage. A ce titre, les travaux de Rabardel (1995) sur la question des *genèses instrumentales* devraient constituer un cadre pertinent pour notre travail.

Cette revue de la littérature nous permettra de formuler notre problématique, de préciser les questions de notre recherche et de disposer d'un cadre pour l'analyse des données recueillies lors des situations que nous avons expérimentées.

1.3 Méthodologie de la recherche

Nous évoquons ici quelques éléments de la méthodologie que nous avons retenue pour guider le lecteur. Nous renvoyons ce dernier à la page 107 pour un développement de cet aspect de notre travail. La méthodologie que nous avons adoptée comprend deux volets liés. Il s'agit d'une part d'une ingénierie didactique et d'autre part de la conception d'un EIAH.

1.3.1 Une ingénierie didactique

La méthodologie de recherche que nous avons retenue nous amènera à articuler une analyse *a priori* permettant de concevoir des situations de classe et une analyse *a posteriori* des situations vécues avec les élèves. Notre méthodologie de recherche s'appuiera donc sur la mise en œuvre d'un scénario pédagogique fondé sur une élaboration théorique portant sur le statut du modèle scientifique dans la conduite d'un travail d'investigation scientifique dans la classe et la place que les technologies peuvent prendre pour instrumenter cette démarche. Elle s'appuiera également sur une mise à l'épreuve de ces constructions théoriques lors

d'expérimentations conduites en classe. La situation que nous avons retenue consiste dans la préparation, la conduite et l'exploitation d'une école de terrain par des lycéens.

1.3.2 La conception d'un EIAH

Cette dimension de notre travail porte sur la conception d'un EIAH considéré comme une *proposition* que l'utilisateur pourra prendre en main pour effectuer les tâches qu'il a en charge : conception d'un *scénario d'apprentissage* du point de vue de l'enseignant ou réalisation des tâches prescrites par cet enseignant pour l'élève. Cette conception prend donc en compte la créativité des utilisateurs à différents niveaux du processus. C'est ainsi que des enseignants ont été associés à la conception de l'artefact lui-même, que ces enseignants ont participé à l'élaboration de l'*instrument* via leur participation à l'élaboration des scénarios et que cette élaboration s'est également poursuivie dans l'usage de l'artefact par les élèves. Ce processus de conception est donc conçu comme en lien étroit avec l'usage de l'application par les enseignants et les élèves.

C'est donc l'influence de l'artefact sur l'ensemble du dispositif d'enseignement qui sera examinée et le concept de *système d'instruments* devrait permettre d'adopter un point de vue qui permet de dépasser une analyse qui s'en tiendrait à l'évaluation d'un logiciel conçu pour l'enseignement. EIAH et situation d'apprentissage sont envisagés liés et co-construits.

1.4 Sur les différents aspects qui ont motivé ce travail

En nous engageant dans ce travail nous en escomptons des retombées sur différents plans. Le premier plan concerne la dimension recherche de notre travail. Ce travail devrait nous permettre d'éclairer la notion de *démarche d'investigation* dans l'enseignement des sciences de la Terre, d'en dégager les grands traits et d'identifier les variables didactiques à prendre en compte pour que les élèves soient en mesure de s'y engager. Une seconde retombée attendue porte sur la question de l'*instrumentation* avec des technologies numériques des interactions qui peuvent se nouer dans le cadre de la conduite d'une telle démarche. Notre approche sera donc double. Elle comprend une dimension didactique qui portera sur l'analyse de l'activité des élèves, sur les difficultés qu'ils rencontrent, celles qu'ils surmontent et les apprentissages qui sont construits. Elle comprendra également une dimension instrumentale, c'est-à-dire la conception, au travers de son usage d'un EIAH pour l'enseignement des sciences de la Terre et l'analyse de ce processus.

Le second plan concerne les attentes institutionnelles, La question de la classe de terrain pour l'enseignement de la discipline est une question maintenant ancienne mais elle reste une question actuelle – inscrite dans les programmes de l'enseignement secondaire (Bulletin Officiel de l'Education Nationale, 1997) – qui mérite d'être re-visitée du fait de l'émergence des technologies numériques qui permette d'instrumenter un tel travail. Ainsi, les objectifs de développement d'une *culture numérique* chez les enfants et adolescents ne se situent pas en opposition avec la *classe de terrain* en tant que dispositif d'enseignement traditionnel. Ils viennent au contraire s'y adapter en y trouvant des possibilités de déploiement.

Le troisième plan concerne la dimension politique de notre travail. Il s'agit de la question du renouvellement de l'enseignement scientifique dans un contexte de désaffection pour les sciences. Nous adhérons à l'idée que ce renouvellement peut passer par la mise en œuvre de démarche conduisant les élèves à s'engager dans un travail d'investigation scientifique (Rocard et *al.*, 2007).

2 Cadre théorique

Cette partie nous permet de préciser nos questions de recherche et d'élaborer un cadre d'analyse des données recueillies au cours de nos expérimentations. Il s'agit d'examiner comment les travaux antérieurs permettent d'éclairer la question des conditions à prendre en compte pour mettre en place des situations permettant aux élèves de s'engager dans un travail d'investigation scientifique. Il s'agit également d'identifier les travaux qui peuvent nous apporter des éléments de compréhension sur la place que peuvent jouer les technologies dans la conduite d'une telle démarche. Ceci nous conduit à explorer différents cadres théoriques. Il s'agit d'abord des travaux d'épistémologie et de didactique des sciences de la Terre. Ce sont en particulier les rapports que la discipline entretient avec le temps et l'espace que nous examinons. Certains auteurs nous apportent en effet un éclairage sur les difficultés rencontrées par les élèves dans la discipline pour se constituer un *registre empirique*. D'autres auteurs nous permettent également de préciser la place de la modélisation pour le travail du chercheur ainsi que pour l'élève, dans le cadre de la conduite d'un travail d'investigation. Nous avons également retenu les travaux qui précisent d'une part la question des interactions au cours de l'apprentissage et d'autre part celle de la médiatisation de ces interactions. Ce dernier point sera développé du point de vue de sa dimension instrumentale. Nous examinons ainsi les travaux sur la médiation instrumentale au cours de l'apprentissage et en particulier sur la place des artefacts informatiques dans ce processus.

2.1 Repères épistémologiques pour la conception de situations d'apprentissage en sciences de la Terre

A l'exception de la question de la révolution qu'a constituée l'émergence de la tectonique des plaques (voir par exemple Marvin, 1973 ; Frankel, 1981 ; Cohen, 1985), les sciences de la Terre ont été largement négligées par les épistémologues et les réflexions qui portent sur cette discipline sont le plus souvent le fait des géologues eux-mêmes (voir par exemple Gould, 1988 ; Gould, 1990). Pourtant, la découverte de l'immensité des temps géologiques et de la dimension historique de notre planète a bouleversé notre rapport au monde comme ont pu le faire, à d'autres moments, avec des impacts de natures différentes, dans d'autres disciplines, la découverte de la gravitation pour la physique newtonienne ou de l'ADN pour la biologie cellulaire. L'objet de cette partie est d'examiner les spécificités des sciences de la Terre du point de vue de ses objets d'étude et des méthodes qu'elle met en œuvre afin de fonder notre approche didactique sur une épistémologie de la discipline qui soit valide. En particulier il nous semble important de nous interroger sur les relations qui se jouent entre le géologue et le terrain qu'il étudie. En effet, notre questionnement porte sur la conduite d'une démarche d'investigation scientifique par des lycéens dans le cadre d'une école de terrain. Il s'agit de développer, chez des élèves, des attitudes et des méthodes de pensée qui leur permettent, de manière autonome, de se livrer à un travail d'investigation scientifique. Cela suppose que les caractéristiques des objets géologiques soient examinées et que leurs résistances à l'investigation soient identifiées. Cela suppose également que les démarches du géologue soient caractérisées. C'est ainsi que nous considérerons en particulier la question du travail de terrain et la place de la modélisation, non pas parce que l'on souhaiterait que des lycéens soient en mesure d'effectuer un travail que les géologues mènent à bien grâce à des compétences qu'ils ont mis des années à acquérir, mais parce que l'on souhaiterait développer, chez ces élèves, des connaissances et des compétences pertinentes du point de vue de la discipline. Le géologue et l'élève ne se rendent pas sur le terrain pour les mêmes raisons. Pour le premier ce type d'activité s'inscrit dans un travail de recherche alors que pour le second la classe de terrain correspond à un projet d'enseignement. Néanmoins, l'activité du géologue nous paraît devoir éclairer le travail conduit par des élèves qui étudient la géologie.

Notre point de vue est en effet qu'il existe des liens étroits entre l'épistémologie d'une discipline et sa didactique et que la compréhension des méthodes d'une science permet d'éclairer les questions relatives à son enseignement. Ce point de vue a été examiné par

différents auteurs. Ainsi, Astolfi et Develay (1989 p. 24) indiquent-ils que « la didactique a [t-elle] à regarder du côté de l'épistémologie contemporaine si les principes sur lesquels elle s'appuie pour proposer un enseignement des sciences expérimentales ont quelque validité. ». Cette question a été approfondie par Artigue (1991) pour qui « l'analyse épistémologique est nécessaire au didacticien ». Ainsi, dans cet article consacré aux relations entre épistémologie et didactique des mathématiques – relations qui semblent assez largement transposables aux sciences de la Terre (Gohau, 1995) - Artigue distingue et discute différentes fonctions de l'analyse épistémologique dans le champ de la didactique :

- cette analyse permet d'examiner les processus de genèse des connaissances et donc d'éclairer le travail de *transposition didactique*, c'est-à-dire la reconstruction, pour l'enseignement du savoir savant (Chevallard, 1985). Elle permet ainsi de « guider la production d'ingénieries didactiques » ;

- elle permet aussi de traquer les *obstacles épistémologiques* qui peuvent constituer des *obstacles didactiques* d'après G. Bachelard (1938) ;

- l'analyse des *conceptions* des chercheurs – et dans le cas qui nous intéresse des géologues - c'est-à-dire les instruments de connaissance dont ils disposent pour comprendre le réel (Giordan, Girault, & Clément, 1994), qui se sont succédés au cours de l'histoire peut également nous aider à interpréter des conceptions d'élèves.

Nous nous sommes, dans ce travail, penché sur des écrits d'auteurs francophones et anglo-saxons qui nous ont semblé représentatifs des travaux effectués dans le domaine de l'épistémologie des sciences de la Terre en nous efforçant de contribuer à lever la barrière qui semble établie entre leurs travaux respectifs. Il est certain que des travaux d'autres aires linguistiques – en langues allemande ou espagnole par exemple – ont échappé à notre vigilance. Néanmoins, notre propos est moins d'établir une synthèse générale des travaux d'épistémologie des sciences de la Terre que de relever des point saillants qui pourraient avoir des conséquences sur l'enseignement. Nous-nous sommes efforcé également de distinguer les réflexions qui portent sur la didactique des sciences de la Terre de celles qui portent sur son épistémologie mais cette entreprise est parfois rendue délicate tant les liens qui unissent ces deux aspects sont forts.

2.1.1 De la géologie aux sciences de la Terre

Dans ce paragraphe nous examinons en quoi les sciences de la Terre se distinguent d'autres disciplines scientifiques. Il s'agit d'identifier les spécificités de la discipline afin de

comprendre l'impact que ces spécificités pourraient avoir sur la manière dont elle est enseignée. Cet examen sera effectué au travers d'un bref aperçu de l'histoire de la naissance des sciences de la Terre.

En géologie, les legs de l'antiquité jusqu'au XVII^e siècle portent essentiellement sur des données empiriques assez nombreuses, car de tout temps l'homme s'est interrogé sur les phénomènes catastrophiques tels que les volcans ou les séismes et, sur l'origine des minerais nécessaires à ses activités artisanales, puis industrielles. Pour Ellenberger (1988, 1996) la naissance de la géologie moderne est rapide (1810 – 1830) et résulte de 3 prises de conscience :

- l'immensité des temps géologiques ;
- la succession des faunes dans le temps ;
- l'existence d'une formation primitive originelle (plutonisme vs neptunisme).

Cette naissance est marquée par deux actes fondateurs : la fondation de la Geological Society de Londres en 1807 suivie, en 1830, de celle de la Société Géologique de France qui consacrent la constitution d'une communauté internationale de savants qui ont fait de la Terre un objet d'étude à part entière. Les sciences de la Terre ont désormais pour objectifs, d'une part l'étude des phénomènes actuels, et, d'autre part, celle de l'histoire de la Terre (Gohau, 1987). On inscrit ainsi généralement les sciences de la Terre en tension entre deux pôles (D. Orange, 2003a), le pôle fonctionnaliste qui se réfère à des lois déterministes et qui s'intéresse à l'explication de la formation de la Terre (géologie dynamique), et le pôle historique (géologie historique) qui consiste, selon Laudan (2002), à rechercher dans les archives les événements inscrits dans la flèche du temps et marqués par la contingence.

Si, du point de vue de l'enseignement secondaire, les sciences de la Terre sont, dans la plupart des pays francophones, actuellement très proches des sciences de la vie il n'en est pas de même dans la majorité des pays anglophones où, comme le relèvent Dodick et Orion (2003b), elles sont considérées comme dérivées des sciences physiques et davantage orientées vers le pôle fonctionnaliste. Les raisons que ces auteurs évoquent sont d'ordre historique. Ils mettent en relief les rôles joués par des physiciens tels que Newton (1642–1727) et Kelvin (1824-1907) aux premières heures de la géologie moderne. Kelvin a en effet joué un rôle crucial dans le débat sur l'âge de la Terre et a réussi à imposer durablement ses conceptions fondées sur l'utilisation des méthodes de la physique. Par ailleurs, le principe d'actualisme - les causes qui modèlent notre planète aujourd'hui sont les mêmes que celles qui ont été à l'œuvre dans le passé - retenu en sciences de la Terre peut être considéré comme une tentative d'appliquer les *vera causa* - c'est-à-dire les lois vraies et suffisantes, les lois effectives, à l'origine d'un

phénomène - de Newton à cette discipline. Les objets géologiques, sont donc d'emblée considérés comme réductibles aux objets physiques qui les constituent et leur spécificité en tant qu'objets naturels, lors de la naissance de la discipline, est niée (Frodeman, 1995). Ils peuvent donc être étudiés à l'aide des outils conceptuels de la physique. Outre le fait que ces événements de l'histoire des sciences ont établi la géologie comme une discipline mineure hiérarchiquement inféodée aux sciences physiques, en imposant leurs méthodes de physiciens à la communauté naissante des géologues, ces grandes figures de la science des XVII^e et XVIII^e siècles marquaient durablement la supériorité des sciences théorico-expérimentales sur les sciences d'observation. Dodick et Orion (2003b) interprètent donc la place mineure occupée par la géologie dans les curriculums des pays anglo-saxons en invoquant le fait qu'elle a d'emblée été placée sous le joug des sciences physiques.

La situation est tout autre en France où, dès sa naissance, la géologie moderne a été rattachée à l'histoire naturelle et prise en charge par les naturalistes. Cuvier (1769-1832), influencé par Buffon (1707-1788) lui-même auteur de « L'histoire de la Terre » et « Epoque de la Terre », est considéré comme le créateur de l'anatomie comparée et de la paléontologie ; il a écrit par ailleurs un mémoire dans lequel il décrit méthodiquement les formations géologiques de la région de Paris. Dès sa création en 1793, le Muséum d'histoire naturelle possède une chaire de géologie. Ses deux premiers professeurs, Barthélemy Faujas de Saint-Fond (1741-1819) et plus particulièrement Pierre-Louis Cordier (1777-1861) avec Alexandre Brongniart (1770-1847), titulaire de la chaire de minéralogie, ont manifesté leur attachement à la méthode d'observation sur le terrain, ils sont à l'origine des collections de géologie du Muséum. L'émergence de la géologie en France est donc marquée par une approche naturaliste et historique pour laquelle la recherche et l'observation des traces du passé est de rigueur. Déjà dans les collèges de l'ancien régime, la géologie est rattachée à l'histoire naturelle.

Si des travaux s'accordent à souligner le caractère dévalorisé des géosciences dans les curricula des pays anglo-saxons (Dodick & Orion, 2003b), ou le fait que les étudiants de ces pays les jugent « approximatives » et « subjectives » (Bezzi, 1999), en France, la géologie fait l'objet d'un enseignement durant toute la scolarité et les programmes de sciences de la vie et de la Terre du collège et du lycée font une part importante à cette discipline. Ce rapprochement des sciences de la Terre et des sciences de la vie est encore légitimé par des considérations épistémologiques (C. Orange & Orange, 1995 ; Demounem & Astolfi, 1996) telles la nécessité d'aborder les problèmes sous un angle systémique (l'évolution de la planète est bio-géologique). Les êtres vivants et les objets géologiques possèdent des propriétés

communes et répondent à la logique de systèmes complexes de matière et d'énergie où la question du temps est une dimension fondamentale. Ce sont également, des sciences historiques marquées par l'irréversibilité du temps et la contingence. Enfin, ce sont des sciences pour lesquelles le travail sur le terrain et l'observation jouent un rôle important par opposition aux sciences théorico-expérimentales presque exclusivement pratiquées en laboratoire.

Demounem et Astolfi (1996) relèvent par ailleurs que le changement d'appellation de la géologie - la géologie devient sciences de la Terre - correspond à une évolution des concepts et des techniques. Dans les années 60 différentes sciences vont collaborer à l'élaboration de la tectonique des plaques. Il s'agit alors d'une véritable révolution scientifique (Wilson, 1968). Cette théorie vise à construire un modèle de Terre et à définir le statut de notre planète dans l'Univers (Monchamp & Sauvageot-Skibine, 1995). La géologie devient ainsi Sciences de la Terre, synthèse complexe de différentes approches puis sciences de la Terre et de l'Univers lorsque les géologues tentent d'appliquer leurs méthodes d'investigation aux autres planètes de notre système solaire. Le terme géosciences est actuellement celui le plus communément retenu au niveau international. Le pluriel permet de souligner une dimension fondamentale de la discipline : la complexité de l'objet d'étude, la Terre, dont la compréhension dépend d'une approche pluridisciplinaire qui met en œuvre des méthodes très diverses. Cette tendance semble avoir une portée générale puisqu'on parle aujourd'hui plus volontiers de sciences mathématiques que de mathématique et de sciences du vivant plutôt que de biologie.

Les sciences de la Terre présentent donc certaines caractéristiques qui doivent nous conduire à nous interroger sur la manière dont doit être conçu leur enseignement. Parmi ces particularités, nous semblent essentielles :

- les explications produites, fonctionnalistes et historiques ;
- les approches employées, modélisantes et ancrées sur le réel de terrain

Nous retenons également les rapports complexes que la discipline entretient avec le temps et l'espace. Ces points sont développés dans les paragraphes suivants.

2.1.2 Le rapport des sciences de la Terre au temps

« L'idée dominante que l'on trouve présente dans toutes nos recherches, qui accompagne chacune de nos observations neuves, et dont le son parvient

continuellement en écho, de tous les points de l'œuvre de Nature, à l'oreille de quiconque étudie celle-ci, c'est le Temps, le Temps, le Temps. »

George P. Scrope, géologue britannique (1827) cité par Gould (1990).

2.1.2.1 Temps cyclique, temps sagittal

Différentes conceptions du temps géologique se sont succédées ou ont même coexisté selon les explications variées qui sont données de la formation des roches, des structures géologiques observées ou encore de l'évolution des êtres vivants.

Pour Aristote, il y a « un certain cercle du temps »⁷, pour les stoïciens, l'univers est consumé périodiquement par le feu qui l'a engendré et renaît de ses cendres. Le temps de l'antiquité est donc cyclique. Selon Gould (1990) deux conceptions du temps se sont affrontées entre le XVII^e et le XIX^e siècle. Ces conceptions opposent un temps perçu comme une flèche linéaire – temps sagittal - à un temps représenté par la répétition périodique des mêmes états et événements – temps cyclique. Temps sagittal et temps cyclique constituent ainsi deux systèmes antagonistes à la lumière desquels ont été évalués les objets géologiques lors de la naissance de la géologie moderne

Selon Gould (1990), au XVII^e siècle, pour Burnet et Sténon, l'histoire de la Terre peut être décrite en envisageant simultanément la répétition de cycles (temps cyclique) dont les différences permettent de les décrire comme se succédant dans le temps (temps sagittal). Pour Burnet, le visage actuel de la Terre est la « figure passagère d'une longue fresque historique » (Gould, 1990). D'après D. Orange, c'est cette prise en compte simultanée des aspects cyclique et sagittal du temps qui permet d'aborder la dimension historique de notre planète. La dimension sagittale permet d'envisager les changements qui se produisent alors que la dimension cyclique permet d'identifier des régularités qui en sont à l'origine et qui en constituent les marqueurs temporels.

Au XVIII^e siècle, Werner est un fervent défenseur du neptunisme (Gohau, 1987), thèse pour laquelle les roches seraient issues de précipitation dans un grand océan en régression. Le neptunisme s'inscrit donc dans une histoire sagittale progressive maintenant achevée. Dans cette perspective, la flèche du temps est extérieure à l'évolution de la Terre qui ne se transforme que sous l'influence de principes physiques indépendants de la contingence (D. Orange, 2003b).

A la même époque, Hutton, dans sa *Theory of the Earth*, permet de faire triompher le concept de temps cyclique. Son objectif est de transposer l'ordre cosmique de Newton (révolution des

⁷ *Physique, IV, 223-224, . trad. Dayan, textes choisis PUF 1966.*

corps célestes) dans la durée terrestre. A la révolution des planètes dans l'infinité de l'espace fait écho la révolution des états de la Terre dans l'infinité du temps. Cette conception permet d'ouvrir la voie au concept d'immensité des temps géologiques, mais occulte l'aspect historique des sciences de la Terre. En effet, si l'histoire de la Terre est constituée par la répétition d'événements identiques, tenter de nous situer dans cette succession d'états strictement identiques n'a pas de sens.

Au XVIII^e siècle, Lyell fonde son système sur l'uniformitarisme, l'état physique de la Terre comme les lois qui expliquent les événements actuels et passés sont uniformes. La Terre est engagée dans une évolution cyclique de destruction et de rénovation qui la maintiennent dans un état globalement uniforme. Pour Hutton comme pour Lyell, la Terre garde globalement la même physionomie (« stady-state »). Ils évacuent ainsi l'histoire de la Terre. (Gohau, 2003 ; Rudwick, 2005)

Au début du XIX^e siècle, les différentes conceptions du temps s'expriment à travers deux manières d'envisager l'histoire de la vie qui s'affrontent. Elles sont en France défendues par Cuvier, fixiste et catastrophiste, et Lamarck, transformiste et gradualiste (Laurent, 1989). Pour Cuvier, l'histoire de la Terre est émaillée de catastrophes qui détruisent périodiquement les faunes. Les espèces ne se modifient pas. Les conceptions de Lamarck le portent plutôt à envisager une modification graduelle des espèces indépendamment de la survenue de catastrophes. La victoire du transformisme consacra également celle du gradualisme, bien que des auteurs comme Deluc (1727-1817) évoquent un transformisme non gradualiste (Gohau, communication personnelle). Les modifications subies par notre planète seront durablement considérées comme lentes et progressives – « la nature ne fait pas de saut » - empêchant d'évoquer la survenue d'événements cataclysmiques dans les bouleversements majeurs, tels que les crises biologiques, observées dans les archives géologiques. Ces deux manières d'envisager l'histoire de la Terre sont à mettre en parallèle avec les deux conceptions du temps mises en relief par Gould. La thèse catastrophiste s'accorde plutôt d'un temps cyclique et la survenue périodique de cataclysmes qui viennent « remettre les pendules à l'heure » alors que la thèse gradualiste est plus adaptée à un temps linéaire s'écoulant inexorablement dans une direction unique.

Ainsi, pour reconstituer le passé, deux attitudes sont envisageables :

- choisir comme fil directeur un élément qui semble permanent ou qui réapparaît périodiquement. Ce choix a tendance à masquer ce qui se modifie. C'est alors l'aspect cyclique de l'histoire qui l'emporte ;

- choisir comme fil directeur un élément variable, un objet qui change régulièrement dans un sens défini. L'histoire devient alors linéaire.

Comme le souligne Gohau (1995), il y a donc une réelle difficulté à concilier dans un même raisonnement phénomène cyclique et transformation. La science contemporaine bute sur ce problème, faute de parvenir à construire un modèle qui concilierait répétition et cheminement irréversible. Selon De Rosnay (1975), l'analyse des systèmes complexes nous oblige à couper la boucle de causalité et à perdre une partie de la signification de l'ensemble et choisir de concevoir le temps comme une flèche surgissant du passé et pointant vers le futur tend à nous faire perdre la compréhension de l'aspect cyclique des phénomènes géologiques. Néanmoins, cette conception de la Terre permet de souligner sa dimension historique.

2.1.2.2 La dimension historique des sciences de la Terre : les traces du passé

La reconstitution de l'histoire de la Terre s'appuie sur les traces du passé (biologiques, tectoniques...). Ainsi, le géologue est souvent décrit comme un enquêteur qui a pour tâche d'établir la chronologie des événements ayant affecté une région donnée de la même manière qu'un détective se doit de reconstituer la scène au moment du crime. Au XVII^e siècle, Sténon initie cette démarche en s'intéressant aux fossiles et aux couches qui les contiennent pour reconstituer leur histoire, il pose ainsi les bases de la géologie historique, première science paléontologique (Whewell 1794 – 1866), pour laquelle la prise en compte des archives du passé permet d'accéder à une explication historique de la formation de la Terre (Gohau, 2003). En France, dès le XVIII^e siècle, la géologie est ainsi particulièrement marquée par la paléogéographie c'est-à-dire la reconstitution des écosystèmes qui se sont succédés. Prendre en compte les traces du passé aujourd'hui observables pour reconstruire l'histoire implique d'en comprendre la production au cours du temps (D. Orange, 2003b), ainsi un pli observé dans le paysage traduit un phénomène de compression sur des matériaux considérés comme plastiques à l'échelle des temps géologiques. C'est le principe d'actualisme qui va permettre de raisonner sur les phénomènes qui ont agi par le passé.

2.1.2.3 L'actualisme, concept fondateur

D. Orange (2003b) souligne que le présent contient les traces et qu'il permet de les comprendre : «... il est une base, une référence de modélisation du passé, un vivier de possibles géologiques. ». Le présent est donc une clé du passé⁸ à condition que l'on considère que la nature a toujours fonctionné comme elle fonctionne aujourd'hui. Cette hypothèse de

⁸ Geikie, géologue écossais, écrivait en 1905 « The present is the key to the past » (Ellenberger, 1994) p. 297)

travail a fondé l'uniformitarisme ou actualisme, énoncé par Lyell en 1830. Selon Gould (1990), son système est décliné de 4 manières :

- les lois de la nature sont uniformes. Pour Goguel (1996), *actual causes* doit être traduit par *causes effectives* plutôt que par *actualisme*. Ce qui signifie que les lois physiques qui ont joué dans le passé sont celles qui jouent encore aujourd'hui ;
- la conséquence en est que les modes opératoires sont également uniformes c'est-à-dire que ces lois physiques actuelles peuvent être utilisées pour expliquer les événements passés (uniformitarisme) ;
- les changements s'effectuent à un rythme lent et uniforme qui échappe à l'observation humaine. Les événements cataclysmiques jouent un rôle négligeable dans l'histoire de la Terre (gradualisme) ;
- l'état physique de la Terre est également uniforme et nie l'existence d'un vecteur de progrès. Il abandonnera ce principe sous l'influence des idées darwiniennes.

Gohau (1997 p. 140) distingue les lois physico-chimiques invariantes mises en cause par Lyell des causes géologiques encore agissantes dont l'invariabilité peut porter à controverse. Il énonce ainsi le principe d'actualisme non pas en faisant référence aux lois physico-chimiques de Lyell mais en utilisant les processus géologiques eux-mêmes : « ...les causes qui ont agi au long de l'histoire de la Terre ne diffèrent point essentiellement des causes géologiques actuelles (érosion, transport, sédimentation, métamorphisme, volcanisme, plissement et soulèvement des montagnes ...) ».

Pour D. Orange (2003b), l'actualisme est un principe méthodologique qui participe à la reconstitution de l'histoire de la Terre. Elle précise que, lorsque celui-ci est en échec - car il ne permet pas d'expliquer les traces observées - il est alors possible de faire appel au catastrophisme raisonné qui mobilise des causes anciennes de natures différentes ou des causes actuelles de plus grande intensité.

L'actualisme est donc un concept qui constitue un principe fondateur de la géologie historique et du raisonnement diachronique dans cette discipline.

2.1.2.4 Raisonnement géologique/raisonnement diachronique

Le géologue fait donc du temps un paramètre important et sa pensée est avant tout de type diachronique, c'est-à-dire visant à comprendre le déroulement des phénomènes dans le temps et à « insérer l'explication d'un état présent dans la dimension temporelle » (Montangero,

1996). La géologie est donc, à l'instar de l'histoire humaine, une science historique (Frodeman, 1995 ; Dodick & Orion, 2003b).

Face à un affleurement, le géologue nous raconte donc une histoire. Mais, c'est selon Stengers (1993) une histoire qui n'est pas « anthropo-centrée » et qui « s'intéresse à autre chose que ce qui renvoie à nous ». C'est également une histoire parmi d'autres histoires car « Ce qu'un terrain permet d'affirmer, un autre peut le contredire sans pour autant que l'un des témoignages soit faux. ».

2.1.2.5 La contingence ou l'histoire modelée par le hasard

D. Orange (2003b) souligne que le temps contient l'histoire mais que le déroulement des événements n'étant pas déterminé dès le départ, celui-ci joue sur le cours de l'histoire. Pour Gohau (2003) et Gould (1990), la géologie historique est déterminée par l'étude des traces du passé, mais aussi par la prise en compte de la contingence. Ce point est d'une importance capitale pour les sciences de la Terre et les travaux de Cournot (1801-1877) sur le hasard ouvrent des perspectives du point de vue de son analyse scientifique. Il faut, pour ce mathématicien, renoncer à identifier les causes fortuites (la « petite » histoire) au profit d'une compréhension des raisons. Ces raisons renvoient au contexte global (la « grande » histoire) qui éclaire sur le pourquoi du déroulement des phénomènes. Les traces du passé sont nécessaires car, du fait de la contingence, le passé ne se déduit pas du présent.

C'est au XVIII^e siècle, avec la naissance de la géologie moderne, que s'effectue la reconnaissance du rôle de la contingence dans la reconstitution historique. Celle-ci s'affirme au siècle suivant avec Darwin qui prend en compte les modifications aléatoires s'effectuant chez les êtres vivants et introduit ainsi le hasard dans l'histoire de la vie. Le géologue suisse Gressly, en introduisant la notion de variation latérale de faciès (une même strate géologique peut présenter une structure pétrographique et un contenu paléontologique différents selon les points de son aire d'extension), a pu aborder la notion de régionalisation de l'histoire et donc souligner le rôle de la contingence en géologie (Gohau, 1989). Pour une même période, les variations latérales de faciès témoignent de conditions paléo-environnementales dont les différences sont, pour partie, contingentes. Plus récemment, Allègre (2002) confirme cette idée. Il souligne que certains types d'évènements simples se succèdent selon des séquences et des modes variés à des rythmes divers, selon des échelles de temps différentes ce qui permet l'expression de la contingence de l'histoire géologique. L'histoire que les indices géologiques nous permettent de reconstituer n'est donc qu'une histoire parmi une infinité de possibles.

Gould (1988) met en relief que cette histoire ne constitue pas une marche inéluctable vers le progrès. Il s'oppose en cela au néo-darwinisme qu'il qualifie de « panglossien », c'est-à-dire sous-tendu par le finalisme et l'idée que tout caractère ayant passé le filtre de la sélection naturelle est nécessairement bon. Selon cet auteur, le monde que nous connaissons a largement été façonné par le hasard et ne correspond en aucune manière à un monde idéal consacrant la supériorité des organismes qui l'occupent sur ceux aujourd'hui disparus.

Pour conclure, le caractère historique des sciences de la Terre et le caractère irréversible de l'histoire des phénomènes géologiques, constituent un trait majeur de cette discipline. Cette dimension pose un certain nombre de problèmes d'ordre méthodologique. Les méthodes d'étude des sciences théorico-expérimentales, qui consistent dans la purification en laboratoire du phénomène étudié, sont en effet largement inopérantes sur des objets qui ne peuvent être véritablement compris qu'à travers leur histoire. La prise en compte de cette dimension a également de grandes conséquences d'un point de vue épistémologique. Ainsi, les remarques de Levi Strauss (1962), lorsqu'il s'exprime sur les sociétés humaines, valent également pour les sciences de la Terre. « Prendre le parti de l'histoire c'est rendre impossible une classification en groupes finis ». Les êtres vivants appartiennent à des groupes reliés par des relations de parenté et la systématique trace des frontières qui ont un caractère en partie artificiel. Cette prise de position ouvre donc le champ à une pensée transformiste qui peut s'appliquer aussi bien aux êtres vivants qu'aux objets géologiques (« la diachronie l'emporte sur la synchronie »). Mais cette pensée transformiste ne peut prendre toute sa mesure que si on lui offre les longues durées nécessaires pour expliquer les transformations qu'elle évoque.

2.1.2.6 Les temps profonds : l'immensité des temps géologiques et la révolution huttonienne

Le géologue ne peut que se sentir à l'étroit dans les quelque six millénaires que lui accordent une interprétation littérale des textes bibliques telle que celle effectuée par l'archevêque irlandais James Ussher au milieu du XVII^e siècle (Boorstin, 1983). Ainsi, pour Gould (1990), la découverte du « temps profond » est une étape intellectuelle majeure de l'histoire des sciences qui a été qualifiée également de *révolution scientifique* (Dodick & Orion, 2003b ; Rudwick, 2005). *Révolution scientifique* est à prendre au sens que Kuhn (1962) attribue à ce terme, c'est-à-dire une rupture dans l'évolution des idées, un changement de paradigme.

Cette découverte de la profondeur des temps géologiques est à mettre en parallèle avec la découverte de l'immensité de l'espace par Galilée et Newton. La découverte du « temps profond », que l'on attribue généralement à Hutton et Lyell, provient, selon Gould (1990), de

leur investissement dans l'idée de temporalité cyclique. Hutton « brûlait d'interpréter la durée comme Newton avait reconstruit l'espace » et, plus loin, « La machine de Hutton, c'est la transposition dans la durée terrestre de l'ordre cosmique de Newton ». L'immensité des temps géologiques constitue ainsi le cadre essentiel dans lequel se déroulent les cycles terrestres aussi réguliers que les cycles planétaires.

La découverte de ce concept au XVIII^e siècle ouvre un vaste champ d'investigation à la géologie. Les objets géologiques peuvent ainsi être interprétés comme construits (dans la durée), comme résultant d'une histoire. Ils peuvent ainsi évoluer au cours du temps. Il devient aussi possible de renoncer au catastrophisme comme seul système explicatif des transformations géologiques observées et de prendre en compte l'intervention de phénomènes imperceptibles à l'échelle d'une vie humaine, mais dont l'action est conséquente sur de très grandes durées. Le balisage temporel de l'histoire de la Terre devient un objectif majeur et la construction de l'échelle stratigraphique, indispensable calendrier à l'usage des géologues, ouvre la perspective d'un vaste programme de recherche. Les fondements d'une chronologie relative reposant sur l'étude des relations géométriques entre les différents objets géologiques et leur contenu paléontologique sont rapidement établis. Ils permettent de fonder la stratigraphie et de construire une échelle des temps internationale. La mise au point de méthodes permettant de donner un âge absolu aux objets géologiques, les méthodes de radiochronologie en sont un exemple, devront attendre le XX^e siècle pour pouvoir se développer.

Pour Savaton (1998), la chronologie relative est une succession déduite qui repose sur les connaissances géologiques mais qui est indépendante des représentations temporelles ; il n'en est pas de même de la chronologie absolue qui mesure une quantité de temps entre un événement géologique passé et l'actuel. Cette quantité mesurée qui ne peut être appréhendée par l'expérience personnelle du sujet et par son expérience directe du temps constitue un élément qui fait que les phénomènes géologiques ne relèvent généralement pas de l'expérience directe..

Si la prise en compte de l'immensité des temps géologiques permet d'expliquer la physionomie actuelle de la Terre et des êtres vivants en appliquant le principe d'actualisme et en ayant recours à la contingence, il n'en demeure pas moins qu'il existe une multiplicité des temps et que leur articulation reste délicate. Ainsi, selon De Riquès (2002), les différences de points de vue entre les théories classiques de l'évolution qui décrivent une évolution des espèces lente et progressive et celles qui intègrent la survenue d'événements brusques et rapides (voir par exemple la théorie des équilibres ponctués de Gould et Eldredge publiée en

1972), sont liées à une articulation différente entre le temps *écologique* qui permet de décrire l'évolution actuelle des populations et le temps *géologique* de l'histoire des espèces. Pour Gould (1990), la spéciation est un phénomène long à l'échelle des temps écologiques, qui décrivent l'évolution d'un écosystème, mais dont la durée est négligeable à l'échelle des temps géologiques. Ainsi, l'évolution des espèces apparaît discontinue (saltationnisme). De Riquès souligne ainsi la difficulté à transposer un temps dans un autre tout en rendant compte des distorsions correspondantes.

En géologie, la question du rapport au temps est donc complexe et multiple. Caractère cyclique ou sagittal, durée et chronologie des phénomènes géologiques ainsi que la mise en œuvre du principe d'actualisme peuvent rendre difficile la compréhension des objets géologiques et ont, dans l'histoire de la géologie, parfois constitué de véritables *obstacles épistémologiques* au sens de G. Bachelard (1938). Il nous faudra donc examiner comment ces difficultés et obstacles se traduisent dans le cadre de l'enseignement de la discipline. Avant d'aborder les questions d'enseignement il nous faut d'abord considérer une autre dimension de la discipline, les rapports qu'elle entretient avec l'espace.

2.1.3 Le rapport des sciences de la Terre à l'espace

2.1.3.1 Les rapports entre temps et espace

Il existe des rapports étroits entre temps et espace en sciences de la Terre. Sur le terrain, les durées de phénomènes géologiques sont représentées par la taille des objets géologiques : amplitude de la déformation des strates, puissance des dépôts sédimentaires, hauteur des chaînes de montagne... Ce rapport entre temps et espace a été très tôt souligné par Kant (1781) pour d'autres contextes. Le temps de Hutton fait ainsi écho à l'espace de Newton et les frontières de notre monde ont brusquement été repoussées au début du XVIII^e siècle. Ces rapports entre temps et espace s'observent à différentes échelles (C. Orange, Beorchia, Ducroq, & Orange, 1999). Ces auteurs citent à l'appui de leurs propos le cas de l'observation de différentes lames minces d'un même ensemble pétrographique. Les observations des espèces minérales appartenant à une même série peuvent conduire à envisager les réactions de transformations minéralogiques dans le temps.

Savaton (1995) souligne que la carte géologique permet une représentation simultanée du temps et de l'espace. La structure tridimensionnelle des ensembles lithologiques peut être déduite des affleurements représentés sous la forme de plages de couleurs et de traits. Cette

structure tridimensionnelle permet dans un second temps de déterminer les relations géométriques qu'établissent les unités structurales et donc de les replacer dans une chronologie.

Néanmoins, les relations entre temps et espace ne sont pas simples et directes et peuvent parfois se révéler trompeuses. Ainsi, des lamines argileuses, de puissance millimétrique, de dépôts de grands fonds peuvent représenter des durées très longues au regard de dépôts sédimentaires de type flyshs dont la puissance, métrique ou hectométrique, représente des événements brusques, de type glissement de terrain, qui se déroulent sur des durées de l'ordre de la minute ou de l'heure et donc très brefs d'un point de vue géologique. Si la lecture de l'espace permet d'accéder à la chronologie et à la durée des phénomènes, ce raisonnement ne va pas de soi et il met en œuvre des compétences dont l'acquisition résulte d'un long apprentissage.

2.1.3.2 Représenter, se représenter l'espace et s'y orienter

Les phénomènes géologiques agissent dans un espace tridimensionnel et les objets géologiques qu'ils produisent doivent donc être étudiés en tenant compte de cet aspect. Savaton (1998) définit un espace aérien (le relief) et un espace souterrain (l'espace géologique) qui renferment les informations nécessaires à la compréhension de la structure des terrains et de leur histoire. Il souligne que ces volumes sont le plus souvent représentés dans les deux dimensions d'un plan. En conséquence, la reconstruction de l'espace géologique nécessite d'être capable de passer du plan au volume et inversement. Gould (1988) avait précédemment énoncé cette idée en mettant en relief que l'une des aptitudes spécifiques du paléontologue est sa capacité de passer d'un objet à 2 dimensions (fossile déformé par le processus de sédimentation) à un objet tridimensionnel (organisme reconstitué), à reconstituer les puzzles que constituent les fragments d'os ou de coquilles exhumés. Il prend comme exemple à l'appui de sa thèse le travail du paléontologue qui, à partir des différentes coupes d'un même organisme fossilisé que laissent voir les cassures aléatoires dans la roche, reconstitue son aspect tridimensionnel. Cet exemple pourrait être transposé en minéralogie (structure tridimensionnelle d'un minéral) ou en tectonique (géométrie d'une faille ou d'un pli).

Quant à Dodick et Orion (2003a), ils notent que l'un des facteurs limitant la capacité à établir des corrélations stratigraphiques est la capacité de vision tridimensionnelle. La lecture de cet espace tridimensionnel s'effectue en effet à partir de documents qui le représentent en deux dimensions. Ce sont, au laboratoire, les allers et retours entre la carte géologique et les

différentes coupes stratigraphiques réalisées qui permettent d'établir les corrélations. Sur le terrain, la tâche se complique du fait des difficultés de lecture qu'il présente.

Un autre aspect porte sur la capacité du géologue à changer de référentiel. Comprendre un objet géologique dans ses trois dimensions, c'est en effet l'appréhender dans ses différentes directions, c'est être capable de décrire et de comprendre les modifications d'allure de l'objet lorsque l'on modifie l'angle d'observation (Savaton, 1998). C'est également repérer l'identité d'un même objet qui peut paraître très différent selon les angles sous lesquels il est observé.

D'une manière générale, la capacité de se représenter l'espace joue donc un rôle fondamental pour la compréhension des objets géologiques et des phénomènes qui les ont produits. Ces compétences ne sont probablement pas l'apanage du géologue – il suffit de penser par exemple au travail de l'architecte ou du géomètre – mais elles participent d'une dimension essentielle de nombreuses activités dans cette discipline.

2.1.3.3 Les questions d'échelle

Des transformations minéralogiques aux plaques lithosphériques, du séisme soudain et destructeur à la formation des chaînes de montagnes, les sciences de la Terre s'intéressent à des objets dont les échelles d'organisation vont du nanomètre à la dizaine de milliers de km et manipulent, selon les cas, les secondes ou les milliards d'années (Demounem & Astolfi, 1996). Exprimés en terme de vitesse, les phénomènes géologiques peuvent être rapides ou au contraire extrêmement lents. La lenteur des processus impliqués peut ainsi masquer l'aspect dynamique d'un objet géologique qui à notre échelle paraît caractérisé par son caractère statique et immuable. Raab et Frodeman (2002) soulignent que les concepts utilisés en géologie sont fondés sur l'expérience du temps et de l'espace dérivée de nos capacités sensori-motrices. Mais il y a une grande différence entre le rythme du temps géologique et le rythme du temps qui ponctue une existence humaine. C'est dans ce décalage de rythme que réside une partie des difficultés à appréhender les phénomènes géologiques qui s'écartent des normes d'échelles de temps et d'espace habituellement accessibles à nos sens. Ces questions d'échelle se rencontrent également dans l'analyse des mécanismes à l'origine des phénomènes géologiques. La présence de tel minéral caractéristique de hautes pressions dans une roche peut être liée au fait que cette roche a été impliquée dans une zone de subduction. Un mécanisme local peut donc être relié à une cause plus générale et la théorie de la tectonique des plaques est comprise comme une tentative d'échafauder une théorie globale à l'échelle du globe permettant de comprendre des observations régionales ou locales.

Au-delà des difficultés de lecture de la carte géologique, le problème de la représentation de l'espace se pose de manière récurrente en sciences de la Terre. Roubaud (2003) distingue deux espaces :

- l'espace non formalisé dans lequel le sujet évolue, appréhendé par le biais des sens (macro-espace) ;
- l'espace construit théoriquement, nécessitant une conceptualisation (micro-espace).

Une des difficultés réside dans le fait que la capacité à naviguer entre micro et macro-espace, c'est-à-dire, par exemple, à établir le lien entre l'objet géologique et sa représentation graphique, ne va pas de soi mais nécessite des compétences particulières, non spécifiques des sciences de la Terre, mais néanmoins essentielles dans cette discipline.

Pour des raisons d'échelle et du fait de leur caractère tridimensionnel, les objets géologiques présentent donc une certaine résistance à l'investigation du géologue. Il nous faudra donc également examiner comment cette résistance s'incarne dans l'enseignement.

Ces rapports au temps et à l'espace confèrent aux objets géologiques une spécificité qui les distingue des objets d'étude d'autres disciplines. Nous allons maintenant étudier comment ces spécificités se traduisent dans les démarches mises en œuvres par les géologues.

2.1.4 Le rapport des sciences de la Terre au réel

2.1.4.1 L'inaccessibilité de certains objets géologiques

Le corollaire de l'immensité du temps dans lequel se déroulent les événements géologiques est la lenteur de certains processus géologiques qui les rend souvent imperceptibles directement. Ces phénomènes sont donc largement inaccessibles à l'observation et seule une interprétation (des déformations subies par une roche, de la puissance des dépôts sédimentaires...) permet d'imaginer ces phénomènes à l'œuvre.

L'inaccessibilité des objets étudiés est également une caractéristique fréquemment rencontrée en sciences de la Terre. L'observation de ce qui est sous la mer, ce qui est dans la profondeur (Allain, 1995), implique que des méthodes d'observation complexes et indirectes soient mises en œuvre. La tomographie sismique, l'imagerie satellitale et la géochimie sont quelques-unes de ces méthodes, développées récemment, qui ont permis des progrès considérables.

2.1.4.2 La place du travail de terrain

Frodeman (1995), puis Raab et Frodeman (2002), relèvent la nature herméneutique des sciences de la Terre. Cette discipline est fondamentalement interprétative. Le géologue

recueille sur le terrain des indices qui lui permettent de reconstruire l'histoire. C'est pour Stengers (1993) un « enquêteur » qui raconte plutôt qu'un « juge » qui tranche sur la base de résultats expérimentaux. Mais le récit est fondé sur une interprétation des traces du passé et ce sont ces traces qui permettent de trancher entre différentes interprétations.

En premier lieu, l'étude et la compréhension d'un affleurement est fondée sur l'analyse des différentes strates qui le constituent alors que chacune d'entre elles n'acquiert une signification géologique que dans le cadre de ce même affleurement. La conception du tout dépend de la compréhension des différentes parties qui ne peuvent être étudiées hors contexte (cercle herméneutique). En second lieu, un même fait d'observation de terrain peut conduire à des interprétations très différentes. Les informations géologiques ne sont pas données et objectives mais résultent d'une démarche façonnée par un déjà là conceptuel, un cadre méthodologique et théorique.. Enfin, les pratiques de terrain sont largement dépendantes des objectifs poursuivis ; une faille n'a pas la même signification selon que le géologue souhaite reconstruire l'histoire géologique de la région ou construire un pont.

Le travail sur le terrain est en grande partie de nature inconsciente, et que le géologue n'est pas nécessairement la personne la plus à même de rendre compte des méthodes qu'il applique car elles relèvent parfois plus de ce que l'on peut nommer intuition que de l'observation raisonnée (Raab & Frodeman, 2002) .

L'importance du travail sur le terrain est soulignée par les géologues eux-mêmes et les didacticiens (C. Orange et *al.*, 1999). Ce travail de terrain nourrit les expériences de laboratoire ou de simulation et réciproquement. Ainsi, « la mise en relation des données de terrain avec les modèles possibles fait intervenir tout un ensemble de connaissances de type pratique et fait interférence avec les conceptions qui peuvent jouer le rôle de masque. Savoir lire et comprendre le terrain demande un apprentissage, des aides ».

2.1.4.3 Quelle(s) démarche(s) d'investigation en géologie ?

Agassiz, cité par Gould (1988), insiste sur la nécessité, pour les disciplines qui traitent de résultats non reproductibles et excessivement complexes, de recourir à des démarches différentes de l'expérimentation et de la manipulation. Si l'expérimentation peut être utilisée en sciences de la Terre – elle l'est par exemple en pétrographie - le caractère herméneutique et historique de cette discipline peut conduire à envisager la mise en œuvre de méthodes de terrain plutôt que de laboratoire et des explications de type narratif plutôt que portant sur les mécanismes impliqués. Gould relève également le statut dévalorisé des sciences qui font appel à des explications historiques ou narratives et la nécessité d'attribuer des mérites égaux

à ce type de démarche avec ceux des démarches employées dans les sciences théorico-expérimentales que sont la physique ou la biologie moléculaire. Ces mérites égaux sont revendiqués du fait que la fiabilité des preuves ou des réfutations peut être tout aussi solide, en raison de l'importance des explications de type historique. Ces mérites sont également revendiqués en raison de l'intérêt intrinsèque de ce type d'explications (C. Orange & Orange, 1995).

Au travers de sa critique de « l'adaptationnisme panglossien » du néo-darwinisme, c'est-à-dire l'idée que l'évolution est dirigée par un vecteur de progrès, Gould (1988) souligne également que c'est une tentative de conserver la biologie évolutionniste dans le champ des disciplines théorico-expérimentales. Dans le même ordre d'idée, l'actualisme, c'est-à-dire le principe qui postule que les lois qui régissent les phénomènes géologiques actuels étaient les mêmes dans le passé, a souvent été rapproché du principe de simplicité invoqué dans le travail de laboratoire (l'hypothèse la plus simple est la plus probable) de manière à rapprocher les sciences de la Terre de disciplines qualifiées de « dures ».

2.1.4.4 La place de la modélisation dans les sciences de la Terre

« En somme, on peut dire que la théorie et l'expérience ne se rencontrent jamais en un combat singulier ; leur rencontre se situe à un niveau intermédiaire, en présence d'éléments théoriques et empiriques rajoutés, en présence, en particulier, des modèles théoriques et empiriques décrivant à la fois l'objet de la théorie, le dispositif expérimental employé. »

(Bunge, 1975)

Pour Halloun (2004), les démarches suivies par les scientifiques comprennent le plus souvent un travail de modélisation qui est ainsi partagée par l'ensemble de la communauté scientifique. De très nombreux travaux d'épistémologie portent sur les modèles et la modélisation ; les paragraphes qui suivent ne visent pas à passer en revue l'ensemble de ces travaux, mais à identifier quelques lignes de force susceptibles d'éclairer l'utilisation de la modélisation en sciences de la Terre.

2.1.4.4.1 Relations modèle-théorie-expérience

Le caractère polysémique du terme modèle a été maintes fois relevé (voir S. Bachelard, 1979) et nous ne retiendrons ici que quelques points de vue qui nous semblent utiles pour notre recherche.

Le point de vue de Stengers (1993) conduit à distinguer théorie et modèle : le modèle est construit pour représenter un phénomène et reste explicitement lié aux choix d'un auteur.

Plusieurs modèles peuvent coexister pour appréhender un même phénomène. Stengers souligne que, dans le domaine des sciences de la Terre, les théories sont rares mais les modèles sont innombrables.

Le point de vue de Kuhn comprend deux facettes (Gilbert & Boutler, 2000). D'une part les modèles consistent, entre autres choses, en des généralisations symboliques et verbales et contiennent des exemples de leurs usages. Ce sont des guides pour la conduite de la *science normale* en tant que solutions exemplaires à des problèmes. D'autre part, Kuhn distingue un second sens au terme modèle qui comprend un éventail qui va des modèles ontologiques, qui constituent un point de vue sur l'univers, aux modèles heuristiques qui consistent en des analogies qui peuvent être utilisées de manière pragmatique pour aborder un sujet d'étude. Les modèles sont, pour Kuhn, des outils constitutifs de la *matrice disciplinaire*.

Nersessian (1999) souligne l'importance des modèles comme point de départ de l'élaboration de nouvelles idées et théories. La résolution de problèmes scientifiques passe par une démarche de modélisation qui comprend l'élaboration de nouvelles représentations conceptuelles à partir de représentation préexistantes. Cette élaboration repose sur l'abstraction, le raisonnement analogique, l'expérience de pensée et l'analyse d'un nombre limité de cas (Nersessian, 1992, cité par Gilbert & Boutler, 2000). Ce point de vue est complémentaire de celui de Kuhn. Ce dernier souligne que l'activité scientifique consiste également dans l'élaboration et l'évolution de modèles-outils à l'origine de nouvelles théories.

Les travaux de Bunge (1975 p. 59) portent également sur les relations entre théorie et modèle. Bunge distingue ainsi les *théories générales* qui sont des abstractions produites par la raison et l'intuition potentiellement en mesure de s'appliquer à n'importe quel domaine du réel, les *modèles d'objets* qui représentent les propriétés communes d'un ensemble d'objets et les *modèles théoriques* qui sont produits lorsqu'une *théorie générique* est appliquée sur un *modèle d'objet*. Selon ce point de vue, un *modèle théorique* occupe une position intermédiaire entre une idéalisation et généralisation produite par la simplification d'objets réels (le *modèle d'objet*), et une théorie. Cette théorie est évaluée sur les succès qu'elle rencontre dans la production de *modèles théoriques* permettant d'établir des prévisions confirmées par les faits d'observation ou d'expérience.

L'un des principaux apports de Bunge pour notre travail est qu'il montre que le *theoretical model* est un outil qui permet de mettre en relation deux registres. Un *registre théorique* composé d'abstractions qui peuvent s'appliquer à n'importe quel réel et un registre composé d'un modèle d'objet *model object* qui est une idéalisation du réel. Nous retiendrons pour ce

dernier le terme de *registre empirique* en insistant sur le fait que ce registre n'est pas donné mais construit à partir d'un prélèvement électif du réel lié à l'expérience du sujet. Le terme registre est ici à prendre dans un sens proche de celui utilisé en musique, une gamme de valeurs, une catégorie de tonalités distinctes mais complémentaire d'autres registres. Le terme renvoie également à la notion de mémoire et de stockage d'informations. Nous retenons ainsi la définition proposée par Martinand (1992). Le registre du *réfèrent empirique* ou *registre empirique* comprend des objets, des phénomènes et leur connaissance phénoménographique, c'est-à-dire leur description empirique mais déjà conceptualisée..

Les travaux de Bouleau (1999b) soulignent qu'une question peut être modélisée de différentes manières. Cette modélisation dépend d'une part des intentions du modélisateur et d'autre part des références théoriques qui sont employées. Cet auteur prend, à l'appui de sa thèse, l'exemple de la modélisation des crues. Selon les connaissances que le modélisateur engage ce sont différents modèles visant à appréhender une même réalité qui seront produits. Il peut donc y avoir une compétition entre différents modèles et c'est souvent l'application des modèles, leur projection sur le *registre empirique* qui permettra de trancher entre différentes modélisations

2.1.4.4.2 *Place de la simulation dans les sciences de la Terre*

En science, lorsque les modèles jouent un rôle central, la simulation apparaît comme une méthode privilégiée pour confronter les modèles qui ont été élaborés au *registre empirique* afin d'en évaluer le degré de pertinence.

La simulation occupe ainsi une place importante dans les sciences de la Terre. Confronté à des difficultés pour appréhender des phénomènes complexes qui se déroulent selon des échelles de temps et d'espace qui sont sans commune mesure avec l'expérience humaine, le géologue est conduit à élaborer des modèles théoriques qui peuvent être utilisés pour produire des maquettes ou des modèles informatiques. Le fonctionnement de ces systèmes modélisés peut être étudié à l'aide de la simulation. La simulation permet alors de produire des résultats qui peuvent être confrontés à des mesures ou des observations empiriques et ainsi d'une part, d'éprouver la pertinence – ou du moins de tester la réfutabilité - de ces modèles et, d'autre part, d'en préciser le domaine de validité. La simulation permet également d'effectuer des rétrodictions (ou postdictions), c'est-à-dire d'appliquer un modèle explicatif à un événement du passé et ainsi reconstruire une histoire géologique. Elle permet également d'effectuer des prévisions et d'étudier l'évolution d'un phénomène dans le futur.

Ainsi, pour Stengers (1993), de nouvelles perspectives sont ouvertes par l'ordinateur en tant qu'outil de simulation. La simulation permet d'étudier des phénomènes non reproductibles en

laboratoire et l'ordinateur permet de jouer à l'infini sur les valeurs des paramètres jugés pertinents. Les échelles sont dilatées, d'autres sont rétrécies. Il est possible de travailler sur de petits ou au contraire de grands échantillons. La simulation devient une méthode d'investigation à part entière et « certains chercheurs ne se réfèrent plus à une vérité mais à la possibilité, quel que soit le phénomène, de construire la fiction mathématique qui le reproduit ». Canguilhem (1968 p. 318) remarque quant à lui – il s'exprime sur les modèles biologiques mais ses propos nous semblent adaptables au contexte des sciences de la Terre – que « En attendant de produire demain une heuristique extraordinaire, le modèle biologique utilise aujourd'hui les ressources d'une technologie révolutionnaire ». Stengers souligne également que la simulation permet de prendre en compte la diversité. « Dans la simulation, les « lois » deviennent des contraintes dont les effets n'ont aucun intérêt indépendamment des circonstances. La hiérarchie entre phénomène purifié et complications anecdotiques est renversée par rapport à au contrôle expérimental ».

Pour autant, l'ordinateur ne remplace pas les outils traditionnels du géologue de terrain, mais il en augmente singulièrement le champ d'investigation. L'un n'est pas exclusif de l'autre car « l'alliance avec les scientifiques de terrain est nécessaire car eux seuls sont capables de fournir les traits singuliers pertinents » (1993). C'est en effet la simulation qui permet d'articuler l'étude des modèles avec celle du réel. Le fonctionnement du modèle peut être confronté au réel. Les résultats obtenus permettent d'une part de juger de la validité du modèle ainsi que d'apprécier le domaine de cette validité et, d'autre part, d'appréhender de nouvelles propriétés jusque-là restées insoupçonnées. Le modèle permet donc également l'extrapolation et l'anticipation. Le modèle « prophétise » (Canguilhem, 1968 p. 316).

Les controverses qui ont agité la communauté scientifique en ce qui concerne l'origine anthropique du réchauffement climatique « soulignent le risque de la démarche, l'incertitude des indices et le caractère instable des modèles de simulation. Les scientifiques qui tentent de modéliser l'effet de serre ou les effets de la pollution s'engagent et tendent à déranger les calculs politico-économiques, mais ils ne sont plus ceux qui apportent des preuves stables : ils apportent des incertitudes. La transformation des sciences est politique, esthétique, affective et éthologique » (Stengers, 1993).

Des débats, parfois exprimés de manière très virulente, qui apparaissent dans des articles relatifs à la méthodologie à utiliser pour interpréter un accident tectonique (Mattauer 1998), à la fermeture de tel laboratoire de géologie et à la dispersion ou la destruction de ses collections (Antoine, 2001) – c'est-à-dire à l'abandon de méthodes traditionnelles pour l'usage des technologies numériques, ou à la validité de la simulation pour appréhender les

phénomènes géologiques, illustrent bien cette tension ressentie par la communauté des géologues. Ces derniers sont attirés par les disciplines dites « dures » et socialement reconnues, par la tentation de construire une géologie de laboratoire qui dit le vrai plutôt que le possible, par les perspectives immenses offertes par la simulation, mais ressentent le besoin de tenir compte des spécificités de leur objet d'étude et de revenir au « réel » du terrain.

2.1.4.4.3 Propriétés et fonctions des modèles dans les sciences de la Terre

Les principaux travaux que nous avons retenus pour examiner la place de la modélisation en sciences sont des travaux conduits pour les sciences physiques. Ils nous paraissent utiles pour comprendre la place de la modélisation en sciences de la Terre. Néanmoins, la question des théories en sciences de la Terre reste en débat. Si on retient qu'une théorie est un système d'énoncés à valeur universelle qui peuvent être employés pour décrire n'importe quel domaine du réel, on peut relever qu'en géologie les théories sont rares au regard des modèles qui eux sont innombrables (Stengers, 1993). La théorie de la tectonique des plaques apparaît ainsi plus comme un ensemble de modèles que comme des énoncés décontextualisés à valeur générale. Des éléments de théories sont bien présents en sciences de la Terre. Ils sont à rechercher parfois du côté de la thermodynamique pour comprendre des phénomènes métamorphiques ou de la mécanique pour interpréter les déformations des terrains par exemple. Ce sont donc des théories de la physique que le géologue est amené à invoquer mais, le plus souvent, ces théories ne sont présentes qu'en filigrane et c'est avant tout le modèle qui est discuté.

Le point de vue que nous retiendrons ici est que les modèles permettent de produire des « représentations partisans » permettant d'inventer des « idées simplifiantes » (Bouleau, 1999b). Les modèles interviendraient comme des intermédiaires entre les aspects théoriques et empiriques d'une réalité (Bunge, 1975 ; Walliser, 1977 ; S. Bachelard, 1979). La modélisation serait donc « l'essence même d'une pensée et d'un travail scientifique » (Harrison, 2001) et les modèles des outils pour penser et pour comprendre le monde produits dans le cadre d'un projet donné. Ainsi, « Construire un modèle c'est donc utiliser, pour la maîtrise de problèmes, des outils intellectuels liés à une représentation et associés à l'idée qu'on se fait d'une explication » (C. Orange, 1997).

Les références empiriques de terrain permettent, dans le cadre d'une théorie explicative générale, de construire des modèles aux caractères provisoires et perfectibles qui deviennent alors des outils pour interroger le réel. On parle ainsi de « modèle de manteau terrestre » ou de « modèle d'effet de serre ». Autrement dit, et en utilisant les termes que Martinand (1992) emprunte à G. Bachelard, les modèles sont élaborés à partir des phénoméno-graphie et

phénoméno-technique. L'application de ces modèles conduit à l'apparition d'une phénoménologie nouvelle caractérisée par le fait qu'elle dépend des limites de validité du modèle construit.

La fécondité des modèles réside dans leur statut d'outil « pour penser ». Pour un modèle donné, elle réside dans sa capacité à évoluer en fonction des investigations conduites. « Les bonnes théories sont comme les bonnes voitures, ce ne sont pas celles qui permettent d'éviter les accidents mais celles qui se réparent facilement » (Bunge, 1967 cité par Halloun, 2004 p. 74).

2.1.5 En guise de conclusion partielle

Cette revue rapide de la littérature portant sur l'épistémologie des sciences de la Terre nous permet de dégager quelques lignes de force susceptibles d'éclairer une réflexion didactique visant à la conception de situations destinées à l'enseignement de la discipline.

- Le premier point concerne l'**ancrage de la discipline sur le réel** et sa complexité. Le travail de terrain est fondamental en géologie et il nous faudra examiner comment un savoir et des pratiques de géologue de terrain peuvent être transposée dans un contexte de *classe de terrain*.
- Le second point concerne les **modes d'explication utilisés dans la discipline**. Il nous faudra tenir compte du fait que ces explications peuvent être de types fonctionnalistes ou historiques. La manière dont l'enseignement de la discipline est conçu doit permettre d'articuler des explications qui permettent d'expliquer le fonctionnement du système Terre mais également de produire des énoncés qui inscrivent ce fonctionnement dans une perspective historique.
- Le troisième point que nous retenons porte sur les **liens complexes que la discipline entretient avec le temps et l'espace**. Pour mener à bien notre projet de conception de séquences d'enseignement, il nous faudra donc examiner en quoi les caractéristiques des objets géologiques peuvent se traduire, pour les élèves, par des difficultés, voire des obstacles dans la construction d'un *registre empirique*. Il nous faudra examiner la nature de ces difficultés ou obstacles dans le cadre de la mise en œuvre d'une école de terrain pour laquelle l'enseignant a peu de latitude pour réduire la complexité de l'objet d'étude – il peut tout au plus choisir les affleurements qui seront étudiés – et faire des propositions pour aider à la constitution de ce *registre empirique*. Par ailleurs, notre propos n'est pas de défendre l'idée que les objets géologiques sont

moins sensibles que des objets d'autres disciplines et donc plus difficilement enseignables – à cet égard le spin d'électron du physicien ou la causalité circulaire lors du contrôle endocrinien du biologiste présentent aussi des problèmes pour l'enseignant - mais d'identifier les aspérités de la discipline qu'il faudra prendre en compte dans un projet d'enseignement.

- Le dernier point concerne **la place des modèles dans la discipline**. Les modèles sont conçus pour produire des explications. Ils apparaissent comme des intermédiaires entre les aspects empiriques et théoriques des connaissances. Ce sont donc des outils « pour penser ». Ce point nous semble central par rapport aux objectifs de notre recherche. La capacité pour un géologue d'interroger le réel repose sur l'utilisation de modèles qu'il fait évoluer en fonction des résultats de ses investigations. Les modèles jouent un rôle central dans l'activité du chercheur. Il n'y a pas de géologie sans modèles. Il nous faudra examiner les conséquences de ce constat pour un contexte d'enseignement et en particulier nous interroger sur les rôles que peuvent jouer les modèles dans un travail d'investigation conduit par des élèves.

2.2 Fondements didactiques pour la conception des séances expérimentées avec les élèves

Cette partie vise à exposer les fondements didactiques sur lesquels nous nous sommes appuyé pour construire les séances que nous avons expérimentées. Quatre aspects ont particulièrement retenu notre attention. Le premier concerne la question des théories de l'apprentissage sur lesquelles notre travail est basé. Il s'agit d'un cadre socio-constructiviste dans lequel l'apprentissage est considéré comme résultant d'interactions. Le second aspect concerne la question de la prise en compte des difficultés et obstacles que rencontrent les élèves dans l'apprentissage de la discipline du point de vue de leur rapport au temps et à l'espace. Le troisième aspect porte sur la place que différents auteurs ont attribuée aux modèles dans l'enseignement. Le dernier paragraphe nous permettra de d'aborder la question de la place de l'école de terrain dans l'enseignement des sciences de la Terre.

2.2.1 Situation de ce travail du point de vue des théories de l'apprentissage : une approche socio-constructiviste

2.2.1.1 L'apprentissage comme interaction sujet-objet

Notre approche emprunte au constructivisme de Piaget (1967). Nous retenons de cet auteur que l'apprentissage est le produit d'interactions sujet-objet c'est-à-dire entre un sujet-apprenant et un objet-élément du réel à connaître sur lequel il exerce des transformations matérielles ou symboliques. Les interactions peuvent être considérées comme des phénomènes d'adaptation au sens biologique du terme. Elles se traduisent par le primat de l'opératif sur le perceptif. Nous relevons ici quelques concepts clefs de l'œuvre de Piaget sur lesquels nos travaux s'appuient.

2.2.1.1.1 L'apprentissage comme processus adaptatif

« C'est en s'adaptant aux choses que la pensée s'organise elle-même et c'est en s'organisant elle-même qu'elle structure les choses »

(Piaget, 1963 p. 14).

L'épistémologie génétique de Jean Piaget est fondée sur l'idée que toute connaissance est le produit d'interactions entre un sujet et son milieu. Au cours de ces interactions, l'activité du sujet (la projection de ses *schèmes* sur les objets) lui permet, en retour, d'extraire les informations relatives aux propriétés des objets ainsi qu'à ses propres actions. Piaget distingue ainsi trois types de relations sujet-objet (Piaget, 1977) : l'abstraction simple ou empirique qui

consiste à lire les propriétés de l'objet, l'abstraction pseudo-empirique par laquelle le sujet découvre les effets de ses actions et l'abstraction réfléchissante qui permet au sujet de découvrir les propriétés de son action. La connaissance pour Piaget est donc un processus qui dépend des activités propres du sujet. Piaget décrit ainsi l'activité *sensori-motrice* des bébés. Vergnaud (2002) préfère quant à lui utiliser l'expression « perceptivo-gestuelle ». C'est aussi un processus dynamique et la connaissance est construite plutôt que donnée. Enfin, ce processus est étroitement lié à une situation donnée et à l'activité du sujet.

L'interactionnisme de Piaget peut se traduire par la mise en œuvre de deux types de processus qu'il distingue : d'une part un processus d'assimilation qui consiste dans l'incorporation de l'objet de la connaissance dans les structures initiales de l'activité du sujet et d'autre part un processus d'accommodation qui se traduit quant à lui par une modification de ces structures pour leur permettre d'absorber l'objet qui leur résiste. Ce double mouvement d'assimilation et d'accommodation assure une fonction d'adaptation du sujet à son milieu. L'apprentissage peut donc se traduire, pour Piaget, par une modification adaptative du comportement d'un individu dans une situation donnée. Les éléments de la situation peuvent être les objets et les individus eux-mêmes. Ainsi, selon Piaget (1926),

« l'enfant est un être dont l'activité principale est l'adaptation et qui cherche à s'adapter tant à l'adulte qui l'entoure qu'à la nature elle-même ».

L'adaptation se traduit par un état d'équilibre dynamique résultant du double mouvement d'assimilation (incorporation de l'expérience) et d'accommodation (résultat des pressions exercées par le milieu). L'intelligence apparaît donc comme une adaptation au cours de laquelle le sujet se crée lui-même dans un processus d'interaction sujet-objet (Piaget, 1963). Piaget emploie le terme adaptation dans son sens biologique. Il souligne qu'il faut comprendre par adaptation les transformations qui ont lieu en fonction du milieu. Ce n'est pas un état mais un processus. Comme les autres fonctions biologiques, l'intelligence est soumise à l'influence du milieu et s'adapte à ce milieu. L'apprentissage, en tant que transformation, permet cette adaptation.

Selon nous, concevoir l'apprentissage comme un processus adaptatif permet au pédagogue de focaliser son attention non pas uniquement sur le sujet lui-même mais sur les interactions du sujet-élève avec le milieu-classe et sur les changements qui ont lieu au cours de ce processus. Ces travaux nous permettent également de centrer notre attention sur les situations créées et sur les activités organisées dans la classe. D'un point de vue didactique, l'analyse du processus d'apprentissage ne peut pas se limiter à l'analyse du sujet-apprenant. C'est aussi bien la situation, en tant que milieu, que les activités de l'élève qu'il convient d'analyser pour

comprendre ce qui se joue dans la classe. Cette approche permet également de souligner l'importance de l'activité du sujet dans l'apprentissage.

2.2.1.1.2 *Le primat de l'opératif sur le perceptif*

Piaget distingue donc, dans la relation sujet-objet, l'activité perceptive de l'activité de transformation exercée par le sujet. La connaissance se présente alors sous deux aspects. L'activité perceptive se fonde sur les aspects figuratifs de la connaissance, c'est-à-dire les états du réel qui se présentent au sujet. L'activité de transformation exercée par le sujet renvoie aux aspects opératifs de la connaissance. Par transformation, il faut entendre transformation physique ou mentale. Autrement dit, pour Piaget, c'est par une activité de transformation du réel plutôt que par sa contemplation que le sujet organise ses connaissances. Il y a dominance de l'opératif sur le perceptif. Pour Piaget, l'activité de transformation exercée par le sujet est organisée par des *schèmes*. Les *schèmes* sont des organisations invariantes de l'activité pour une classe définie de situations, ce sont des unités élémentaires de l'action qui peuvent se généraliser ou se combiner. La notion de *schème* a été précisée par Vergnaud (2001) pour qui «Si les *schèmes* ne sont pas des stéréotypes, mais sont au contraire flexibles, c'est qu'ils reposent sur des invariants opératoires (conceptuels et propositionnels) qui tirent leur sens et leur pertinence d'une variété de situations ». Vergnaud qualifie ces invariants opératoires de *concepts-en-acte* et *théorèmes-en-acte* dans le cadre de l'apprentissage des mathématiques.

Piaget distingue également deux types d'abstractions. L'abstraction empirique porte sur les caractéristiques physiques des objets ou sur les effets des actions sur ces objets. Pour Piaget, l'abstraction empirique seule ne permet pas d'accéder aux caractères importants de l'objet. C'est l'abstraction réfléchissante, c'est-à-dire l'abstraction d'une propriété tirée de la coordination des *schèmes* qui a été mise en œuvre, qui est à l'origine de l'apprentissage. Les objets n'ont pas de propriétés heuristiques intrinsèques, l'activité du sujet – physique ou mentale – est nécessaire pour comprendre.

Piaget distingue également la connaissance physique ou expérimentale (Piaget, 1967), c'est-à-dire la connaissance des propriétés intrinsèques des objets de la connaissance logico-mathématique qui porte sur des propriétés des objets, qui ont été introduites par les actions exercées sur ces objets.. Elle a trait à une prise de conscience de la part du sujet. Pour Piaget, expérience physique et expérience logico-mathématique sont indissociables et la première connaissance est sensori-motrice (Dolle, 1999).

Pour Piaget, connaître c'est d'une part effectuer des transformations sur le réel et d'autre part formuler les lois de ces transformations. Ces travaux de Piaget prennent un écho particulier

pour l'enseignement d'une discipline caractérisée par son ancrage fort dans un réel de terrain : importance de l'action exercée sur ce réel pour l'apprentissage, primat de cette action sur les aspects figuratifs du réel, prééminence de l'expérience physique sur les structures logico-mathématiques nous semblent en effet trois idées clefs qui ont guidé la conception de nos séances expérimentales. On en retrouvera les échos dans les réalisations demandées aux élèves, les types de tâches dans lesquelles ils se sont engagés et le travail préparatoire qu'ils ont effectué avant d'être confrontés au terrain.

2.2.1.2 La médiation dans l'apprentissage

Les travaux de Piaget permettent de souligner que l'apprentissage résulte d'interactions entre un sujet-apprenant et un objet à connaître. Néanmoins le cadre de travail choisi par Piaget – l'apprentissage en dehors d'un contexte scolaire – permet difficilement de prendre en compte d'une part la question de l'apprentissage des concepts scientifiques et d'autre part la question de la médiation des apprentissages. Les travaux de Vygotski apportent des éclairages permettant cette prise en compte.

2.2.1.2.1 *Le modèle de la double germination des concepts*

Le modèle de double germination des concepts (Vygotski, 1934) offre un cadre pour l'analyse des situations d'apprentissage qui articule les apports de l'expérience en situation (école de terrain en sciences de la Terre dans le cas qui nous préoccupe) et les modèles scientifiques d'interprétation des situations vécues (Rogalski, 2004). Selon ce modèle, les concepts résultent d'un double mouvement de construction.

- « Les concepts germent vers le haut », ils émergent à partir de l'action. L'attention du sujet n'est en effet pas tournée uniquement sur la réussite de l'action mais également sur les moyens et procédures qu'il emploie pour cette action. Il en résulte un processus de transformation du sujet. La formule utilisée par Vygotski (1934) « conscience avant/conscience après » souligne la nécessité de connaître certaines propriétés des objets pour agir efficacement mais insiste sur le fait que la connaissance de ces propriétés se développe dans l'action (Vergnaud, 2000). Une autre formule célèbre « au début était l'action » que Vygotski emprunte à Goethe vient souligner l'importance de l'action dans la formation des concepts. Dans un autre contexte, celui de la didactique professionnelle, ce point de vue est développé par Pastré (1999) qui définit la notion de *concept pragmatique* - développé par l'action et pour l'action - et souligne l'importance de la réflexivité et des activités métacognitives pour l'apprentissage.

- Le développement des concepts résulte également d'un double processus d'application et de généralisation. Vygotski (1934) relève « l'insuffisante saturation en concret [des concepts enseignés dans un cadre scolaire] ». Pour Vygotski, les « concepts scientifiques se développent vers le bas ». Leur portée est générale, transmise par le langage. Leur formation a un caractère « productif » qui s'exprime dans les situations de résolution de problèmes. Ainsi : « En soi l'apprentissage des mots et leur attachement à des objets n'entraînent pas la formation d'un concept; il faut que le sujet de l'expérience rencontre un problème qui ne peut être résolu qu'à l'aide de la formation de concepts pour qu'apparaisse ce processus ».

La question que Vygotski tente de résoudre est celle de la relation dialectique entre apprentissage et développement ou, de manière plus précise, comment l'apprentissage suscite le développement. C'est aussi la question de savoir comment s'effectue la transition des situations d'action - pour lesquelles les concepts sont implicites – vers la mise en œuvre de fonctions psychiques supérieures qui permettent des opérations de pensée volontaires et conscientes (Brossard, 2004 p. 106). Vygotski distingue les concepts quotidiens - qui se forment dans l'action et qui sont centrés sur les résultats de cette action plutôt que les opérations de pensée mises en œuvre - et les concepts non spontanés, dont les concepts scientifiques, qui résultent d'un héritage culturel et sont transmis par l'école. Le concept de double germination décrit un double mouvement. Celui des concepts quotidiens qui font l'objet d'une « appropriation par le haut » et qui ouvrent la voie au développement des concepts scientifiques qui se « se développent vers le bas ».

Cela conduit Vygotski à distinguer la signification des mots qui relève de définitions, de leur sens, qui résulte quant à lui des expériences concrètes qui leurs sont attachées (Vergnaud, 2000). Cela le conduit également à indiquer que l'apprentissage doit viser les fonctions en développement et à définir le concept de zone de développement prochain c'est-à-dire les limites au delà desquelles la difficulté de résolution du problème confié à l'élève devient insurmontable mais en deçà desquelles une activité de résolution de problème ne mobilise que des concepts parfaitement maîtrisés. Dans les deux cas, aucun apprentissage ne peut avoir lieu. Vygotski écrit (1934 p. 355) :

« L'élément central pour toute la psychologie de l'apprentissage est la possibilité de s'élever dans la collaboration avec quelqu'un à un niveau intellectuel supérieur, la possibilité de passer, à l'aide de l'imitation, de ce que l'enfant sait faire à ce qu'il ne sait pas faire. C'est là ce qui fait toute l'importance de l'apprentissage pour le

développement et c'est là aussi précisément le contenu du concept de zone de développement prochain ».

La zone de développement prochain recouvre donc ce que l'on ne peut pas faire seul mais que l'on peut faire avec autrui. Les apprentissages des concepts scientifiques correspondent à la transmission d'un patrimoine culturel. Ils s'effectuent en collaboration avec un tiers et nécessitent des situations spécifiques de transmission que l'école permet de construire. Le concept de zone de développement prochain permet à l'enseignant de définir son intervention didactique. Cela le conduira à proposer à l'élève, non pas des tâches qu'il est capable de réaliser seul mais des tâches qui nécessitent son aide et qui portent sur le « demain » de l'élève plutôt que sur son « aujourd'hui » (Brossard, 2004 p. 106). L'enseignant joue ainsi le rôle de médiateur qui accompagne l'élève dans le processus d'apprentissage. Non pas parce qu'il est toujours physiquement présent mais parce qu'il a conçu les situations didactiques, c'est-à-dire l'ensemble des conditions que l'enseignant a réunies pour confronter l'élève à des objets nouveaux ou à des propriétés nouvelles de ces objets (Pastré, Mayen, & Vergnaud, 2006).

Les travaux de Vygotski permettent donc de définir une perspective socio-constructiviste pour l'apprentissage qui nous semble utile pour la conception des situations que nous avons analysées : la formation de concepts – ici géologiques - à partir, d'une part de l'expérience acquise dans l'action par des tâches réalisées sur le terrain ou à l'aide d'outils informatiques et, d'autre part, de l'utilisation de modèles géologiques permettant d'explicitier les concepts scientifiques en jeux. Concepts qui feront l'objet d'un travail d'application et de généralisation.

2.2.1.2.2 La médiation instrumentale

Un autre concept central chez Vygotski est la médiation :

« Toutes les fonctions psychiques supérieures sont unies par une caractéristique commune, celle d'être des processus médiatisés, c'est-à-dire d'inclure dans leur structure, en tant que partie centrale et essentielle du processus dans son ensemble, l'emploi du signe comme moyen fondamental d'orientation et de maîtrise des processus psychiques. »

(Vygotski, 1934)

Vygotski distingue deux catégories de médiateurs. Les signes, qui sont des instruments psychologiques, et les outils techniques. Ces instruments affectent profondément notre fonctionnement cognitif. Ainsi, le modèle de la double germination de Vygotski est également

un modèle explicatif de la médiation. Les instruments, parmi lesquels le langage tient une place prépondérante, constituent des médiateurs entre les objets et les concepts, des médiateurs de l'apprentissage. Le modèle de la double germination explique ainsi que le développement de l'enfant passe par une intériorisation progressive des instruments (germination vers le haut). La conversion progressive de ces instruments en moyens de régulation interne modifie à son tour les actions effectuées par le sujet (germination vers le bas).

Les travaux de Rabardel (1995) permettent de développer cette notion d'*instrument* à la base d'activités médiatisées. Selon cet auteur, un *instrument* est le résultat d'une construction. Il comprend un dispositif matériel ou symbolique, un artefact, employé comme moyen d'action. Un *instrument* comprend également les *schèmes* d'utilisation de l'artefact c'est-à-dire les compétences du sujet qui utilise l'artefact. Toujours selon Rabardel les *instruments* témoignent de l'influence majeure des artefacts sur les activités cognitives. Cet impact est lié d'une part aux contraintes que les artefacts imposent à l'activité et d'autre part aux possibilités d'action qu'ils offrent au sujet. Les *instruments* ont donc une triple possibilité d'action (Vergnaud, 2000) : sur le monde matériel, sur autrui et sur soi-même et constituent à ce titre des outils de médiation important de l'apprentissage.

Chez Vygotski (mais aussi chez Rabardel) le terme médiation recouvre également un autre aspect, celui de la dimension sociale de l'apprentissage à laquelle il attribue la primauté :

"Chaque fonction psychique supérieure apparaît deux fois au cours du développement de l'enfant : d'abord, comme activité collective, sociale et donc fonction interpsychique, puis la deuxième fois comme activité individuelle, comme propriété intérieure de la pensée de l'enfant, comme fonction intrapsychique."

C'est la médiation d'un tiers qui va permettre à une impulsion naturelle, un « geste-pour-soi-même » de devenir un signe de communication, un « geste-pour un-autre » puis un élément intériorisé, une idée pour soi. Ces considérations prennent une importance majeure si on se réfère à une situation d'apprentissage et si l'on songe aux interactions entre pairs et au rôle de tuteur exercé par l'enseignant dans la classe.

Pour Piaget, l'interaction avec le milieu est épistémique. Pour Vygotski les concepts émergent, dans l'action, via la médiation d'interactions sociales et sont internalisés grâce un double mouvement de construction – ancré d'une part dans l'action et d'autre part dans l'utilisation de concepts scientifiques qui permettent la réflexivité sur cette action - médiatisé par les *instruments*. Pour Vygostki ce sont les interactions avec les *instruments* et avec les autres, dans le cadre d'activités socialisées, qui sont épistémiques. On verra que nous

attribuons à ce point de vue socio-constructiviste une importance capitale à travers la place que ces idées occupent dans l'ingénierie que nous avons mise en place : importance du travail de groupe, place du travail sur le terrain, rôle des *instruments* informatiques et rôle de l'enseignant lors des différentes séances.

2.2.1.3 Interactions et apprentissage

2.2.1.3.1 Interactions épistémiques et apprentissage

« L'apprentissage est une modification de la capacité à réaliser une tâche sous l'effet d'une interaction avec l'environnement »

(Houdé, 2003)

Le paradigme de l'interaction postule que la connaissance s'élabore dans l'interaction et les apprentissages dépendent de la nature des interactions. Il existe donc une relation entre situation, interaction et connaissances (Quignard & Baker, 2007).

Situation → Interaction → Connaissance

La situation créée se traduit par la mise en place d'un certain type d'interactions à l'origine de connaissances. Par situation il faut comprendre l'ensemble des éléments impliqués dans les interactions. Il peut s'agir d'objet, par exemple le matériel mis à la disposition des élèves ou les ordinateurs qu'ils utilisent, mais également des individus, enseignants ou élèves, susceptibles d'interagir.

Pour Quignard et Baker, ce schéma doit être complété pour tenir compte, d'une part, du fait que les interactions qui se mettent en place agissent elles-mêmes sur la situation créée au travers de l'appropriation des outils ainsi qu'à travers les modifications apportées à la manière de se représenter le problème et, d'autre part, que les apprentissages générés modifient les interactions dans la mesure où ils modifient la tâche en cours, les relations sociales et la coordination des échanges. Il y a donc mise en place de boucles de rétroaction (fig. 1) qui complexifient le schéma.

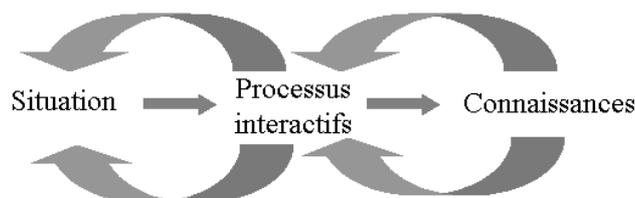


Figure 1 : relations entre situation, processus interactifs et connaissances

(Quignard & Baker, 2007)

Une autre manière d’entrevoir les choses est de considérer la dynamique des interactions et donc de faire intervenir le paramètre temps. Le processus comprend alors une situation et les connaissances en jeu en sont un élément. Connaissances et interactions sont reliées par une boucle causale et l’ensemble du processus évolue dans le temps. Ceci est représenté par le schéma de la figure 2.

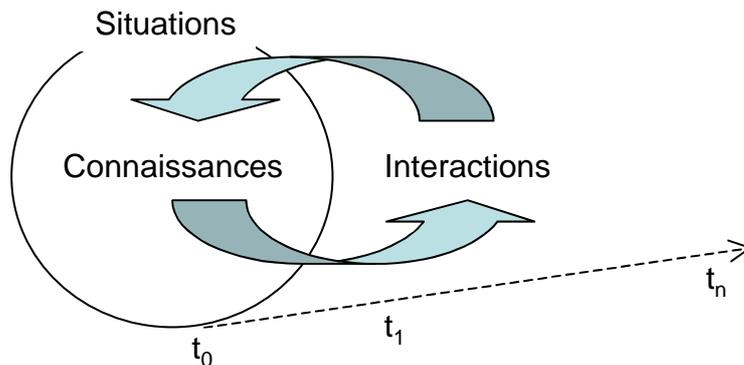


Figure 2 : Relations entre situation, connaissances et interactions et évolution dans le temps
(Quignard & Baker, 2007)

Par interaction, il faut comprendre relation d’interdépendance entre individus ou entre individus et une machine. Partant du constat que certains problèmes peuvent, dans certaines situations, être résolus alors même que le sujet ne les comprend pas, Ohlson (1996) énonce le concept d’interaction épistémique c’est-à-dire d’interaction nécessitant un effort de compréhension préalable voire de production de sens. Dans le cas d’interactions de type dialogue, trois critères permettent de caractériser une interaction épistémique (Quignard & Baker, 2007) :

- l’explication, il s’agit de faire comprendre ;
- l’argumentation, il s’agit de justifier et de convaincre ;
- la négociation, il s’agit de trouver un compromis.

Les interactions épistémiques sont donc des interactions de type dialogue argumentatif ou débat au cours desquelles un élève est conduit à défendre son point de vue et à tenir compte du point de vue des autres. On verra que les situations élaborées pour les besoins de nos expérimentations sont destinées à favoriser les interactions épistémiques.

Quignard et Baker (2007) soulignent le caractère paradoxal des situations d’apprentissage fondées sur des interactions épistémiques. Ces auteurs se réfèrent à des situations où

l'argumentation consiste à prendre une position stable et à la défendre. Il y a alors paradoxe à demander à un élève d'argumenter, c'est-à-dire prendre une position stable, sur des connaissances en construction et par nature instables (paradoxe épistémique-cognitif). Par ailleurs, il existe également un paradoxe à demander à des élèves de s'engager dans un conflit verbal dont l'approfondissement, constitue par nature, une menace pour la relation sociale (paradoxe socio-cognitif). Enfin, les outils mis à la disposition des élèves peuvent exercer des contraintes fortes sur les interactions et risquent d'inhiber l'activité cognitive (paradoxe technico-cognitif).

L'ingénierie didactique que nous avons élaborée vise à prendre en compte les écueils que constituent ces paradoxes d'une part en engageant les élèves dans des interactions pour lesquelles leurs positions peuvent évoluer librement, d'autre part en privilégiant les situations de collaboration conduisant à des réalisations communes, et enfin en proposant des outils dont l'appropriation est suffisamment aisée.

2.2.1.3.2 Interactions épistémiques médiatisées par les EIAH

On désigne par Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain ou EIAH (Balacheff, Baron, Desmoulins, Grandbastien, & Vivet, 1997) «un environnement informatique conçu dans le but de favoriser l'apprentissage humain, c'est-à-dire la construction de connaissances chez un apprenant ». Les EIAH peuvent constituer des environnements permettant de médiatiser les relations épistémiques (Quignard & Baker, 2007). D'une part parce qu'ils peuvent permettre de mettre en place certaines situations dans la classe et de demander aux élèves de réaliser des tâches qui font sens par rapport à un problème à résoudre. D'autre part parce qu'ils peuvent, dans certains cas, favoriser la réflexion en aidant à relier la tâche en cours de réalisation à la résolution d'un problème. Enfin, parce qu'ils permettent, selon certaines conditions, de structurer l'activité. La structuration peut porter sur la communication (type de canal, structuration de la rédaction), la séquence d'activités (chronologie des tâches) ou sur les moyens sémiotiques d'expression (nature des réalisations demandées).

Le modèle des situations d'apprentissage collectif instrumentées (SACI) proposé par Rabardel (1995) offre un cadre d'analyse des situations d'apprentissage impliquant l'utilisation d'un EIAH. Rappelons que pour Rabardel, un *instrument* est une entité mixte qui comprend un artefact – un objet matériel ou symbolique – et le ou les *schèmes* d'utilisation de cet artefact. Le modèle SACI permet de distinguer différents types d'interactions épistémiques : d'une part des interactions sujet-objet directes et, d'autre part, des interactions médiatisées par les *instruments*. Ce modèle permet également de distinguer les médiations instrumentées en

fonction de leur objet. Il s'agit des médiations qui visent à connaître ou agir sur l'objet de l'activité, il s'agit également des médiations orientées vers les autres et enfin, des médiations qui, *via* le rapport à l'instrument, sont orientées vers le sujet lui-même et le transforment.

Pour Rabardel, les *instruments* ne sont pas donnés, ils se développent au travers de l'activité du sujet. Ce processus de *genèse instrumentale* procède d'un double mouvement. L'*instrumentalisation* est orientée vers l'artefact. Elle correspond à la « mise à sa main » de nouveaux outils. Elle lui permet d'adapter l'artefact à ses besoins en enrichissant ses propriétés. Elle se traduit ainsi par la transformation et l'enrichissement des artefacts. L'*instrumentation* est orientée vers le sujet qu'elle modifie, elle l'amène à accommoder de nouveaux *schèmes* aux artefacts. C'est le sujet qui se trouve alors modifié. Le processus de genèse instrumentale peut donc, s'il est poussé à l'extrême, se traduire par des *catachrèses*, c'est-à-dire des détournements des outils de l'usage pour lesquels ils ont été conçus.

La richesse d'un EIAH réside donc dans la richesse des interactions épistémiques qu'il permet de médiatiser.

2.2.1.3.3 Scénarios d'apprentissage et orchestrations instrumentales

Un *scénario d'apprentissage* représente la description d'une situation d'apprentissage (Pernin, 2007). Cette description vise à préciser les rôles des différents acteurs, les ressources disponibles et les activités qui seront menées. Pour marquer la nécessaire prise en compte de la construction des *instruments*, Guin et Trouche (2002) ont introduit la notion d'*orchestration instrumentale*. Les orchestrations instrumentales reposent sur des dispositifs conçus par l'enseignant. Ces dispositifs portent sur un agencement du temps et de l'espace pour la gestion didactique des artefacts dans la classe de manière à guider et assister le processus d'*instrumentation*. Ils se traduisent par des choix de *variables didactiques* (Brousseau, 1998) pour une situation d'apprentissage donnée. Ces auteurs distinguent ainsi des choix qui se situent au niveau interne de l'outil informatique (son paramétrage), au niveau externe (la manière dont l'outil est intégré dans la situation d'apprentissage) et le niveau méta qui correspond à la possibilité pour les élèves d'avoir un retour réflexif sur leur activité.

La notion d'orchestration instrumentale concerne la gestion didactique des artefacts. Elle permet de mettre en avant la question de l'intégration des outils technologiques dans les *scénarios d'apprentissage*. Ces outils peuvent alors être considérés non pas comme des outils qui, mis à la disposition de l'élève, lui permettent de réaliser, mieux et plus vite des tâches qu'il réalisait jusqu'alors « à la main » mais comme des éléments d'une situation qui, parce qu'ils changent la nature des tâches effectuées par les élèves, reconfigurent le processus d'apprentissage.

Notre recherche comprend ainsi un travail d'*ingénierie didactique* qui a consisté à préciser le rôle d'une application (que nous avons réalisée) dans les situations élaborées et expérimentées avec les élèves.

2.2.1.3.4 *Les interactions élève-milieu*

Le concept de *milieu didactique* proposé par Brousseau (1986) permet de caractériser une situation d'apprentissage. Dans le cadre de la théorie des situations didactiques, le milieu constitue le contexte, construit par le professeur, d'un point de vue matériel, symbolique et humain, avec lequel l'élève interagit. Cette approche est congruente avec l'hypothèse piagétienne qui postule que l'élève apprend en s'adaptant à un milieu. Elle est également congruente avec le paradigme de l'interaction car elle permet de souligner l'importance du contexte dans lequel se déroulent les interactions et donc des conditions à mettre en place par le professeur pour que des transformations du sujet opèrent. Le milieu ne constitue pas nécessairement un élément stable dans la situation, il est appelé à évoluer tout au long de l'activité, en fonction des interactions qui se sont nouées.

Dans le cas d'une *situation d'action*, les interactions entre l'élève et le milieu sont de deux types. L'élève prélève des informations du milieu et agit sur ce milieu. Les effets de ces actions se traduisent par des rétroactions exercées par le milieu qui, en retour, provoquent une modification des stratégies ou des règles employées par l'élève. L'élève peut également être conduit à anticiper les rétroactions du milieu et à anticiper ses actions. L'apprentissage se constitue alors dans la mise à l'épreuve de stratégies, confirmées ou infirmées par leur confrontation au milieu. C'est le modèle généralement retenu dans l'approche qui consiste à concevoir les EIAH comme des micromondes avec lesquels l'élève peut interagir de manière autonome (Bruillard, 1997).

Une *situation de formulation* favorise un second type d'interaction. L'élève est amené à prendre conscience des *connaissances en acte* qu'il a utilisées dans le cadre d'une situation d'action. Si la situation favorise les échanges argumentatifs, la communication avec un tiers le conduit à formuler ses connaissances et à choisir des arguments permettant d'étayer ses propos. Le milieu intervient ici comme référence sur laquelle s'appuie le discours argumentatif. Les situations d'action comprennent également des interactions qui permettent de juger la pertinence des connaissances mobilisées. Ce sont ces *situations de validation*, au cours desquelles il se met en place des processus de correction des connaissances mobilisées, qui permettent d'assurer la cohérence des actions engagées.

Le concept de milieu a été introduit par Brousseau pour l'enseignement des mathématiques. La transposition de ce concept dans l'enseignement des sciences de la Terre n'a, à notre

connaissance, jamais été discutée. Pour les mathématiques, le milieu a le plus souvent une composante matérielle. C'est également le cas en géologie où un affleurement géologique, voire l'interface d'une application destinée à l'enseignement de la géologie (Sanchez, 2003) peuvent constituer un contexte dans lequel l'élève est conduit à interagir avec des objets géologiques. L'observation des relations géométriques des roches d'un affleurement permet de déterminer la chronologie d'événements géologiques, la mesure d'un pendage d'identifier l'orientation d'une contrainte ; le travail du géologue peut ainsi consister dans un travail d'analyse de la géométrie des objets géologiques. L'identification des relations géométriques entre objets géologiques permet, en appliquant des principes de recoupement ou de superposition, d'identifier leurs relations chronologiques. Ce travail emprunte donc pour partie aux mathématiques. La composante symbolique du milieu est moins évidente à identifier en géologie. Au niveau de l'enseignement secondaire les objets géologiques sont peu mathématisés et l'élève est généralement conduit à interagir avec des objets géologiques eux mêmes ou leur représentation schématique : lame mince, roche, affleurement... Néanmoins, dans certains cas, y compris dans l'enseignement secondaire, les objets géologiques sont décrits par un formalisme mathématique : diagrammes PTt, courbes de décroissance isotopique... Le milieu comprend alors, comme en mathématiques, une composante symbolique forte. Cette composante symbolique pourra devenir prépondérante dans le cas de la manipulation de modèles en classe.

Les cadres théoriques auxquels nous avons fait référence permettent de pointer des éléments qui nous paraissent fondamentaux pour nos propres travaux :

- les connaissances sont construites plutôt que données ;
- les connaissances s'élaborent dans l'action, c'est-à-dire au travers de transformation matérielles ou symboliques du réel ;
- les connaissances construites traduisent un état d'équilibre dynamique réalisé dans le cadre d'une situation donnée ;
- la construction des connaissances s'effectue dans le cadre d'interactions, interactions entre un sujet-apprenant et un objet à connaître, interaction avec un milieu sur lequel s'exerce l'action et qui permet la validation, interactions sociales (entre apprenants, avec l'enseignant) ;
- l'apprentissage est un processus médiatisé par les signes (le langage) et les *instruments* (parmi lesquels les ordinateurs).

C'est donc une perspective socio-constructiviste que nous adoptons et il est peut être utile ici de préciser ce point de vue. Brossard (2004) qui s'appuie sur les écrits de Johsua et

Dupin (1993) distingue, dans un cadre constructiviste, deux conceptions différentes de la manière dont les élèves s'approprient un concept dans un cadre scolaire. Une première conception est celle développée par Brousseau dans le cadre de la *Théorie des situations*. Il s'agit de faire en sorte que l'élève travaille dans le cadre d'une situation en prenant en compte le problème à résoudre et non pas les intentions didactiques de l'enseignant. C'est la situation en tant que telle qui conduit les élèves à mettre en œuvre et s'approprier les concepts qu'il est nécessaire d'engager dans la situation construite par l'enseignant. L'approche de Vygotski ne nie pas l'importance de l'action dans le cadre d'une situation didactique donnée mais ajoute - et c'est en ce sens que Brossard peut parler d'une seconde conception constructiviste – le rôle de l'enseignant en tant que médiateur des concepts scientifiques qui permet « à l'élève de re-effectuer pour son propre compte certaines opérations de pensée considérée par une communauté scientifique comme une manière de pensée considérée momentanément satisfaisante » (Brossard, 2004 p. 204). C'est cette seconde conception que nous retenons pour notre travail.

2.2.2 Temps et espace dans l'apprentissage des sciences de la Terre : raisonnements d'élèves

2.2.2.1 Des obstacles épistémologiques aux obstacles didactiques

Chaque individu engagé dans un apprentissage a des connaissances empiriques déjà constituées. Il a construit son propre cadre explicatif du problème abordé en classe. Ces structures sous-jacentes constituent des *conceptions* (Giordan et *al.*, 1994). Dans certains cas, ces conceptions sont résistantes à l'enseignement, elles constituent alors des obstacles. En effet, pour un élève, il s'agit moins d'un problème d'acquisition de connaissances que d'un changement de culture, un franchissement d'obstacles pour l'appropriation d'un savoir scientifique.

Pour G. Bachelard (1938) « on connaît contre une connaissance antérieure, en détruisant des connaissances mal faites, en surmontant ce qui, dans l'esprit même, fait obstacle à la spiritualisation ». G. Bachelard énonce ainsi le concept d'*obstacle épistémologique*. Ce concept permet de caractériser la rupture théorique qui sépare la pensée commune de la pensée scientifique.. Les obstacles ne constituent pas, en sciences, des accidents qui auraient pu et qui doivent être évités, mais sont l'occasion du progrès intellectuel. Ces idées sont reprises par Canguilhem qui montre qu'en sciences, l'erreur est un passage obligé. Mais ce qui distingue le franchissement d'obstacle de l'accommodation de Piaget ou de la simple

correction d'erreur c'est qu'il ne suffit pas que la nouvelle connaissance soit meilleure pour que la précédente disparaisse. Il est nécessaire que la connaissance erronée soit identifiée comme telle et que son rejet fasse partie intégrante de la connaissance nouvelle.

Trois aspects caractérisent les obstacles épistémologiques (G. Bachelard, 1938) :

- Leur caractère inévitable et la répétition de leur apparition dans la phylogenèse et l'ontogenèse des connaissances ;
- leur résistance : ni la seule rationalité des explications, ni l'usage de contre exemples ne suffisent à les surmonter ;
- leur caractère transversal : différentes conceptions qui portent sur des notions sans lien apparent peuvent apparaître, à l'analyse, comme les points d'émergence d'un même obstacle.

Pour Artigue (1991 p. 252) qui se fonde sur les travaux de G. Bachelard, « c'est dans l'analyse historique de ces résistances et les débats qui les ont vaincues qu'il faut chercher les éléments qui permettent d'identifier les obstacles des élèves et, sans chercher à plaquer l'étude historique sur l'étude didactique, chercher aussi les arguments pour construire les situations d'enseignement qui permettront leur franchissement » et, plus loin (p. 277) « l'identification des conceptions historiquement rencontrées peut nous aider à interpréter certaines réponses d'élèves, à comprendre leur cohérence ». Les obstacles épistémologiques peuvent ainsi donner des informations précieuses sur les obstacles didactiques à prendre en compte dans l'enseignement.

Pour les sciences de la Terre, les difficultés conceptuelles relevées par les épistémologues sont, pour certaines d'entre elles considérées comme constituant des difficultés voire des obstacles didactiques. Ces difficultés relèvent en particulier des capacités des élèves à appréhender le temps et l'espace.

La littérature est avare en travaux qui ont exploré les obstacles didactiques dans l'enseignement des sciences de la Terre de manière systématique. Le plus souvent, ce sont des analyses contingentes à d'autres travaux qui ont permis de pointer, au hasard des tâches demandées aux élèves, des points de difficultés, des éléments de résistance, qui constituent parfois des obstacles à l'apprentissage. Ces obstacles repérés ont généralement trait à deux dimensions des sciences de la Terre, leurs rapports au temps et à l'espace.

2.2.2.2 Les rapports au temps

Une première difficulté rencontrée par les élèves est celle relative à l'appréciation du dynamisme de certains processus géologiques. La vitesse à laquelle se déroulent les

mouvements de la lithosphère, la sédimentation au fond des océans et les transformations minéralogiques au cours du métamorphisme est en effet sans commune mesure avec l'expérience humaine et non directement accessible à nos sens. Il en résulte que la pensée a des difficultés à se départir d'une conception fixiste de la plupart des objets géologiques. C'est ainsi que le fixisme est relevé comme un obstacle pour la compréhension de la tectonique (Monchamp & Sauvageot-Skibine, 1995) et d'une manière générale pour aborder les concepts de géologie (Allain, 1995). Les objets géologiques sont pensés comme immuables plutôt que construits et le temps, qui en constitue leur quatrième dimension, n'est généralement pas pris en compte dans les raisonnements des élèves.

Cette pensée fixiste a des échos pour un second type d'obstacle relevé par D. Orange dans ses travaux (D. Orange, 2003b). Cet auteur relève que les élèves sont capables d'appliquer un actualisme de premier niveau, qu'elle qualifie également d'actualisme d'analogie, c'est-à-dire de translater une structure géologique observable actuellement dans le temps de manière à l'exporter, la transposer vers le passé. Ce raisonnement conduit les élèves à effectuer une simple analogie entre un objet observé et un objet présent dans le passé. Le temps n'intervient ici que comme un repère chronologique permettant de situer un événement dans le passé. La mise en œuvre d'un actualisme de second niveau implique de faire intervenir les durées longues nécessaires pour produire cet objet. Ce raisonnement permet, comme dans l'actualisme de premier niveau, d'expliquer la présence d'un objet géologique par la survenue, dans le passé, de causes qui agissent encore aujourd'hui. L'actualisme de second niveau se distingue de celui de premier niveau dans la mesure où il conduit à faire intervenir un temps long, agissant dans le passé, permettant la production d'un objet géologique encore observable aujourd'hui.

L'immensité des temps géologiques impliqués pose également problème. Ainsi, selon Trend (2000), des étudiants engagés dans une formation d'enseignants de l'enseignement primaire ne sont capables de distinguer que trois catégories d'événements géologiques : extrêmement anciens, anciens et récents. La capacité d'apprécier les durées géologiques à leur juste mesure est pour cet auteur une compétence clef pour l'apprentissage de concepts géologiques et l'incapacité à penser et comprendre les fondements de l'établissement de l'échelle stratigraphique est la pierre d'achoppement de l'apprentissage des concepts de la discipline. Pour un novice en géosciences, le temps est condensé et cela peut conduire au télescopage d'événements distincts et à l'anachronisme - par exemple la présence simultanée d'hommes préhistoriques et de dinosaures - mais également au fixisme, car c'est la mise en œuvre d'un

temps long qui permet de penser les structures géologiques comme des objets construits plutôt que donnés.

L'enseignement tente de pallier cette difficulté par des analogies spatiales (le temps est transformé en distance) ou par des analogies temporelles qui réduisent les temps géologiques à des durées plus courtes et plus proches de l'expérience humaine (Savaton, 1998). L'iconographie des ouvrages et manuels est riche en analogies qui permettent de ramener les temps géologiques à une échelle accessible au raisonnement. L'analogie la plus fréquemment rencontrée est celle qui consiste à ramener la durée de l'histoire de la Terre à une année. Cette démarche n'est pas sans risque. En effet, en géologie, les relations entre temps et espace sont complexes et l'assimilation des mesures spatiales et temporelle peut être source d'erreurs. Par exemple la puissance d'un dépôt sédimentaire ne dit rien sur les durées qui ont présidé à sa formation si la nature du dépôt n'est pas prise en compte. .

Outre la question de la durée des événements géologiques, se pose également celle de leur mise en histoire et de leur chronologie.

Pour Vale Dias (2002) « le temps est la quatrième dimension et tout objet de connaissance se situe dans le temps ». Cette remarque vaut particulièrement pour les sciences de la Terre. Selon cet auteur, la construction du raisonnement diachronique est un processus complexe qui enrichit la connaissance des phénomènes et la compréhension de la réalité puisqu'il permet de considérer les étapes qui ont mené à l'état présent et les changements futurs possibles. Adopter un raisonnement diachronique c'est donc sortir du présent et s'interroger sur l'évolution passée et future des choses pour comprendre les transformations dans le temps.

Dodick et Orion (2003a) s'appuient sur les travaux de Montangero (1996) pour définir trois *schèmes*, au sens de Piaget, caractéristiques de la pensée diachronique en géologie :

- le *schème* de transformation dont le corollaire en géologie est le principe d'actualisme. Les événements géologiques passés sont évalués à la lumière des événements actuels ;
- le *schème* de l'organisation temporelle qui est fondé sur l'observation des relations géométriques entre structures géologiques et permet de définir la séquence des événements ayant affecté une région. En géologie, ces principes sont connus sous les termes de superposition, de recoupement ou d'identité paléontologique ;
- le *schème* des liens inter-phases qui permet d'établir des relations entre les événements qui se sont succédés en appliquant un raisonnement causal et le principe d'actualisme.

Un quatrième *schème*, qualifié par Montangero (1996) de « synthèse dynamique » correspond, selon ces mêmes auteurs, au résultat de la mise en œuvre des trois précédents pour le géologue.

Pour Dodick et Orion (2003a), un raisonnement de type diachronique peut être mis pleinement en œuvre à partir de l'âge de 10 ou 11 ans. Ces auteurs s'appuient sur les travaux de Montangero (1996) qui définit le raisonnement diachronique comme la capacité à se représenter des transformations au cours du temps. Ils distinguent ainsi deux manières de s'engager dans un raisonnement temporel. Une appréhension « passive » qui consiste à établir de simples connections entre des événements géologiques ou biologiques et un calendrier. Cette approche conduirait à mémoriser un certain nombre d'événements datés et permettrait d'appréhender l'immensité des temps géologiques. Une seconde manière de penser le temps ferait intervenir un raisonnement logique pour la reconstruction des environnements passés et conduirait à une vision dynamique et historique des objets géologiques.

La question du temps en géologie est donc une question difficile dont la maîtrise implique de mettre en œuvre des raisonnements complexes : appréciation de l'immensité des temps géologiques et du dynamisme des phénomènes, mise en œuvre d'un raisonnement diachronique permettant de se construire la chronologie d'une histoire et application d'un actualisme de second niveau pour dépasser la simple transposition temporelle de phénomènes actuels. C. Orange (1995) souligne la nécessité de problématiser le temps avec les élèves pour dépasser le paradoxe de la stabilité structurale des modèles géologiques pourtant nécessaire à leur évolution.

2.2.2.3 Les rapports à l'espace

Savaton (1998) fait le constat que l'apprentissage des relations spatiales qui relève d'un enseignement trans-disciplinaire (SVT, mathématiques, géographie physique, arts plastiques, technologie) a fortement reculé ces trente dernières années. Les compétences associées sont souvent jugées, par les enseignants de SVT, acquises par les élèves ou, tout du moins, ne relevant pas de leur enseignement. Pourtant il existe des liens entre les aptitudes visuo-spatiales et le raisonnement géologique, liens qui sont communément relevés par les praticiens mais très peu explorés par la recherche (Ault, 1998). Par ailleurs, l'enseignement conduit souvent à négliger l'aspect tridimensionnel des objets. Les exercices qui consistent à travailler cet aspect tendent à disparaître de l'enseignement secondaire. C'est par exemple le cas pour les travaux de réalisation de coupes à partir d'une carte géologique. Cet exercice conduit à passer d'une représentation à deux dimensions (la carte) à une autre représentation à deux dimensions (la coupe) afin d'aider l'élève à se construire une vision tridimensionnelle du sous-sol.

La capacité à appréhender l'espace recouvre différentes compétences relevées dans la littérature par Pitburn et *al* (2002). C'est d'abord la capacité d'appréhender les différentes échelles d'espace en jeu. C'est le cas lorsque la tâche consiste à corréler les échelles d'observation - le minéral, la roche, l'affleurement ou le paysage - avec des échelles du niveau explicatif global, la lithosphère par exemple. Les élèves qui effectuent un travail pour l'essentiel de type « papier crayon », sur des documents sans échelle, ou sans prêter attention à l'échelle, ont du mal à distinguer ces différents niveaux d'observation et, *a fortiori*, à les relier entre eux. La capacité à appréhender l'espace recouvre également la capacité à changer de référentiel d'observation. On trouve ainsi quelques travaux qui soulignent les difficultés éprouvées par les élèves pour visualiser les mouvements de la Terre autour du soleil et d'en tirer des conséquences sur le rythme des saisons ou pour interpréter les cycles lunaires (voir par exemple (Ault, 1998)). Une autre compétence réside dans la capacité à identifier un même objet vu sous différents angles. Un même fossile a des aspects très différents selon les sections aléatoires des roches dans lesquelles il se trouve. La capacité à passer d'une représentation 2D à sa signification 3D (par exemple en identifiant le pendage d'une strate grâce à l'intersection de ses limites avec les courbes de niveau) déjà évoquée plus haut est une autre compétence à laquelle le raisonnement géologique fait très fréquemment appel. Ceci est lié au fait que les sources d'informations, dessin, photographie, carte, affleurement... sont des informations généralement accessibles en 2D. Cette compétence est largement sollicitée pour l'interprétation d'une carte géologique, la reconstitution tridimensionnelle d'un fossile, l'identification de l'axe d'un pli ou de la direction d'une faille. Enfin, la capacité à appréhender l'espace recouvre également la capacité à s'y localiser. C'est le cas par exemple lors d'un travail de terrain.

Pitburn et *al* (2002) distinguent ainsi deux grands types de compétences pour le raisonnement spatial en géologie. La première – *spatial ability* porte sur l'aptitude à percevoir des structures tridimensionnelles ou à s'orienter par rapport à ces structures. La seconde *visualization ability* porte sur la capacité à manipuler ou transformer mentalement des structures tridimensionnelles.

L'accession à un raisonnement géologique passe donc par le franchissement d'obstacles qui ont trait aux dimensions des objets géologiques. Le raisonnement géologique s'applique sur des objets qui ont des volumes et une difficulté majeure consiste dans la mise en œuvre d'un raisonnement à partir d'informations généralement accessibles sur deux dimensions permettant de construire la troisième dimension de ces objets. Le raisonnement géologique

s'applique également sur des objets qui ont une histoire, et appliquer un raisonnement fixiste c'est perdre la dimension dynamique et construite de ces objets. La pensée géologique est donc une pensée qui s'exerce sur des objets en 4 dimensions. Par ailleurs, raisonnement spatial et raisonnement temporel sont étroitement liés. Ainsi les résultats des travaux de Dodick et Orion (2003a) montrent, chez des élèves de l'enseignement secondaire, une corrélation entre aptitudes à la visualisation spatiale et capacité à prendre en compte la dimension temporelle dans le raisonnement. Ils montrent par exemple que les échecs pour la mise en évidence de corrélations stratigraphiques sont liés à des échecs dans la perception tridimensionnelle des structures géologiques.

2.2.3 Modèle et modélisation dans l'enseignement/apprentissage des sciences de la Terre

« Toute science serait superflue si l'apparence et l'essence des choses se confondaient »

(Marx, 1867)

De très nombreux travaux ont été consacrés à l'analyse de situations de classe au cours desquelles des élèves étaient engagés dans des tâches de modélisation. L'immense majorité de ces travaux porte sur l'enseignement des sciences physico-chimiques. Certains d'entre eux se sont attachés à identifier la place et le rôle des modèles dans de telles situations. Parallèlement, ces dernières années, des appels de plus en plus insistants ont été émis pour que les modèles et la modélisation jouent un rôle majeur dans l'enseignement des sciences (Clement, 2000 ; B.-C. Buckley, 2000). Gobert (2000) note une reconnaissance croissante de ce rôle lors des différentes réformes de l'enseignement scientifique aux États-Unis. Néanmoins, le terme est parfois employé au sens de modèle mental plutôt que modèle scientifique. Ainsi, Gilbert (2000) propose une définition pour un enseignement fondé sur les modèles (*Model-Based Learning*) : « Un dispositif d'enseignement qui inclut les ressources, les activités et les stratégies susceptibles de faciliter la construction de modèles mentaux ». Dans ce cas l'expression « modèle mental » est à rapprocher de la notion de *conception* (p. 27)

Halloun (2004 p. 107) décrit quatre points de vue sur la modélisation et l'utilisation des modèles dans un contexte d'enseignement/apprentissage au travers des réformes de l'enseignement des sciences aux États-Unis lors des vingt dernières années :

- les modèles sont considérés comme fondamentaux et féconds, permettant de dépasser les cloisonnements disciplinaires ;

- les modèles facilitent l'accès à une science plus « authentique », plus proche de l'activité réelle du chercheur, et donnent du sens aux apprentissages ;
- les modèles peuvent devenir des outils pédagogiques qui permettent aux apprenants d'exprimer leurs propres connaissances ;
- les modèles occupent une position charnière pour la mise en œuvre d'activités de résolution de problèmes.

En France, si la modélisation et les modèles apparaissent de manière explicite dans les programmes de physique-chimie et mathématiques de l'enseignement secondaire, l'introduction de ces termes est récente dans les programmes de sciences de la vie et de la Terre (réforme 2000) et encore timide. De fait, si des auteurs se sont intéressés à ces questions pour l'enseignement des sciences physiques voire de la biologie, rares sont ceux à l'avoir fait pour l'enseignement des sciences de la Terre. En particulier cette discipline était absente des préoccupations des équipes de la Recherche coopérative sur Programme « Enseignement et apprentissage de la modélisation » INRP-Lirest (Martinand, 1992).

Ce paragraphe consacré à la question de la place des modèles et de la modélisation dans l'enseignement ne prétend pas à l'exhaustivité. Il a néanmoins pour ambition de fournir des repères afin de dégager quelques courants majeurs sur les fonctions attribuées aux modèles dans un contexte d'enseignement. Les principales références qui ont été retenues portent sur l'enseignement des sciences physiques, et, dans une moindre mesure, en biologie. Elles nous semblent néanmoins apporter un éclairage utile pour l'enseignement des sciences de la Terre. Une entrée possible dans les travaux relatifs à l'usage de la modélisation dans la classe consiste à distinguer les différentes fonctions attribuées aux modèles. C'est celle que nous adoptons ici.

2.2.3.1 Une fonction de perception et de représentation

Pour Martinand (1992 p. 17) la fonction de représentation des modèles est leur fonction la plus importante dans un contexte scolaire. C'est « celle qui correspond dans l'apprentissage à la tâche décisive, celle qui doit polariser au maximum l'attention des enseignants ». Un modèle est en effet un système de symbolisation qui permet de se représenter un phénomène et l'étape qui consiste à aider l'élève à se construire ce système de représentation apparaît comme une étape clef. Pour Buckley et Boulter (2000) les modèles mentaux, dans un contexte scolaire, permettent de percevoir et de visualiser des phénomènes. Notre perception des phénomènes est en effet très largement guidée par nos attentes et les présupposés sur lesquelles elles sont fondées. Ainsi, un phénomène peut-il passer complètement inaperçu si

l'observateur n'a pas en tête un modèle adapté à l'observation qui est visée. Ainsi, pour Halloun (2004) les modèles constituent des lentilles-conceptuelles (*conceptual lenses*) au travers desquelles nous appréhendons le réel. Les modèles constituent des filtres qui guident l'observateur dans l'extraction des données du réel. Un élève placé dans un contexte de classe de terrain en sciences de la Terre ne perçoit et n'identifie les objets géologiques qu'il rencontre que s'il possède une certaine maîtrise de la grille de lecture du terrain que constitue le modèle scientifique en jeu. Le réel du terrain n'a pas de vertus heuristiques intrinsèques, mais le modèle qui est mobilisé à un moment donné permet d'avoir un point de vue sur ce réel. Ainsi, un affleurement pourra-t-il être tour à tour « mur d'escalade », « falaise dangereuse » ou « document permettant de retracer un moment de l'histoire géologique » selon le modèle invoqué.

Les conceptions des élèves, les modèles dont ils disposent peuvent donc également jouer un rôle de masquage du réel. Ce qui peut paraître une évidence à un observateur chevronné peut être complètement occulté pour le novice. Ainsi, C. Orange et al. (1999) relatent une situation au cours de laquelle les feldspaths de l'arène granitique ne sont pas observés par l'élève qui se représente l'altération du granite comme un départ de ce minéral. Cet exemple illustre la prédominance du modèle sur le *registre empirique*.

La question de la représentation des phénomènes est donc une question centrale pour l'enseignement et ce rôle, joué par les modèles, a déjà été largement discuté (voir par exemple Larcher, 1996 ; Larcher, 1994). Pour Guichard (1994), « Dans le cadre scolaire, le problème principal est de se représenter le système [qui est étudié] ». C'est particulièrement vrai lorsque ce système n'est pas accessible à l'observation directe pour des raisons de temps (par exemple vitesse très faible de certains phénomènes géologiques) ou d'espace (dimensions gigantesques ou microscopiques de certains objets géologiques). L'enseignant peut ainsi être conduit à proposer des modèles formels, analogiques, sous la forme de maquettes plus ou moins élaborées. Les exemples de tels modèles sont très nombreux dans l'enseignement des sciences de la Terre : maquette de système solaire, modèle de subduction ou d'effet de serre par exemple. Parfois, ces modèles ont été informatisés et permettent de générer des animations ou des simulations. Ils donnent ainsi « à voir » en miniature ou en accéléré, des phénomènes difficiles à percevoir et aident à s'en forger une première représentation.

Le danger de cette approche réside dans le fait que le modèle qui est proposé aux élèves n'est que le pâle reflet d'une réalité certes beaucoup plus complexe mais également beaucoup plus riche. Le risque est donc qu'il y ait, chez l'élève, confusion entre le modèle et la réalité qu'il modélise, que la nécessaire distance entre ces deux registres ne soit pas respectée et que la

maîtrise du modèle ne devienne une fin alors que ce dernier n'est qu'un moyen au service de l'appréhension du réel. Ainsi, dans l'enseignement des sciences, les modèles scientifiques sont utilisés de manières très diverses dans la classe mais le plus souvent ils sont enseignés comme des faits acceptés (Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2002). Grosslight et *al.* (1991) montrent que les apprenants ont une conception du modèle qui relève d'un réalisme naïf. Le modèle est considéré comme une copie de la réalité plutôt que comme une construction intellectuelle.

Treagust et *al.* (2002) apportent quelques précisions sur les conceptions qu'ont les élèves du modèle scientifique. Ils montrent, au cours d'une étude conduite sur 228 élèves de 13 à 15 ans, que, si l'utilité des modèles et leur caractère évolutifs sont généralement bien reconnus ils n'en restent pas moins, pour la majorité d'entre-eux, des répliques de la réalité et leur rôle pour établir des prévisions n'est pas reconnu. Ryder et Leach (2000) relèvent que les lycéens et étudiants ne reconnaissent pas la place des modèles scientifiques dans l'interprétation des données recueillies lors d'une école de terrain.

2.2.3.2 Une fonction de communication pour l'argumentation

Une seconde fonction assurée dans la classe par le modèle est la communication. Ainsi, pour Buckley et Boulter (2000) les modèles construits par les élèves leurs permettent d'exprimer leurs conceptions. En conséquence, les modèles peuvent constituer des supports au débat scientifique dans la classe, débat dont les interactions favorisent l'apprentissage. Des expérimentations conduites pour l'enseignement des sciences physiques (Johsua & Dupin, 1989) ont amené ces auteurs à organiser des activités de débat scientifique dans la classe. Les conceptions des élèves sont alors considérées comme de véritables débuts de modélisation et les débats qui sont organisés visent à permettre une confrontation de ces modèles. Le dispositif expérimental mis en place par ces auteurs ne permet pas de montrer qu'en « rompant le caractère privé du rapport à la connaissance, en insistant au contraire sur l'aspect social de la connaissance » les apprentissages individuels étaient favorisés. Néanmoins, lorsque les élèves sont conduits à gérer le fond du débat et lorsque la maîtrise du déroulement de ce dernier est gardée par l'enseignant, la situation apparaît plus efficace, du point de vue de la maîtrise de la connaissance, que lorsque le professeur dialogue avec la classe ou lorsque le débat se déroule entre pairs.

Par ailleurs, nos *modèles mentaux* sont utilisés pour évaluer les modèles mentaux des autres (B. C. Bukley & Boulter, 2000). C'est dans cette confrontation, qui implique explication et justification, que peut avoir lieu une remise en cause du modèle initialement défendu. Une

expérience originale, pour l'enseignement des sciences de la Terre, s'est appuyée sur ce constat (Gobert, Slotta, Pallant, Nagy, & Targum, 2002). Des élèves impliqués dans un travail sur la tectonique des plaques ont été conduits à correspondre et à expédier, à un correspondant, entre les côtes Est et Ouest des Etats Unis, des dessins permettant d'explicitier la manière dont ils se représentent la formation des chaînes de montagne. Utilisés comme outil de communication, les modèles produits par les élèves étaient critiqués et modifiés au cours des échanges. L'analyse des productions des élèves a montré des gains en terme de maîtrise des connaissances du domaine mais également sur le rôle des modèles en sciences.

Cette fonction du modèle appelle trois remarques. En premier lieu, ce rôle ne peut être joué que si une représentation du modèle est produite. Cette représentation, qu'elle soit orale, textuelle ou imagée, emploie un ensemble de codes dont la signification ne va pas de soi. Il existe donc un risque que le modèle soit mal interprété par celui qui le « lit ». En second lieu, il y a risque que le modèle soit confondu avec la représentation qui en est faite. C'est l'explicitation du codage symbolique par les élèves eux-mêmes qui leur permet de différencier le modèle de sa représentation iconique (Larcher, 1994). Enfin, les modèles produits par les élèves ne recouvrent pas nécessairement leurs modèles mentaux. Ces derniers ne sont pas communicables en totalité et une part d'implicite subsiste nécessairement.

2.2.3.3 Une fonction heuristique

Des travaux de psychologie cognitive ont décrit la connaissance comme la capacité de se construire un modèle mental de la réalité que l'on cherche à connaître. Ainsi pour Johnson-Laird et *al.* (cité par Halloun, 2004 p. 25) : « all our knowledge of the world depends on our ability to construct model of it ». Sans adopter une position aussi radicale nous considérons que, parce qu'ils peuvent être représentés sous forme d'objets manipulables qui permettent de percevoir les phénomènes et de les représenter, les modèles constituent des aides à penser. Pour Pacault (1987) « Modéliser c'est tester la pertinence des variables et réduire leur indépendance » c'est-à-dire vérifier que les variables choisies décrivent bien le phénomène et établir des relations entre ces variables. Identification des variables et exploration de leurs relations sont des activités de nature à améliorer la compréhension d'un phénomène. Les modèles peuvent donc, dans la classe, constituer des outils pour comprendre et des aides à la conceptualisation (Larcher, 1994). Le modèle permet en effet de s'abstraire de certaines propriétés et caractéristiques singulières des différentes situations étudiées et de se forger une vision unificatrice des phénomènes. Il existe donc une relation étroite entre modélisation et conceptualisation.

La modélisation est orientée par un questionnement (Larcher, 1996) et un changement de question peut entraîner un changement de modèle. Ce point pose la question du champ d'application d'un modèle et donc de son domaine de validité. Enseigner à un élève l'utilisation d'un modèle pour interpréter des observations ou des résultats obtenus lors des travaux pratiques c'est prendre le risque que ce modèle soit par la suite utilisé pour explorer un domaine pour lequel il n'est pas adapté. Enseigner la modélisation et l'utilisation des modèles doit donc conduire à proposer à l'élève une boîte à outil (le modèle) avec sa notice d'utilisation ainsi que les mises en garde relatives à cette utilisation (son domaine de validité). Cette fonction heuristique du modèle pose également le problème de son statut dans la classe. Est-il fourni par l'enseignant et présenté comme une donnée non révisable ? Dans ce cas, le travail de compréhension risque de porter sur le modèle plutôt que sur le phénomène qu'il représente. La validité du modèle sera plutôt appréciée par sa cohérence interne. Est-il élaboré par l'élève au cours d'un travail de modélisation et perçu comme un substitut de la réalité ? Dans ce cas son statut d'outil permettant de comprendre le réel peut être plus explicite. C'est alors sa capacité à rendre compte de ce réel, à le comprendre et à en prévoir le comportement qui permettra d'en apprécier la pertinence.

2.2.3.4 Les modèles comme outils de médiation entre réel et théorie

Les travaux de l'équipe COAST (voir par exemple Tiberghien, 1994 ; Becu-Robinault, 2002 ; Buty, Tiberghien, & Le Maréchal, 2004) ont conduit ces auteurs à décrire les activités de modélisation dans la classe comme la mise en relation de deux mondes : un monde des modèles et théories et un monde d'objets et d'événements. C'est dans l'établissement de liens entre ces deux mondes que se fonde l'apprentissage et la construction de sens d'un concept donné. Dans sa thèse, Buty (2000) précise que par *monde des objets* et des événements il entend « ce qui relève de la réalité expérimentale » et par *monde des théories et des modèles* « ce qui relève des outils qui permettent d'agir sur la réalité ». La tentation est donc grande de rapprocher ces concepts de ceux de *registre empirique* et de registre des modèles. En effet pour Lhoste (2006 p. 83) « le *registre empirique* contient des objets, des phénomènes et des expériences quotidiennes. Il contient les éléments que l'on peut vérifier par une observation, une mesure. Les éléments du *registre empirique* correspondent à « ce qu'il y a à expliquer » et nous pouvons dire qu'ils ne sont pas constitués une fois pour toutes. [...] Le registre du modèle est lui aussi construit par l'élève. Il contient les éléments liés à une organisation et/ou à un fonctionnement plus ou moins imaginé. Ces éléments constituent les tentatives de solutions proposées pour expliquer les éléments du *registre empirique* ».

Auparavant, Walliser (1977) avait utilisé les termes de champ empirique, modèle et champ théorique pour décrire ce qu'il nomme la *dynamique de la modélisation* c'est-à-dire un cycle d'opérations qui mettent en relation ces trois niveaux.

Fondé sur les travaux de Walliser, le schéma de la modélisation en sciences proposé par Martinand (1992 ; 1994) permet de décrire la tâche de l'élève durant l'apprentissage. Quels types de registres mobilise-t-il ? Quels types de problèmes est-il capable d'envisager ? Ce schéma permet également de distinguer :

- un *registre empirique* constitué d'objets, de phénomènes et d'actions sur ces objets et phénomènes ;
- un registre des modèles comprenant des composantes *sémantiques* (une sémiographie commode pour représenter les éléments du modèle), « syntaxiques » (les relations qu'entretiennent les éléments du modèle entre-eux) et *pragmatiques* (qui permettent de questionner, se représenter, prévoir, inventer et expliquer le référent empirique) ;
- à ces deux registres, Martinand en ajoute un troisième qui est la matrice cognitive et qui comprend des paradigmes épistémiques, ainsi que des ressources théoriques et sémiotiques.

Ce schéma permet de distinguer la construction du modèle (phénoménographie) de la description seconde du modèle qui se projette sur le référent empirique (phénoménologie). Il permet également de situer des activités de simulation qui correspondent, quant à elles, à une exploration du modèle.

La matrice cognitive permet de décrire ce qui est disponible et mobilisable, ce qui doit être amené en conformité avec les exigences de la tâche et réciproquement ce qui restreint ou ouvre les problèmes envisageables.

Nous retiendrons, pour notre part, le terme de registre pour distinguer les différents niveaux qui décrivent d'une part, le réel que l'élève construit et tente de comprendre (*registre empirique*), d'autre part le modèle mobilisé qui permet d'interpréter et de représenter ce réel (registre du modèle) et enfin les éléments théoriques qui appartiennent au système explicatif de l'élève (registre explicatif). Le registre explicatif de l'élève comprend les types d'explications qu'il est capable de mobiliser dans une situation donnée. Il s'agit de règles générales qui n'ont pas de caractère disciplinaire. Ces règles permettent à l'élève de se construire une « théorie de la discipline » et nous emploierons l'expression de *registre théorique de l'élève* pour désigner les propositions que l'élève tient pour vraies.

Pour C. Orange (1997), apprendre la modélisation c'est acquérir une compétence : la maîtrise du problème de mise en concordance faits - c'est-à-dire un réel construit au cours d'activités

de laboratoire ou de terrain - et théorie – à partir de laquelle l'élève mobilise des références explicatives. Néanmoins pour ce même auteur (C. Orange 2000), mettre l'accent, dans la modélisation, sur le « modèle solution », c'est risquer de rechercher des « trajets » qui ne seraient que factuels. La modélisation n'est pas donc une simple mise en relation des différents registres pour trouver une solution ; elle nécessite une mise en tension de ces différents registres qui conduit à la problématisation. Il s'agit d'identifier à partir des contraintes empiriques significatives pour le problème, les conditions de possibilité du modèle (ses nécessités). Le modèle est alors une solution réalisant les nécessités.

De cette présentation brève des travaux de différents auteurs, se dégage un certain consensus sur une fonction jouée par le modèle dans la classe : un intermédiaire entre un réel à investiguer et une théorie explicative. Cette dialectique nous semble fondamentale pour l'apprentissage des sciences et plus particulièrement des sciences de la Terre. Au delà de la mémorisation d'énoncés théoriques relatifs à des lois et des phénomènes généraux, au delà de la connaissance de faits de terrain spécifiques, il s'agit de la construction de propositions argumentées qui articulent énoncés explicatifs et arguments empiriques.

Ce point de vue appelle deux types de remarques. Par *registre empirique* il ne faut pas entendre réel donné et objectif mais réel construit dépendant des attentes et des objectifs de l'observateur. Ce registre présente une certaine « épaisseur » (Martinand, 1992) tant il est constitué d'éléments nombreux et divers : objets, phénomènes et connaissances pratiques. Par registre explicatif on entend l'ensemble des éléments mobilisables à un moment donné par un élève pour interpréter une situation. Ce point peut être mis en relation avec le concept de zone prochaine de développement de Vygotski. La mobilisation de ces éléments explicatifs dépend d'un contexte, d'un tiers, et ces connaissances seront engagées dans l'action pour autant qu'elles apparaîtront nécessaires.

2.2.3.5 Les modèles, outils d'investigation scientifique pour la classe

Dès 1992 Martinand (1992 p. 8) soulignait le dogmatisme qui, selon lui prévalait alors, dans l'enseignement des sciences expérimentales. Martinand relie cette dogmatisation à « l'imposition d'un point de vue, d'un mode de description, d'une interprétation » et regrettait la disparition du « caractère hypothétique des constructions élaborées pour prédire et expliquer ». Le même constat semble pouvoir être fait aujourd'hui. Lors de deux études (Sanchez, Prieur, & Devallois, 2004 ; Sanchez, Prieur, & Fontanieu, 2007) nous avons souligné que les modèles perdent, dans l'enseignement des sciences de la Terre, leur statut d'outils pour penser. Ils deviennent des objectifs d'enseignement dont le domaine de validité

n'est pas discuté. Si certaines de leurs fonctions ou propriétés semblent reconnues par les enseignants – tels que leurs rôles pour établir des prévisions ou pour analyser les données recueillies – elles semblent néanmoins assez peu mises en oeuvre. Des travaux tendent à formuler des propositions pour rendre aux modèles leur statut d'outil scientifique.

Ainsi, Halloun (2004 p. 29) reprend, pour la classe, l'idée qui consiste à considérer les modèles comme des intermédiaires entre deux registres (Halloun utilise le terme de *monde*). Pour cet auteur, la connaissance scientifique résulte de transactions entre un *registre empirique* constitué de réalités physiques et le registre rationnel du scientifique. Cette dialectique continue se traduit par la construction de modèles provisoires dont la validité est mise à l'épreuve de données empiriques recueillies à cette fin. Ces tests permettent de choisir entre l'acceptation, la modification ou le rejet du modèle élaboré. Selon ce point de vue, une hypothèse de recherche apparaît comme une assertion sur une relation entre un modèle et le registre (Halloun utilise le terme de *champ*) empirique qu'il est sensé expliquer (Giere, 1988 cité par Halloun, 2004 p. 30).

Après d'autres, cet auteur propose de placer la modélisation au cœur des activités de résolution de problèmes et de faire des modèles dans la classe des *outils pédagogiques* permettant deux types d'activités. Des activités d'exploration qui consistent à utiliser des modèles conceptuels pour décrire, expliquer, prédire le comportement des systèmes physiques et des activités de création (*inventive activities*) qui consistent à imaginer de nouvelles manière de concevoir ces systèmes et prévoir l'existence de nouveaux aspects du réel (Halloun, 2004 p. 155). Il s'agit, selon ce point de vue, d'une part d'enseigner les modèles fondamentaux des théories de la physique et d'autre part de placer les élèves dans un contexte rationnel, leur permettant de se construire un *registre empirique*, qui favorise la compréhension des lois de la théorie en jeu ainsi que l'appropriation d'éléments nécessaires à la construction de modèles plus complexes (Halloun, 2004 p. 140).

Selon ce point de vue c'est donc l'emploi d'un modèle, son utilisation dans le cadre d'une investigation scientifique, le déploiement de ce modèle dans un *registre empirique* qui va conduire l'élève à s'en approprier les caractéristiques et en comprendre le sens. L'investigation menée est susceptible de se traduire par trois types de tests, rationnels et/ou empiriques, qui permettent d'évaluer la pertinence du modèle. En premier lieu il s'agit de l'évaluation de la cohérence interne du modèle qui permet de tester la logique des relations qui relient les différents éléments du modèle et l'absence de contradictions dans ces relations. Il s'agit également d'évaluer la correspondance du modèle avec le réel c'est-à-dire avec le *registre empirique* qu'il vise à décrire et expliquer. Il s'agit enfin d'évaluer l'adéquation du

modèle au cadre théorique. C. Orange (1997 p. 210) avance des idées similaires lorsqu'il distingue cohérence formelle ou validité syntaxique et pertinence ou validité sémantique des modèles.

Nous retiendrons des travaux de ces auteurs les propositions qui visent à rendre aux modèles leur statut d'outil pour l'investigation scientifique. Dans un contexte d'enseignement, les modèles sont ainsi, des *outils de perception et de visualisation* permettant de percevoir et d'identifier des phénomènes lors d'investigations empiriques, des *outils de communication* sur lesquels ancrer le débat scientifique, des *outils d'intelligibilité* permettant de souligner les éléments et les relations d'un système étudié, des *intermédiaires* entre un *registre empirique* et un *registre théorique*. Les modèles sont ainsi des outils sur lesquels l'élève peut s'appuyer pour conduire un travail d'investigation scientifique.

2.2.4 La place de l'école de terrain dans l'enseignement des sciences de la Terre

« Lorsque l'excursion géologique atteint la première carrière, on s'arrête avant d'y pénétrer, de manière à en embrasser l'ensemble ; puis, lorsque tout le monde est réuni, la *leçon* commence. Le professeur décrit les terrains visibles, indique la place qu'ils occupent dans la série du bassin parisien, donne d'intéressants détails sur leur origine et énumère les fossiles que l'on peut y trouver, ainsi que les principaux échantillons qu'il est intéressant de prélever. Alors, les *géologues* dégringolent les pentes, envahissent la carrière, et l'on n'entend plus que le bruit sonore des marteaux. Mais le repos du professeur est de courte durée, car chacun lui apporte sa première découverte, et s'il y a des choses intéressantes, il en est qui le sont infiniment moins ; mais son obligeance est inlassable. M. Stanislas Meunier⁹ sait montrer devant les pires trouvailles une patience admirable, une amabilité exquise et toujours égale qui font que la très respectueuse et très vive sympathie de ses élèves lui est tout assurée. »

Ce texte, extrait d'un ouvrage de Robin (1913), montre que les excursions géologiques organisées par le Muséum d'Histoire Naturelle avaient alors une double fonction. D'une part créer une ambiance, un contexte favorable pour la « leçon » de géologie. La « carrière » est un amphithéâtre dans lequel le « professeur » peut dispenser son savoir. L'environnement naturel est censé avoir des vertus bénéfiques pour l'apprentissage. Il s'agit d'autre part de permettre

⁹ qui dirige, en 1873, les « excursions géologiques » publiques organisées par le Muséum

aux « élèves » de récolter les « trouvailles », les échantillons qui sont soumis à l'interprétation du maître. Cette collecte se réalise avec l'outil emblématique du géologue : le marteau.

Quelles sont, près d'un siècle plus tard, les motivations des enseignants qui conduisent leurs élèves sur le terrain ? quels types d'activités ces élèves sont ils amenés à mettre en œuvre ? Quelle place l'école de terrain occupe-t-elle aujourd'hui dans l'enseignement de cette discipline et comment peut-elle s'articuler avec le travail en classe ? Comment le travail sur le terrain peut-il favoriser les apprentissages ?

L'objet de ce chapitre est de proposer des éléments de réponse à ces différentes questions.

2.2.4.1 La classe de terrain, ancrages historiques

Dans son dictionnaire pédagogique, Buisson (1887) attribue à Rabelais l'idée qu'il est nécessaire de confronter les élèves au réel pour enseigner. C'est ainsi que Ponocrates, le précepteur de Gargantua, promeut une méthode qui le conduit à effectuer des promenades avec son élève aux cours desquelles « passans par quelques prez ou autres lieux herbus, visitoyent les arbres et plantes, et en emportoient leurs pleines mains au logis ». Ce principe a été formalisé par Comenius dans sa *Didactica Magna* : « On doit présenter toute choses autant qu'il peut se faire, aux sens qui leurs correspondent : que l'élève apprenne à connaître les choses visibles par la vue, les sons par l'ouïe, les odeurs par l'odorat, les choses tangibles par le toucher ». Ce principe fondera un mouvement éducatif qui conduisait à rendre l'enseignement concret. C'est l'avènement des sorties botaniques et de la réalisation des herbiers. La France est influencée par les idées cartésiennes qui sans nier l'importance des sens privilégient le raisonnement et il faut attendre Rousseau et la rédaction de *l'Emile* pour que ces idées soient diffusées. Néanmoins, ce n'est que vers 1867 que ces idées seront érigées en principe sous la forme de *leçons de choses*.

Ferdinand Buisson, s'appuyant sur les idées d'un de ses contemporains, le philosophe Bain, propose trois sens principaux qui motivent la confrontation au réel lors de la leçon de choses : l'acquisition d'une idée abstraite, l'éducation des sens et l'acquisition de la connaissance d'objets, de faits, de réalités fournies par la nature. Il cite également un autre des ses contemporains, Georges Pouchet, pour préciser le sens de cette « méthode d'enseignement » : « Le but qu'on doit se proposer par elles, à notre avis, est moins d'instruire l'enfant, d'augmenter ses connaissances, que de lui apprendre à se servir de ses sens, de son intelligence, de son raisonnement ».

Des travaux plus récents reprennent ces idées (Kent, Gilbertson, & Hunt, 1997) et on retrouve dans les instructions officielles des programmes actuels pour l'enseignement secondaire ces principes fondateurs.

2.2.4.2 Les instructions officielles

Les instructions officielles des programmes actuels des collèges et lycées soulignent l'importance du travail sur le terrain. Les termes anciens de *sortie* ou *d'excursion géologique* ont disparus et sont remplacés par ceux « d'école » ou de « classe » de terrain comme pour souligner l'importance de telles activités dans le processus d'apprentissage. Le travail sur le terrain en sciences de la Terre semble ainsi avoir un statut proche de celui du travail de laboratoire dans d'autres disciplines scientifiques. Ainsi, les programmes du cycle central (Bulletin Officiel de l'Education Nationale, 1997) soulignent que « la géologie [est] une science de terrain » et invitent les enseignants à s'appuyer sur « un exemple local à partir d'observations de terrain ». Une « sortie » permettant d'identifier « les éléments d'un paysage local » est ainsi notée comme « activité envisageable ». Au lycée, en classe de première S (Bulletin Officiel de l'Education Nationale, 2002b), la classe de terrain est « partie intégrante du programme de sciences de la vie et de la Terre ». Une semaine doit y être consacrée (« durée indicative »). En classe de terminale scientifique (Bulletin Officiel de l'Education Nationale, 2001), « un déplacement hors du lycée (travail sur le terrain, dans un laboratoire, dans un musée...) pourra être éventuellement organisé ».

Les objectifs affichés dans les programmes relèvent de différents registres. Au collège, il s'agit d'organiser des « activités pratiques », de conduire des « observations » et de collecter des échantillons. Les observations réalisées doivent conduire les élèves à « formuler des problèmes géologiques ». Au lycée, des fonctions analogues sont attribuées à la classe de terrain : « observation », « collecte », « questionnement » et d'une manière plus générale « approche concrète » dans le cadre d'une « démarche scientifique ».

Les documents d'accompagnement (CNDP, 2002) du programme de la classe de première S permettent de préciser les intentions des rédacteurs des programmes. Ce texte indique que la classe de terrain permet « d'ancrer la géologie dans la réalité de son objet ». Elle doit être « démarche scientifique » en ce sens qu'elle permet de mettre en œuvre différents aspects de cette démarche : formulation de problèmes, récolte, traitement, observation, analyse et interprétation de données, confrontation de ces données à un modèle

2.2.4.3 L'école de terrain comme une reconstruction praxéologique

Quelles peuvent être les fonctions de l'école de terrain ? Quels types d'activités peuvent y être conduits ? Nous proposons ici une typologie des objectifs et des activités en prenant appui sur les travaux de Chevallard (1997). Pour Chevallard le savoir est toujours problématique. Il renvoie à des questions qui portent sur le « comment ». Les réponses à ces questions mettent en jeu une *organisation praxéologique* qui comprend quatre niveaux pratiques et théoriques pour un individu dans une situation donnée. Le premier niveau est celui de la *tâche*. Par tâche on entend travail prescrit qui se distingue de l'activité qui décrit le travail effectivement réalisé. Le niveau *technique* englobe les tâches réalisées et correspond à la réalisation de ces tâches. Les tâches et la technique qui les réalisent correspondent à un premier niveau praxéologique qui est un *savoir faire* Chevallard (1997). Le niveau *technologique* permet d'introduire la justification des tâches mises en œuvre, de donner un sens au travail réalisé. Le niveau *théorique* s'appuie sur un corpus de connaissances dont la raison d'être est de justifier à son tour le discours technologique. Le choix d'utiliser les organisations praxéologiques de Chevallard pour décrire le travail effectué sur le terrain avec des élèves nous semble pertinent pour décrire le travail de *transposition didactique* (p. 27) que nous avons effectué. C'est ainsi que nous avons par exemple demandé aux élèves de localiser les limites d'affleurement entre péridotite, gabbro et basalte sur le terrain. Ces tâches relèvent d'une technique largement partagée dans la communauté des géologues de terrain : la cartographie d'affleurement. La mise en œuvre de cette technique était justifiée le niveau technologique de notre ingénierie didactique c'est-à-dire la confrontation du modèle de lithosphère océanique afin de juger de la pertinence de ce modèle pour décrire la zone étudiée (nous renvoyons le lecteur p. 141 pour une analyse plus complète des séances en terme d'organisation praxéologique).

Par transposition didactique on entend les transformations que subissent les savoirs et les pratiques sociales de référence d'une communauté scientifique lorsqu'ils deviennent objets d'enseignement (Chevallard, 1985). Comme Chevallard distingue une praxéologie mathématique d'une praxéologie didactique il convient de distinguer une praxéologie géologique qui modélise le travail du géologue et qui, transposée dans un cadre scolaire, devient une praxéologie didactique. En effet, le travail que l'on peut conduire avec des élèves lors d'une classe de terrain peut, selon notre point de vue, être considéré comme la transposition, dans un cadre scolaire, du travail du géologue. Ce travail comprend un certain nombre de pratiques qui font consensus dans une communauté. Ces *pratiques sociales de référence* ont un sens pour la résolution de certains problèmes. Ce concept, introduit par Martinand (1982), permet de comprendre que le processus de transposition didactique ne peut

pas se limiter pas aux savoirs mais qu'il doit également concerner les pratiques d'une communauté scientifique. Ce concept permet de prendre en compte la question du contexte et donc de penser la transposition en terme de concepts, d'outils et de démarches visant la résolution de problèmes. Par transposition il ne faut pas entendre simple transfert mais une reconstruction qui tient compte du contexte et du niveau des élèves. Il n'est pas question ici de demander à des élèves d'effectuer des tâches et des raisonnements dont la complexité demande un long apprentissage et une grande expérience. Par ailleurs, le travail sur le terrain ne vise pas les mêmes objectifs selon qu'il est conduit par un géologue-chercheur ou un élève-apprenant. Néanmoins, il s'agit pour nous de décrire le travail de l'élève en terme de tâches et techniques au service d'une technologie qui les justifie. Technologie mise elle-même en œuvre dans le cadre d'une théorie géologique. Pour reprendre les termes de Chevallard (1997)

« le bloc technologico-théorique doit apparaître non comme une création opportuniste visant à justifier spécifiquement tel bloc pratico-technique particulier, mais comme possédant au contraire une assez forte générativité, et permettant d'engendrer des techniques, des justifications, des explications, des « connaissances » » relativement à un ensemble vaste et divers de types de tâches. »

C'est bien du sens dont il est question. Les tâches réalisées sur le terrain doivent être au service d'un projet plus ambitieux que la réalisation d'activités pratiques : la mise à l'épreuve d'un référent empirique de connaissances théoriques modélisées.

- **Les niveaux des tâches et des techniques**

Les objectifs de formation technique comprennent en premier lieu l'apprentissage des gestes et des outils du géologue qui sont autant de tâches à maîtriser. En effet, pour exécuter ces tâches correctement il y a une « manière de faire » qui correspond aux techniques du géologue. L'exécution correcte de ces tâches passe donc par l'apprentissage de *savoirs faire*.

Sélectionner, prélever et préparer un échantillon pour l'observer, réaliser une photographie en prenant soin d'y inclure un objet permettant d'en déterminer l'échelle, mesurer un pendage, sont des tâches qui peuvent être organisées lors d'une classe de terrain. La lecture de carte, topographique ou géologique, le repérage à l'aide d'une boussole, peuvent également être mis en œuvre à de telles occasions. L'utilisation du GPS lui-même tend à se généraliser en raison de la baisse des prix de tels outils dont l'achat peut être envisagé par les laboratoires des établissements d'enseignement.

En dehors de ces techniques plus ou moins spécifiques de la géologie, l'apprentissage d'autres techniques peut également être envisagé. C'est le cas par exemple de l'utilisation de l'appareil photographique dont les règles élémentaires d'utilisation peuvent être enseignées.

La transposition de ces tâches dans un cadre scolaire, leur mise en œuvre par des novices, suppose que des choix soient effectués. Ces choix portent sur la nature et le nombre de tâches qui seront effectivement mises en œuvre. Ils portent également sur les sites qui sont sélectionnés en fonction de leur intérêt didactique, c'est-à-dire leur capacité à faciliter la mise en œuvre de telles tâches. C'est donc un réel aménagé qui est proposé à l'investigation des élèves.

- **Le niveau technologique**

Du point de vue du niveau technologique, deux aspects peuvent être distingués. En premier lieu, il s'agit de l'apprentissage de la conduite d'une démarche d'investigation scientifique qui justifie les techniques qui sont mises en œuvre. Le travail pratique de terrain est ainsi au service d'un protocole d'observation qui vise au prélèvement électif de données. Par exemple, des mesures de pendage de terrains plissés n'ont de sens que dans le cadre d'un travail d'identification de l'orientation de l'axe du pli afin de déterminer l'orientation des contraintes qui sont à l'origine de ce pli. C'est le niveau technologique qui donne du sens aux activités mises en œuvre. Les activités pratiques sont au service d'un projet plus ambitieux qui consiste dans la caractérisation d'objets et de phénomènes géologiques. Ce sont ces activités pratiques qui permettent de percevoir ces objets et phénomènes.

En second lieu, le niveau technologique comprend également l'accès aux implications épistémologiques de la discipline. La mise en œuvre d'une investigation scientifique sur le terrain permet d'accéder à la complexité des objets et à percevoir le caractère construit, plutôt que donné, du *registre empirique* sur lequel se fonde l'argumentation scientifique. Il y a là l'occasion d'une prise de recul par rapport aux méthodologies mises en œuvre. Le doute, l'incertitude que génère la complexité des objets étudiés semblent de nature à susciter le questionnement sur les méthodologies de la discipline. Les interprétations peuvent parfois être multiples, l'histoire géologique reconstruite n'est pas la seule histoire possible mais la meilleure histoire possible.

Une prise de conscience du niveau technologique doit permettre d'aider à réfléchir sur les techniques mises en œuvre. La nécessaire prudence dans le recueil de données, la rigueur des mesures effectuées, en sont deux exemples parmi d'autres.

- **Le niveau théorique**

La conceptualisation qui est visée pour l'enseignement des sciences de la Terre dans l'enseignement secondaire implique que les élèves aient également accès au niveau théorique. Le niveau théorique justifie les technologies qui ont été déployées. La démarche qui a été mise en œuvre vise à éprouver un certain nombre d'hypothèses qui sont autant de concepts

qui devront être maîtrisés. Ce qui est visé c'est l'apprentissage de notions théoriques contextualisées. C'est, comme nous l'avons développé plus haut, la mise en relation d'un *registre empirique* et d'un *registre théorique* par un travail de mise à l'épreuve d'un modèle sur le terrain.

L'articulation entre les niveaux technologique et théorique ne va pas de soi. Il passe par la problématisation du modèle (C. Orange, 2000). C'est-à-dire, en particulier, par l'identification de ses contraintes et nécessités qu'il doit remplir.

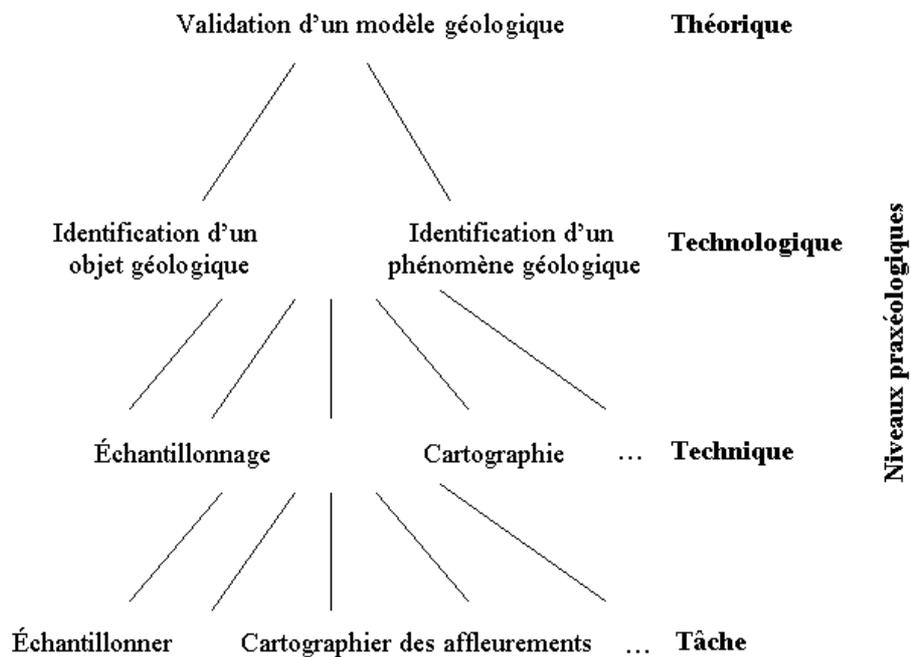


Figure 3 : La classe de terrain, différents niveaux praxéologiques

Considérer l'école de terrain comme une reconstruction praxéologique oblige à s'interroger sur le travail qui est conduit dans ce type de cadre scolaire. Cela nous amène à distinguer différents niveaux praxéologiques pour décrire le travail effectué par des élèves (fig. 3). C'est cette organisation en niveaux emboîtés qui doit donner du sens au travail réalisé pour les élèves : des tâches justifiées par des techniques au service d'un travail d'investigation scientifique lui-même justifié par le projet d'éprouver la validité d'un modèle.

Il nous semble que l'enseignement traditionnel, en particulier lors des classes de terrain, ne prend pas assez garde à l'articulation de ces différents niveaux. Il en résulte, pour l'élève, une perte de sens des tâches effectuées.

2.2.4.4 État des lieux : que font les élèves/les enseignants sur le terrain ?

Si de nombreux travaux se sont attachés à faire le point sur les apports du travail de laboratoire sur les apprentissages (voir en particulier pour une synthèse Committee on High School Science Laboratories, 2006), la littérature apporte peu d'informations sur les pratiques des enseignants qui organisent des classes de terrain. Une thèse (Lacoste, 2001) soutient l'idée que la majorité des enseignants ont compris les enjeux et les intérêts du travail de terrain mais qu'ils éprouvent des difficultés à mettre en pratique leurs intentions. Une enquête que nous avons conduite (Sanchez, Prieur, & Fontanieu, 2005) tend à souligner un certain nombre de paradoxes. En organisant une classe de terrain, les enseignants que nous avons pu interroger disent viser des objectifs éducatifs généraux de l'ordre de la motivation des élèves et l'amélioration des relations dans le groupe mais ne semblent pas véritablement organiser des activités de groupe sur le terrain. Ils visent également des objectifs de formation technique mais ces activités semblent peu répandues à l'exception du dessin d'observation et de l'échantillonnage. Les objectifs technologiques, c'est-à-dire conduire une démarche d'investigation scientifique, sont plébiscités mais les conditions de préparation des élèves et les activités conduites ne paraissent pas de nature à les placer en situation de résolution de problème. Ce sont enfin des objectifs de formation théorique qui sont visés avec l'acquisition de connaissances. Mais les enseignants semblent avoir du mal à articuler ces connaissances avec le travail en classe. Peu préparée, relativement peu exploitée, la classe de terrain apparaît comme une parenthèse dans la vie de la classe. Parenthèse vécue comme un moment privilégié au cours duquel la confrontation à la réalité des objets géologiques étudiés va en faciliter la compréhension. L'enseignement des sciences de la Terre dans l'enseignement secondaire français a un atout majeur, celui d'avoir inscrit la classe de terrain dans le marbre des programmes officiels. Néanmoins, au vu des résultats de cette enquête, il nous semble qu'il y a un risque majeur ; celui que le terrain ne soit non pas un champ d'investigation sur lequel viendrait s'exercer l'imagination et la créativité des élèves, mais un cadre qui met dans l'ambiance pour tenter de diffuser des connaissances sur un mode transmissif sans véritable ancrage sur le réel.

Pour le Committee on High School Science Laboratories (2006), le travail de terrain est un dispositif d'enseignement qu'il convient de classer dans la catégorie des activités de laboratoire (*labwork activities*) car les travaux qui sont conduits par les élèves engagés dans une école de terrain sont de même nature, pour l'apprentissage, que ceux réalisés au cours des travaux pratiques en classe. Tout deux constituent des occasions d'organiser des activités de type investigation scientifique. Néanmoins, conduire ses élèves sur le terrain ou organiser une

séance de travaux pratiques ne conduit pas nécessairement à ce que les élèves s'engagent dans ce travail d'investigation. C'est le problème qui leur est confié, les tâches qui sont prescrites qui déterminent l'engagement des élèves dans ce type d'activité.

3 Instrumentation d'un travail d'investigation scientifique avec Géonote

L'écriture du cahier des charges de l'application Géonote (Lefèvre & Sanchez, 2006) a été nourrie du travail épistémologique et didactique que nous avons conduit. Les fonctionnalités qui ont été implémentées ont été sélectionnées de manière à pouvoir instrumenter un travail d'investigation scientifique dans le cadre de la préparation et de l'exploitation d'une classe de terrain pour l'enseignement des sciences de la Terre. Dans ce chapitre, nous proposons, plutôt qu'une simple description du cahier des charges de l'application, une analyse didactique de l'outil. Cette analyse tient donc compte de l'artefact lui-même mais également du contexte prévu pour son utilisation. Nous avons donc choisi de présenter l'application du point de vue de son usage par l'élève. C'est ainsi que nous avons distingué d'une part les fonctionnalités de l'application qui instrumentent un travail sur le *registre empirique* et, d'autre part, les fonctionnalités qui instrumentent la confrontation de ce *registre empirique* à un modèle scientifique.

3.1 Constitution d'un *registre empirique* avec Géonote

3.1.1 Afficher un secteur géographique

L'ouverture d'une session conduit à saisir un identifiant qui est utilisé pour créer un fichier permettant d'enregistrer un historique du travail réalisé, s'affiche alors un panneau qui permet à l'élève d'accéder à un choix de *secteurs géographiques* (fig. 4).

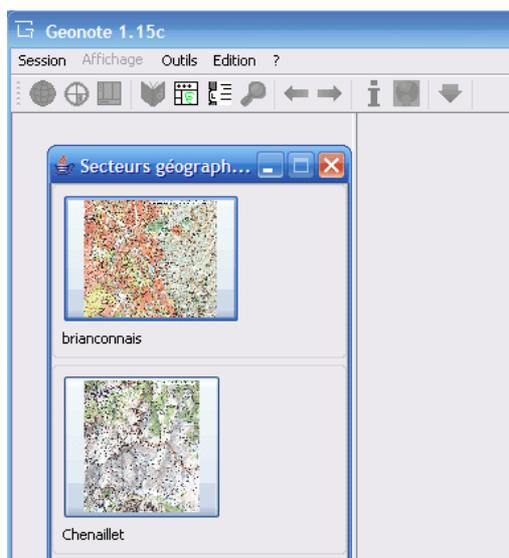


Figure 4 : Panneau permettant le choix d'un secteur géographique lors de la création d'une session

Ce choix s'effectue en cliquant sur des vignettes qui sont des images réduites des cartes des *secteurs géographiques* disponibles. Il entraîne l'affichage de la carte correspondante dans la *fenêtre de visualisation des données*. Les autres fenêtres visibles lors de l'ouverture d'une session sont la *fenêtre d'historique* et la *fenêtre du carnet* (fig. 5). Ces différentes fenêtres peuvent être masquées.

Chaque secteur géographique disponible correspond à un ensemble d'informations (cartes diverses, photographies, commentaires...) sur un ou des sites sélectionnés pour leur intérêt pédagogique. A titre d'exemple, le secteur du Chenaillet (département des Alpes du Sud) permet d'accéder à des informations sur la structure d'une lithosphère océanique fossile et donc de travailler la question de l'accrétion océanique.

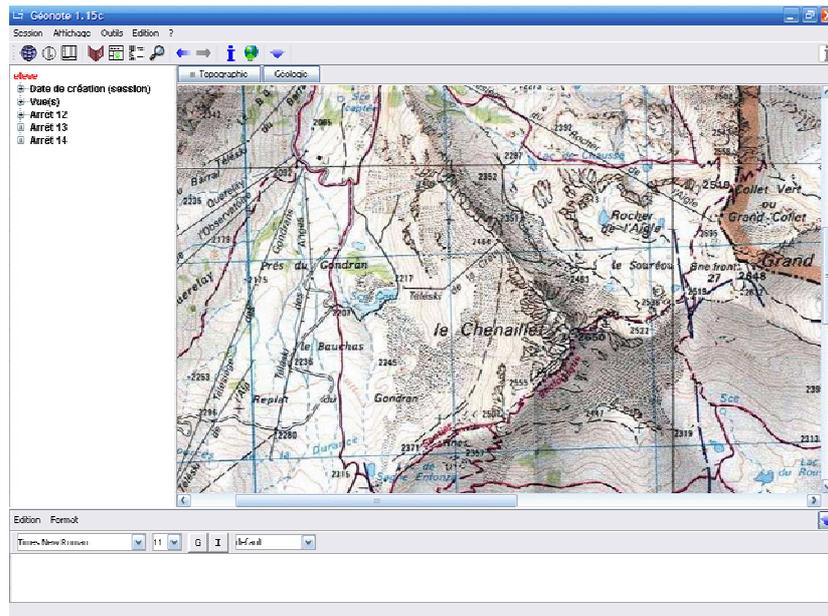


Figure 5 : Les différentes fenêtres de l'application lors de son ouverture

3.1.2 S'appropriier l'espace et s'y orienter

3.1.2.1 Zoomer et se déplacer

Les détails des images affichées dans la *fenêtre de visualisation des données*, c'est-à-dire les cartes et, comme on le verra plus loin, les photographies d'objets géologiques géoréférencés sur cette carte, peuvent être agrandis à l'aide d'une fonction zoom dont les réglages sont accessibles par la molette de la souris. Il est possible également de modifier la partie de l'image visible dans cette fenêtre par des déplacements effectués à l'aide de la souris. Cette fonction est accessible en maintenant le clic droit de la souris appuyé et en déplaçant le pointeur de la souris sur l'image.

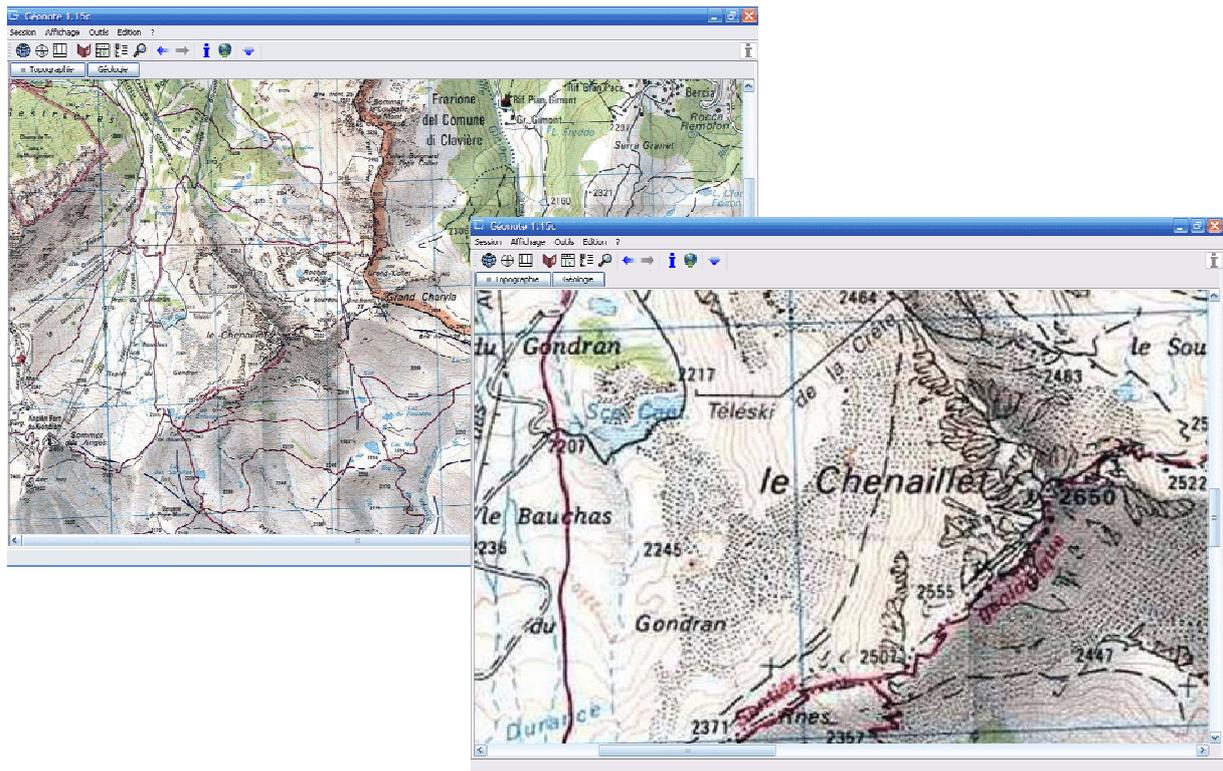


Figure 6 : Utilisation des fonctions *zoom* et *déplacement* sur la fenêtre de visualisation

La combinaison des fonctions *zoom* et *déplacement* permet d'une part de consulter les informations fournies par la carte ou la photographie à différentes échelles et, d'autre part, d'afficher une zone sélectionnée.

La fonction *zoom* permet donc de travailler à différentes échelles tout en obtenant à l'affichage une continuité entre les différentes échelles d'affichage des informations. L'effet escompté est une aide pour que l'élève arrive à se situer dans les différents niveaux d'étude disponibles. La fonction *zoom* permet également de travailler sur une zone sélectionnée et donc de n'afficher que les informations utiles pour réaliser une tâche donnée.

3.1.2.2 Mesurer des distances

L'appréciation de l'échelle d'une carte, de la taille d'un objet s'effectue en utilisant la fonction *réglet*. Cette fonction peut être utilisée pour toutes les images, cartes ou photographies, affichées dans la fenêtre de visualisation en maintenant le clic gauche de la souris appuyé et en déplaçant le pointeur entre les deux points dont on veut mesurer la distance. Si l'image a été calibrée lors de son édition, la fonction *réglet* permet d'effectuer des mesures entre deux points. La valeur de la mesure effectuée s'affiche dans le coin inférieur droit de la fenêtre de l'application (fig. 7).

Dans le cas d'une mesure effectuée sur une carte c'est une distance à vol d'oiseau qui est indiquée.

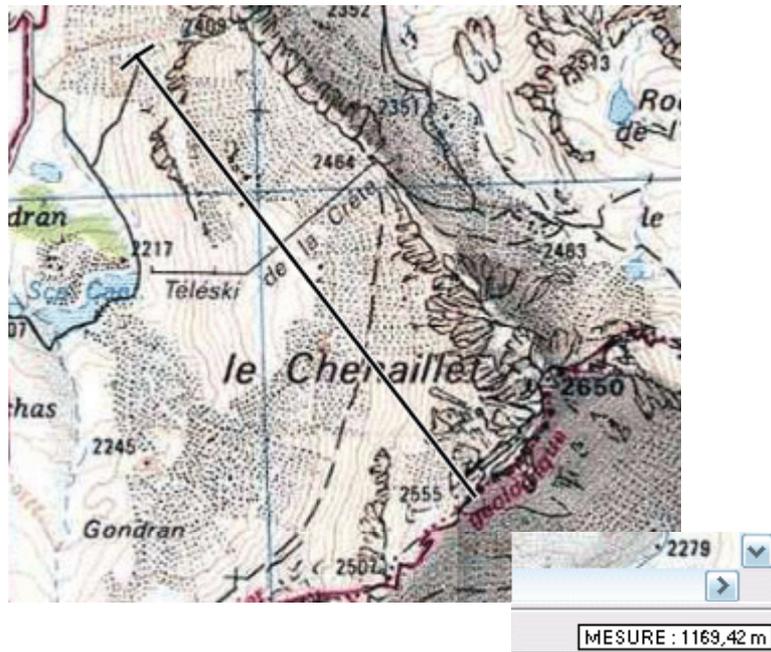


Figure 7 : Utilisation du réglet pour effectuer une mesure sur la carte

Le *réglet* permet donc à tout moment d'effectuer des mesures sur la carte ou l'image qui sont consultées. Cet outil est destiné à aider à l'appréciation de l'échelle à laquelle l'information est obtenue et donc, comme pour la fonction *zoom*, à se situer dans les différents niveaux d'étude disponibles.

3.1.2.3 Se constituer sa propre carte par superposition de différentes couches de données

Pour certains secteurs géographiques les informations disponibles peuvent être distribuées dans différentes couches d'information (topographie, géologie, image aérienne...). Des boutons permettent l'affichage successif de ces différentes couches d'information. Un clic sur l'icône de documentation permet d'afficher un panneau donnant accès aux différentes légendes utiles pour interpréter une couche donnée. L'affichage de la légende s'effectue dans la fenêtre de documentation. Il est possible de fusionner différentes couches d'information en jouant sur leur transparence. Cette fonction est accessible en maintenant le bouton droit de la souris enfoncé et en jouant sur la roulette.

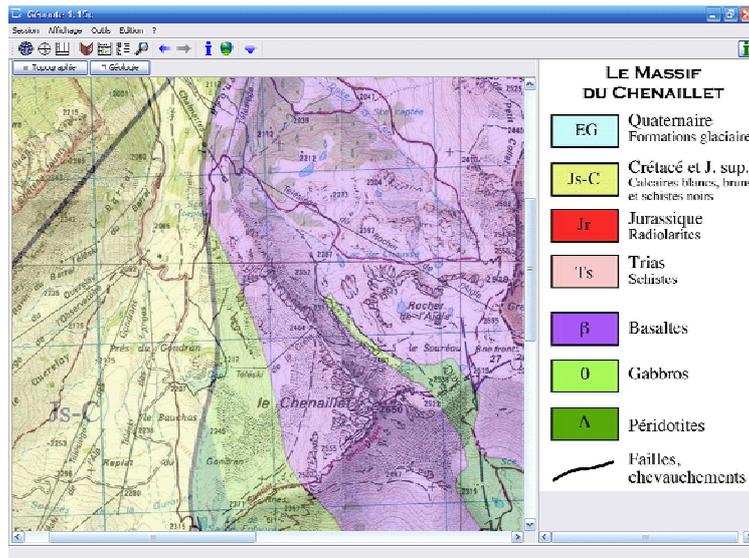


Figure 8 : Superposition des cartes topographique et géologique et affichage de la légende

La figure 8 montre une copie d'écran de Géonote obtenue en fusionnant les images représentant les cartes topographique et géologique et en affichant la légende de la carte géologique. Cette image peut être utilisée pour extraire des informations telles que la localisation géographique des différents types de roches disponibles. Pour un usage de ce type, la carte géologique ainsi réalisée relève plutôt du *registre empirique* que du modèle interprétatif du secteur géographique étudié.

3.1.2.4 Afficher les coordonnées géographiques de la carte

La fonction *coordonnées géographiques* permet d'afficher, au niveau du pointeur de la souris, la latitude et la longitude du point que ce pointeur indique sur la carte (fig. 9).

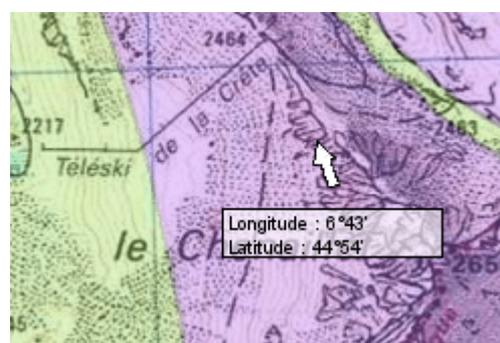


Figure 9 : Affichage des coordonnées géographiques

Le faible niveau de précision de cette fonction – les secondes ne sont pas indiquées – est un choix délibéré. En mode édition, lorsque l'élève est conduit à géoréférencer des images sur la

carte cette fonction peut être utilisée pour déterminer approximativement la zone concernée par le géoréférencement. La précision de ce géoréférencement dépendra de la lecture des informations de la carte : topographie, altitude, nature de l’affleurement voire présence d’un sentier ou d’un autre élément remarquable. Ainsi, l’affichage des coordonnées permet de localiser rapidement un secteur donné mais un géoréférencement précis implique d’utiliser correctement les informations apportées par la carte topographique.

3.1.3 Consulter des informations géoréférencées

3.1.3.1 Arrêts et données géoréférencées

Un *secteur géographique* comprend des *arrêts* qui constituent autant de sites, matérialisés par des croix, pour lesquels des informations géoréférencées sont disponibles. Un clic droit sur un de ces arrêt ouvre un menu qui permet d’accéder à ces *données géoréférencées*. L’ouverture d’une information se traduit par l’affichage d’une image dans la fenêtre de visualisation. Nous avons donc choisi d’organiser les ressources géologiques en les géolocalisant sur une carte et en permettant donc à l’utilisateur de se faire une idée de la répartition géographique de ces informations.

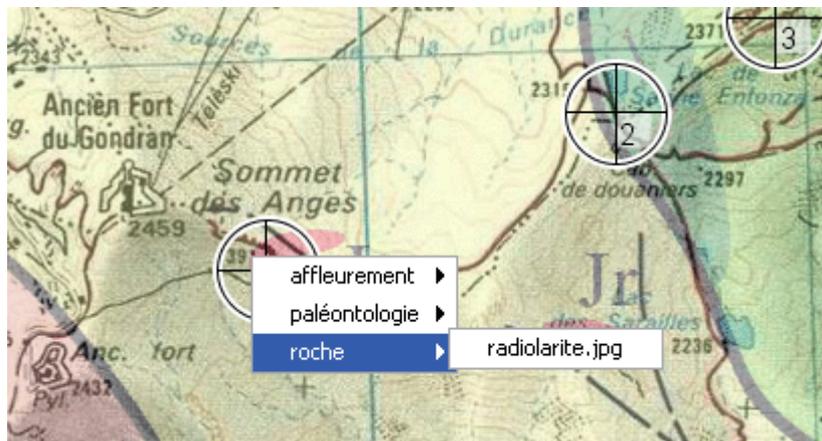


Figure 10 : Affichage du menu au niveau d’un arrêt

Le géoréférencement des informations sur la carte et leur accessibilité *via* un menu vise à aider l’élève à localiser les différents types d’objets géologiques étudiés. Nous escomptons que ce mode de représentation de l’information l’aidera à de construire une bonne représentation de l’organisation de l’espace du site qu’il est conduit à étudier.

3.1.3.2 Informations sur les données géoréférencées

Par *donnée géoréférencée* nous entendons une photographie et des informations textuelles décrivant cette photographie. Lorsqu'une photographie est affichée dans la fenêtre de visualisation les informations textuelles qui la concernent peuvent être consultées en cliquant sur l'*icône d'information*. Cette action a pour effet d'ouvrir une fenêtre indiquant le titre de la *donnée*, sa source (c'est à dire son auteur) et un texte la décrivant.

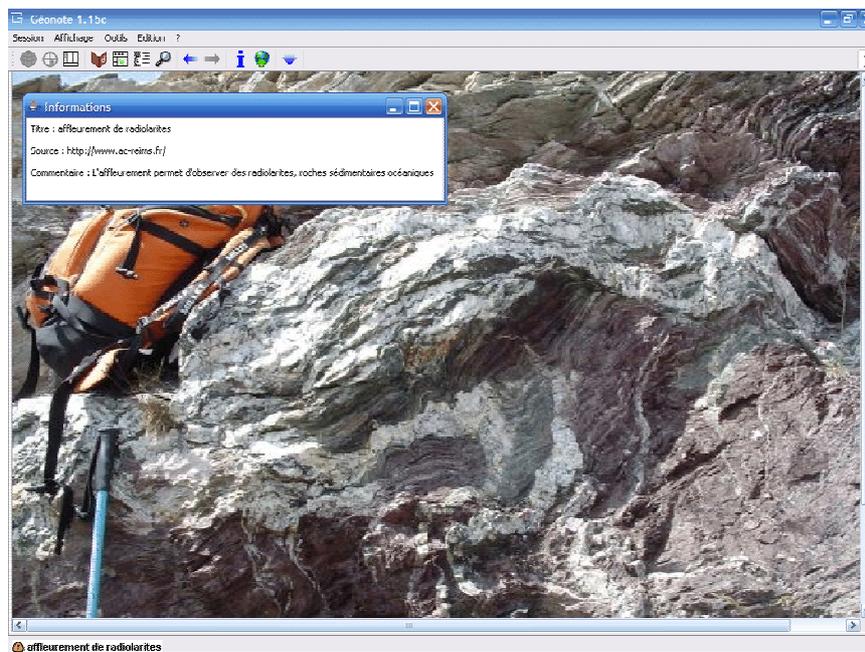


Figure 11 : Affichage d'une donnée et du commentaire associé

Les données disponibles au niveau des différents *arrêts* sont répertoriées dans le menu en fonction de l'échelle à laquelle elles sont photographiées. Nous avons ainsi distingué différents niveaux d'étude : paysage, affleurement, roche et minéral et nous avons demandé aux élèves d'adopter cette terminologie pour les *données* qu'ils ont eu à créer.

3.1.3.3 Sélectionner les données effectivement disponibles

Cette fonction, accessible par le menu *paramètres* protégé par mot de passe permet à l'enseignant de sélectionner les données effectivement disponibles pour ses élèves. Deux possibilités s'offrent à lui. Soit ces *données* sont affichées ou masquées en fonction du niveau d'utilisation prévu lors de leur édition : collège, lycée ou enseignement supérieur, soit ces *données* sont affichées ou masquées en fonction d'un tri effectué par l'enseignant. Cette fonction permet d'afficher les informations en fonction du contexte : niveau des élèves, thème d'étude ou organisation du travail dans la classe en cas de partage de la classe en groupes d'élèves auxquels sont affectées des tâches différentes.

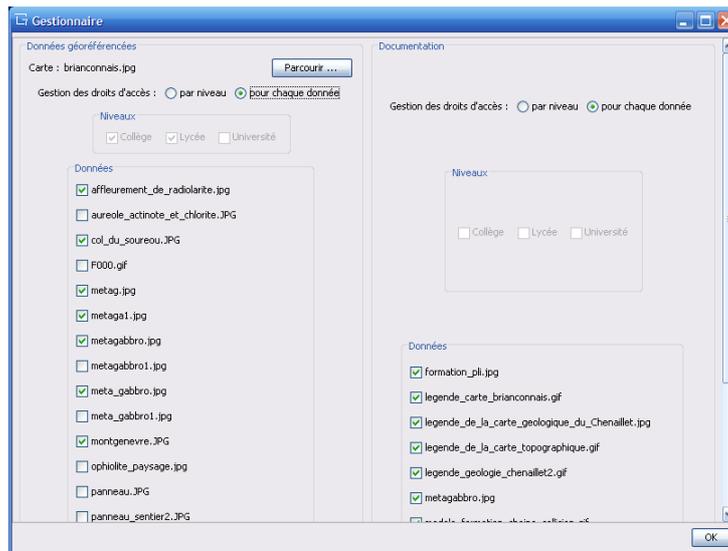


Figure 12 : Fenêtre du gestionnaire permettant de sélectionner les données disponibles

Ce paramétrage peut être utilisé de différentes manières. Il peut s'agir, pour l'enseignant, d'adapter à un niveau de classe, le jeu de données disponibles sur un secteur géographique. Il peut également s'agir de conduire deux groupes d'élèves sur des jeux de données différents pour les amener ensuite à confronter les informations qu'ils ont pu en extraire.

3.1.4 Naviguer dans l'application et accéder à des ressources

3.1.4.1 Naviguer à l'aide des boutons de navigation et de l'historique

Deux types de navigations sont possibles pour consulter les *données géoréférencées* sur un secteur géographique. La première consiste à accéder à ces *données* via les arrêts matérialisés sur la carte d'un secteur géographique. La seconde consiste, si ces *données* ont déjà été consultées durant la session en cours, à employer l'historique de cette consultation, soit en utilisant la chronologie de cette consultation et en cliquant sur les icônes de navigation, soit en utilisant la fenêtre de l'historique de cette consultation. Les *icônes de navigation* permettent un retour vers le début ou vers la fin de cette chronologie. La fenêtre de l'historique affiche des liens cliquables vers les données consultées.

3.1.4.2 Afficher des données de la fenêtre de documentation

Outre des *données géoréférencées*, Géonote permet d'afficher d'autres ressources que nous appelons *données non géoréférencées*. Ces ressources peuvent être, comme nous l'avons vu plus haut, la légende des cartes mais également tout autres types d'images apportant des informations : schémas décrivant un modèle géologique, graphes... Ces images s'affichent

dans la *fenêtre de documentation*. Comme pour les *données géoréférencées*, leur affichage peut être contrôlé en utilisant le zoom ou le déplacement.

Comme nous l'avons indiqué plus haut, la fenêtre de documentation permet d'afficher n'importe quelle image en regard d'une carte ou d'une photographie d'objet géologique. Cet affichage peut donc permettre de confronter une donnée brute de type photographie avec un schéma interprétatif de cette *donnée*.

3.1.4.3 Rechercher une donnée dans la base

Lors de l'édition des *données* l'utilisateur peut saisir des mots clés qui permettent leur indexation. Géonote possède une *fonction recherche* qui permet de saisir un mot clé et d'effectuer une recherche sur l'ensemble des *données* disponibles dans Géonote. Cette fonction renvoie un résultat sous la forme d'un panneau présentant des images miniatures des différentes *données*.

3.1.4.4 Utiliser l'aide et le lexique

Géonote possède également un lexique des termes géologiques utilisés dans l'enseignement secondaire. Elle possède également un module d'aide qui indique les différentes fonctions de l'application.

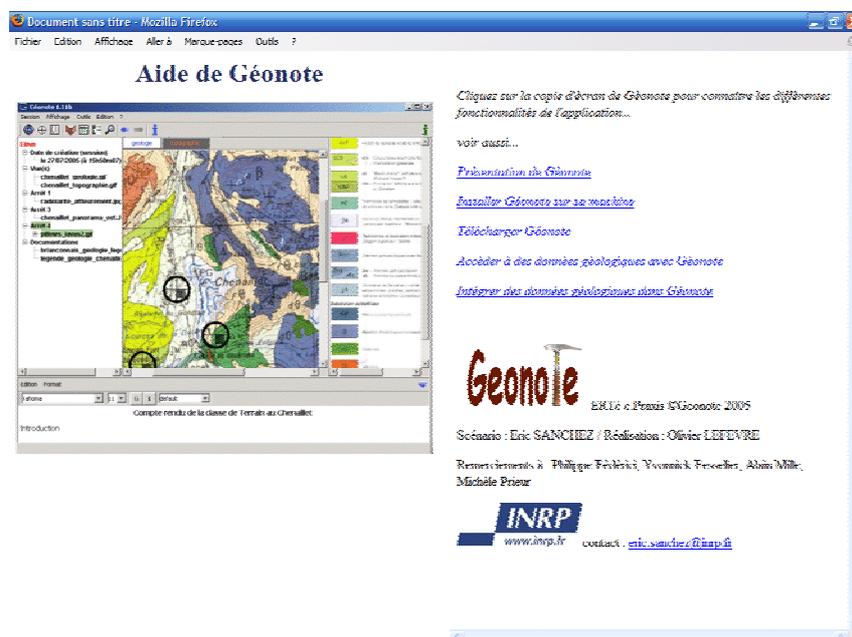


Figure 13 : Copie d'écran de l'aide de Géonote

3.1.5 Prise en compte de difficultés en relation avec l'appréhension de l'espace dans l'application Géonote

Nous avons récapitulé, dans le tableau suivant, les différentes difficultés que les travaux de didactique antérieurs ont pu permettre d'identifier du point de vue de l'appréhension de l'espace. Nous avons indiqué, en regard de chacune de ces difficultés, comment les fonctionnalités de Géonote tentent de les prendre en compte c'est-à-dire les différentes activités possibles qui, mises en œuvre par les élèves, peuvent conduire à surmonter ces activités.

	Fonctionnalités de Géonote	Exemples d'utilisation
Lors d'un travail d'investigation en géologie il est nécessaire de prendre en compte différents niveaux d'étude.	Zoom Classement des données géoréférencées dans les menus des différents arrêts	Zoom sur une carte géologique pour passer d'une analyse régionale à une analyse locale Consultation des différents types de données disponibles pour un arrêt donné (paysage, affleurement, roche, minéral)
Les changements d'échelles sont sources de confusion, il est difficile de se situer dans les différents niveaux étudiés	Continuité du zoom Réglet	Zoom progressif sur une photographie de paysage pour en analyser les différents détails Mesure sur une carte pour évaluer une distance à parcourir
Il est important de prendre en compte la localisation géographique des différents objets géologiques et leurs relations spatiales.	Géoréférencement des images au niveau des arrêts sur la carte Affichage des coordonnées géographiques	Comparaison de la nature des roches entre deux arrêts Repérage du secteur où se localise un point dont les coordonnées géographiques sont connues.

Tableau 1 : Fonctionnalités de Géonote et prise en compte de difficultés d'ordre spatial

3.1.6 Accéder à des informations de nature temporelle

Le *Calendrier Géologique* est un module de *Géonote*. Cette application permet de visualiser des jeux de données datées (paléobiosphères, paléogéographies,

paléoenvironnements, paléoclimats...) représentant autant d'événements géologiques. Ces informations sont affichées sous forme d'images.

3.1.6.1 Accéder à différentes représentations du temps

Des informations de différentes natures permettent à l'élève de dater un événement sélectionné. Le compteur (1) indique son âge absolu en million d'années. Ce compteur peut être incrémenté avec trois molettes (2) dont les pas sont différents (100 Ma, 1 Ma et 10 000 ans pour chaque tour effectué). La fenêtre (3) permet de le situer sur l'échelle stratigraphique en lui attribuant ainsi un âge relatif par rapport aux différentes périodes géologiques. La fenêtre (4) indique la couleur utilisée pour représenter la période considérée sur la carte géologique de la France au 1/1000000. La fenêtre (5) indique l'âge relatif de l'événement étudié en rapportant cette fois l'histoire de la Terre à une année ce qui permet de mieux apprécier les échelles de temps impliquées (par exemple apparition récente et évolution brève de notre espèce au regard de l'histoire de notre planète).

L'événement sélectionné est également situé dans le temps. Il est représenté d'une part à l'aide d'un curseur rouge sur une échelle stratigraphique simplifiée qui n'indique que le découpage des temps géologiques en ères (6) et d'autre part à l'aide d'une boule rouge sur une spirale (7) qui affiche des événements majeurs de l'histoire de la Terre (boules bleues). Cette spirale permet de visualiser une chronologie simplifiée de l'histoire de notre planète. Lorsque la période sélectionnée correspond à un événement présent sur la spirale, cet événement s'affiche dans la fenêtre (8) ou dans la fenêtre (9) si le pointeur de la souris passe sur la boule bleue qui le représente. Cette spirale a un pas logarithmique. Une même durée est représentée par un segment de la spirale de plus en plus court lorsqu'on s'éloigne de la période actuelle.

Les informations (paléogéographie, paléobiosphère...) correspondant à un événement géologique daté sont affichées dans les fenêtres images (10) Un clic sur les boutons (11) permet d'accéder à des informations complémentaires. Le bouton (12) permet une remise à zéro du compteur.

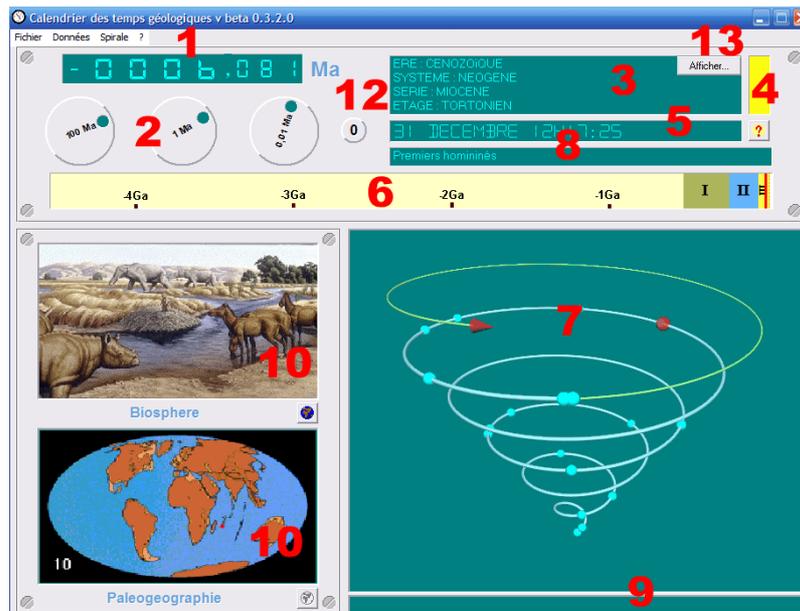


Figure 14 : Copie d'écran du module Calendrier Géologique

L'élève peut également accéder à une période géologique donnée en affichant l'échelle stratigraphique. Un clic droit sur un étage permet d'incrémenter le compteur et d'afficher les données relatives à la période sélectionnée.



Figure 15 : Fenêtre d'affichage de l'échelle stratigraphique

3.1.6.2 Construire sa propre frise chronologique

Un mode édition est également accessible à l'élève. Il lui permet d'éditer les événements géologiques présents sur la spirale et donc de se construire sa propre frise

chronologique pour le thème qu'il étudie. Ce mode est accessible à partir du *menu spirale*. Après avoir sélectionné une date il suffit de saisir le texte qui correspond à un événement donné.

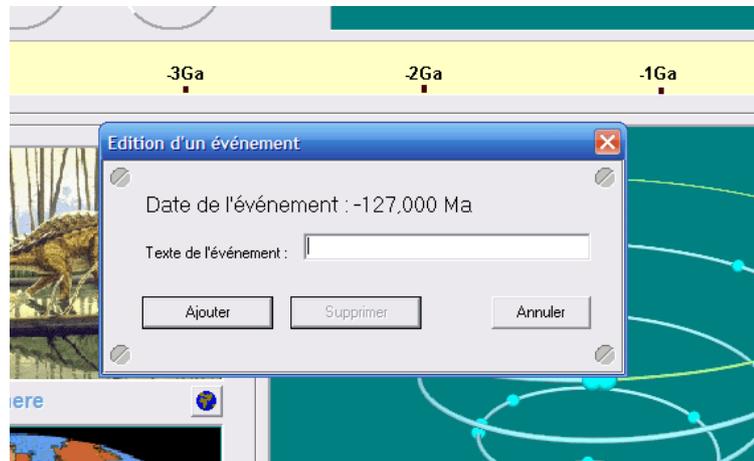


Figure 16 : Boite de dialogue d'édition d'un événement géologique sur la spirale

3.1.6.3 Prise en compte de difficultés didactiques relatives au temps dans le module Calendrier Géologique

Comme pour les relations à l'espace, nous avons récapitulé, dans le tableau suivant, les différentes difficultés didactiques que nous avons pu relever dans les travaux de didactiques du point de vue de l'appréhension du temps. Nous avons indiqué, en regard de chacune d'entre elles, comment les fonctionnalités de Géonote et l'affichage des informations permettent d'élaborer des activités visant à les surmonter.

Fonctionnalités de Géonote

<p>Temps et vitesse</p> <p>Notre perception du temps masque les phénomènes dynamiques se déroulant sur des temps longs</p>	<p>Affichage des différentes données en fonction de la période sélectionnée</p>
<p>Temps sagittal</p> <p>Le temps est irréversible, il existe un temps passé, un temps futur qui ne sont pas directement accessibles.</p>	<p>Incrémentation d'un compteur affichant un âge absolu</p> <p>Fonctions vidéos des molettes (avance, retour arrière) permettant d'explorer différentes périodes géologiques</p> <p>Déplacement d'un curseur devant une barre représentant l'échelle stratigraphique</p> <p>Déplacement d'un repère sur une spirale représentant la durée de l'histoire de la Terre</p>
<p>Temps profond</p> <p>Les échelles de temps impliquées sont difficilement accessibles à notre perception directe</p>	<p>Choix du pas de la molette à utiliser pour explorer une période donnée et nombre de tours à effectuer pour changer de période</p> <p>Affichage d'un âge à l'aide d'un calendrier en ramenant l'histoire de la Terre à l'échelle de l'année</p>
<p>Raisonnement diachronique</p> <p>Situer les événements dans le temps les uns par rapport aux autres (chronologie relative)</p>	<p>Disposition des événements géologiques majeurs sur une spirale temporelle et déplacement d'un index permettant de se situer par rapport à ces événements</p> <p>Affichage de l'échelle stratigraphique</p>
<p>Relations temps/espace</p> <p>Situer dans le temps des objets géologiques</p>	<p>Affichage de la couleur utilisée pour représenter une période géologique donnée sur la carte géologique de la France</p>

Tableau 2 : Fonctionnalités du module Calendrier Géologique de Géonote et prise en compte de difficultés d'ordre temporel

3.2 Activités instrumentées et confrontation des données à un modèle scientifique

L'application Géonote a été conçue de telle manière que son usage permette d'instrumenter la confrontation d'un modèle et d'un *registre empirique* dans le cadre de l'enseignement des sciences de la Terre. Nous décrivons ici les fonctionnalités développées à cet effet.

3.2.1 Annoter des données sur l'historique

Comme nous l'avons indiqué plus haut, au fur et à mesure de la consultation des *données* disponibles dans l'application, la *fenêtre d'historique* se complète. Cela se traduit par l'ajout d'items qui sont classés en fonction des arrêts de la carte sur lesquels ils ont été consultés. Un clic sur chacun de ces items permet d'afficher la donnée en question dans la fenêtre de visualisation. Ces items peuvent également être annotés. Un clic droit permet d'accéder à un champ de saisi. L'annotation qui a été ajoutée peut ensuite être consultée à partir de la *fenêtre d'historique*.

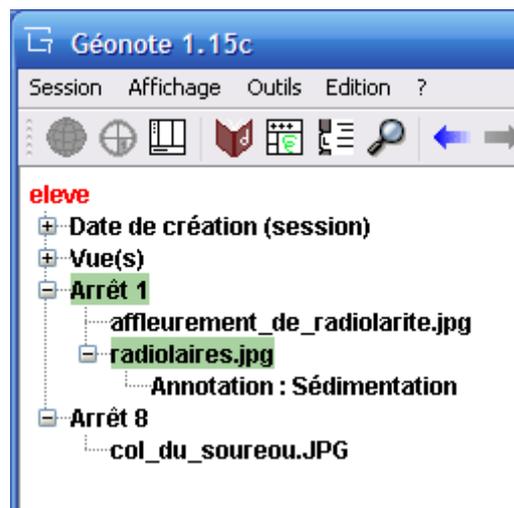


Figure 17 : Annotation de l'historique

Au cours des expérimentations que nous avons conduites, nous avons demandé aux élèves d'utiliser cette fonction de Géonote pour annoter les différentes *données* qu'ils avaient éditées avec l'application. Ces différents mots clés devaient être choisis parmi les termes utilisés pour nommer les différentes phases de la formation d'une chaîne de collision. Il s'agissait de conduire les élèves à mettre en relation les éléments du *registre empirique* qu'ils avaient été

conduits à recueillir sur le terrain avec le modèle de chaîne de collision qui leur avait été proposé.

3.2.2 Éditer de nouvelles informations

3.2.2.1 Créer un secteur géographique

La création d'un secteur géographique consiste dans l'intégration à Géonote d'une image de carte à laquelle peuvent s'ajouter différents types de *vues* qui sont autant de couches d'information qui pourront ensuite être fusionnées. Les différentes vues d'un même secteur géographique doivent couvrir le même territoire, être à la même échelle et avoir été réalisées avec le même mode de projection.

Le menu édition étant activé, il suffit de sélectionner le *menu nouveau secteur géographique* – ou *nouvelle vue* – et de sélectionner, avec l'explorateur de fichiers, l'image à éditer. Une *fenêtre de paramètres* permet de sélectionner certaines options telles que la couleur des croix qui matérialisent les arrêts sur la carte (fig. 18).

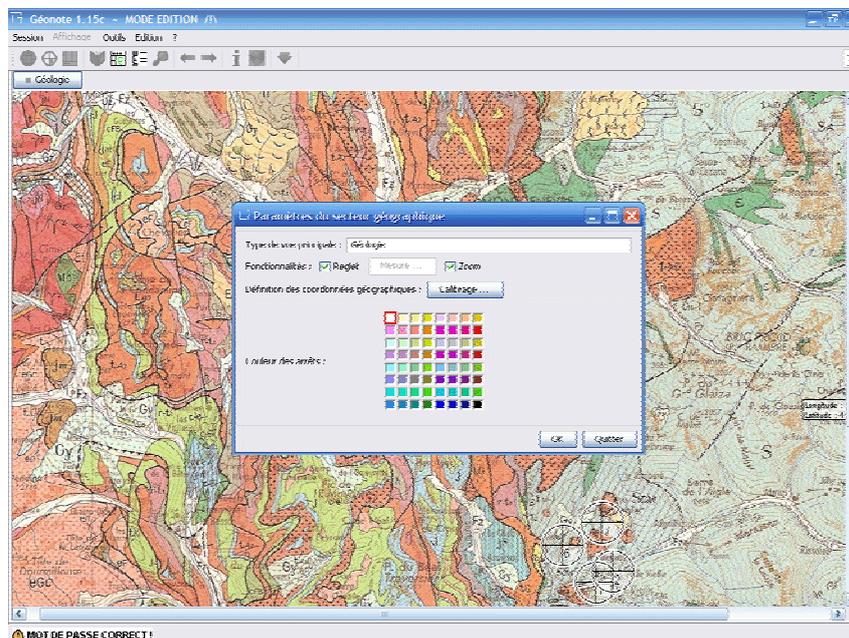


Figure 18 : Édition d'un nouveau secteur géographique

Cette fenêtre permet également de calibrer l'échelle de la carte et de la géoréférencer. Ce géoréférencement se réalise en cliquant successivement sur deux points de la carte et en entrant leurs latitudes et longitudes (fig. 19). Le calibrage de l'échelle s'effectue en

sélectionnant une distance connue sur la carte et en introduisant sa valeur dans une boîte d'édition conçue à cet effet.



Figure 19 : Fenêtre d'édition des coordonnées géographiques

Au cours des expérimentations qui ont été conduites nous n'avons pas demandé aux élèves de créer de nouveaux secteurs géographiques.

3.2.2.2 Créer une donnée

Le mode édition de Géonote permet d'éditer de nouvelles *données* géologiques. Par donnée nous entendons une image et les commentaires et paramétrages qui lui sont associés.

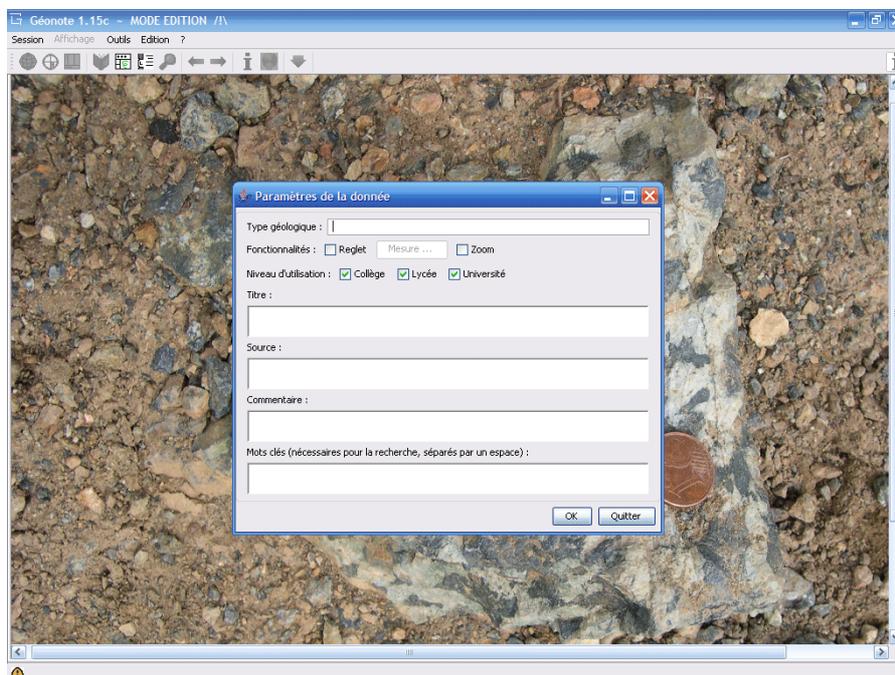


Figure 20 : Fenêtre d'édition d'une nouvelle donnée

D'un point de vue technique une donnée comprend une image au format jpeg ou gif et un fichier de paramétrage au format xml. Le menu édition étant activé, il faut sélectionner le

menu *nouvelle donnée* et utiliser l'explorateur de fichiers pour sélectionner une image. La *fenêtre des paramètres* de l'image (fig. 20) permet ensuite de saisir un certain nombre d'informations sur cette image :

- le champ *type géologique* est destiné à saisir les informations relatives à l'échelle d'observation employée : paysage, affleurement, roche, minéral...
- le *titre* de la donnée ;
- la *source* c'est-à-dire l'auteur de la photographie ;
- le champ *commentaire* a été utilisé par les élèves au cours des expérimentations pour saisir une description de l'image et indiquer en quoi elle est en lien avec le modèle scientifique ;
- des *mots clés* qui sont utilisés pour la recherche indexée.

Outre les champs de saisie la fenêtre permet d'activer l'utilisation du zoom et du réglage sur l'image. Pour ce dernier un calibrage est nécessaire. L'utilisateur doit sélectionner un objet de longueur connue sur l'image et saisir la valeur de cet objet dans une fenêtre dédiée (fig. 21).



Figure 21 : Fenêtre de calibrage du réglet

3.2.3 Géoréférencer une donnée

Une *donnée* créée est alors disponible. Elle peut ainsi être affichée dans la fenêtre de documentation de l'application mais cette *donnée* peut également être géoréférencée.

Le géoréférencement s'effectue alors que le mode édition est activé. La sélection du menu *modification d'un secteur géographique* permet d'afficher le secteur géographique sur lequel la donnée doit être géoréférencée. Un premier clic sur ce secteur permet de créer un nouvel arrêt. Un clic sur un arrêt ouvre l'explorateur de fichier ce qui permet de sélectionner la *donnée* à géoréférencer. Cette action a pour effet de créer - ou compléter - le menu qui permet, à partir d'un clic sur l'arrêt, d'afficher cette *donnée*. Le menu est complété avec l'item qui a été édité dans le champ *type géologique* de la *fenêtre de paramètres de la donnée*.

En offrant la possibilité à un élève de créer des *données* pour Géonote, de les géoréférencer sur un secteur géographique, nous avons souhaité instrumenter le passage du réel à sa modélisation. Nous avons également souhaité structurer la phase de la démarche d'investigation qui consiste dans la confrontation des images prises sur le terrain (comme témoin du *registre empirique*) avec le modèle scientifique. C'est cette volonté qui a guidé la conception de la fenêtre de paramètres. Les champs que l'élève doit remplir lors de l'édition d'une nouvelle donnée, les paramètres qu'il doit déclarer, sont conçus de manière à ce que ce dernier s'interroge sur :

- l'échelle d'étude à laquelle il travaille. C'est ainsi qu'il est conduit à expliciter cette échelle d'étude en complétant le champ type géologique et en calibrant le régleur sur l'image ;
- les relations spatiales entre l'objet géologique représenté par l'image et les autres informations géologiques *via* le géoréférencement de la donnée sur un secteur géographique ;
- les relations entre la *donnée* et le modèle scientifique en jeu. C'est le sens que nous donnons aux champs *commentaire* et *mots clés*.

Pour autant, cet aspect didactique n'est pas inscrit « en dur » dans le logiciel mais dépend de la manière dont ce dernier est utilisé. Outre le champ *type géologique*, tous les champs de la fenêtre de paramètres d'une *donnée* sont facultatifs. L'enseignant dispose donc d'une certaine latitude pour choisir les tâches qu'il prescrit à ses élèves et la manière dont l'application est utilisée. Cette liberté laissée à l'enseignant nous a paru indispensable pour assurer l'utilisabilité et donc l'acceptabilité de l'application au sens de Tricot et *al.* (2003).

4 Questions, hypothèses et méthodologie de la recherche

4.1 Problématique

4.1.1 Rendre au modèle son statut d'outil pour l'investigation scientifique et identifier les apprentissages effectués

Le terme *investigation* renvoie à la notion de recherche approfondie dans des domaines divers. Une recherche peut avoir pour objectif de comprendre et décrire des faits, un événement ou un phénomène ; d'analyser une situation ou de résoudre un problème. Elle peut également conduire à un questionnement sur le « comment ». On parle ainsi « d'investigation criminelle » ou de « journalisme d'investigation ». Une investigation scientifique est donc une activité de recherche d'explications, d'identification d'invariants, qui met en œuvre des méthodes et des outils de la science. On trouve dans les programmes de l'enseignement primaire (Bulletin Officiel de l'Education Nationale, 2002a) l'emploi des termes *démarche d'investigation* pour qualifier la démarche à suivre avec les élèves dans l'enseignement des sciences expérimentales. Cette démarche recouvre de « l'expérimentation directe », des « réalisations matérielles », des « observations directes ou assistées par un *instrument* », la « recherche sur document » et les « enquêtes et visites ». Cette démarche s'articule avec « un questionnement sur le monde ». Le texte officiel (Bulletin Officiel de l'Education Nationale, 2000) qui définit le Plan de Rénovation de l'Enseignement des Sciences et de la Technologie à l'Ecole (PRESTE) avait auparavant défini la démarche à employer à l'école comme « fondée sur le questionnement et sur l'investigation, constitutifs des disciplines scientifiques ». Au collège, l'introduction générale des programmes de sciences de la vie et de la Terre (Bulletin Officiel de l'Education Nationale, 2004)¹⁰ définit ainsi la démarche d'investigation :

« Elle constitue l'unité de l'enseignement des SVT. Il s'agit d'expliquer le réel :

- à partir de l'observation de phénomènes perceptibles à différents niveaux d'organisation ;
- à partir de manipulations, d'expérimentations ou de modélisations permettant d'éprouver des hypothèses explicatives.

La connaissance est alors construite et non appliquée. A tout moment de la démarche, l'élève doit percevoir ce qui fonde sa recherche et le sens de ce qu'il est en train de faire. L'organisation d'activités de recherche et de manipulation, finalisées par une production identifiée des élèves, favorise la concrétisation de cette démarche. »

Nous proposons, pour notre part, de qualifier de démarche d'investigation en sciences de la Terre toute démarche qui conduit des élèves à s'investir dans la résolution d'un problème géologique et dont la résolution implique de mettre en œuvre les concepts et les outils du géologue. Ainsi, de notre point de vue, une démarche d'investigation en géologie peut comprendre, selon le problème à résoudre, des phases de recueil de données, d'expérimentation, de modélisation, de simulation, de communication. Elle consiste dans la confrontation d'un modèle explicite avec un *registre empirique* constitué lors d'activités de laboratoire ou de terrain. Une démarche d'investigation implique d'une part une confrontation à la complexité du réel et d'autre part des choix en terme de stratégie à mettre en œuvre. Nous proposons donc de réserver ce terme pour les démarches de résolutions de problèmes ouverts - les élèves ne disposent ni de la méthode à employer ni de la solution *a priori* - pour lesquels l'élève dispose d'une certaine autonomie c'est-à-dire de liberté de choix par rapport aux stratégies qu'il adopte.

Les conditions pour que les élèves s'engagent dans un travail d'investigation scientifique de manière autonome nous paraissent relever de différents aspects. Il s'agit en premier lieu de modifier le statut du modèle scientifique dans la classe. Classiquement, dans l'enseignement des sciences de la Terre, le modèle scientifique en jeu est implicite et re-construit au travers des activités mises en œuvre par les élèves. Le modèle apparaît donc, dans l'enseignement secondaire, plutôt comme un niveau de connaissance à atteindre que comme un outil d'investigation scientifique, (Sanchez & Prieur, 2007). Nous proposons d'étudier une situation dans laquelle ce modèle est d'emblée présenté aux élèves comme un outil pour penser, comme une construction intellectuelle qui constitue une réponse provisoire et partielle à un problème scientifique, réponse qu'il faudra confronter aux réalités du terrain ou aux résultats expérimentaux. Nous proposons donc que le scénario mis en œuvre dans la classe consiste à articuler un certain nombre d'activités centrées sur l'utilisation d'un ou plusieurs modèles scientifiques. Ces activités peuvent conduire les élèves à modifier le modèle initial ou à choisir, parmi, plusieurs modèles, celui qui décrit le mieux la situation étudiée. Nos propositions portent également sur la nature des activités qui permettent à des élèves de mettre en relation leurs connaissances théoriques (leur registre explicatif) avec un *registre empirique* construit dans le cadre d'une école de terrain. C'est, de notre point de vue, la manipulation de ce modèle outil, dans le cadre de tâches effectuées par les élèves, qui leur permettra cette mise en relation. Il s'agit de mettre en avant les fonctions du modèle comme outil pour interpréter et expliquer. Le statut explicite du modèle doit également permettre de donner du sens aux tâches qui sont réalisées. Pour reprendre les termes de Chevallard (1997)

c'est le niveau technologique – qui selon nous est représenté par la conduite d'une investigation scientifique centrée sur l'utilisation d'un modèle – qui doit donner du sens aux tâches prescrites par l'enseignant. L'explicitation du modèle scientifique doit permettre à l'élève de mesurer le pourquoi du travail qu'il conduit et le comment des tâches à effectuer pour le réaliser.

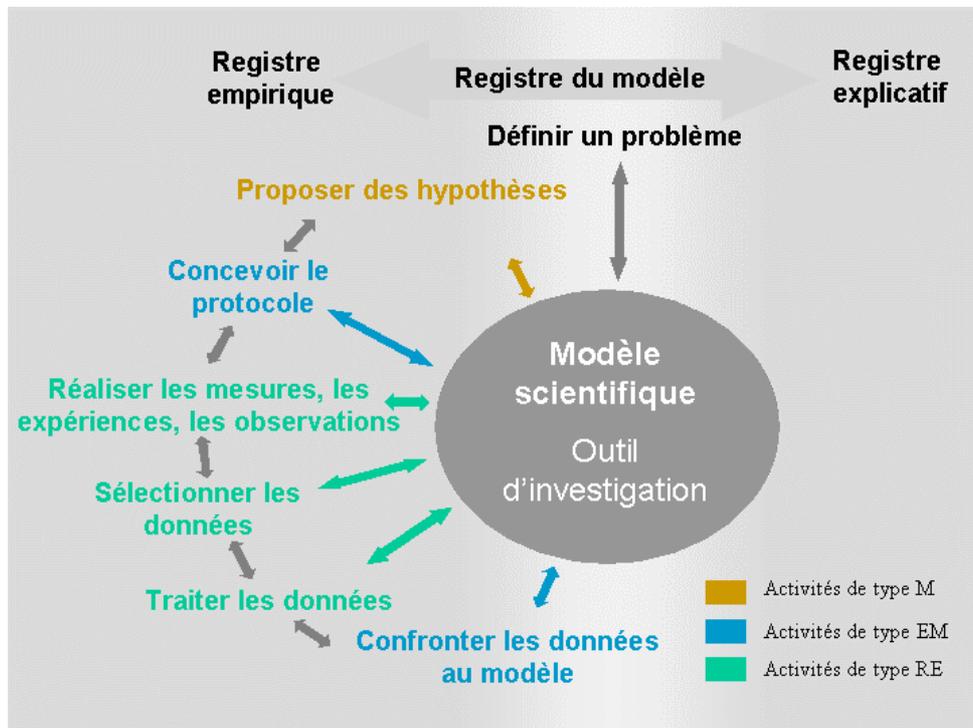


Figure 22 : Démarche d'investigation en sciences de la Terre

La figure 22 schématise notre point de vue sur les tâches réalisées par les élèves dans la conduite d'une investigation scientifique et la place que tient le modèle scientifique dans cette démarche. Ces tâches sont représentées à gauche sur le schéma car elles portent principalement sur le *registre empirique* ou sa mise en relation avec le modèle. Le modèle scientifique constitue un pont permettant de relier un *registre empirique* construit lors d'activités de terrain et un registre explicatif, également en construction, qui comprend les références théoriques explicatives que l'élève est capable de mobiliser. Le modèle scientifique prend son sens dans le cadre d'un problème donné. Il constitue en effet une réponse globale qui comprend différentes hypothèses de portée plus locale. Un changement de problème implique un changement de modèle et donc de données. Nous proposons que le modèle scientifique soit considéré comme un point d'appui, un pivot sur lequel vont s'articuler différentes tâches de l'investigation scientifique. Néanmoins, ce point d'appui n'est pas fixe.

Le travail d'investigation mené peut conduire à le réviser voire à l'abandonner pour un autre modèle permettant une meilleure prise en compte de la situation.

Nous distinguons ainsi différents types de tâches. Les tâches centrées sur le modèle (notées M) portent sur son appropriation par l'élève. Elles le conduisent à extraire du modèle les différentes hypothèses qui constituent autant de réponses au problème scientifique à résoudre. Elles le conduisent à travailler sur les caractéristiques et propriétés de ce modèle et donc sur les aspects théoriques des connaissances en jeu. Nous avons également distingué les tâches plus particulièrement centrées sur la maîtrise du *registre empirique* (notées RE). Ce sont des tâches qui participent à la constitution d'un *registre empirique* par un travail de collecte et de traitement de données. L'élève peut réaliser ces tâches sans faire référence explicitement à un modèle scientifique en jeu mais c'est néanmoins ce modèle qui, en amont, détermine les tâches qui sont réalisées. Les tâches qui consistent spécifiquement à articuler registre du modèle et *registre empirique* pour éprouver la validité d'un modèle sont notées EM. Ce sont de notre point de vue des tâches importantes dans la mesure où, pour les élèves, elles donnent du sens à la théorie et justifient la pratique, elle permette la rencontre des idées et des faits. Ces tâches sont réalisées à deux moments du travail d'investigation : lors de l'élaboration du protocole et lors de la confrontation des données au modèle.

Les tâches centrées sur le modèle (M) s'effectuent à l'aide d'une représentation du modèle : texte, schéma, animation, maquette ou modèle informatique. Cette représentation a pu être élaborée partiellement par l'élève ou être totalement fournie par l'enseignant. Elle constitue un support à la réflexion qui permet à l'élève d'explorer les caractéristiques de ce modèle et d'en évaluer la cohérence interne. Cela peut se traduire par l'identification des différents éléments constitutifs du modèle (ses caractéristiques), des relations hiérarchiques ou causales qui lient ces éléments et éventuellement les conséquences du fonctionnement de ce modèle (ses propriétés). Dans ce cadre, des activités de simulation peuvent conduire les élèves à identifier les conséquences de modifications de paramètres du modèle et donc les conduire à explorer le modèle afin de s'approprier ses caractéristiques et propriétés.

Les tâches qui relèvent d'un travail sur le *registre empirique* et qui ont pour objectif une maîtrise de ce registre sont de différentes natures. La réalisation de mesures ou d'observations et la sélection des données constituent un prélèvement sélectif de données sur le réel. Les différents traitements qui peuvent leur être appliqués – schéma, légende, calculs, réalisation de graphes – permettent leur appropriation, leur décodage et leur interprétation. Ces tâches concourent à la constitution d'un *registre empirique*. Ce n'est plus un réel flou et insaisissable qui est soumis à investigation mais un réel caractérisé et sélectionné dans le cadre d'un

questionnement scientifique. Le modèle joue évidemment un grand rôle dans ce travail empirique. C'est lui qui permet de déterminer la pertinence d'une observation, la nature des traitements à effectuer pour faire émerger le sens. Néanmoins, le travail est largement déterminé par les protocoles qui auront été élaborés et, si le modèle reste un élément fondamental dans la conduite des tâches empiriques, il est fort probable que ces tâches s'effectuent selon des procédures qui ont été déterminées en amont, qui demandent une grande attention aux techniques mises en œuvre et qui font passer ce modèle au second plan. Nous avons donc représenté ces tâches en situation éloignée du modèle sur la figure.

Les tâches qui conduisent spécifiquement à confronter registres empirique et théoriques (EM) apparaissent à deux moments que nous considérons donc comme des moments clefs du travail d'investigation scientifique. Cette confrontation a lieu tout d'abord au moment de la conception du protocole d'observation ou d'expérience. Il s'agit ici, pour les élèves, de s'appuyer, pour reprendre les termes de Canguilhem (1968), sur le caractère « prophétique » du modèle c'est-à-dire les prévisions qu'il permet d'établir. Ce travail relève de l'identification des implications du modèle, des hypothèses opérationnelles (ou conséquences vérifiables) qui sont constitutives du modèle et qui permettent de faire des prévisions en termes d'observables de terrain ou de laboratoire. En soi, ce travail est déjà une manière de se constituer un *registre empirique*, non pas complètement déterminé mais hypothétique et qui devra être confronté au réel. C'est dans cette tâche d'identification des implications du modèle que se constitue la fonction de cadre d'analyse des données que joue le modèle. Déterminer les implications d'un modèle c'est donc chausser les « lunettes conceptuelles » qui rendront possibles des tâches qui relèvent de la constitution du *registre empirique*. Ces hypothèses opérationnelles doivent en effet être évaluées au regard des faits de laboratoire ou de terrain. Il s'agit donc d'élaborer un protocole d'observation ou d'expérimentation, autrement dit de déterminer les procédures plus ou moins complexes dont les effets, les résultats obtenus, permettront d'évaluer la pertinence des hypothèses extraites du modèle. Il y a donc bien, dans cette étape, un moment important qui conduit à une première confrontation du modèle à une réalité à investiguer. Cette confrontation est pour l'essentiel de l'ordre de la prévision – l'élève est conduit à prévoir le résultat qu'il obtiendra si l'hypothèse retenue est vraie – et il s'agit de mettre en place un raisonnement conditionnel de type « si... alors... ».

Un second moment que nous considérons comme important est celui qui consiste à confronter les résultats des expérimentations ou des observations au modèle scientifique en jeu. Il se joue alors une dialectique entre le modèle et les résultats empiriques obtenus. Les caractéristiques et propriétés du modèle (*registre du modèle*) sont confrontées aux données de laboratoire et de

terrain (*registre empirique*) et ce sont les relations de correspondance entre ces deux registres qui sont argumentées. Le modèle peut alors être instancié avec les paramètres du réel. De modèle-générique il peut devenir modèle-exemple et se concrétiser grâce à cette instanciation. Cette concrétisation ne se fait pas sans altération. Les résultats souvent résistent et il faut bien se résoudre à procéder à des modifications pour que la rencontre se fasse. L'identification des contraintes que le modèle doit respecter pour remplir les contraintes du *registre empirique* (C. Orange, 1995) peut conduire à modifier le modèle initial ou à l'enrichir. C'est par ailleurs l'usage qui a été fait du modèle qui a pu permettre d'identifier les conditions à remplir pour que son application soit pertinente. C'est donc son domaine de validité qui est alors défini et précisé.

Notre hypothèse n'est pas que les différentes tâches que nous identifions ici s'effectuent à des moments clairement distincts lors de la conduite d'une démarche d'investigation. Il nous paraît, par exemple, tout à fait concevable qu'un élève engagé dans un travail empirique soit conduit à identifier ou clarifier les implications du modèle en jeu ou qu'un élève qui sélectionne des données soit amené à réviser la manière dont il conçoit le protocole qu'il réalise. La démarche d'investigation scientifique n'est donc pas linéaire. Il y a en permanence des allers et retours qui passent par l'utilisation d'un modèle scientifique qui constitue un point d'appui aux tâches réalisées. Nous faisons l'hypothèse que l'explicitation du modèle permet à chaque tâche réalisée de prendre du sens par rapport à cette démarche et permet que l'élève soit amené à comprendre les objectifs de son travail par rapport à l'investigation qu'il met en œuvre. Par ailleurs, ces activités doivent le conduire à ancrer ses connaissances théoriques sur des données empiriques c'est-à-dire formuler des énoncés scientifiques, des énoncés argumentés, discutés et étayés par des données d'observation ou d'expérimentation.

L'enjeu de ces propositions réside dans trois remarques que nous développerons plus loin :

- il y a, du point de vue de leur formation scientifique, une grande importance à ce que le processus de construction des connaissances scientifiques soit vécu par les élèves comme une démarche fondée sur l'argumentation et le rapport au réel. La science n'est pas la seule manière de comprendre le monde mais c'est une démarche qui permet d'échapper au piège du dogmatisme ;
- il y a également un enjeu majeur à ce que les connaissances scientifiques apparaissent comme une manière opérante de comprendre le monde bien qu'une manière imparfaite et provisoire. Il s'agit ici d'échapper au piège du relativisme ;
- l'enjeu de la conduite d'une démarche d'investigation réside également dans le sens des tâches qui sont confiées à l'élève. L'explicitation du modèle permet de justifier l'ensemble de

ces tâches qui peuvent être perçues comme au service d'un projet global. L'évaluation de la pertinence d'un modèle pour comprendre un contexte géologique. De ce point de vue, notre démarche s'oppose à une démarche inductive pour laquelle le modèle est construit pas à pas au fur et à mesure de la découverte progressive de ses différents éléments à partir de l'interprétation de données de terrain ou de résultats expérimentaux. Elle se distingue également à une démarche qui conduit l'élève, à partir de l'exploration d'un modèle (par exemple simulé informatiquement), à en inférer les caractéristiques et propriétés.

Le formalisme avec lequel nous décrivons un travail d'investigation scientifique dans l'enseignement des sciences de la Terre nous conduit donc à proposer que les modèles scientifiques en jeu dans l'enseignement de cette discipline aient un statut qui leur permette de jouer le rôle d'outil d'investigation. Nous faisons l'hypothèse que donner ce statut au modèle dans les activités conduites avec les élèves leur permettra de conduire un travail d'investigation scientifique de manière autonome.

4.1.2 Instrumenter, à l'aide d'un EIAH, la conduite d'un travail d'investigation scientifique

4.1.2.1 Instrumenter les tâches de constitution d'un *registre empirique*

Parmi les travaux qui portent sur l'enseignement des sciences de la Terre nous avons retenu ceux qui soulignent les difficultés qu'ont les élèves à « lire » les objets géologiques. Ces difficultés doivent être mise en relation avec les problèmes que rencontrent les élèves pour articuler références empiriques et énoncés théoriques (C. Orange et *al.*, 1999). Les caractéristiques intrinsèques de la discipline sont probablement, pour partie, à mettre en cause. En effet, les objets géologiques sont difficiles à « lire » en raison de leur complexité elle-même liée aux rapports qu'ils entretiennent avec le temps et l'espace. Ces difficultés sont particulièrement saillantes dans le cas du travail sur le terrain qui, bien que s'effectuant sur un réel aménagé – les enseignants sélectionnent, pour leur intérêt didactique, les sites sur lesquels ils conduisent leurs élèves – présente néanmoins une certaine résistance et se révèle difficile à déchiffrer. C'est, nous semble-t-il, le caractère général des rapports complexes que les objets géologiques entretiennent avec le temps et l'espace ainsi que la complexité de la réalité du terrain elle-même, qui fondent les difficultés rencontrées dans cette lecture. Le terrain du géologue est en effet le produit d'une histoire très longue au cours de laquelle des phénomènes géologiques variés ont été à l'œuvre. Certaines de ces traces ont été

irréremédiablement effacées. D'autres, plus ou moins brouillées par cette histoire, doivent être déchiffrées.

Le progrès scientifique est aussi un progrès de l'instrumentation scientifique. Les technologies permettent de réaliser des outils de visualisation dont l'emploi conduit le chercheur à se construire une représentation nouvelle des objets qu'il étudie. Transposée dans le domaine scolaire, ces technologies sont à l'origine d'une offre importante de logiciels pour la classe (voir par exemple Bakas & Mikropoulos, 2003). Dans le domaine des usages grand public, des logiciels et des sites de visualisation et de traitement de l'information géographique semblent rencontrer un vif succès auprès du grand public. On peut ici citer les plus connus comme Google Earth, Geoportail ou Worldwind mais il faut également mentionner d'autres utilitaires tels que les logiciels dédiés à la saisie de traces GPS. Des initiatives, souvent prises au niveau académique, parfois au niveau national, tentent de se saisir de ces technologies et d'explorer des pistes pour leurs usages dans un cadre scolaire. Nous n'avons pas une vision très précise des usages réels dans les classes mais il semble bien que des enseignants, de plus en plus nombreux, adoptent ces technologies pour leur enseignement (Sanchez, Genevois et *al.*, 2007). Elles paraissent en effet offrir un certain nombre de fonctionnalités – décrites dans l'analyse de l'environnement qui a été développé - de nature à aider à la localisation spatiale. Nous faisons l'hypothèse que certaines de ces fonctionnalités peuvent être utilisées pour instrumenter, dans le contexte d'une classe de terrain, un travail de localisation dans l'espace. Nous faisons également l'hypothèse que ces technologies pourront instrumenter des tâches d'exploration spatiale et temporelle des objets géologiques dans le cadre d'un travail d'investigation scientifique. Notre cadre constructiviste nous conduit à souligner, après Piaget, que connaître c'est effectuer des transformations sur le réel. Nous formulons l'hypothèse que les technologies de l'information et de la communication peuvent instrumenter ces transformations, qu'il est possible de proposer à l'élève, des tâches qu'il peut réaliser avec un ordinateur et que ces tâches peuvent l'aider à se construire un *registre empirique*.

Notre point de vue appelle deux remarques :

- notre hypothèse s'oppose à l'idée que pour donner à comprendre il suffit de donner à bien voir, que les outils numériques de visualisation spatiale permettent d'accéder à des informations qui intrinsèquement font sens. L'interprétation de n'importe quelle image suppose d'en connaître les codes ce qui ne va pas de soi en particulier lorsqu'il s'agit d'images complexes telles que des cartes géographiques ou géologiques.

L'instrumentation des activités de constitution de *registre empirique* avec ordinateur que nous proposons vise à dépasser la simple visualisation de données avec ordinateur.

- notre hypothèse prend en compte qu'éviter à un élève de se confronter à une difficulté c'est aussi lui ôter l'opportunité de la surmonter et donc d'apprendre quelque chose. Par exemple, demander à un élève d'utiliser la visualisation 3D du relief plutôt que l'identification de ce relief à partir des informations 2D données par la carte topographique peut être un choix mais ce choix conduit nécessairement à empêcher le développement des aptitudes de reconstitution tridimensionnelle à partir d'informations bidimensionnelles. Il ne s'agit donc pas de faciliter le travail de l'élève de manière à ce qu'il ne rencontre plus aucune difficulté dans son activité mais plutôt d'identifier et sélectionner des difficultés auxquelles il devra se confronter.

C'est donc, selon nous, les tâches de transformation réalisées avec ordinateur qui pourront conduire l'élève à se construire un *registre empirique*.

4.1.2.2 Instrumenter la confrontation du modèle scientifique au *registre empirique*

Pour Vygotski (1934), les *instruments* sont des médiateurs entre les objets et les concepts. Rabardel (1995) précise que cette fonction de médiateur est liée au fait que les artefacts ont une grande influence sur les activités cognitives. Les technologies peuvent donc permettre de proposer à l'élève des tâches qui vont imposer des contraintes à son activité cognitive. Nous proposons que la conception de l'EIAH prenne en compte cette dimension et permette à l'élève de réaliser des tâches qui le conduisent à confronter *registre empirique* et modèle scientifique. Il s'agit donc, par l'intermédiaire des technologies employées, de structurer les tâches effectuées par l'élève afin qu'elles induisent des *interactions épistémiques*. Ces tâches auront une dimension épistémique si elles le conduisent à expliciter et argumenter les relations entre le modèle scientifique et le *registre empirique*.

La conception de l'EIAH doit donc prendre en compte le fait que les tâches qu'il permet de réaliser doivent se traduire par une mise en relation structurée d'éléments constitutifs du *registre empirique* et de caractéristiques du modèle scientifique. Cette conception doit également tenir compte de deux types de contraintes. En premier lieu, la complexité du logiciel doit être compatible avec son usage dans un contexte éducatif. C'est-à-dire que son appropriation doit être aisée et rapide. Le temps consacré à l'apprentissage des fonctionnalités de l'EIAH est en effet pris au détriment du temps consacré au travail de la discipline. Les aspects techniques ne doivent pas trop empiéter sur les aspects disciplinaires pour que cet environnement soit accepté par les enseignants. En second lieu, les tâches que

l'environnement permet de réaliser doivent avoir du sens par rapport à la discipline. Elles doivent pouvoir être considérées comme légitimes vis à vis des démarches du géologue.

4.1.3 Bilan : Problématique et hypothèses de recherche

Notre problématique porte sur les relations entre une situation d'apprentissage de type démarche d'investigation lors de la conduite d'une école de terrain et les apprentissages des élèves en sciences de la Terre. Cette problématique nous conduit à examiner différentes questions et hypothèse de recherche :

- notre première question de recherche porte sur la place que peuvent tenir les modèles scientifiques dans la conduite d'une démarche d'investigation scientifique pour l'enseignement des sciences de la Terre. Nous faisons l'hypothèse que cette démarche comprend différentes tâches qui sont rendues possibles et prennent du sens pour l'élève si le modèle scientifique en jeu dans l'enseignement est explicite et présenté de manière à jouer le rôle d'outil d'investigation qu'il joue pour le chercheur. C'est ce modèle qui va permettre à l'élève d'établir des relations entre un *registre empirique* et un registre explicatif. C'est également ce modèle qui va permettre de lever les implicites de la démarche conduite et amener l'élève à identifier le pourquoi et le comment des tâches qu'il doit réaliser ;
- notre seconde question de recherche porte sur la place que peuvent jouer les technologies de l'information et de la communication dans la conduite d'une démarche d'investigation dans le cadre d'une classe de terrain. Notre point de vue est que ces technologies peuvent instrumenter :
 - la construction d'un *registre empirique* de référence en permettant à l'enseignant de définir des tâches dans lesquelles l'engagement des élèves va les conduire à agir et s'appropriier les caractéristiques spatiales et temporelles de ce registre ;
 - des tâches de mise en relation d'un modèle scientifique et d'un *registre empirique* c'est-à-dire permettant de construire, au travers du travail réalisé sur ordinateur, des situations qui conduisent l'élève à établir des relations entre ces deux registres ;

Selon cette seconde hypothèse, la conception de l'artefact informatique se poursuit dans l'élaboration des *scénarios d'apprentissage* et il peut alors constituer un *instrument* susceptible d'assister les élèves dans leur travail d'investigation.

4.2 Méthodologie de la recherche

4.2.1 Une ingénierie didactique comme méthodologie de recherche

L'ingénierie didactique est une méthodologie de recherche (Artigue, 1988) qui permet de préciser d'une part les « rapports entre la recherche et l'action sur le système d'enseignement » et, d'autre part « le rôle qu'il convient de faire jouer aux réalisations didactiques en classe ». La méthodologie de notre recherche vise à articuler une analyse *a priori*, la conception de situations de classe et une analyse *a posteriori* de ces situations vécues avec des élèves. Notre méthodologie de recherche s'appuie donc :

- sur une analyse épistémologique et didactique des contenus et des démarches visés par l'enseignement permettant d'identifier les variables qu'il convient de prendre en compte dans cet enseignement ;
- sur une élaboration théorique portant sur le statut du modèle scientifique dans la conduite d'un travail d'investigation scientifique dans la classe et la place que les technologies peuvent prendre pour instrumenter cette démarche. Cette élaboration guide la conception d'un EIAH et des situations d'enseignement dans lesquelles il est utilisé ;
- sur une « mise à l'épreuve des constructions théoriques » élaborées par l'expérimentation en classe de l'EIAH et des séquences de classe construites. Il s'agit d'éprouver la pertinence de notre analyse *a priori* en analysant d'une part les écarts entre les tâches prescrites par l'enseignant et l'activité des élèves et, d'autre part, les difficultés que rencontrent les élèves et les apprentissages réalisés.

Notre travail comprend ainsi trois axes. Un axe épistémologique et didactique qui tente d'explorer la possibilité de rendre au modèle, dans la classe, le statut d'outil pour penser qu'il possède dans la science. Il ne s'agit pas de demander aux élèves d'exprimer des compétences de chercheurs – ce qui pour de contraintes évidentes de temps et de niveau d'expertise paraît illusoire – mais d'identifier, dans la démarche de modélisation, les éléments qui peuvent être transposés dans le cadre d'une école de terrain. Cet axe vise à fournir un cadre théorique pour l'analyse des situations de classe qui mettent en œuvre des activités de modélisation afin d'évaluer la pertinence de la mise en œuvre de telles d'activités de modélisation en terme d'apprentissage, d'identifier les variables didactiques de ces situations et les difficultés

auxquelles les élèves sont confrontés. L'axe technologique porte sur la conception d'un EIAH dont les fonctionnalités ont été pensées pour faciliter la mise en place d'interactions épistémiques à travers les situations qu'il permet d'organiser et les tâches qu'il rend possibles. Le dernier axe est d'ordre didactique et pédagogique. Il porte sur la conception des séances qui sont élaborées en termes d'activités des élèves – de situations choisies, de tâches effectuées et de réalisations demandées – et de guidage de ces activités – rôle des interactions, de l'enseignant et des outils mis à disposition.

4.2.2 Une double approche : didactique et instrumentale

L'analyse que nous avons effectuée résulte d'une double approche. Une approche didactique nous permet de d'analyser l'activité des élèves du point de vue de la conduite d'un travail d'investigation. Cette analyse est basée sur une grille que nous avons élaborée. Cette grille décrit les différentes tâches en relation avec la conduite d'un travail d'investigation. L'activité des élèves est également analysée du point de vue instrumental. Le traçage informatique de l'activité des élèves nous permet de caractériser la manière dont l'application est utilisée et d'analyser les processus de genèse instrumentale lors la conduite du travail d'investigation.

4.2.2.1 Une approche didactique

4.2.2.1.1 Une typologie des tâches pour la conduite d'une démarche d'investigation

La mise en œuvre dans un contexte d'enseignement d'une démarche d'investigation scientifique nous conduit à identifier un certain nombre de tâches dont nous proposons ici une typologie (fig. 23). Comme nous l'avons indiqué plus haut, ces tâches sont de différentes natures. En premier lieu, elles portent sur l'appropriation du modèle (notées M). Nous distinguons deux types de tâches pour cette catégorie. Les tâches d'identification des caractéristiques du modèle (M1) consistent dans un travail qui permet le repérage des différents éléments constitutifs du modèle. Pour un modèle géologique il s'agit d'identifier des structures géologiques et des liens entre ces structures. L'identification des propriétés du modèle (M2) permet d'accéder à un niveau supérieur. La simulation, informatisée ou non, permet d'accéder aux résultats du fonctionnement du modèle et de mettre en évidence ses propriétés. Ces deux types de tâches comprennent également des tâches de décodage de la sémiologie employée que nous n'avons pas distinguées des tâches précédentes car un travail d'exploration du modèle pour en extraire ses caractéristiques et propriétés comprend nécessairement une part d'interprétation des codes employés pour représenter le modèle.

En second lieu, nous avons distingué les tâches qui consistent à articuler registre du modèle et *registre empirique* (notées EM). Il s'agit plus particulièrement des activités qui conduisent les élèves à concevoir le protocole qui permettra de confronter le modèle au réel qu'il est censé décrire. Un premier type de tâche consiste dans la détermination des implications du modèle en terme d'observables de laboratoire ou de terrain (EM1). Un second type de tâche consiste dans l'élaboration des procédures qui permettront d'accéder à ces observables (EM2). La description de ces procédures tient compte d'une part des prévisions que l'on peut faire à l'aide du modèle et, d'autre part, de la réalité du terrain y compris en terme de contraintes techniques dont il faudra tenir compte. Les tâches qui consistent à articuler registre du modèle et *registre empirique* comprennent également un travail sur la confrontation des données recueillies et des caractéristiques et propriétés du modèle. Cette confrontation comprend un travail d'argumentation sur l'adéquation entre ces deux termes (EM3) c'est-à-dire l'utilisation du modèle pour interpréter le réel. Le modèle est alors instancié avec les données empiriques (EM4). Le champ d'application du modèle est alors précisé et son domaine de validité défini (EM5). Certaines données conduisent à identifier les contraintes que le modèle doit remplir pour jouer son rôle de cadre d'analyse (EM6) ce qui peut conduire à compléter ou modifier le modèle.

Nous avons également distingué les tâches plus particulièrement centrées sur la maîtrise du *registre empirique* (notées RE). Ce sont des tâches que l'élève peut réaliser sans référence explicite au modèle du fait que les procédures mises en œuvre sont largement pré-déterminées au cours d'une phase antérieure de conception du protocole. Néanmoins, les procédures qui ont été élaborées dépendent du modèle scientifique qui joue donc un rôle majeur dans ce travail sur le *registre empirique*. Ces tâches comprennent une sélection des données au regard de leur lisibilité (RE1). C'est vrai en particulier dans le cadre d'un travail de terrain car les informations disponibles y sont souvent brouillées. Des techniques d'échantillonnage permettent cette sélection. Les caractéristiques des données doivent être déterminées à l'aide d'instruments d'observation ou de mesure et les relations spatiales et temporelles qu'elles entretiennent entre elles précisées (RE2) afin de résoudre des questions de chronologie ou d'orientation. Pour être interprétées ces données impliquent parfois une mise en forme plus ou moins complexe (RE3) qui va de la réalisation d'un simple schéma d'interprétation à la mise en œuvre de traitements statistiques complexes.

Tâches centrées sur l'appropriation du modèle (M)

M1 Identifier les caractéristiques du modèle

M2 Identifier les propriétés du modèle

Tâches conduisant à la mise en relation du modèle et du registre empirique (EM)

Elaboration du protocole d'observation ou d'expérimentation

EM1 Déterminer des implications du modèle en terme d'observables de laboratoire ou de terrain

EM2 Déterminer les procédures du protocole

Confrontation des données empiriques et du modèle scientifique

EM3 Argumenter l'adéquation des données empiriques aux caractéristiques et propriétés du modèle

EM4 Instancier le modèle : le paramétrer, le contextualiser avec des données empiriques

EM5 Définir le domaine de validité du modèle

EM6 Identifier des contraintes du modèle¹¹

Tâches en relation avec la maîtrise du registre empirique (RE)

RE1 Sélectionner des données empiriques pertinentes au regard de leur lisibilité

RE2 Déterminer les caractéristiques des données empiriques les situer dans l'espace et/ou dans le temps

RE3 Mettre en forme des données empiriques pour faciliter leur lecture

Figure 23 : Une typologie de tâches au cours de l'investigation scientifique

Cette grille a été utilisée pour coder les verbalisations des élèves au cours des séances. L'écoute des enregistrements montre que, au sein d'un binôme, les échanges entre élèves sont constitués d'une ou deux phrases généralement courtes. Nous avons donc choisi de découper ces échanges en unités sémantiques constituées d'une intervention. Lorsque cela est possible, chaque unité est codée en utilisant la grille de tâches. Les paragraphes qui suivent permettent de discuter la pertinence de la grille qui a été utilisée et de préciser le mode de codage.

¹¹ Les tâches de types EM5 et EM6 ont été mises en oeuvre dans des séances postérieures à celles de nos expérimentations. Elles ne seront donc pas abordées ici.

4.2.2.1.2 Tâches centrées sur l'appropriation du modèle (M)

Comme nous l'avons indiqué plus haut, nous proposons d'inclure dans cette catégorie les tâches qui relèvent d'un travail sur le modèle et qui conduisent à son appropriation. Les caractéristiques du modèle sont identifiées, ses propriétés déterminées.

- M1 Identifier les caractéristiques du modèle

Les modèles géologiques décrivent des phénomènes qui se traduisent par des transformations. Dans l'exemple du modèle de chaîne de collision que nous avons utilisé, trois phénomènes majeurs peuvent être distingués : accréation océanique, subduction et collision continentale. Ces phénomènes se traduisent par d'autres phénomènes plus génériques tels que métamorphisme ou volcanisme ou plus spécifiques tel que la mise en place d'un prisme d'accréation. Généralement ces phénomènes sont mis en histoire et permettent d'expliquer la formation d'une structure géologique majeure. Une représentation du modèle donne à « voir » ces phénomènes par l'image ou le texte. Ainsi il est possible à l'élève d'identifier les différentes caractéristiques du modèle scientifique. Dans la transcription ci dessous, les élèves relèvent ces éléments dans le modèle mis à leur disposition (Annexe L p. 376).

A9nuguet1 – 0mn30¹²

[les élèves remplissent un tableau récapitulant les caractéristiques du modèle décrivant la formation d'une chaîne de collision.]

E1 : OK, il faut qu'on remplisse ça

E2 : Il faut chercher les roches

E1 : Exemple : présence de sédiments océaniques

*E1 : Ah oui d'accord ça va être ça : **sédiments de la marge, sédiments océaniques, croûte continentale...***

- M2 Identifier les propriétés du modèle

Les caractéristiques d'un modèle peuvent conduire à en inférer des propriétés c'est-à-dire à identifier les conséquences des caractéristiques représentée sur le modèle scientifique.

¹² Chaque transcription est repérée avec une lettre A, B ou C qui correspond à l'une des trois séances de nos expérimentations. 9 indique le numéro de l'ordinateur utilisé, nuguet est le nom de l'enseignant et 1 le groupe de TP. L'heure indique le moment de la transcription dans le séance. E1 et E2 permettent de distinguer les élèves des différents binômes.

Dans la retranscription ci dessous, les deux élèves consultent le document décrivant la formation d'une chaîne de collision (Annexe L p. 376). La tâche qu'ils doivent réaliser est de lister les indices¹³ à rechercher sur le terrain pour éprouver le modèle. Cela les conduit à identifier une propriétés du modèle : la séparation de deux continents au cours de l'accrétion océanique.

A9nuguet1 – 2mn30

E1 : [consulte le doc modèle] La y'a les deux continents et ça les sépare

E2 : Ouais c'est ça l'accrétion. Au départ **ça se sépare**...et après quand c'est de la subduction...

E1 : **Ca se resserre**. C'est à l'autre bout du coup... Là t'as les deux continents et ils se séparent avec l'extension.

Lors de la réalisation de ce type de tâche, l'identification des propriétés du modèle conduit à engager des éléments du registre explicatif. Les caractéristiques du modèle sont mises en relation et font sens dans le cadre d'un mécanisme global.

4.2.2.1.3 *Tâches conduisant à la mise en relation du modèle et du registre empirique (EM)*

Nous indiquons ici les tâches qui, selon nous, impliquent un travail de mise en relation des caractéristiques et propriétés du modèle avec les éléments du *registre empirique* et nous donnons, à titre d'exemple, quelques extraits des transcriptions qui témoignent de la mise en œuvre de telles tâches.

- EM1 Déterminer des implications du modèle en terme d'observables de laboratoire ou de terrain

Les caractéristiques et propriétés des phénomènes géologiques constitutifs du modèle échappent généralement à l'observation directe sur le terrain. Par exemple, la présence d'un prisme d'accrétion est déduite de l'identification d'une lithologie et de sa position par rapport à un ensemble plus vaste. L'élaboration d'un protocole d'observation visant à confronter un modèle passe par la traduction des caractéristiques et propriétés du modèle en observables de terrain.

¹³ Parce qu'il prend en compte la dimension temporelle, le terme *trace* nous paraît plus pertinent que le terme *indice*. Néanmoins, afin d'éviter toute confusion, nous avons utilisé le terme *indice* pour qualifier les éléments que les élèves sont amenés à rechercher sur le terrain et le terme *trace* pour qualifier les données – papier, informatiques, audio ou vidéo – que nous avons recueilli de l'activité des élèves.

Les échanges transcrits ci dessous ont lieu alors que les élèves sont en train de lister les indices à rechercher sur le terrain pour confronter le modèle scientifique de formation d'une chaîne de collision au contexte alpin. Cela les conduit successivement à préciser le phénomène géologique en jeu dans le modèle - le métamorphisme qui a été identifié à partir de l'étude du modèle est précisé, il s'agit d'un métamorphisme de type schiste vert et éclogite – et à traduire ce phénomènes en observables de terrain : les minéraux du métamorphisme attendu.

A9nuguet1 – 9mn30

E1 : [consulte le doc modèle] Oui... métamorphisme des roches de la lithosphère

E2 : Donc après..

E1 : Donc du coup, métagabbro devient schiste...

E2 : ... bleu vert et éclogite

E1 : Non c'est vert, bleu, éclogite

E1 : Schiste bleu alors du coup on va trouver des ... alors... chlorites et actinotes

La traduction de caractéristiques et propriétés du modèle en observables de terrain suppose qu'il existe une limite qui distingue ce qui relève du domaine du modèle de ce qui est effectivement une information qu'il est possible de prélever sur le terrain. L'exemple ci dessous illustre ceci. Deux élèves s'interrogent sur le prisme d'accrétion : est-ce un observable de terrain ?

A9nuguet1 – 10mn

E1 : [consulte le doc modèle] ... prisme d'accrétion...

E2 : faille de compression et d'extension...

E1 : Maintenant est-ce qu'on va voir... Ben un prisme d'accrétion alors ? Mais est-ce qu'on peut le voir ou pas ça ? On peut pas...

- EM2 Déterminer les procédures du protocole

La conception d'un protocole d'observation et d'expérimentation peut être considérée comme l'élaboration d'une liste de procédures permettant de recueillir des données pertinentes dans le cadre d'une question de recherche. Dans la situation que nous avons observée, il s'agissait de sélectionner des affleurements utiles pour éprouver le modèle de formation d'une chaîne de collision dans le contexte alpin et de déterminer l'itinéraire pour s'y rendre.

Le recueil des données doit satisfaire à des contraintes liées au modèle, être pertinent par rapport au problème à résoudre. Il doit également tenir compte du *registre empirique*. Cette tâche conduit l'élève à confronter les caractéristiques du modèle qu'il a identifiées aux informations dont il dispose sur le terrain qu'il va pouvoir explorer. En ce sens, c'est une première confrontation entre le registre du modèle et le *registre empirique*.

Dans l'extrait suivant, les élèves choisissent un arrêt (affleurement) parce qu'il doit leur permettre d'observer un indice de la subduction de la lithosphère océanique - du métagabbro - roches que prédit le modèle utilisé.

A9nuguet1 – 1h20mn

E2 : [rédige le parcours géologique] j'ai choisi... faut mettre « j'ai choisi »...

E1 : arrêt 2 du Queyras. Pour pouvoir observer un affleurement de métagabbro.

Dans ce second extrait les deux élèves recherchent un arrêt sur la carte permettant d'observer une caractéristique du modèle (« une accumulation de sédiments »).

A9nuguet1 – 1h28mn

[sélectionnent un arrêt sur lequel se rendre]

E1 : Mais on a déjà mis un truc. Et donc. Il y avait quoi d'autre ? faudrait qu'il y ait une accumulation de sédiments.

E2 : Dans là 1. Il y avait quoi déjà ? schiste lustré ?

- EM3 Argumenter l'adéquation des données empiriques aux caractéristiques et propriétés du modèle

Dans le travail d'investigation qu'ils conduisent, les élèves sont confrontés à un grand nombre d'informations qu'ils doivent sélectionner en fonction de leur pertinence par rapport au modèle en jeu. Une fois ces données sélectionnées, il s'agit alors de les confronter au modèle scientifique. Dans la transcription ci-dessous une image (représentant des plis dans des schistes lustrés) est mise en relation avec la présence d'un prisme d'accrétion révélant un phénomène de subduction.

C9nuguet1 – 34mn

E1 : [rédige le commentaire d'une photo] Donc, arrêt un, on met non ?

E2 : Ouais.

E1 : Il s'agit d'un prisme d'accrétion...

E2 : Qui témoigne d'un phénomène de subduction

- EM4 Instancier le modèle : le paramétrer, le contextualiser avec des données empiriques

Le modèle scientifique dont les élèves disposent est un modèle générique dont l'intérêt est qu'il permet d'interpréter un grand nombre de contextes géologiques. Selon notre point de vue, le modèle prend corps lorsqu'il est employé pour interpréter un contexte donné. En particulier, ses dimensions sont précisées, l'orientation des structures géologiques identifiées. Le modèle est alors instancié avec les mesures et observations effectuées sur le terrain. Dans la transcription ci-dessous, les élèves rédigent le commentaire d'une photographie montrant des plis dans des schistes lustrés. Cette formation a été identifiée, lors du travail sur le terrain, comme témoignant d'un prisme d'accrétion dont l'étendue peut être appréciée sur la carte géologique. Les dimensions du prisme d'accrétion peuvent donc être évaluées.

C9nuguet1 – 34mn30

E1 : [rédige le commentaire d'une photo] On note que le prisme d'accrétion est très large, la roche s'étend sur plus de 40 km

Dans ce second exemple, les élèves rédigent un commentaire pour argumenter que la première étape du modèle de la formation d'une chaîne de collision (l'accrétion) est visible dans le massif du Chenaillet. Néanmoins, seuls certains éléments du modèle sont visibles : un lambeau de la lithosphère océanique /

C5jaime1 – 1h19mn30

E1 : Un morceau, là c'est un morceau non ? ... une écaille ?

4.2.2.1.4 Tâches en relation avec la maîtrise du registre empirique (RE)

Nous proposons d'affecter à cette catégorie les tâches qui consistent dans un travail plus spécifiquement centré sur le *registre empirique*.

- RE1 Sélectionner des données empiriques pertinentes au regard de leur lisibilité

La plupart du temps, les traces géologiques sont brouillées parce qu'affectées par l'histoire géologique qui a suivi leur formation. Lors du travail sur le *registre empirique*, l'une des premières difficultés auxquelles les élèves sont confrontés consiste dans la sélection des

informations en fonction de leur lisibilité. C'est en particulier un aspect du travail d'échantillonnage. La transcription ci dessous correspond à des échanges entre deux élèves qui choisissent les photographies qu'ils intégreront dans Géonote.

C9nuguet1 – 1mn30

[choisissent les photos à intégrer dans Géonote]

E1 : Celle-là c'est la 76. Ah c'est ça qu'on a dessiné. Là on voit mieux. Ça c'est l'environnement, l'affleurement.

E2 : Oui.

E1 : Ah oui, génial. Ça c'est pour voir les gros blocs...

Le choix est effectué sur un critère présence, sur la photographie, d'un objet géologique - « les gros blocs » - qui sera ensuite utilisé pour construire l'argumentaire en faveur du modèle de chaîne de collision.

- RE2 Déterminer les caractéristiques des données empiriques, les situer dans l'espace et/ou dans le temps

Nous l'avons discuté plus haut. Les dimensions spatiales et temporelles des objets géologiques sont des caractéristiques fondamentales des objets géologiques. L'identification de ces caractéristiques permettra de les interpréter au regard du modèle scientifique en jeu.

A titre d'exemple, la transcription ci dessous correspond à un moment où les élèves tentent de déterminer les caractéristiques qui permettent de repérer un affleurement sur la carte géologique. Cela les conduit à repérer les âges relatifs des roches et leur succession dans l'espace.

A9nuguet1 – 1h10mn

[observent un chevauchement sur la carte géologique du Galibier]

E2 : Ben oui regarde. Jurassique, Jurassique, Jurassique, Trias, Trias, après éocène, éocène... On a une succession en fait de...

E1 : Non parce qu'on est sur le Galibier. Alors, là c'est les plus récents... Donc la on a des récents...du récent...

E2 : Des vieilles... Et après des vieilles...

E1 : Ah voilà. Là on va bien voir. Là on a du récent. Après du plus ancien. Du récent. Du ancien et du récent.

E2 : Faut noter. On remarque une alternance des âges des roches...

- RE3 Mettre en forme des données empiriques pour faciliter leur lecture

Les informations recueillies sur le terrain sont des informations brutes. Leur lecture et interprétation sont généralement facilitées par leur mise en forme. Cette mise en forme peut être plus ou moins complexe, simple légende ou traitement statistiques permettant leur interprétation. Dans l'exemple ci dessous, les élèves utilisent un logiciel de dessin pour légènder un élément de la photographie qu'ils souhaitent mettre en relief.

C9nuguet1 – 22mn30

[Commentent une photo]

E2 : Par contre on aurait pu mettre une petite légende sur la photo.

E1 : Ben oui, mettre là Ouest et là Est. Et puis légènder. On le fait ?

E2 : Oui, il faut quitter. Réduit ça, ça aussi. On va ouvrir Photogèonote.

E1 : Clic droit, ouvrir avec Paint. Il est là. Donc c'est bon. Faire un trait.

E2 : Après tu mets texte. Tu écris ton texte.

E1 : Lambeau de roches plus dures.

4.2.2.2 Approche instrumentale

La dimension instrumentale de notre approche est principalement basée sur l'analyse des traces informatiques des élèves qui utilisent l'application Géonote. Il s'agit d'identifier la manière dont l'application permet d'instrumenter le travail d'investigation conduit par les élèves. Cette analyse nous conduit donc à identifier des phénomènes de *genèse instrumentale*. Nous examinons ainsi comment les élèves prennent en main l'application et l'utilisent pour réaliser les tâches qui leurs sont prescrites.

L'analyse de la manière dont est utilisée l'application Géonote est également mise en relation avec les échanges des élèves de manière à identifier en quoi l'application permet le développement d'interactions. Il s'agit en particulier des interactions avec des objets géologiques qui sont utilisés par les élèves pour se constituer un *registre empirique* et de leur mise en relation avec un modèle scientifique interprétatif. Il s'agit également des interactions épistémiques entre élèves qui utilisent l'application.

Cette analyse nous permet ainsi de repérer l'influence de l'artéfact informatique sur la situation élaborée. Au final c'est l'influence de l'application sur le processus d'apprentissage que nous souhaitons caractériser.

4.2.3 Quel(s) type(s) de recherche ?

Débuter, et conduire à son terme, un travail de thèse implique que l'auteur s'interroge sur le sens et la portée des travaux conduits. ce paragraphe vise à répondre à deux questions :

- quel est le projet de l'auteur ? comment son travail s'inscrit-il dans le contexte social et en particulier le système éducatif et l'institution Education Nationale ?
- comment ce travail s'insère-t-il dans le paysage de la recherche en éducation et en didactique des sciences ? Quelle est la portée des méthodologies mises en œuvre et la nature des résultats produits ?

Jean-Pierre Astolfi (1993) propose une grille d'analyse des recherches en didactique qui nous paraît utile pour répondre à ces questions. Cette grille décrit trois paradigmes de recherche. Il nous a paru important de situer notre travail par rapport à cette grille.

4.2.3.1 Une recherche de faisabilité (pragmatique)

Il convient ici de rappeler que ce travail s'inscrit dans un contexte de crise des vocations scientifiques. Si les causes de cette crise sont multiples il n'en reste pas moins qu'elles reposent pour partie, sur la manière dont les sciences sont enseignées (Postel-Vinay, 2006) et donc perçues par les lycéens. En particulier, un rapport récent de l'OCDE (2006) souligne l'importance des cursus et des programmes ainsi que l'importance d'un contact positif avec les sciences, en particulier dans l'enseignement secondaire qui apparaît comme un moment crucial au cours duquel les lycéens déterminent leurs choix et qui est également un moment où on note une baisse de l'intérêt pour les sciences. Le rapport Rocard pour la commission européenne relève que "A reversal of school's science-teaching pedagogy from mainly deductive to inquiry-based methods provides the means to increase interest in science" (Rocard et al., 2007). Notre projet comprend donc une dimension qui relève de l'innovation pédagogique. Il s'agit de formuler des propositions sur lesquelles pourrait de fonder un renouvellement des pratiques. Ces propositions portent sur la place des technologies de l'information et de la communication pour instrumenter l'investigation scientifique. Elles portent également sur le statut et le rôle du modèle scientifique lors de la mise en œuvre de ce type de démarche, en particulier lors de la conduite d'une classe de terrain en sciences de la Terre. L'action sur ces deux leviers vise à développer l'autonomie et l'engagement des élèves dans les activités qui leurs sont proposées.

En ce sens on pourrait dire que ce travail s'adresse au praticien, confronté à des questions didactiques auxquelles il souhaite répondre. Il s'agit de « déterminer des possibles » et « d'éclairer un processus de changement des pratiques » grâce à la mise en place

d'innovations contrôlées, de construire un « cadre explicité d'hypothèses et d'actions » qui vise à permettre le contrôle et la transférabilité des innovations mises en oeuvre.

Ce travail a donc été conduit en étroite collaboration avec des enseignants associés à l'INRP. Ces enseignants ont participé à la conception des séances de classe observées, les ont mises en oeuvre avec leurs élèves et ont pu exprimer, lors de réunions de débriefing, leurs points de vue sur les choix didactiques qui ont présidé à la conception de l'EIAH et des séances au cours desquelles il a été utilisé. L'une des caractéristiques de ce travail est donc son ancrage très fort dans les pratiques des acteurs de terrain. Ce qui est visé c'est une légitimation des savoirs produits du point de vue de leur capacité à provoquer des changements et de leur acceptabilité par les acteurs de terrain.

Pour autant notre souci est d'éviter un enfermement dans une logique d'innovation. Si ce travail vise à produire des *savoirs d'action* (c'est-à-dire des savoirs pour l'action), il vise également à permettre un changement de perspective par rapport à celle du praticien et en construisant des cadres d'analyse de ces innovations.

Les questions posées par cette posture sont celles du maintien de la distance entre réflexion et action, de la validité de résultats obtenus dans le cadre d'innovations suscitées par la recherche et de la pertinence des savoirs produits pour interpréter d'autres situations d'apprentissage. Afin de lever les objections qui découleraient d'un enfermement dans une posture de type praxéologique notre méthodologie nous conduit à adopter une seconde posture, non contradictoire de la précédente, permettant d'adopter une certaine distanciation par rapport à notre objet d'étude.

4.2.3.2 Une recherche de signification (herméneutique)

Notre démarche procède également de la démarche du géologue qui, sur le terrain, relève les indices qui lui permettront d'écrire l'histoire de la région qu'il étudie. Non pas la seule et définitive histoire mais l'histoire la plus probable dans l'attente de la collecte de nouveaux indices ou d'une interprétation renouvelée d'indices connus. C'est donc aussi la « construction du sens » (Astolfi, 1993) qui est visée, c'est-à-dire une élaboration théorique permettant d'interpréter les situations didactiques observées. C'est en ce sens que nous proposons une formalisation de ce que pourrait être un travail d'investigation scientifique conduit par des élèves. Plutôt que de dire le vrai ou le faux, notre interprétation des situations observées vise à dégager la cohérence interne de ces situations. D'éprouver, en particulier, la pertinence de notre formalisation pour décrire le travail de l'élève en situation d'investigation scientifique. Comment le modèle scientifique est-il évoqué lors des différentes étapes de sa

démarche ? Comment l'instrumentation des activités l'aide t-elle à réaliser les tâches qui lui sont demandées ?

Pour la conduite des expérimentations il a été nécessaire de construire des situations spécifiques d'apprentissage que des situations plus traditionnelles de classe ne permettent pas d'observer. Ce choix limite nécessairement la portée des résultats obtenus mais il permet *a contrario* d'observer les effets des innovations proposées. Les données recueillies doivent en effet permettre de reconstruire le parcours suivi par les élèves lors des séances et d'en proposer une interprétation cohérente. Elles doivent également permettre de mesurer les écarts entre les objectifs initiaux et le déroulement réel du travail de l'élève afin de déterminer les variables didactiques de la situation c'est-à-dire les éléments dont la modification serait susceptible d'entraîner des changements importants dans la situation d'apprentissage proposée aux élèves. Il s'agit également d'évaluer la pertinence des outils d'analyse élaborés pour rendre compte des situations observées.

4.2.3.3 Une recherche de régularité (nomothétique) ?

Peterfalvi (citée par Astolfi, 1993) oppose, à une recherche qui confirme ou infirme, une recherche qui affine et différencie des présupposés mis à l'épreuve de la réalité. Comme elle, il nous semble difficile d'inscrire notre travail dans une logique d'administration de la preuve fondée sur la caractérisation ou l'expérimentation de situations dont les variables seraient parfaitement contrôlées par l'expérimentateur. La complexité de notre objet d'étude rend difficile la conception de situations épurées et reproductibles. Quelques mots de consignes changés, un incident dans la classe et ce peut être l'ensemble de la situation qui s'en trouve modifié. Pour autant, nous avons tenté d'éviter autant que possible le caractère contingent des situations construites en associant fortement les enseignants à leur élaboration afin de s'assurer de leur acceptabilité, en explicitant les fondements et les objectifs de la recherche et en privilégiant des travaux des élèves sur des documents standardisés.

C'est donc une double posture que nous proposons d'adopter. Une posture pragmatique en ce sens que nous souhaitons que notre travail soit force de proposition d'innovations ayant montré leur intérêt et leur utilité, mais également une posture herméneutique visant à fournir un éclairage nouveau sur des situations de classe aux cours desquelles l'élève conduit une investigation scientifique. Le contexte institutionnel et professionnel dans lequel s'inscrit ce travail – un détachement à l'Institut National de Recherche Pédagogique – est évidemment pour beaucoup dans le choix de ces postures.

4.2.4 Quelles innovations pour la classe ?

« La vraie rationalité, ouverte par nature, dialogue avec un réel qui lui résiste. Elle opère une navette incessante entre l'instance logique et l'instance empirique »

(Morin, 2000)

Dans son ouvrage « les sept savoirs nécessaires à l'éducation du futur », Morin (2000) nous livre une réflexion sur ce que devrait être un enseignement adapté à un monde nouveau. Parmi les savoirs fondamentaux que pointe Morin nous en avons retenu deux qui ont guidé la conception des séances mises en œuvre avec les élèves.

Le premier porte sur « Enseigner les cécités de la connaissance : l'erreur et l'illusion. Faire connaître ce qu'est connaître. ». L'enseignement traditionnel est trop axé sur la transmission de savoirs et pas assez sur la manière de les utiliser. Nous partageons le point de vue de Bouleau (1999a) pour qui « le métier de modélisation n'est pas enseigné en tant que tel. Les professeurs, scientifiques, poussent en permanence les contenus disciplinaires. Seule la charge hebdomadaire des étudiants vient limiter leurs ambitions de sorte que ceux-ci n'ont jamais le temps de s'exercer à utiliser comme langage, les savoirs rencontrés ». L'école renvoie une image erronée de la science vécue comme une accumulation encyclopédique de connaissances sur les mécanismes qui règlent le monde. Faire le choix de responsabiliser les élèves par rapport aux connaissances à construire en leur demandant de conduire un travail d'investigation en autonomie c'est également leur donner l'occasion de tester les outils intellectuels mis à leur disposition et donc d'en éprouver les forces et les faiblesses. Faire le choix de la modélisation dans les pratiques de classe c'est montrer que la science est d'abord une élaboration partisane qui emprunte à l'inventivité et à la créativité et qui ne permet d'approcher que certains aspects d'une réalité. C'est donc également permettre aux élèves de toucher du doigt la subjectivité du choix d'un modèle, d'en percevoir les limites et de comprendre que pour chaque lopin de connaissance conquis, c'est tout un champ inexploré qui s'ouvre à l'investigation. Faire le choix de la modélisation c'est insister sur les processus et donner les outils qui permettent d'aller plus loin de manière autonome.

Morin souligne également que la réalité n'est pas donnée mais construite par l'idée que nous nous en faisons. Il y donc un enjeu à faire comprendre ce processus de traduction du réel. C'est le sens que nous donnons au travail d'investigation scientifique. Le réel est interprété et produit des connaissances mais les connaissances produites portent également sur le processus d'interprétation lui-même. Ce qui est donné à comprendre c'est un aspect du réel, c'est aussi que, derrière cet aspect des choses, il reste un réel incertain qui reste à découvrir.

Le second point que nous retenons du travail de Morin est le suivant : « Enseigner les principes d'une connaissance pertinente. Saisir les problèmes globaux et fondamentaux pour y inscrire les connaissances partielles et locales. Saisir les objets dans leurs contextes, leurs complexes, leurs ensembles. »

Morin se réfère ici à Bastien qui relève que « la contextualisation est une condition essentielle de l'efficacité [du fonctionnement cognitif] ». L'enseignement, par souci de simplification, a tendance à morceler les savoirs et à les isoler de leur contexte pour les rendre « enseignables ». Ce réductionnisme et cette décontextualisation conduisent à une perte du sens de ces savoirs. Quel sens ont des connaissances sur les transformations minéralogiques au cours du métamorphisme hors d'un contexte tectonique global ? Quel sens donner à l'identification d'une roche hors du contexte de sa formation ?

Des connaissances atomisées, sans référent empirique constitué ne sont pas des outils efficaces pour affronter un monde de plus en plus multidimensionnel. Faire le choix du travail de terrain c'est choisir de développer des capacités cognitives pour aborder la complexité. C'est de se donner les moyens de travailler sur le local pour comprendre le global. C'est également ancrer les connaissances sur un référent empirique qui d'une part leur donne du sens et d'autre part constitue la condition même de leur élaboration.

5 Description des expérimentations conduites et méthodes de recueil des données

Dans cette partie consacrée à l'analyse et à la discussion des résultats que nous avons obtenus, nous décrivons successivement, dans les deux premiers paragraphes, l'ingénierie didactique que nous avons élaborée et la méthode de collecte des données. Nous examinons ensuite comment l'engagement des élèves dans un travail d'investigation et l'instrumentation de cette démarche avec un EIAH permet le développement d'*interactions épistémiques*. Notre approche est donc double. C'est une approche didactique dans la mesure où elle nous conduit à analyser le processus d'apprentissage dans le cadre des situations construites. C'est également une approche instrumentale qui nous permet d'examiner le rôle joué par l'application dans ce processus.

L'analyse qui est menée porte sur les traces de l'activité des élèves (traces informatiques et verbalisations) et sur leurs productions (papier et numériques). La grille d'analyse que nous utilisons correspond à une typologie des tâches d'une démarche d'investigation fondée sur la place du modèle dans la mise en œuvre de cette démarche (annexe A p. 315). Cette grille nous permet de situer le travail conduit par les élèves et d'analyser l'apprentissage au travers des fondements de l'argumentation des élèves.

Un paragraphe nous permettra de détailler cette analyse pour un binôme sélectionné dont nous suivrons l'ensemble du parcours. Un autre paragraphe portera sur l'analyse de différentes phases de notre ingénierie didactique à partir de productions ou de traces informatiques de binômes extraits de l'ensemble de notre corpus.

5.1 Déroulement des séances observées

5.1.1 Les sites Chenaillet-Queyras-Galibier, un intérêt pédagogique remarquable

Pour conduire nos expérimentations, nous avons choisi les sites sur lesquels nous rendre en concertation avec les enseignants avec lesquels nous avons travaillé. Notre choix s'est arrêté sur le Briançonnais qui présente un intérêt remarquable pour la conduite d'un travail de terrain avec des élèves de terminale. Cette région présente tout d'abord un intérêt scientifique indéniable. Le massif du Chenaillet est en effet un lambeau d'ophiolite obductée (Chalot-Prat 2005) remarquablement conservé. Il permet d'observer les caractéristiques d'une lithosphère océanique et donc d'aborder la question des phénomènes impliqués dans l'accrétion océanique. Les berges du Guil à Château-Queyras permettent d'observer des métagabbros témoins d'une subduction. Par ailleurs, les sites du Galibier et de Saint Clément sont propices à un travail sur les phénomènes géologiques en relation avec la collision (respectivement chevauchement et plissement). Il est donc possible, sur un secteur géographique limité, d'aborder, dans un cadre scolaire, les différentes phases de la formation d'une chaîne de collision. Le deuxième argument en faveur de ce choix tient à l'intérêt que ces sites présentent pour les enseignants de sciences de la vie et de la Terre ; ce sont, selon une enquête que nous avons conduite grâce à la collaboration du Centre Briançonnais de Géologie Alpine (Sanchez & al. 2005), plus de 10 000 élèves et étudiants qui se rendent sur ces sites chaque année. Il nous a semblé important, dans l'optique que notre travail puisse avoir des retombées dans la communauté éducative, que le secteur géologique choisi soit reconnu comme ayant un intérêt pédagogique par les enseignants. L'objectif que nous visons n'est pas que ce travail puisse être directement transposé par les enseignants dans leurs classes mais qu'il apporte un certain nombre d'éclairages pour la conception de curricula, ou l'élaboration de dispositifs de formation. Un troisième argument est d'ordre strictement pratique. La région briançonnaise est à une distance raisonnable de l'établissement scolaire avec lequel nous avons travaillé, elle possède de nombreuses infrastructures d'hébergement et le Centre Briançonnais de Géologie Alpine (CBGA) peut mettre à la disposition des professeurs des guides qui, d'une part possèdent les qualifications pour accompagner des élèves en haute montagne et ont, d'autre part, de bonnes connaissances sur la géologie de cette région.

Le choix de collaborer avec les guides du CBGA. s'est finalement révélé peu judicieux pour mener le travail tel que nous l'avions envisagé. Les guides qui semblent avoir l'habitude de prendre en charge, aussi bien d'un point de vue sécurité que d'un point de vue pédagogique, les classes qui leurs sont confiées, se sont sentis dessaisis de leur responsabilité pédagogique et cela a engendré quelques tensions avec l'équipe pédagogique qui avait des idées très précises et différentes sur la manière dont le travail devait être conduit sur le terrain. Une meilleure information de notre part sur le travail que nous souhaitions conduire aurait probablement permis d'éviter cet écueil. Nous avons conduit deux séries d'expérimentations en 2005 et 2006. En 2006, nous n'avons pas fait appel aux services du CBGA.

5.1.2 Le lycée du Val de Saône

Le choix du lycée du Val de Saône (Trévoux, département de l'Ain) est lié aux relations que l'INRP entretient avec cet établissement dont le proviseur a toujours facilité l'accès des classes aux équipes de recherche. Une enseignante de cet établissement est mise à disposition à mi-temps à l'INRP et conduit avec nous des travaux de recherche sur l'enseignement de la géologie depuis plusieurs années. Une seconde enseignante de l'établissement est une professeure associée à l'INRP et l'ensemble de l'équipe pédagogique de sciences de la vie et de la Terre – en particulier deux autres enseignantes – ont très volontiers accepté nos propositions de collaboration et se sont véritablement investies dans le travail que nous avons mené.

L'établissement est situé entre Dombes et Beaujolais. Construit en 1995, il scolarise des élèves de la seconde au Brevet de Technicien Supérieur (BTS).

5.1.3 Scénarios d'apprentissage et place des enseignants dans leur conception

Nous décrivons ici les *scénarios d'apprentissage* qui ont été élaborés pour nos différentes expérimentations. Par scénario nous entendons la description du déroulement de la situation en précisant les activités réalisées par les élèves et des ressources qu'ils ont utilisées (Pernin, 2007).

Ces scénarios ont été conçus en concertation avec les enseignants qui avaient en charge les classes. Il nous a semblé en effet que les enseignants ne pourraient pas conduire un travail tenant compte de nos propositions sans être étroitement associés à la conception des séances. Les scénarios que nous décrivons sont ceux qui ont effectivement été mis en œuvre. En

faisant participer les enseignants chargés de leur mise en œuvre au processus de conception, nous souhaitons limiter autant que possible les écarts entre les scénarios conçus *a priori* et ceux effectivement développés. De fait, ces scénarios sont très proches et les activités réalisées par les élèves ont été celles qui étaient prévues. L'écart le plus faible entre scénario prescrit et scénario réalisé concerne les expérimentations de 2006 pour lesquelles les animateurs du CBGA n'ont pas été sollicités.

D'un point de vue méthodologique, les enseignants ont été invités à participer à des réunions qui, en amont de la mise en œuvre des scénarios, étaient consacrées à des questions de conception et, en aval, à des débriefing permettant de recueillir leurs avis et leurs remarques sur la mise en œuvre de ces scénarios.

Ce travail a été réalisé dans le cadre des travaux de l'équipe de didactique de l'Équipe de Recherche technologique en éducation (ERTé) Actualisation Continue des Connaissances en Sciences (ACCES) sur la place du travail de terrain dans l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre. L'ERTé ACCES, dirigée par G. Vidal a mené, de 2003 à 2007, avait, parmi ses axes de recherche, les questions de la modélisation et de l'utilisation des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) pour l'enseignement des sciences de la Terre.

Le scénario retenu pour les expérimentations 2006 tient compte des premiers résultats que nous avons pu obtenir en 2005.

5.1.3.1 Expérimentations de septembre/octobre 2005

Un tableau indiqué en annexe (annexe B p. 316) donne un certain nombre d'indications sur l'expérimentation qui concernait trois classes de terminales scientifiques. Les binômes ont été nommés en utilisant un chiffre qui indique le numéro de l'ordinateur utilisé, le nom de l'enseignante ainsi que le chiffre 1 ou 2 selon qu'il s'agissait du premier ou du second groupe de travaux pratiques.

Le tableau 3 résume le scénario retenu pour les expérimentations de 2005.

<p>Séance A : préparation de la classe de terrain (2h00 de travaux pratiques) :</p> <p>L'objectif de cette séance est de préparer la classe de terrain en déterminant les sites sur lesquels se rendre, les observations à réaliser, les informations à recueillir et les mesures à effectuer.</p>	
<p><i>Ce que doivent faire les élèves...</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - identifier les phénomènes géologiques impliqués dans la formation d'une chaîne de collision et les traduire en indices observables sur le terrain. - localiser les sites géologiques à étudier, les indices à rechercher et déterminer les itinéraires à parcourir - déterminer les mesures à effectuer et les observations à réaliser. 	<p><i>Ce dont disposent les élèves...</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - un schéma représentant un modèle scientifique décrivant la formation d'une chaîne de collision - Géonote (secteurs géographiques du Chenaillet et du Briançonnais)
<p>Séance B : classe de terrain (excursion de 2 jours)</p> <p>L'objectif de cette classe de terrain est la collecte des données géologiques sur le terrain</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - échantillonner, rechercher, identifier, localiser, photographier, orienter les indices montrant que les Alpes sont une chaîne de collision 	<p>GPS, appareil photo numérique, carte topographique...</p>
<p>Séance C : exploitation de la classe de terrain (2h00 de travaux pratiques) sur 3 sites : Chenaillet, berges du Guil et col du Galibier</p> <p>L'objectif de cette séance est la constitution d'un jeu de données géolocalisées sur les indices de la formation d'une chaîne de collision dans les Alpes sur l'un des secteurs étudiés.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - sélectionner, mettre en forme, commenter leurs photographies et géoréférencer ces images sur un secteur géographique. - rédiger un texte mettant en relation les indices relevés sur le terrain et le modèle de formation d'une chaîne de collision. 	<ul style="list-style-type: none"> - Géonote - photographies et autres informations recueillies sur le terrain,

Tableau 3 : Scénario d'apprentissage des expérimentations de septembre/octobre 2005

5.1.3.2 Expérimentations de septembre/octobre 2006

Les réunions de débriefing avec les enseignants impliqués qui ont suivi les expérimentations de 2005 ainsi qu'une première analyse des productions des élèves nous ont permis de mettre en

évidence un certain nombre de points à améliorer dans la conception du scénario qui nous ont conduit à effectuer les modifications suivantes :

- la phase de préparation a été pour partie effectuée par les élèves en dehors des heures d'enseignement de SVT. Ils disposaient pour cela d'un site sur lequel étaient indiquées les consignes. L'annexe C (p. 317) correspond aux copies d'écran de ce site. Le nombre de documents papier distribués en a été ainsi considérablement réduit ;
- cette phase de préparation comprenait un travail conduit par les enseignants d'éducation physique sur la gestion de l'effort au cours d'une randonnée ;
- nous n'avons pas fait appel aux guides du CBGA afin de pouvoir conduire le travail tel qu'il avait été défini en concertation avec les enseignants ;
- nous ne nous sommes pas rendus sur le site du Galibier pour lequel nous avons jugé que le repérage d'un affleurement n'était pas réalisable en autonomie par des élèves de terminale dans le temps imparti. Ce travail a été remplacé par un travail de modélisation et d'orientation de pli (pli de Saint Clément) en pâte à modeler.
- le nombre des activités techniques sur le terrain a été considérablement augmenté ainsi que le nombre des outils pour les mener à bien ;
- le bilan final demandé aux élèves était une histoire argumentée de la formation des Alpes afin de les inciter à prendre plus en compte la dimension temporelle.

Le tableau 4 résume le scénario qui a été mis en œuvre. Pour une description plus précise des tâches demandées aux élèves et des consignes données le lecteur pourra consulter l'annexe C p. 317.

<p>Séance A : préparation de la classe de terrain (2h00 de travaux pratiques) :</p> <p>L'objectif de cette séance est de préparer la classe de terrain en déterminant les sites sur lesquels se rendre, les observations à réaliser, les informations à recueillir et les mesures à effectuer. Lors de cette phase, réalisée en classe et à la maison, le travail des élèves est guidé grâce à des consignes accessibles en ligne.</p>	
<p><i>Ce que doivent faire les élèves...</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - identifier les phénomènes géologiques impliqués dans la formation d'une chaîne de collision et les traduire en indices observables sur le terrain. - localiser les sites géologiques à étudier, les indices à rechercher et déterminer les itinéraires à parcourir - déterminer les mesures à effectuer et les observations à réaliser. 	<p><i>Ce dont disposent les élèves...</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - un schéma représentant un modèle scientifique décrivant la formation d'une chaîne de collision - Géonote (secteurs géographiques du Chenaillet et du Briançonnais) - site de calcul d'itinéraire routier
<p>Séance B : classe de terrain (excursion de 2 jours) sur 3 sites : Chenaillet, berges du Guil et pli de Saint Clément</p> <p>L'objectif de cette classe de terrain est la collecte des données géologiques sur le terrain</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - échantillonner, rechercher, identifier, localiser, photographier, orienter, cartographier, mesurer, modéliser les indices montrant que les Alpes sont une chaîne de collision 	<ul style="list-style-type: none"> - GPS, appareil photo numérique, carte topographique, panorama, loupe, photographie aérienne, boussole, pâte à modeler...
<p>Séance C : exploitation de la classe de terrain (2h00 de travaux pratiques)</p> <p>L'objectif de cette séance est la constitution d'un jeu de données géoréférencées sur les indices de la formation d'une chaîne de collision sur l'un des secteurs étudiés et la rédaction d'une histoire géologique argumentée des Alpes.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - sélectionner, mettre en forme, commenter leurs photographies et géoréférencer ces images sur un secteur géographique. - rédiger une histoire argumentée des Alpes 	<ul style="list-style-type: none"> - Géonote - photographies et autres informations recueillies sur le terrain,

Tableau 4 : Scénario d'apprentissage des expérimentations de septembre/octobre 2006

5.1.4 Conception des scénarios d'apprentissage et praxéologie didactique

L'élaboration des scénarios nous a conduit à transposer, dans le cadre d'une classe de terrain, certaines pratiques de référence de l'activité du géologue. Il est ainsi possible de distinguer différents niveaux dans la *praxéologie didactique* (p. 80) que nous avons élaborée.

Le tableau 5 indique quelques exemples des différentes tâches et techniques que les élèves ont été conduits à mettre en œuvre sur le terrain. Les tâches décrites correspondent à un objectif de réalisation. Elles sont définies par le projet dont elles visent l'accomplissement. Les techniques correspondent aux procédures à exécuter pour accomplir les tâches. Ces techniques comprennent un certain nombre de méthodes et de règles. L'examen des techniques mises en œuvre par les élèves sur le terrain permet d'apprécier la distance entre les pratiques de référence du chercheur et le travail de l'élève. Cet examen permet de préciser les objectifs de formation technique. Il faut également noter que les techniques mises en œuvre dépendent du contexte. Ainsi, à titre d'exemple, dans le cas d'un travail de cartographie, il peut s'avérer nécessaire de s'assurer que l'échantillon examiné est en place et qu'il n'a pas été transporté alors que dans d'autres cas, cette précaution peut s'avérer inutile.

Tâches	Techniques	Outils utilisés	Exemples
Détermination des faciès métamorphiques caractérisant les métagabbros de la lithosphère océanique	Échantillonnage - sélection des métagabbros - sélection de roches au regard de leur niveau d'altération - identification des minéraux	loupe	Recherche des métagabbros dans le lit du Guil et identification des minéraux marqueurs d'une subduction
Tracé des limites des formations sur la carte topographique	Cartographie d'affleurements - sélection d'échantillons en place - identification des roches - localisation des limites d'affleurement sur le terrain - report de ces limites d'affleurement sur la carte topographique	Carte topographique, crayons de couleur	Cartographie des affleurements du col du Souréou et repérage des limites péridotite-gabbro-basalte
localisation d'objets géologiques sur carte	Lecture de carte - orientation de la carte - décodage des informations de la carte à l'aide de la légende - mise en relation de la carte et de la photographie de paysage	carte topographique, photographies de paysage, boussole	Lecture de paysage au sommet des télécabines des Chalmettes
identification de la direction des contraintes exercées au cours d'une phase de collision.	Orientation d'un pli - localisation de la charnière du pli - orientation de la charnière du pli à l'aide de la boussole - identification de la perpendiculaire à l'axe du pli et report de cette direction sur la carte topographique	Boussole, carte topographique	Modélisation du pli de Saint Clément en pâte à modeler et orientation de la maquette réalisée sur la carte topographique

Tableau 5 : Quelques exemples de tâches et techniques mises en œuvre sur le terrain par les élèves

Les exemples retenus ici permettent de mettre en relief différents points :

- Les procédures mises en œuvre peuvent être décrites à différents niveaux de granularité. Certaines d'entre elles peuvent constituer des tâches liées à des techniques particulières. Ainsi la technique de cartographie d'affleurement comprend nécessairement une phase d'identification des roches qui relève d'une technique d'échantillonnage.

- Ces techniques sont, dans certains cas, assez proches des pratiques de référence du géologue car les règles et procédures à appliquer peuvent être communiquées aux élèves. C'est le cas par exemple lorsqu'il s'agit d'échantillonner une zone.
- Dans d'autres cas les techniques sont éloignées des pratiques de références du géologue car elles ont été élaborées afin de résoudre une question didactique. C'est ainsi qu'il a été demandé aux élèves de relever les noms des sommets sur une photographie de paysage afin qu'ils soient conduits à se repérer sur la carte et sur le terrain ou de modéliser un pli en pâte à modeler (fig. 24).



Figure 24 : Reproduction du pli de Saint Clément (05) en pâte à modeler

La préparation des élèves leur a permis de conduire ce travail de manière autonome. Le travail des enseignants sur le terrain consistait alors principalement à gérer le déroulement du travail d'investigation, à solliciter les élèves et à répondre à leurs sollicitations.

Une attention particulière a été portée à l'articulation des différents *niveaux praxéologiques* pour l'organisation des séances. L'organisation des séances visait à ce que les élèves perçoivent le sens des tâches qu'ils étaient amenés à réaliser, que ces tâches concourent à la réalisation d'un projet compris et accepté par les élèves. C'est ainsi que les *techniques* mises en œuvre sur le terrain étaient au service d'un projet qui consistait dans la confrontation de données empiriques au modèle de formation d'une chaîne de collision. Cette confrontation était elle-même justifiée par un niveau théorique qui conduisait à interpréter la formation des Alpes dans le cadre de la tectonique des plaques. Ainsi, à titre d'exemple, l'orientation de l'axe du pli de Saint Clément devait permettre d'orienter les contraintes à l'origine de la formation de ce pli (niveau technologique) et de replacer ces contraintes dans le cadre du modèle et de la fermeture d'un océan alpin (niveau théorique).

5.2 Méthodes de recueil et de traitement des données

Le travail que nous avons conduit nous a amené à recueillir trois types de données qui ont été recueillis lors des différentes séances. Il s'agit d'une part des productions des élèves, sous forme papier-crayon ou informatique. Il s'agit également des enregistrements audio et vidéo de certains élèves et des traces informatiques des phases de travail avec Géonote. Il s'agit enfin de questionnaires, papier en 2005, en ligne en 2007, qui ont été complétés par les élèves. Nous avons donné aux enseignants la possibilité d'exprimer leurs points de vue lors des réunions consacrées à la conception des séances ainsi que lors des rencontres destinées à faire le point sur le déroulement de ces séances. Ces retours nous ont été précieux d'une part pour identifier des points à améliorer dans l'application et de nouvelles fonctionnalités à implémenter et, d'autre part, pour juger de l'acceptabilité du dispositif pour ces enseignants et recueillir des propositions de modifications des séances. Dans la mesure où notre travail porte principalement sur les élèves nous ne détaillerons pas l'ensemble des retours obtenus lors des échanges avec les enseignants.

Par ailleurs, nous avons choisi de ne pas procéder à des pré et post-tests mais de mettre en place une méthodologie de traçage de l'activité des élèves (traces audio et informatiques) pour mettre l'accent non pas sur les apprentissages réalisés en tant que tels mais sur les processus de genèse de ces apprentissages au travers des interactions développées au cours des séances (avec l'application informatique, avec le terrain, avec leurs pairs et avec l'enseignant).

Le traçage informatique de l'activité des élèves a été retenu comme méthode permettant de reconstituer la réalité des *praxéologies* développées. Les traces informatiques permettent en effet d'accéder à un suivi de l'activité des élèves et permettent de comparer cette activité aux tâches prescrites.

5.2.1 Recueil des productions écrites et des réalisations informatiques

Nous indiquons ci-dessous les différentes productions des élèves qui ont été recueillies à des fins d'analyse. Ces données concernent les séances en classe. Les traces écrites du travail sur le terrain – panorama légendé, tableau 1 finalisé avec les références des photographies réalisées, cartographie des affleurements – n'ont pas été récupérées.

Pour la Séance A

- *Tableau 1 indiquant les indices à rechercher sur le terrain* (annexe E p. 329).. Ce tableau a été complété lors de la première séance. Les élèves devaient y reporter les

phénomènes géologiques décrits par le modèle de formation d'une chaîne de collision et ce qu'ils impliquent en termes d'indices observables sur le terrain. Ils avaient à leur disposition un schéma décrivant le modèle. Leurs réponses nous ont permis d'analyser ce travail d'exploitation du modèle et de traduction en indices observables sur le terrain.

- ***Itinéraire tracé sur l'extrait de carte topographique.*** L'itinéraire tracé par les élèves peut être analysé selon sa pertinence par rapport à la question à laquelle il faut répondre (choix des arrêts) et selon son adéquation aux caractéristiques du terrain (prise en compte des distances à parcourir ou des sentiers disponibles...).
- ***Description et justification de l'itinéraire dans le bloc-note de Géonote.*** Ce texte saisi par les élèves permet d'identifier les arguments qui ont motivé le choix des élèves dans la sélection de tel ou tel arrêt. L'annexe F (p. 336) donne quelques exemples de productions d'élèves.

Pour la séance C

- ***Jeux de données réalisés pour Géonote.*** Les images sélectionnées et les textes saisis lors de l'édition de ces données permettent d'apprécier leur travail sur le *registre empirique* et la manière dont il est mis en relation avec le modèle scientifique. La précision de la géolocalisation de ces données a également été appréciée.
- ***Texte final saisi dans le bloc-note de Géonote.*** Ce texte contient des éléments qui donnent des informations sur la mise en relation du *registre empirique* avec le modèle scientifique et sur la prise en compte de la dimension temporelle.

5.2.2 Traces informatiques

L'application Géonote a été développée de telle manière qu'une action sur l'interface se traduise par la production d'une trace numérique. Ces traces numériques sont produites sous la forme de deux fichiers aux formats différents : .txt et .xml. Ces fichiers sont nommés de manière automatique avec la date, l'heure et le login de l'utilisateur.

L'annexe G p. 337 indique un extrait du fichier de traçage (traces_CARIP_Pwd_30-Sep-2005_09h28m51.xml) du binôme 9nuguet1 durant la phase 3. Nous en reproduisons un court extrait ci-dessous.

```
- <instant>
  <heures>09</heures>
  <minutes>32</minutes>
  <secondes>31</secondes>
  <entite>menu</entite>
  <action>modification (edition)</action>
  <parametre1>carte</parametre1>
  <parametre2>C:\Program
    Files\svt\Geonote\Donnees\Cartes\Queyras.gif</parametre2
</instant>
```

Figure 25 : Extrait d'un fichier de traçage

Le traçage permet d'enregistrer

- le temps, à la seconde près (balises *heure*, *minute* et *seconde*) ;
- l'entité sur laquelle l'action a été effectuée (balise *entite*) ;
- l'action effectuée sur cette entité (balise *action*) ;
- les paramètres de cette action (balises *parametre1*, *parametre2*...).

Ainsi, l'extrait de la figure 25 se lit ainsi :

« A 9h00 32mn et 31 sec, un élève du binôme a cliqué sur le menu et a activé le sous menu permettant la modification d'un secteur géographique. Le secteur géographique sélectionné était celui du Queyras. »

Le choix de ce type de structuration de la trace informatique permet d'envisager son exploitation dans un autre système informatique.

Le traçage informatique des élèves nous a permis d'apprécier la manière dont les élèves ont utilisé l'application. Nous verrons plus loin comment ces traces peuvent être visualisées sous la forme de chronogrammes permettant de mettre en relation l'utilisation de Géonote par les élèves, décrite en terme de *motifs informatiques*, et le travail qu'il effectuent du point de vue de l'analyse du modèle, de la constitution d'un *registre empirique* et de leur confrontation ainsi que du point de vue de l'apprentissage. Les traces informatiques nous ont également permis de cibler notre recherche, dans les enregistrements audio, de moments d'échanges susceptibles d'être intéressants à analyser pour le travail que nous souhaitons conduire. Ce traçage permet ainsi, par exemple, de localiser, dans les enregistrements audio, un épisode au

cours duquel les élèves d'un binôme complètent la fiche paramètre d'une donnée ou géolocalise cette donnée sur la carte.

5.2.3 Enregistrements audio et vidéo

La majorité des binômes a été enregistrée durant les séances A et C. Ceci a été réalisé à l'aide d'enregistreurs Minidisc qui permettent une conversion rapide des fichiers dans un format archivable informatiquement. Trois binômes ont été enregistrés à l'aide de micro HF qui permettent des enregistrements sur le terrain et le suivi, durant l'expérimentation, des échanges des élèves. Les fichiers audio ont été convertis au format mp3.

Pour un binôme, nous avons effectué une transcription complète des échanges en utilisant un logiciel de reconnaissance vocale. Cette transcription se trouve en annexe (annexe H p. 339).

Pour d'autres binômes nous avons effectués des transcriptions partielles qui correspondent à des phases dont nous avons jugé l'analyse intéressante. Les transcriptions ont été codées en utilisant la typologie des tâches que nous avons élaborée (annexe A p. 315). Ce codage a ensuite permis de réaliser la partie audio des chronogrammes.

Certains binômes ont également été filmés. Les vidéos réalisées nous ont parfois aidé à interpréter les échanges lorsque des gestes (montant une partie de l'écran, un document sur la table...) accompagnaient les propos.

L'annexe B p. 316 indique les différents enregistrements réalisés pour les deux expérimentations.

5.2.4 Réalisation des chronogrammes

Nous avons souhaité disposer d'outils permettant de confronter le travail effectué par les élèves avec Géonote observé à l'aide du traçage informatique et l'activité des élèves au travers de leurs échanges codés à l'aide de notre grille d'analyse.

Après avoir exploré différentes solutions techniques et n'ayant pas trouvé de solution satisfaisante pour le travail que nous souhaitions conduire, nous avons réalisé un progiciel à l'aide du tableur [©]Microsoft Excel. Ce progiciel permet de produire, à partir des fichiers de trace informatique ou de codage audio, de manière automatisée, des chronogrammes dans lesquels les différentes actions sur l'interface et l'activité des élèves sont symbolisées par des barres de couleurs disposées sur un axe des temps (temps exprimé en secondes écoulées depuis la première action sur l'interface).

Outre les problèmes rencontrés dans la conception de ce progiciel, la principale difficulté à laquelle nous avons été confronté a été de caler de manière temporelle les traces audio et informatiques. Ceci a été possible parce que nous avons pris soin d'annoncer, lors du lancement des enregistrements, l'heure affichée par l'ordinateur utilisé par les élèves.

La figure 26 indique, à titre d'exemple, les chronogrammes de la phase A pour le binôme 9nuguet1. Les chronogrammes se présentent sous la forme de trois bandes portant des barres de couleur. La première bande correspond aux traces informatiques, la seconde et la troisième aux enregistrements audio codés à l'aide de notre typologie des tâches. Le temps est indiqué en seconde sur le chronogramme de la trace informatique.

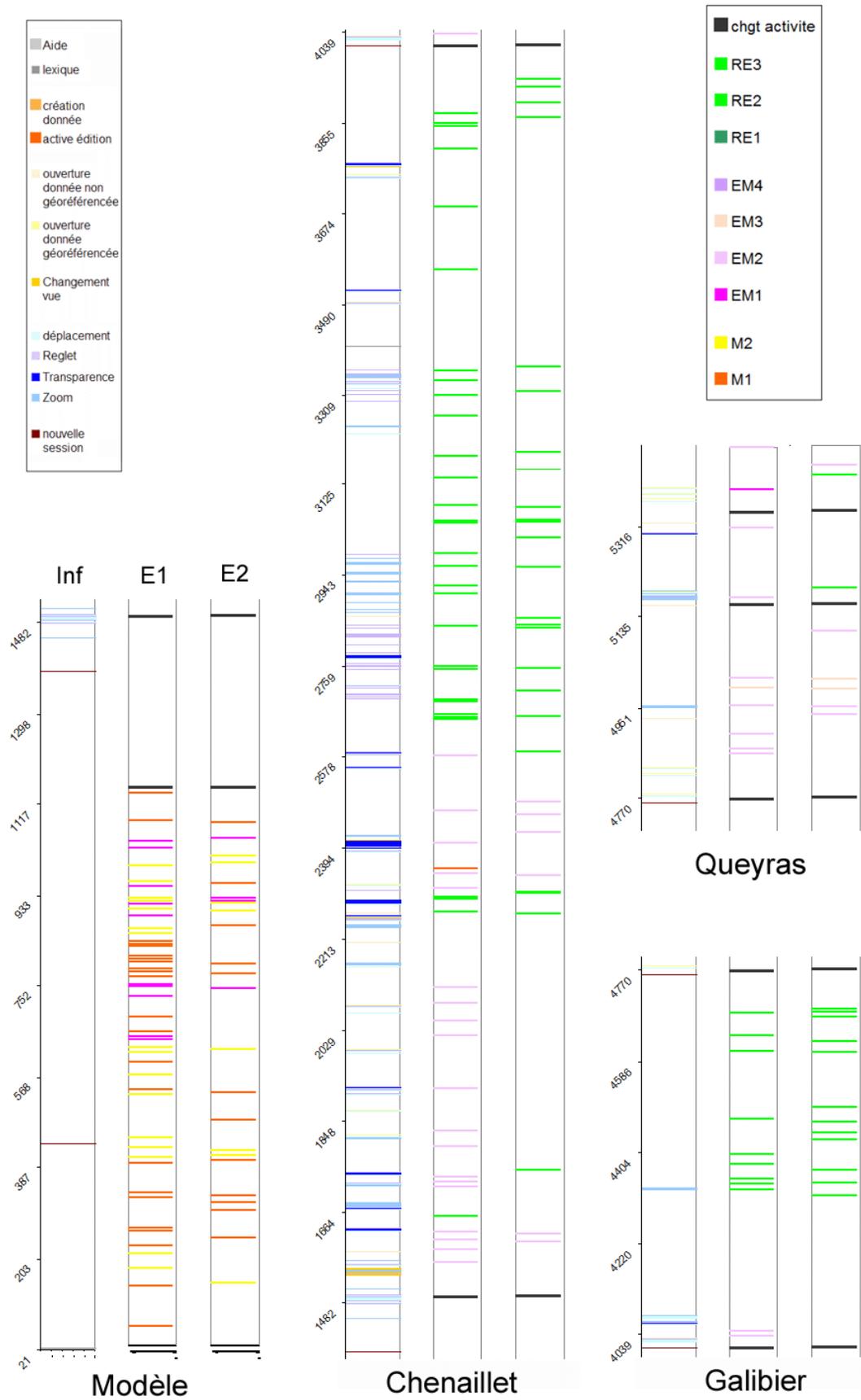


Figure 26 : 9nuguet1, chronogramme de la séance A

Chaque barre sur les chronogrammes correspond donc à une action sur l'interface ou à une verbalisation indicatrice de la réalisation d'un type de tâche par le binôme. Nous avons essayé d'utiliser des couleurs significatives qui permettent de se faire une idée globale de l'activité des élèves. C'est ainsi que, sur le chronogramme de la trace informatique les couleurs froides (tons de verts et de bleus) correspondent à l'utilisation des outils de navigation dans les cartes ou les données (zoom, déplacement, réglet...) alors que les couleurs chaudes (tons de jaunes, rouges ou bruns) correspondent plutôt aux fonctions permettant l'édition des données. Pour les chronogrammes audio, les verts correspondent à des tâches sur le *registre empirique* et les couleurs chaudes à des tâches relatives au modèle. Les couleurs intermédiaires correspondent aux tâches qui conduisent à la mise en relation de ces deux registres.

5.2.5 Questionnaires

Nous avons complété notre corpus avec la passation d'un questionnaire. Le questionnaire que nous avons utilisé au terme des expérimentations 2005 (annexe J p. 370) était plutôt centré sur la manière dont l'application était reçue par les élèves. Il s'agissait d'un questionnaire papier qui a été complété, en classe, la semaine qui a suivi ces expérimentations. Celui de 2006 (annexe K p. 373) était un questionnaire en ligne auquel les élèves ont répondu en classe ou en dehors de la classe selon les groupes. Les questions portent plutôt sur la perception des élèves sur les tâches qu'ils ont été amenés à effectuer.

En raison de la nature des questions posées aux élèves – principalement un recueil de leurs points de vue sur l'application Géonote ou sur les activités dans lesquelles ils se sont engagés – nous a semblé que le mode de passation du questionnaire – en classe ou à la maison – avait peu d'importance. C'est pourquoi nous avons laissé libre les enseignants de consacrer, ou pas une partie de leur horaire d'enseignement à ce travail.

L'ensemble des traitements statistiques effectués sur les productions ou les réponses des élèves ont été effectués avec le logiciel de traitement d'enquête ©Modalisa 5.0 que nous utilisons habituellement dans nos travaux lorsqu'un travail statistique se révèle nécessaire en raison de son utilisation aisée.

6 Une étude de cas, le binôme 9nuguet1

Dans cette étude de cas nous reprenons de manière chronologique le travail effectué par les élèves au cours des trois phases de l'expérimentation. Ceci nous permettra de donner au lecteur une idée aussi précise que possible du scénario retenu et de pointer, pour un binôme donné, des éléments de réponse aux deux questions de notre recherche : d'une part les fonctions jouées par le modèle au travers des activités mises en œuvre par les élèves et, d'autre part, le rôle joué par l'EIAH dans la médiation d'interactions permettant aux élèves de se constituer un *registre empirique* et d'établir des liens entre ce *registre empirique* et le modèle scientifique. L'analyse que nous conduisons consiste donc à identifier, à l'aide de notre typologie des tâches d'une démarche d'investigation, au travers des verbalisations que nous avons recueillies, d'une part les références aux registres – empirique et du modèle – évoqués par les élèves, d'autre part les indices d'une mise en relation de ces registres et enfin, les difficultés auxquelles les élèves sont confrontés et les apprentissages constitués. Nous examinons également les rôles joués par l'application au cours de ce travail. D'abord du point de vue de la manière dont les élèves l'utilisent pour se constituer un *registre empirique* et, ensuite, du point de vue de son influence sur le processus d'apprentissage.

Le binôme noté 9nuguet1 est un binôme d'élèves suivis lors des expérimentations de 2005. Ces élèves – il s'agit de deux élèves - nous avaient été indiquées par leur professeur comme étant des élèves « actives » et prompts à échanger au sein du binôme ce qui de notre point de vue était essentiel dans l'optique de recueillir des verbalisations susceptibles de fournir un matériau pour notre recherche. Par ailleurs, elles n'ont pas exprimé de réticences pour être filmées et enregistrées. Néanmoins, la possibilité leur avait été donnée, lors de l'école de terrain, de couper le microphone lorsqu'elles souhaitaient avoir des échanges personnels. Elles ont effectivement utilisé cette possibilité – probablement pour tenir des propos privés - et ont parfois oublié de remettre l'enregistrement en marche. De plus, du fait du relief, les émetteurs du micro HF étaient parfois hors de portée du récepteur du magnétophone c'est pourquoi les enregistrements réalisés sur le terrain sont incomplets. Ces enregistrements permettent cependant de se faire une bonne idée des activités conduites par les élèves. La transcription complète des échanges de ce binôme lors des phases en classe est indiquée en

annexe (annexe H p. 339). Seul un court épisode du travail réalisé sur le terrain a été transcrit complètement.

6.1 Identification des indices à rechercher sur le terrain

Dans ce paragraphe nous analysons comment les élèves, au cours de la séance de préparation de l'école de terrain, parviennent à traduire le modèle scientifique mis à leur disposition en indices observables sur le terrain. « Traduire en observables de terrain » signifie dans notre esprit faire une analyse du modèle afin d'en déterminer les caractéristiques et propriétés afin d'établir des prévisions sur le réel.

Les élèves disposaient d'un schéma et d'un texte explicatif indiquant les trois étapes de la formation d'une chaîne de montagne de type chaîne de collision (annexe L p. 376) : accrétion (ouverture d'un océan), subduction (disparition de la lithosphère océanique par plongée sous la lithosphère continentale) et collision (des deux lithosphères continentales). Ces étapes décrivent le modèle actuellement retenu par la communauté scientifique (Allègre, 1987 ; Brahic, Daniel, Hoffert, Tardy, & A, 1999) pour décrire la formation de chaînes de montagnes telles que les Alpes. Dans un premier temps, la consigne suivante avait été donnée aux élèves :

« En vous appuyant sur le modèle scientifique de la mise en place d'une chaîne de collision proposé par les géologues [...] et à l'aide de vos connaissances, relevez [...] les indices de terrain qui caractérisent la mise en place de ce type de chaîne. »

D'emblée, les deux élèves comprennent la consigne comme une demande d'identification des « roches » à rechercher sans que la notion de roche soit parfaitement claire. Le terme est en effet parfois employé pour décrire des structures géologiques telles que la « croûte continentale » ou parfois « l'ophiolite » comme le montrent les deux échanges suivants :

E1 : OK, il faut qu'on remplisse ça

E2 : **Il faut chercher les roches**

E1 : Exemple : présence de sédiments océaniques

E1 : Ah oui d'accord ça va être ça, sédiments de la marge, sédiments océaniques, **croûte continentale...**

Et plus loin :

E2 : **L'ophiolite c'est la roche non ?**

E1 : Hum, je sais pas.

Dans un premier temps, les éléments du modèle ne sont pas envisagés comme intégrés dans un réseau de relations décrivant l'ensemble du processus de formation d'une chaîne de collision. Les élèves extraient des éléments qu'elles considèrent comme pouvant avoir une réalité sur le terrain. Ces éléments sont considérés comme étant autonomes, indépendants des

autres éléments décrits par le modèle. C'est donc une entrée objectale au sens de Piaget (Piaget & Garcia, 1983), qui est privilégiée, c'est-à-dire une entrée privilégiant les caractéristiques des objets plutôt que les relations qu'ils établissent avec d'autres objets. Néanmoins, par la suite, les échanges montrent que les élèves envisagent le dynamisme des phénomènes impliqués dans la formation d'une chaîne de collision. Elles « mettent le modèle en histoire » en identifiant certaines relations entre les éléments du modèle :

E1 : [consulte le document présentant le modèle] La y'a les deux continents et ça les **sépare**

E2 : Ouais c'est ça l'accrétion. Au départ **ça se sépare**...et après quand c'est de la subduction...

E1 : Ca se **resserre**. C'est à l'autre bout du coup... Là t'as les deux continents et ils se séparent avec l'extension.

Si la situation construite a tendance à induire une lecture objectale du modèle, entrée qui paraît nécessaire en raison de la difficulté de la tâche à laquelle les élèves sont confrontés, on voit néanmoins que cette entrée peut être dépassée par les élèves.

La traduction du modèle en observables de terrain s'effectue en raisonnant à partir des phénomènes décrits par le modèle. Dans le cas de l'accrétion les élèves semblent confondre métamorphisme et volcanisme au niveau du rift. Leur raisonnement les conduit néanmoins à identifier une roche qui constitue un indice d'océanisation. Ceci transparaît dans l'échange transcrit ci-dessous :

E2 : Et euh, y'a métamorphisme des roches de la jeune lithosphère océanique

E1 : Donc...

E2 : A cause de ça, à cause du rift qui s'ouvre

E1 : Ben c'est la péridotite qui se transforme en basalte. C'est ça, métamorphisme des roches de la lithosphère océanique on va avoir... Qu'est-ce qu'on va trouver comme roche si on avait... **du basalte !**

Dans le cas de l'étape correspondant à la subduction, les élèves identifient les indices à rechercher au niveau du minéral. Elles utilisent leurs connaissances sur les transformations minéralogiques liées au métamorphisme pour prévoir, à partir des éléments fournis par le modèle, les minéraux qui, sur le terrain, devraient constituer des marqueurs de ces phénomènes. L'échange ci-dessous porte sur l'identification des minéraux marqueurs des conditions du métamorphisme qu'il faudra rechercher. Il montre que, à ce stade de leur travail, les élèves ont des difficultés à distinguer le métamorphisme Basse Pression, Haute Température (BP HT) de la phase d'accrétion du métamorphisme Haute Pression, Basse

température (HP BT) de la phase de subduction. Cette distinction est néanmoins correctement exprimée sur leur feuille-réponse (annexe M p. 377).

E1 : C'est la subduction qui [lit le texte décrivant le modèle]

E2 : [lit le texte décrivant le modèle]

E1 : Ouais, en fait l'hydrothermalisme là entraîne des métagabbros. ... Hornblende...

E2 : Eclogite

E1 : Non... Donc la subduction là.. métamorphisme [lit le texte décrivant le modèle]

E2 : [lit le texte décrivant le modèle]

E1 : Déjà, métamorphisme des roches de la lithosphère donc du coup ça va se transformer en **schiste vert**... Non schiste vert, schiste bleu, **éclogite**.

E2 : Ah mais oui... subduction

E1 : [consulte le texte décrivant le modèle] Oui... métamorphisme des roches de la lithosphère

E2 : Donc après...

E1 : Donc du coup, métagabbro devient schiste...

E2 : ... bleu vert et éclogite...

E1 : Non c'est vert, bleu, éclogite.

E1 : Schiste bleu alors du coup on va trouver des ... alors... **chlorites et actinotes**.

E2 : ...

E1 : Pour les schistes bleus c'est **glaucophane**... et éclogite c'est ... et **grenat**.

La plupart des termes employés (caractères gras) par les élèves au cours de cet échange ne sont pas utilisés dans le document qui décrit le modèle de formation d'une chaîne de collision. Seuls les termes métamorphisme, hydrothermalisme et subduction apparaissent dans le document. Cet échange montre donc que les élèves ne se sont pas contentés d'une simple lecture du schéma et du texte qui l'accompagnait mais ont fait appel à d'autres concepts, étudiés précédemment, pour traduire le modèle en observables de terrain.

Une autre difficulté rencontrée par ces élèves – et que l'on retrouve fréquemment chez d'autres binômes – porte sur la prise en compte qu'un indice possède lui même une histoire et qu'il peut subsister, transformé par les étapes postérieures à sa formation. Ceci est illustré par l'échange suivant au cours duquel les élèves relèvent que le prisme d'accrétion (non représenté sur le schéma décrivant le modèle) est un marqueur de la subduction mais elles n'envisagent pas d'en retrouver des indices lors de l'étape de collision.

E1 : Maintenant est-ce qu'on va voir... Ben un prisme d'accrétion alors ? Mais est-ce qu'on peut le voir ou pas ça ? On peut pas...

E2 : Ben non parce que quand nous on va arriver on sera plus là on sera là [montre la dernière étape du modèle].

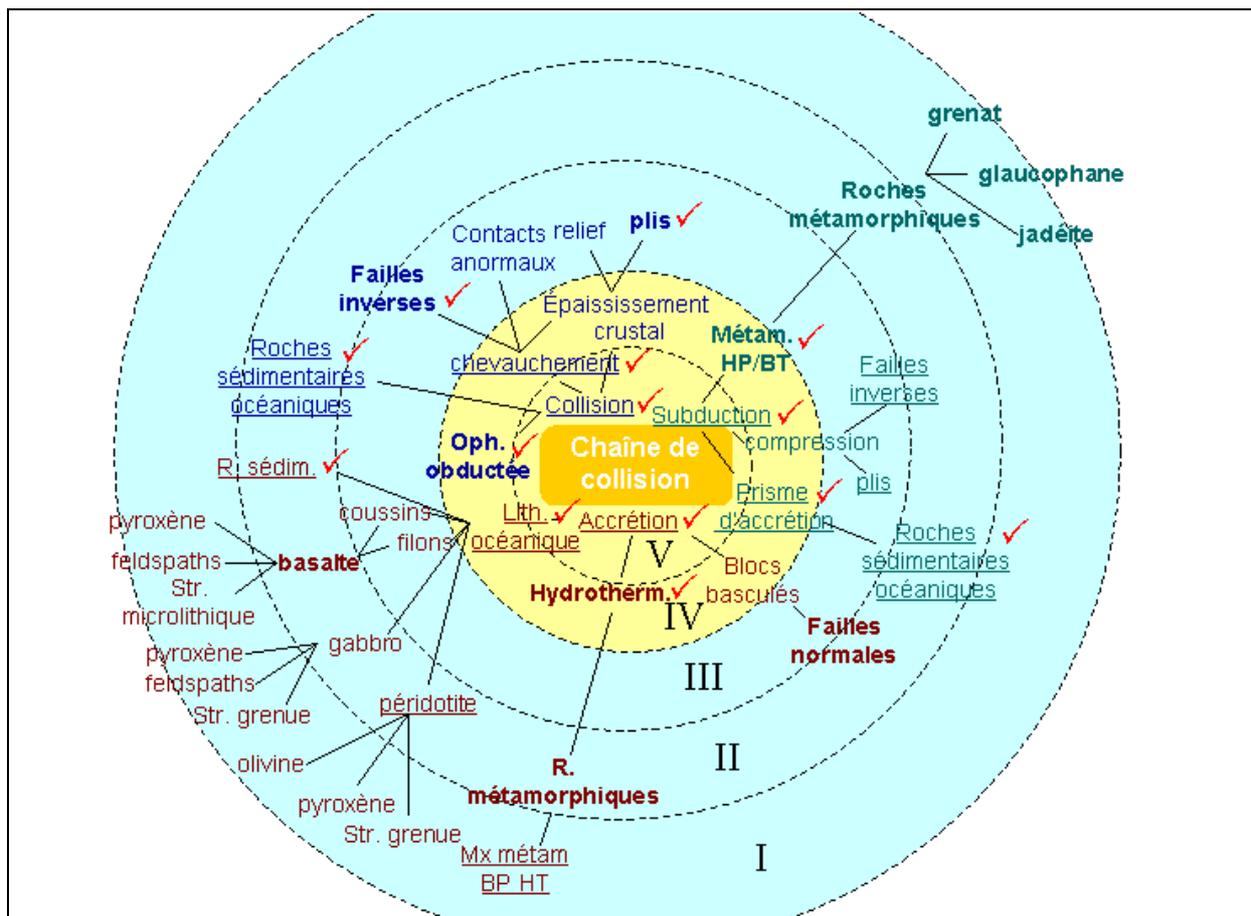
Cet échange traduit les difficultés que les élèves rencontrent, dans la situation à laquelle elles sont confrontées, pour élaborer un *raisonnement diachronique* (p. 34) qui pourrait les conduire à envisager que l'événement qu'elles ont identifié est une étape dans un processus plus large. Nous verrons plus loin que ce type de difficulté est assez fréquemment rencontré dans les réponses des élèves et nous donnerons plus loin quelques éléments d'interprétation.

Les échanges et les réponses des élèves montrent qu'elles rencontrent également des difficultés pour distinguer les indices observables sur le terrain des structures qui peuvent être inférées à partir de ces indices. C'est ainsi que la « croûte océanique prisonnière entre les sédiments (ophiolite) » est mentionnée. D'autre part, les élèves semblent également avoir du mal à distinguer les phénomènes géologiques des objets que ces phénomènes produisent. Le métamorphisme est alors indiqué comme un indice recherché sur le terrain. Ceci traduit probablement une confusion entre ce qui relève du registre du modèle et ce qui relève du *registre empirique*. Les élèves n'ont pas les compétences et l'expérience du terrain qui leur permettrait de tracer une limite nette entre les éléments des différents registres. Par ailleurs, cela traduit également des difficultés dans l'appréciation des échelles des objets et des structures géologiques que le modèle décrit.

La figure¹⁴ 27 permet de lister les caractéristiques et phénomènes géologiques relatifs au modèle scientifique décrivant la formation d'une chaîne de collision. Il permet également de décrire les relations logiques qui les relient. Nous avons indiqué en caractères gras les éléments qui ont été relevés par les élèves dans leurs réponses écrites, les éléments qui apparaissent dans leurs échanges sont soulignés et le caractère ✓ indique les termes qui apparaissent de manière explicite dans le texte ou le schéma qui décrivent le modèle (annexe L p. 376). On constate que la traduction des caractéristiques du modèle en observables de terrain a été faite avec des niveaux de détails plus ou moins importants selon l'étape considérée. Pour la collision les élèves de ce binôme se sont limités aux structures géologiques (III) qui, par ailleurs sont explicitement mentionnées dans le texte. Pour la subduction ils ont également indiqué les roches (II) qui ont cette fois été déduites du modèle. Enfin, c'est pour la subduction que cette traduction est la plus précise puisque les élèves ont retenu dans leurs réponses les minéraux marqueurs d'un métamorphisme caractéristique de cette étape.

¹⁴ Une description de ce schéma se trouve en p. 201

On a vu plus haut que, en ce qui concerne l'étape de subduction, les élèves sont capables d'évoquer des termes qui ne sont pas mentionnés sur le document à leur disposition. Néanmoins, pour les autres étapes de la formation d'une chaîne de collision, on peut voir que les termes que les élèves utilisent sont principalement ceux qui apparaissent dans le texte ou la légende qui accompagnent les schémas. Ceci tend à montrer que, à ce stade de la séance, la phase de *dévolution* du problème n'est pas achevée. Ce résultat peut en effet être interprété en terme de contrat didactique (Brousseau, 1986). Les élèves tentent de décoder les attentes de l'enseignant et de les satisfaire. Cela les amène parfois à extraire du document dont il disposent les termes qu'ils considèrent comme attendus par l'enseignant plutôt que de véritablement s'engager dans un travail de traduction des éléments du modèle en observables de terrain.



La figure permet de décrire le modèle de formation d'une chaîne de collision en listant ses éléments et en précisant leurs relations.

I. les minéraux, II. les roches, III. les structures géologiques de premier ordre. Ces trois premiers niveaux représentés sur fond bleu sont des éléments du modèle qui peuvent constituer de véritables observables de terrain.

Le niveau IV correspond à des phénomènes géologiques ou des structures géologiques de second ordre, qui, non observables directement, peuvent être déduites de la présence d'éléments des niveaux précédents.

Les indices à rechercher sur le terrain indiquées par les élèves (caractères gras ou soulignés) sont de différentes natures. Certaines d'entre-elles peuvent constituer de véritables observables de terrain (basalte, plis...) mais d'autres sont des phénomènes géologiques (hydrothermalisme) ou des structures géologiques non observables directement (prisme d'accrétion) qui relèvent strictement du registre du modèle. La frontière entre les éléments du modèle qui peuvent avoir une réalité dans le *registre empirique* (sur fond bleu) et ceux qui relèvent spécifiquement du modèle (fond jaune) n'est pas clairement identifiée par les élèves.

Par ailleurs, selon les étapes du modèle considérées, les indices indiquées par les élèves ont un niveau de précision variable. Il s'agit de l'échelle du minéral pour la subduction, de la roche ou de la structure tectonique pour la collision.

Figure 27 : Structures géologiques et indices mentionnées par les élèves
(en gras dans leurs réponses écrites, en caractères soulignés dans leurs verbalisations)

L'analyse du chronogramme du binôme (annexe I p. 367) au cours de cette phase montre que, pour l'essentiel, les échanges des élèves témoignent d'une activité qui consiste dans l'identification des caractéristiques (M1) du modèle c'est-à-dire l'identification d'éléments de différentes natures qui peuvent être représentés sur le schéma mis à leur disposition :

E1 : Ouais... Pourquoi, ils mettent présence de **sédiments océaniques** ? Parce que là y'en a. A ouais d'accord. Donc là y'a présence de **faille**...

E2 : ...normale

E1 : Normale. Faut mettre aussi... sur la marge continentale... marge continentale.

Ouais, c'est un continent... donc euh... **faille normale sur marge continentale**

Ce peut être également des caractéristiques non représentées sur le schéma mais qu'il est possible de déduire des informations fournies en faisant appel à des connaissances acquises antérieurement. C'est le cas dans la transcription ci dessous, déjà évoquée plus haut pour argumenter un autre aspect :

E1 : Ouais, en fait l'hydrothermalisme là entraîne des **métagabbros**. ... **Hornblende**

E2 : **Eclogite**

E1 : Non... Donc la subduction là.. métamorphisme... [lit le doc modèle]

E2 : [lit le doc modèle]

E1 : Déjà, métamorphisme des roches de la lithosphère donc du coup ça va se transformer en **schiste vert**... Non **schiste vert, schiste bleu, éclogite**.

Au cours de cette phase, les échanges portent également sur les propriétés (M2) du modèle et les phénomènes géologiques impliqués :

E1 : [consulte le doc modèle] La y'a les deux continents et **ça les sépare**

E2 : Ouais c'est ça l'accrétion. Au départ **ça se sépare**...et après quand c'est de la subduction...

E1 : Ca se resserre. C'est à l'autre bout du coup... Là t'as les deux continents et **ils se séparent avec l'extension**.

E2 : Oui [lit le doc modèle]

La moitié du temps consacré à cette activité est exclusivement employée à des tâches d'identification des caractéristiques ou des propriétés du modèle. Ce n'est que dans un second temps que les élèves commencent à établir des prévisions en termes d'observables de terrain. On trouve alors, dans l'enregistrement, des verbalisations telles que celle indiquée ci dessous :

E1 : Schiste bleu alors **du coup on va trouver** des ... alors... chlorites et actinotes

« Schiste bleu » a été déduit du métamorphisme indiqué sur le modèle. « Chlorite et actinote » sont des minéraux indicateurs de ce métamorphisme et que l'on peut s'attendre à trouver sur

le terrain. La tâche prescrite conduit donc les élèves à commencer à faire des liens entre *registre empirique* et registre du modèle. Le modèle est représenté par le schéma dont les élèves disposent. Les consignes qui leur sont données les amènent à identifier les caractéristiques de ce modèle et les phénomènes géologiques qui leur ont donné naissance. Le *registre empirique* est inféré à partir de ce modèle, les élèves n'y ont pas directement accès mais sont conduits à établir des prévisions sur ses caractéristiques.

Les productions et les échanges de ce binôme témoignent du fait que les élèves sont capables d'utiliser un modèle pour effectuer des prévisions en terme d'observables de terrain et par là même de commencer à établir des relations entre le registre du modèle et le *registre empirique*. On voit néanmoins que, dans la réalisation de cette tâche, les élèves se heurtent à des difficultés qu'ils ne sont pas toujours en mesure de franchir. En premier lieu, le caractère prédictif d'un modèle repose sur le fait que l'élève soit en mesure de faire appel à des connaissances antérieures (sur la composition minéralogique des roches par exemple), d'avoir une appréciation correcte des échelles des objets impliqués et une certaine expérience du travail de terrain. Ces conditions n'étant pas complètement remplies, les prévisions que les élèves établissent sont plus ou moins précises selon la phase de la collision considérée et il leur est parfois difficile de distinguer ce qui relève du registre du modèle de ce qui relève du *registre empirique*. On voit également que la question de la mise en œuvre d'un raisonnement diachronique est centrale pour que les élèves utilisent la fonction prédictive du modèle. Si les liens chronologiques entre les différentes étapes du modèle ne sont pas établis, les élèves ne sont pas en mesure d'identifier les transformations successives subies par un même objet géologique et donc dans l'incapacité de prévoir la présence de cet objet.

6.2 Préparation des observations à effectuer sur le terrain

Cette phase avait pour objectif d'opérationnaliser le travail précédent. Les élèves devaient ainsi déterminer les procédures du travail à effectuer sur le terrain afin de retrouver les indices prévus par le modèle. Il s'agissait par exemple de déterminer les sites sur lesquels des indices prévus par le modèle devaient être visibles et d'établir un itinéraire pour se rendre sur ces sites. C'était donc l'occasion d'une première confrontation entre le registre du modèle (ses caractéristiques) et le *registre empirique* (les informations géolocalisées du site étudié disponible dans l'application Géonote).

6.2.1 Sélection des arrêts à visiter sur le secteur du Chenaillet

Au cours de cette étape, la consigne donnée aux élèves portait sur la localisation des observations à effectuer sur le terrain :

Sélectionnez les arrêts sur lesquels il faudra se rendre pour relever des indices qui caractérisent une chaîne de collision.

Pour cela, les élèves disposaient de l'application Géonote et d'un jeu de données pour le secteur du Chenaillet sur lequel étaient indiqués différents arrêts¹⁵ dont certains étaient inutiles pour la résolution du problème (car situés sur des affleurements de terrain sans rapport avec la formation d'une chaîne de montagne) ou inaccessibles dans le cadre d'une randonnée d'une journée. Les informations apportées par l'application sont de différentes natures. La carte topographique apporte des informations sur les sentiers praticables, le relief du site et les distances à parcourir. La carte géologique permet de localiser les affleurements des différents types de roches. Les données géolocalisées fournissent des informations succinctes sur ces roches ou sur certaines structures géologiques. L'application était donc destinée à fournir aux élèves des informations leur permettant de commencer à se construire un *registre empirique* afin qu'il puisse le confronter aux prévisions établies lors de l'exploitation du modèle.

Ce travail était l'occasion d'une première utilisation de l'application Géonote. Le chronogramme de cette phase pour le binôme 9nuguet1 permet de se faire une idée de la manière dont l'application est prise en main.

¹⁵ Nous rappelons que nous utilisons le terme « arrêt » pour désigner un affleurement, un point de vue... sur lequel des observations peuvent être réalisées.

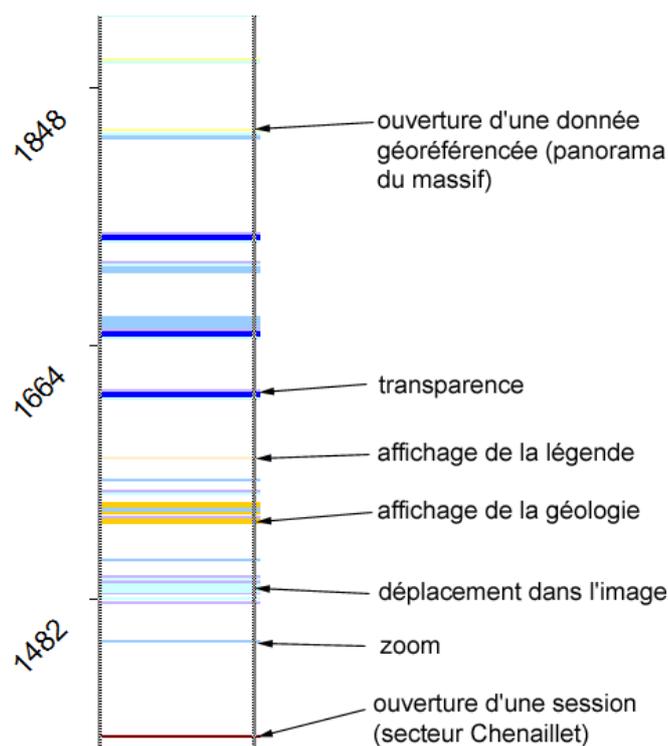


Figure 28 : Chronogramme du binôme 9nuguet1 : prise en main de Géonote

La figure 28 permet de constater que, outre la possibilité d'utiliser la transparence qui, comme le montre l'enregistrement audio, a été montrée par l'enseignante lors d'une des ses interventions, les principales fonctionnalités de Géonote sont repérées très rapidement par les élèves de ce binôme. En cinq minutes environ, les élèves ont ouvert une session, sélectionné le secteur géographique à étudier, affiché les informations géologiques du secteur et la légende correspondante ainsi que commencé à zoomer et se déplacer sur la carte. Environ trois minutes plus tard, une première donnée disponible est consultée. Les potentialités de l'application avaient été préalablement montrées lors d'une démonstration du logiciel en utilisant un vidéoprojecteur mais pas la manière d'y accéder. L'accès à ces fonctionnalités semble donc relativement intuitif pour ce binôme.

Les réponses rédigées par les élèves dans le bloc-note de l'application permettent de constater que le binôme a sélectionné 3 arrêts à visiter sur le secteur du Chenaillet (Annexe M p. 377) :

- arrêt 3 : « car on y trouve des affleurements de gabbro » ;
- arrêt 2 : « car il y a de la serpentinite qui est de la peridotite hydratée » ;
- arrêt 4 : « car on y trouve des basaltes en coussins (pilows) [sic] ».

L'argumentation utilisée pour justifier ces choix se fonde sur la liste des indices qui a été préalablement établie, elle même basée sur le modèle décrivant les étapes de la formation d'une chaîne de collision.

Les réponses rédigées par les élèves et les échanges au cours de cette phase montrent qu'elles procèdent en établissant des correspondances terme à terme entre le registre du modèle et le *registre empirique* concrétisé par les informations disponibles dans l'application. Pour chaque indice que le modèle permet de prévoir, les élèves recherchent un élément qui lui corresponde dans l'application. Ce travail les amène à ce constituer un *registre empirique* : les limites des formations géologiques sont repérées, la nature des roches disponible discutée. De nombreux échanges témoignent du fait que la situation induit ce travail de constitution du *registre empirique* et du rôle joué par l'application dans la médiation des interactions. A titre d'exemple, dans l'échange retranscrit ci-dessous les élèves affichent la carte géologique et repèrent la présence de basaltes dans le secteur du Chenaillet. Elles envisagent alors la possibilité que ces basaltes soient des basaltes en coussins :

E2 : Alors là c'est le 4

E1 : Ben on met apparemment... le truc topographie...

E2 : Géologique...

E1 : Apparemment en 4 il y a des basaltes, on pourrait voir des basaltes en coussins

Les verbalisations des élèves montrent que durant toute la durée de cette activité elles s'en tiennent à cette recherche de correspondances, terme à terme, entre les indices prévus par le modèle et le *registre empirique* que permet de se constituer les informations disponibles dans l'application. Le modèle n'est pas envisagé comme un système décrivant des liens et interactions entre ses différents éléments constitutifs mais plutôt comme une collection de caractéristiques indépendantes. C'est donc, comme lors du travail initial sur les caractéristiques du modèle, une entrée objectale qui est privilégiée. Ces caractéristiques sont recherchées pour elles-mêmes et de manière indépendante. Les relations entre les éléments du *registre empirique*, leur histoire, le dynamisme de leur formation, ne sont pas mentionnés et donc pas discutés.

Dans certains cas, la légende de la carte géologique mentionne explicitement une roche qui constitue un indice recherché et les élèves ne rencontrent pas de difficulté pour sélectionner l'arrêt considéré. Dans d'autres cas, les termes utilisés pour nommer la roche indiquée par la légende de la carte géologique et pour nommer le type d'indice recherché sont différents (serpentinite plutôt que péridotite, basalte plutôt que basalte en coussin...). Cela conduit les élèves à prévoir certaines observations : « on pourrait voir des basaltes en coussins », mais également à ne pas pouvoir établir certaines correspondances entre le modèle et le *registre empirique*. La transcription ci-dessous correspond à une telle situation au cours de laquelle c'est l'enseignante qui vient débloquent la situation en donnant la solution.

L'enseignante est notée P :

P : Alors là tu n'as pas péridotite mais tu as quelque chose. Qu'est-ce que c'est qu'une serpentine ?

E1 : Péridotite hydratée... Donc tu mets l'arrêt 2 car...

E2 : On trouve de la serpentinite qui est de la péridotite hydratée

Au final, les arrêts sélectionnés par ce binôme satisfont aux critères de pertinence et d'accessibilité attendus dans la mesure où ils permettent d'observer les différentes roches d'une lithosphère océanique et d'en apprécier les relations structurales. Ce résultat a été obtenu en grande partie sans intervention de l'enseignante mais pour l'échange que nous évoquons ici elle apporte l'essentiel de la solution. Les arrêts sélectionnés permettent donc d'éprouver la validité du modèle, pour l'étape d'accrétion océanique, sur ce secteur géographique. Ce travail a ainsi conduit les élèves à commencer à se constituer un *registre empirique*. La nature des roches visibles sur le secteur a été identifiée. Certaines d'entre elles sont repérées comme étant en relation avec le modèle de formation d'une chaîne de collision. D'autres n'ont pas été retenues. Bien que les verbalisations des élèves n'apportent pas d'information sur les critères qui ont été utilisés pour les exclure, on voit que le modèle a constitué un cadre qui a guidé et contraint la manière dont s'est effectuée la constitution du *registre empirique*. Les informations sélectionnées sont celles qui ont un sens dans le cadre du modèle scientifique. Néanmoins, les relations entre les éléments du *registre empirique* n'étant pas identifiées, les élèves ne semblent pas relever que les différentes roches présentes témoignent de la présence d'une lithosphère océanique.

6.2.1.1 Détermination de l'itinéraire à parcourir sur le secteur du Chenaillet

L'étape suivante consistait à déterminer l'itinéraire à parcourir pour se rendre sur ces arrêts. Nous avons choisi de mettre en place cette situation car nous souhaitons que les élèves commencent à se faire une idée des caractéristiques du site qui faisait l'objet de la classe de terrain. Nous souhaitons les amener à identifier le relief, à reconnaître quelques repères géographiques, et localiser les sites sur lesquels ils seraient amenés à se rendre. Pour cela, les élèves disposaient de l'application Géonote et des outils permettant de consulter les informations topographiques et géologiques du secteur : zoom et déplacement, transparence, réglet et légende des cartes. Ce travail est illustré par la figure 29.



Une partie de la séance de préparation de l'école de terrain a été consacrée à déterminer l'itinéraire à parcourir pour recueillir les différents indices de la formation d'une chaîne de collision. L'image montre deux élèves engagés dans ce travail. Il ont affiché la carte topographique du secteur ainsi que sa légende et recherchent l'itinéraire le plus pertinent.

Figure 29 : Détermination de l'itinéraire de la classe de terrain avec Géonote

Cette étape du travail était décrite par la consigne suivante :

« Proposez un itinéraire précis à parcourir à pied (depuis l'arrêt du bus à Cervière), permettant d'observer les indices recherchés. Décrivez et justifiez cet itinéraire, puis tracez le sur la carte topographique. »

Bien qu'ils affichent et utilisent la légende de la carte topographique, les élèves ont des difficultés à interpréter la carte topographique que l'application permet de consulter. Les chemins de randonnée sont, dans un premier temps, confondus avec des routes et c'est une intervention de l'enseignante qui, en aidant les élèves à utiliser la légende disponible, va permettre une bonne interprétation de la carte.

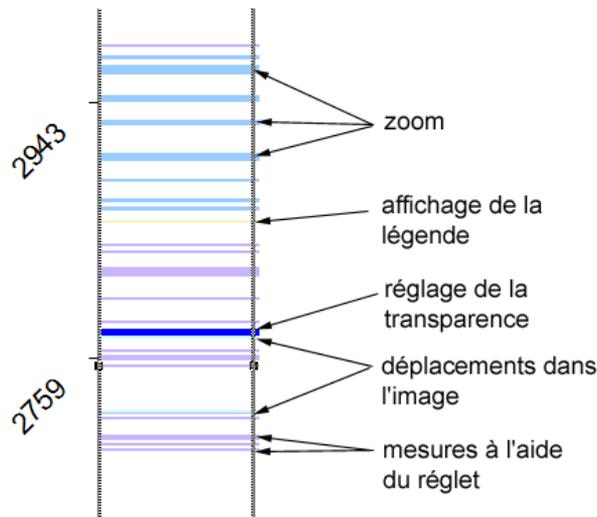


Figure 30 : Extrait de chronogramme du binôme 9nuguet1 : détermination de l'itinéraire à parcourir

L'extrait de chronogramme de la figure 30 indique les fonctionnalités de Géonote employées au cours de cette phase. C'est un moment au cours duquel l'application est très utilisée. Les zooms et les déplacements dans l'image de la carte permettent d'afficher la zone effectivement utile pour effectuer le travail demandé. Le réglage de la transparence permet de masquer les informations géologiques pour n'afficher que les informations cartographiques effectivement nécessaires. L'affichage de la légende permet le décodage de ces informations. Ces outils sont utilisés pour repérer les sentiers qui conduisent aux arrêts sélectionnés. Les échanges qui portent sur le repérage topographique sont nombreux. Ils témoignent d'un véritable travail de décodage des informations cartographiques :

E1 : Ah mais non on est obligées de prendre la route principale quand même... Ah mais ça fait faire un détour

Et plus loin :

E1 : Oui mais attends ça ne nous fait pas...Ca va faire long. Ca nous fait faire un détour. Ca c'est une ville. Ah ! c'était mieux avant. Ah ! Ca redescend. Là en bleu... hop... hop... Ah mais ouais.. faut prendre le [sentier] bleu.

Des éléments du relief semblent repérés. Les mesures effectuées à l'aide du réglet permettent d'évaluer les distances, à vol d'oiseau, entre les différents arrêts visités, même si, comme le montre l'échange suivant, les distances à vol d'oiseau ne permettent pas aux élèves d'apprécier totalement les difficultés liées au relief et les distances réellement parcourues :

E1 : 2 km

E2 : Ben ça va. 2km à pied c'est pas.

E1 : Oui mais t'as vu comment ça...

E2 : C'est vrai que ça monte. Là ça fait 2km5.

La figure 31 montre l'itinéraire que ces élèves ont tracé. Cet itinéraire est très proche de celui qui a été décidé par les enseignants et finalement suivi. Il est pertinent par rapport à la question posée.

Nom de l'élève : ..
Classe : 255.3
Noms du Binôme ..
N° ordinateur : ..

Figure 3 : carte topographique du Chenaillet
(2,5 cm sur la carte correspondent à 1 km sur le terrain)



7

« j'ai choisi l'arrêt 3 car on y trouve des affleurements de gabbro.puis l'arrêt 2 car il y a de la serpentinite qui est de la peridotite hydratée.ainsi que l'arrêt 4 car on y trouve des basaltes en coussins (pillows).pour une question pratique on fera les arrêts dans l'ordre 2,3,4.
itinéraire: depuis l'arrêt de bus à Cervières, rejoindre l'itinéraire balisé sur sentier (rose) à vol d'oiseau 2,7 km.donc environ 4 ou 5 kilomètres.
ce secteur géologique était occupé par un domaine océanique au système du jurassique (ère mézozoïque),entre 200 et 18 Ma d'années. »

Figure 31 : Itinéraire tracé par le binôme 9nuguet1

Pour réaliser ce travail, les élèves disposaient de la photocopie d'un extrait de carte sur lequel il leur avait été demandé de tracer l'itinéraire. Ils disposaient également de Géonote pour effectuer ce travail de lecture de carte. Le chronogramme du binôme (annexe I p. 367) montre que c'est l'utilisation de l'application qui a été privilégiée. Toutes les fonctionnalités prévues pour ce travail sont utilisées (zoom, réglet, déplacement, transparence). Le chronogramme montre également deux phases au cours de ce travail : une première phase qui correspond à la sélection des arrêts à visiter, phase pour laquelle les échanges portent essentiellement sur la mise en relation du modèle et du *registre empirique* pour déterminer les procédures du protocole (EM2), puis, une seconde phase, correspondant à la détermination de l'itinéraire, au cours de laquelle les échanges témoignent d'un travail d'identification des caractéristiques du *registre empirique* (RE2).

Pour le secteur du Chenaillet, ces élèves ont donc pu, dans le cadre d'un travail autonome, concevoir un protocole d'observation pertinent par rapport à la question à résoudre. Ce protocole prévoit des roches à rechercher, des sites sur lesquelles elles devraient être observées et un itinéraire pour s'y rendre.

Au delà de la réussite de cette tâche, l'analyse de l'activité des élèves montre que la situation construite a permis le développement de différents types d'interactions. Il s'agit en premier lieu d'interactions entre un sujet-apprenant et des objets à connaître représentés par le modèle scientifique en jeu et le *registre empirique* que ce modèle permet d'interpréter. Il s'agit également d'interactions avec l'application qui permet d'instrumenter le travail d'investigation qui est mené. Il s'agit enfin d'interactions sociales au sein d'un binôme et avec la situation et de médiatiser les interactions avec l'enseignant. Le caractère épistémique de ces interactions est attesté par le fait que les verbalisations des élèves traduisent une certaine prise en compte des caractéristiques du *registre empirique* et une première étape de mise en relation de ce registre avec le modèle. Par ailleurs, au terme de cette séance, les élèves disposent des éléments permettant de justifier le travail qui sera conduit sur le terrain, tant au niveau des procédures qui seront mises en œuvre que de la signification des indices qui seront relevés.

6.2.2 Mise en relation des âges des terrains et du chevauchement sur le secteur du Galibier

Un chevauchement est le recouvrement, suite à un mouvement tectonique, au niveau d'un contact dit anormal, d'un ensemble de terrains par d'autres. L'identification d'un chevauchement sur le terrain est plus ou moins difficile, mais il passe toujours par

l'identification de la présence d'un contact anormal. Afin de rendre les élèves autonomes en ce qui concerne la tâche d'identification d'un chevauchement sur le terrain, nous les avons conduits, lors de la phase de préparation, à travailler sur cette notion. Pour le secteur du Galibier, la consigne portait sur l'identification des observations à effectuer pour repérer un chevauchement :

En mettant en relation la carte géologique du Galibier [...] et le bloc diagramme d'un chevauchement [...], indiquez en quoi la succession des âges des terrains rencontrés sur le parcours matérialisé par des arrêts sur la carte indique la présence de chevauchements dans ce secteur géographique.

L'identification d'un chevauchement repose donc, en particulier, sur la présence de contacts anormaux, c'est-à-dire entre terrains ayant subi des déplacements. Dans le cas que les élèves ont eu à étudier, il s'agit de terrains d'âges différents. La succession chronologique des terrains est bouleversée par la tectonique. La compréhension de la géométrie d'un chevauchement est complexe. Elle passe par l'interprétation de la structure tridimensionnelle des terrains à partir d'observations cartographiques donc en deux dimensions.

Pour réaliser ce travail, les élèves disposaient de la carte géologique du secteur du Galibier, ainsi que d'un bloc diagramme représentant un chevauchement. Ces informations étaient disponibles à partir de l'application Géonote.

L'échange retranscrit ci-dessous se déroule après une intervention de l'enseignante qui a demandé aux élèves de mettre en relation l'image du bloc diagramme représentant un chevauchement et la carte géologique du secteur du Galibier, les élèves repèrent, sur la carte, une zone dont les contacts anormaux signalent la présence de chevauchements.

E2 : Ben oui regarde. Jurassique Jurassique, Jurassique, Trias, Trias, après éocène, éocène... On a une succession en fait de...

E1 : Non parce qu'on est sur le Galibier.

E1 : Alors, là c'est les plus récents... Donc la on a des récents... du récent...

E2 : Des vieilles... Et après des vieilles...

E1 : Ah, voilà. Là on va bien voir. Là on a du récent. Après du plus ancien. Du récent. Du ancien et du récent...

E2 : Faut noter. On remarque une alternance des âges des roches...

E1 : ... Des âges des terrains...

E2 : Des âges des terrains... Dans le secteur...

E1 : ... À l'arrêt 2. Tu mets entre parenthèses éocène jeune... [...] arrêt 2

E2 : Arrêt trois. C'est du jurassique. Après l'arrêt quatre c'est du Crétacé. C'est plus jeune que le Jurassique quoi...

E1 : [...].

E2 : Et ensuite du Trias... À l'arrêt cinq.

E1 : Après c'est du Trias. quartzite et cargneule. Donc c'est plus ancien.

E2 : Et ensuite, de nouveaux, du Jurassique, plus récent que Trias.

Ces échanges montrent que les élèves ont réussi à identifier un marqueur de la présence de chevauchement, marqueur qui pourra être utilisé lors de la phase de travail sur le terrain.

Néanmoins, les échanges enregistrés ne permettent pas de s'assurer qu'elles ont compris la géométrie de ce type de structure géologique ou si elles ont simplement intégré une des caractéristiques géologiques qui signent la présence d'un chevauchement.

Cet exemple montre les relations complexes que les élèves doivent établir pour mettre en relation le registre du modèle et le *registre empirique*. Ces relations sont représentées sur la figure 32.

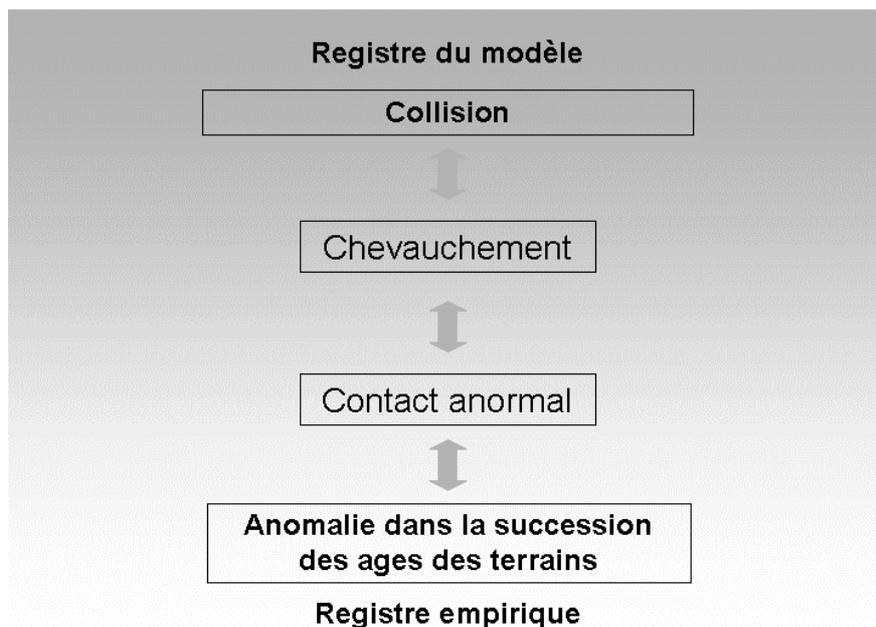


Figure 32 : Liens entre registre du modèle et registre empirique, cas d'un chevauchement

Le modèle prévoit la présence de chevauchements. Un chevauchement est caractérisé par un contact anormal. Ce contact anormal peut être identifié par la présence, sur le terrain, d'une anomalie dans la succession des âges des terrains. Les frontières entre les deux registres sont floues et complexes. Dans certains cas, un chevauchement ou un contact anormal peuvent être directement identifiés sur le terrain. Ils relèvent alors aussi bien du registre du modèle que du

registre empirique. Dans d'autres cas – et c'est celui qui s'applique à notre contexte – la relation est indirecte. Seule l'anomalie dans la succession de l'âge des terrains est identifiable et le chevauchement est déduit de cette anomalie.

L'enjeu consiste ici à aider les élèves à établir ce type de relation. Les verbalisations des élèves montrent qu'elles mettent en relation chevauchement et anomalie de succession de l'âge des terrains mais ces verbalisations ne permettent pas d'apprécier si elles ont compris ce qu'est un contact anormal et donc la géométrie des structures. Elle ne permettent pas non plus de s'assurer que cette anomalie est mise en relation avec le phénomène de collision que décrit le modèle.

6.2.3 Identification de la nature des indices en faveur du modèle de formation d'une chaîne de collision sur le secteur du Queyras

Comme pour le travail précédent, la situation mise en place ici visait à aider les élèves à préparer leurs observations, de manière à ce qu'elles puissent être autonomes du point de vue de la conduite du travail de terrain. Il s'agissait donc de les aider à identifier que le secteur permet d'observer des métagabbros et des schistes lustrés marqueurs du phénomène de subduction. La consigne de travail portait sur le repérage des indices supplémentaires susceptibles d'être apportés par l'étude de ce secteur :

« Pour les arrêts disponibles, identifiez les indices en faveur du [modèle]¹⁶ chaîne de collision. »

L'application permet d'accéder, à partir d'une carte géologique du Queyras, à des photographies qui décrivent les roches à l'affleurement : des métagabbros appartenant à un complexe ophiolitique et des schistes lustrés, sédiments océaniques plissés et métamorphisés caractéristiques d'un prisme d'accrétion.

Le chronogramme du binôme (annexe I p. 367) montre que, pour l'essentiel, cette activité conduit les élèves à effectuer un travail qui les amène à mettre en relation les caractéristiques du *registre empirique* avec le modèle. Elles recherchent des métagabbros et des sédiments océaniques, deux indices qui constituent des implications du modèle en terme d'observable de terrain (EM1). La transcription ci-dessous illustre ceci :

E2 : [lis les consignes]

¹⁶ Le terme scénario a été utilisé avec les élèves. Il ne doit pas être confondu avec scénarion d'apprentissage.

E1 : Mais on a déjà mis un truc. Et donc. Il y avait quoi d'autre ? faudrait qu'il y ait une accumulation de sédiments.

E2 : Dans là un. Il y avait quoi déjà ? schiste lustré ?

Elles sont ainsi amenées à déterminer les procédures du protocole (EM2) c'est-à-dire à sélectionner les arrêts sur lesquels se rendre :

E1 : Métasédiments...[Lis le document]

E2 : Déjà c'est des sédiments. Métasédiment océaniques donc...

E1 : Ah ben ouais. Bien joué Alice... Donc du coup. Et ils sont orientés en plus.

E2 : En plus ils sont orientés.

E1 : Je mets, à l'arrêt 1, présence de schistes lustrés qui sont des sédiments, métasédiments, océaniques.

L'orientation relevée par les élèves est celle des minéraux qui est mentionnée dans le texte qui accompagne les photographies. Le reste de l'échange ne permet pas de s'assurer que l'intérêt que les élèves manifestent pour cette caractéristique de la roche résulte du fait qu'elle l'ont mise en relation avec les contraintes exercées sur la roche.

Ce travail les amène également à argumenter les relations entre *registre empirique* et registre du modèle :

E2 : En fait les arrêts sont plus... À regarde ça... C'est ce qu'il y a dans la croûte océanique

E1 : Ouais

E2 : Donc ça montre la présence de la collision. Ah oui, oui oui il faut marquer la.

E1 : A toi l'honneur !

Sur le secteur du Queyras les indices qui sont relevés par les élèves sont « l'arrêt 2 pour pouvoir voir un affleurement de métagabbros. a l'arrêt 2 il y a présence d'ophiolite roche appartenant à la croûte océanique ce qui est la preuve d'un phénomène d'une chaîne de collision. » et « a l'arrêt 1 présence de schistes lustrés qui sont des meta-sédiments océaniques orientés vers le haut. »

Les élèves mettent donc bien en relation le modèle et les informations qu'ils repèrent sur le secteur. Le chronogramme du binôme (annexe I p. 367) montre que l'essentiel des échanges porte sur cette mise en relation. C'est vrai en particulier pour la relation métagabbros – ophiolite – collision. La subduction est évoquée par les élèves mais la relation entre la présence de métagabbros et la subduction n'est pas clairement explicitée. Le prisme d'accrétion n'est pas mentionné dans la seconde partie de la réponse mais il est évoqué dans

les échanges entre les élèves lorsqu'ils s'expriment sur la nécessité de trouver des métasédiments océaniques.

Par ailleurs, alors que les élèves avaient établi la liste des minéraux marqueurs d'un métamorphisme HP BT à rechercher sur le terrain, lorsqu'elles avaient travaillé sur les caractéristiques du modèle, ce travail n'a pas été réinvesti sur le terrain.

6.2.4 Conclusion sur la préparation de l'école de terrain

L'analyse des verbalisations et des productions des élèves de ce binôme au cours de cette étape permet de se faire une idée de l'activité des élèves et de pointer des difficultés rencontrées :

- la tâche de conception du protocole d'observation, et la manière dont elle a été organisée, conduit bien les élèves à analyser le modèle, à en identifier, pour partie, les caractéristiques et propriétés et à l'envisager « en fonctionnement » c'est-à-dire de le « mettre en histoire » et d'en apprécier le dynamisme ;
- au cours de ce travail, les élèves mobilisent des connaissances acquises par ailleurs qui leurs permettent, de manière partielle, de traduire les caractéristiques et propriétés du modèle en observables de terrain ;
- la notion « d'indice », ou « d'observable de terrain », ne va pas de soi pour les élèves. Cela les conduit à prévoir d'observer des phénomènes géologiques (eg. métamorphisme) ou des structures géologiques qui ne peuvent pas être observées directement mais déduites (eg. ophiolite). Ceci semble lié à leur inexpérience en matière de travail de terrain, expérience qui ne leur permet pas d'apprécier par anticipation si une caractéristique du modèle peut, ou non, constituer un observable de terrain ;
- une seconde difficulté, identifiée à partir de l'analyse des échanges au sein de ce binôme, porte sur la question de la pérennité des indices et de leur devenir au cours de l'histoire géologique. On a vu, à travers l'exemple du prisme d'accrétion, que les élèves avaient du mal à imaginer d'une part les transformations subies par cette structure au cours des étapes postérieures à sa formation et, d'autre part, que des indices puissent en subsister ;
- au travers des traces informatiques, des verbalisations et des réalisations de ce binôme, on voit que l'application, dans le cadre des usages apparus du fait des situations mises en place et grâce aux interventions de l'enseignant joue, au moins

partiellement, le rôle qui avait motivé sa conception : la médiatisation d'interactions avec un ensemble d'informations de nature géographique et géologique de manière à aider les élèves à se constituer un *registre empirique*. L'utilisation de l'application a conduit les élèves à choisir des sites à visiter, à définir un itinéraire pour s'y rendre et à prévoir les observations à réaliser.

6.3 Activités de terrain

L'objectif que nous nous étions assigné était que les élèves consacrent le temps dévolu au travail de terrain à des activités qui fassent sens par rapport à la problématique de notre scénario. Le travail de préparation de la classe de terrain ayant permis d'établir la liste des indices à rechercher et de se faire une première idée des sites du point de vue de leur localisation et de leurs caractéristiques topographiques, nous escomptions que les élèves sauraient ce qu'ils recherchent et pourquoi ils le recherchent, connaîtraient la manière d'effectuer cette recherche et seraient interpellés par toute observation qui irait à l'encontre de leurs prévisions. Nous souhaitons donc nous placer en situation de juger si le modèle, explicité dès la première séance, pouvait jouer le rôle d'une grille de lecture du terrain. Ces éléments étaient pour nous des gages de possibilité de la conduite d'un travail autonome. Néanmoins, lors des expérimentations de 2005 – auxquelles ont participé les élèves de ce binôme – il nous a fallu composer avec les points de vue des accompagnateurs du CBGA qui n'ont pas toujours accepté de bonne grâce de laisser les élèves autonomes dans leur travail d'investigation. Nous examinons donc, dans ce paragraphe, les difficultés rencontrées par les élèves dans la conduite des activités de terrain et les rôles joués par le modèle dans ce travail. Nous examinons également les conséquences de l'instrumentation de ce travail sur les interactions des élèves avec le *registre empirique*.

6.3.1 Activités des élèves sur le terrain

Nous indiquons ci-dessous les consignes, telles qu'elles ont été communiquées aux élèves avant qu'ils ne se rendent sur le terrain :

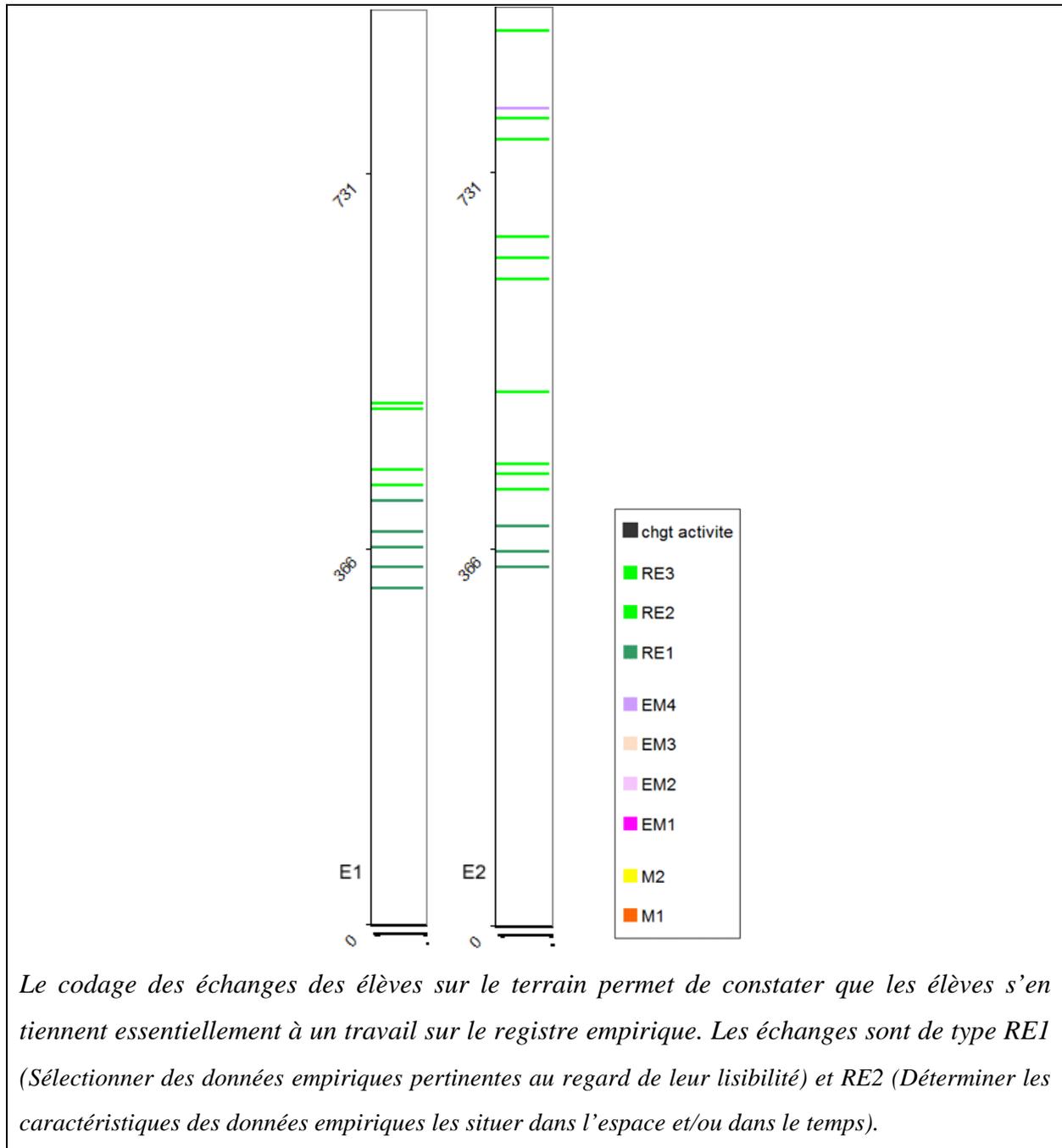
« Au cours de cette séance vous collecterez les données qui vous permettront de réaliser votre parcours géologique avec Géonote. Soyez précis et rigoureux dans le relevé des coordonnées géographiques, les prises de vue et la prise de notes. Cela vous facilitera grandement le travail ultérieur. [...]

Pour chaque secteur géographique étudié :

- recherchez les indices qui constituent des arguments en faveur du [modèle] de la formation d'une chaîne de collision ;
- photographiez (avec un appareil photo numérique) ces indices (prise en compte des différents niveaux d'observation, repérage de l'échelle) ;
- relevez leurs coordonnées géographiques [...]

- relevez les références des photographies réalisées [...] ;
- commentez les indices observés [...]. »

Les échanges des élèves du binôme lors des activités de terrain montrent que, pour l'essentiel, ces élèves sont engagés dans un travail sur le *registre empirique*. A titre d'exemple, nous donnons le chronogramme réalisé à partir des échanges sur les berges du Guil (figure 33)



Le codage des échanges des élèves sur le terrain permet de constater que les élèves s'en tiennent essentiellement à un travail sur le registre empirique. Les échanges sont de type RE1 (Sélectionner des données empiriques pertinentes au regard de leur lisibilité) et RE2 (Déterminer les caractéristiques des données empiriques les situer dans l'espace et/ou dans le temps).

Figure 33 : Chronogramme des échanges des élèves du binôme 9nuguet1 sur le terrain (Queyras, berges du Guil)

. Il s'agit en particulier, pour l'extrait que nous retenons ici, de rechercher, dans les roches charriées par le Guil, les minéraux du métamorphisme qui signent un phénomène de subduction, d'en déterminer la chronologie de formation, de les schématiser et les photographier. Pendant toute la durée du travail sur les berges de ce torrent, les deux élèves restent ensemble et coopèrent pour réaliser le travail attendu.

Les enregistrements réalisés montrent que les deux élèves du binôme ont compris ce qui était attendu d'elles. Les photographies que les élèves ont géoréférencées à leur retour en classe sont toutes pertinentes. Ces élèves ont donc sélectionné correctement les informations utiles. Par ailleurs, la majorité des photographies comprend, comme cela avait été demandé, un élément (généralement une pièce de monnaie) qui permet d'en apprécier l'échelle.

Les enregistrements effectués ainsi que les observations de ce binôme et d'autres binômes lors de cette phase de travail sur le terrain montrent que la consigne qui a consisté à demander de photographier et/ou de schématiser les indices relevés sur le terrain a joué un grand rôle dans l'implication des élèves dans la recherche de ces indices. Cela a conduit les élèves à rechercher les données en fonction de la liste qui avait été établie lors du travail de préparation de la classe de terrain. Les dialogues transcrits ci-dessous ont été enregistrés alors que les élèves sont à la recherche de pyroxène, chlorite et glaucophane dans les métagabbros observables dans le lit du Guil. Les critères de recherche sont les couleurs qui ont été indiquées par l'enseignant :

E1 : Elles a pas dit que qu'il y a du vert et du marron ?

E2 : Du vert et du marron. [...] Ça s'en est un. Mais il n'y a pas de **vert dessus**.

E1 : Ca s'en est un pareil mais il y a pas de **vert dessus**.

Cette activité les a également conduit à sélectionner ces données sur des critères de lisibilité :

E1 : Oui regarde, **on le voit bien ici**. Le bleu foncé qui entoure du marron.

E2 : Le marron

E1 : Le blanc là.

E2 : **On peut dessiner ce bout là**

Ce travail est conduit de manière autonome. Les élèves savent ce qu'elles recherchent et disposent des critères qui leur permettront d'isoler, au sein de la complexité du terrain, les éléments qui constituent des indices recherchés. Néanmoins, la lecture de la roche semble poser problème. Le « vert » est vu « dessus ». La structure tridimensionnelle de la roche ne semble pas perçue correctement. Ce point, qui a été observé pour différents binômes, sera développé plus loin.

Les enregistrements effectués montrent que l'instrumentation de la recherche d'indices à l'aide de l'appareil photographique conduit les élèves à s'engager véritablement dans ce travail de recherche et d'identification. On constate ainsi que la situation est déterminée et contrainte par le fait d'utiliser cet appareil. Cet appareil joue un rôle central dans la médiatisation des interactions avec le *registre empirique* car il s'agit, du point de vue des élèves, de trouver les minéraux prédits par le modèle et d'en ramener une photographie exploitable.

6.3.2 Place du modèle dans le travail réalisé sur le terrain

Le codage que nous avons utilisé permet de mettre en évidence trois types d'échanges. Au début il s'agit de verbalisations qui portent sur la sélection des données empiriques pertinentes au regard de leur lisibilité (RE1). Les élèves recherchent des minéraux facilement identifiables afin de les schématiser et de les photographier comme le montre, à titre d'exemple, l'échange suivant :

E1 : Bon, Alice on va chercher un autre bloc.

E2 : Oui. [...] Celui-là, il est bizarre.

E1 : Il y a du blanc, du rouille, du vert en filon...

E2 : Il est pas très lisible.

E1 : Il est dur à dessiner. Par contre ça c'est la pierre ou de la vraie rouille ?

E2 : Non non regarde.. Je vais pas à arriver à faire ça.

Dans un second temps, les échanges portent sur la chronologie de formation des minéraux ce qui conduit les élèves à déterminer les relations spatiales entre les différents minéraux d'une même roche :

E1 : Le rouille... Le bleu il est autour de la rouille... Après, il y a le vert qui se met au-dessus.

[...]

E1 : De toute façon ça se voit que le bleu... Je sais pas, on dirait que le bleu il est avant le vert.

E2 : Oui parce que le vert [...]

E1 : Oui regarde, on le voit bien ici. Le bleu foncé qui entoure du marron.

E2 : Le marron

E1 : Le blanc là.

E2 : On peut dessiner ce bout là

Ce n'est qu'à la fin de l'échange, et de manière très ponctuelle, que le modèle scientifique est évoqué. Les élèves utilisent un diagramme PTt afin d'essayer d'y situer les observations qu'ils viennent de réaliser :

E2 : Tu vois je comprends pas parce que sur le truc-là. Avant schiste vert il y a schiste bleu.

E1 : C'est peut-être dans ce sens que ça se lit.

Dans les enregistrements effectués sur les autres secteurs l'évocation du modèle scientifique est également rare au cours des échanges mais elle montre néanmoins que les élèves commencent à établir des liens entre leurs observations de terrain et le modèle scientifique. Sur le secteur du Chenaillet le modèle est évoqué à deux reprises par les élèves. C'est alors la structure de la lithosphère océanique qui permet de comprendre la limite entre péridotite et gabbros.

E2 : Le Moho étant la limite entre la croûte océanique et le manteau supérieur...

E1 : Hum Hum

E2 : Avant comme il y avait de la péridotite qui est la roche du manteau supérieur... nous étions dans le manteau supérieur et là nous arrivons dans la croûte océanique.

C'est encore l'évocation fugace d'un élément du modèle pour donner du sens à une observation :

[sur un affleurement de basaltes en coussins]

E2 : C'est pas une croûte océanique ce qu'on a là ?

Si le modèle était évoqué de manière fréquente par les élèves dans les étapes antérieures du travail effectué, lors du travail sur le terrain, c'est essentiellement un travail sur le *registre empirique* qui est mis en œuvre. Cela tient probablement au fait que si le modèle a été utilisé pour déterminer les procédures du protocole d'observation à mettre en œuvre, ce modèle n'est plus nécessaire lorsqu'il s'agit de s'en tenir à l'application de ces procédures.

Peu d'éléments dans les verbalisations des élèves permettent de dire que les tâches effectuées et les techniques mises en œuvre sur le terrain ont un sens pour les élèves. D'un autre côté, nous n'avons trouvé dans les mêmes enregistrements aucune remise en cause de ces tâches et techniques. Le travail mené pendant la phase de préparation de l'école de terrain semble avoir permis d'articuler les niveaux tâche et technique avec les niveaux technologique et théorique. Cette articulation est ensuite très peu identifiable dans les verbalisations des élèves sur le terrain.

L'analyse des verbalisations de ce binôme au cours du travail effectué sur le terrain permet de tirer un certain nombre de conclusions que nous tenterons de généraliser plus loin avec l'analyse des verbalisations d'autres binômes.

Le premier point que semble montrer cette analyse est que, si le modèle est peu évoqué au cours du travail de terrain cette évocation est toujours porteuse de sens pour les élèves. Dans l'enseignement des sciences de la Terre, dans le cadre d'activités de terrain, le modèle peut avoir une fonction heuristique telle que l'ont définie différents auteurs pour d'autres contextes (p. 73).

Un second point porte sur l'autonomie des élèves lors d'une classe de terrain. Les conditions nécessaires à sa réalisation sont complexes. Elles supposent une phase de *dévolution* du problème c'est-à-dire, selon le sens que Brousseau donne à ce terme, de l'acceptation par l'élève de la responsabilité du résultat de ses actions. Le terrain et le rôle joué par l'enseignant au cours de ces activités de terrain peuvent jouer le rôle d'un milieu c'est-à-dire d'un ensemble d'éléments qui produisent et permettent de valider les actions des élèves et leur permettent d'évaluer les stratégies qu'ils mettent en œuvre.

Un troisième point se rapporte aux difficultés liées à la complexité du réel. On voit, au travers de cette étude de cas que les élèves peuvent éluder complètement le caractère tridimensionnel des objets géologiques.

Le dernier point porte sur la place de l'appareil photo dans la situation. On voit, et nous développerons ce point plus loin, qu'il exerce une influence majeure sur l'activité des élèves dans la mesure où l'objectif de réalisation consiste dans l'obtention d'une photographie numérique à géolocaliser sur une carte numérique. Cela conduit les élèves à s'investir dans la recherche des indices. On peut donc dire que l'application et l'appareil photographique constituent un ensemble d'outils que les élèves s'approprient afin de construire un ensemble d'*instruments* nécessaires pour la réalisation de cette tâche. Rabardel & Pastré (2005) ont utilisé l'expression *système d'instruments* pour qualifier de tels ensembles. Ce *système d'instruments* participe à la constitution du milieu. Il permet à l'élève de s'engager dans un objectif de production – la réalisation de photographies numériques pertinentes par rapport au modèle scientifique en jeu - sans avoir à décoder les intentions didactiques de l'enseignant.

6.4 Édition des données avec Géonote

La dernière séance consacrée à ce travail s'apparente à une situation de *formulation* au sens de Brousseau (1998). Les élèves sont conduits à expliciter les relations qui lient le *registre empirique* constitué lors du travail de terrain et matérialisé par les photographies numériques - qui ont été réalisées - avec le modèle scientifique qui permet de donner du sens aux informations relevées. Cette tâche est instrumentée à l'aide de l'application Géonote qui structure la tâche de rédaction des commentaires et de géolocalisation des photographies. Nous examinons ici l'activité du binôme au regard de cette tâche.

L'appareil photographique constitue également un élément important du milieu. C'est la présence, sur la photographie réalisée, des éléments recherchés qui permet de valider la stratégie suivie.

6.4.1 Réalisations du binôme lors de la séance C

Le travail attendu lors de l'exploitation de la classe de terrain portait deux volets. Il s'agissait en particulier de produire des *données* pour Géonote. Une donnée comprend une photographie sélectionnée parmi celle recueillies sur le terrain et un certain nombre d'informations afférentes parmi lesquelles un court texte décrivant l'image et la mettant en relation avec le modèle scientifique. Il s'agissait, d'autre part, de géolocaliser les données ainsi produites sur le secteur géographique. Ce travail est illustré par la figure 34.

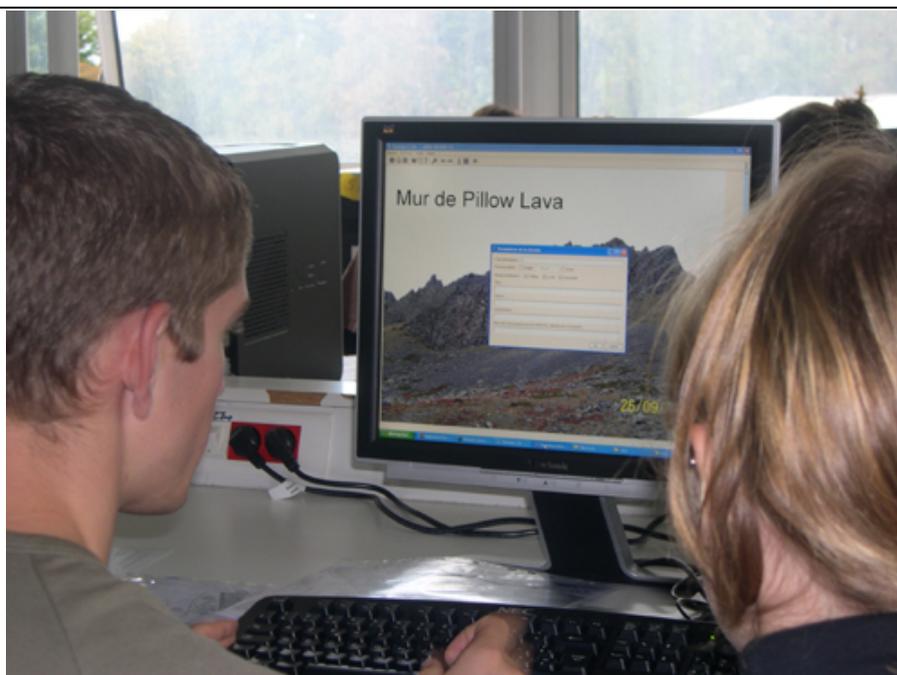
Le texte ci-dessous indique la consigne qui a été communiquée aux élèves :

« Plutôt que la rédaction d'un compte-rendu classique, vous réaliserez une visite « virtuelle » dans les Alpes qui réponde au problème initial : « Les Alpes sont-elles une chaîne de collision ? ».

Vous réaliserez votre propre parcours géologique à l'aide du logiciel Géonote (en mode édition) et des photos numériques que vous avez-vous-même réalisées lors de la sortie. Vous-vous attacherez à montrer en quoi les indices observés lors de ce parcours sont en accord ou non avec le [modèle] « chaîne de collision ». Soyez précis dans les commentaires de vos photographies.

a) Sélectionnez les photographies que vous jugez pertinentes pour répondre au problème posé et transformez chacune d'entre elle en donnée utilisable dans Géonote. Pour chaque donnée vous renseignerez le type géologique et vous donnerez un titre à votre donnée.

- b) Créez les arrêts et associez à ces arrêts les données réalisées.
- c) Annotez dans la fenêtre historique chacune des données associées en indiquant en quoi elle constitue un indice en faveur du [modèle] « chaîne de collision ».
- d) Dans le calendrier géologique de Géonote, placez, sur la spirale des temps géologiques, les dates d'ouverture et de fermeture de l'océan alpin. »



L'édition d'une donnée avec Géonote consiste à sélectionner une image prise sur le terrain, à l'intégrer dans l'application en renseignant un formulaire (fiche paramètre de la donnée) sur cette donnée et à géolocaliser cette image sur une carte. L'image permet de voir un binôme en train de compléter la fiche paramètre de la donnée.

Figure 34 : Édition d'une donnée avec l'application Géonote

Le binôme a travaillé sur le secteur du Queyras et a réalisé 8 *données* (Annexe N p. 378) qui ont été correctement géolocalisées mais n'a pas eu suffisamment de temps pour effectuer les tâches c et d. Les images reproduites dans cette annexe sont donc celles qui ont été sélectionnées par les élèves. Les informations relatives à chacune des images (type géologique, auteur, titre, commentaire) ont été saisies par les élèves lorsqu'elles ont complété, en mode édition, la *fiche paramètre de la donnée*.

Les commentaires qui ont été rédigés sont de différents types :

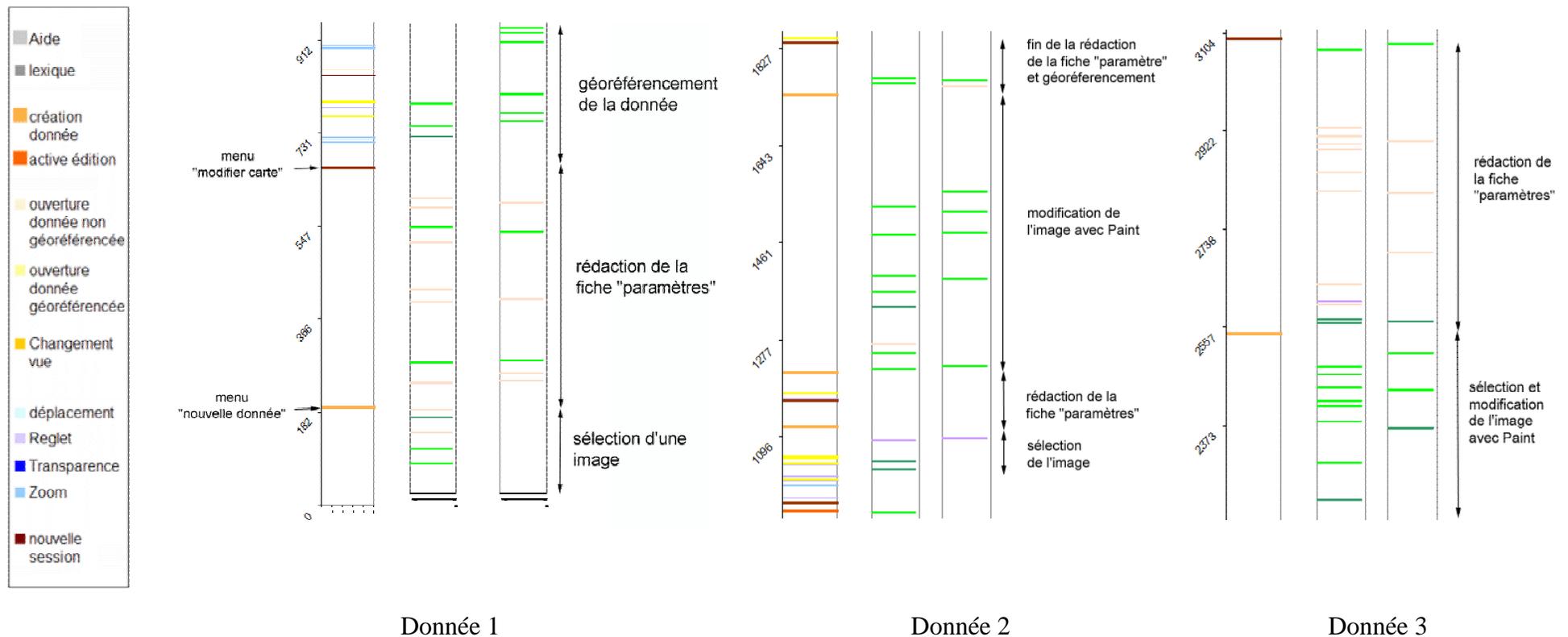
- pour une des images le commentaire fait défaut (DSCF0182.jpg¹⁷) ;
- pour une seconde image le commentaire se limite à une information pour laquelle la photographie joue un rôle d'illustration (DSCF0179.jpg) ;
- pour une troisième image, le commentaire est un renvoi vers le commentaire d'une autre image (DSCF0183.jpg) ;
- pour deux images le commentaire se limite la description de la photographie (DSCF0176.jpg, DSCF0181bis.jpg) ;
- pour trois images, les commentaires contiennent des éléments de description ainsi que des éléments qui font référence au modèle de formation d'une chaîne de collision (DSCF0178bis.jpg, DSCF0180bis.jpg, DSCF0184bis.jpg).

Ce binôme a jugé utile de légender certaines des photographies et a pour cela utilisé le logiciel de dessin installé par défaut sur les machines utilisées (Paint). Dans le paragraphe suivant, nous analysons l'activité des élèves en terme de registres évoqués au cours de leurs échanges.

6.4.2 Interactions lors de la séance

L'annexe I p. 367 indique les chronogrammes du binôme pour l'ensemble de la séance. La figure 35 présente les chronogrammes du binôme au cours de la réalisation de trois données et de leur géolocalisation).

¹⁷ Les noms de fichiers permettent de repérer les *données* élaborées par les élèves



La figure montre trois extraits de chronogrammes lors de l'édition de trois données. Ces extraits de chronogrammes permettent de distinguer trois phases au cours de ce travail. Une première phase correspond à la sélection de l'image, une seconde à la rédaction de la fiche paramètre et la troisième à la géolocalisation de la donnée.

Figure 35 : Binôme 9nuguet1, chronogrammes au cours de la création des données

L'analyse des chronogrammes permet de distinguer trois phases principales au cours de ce travail.

- une phase de **sélection de l'image**, qui se caractérise par un nombre limité de traces informatiques (cette sélection s'effectue avec l'explorateur Windows et n'est donc pas tracée). Les échanges qui ont lieu durant cette phase témoignent principalement d'un travail sur le *registre empirique* : sélection de la photographie au regard de sa lisibilité (RE1¹⁸) ou, pour la majorité des échanges, des points de vue échangés sur les caractéristiques des objets géologiques représentés sur les photographies (RE2). Dans certains cas, plus rares, les échanges portent sur la mise en relation de la donnée avec le modèle (EM3) ;
- une phase de **rédaction de la fiche paramètre** de la donnée, dont le début est marqué par l'activation du menu *nouvelle donnée* et qui se caractérise également par un nombre limité de traces informatiques en raison du fait que la saisie de texte n'est pas tracée. Les échanges lors de cette phase peuvent porter sur les caractéristiques du *registre empirique* (RE2) mais, pour l'essentiel, les échanges traduisent la mise en relation de l'indice géologique présent sur l'image réalisée avec le modèle (EM3) et parfois l'instanciation du modèle avec les informations recueillies sur le terrain (EM4) ;
- une phase de **géolocalisation de la donnée**, qui peut être plus variée du point de vue des traces informatiques puisqu'elle comprend l'utilisation d'outils divers tels que le zoom ou le déplacement pour repérer la zone utile de la carte, la création ou le déplacement d'un arrêt voire sa suppression. Les échanges lors de cette phase témoignent d'activités en relation avec la détermination des caractéristiques du *registre empirique* – il s'agit principalement de la localisation spatiale des données – de type RE2.
- à ces trois phases principales s'ajoute, dans le cas de ce binôme, une phase qui consiste dans la **mise en forme des images** (légende en particulier) à l'aide d'un logiciel de dessin qui se traduit par des échanges qui témoignent d'une activité liée aux caractéristiques du *registre empirique* (RE2).

La mise en relation des traces informatiques et le codage des verbalisations des élèves permet donc, lors de la phase d'exploitation du travail effectué sur le terrain et l'édition des données avec Géonote, de distinguer des activités qui consistent principalement en un travail sur le

¹⁸ La typologie des tâches est indiquée p. ref

registre empirique. Il s'agit de la sélection des images et du géoréférencement des données. L'activité de rédaction de la *fiche paramètres* de la donnée est liée à une tâche de mise en relation du *registre empirique* avec le registre du modèle.

Cette phase d'édition des données apparaît ainsi comme la phase la plus riche en terme de mise en relation du modèle et du *registre empirique*. Les élèves s'engagent de manière autonome dans une démarche d'investigation qui les conduit à utiliser le modèle de formation d'une chaîne de collision pour interpréter les objets géologiques photographiés et à instancier ce modèle avec les informations relevées sur le terrain. L'analyse de l'activité des élèves montre également le rôle central occupé par l'application au cours de cette phase. L'application permet d'instrumenter les tâches de constitution du *registre empirique* et sa confrontation au modèle. C'est ainsi qu'elle se configure dans l'usage que les élèves en font. par un processus d'instrumentalisation (p. 60). Elle est également enrichie par l'utilisation d'autres artefacts informatique tels que le logiciel de dessin qui permet aux élèves de modifier les images qu'ils géolocalisent. Le rôle central joué par l'application dans le dispositif pédagogique est également mis en évidence par le fait qu'elle re-configure complètement le processus d'apprentissage. La séance a peu à voir avec la traditionnelle rédaction du compte rendu d'excursion géologique.

La mise en regard des traces informatiques et des verbalisations permet d'établir des relations entre les traces qui signent l'utilisation qui est faite de l'application et des *schèmes* d'usage (p. 52) en tant qu'organiseurs de l'activité. Il est ainsi possible d'identifier un certain nombre d'invariants dans les traces informatiques (des *motifs*) qui traduisent une activité spécifique des élèves orienté vers un objectif de réalisation (des *schèmes*). La création d'une donnée géolocalisée pour Géonote est ainsi caractérisée par un motif informatique qui possède un certain nombre de caractéristiques invariantes et une activité des élèves qui peut être décrite au travers du codage de leurs verbalisations. Ce point, qui traduit un point de convergence entre une *approche instrumentale* et une *approche didactique* sera développée plus loin.

6.5 Analyse des productions du binôme du point de vue des apprentissages

Après avoir analysé la place du modèle dans le travail d'investigation conduit par les élèves et le rôle joué par l'application dans ce travail, nous examinons ici plus précisément deux aspects de l'apprentissage au cours de ces séances. Ce binôme a édité des données relatives au secteur du Queyras. Ce sont donc principalement les apprentissages relatifs au phénomène de subduction que nous examinons ici. Nous examinons également le déroulement de la phase de conception de l'itinéraire afin de dégager des indicateurs de la manière dont les élèves s'approprient les caractéristiques spatiales du secteur du Chenaillet à partir du travail effectué, avec l'application Géonote, sur la carte mise à leur disposition.

6.5.1 Identification des caractéristiques spatiales du secteur étudié au cours de la phase de conception du protocole d'observation

La situation construite consistait à déterminer un itinéraire permettant de recueillir les différents indices d'une accretion océanique dans le secteur du Chenaillet. Les élèves disposaient, d'une part de la liste de ces indices qui avait été établie précédemment et, d'autre part, de l'application Géonote. L'application permet d'afficher la carte topographique de ce secteur géographique, d'y draper – c'est à dire superposer et de jouer sur la transparence - une carte géologique simplifiée dont la légende, comme celle de la carte topographique, peut être affichée. Elle permet également de zoomer, de se déplacer et d'effectuer des mesures de distance sur cette carte. Ce binôme a consacré une douzaine de minutes à la détermination d'un itinéraire permettant de se rendre, à partir de l'arrêt du bus, à Cervière, sur les différents sites identifiés comme présentant un intérêt géologique dans le cadre du problème traité.

Les échanges entre élèves au début de cette activité (42 mn) montrent qu'elles repèrent rapidement Cervière, et l'arrêt du bus, le Chenaillet et les sites qui ont été sélectionnés :

E2 : La c'est Cervière, je suppose que le bus doit être par là...

E1 : Ah c'est là le Chenaillet donc nos arrêts ils sont... Ils sont là nos arrêts 2 3 4. Donc en fait faut qu'on prenne la petite route là... Celle là là

E2 : Ils sont où les arrêts ?

E1 : Ils sont là, parce que le Chenaillet est là, nos arrêts ils sont là

E2 : Ouais

Dans un premier temps, les difficultés des élèves portent sur la distinction des différentes catégories de voies d'accès et l'appréciation de l'échelle de la carte :

E1 : Sinon faut qu'on prenne cette route là. Mais ça fait super loin !

E2 : Mais oui !

E1 : Non remarque 2,5 cm correspondent à 1 km... Faut qu'on prenne celle là. La rouge. C'est la plus courte hein ?

A ce moment de leur travail, les élèves n'ont pas affiché la légende de la carte topographique ce qui les conduit à des erreurs de lecture, en particulier une confusion entre route et chemin de randonnée (en rouge sur la carte). Lorsqu'elles affichent la légende de la carte, les difficultés ne sont pas levées pour autant. Elles continuent à confondre route et chemin de randonnée. Les couleurs de la légende qui est disponible prêtent en effet à confusion mais cela montre que les élèves n'ont pas, dans un premier temps, identifié le caractère montagnard du terrain à explorer. C'est une intervention de l'enseignante qui va lever les ambiguïtés de lecture de la carte en indiquant aux élèves les codes utilisés pour tracer les sentiers de randonnée. Au final l'itinéraire qui a été choisi (p. 168) est tout à fait pertinent. La justification qui est rédigée montre que, au terme de ce travail, les sentiers sont correctement identifiés.

En ce qui concerne l'échelle de la carte, les échanges et les traces informatiques montrent que c'est au moment où elles commencent à utiliser le réglet qu'elles parviennent à se faire une idée des distances représentées sur la carte.

E1 : Oui mais comment on fait pour mesurer le

E3 : Tu tiens appuyé... Ta fenêtre... Il faut l'ajuster

E1 : Ah voilà... c'est pour ça...Merci

E2 : Vas y, vas jusqu'au bout...

E1 : On se calme...

E2 : Va jusqu'au 2 en fait

E1 : 2 km

E2 : Ben ça va. 2km à pied c'est pas.

E1 : Oui mais t'as vu comment ça...

E2 : C'est vrai que ça monte. Là ça fait 2km5

E1 : Faut aller jusqu'au 4. De 2 à 4 ça fait combien ?

E2 : 812m

E1 : Bon ben...

Dans un premier temps, les distances mesurées à vol d'oiseau sont confondues avec les distances réelles à parcourir. Ce n'est que plus tard que les distances mesurées sont perçues comme des valeurs à vol d'oiseau et que les élèves tentent d'effectuer une conversion permettant d'estimer la distance réelle à parcourir, distance qu'elles indiquent dans le texte qu'elles rédigent pour justifier l'itinéraire choisi :

« itinéraire: depuis l'arrêt de bus à Cervières, rejoindre l'itinéraire balisé sur sentier (rose) à vol d'oiseau 2,7 km. Donc environ 4 ou 5 kilomètres. »

En ce qui concerne l'appréciation des reliefs, quelques échanges, dans les premières minutes de l'activité, portent sur le fait que « ça monte » ou que « ça redescend ». Sous réserve que ces verbalisations traduisent une appréciation correcte des reliefs – ce que nos données récoltées ne permettent pas de montrer – on peut dire que d'emblée les élèves de ce binôme sont capables d'effectuer une lecture correcte de la carte de ce point de vue.

On voit, au travers de ces échanges et productions, que les compétences qui permettent de décoder les informations d'une carte topographique ne sont pas acquises par les élèves au début de l'activité. Dans le cas de ce binôme on peut mettre en relation l'usage des fonctionnalités de l'application et un apprentissage qui consiste dans le développement de telles compétences. L'utilisation du réglet semble avoir joué un rôle dans le développement d'une meilleure capacité à apprécier les échelles. La situation construite - le choix d'un itinéraire à partir d'informations disponibles sur une carte topographique – semble avoir également joué un rôle important dans l'apprentissage des codes employés dans une carte topographique. Il faut ici souligner le rôle de l'application qui permet d'accéder à cette carte, à sa légende et dont les outils de zoom et de déplacement ont été très utilisés par les élèves. Mais il faut également souligner le rôle de l'enseignante qui, comme on a pu le voir plus haut, a joué un rôle important en débloquent une situation figée en raison d'une erreur de lecture de légende.

Nous avons vu que plusieurs auteurs ont souligné que la construction d'une représentation tridimensionnelle de l'espace à partir de la lecture d'une carte constituait une difficulté largement partagée (voir par exemple Savaton, 1995). C'est en effet le cas pour ce binôme qui semble avoir été en mesure de visualiser les reliefs à partir de la lecture d'une carte topographique mais n'a pas d'emblée identifié leur amplitude et le caractère montagnard du site. Par ailleurs, l'utilisation du réglet semble avoir joué un rôle important dans l'identification de l'échelle de la carte bien que les échanges montrent que les élèves ont des difficultés pour évaluer les difficultés de la marche à effectuer. Les fonctionnalités de l'application permettent donc de médiatiser la tâche de lecture de carte. Les élèves ne se

contentent pas d'afficher la carte à l'écran. L'artefact informatique mis à leur disposition est abondamment utilisé. Pour autant, on ne peut pas dire que la tâche en est fondamentalement modifiée. La lecture consiste toujours à décoder des informations en utilisant la légende disponible.

6.5.2 Apprentissages relatifs au concept de subduction

Le binôme 9nuguet1 a choisi de réaliser un jeu de données sur le Queyras. C'est donc la question de la subduction qui a été plus particulièrement travaillée par ces élèves. Dans ce paragraphe, nous essayons de dégager des verbalisations enregistrées comment ces élèves conçoivent le phénomène de subduction au début des séances, et comment ce concept évolue au fur et à mesure de l'avancée de leur travail. Nous essayons également de déterminer les rôles que la situation construite joue dans les apprentissages et comment l'application Géonote intervient .

6.5.2.1 Préparation de la classe de terrain

Lors de la détermination des indices à rechercher sur le terrain à partir du travail sur le modèle quelques échanges permettent de se faire une idée de la manière dont le phénomène de subduction est compris.

Les premiers échanges qui portent sur la subduction révèlent que les élèves conçoivent ce phénomène comme permettant le rapprochement des continents :

E1 : [consulte le doc modèle] La y'a les deux continents et ça les sépare

E2 : Ouais c'est ça l'accrétion. Au départ ça se sépare...et après quand c'est de la subduction...

E1 : Ca se resserre. C'est à l'autre bout du coup... Là t'as les deux continents et ils se séparent avec l'extension.

Par la suite, l'élève E1 repère le terme « métamorphisme » sur le schéma mis à leur disposition et la subduction est d'abord caractérisée par ce type de transformation :

« E1 : Non... Donc la subduction là.. métamorphisme... »

Il s'en suit un échange au cours duquel les deux élèves s'attachent à préciser la nature de ce métamorphisme à partir des connaissances acquises antérieurement :

E2 : Ah mais oui... subduction

E1 : [consulte le doc modèle] Oui... métamorphisme des roches de la lithosphère

E2 : Donc après..

E1 : Donc du coup, métagabbro devient schiste...

E2 : ... bleu vert et élogite

E1 : Non c'est vert bleu élogite

E1 : Schiste bleu **alors du coup on va trouver des** ... alors... chlorites et actinotes

E2 : ...

E1 : Pour les schistes bleus c'est glaucophane... et élogite c'est ... et grenat

La subduction est alors caractérisée par des faciès métamorphiques et la présence de certains minéraux indicateurs. La chronologie de l'apparition des minéraux est identifiée.

Ceci est traduit de la manière suivante par les élèves, lorsqu'elles remplissent la colonne « indices recherchés » en face de subduction dans le tableau qu'elles ont à remplir :

« métamorphisme HP BT des roches de la lithosphère océanique plongeante → métagabbros → schistes vert (chlorite et actinote) [schiste bleu (glaucophane → BT MP), élogite (jadéite et grenat → HP BT)] »

Le prisme d'accrétion est également repéré comme un élément caractéristique de la subduction. Les élèves ont compris qu'il s'agissait d'une accumulation de sédiments mais ne pensent pas qu'il soit visible sur le terrain.

E1 : [consulte le schéma représentant le modèle] ... prisme d'accrétion...

E2 : faille de compression et d'extension...

E1 : Maintenant est-ce qu'on va voir... Ben un prisme d'accrétion alors ? Mais est-ce qu'on peut le voir ou pas ça ? On peut pas...

E2 : Ben non parce que quand nous on va arriver on sera plus là on sera là ;

E1 : Parce qu'on peut pas voir les sédiments.

A la fin de la séance, les élèves doivent consulter les informations disponibles sur le secteur du Queyras et indiquer quels indices sont identifiables. Ce sont les métagabbros des berges du Guil qui sont repérés en premier mais ils ne sont pas mis en relation avec la subduction mais avec la collision :

E2 : en fait les arrêts sont plus... À regarde ça... C'est ce qu'il y a dans la croûte océanique

E1 : ouais

E2 : donc ça montre la présence de la collision. Ah oui, oui oui il faut marquer là.

E1 : à toi l'honneur !

E2 : alors. À l'arrêt 2. En plus arrêt ça va il n'y y a pas d'accent bizarre... Roches appartenant à la croûte océanique. Ce qui est la preuve d'un phénomène de collision.

La difficulté à laquelle sont confrontés les élèves est que la formation d'une chaîne de collision produit deux types de gabbros. Ceux qui résultent de l'hydrothermalisme au cours de

l'accrétion et ceux qui résultent de la plongée de la croûte océanique lors de la subduction. C'est la nature des minéraux métamorphiques présents qui permet de trancher entre les deux phénomènes. Ici, les métagabbros sont considérés comme des éléments constitutifs de la croûte océanique et témoins de la collision et l'éventualité qu'ils pourraient signer une subduction n'est pas discutée.

A l'issue de cette première séance, les élèves conçoivent la subduction comme un phénomène caractérisé par deux types de structures : des minéraux caractéristiques de faciès métamorphiques d'une part et un prisme d'accrétion d'autre part. En faisant appel à leurs connaissances elles sont en mesure de préciser les minéraux impliqués et leur chronologie d'apparition. La raison invoquée par les deux élèves pour prévoir que le prisme d'accrétion ne sera pas visible sur le terrain sera discutée plus loin.

La subduction est également identifiée comme le phénomène qui est à l'origine du rapprochement des continents, mais les mécanismes à l'origine de cette subduction ne sont pas discutés. Les élèves s'en tiennent aux consignes qu'ils ont reçues et s'attachent à identifier les éléments structuraux qui, ayant subsisté jusqu'à nos jours, permettraient d'attester de l'existence d'un tel phénomène dans le passé. On peut donc dire que la situation qui a été construite a largement contraint les élèves du point de vue du travail qu'elles ont effectué. Elle s'en sont tenu à l'analyse du modèle mis à leur disposition et n'ont pas exprimé de conceptions sur ce phénomène autres que celles sur les éléments décrits par le modèle. Néanmoins, la situation leur a permis de mettre en relation ce modèle avec des connaissances acquises antérieurement sur les différents faciès métamorphiques et les minéraux qui les caractérisent.

6.5.2.2 Classe de terrain

Sur le terrain, la subduction a été abordée lors du travail réalisé sur les berges du Guil. Les élèves avaient pour consigne de rechercher les minéraux témoins de cette subduction et d'en déterminer la chronologie de formation. Elles devaient également rechercher les indices du prisme d'accrétion. Pour l'essentiel, elles se consacrent à la recherche des minéraux caractéristiques d'un métamorphisme de subduction en utilisant les critères de couleur qui leur ont été donnés.

Contrairement à d'autres binômes, ces deux élèves n'ont pas manifesté de surprise de ne pas trouver de grenats dans les métagabbros. La présence de grenat était en effet prévisible d'après le modèle mais ces grenats ne sont pas présents sur ce site. Néanmoins, lorsque ces minéraux sont identifiés et leur chronologie de formation déterminée, elles sont confrontés à

une question relative à la succession des différents faciès métamorphiques au cours de la subduction. C'est ce qu'exprime l'élève E2 :

Tu vois ? je comprends pas parce que sur le truc-là. Avant schiste vert il y a schiste bleu.

Ce que semble exprimer cette élève est que le faciès schiste vert correspond à des conditions de pression moins importantes que celles du faciès schiste bleu. Le faciès schiste vert devrait donc apparaître au début de la subduction. Les relations géométriques entre les minéraux indicateurs de ces deux faciès métamorphiques indiquent l'antériorité du faciès schiste bleu sur le faciès schiste vert alors que c'est l'inverse que les élèves attendent. Cette difficulté résulte de la non prise en compte du fait que la croûte océanique subductée remonte en surface, en raison de l'érosion, à l'issue de la collision.

Ces échanges traduisent donc le fait que la subduction n'est, à ce stade, pas envisagée comme une phase faisant partie intégrante d'un processus plus large, mais plutôt comme un épisode isolé et autonome de la formation d'une chaîne de montagne. Le découpage du modèle en trois phases ainsi que la correspondance des trois secteurs géographiques avec ces phases ont probablement joué un rôle dans le fait que les élèves appréhendent les phénomènes de manière discontinue.

Ces échanges traduisent aussi que les élèves ont du mal à comprendre le métamorphisme. Les témoins de conditions et de pression et de température subsistent alors même que ces conditions disparaissent avec la remontée en surface de la roche. Cela rend difficile la mise en relation d'observations de minéraux effectuées sur la roche et le diagramme PTt situant les domaines de stabilité de ces minéraux.

6.5.2.3 Exploitation de la classe de terrain

De retour en classe, les deux élèves du binôme sélectionnent des photographies qu'elles commenteront et géolocaliseront sur la carte géologique du Queyras. Les échanges montrent que leur stratégie a consisté à relever le plus fidèlement possible les explications qu'elles ont pu obtenir sur le terrain et qu'elles tentent d'utiliser ces notes pour rédiger leurs commentaires. Il est donc parfois difficile de discerner les éléments qui sont une retranscription de leurs notes, et les points de vue qu'elles portent sur les phénomènes qu'elles sont amenées à étudier. Néanmoins, des épisodes d'échanges plus libres permettent de se faire une idée de la manière dont elles comprennent le phénomène de subduction.

La présence de plis dans les sédiments est associée à un phénomène de raccourcissement lui-même lié à la subduction :

E2 : Bon je mets ça. Schiste lustré en feuillets.

E1 : Présentant des plis en S. témoin d'un raccourcissement et d'un phénomène de subduction.

Les échanges montrent que les élèves font la relation entre des transformations des structures géologiques à grande échelle en relation avec la subduction avec des transformations visibles à une échelle plus petite.

Le métamorphisme est également associé au phénomène de subduction. Ce métamorphisme est lui même mis en relation avec la présence de minéraux qui avaient été précédemment identifiés (glaucofane d'une part et actinote/chlorite d'autre part). Il est également associé à une structure particulière de la roche, sa foliation. Par ailleurs, la difficulté liée à la succession des différents faciès semble levée :

E1 : Et on a aussi un deuxième stade de transformation du gabbro. Apparition du schiste vert.

E1 : Faciès basse température basse pression. Faciès des schistes verts.

E2 : Tu peux mettre pareil. Environ...

E1 : Non, on n'a pas la... La lithosphère océanique. Cela montre que après sa descente la lithosphère océanique remonte en surface.

Les élèves n'avancent pas d'explication, mais elles tiennent pour acquis que la subduction est suivie d'une phase qui permet la remontée de la lithosphère subduite et donc de l'observer en surface.

Un début d'explication est également avancé pour expliquer le métamorphisme. Il s'agit de « contraintes exercées sur le gabbro ». Mais les échanges n'apportent pas de précision quant à l'origine de ces contraintes et la manière dont elles provoquent des transformations structurales et minéralogiques des roches.

Nous avons relevé dans le tableau 6 les verbalisations des élèves qui portent sur les modifications subies par les structures géologiques, roches ou minéraux au cours de la subduction ou en relation avec le métamorphisme associé à ce phénomène. D'autres verbalisations, ajoutées à titre de comparaison, concernent les autres étapes de la formation d'une chaîne de collision. Ces dernières sont indiquées en italique. Lorsque les verbalisations concernent le travail sur le modèle et les structures géologiques qu'il décrit les élèves envisagent les transformations subies par ces structures. Ainsi, la croûte océanique peut subir un « amincissement », ça « se sépare » ça « se resserre » ou la croûte océanique « plonge ». Lorsque les élèves évoquent les roches certaines des verbalisations évoquent des transformations – des péridotites en basaltes ou de roches de la lithosphère en schistes verts –

alors que d'autres associent simplement et présence des roches. Ainsi l'hydrothermalisme « fait qu'il y a des basaltes » ou « entraîne des métagabbros ». Dans une même verbalisation la manière dont les choses sont exprimées témoigne du fait que les élèves sont partagés entre un point de vue *transformiste* (« transformation du gabbro ») et *non transformiste* (« Apparition du schiste vert »). Lorsque les échanges portent sur les minéraux, aucune verbalisation n'évoque de transformation. Un minéral « est », se met « avant », « après » ou « autour », il « témoigne » mais n'est pas associé avec des verbes évoquant des transformations comme s'il était considéré comme apparaissant *ex nihilo* en fonction des conditions de température ou de pression subies par la roche.

Ceci plaide pour considérer que les élèves perçoivent le dynamisme des phénomènes au niveau des structures géologiques et parfois au niveau de la roche mais pas celui qui concerne les transformations minéralogiques. Cela nous amène à formuler l'hypothèse que la roche n'est pas véritablement considérée comme un système subissant des transformations mais plutôt comme présentant différents aspects en fonction des contraintes qu'elle subit.

Étape 1 : préparation de l'école de terrain	
Structures géologiques	<i>E1 : [consulte le doc modèle] La y'a les deux continents et ça les sépare</i>
	<i>E2 : Ouais c'est ça l'accrétion. Au départ ça se sépare... et après quand c'est de la subduction...</i>
	<i>E1 : Ca se resserre. C'est à l'autre bout du coup... Là t'as les deux continents et ils se séparent avec l'extension.</i>
	<i>E1 : Ben, amincissement de la lithosphère,</i>
	<i>E2 : Mais là t'as vu.. c'est parce qu'elle s'enfonce mais...</i>
Roches	<i>E1 : Ben c'est la péridotite qui se transforme en basalte. C'est ça, métamorphisme des roches de la lithosphère océanique on va avoir...</i>
	<i>E1 : péridotite elle devient...</i>
	<i>E2 : basalte</i>
	<i>E2 : En fait c'est l'hydrothermalisme qui fait qu'il y a des basaltes</i>
	<i>E1 : Ouais, en fait l'hydrothermalisme là entraîne des métagabbros.</i>
	<i>E1 : Déjà, métamorphisme des roches de la lithosphère donc du coup ça va se transformer en schiste vert...</i>
<i>E1 : Donc du coup, métagabbro devient schiste...</i>	
Minéraux	<i>E1 : Schiste bleu alors du coup on va trouver des ... alors... chlorites et actinotes</i>
	<i>E1 : Pour les schistes bleus c'est glaucophane... et éclogite c'est ... et grenat</i>
Étape 2 : classe de terrain	
Minéraux	<i>E1 : Et le bleu c'est avant, c'est après, il se met autour des pyroxènes.</i>
	<i>E2 : Il faut se rappeler que le bleu c'est en couronne d'ordre des pyroxènes.</i>
Étape 3 : exploitation de la classe de terrain	
Structures géologiques	<i>E1 : J'ai mis pli en S témoins d'un raccourcissement. On met ça ?</i>
	...
	<i>E1 : Présentant des plis en S. témoin d'un raccourcissement et d'un phénomène de subduction.</i>
	<i>E1 : Non, on n'a pas la... La lithosphère océanique. Cela montre que après sa descente la lithosphère océanique remonte en surface.</i>
<i>E1 : Non mais on ne sait pas pourquoi elle remonte. On n'a juste des hypothèses. Le bout se décroche...</i>	
Roches	<i>E1 : Et on a aussi un deuxième stade de transformation du gabbro. Apparition du schiste vert.</i>

Tableau 6 : Modification évoquées par les élèves du binôme 9nuguet1

La situation élaborée et les fonctions attribuées à l'application dans cette situation conduit les élèves de ce binôme à rechercher des relations, terme à terme, entre les éléments constitutifs d'un modèle et des éléments d'un registre empirique constitué. C'est ainsi que les minéraux

du métamorphisme sont mis en relation avec la subduction de la lithosphère, que la présence de sédiments plissés est reliée à la présence d'un prisme d'accrétion. A l'issue de ce travail, les élèves du binôme 9nuguet1 semblent percevoir le caractère dynamique du modèle. Néanmoins, ce dynamisme ne semble pas perçu en les minéraux. Autrement dit, ces élèves semblent pouvoir accéder à la compréhension qu'une chaîne de collision résulte d'une histoire impliquant de grandes structures géologiques qui subissent des transformations mais ils ne semblent pas capables d'effectuer cette mise en histoire au niveau du minéral et, dans une certaine mesure, au niveau de la roche. Ils semblent donc avoir du mal à se départir d'une vision fixiste lorsque les objets géologiques sont à l'échelle de la roche ou du minéral. Ainsi, « la roche n'a pas d'histoire, elle est ». Ceci traduit également la difficulté qu'ont ces élèves à appréhender simultanément les différentes échelles de transformation dans le cas du métamorphisme.

6.6 Conclusion

6.6.1 Sur les rôles joués par le modèle dans le travail d'investigation conduit par les élèves

Les élèves de ce binôme ont utilisé le modèle scientifique de différentes manières au cours du travail qu'ils ont conduit :

- le modèle a été utilisé pour prévoir les observations à réaliser (identification des indices) et concevoir le protocole d'observation (sélection des sites à visiter et détermination des observations à réaliser) ;
- le modèle a également ponctuellement été utilisé pour sélectionner les informations utiles sur le terrain, ou lors de la sélection des images à géoréférencer mais, pour l'essentiel, cette sélection s'effectue à l'aide de critères déterminés lors de la phase de préparation du travail de terrain et le modèle est peu évoqué ;
- le modèle est utilisé lors de la phase de réalisation des données. Il permet de donner du sens aux informations recueillies en les mettant en relation avec le modèle de la formation d'une chaîne de collision.

Dans le cadre de la conduite d'un travail d'investigation, l'explicitation du modèle scientifique en jeu peut permettre aux élèves de l'utiliser pour accomplir différentes tâches en relation avec ce type de travail. Ce modèle apparaît alors comme un *outil* pour l'investigation scientifique.

6.6.2 Sur le rôle joué par l'outil informatique mis à la disposition des élèves

L'utilisation de l'application Géonote a permis d'instrumenter deux aspects du travail d'investigation qui a été conduit :

- la constitution d'un *registre empirique* au travers d'un travail d'analyse d'informations cartographiques (topographiques et géologiques) principalement lors de la phase de préparation de l'école de terrain. La constitution de ce *registre empirique* est également médiatisée par l'application lors de l'édition des données ;
- la mise en relation des données empiriques avec le modèle de formation d'une chaîne de subduction. Cette mise en relation s'effectue lors de la phase de sélection

des sites à visiter et principalement lors de l'édition des données lorsque la *fiche paramètres* est complétée ;

- l'analyse de l'activité des élèves montre que l'ensemble du dispositif d'apprentissage est reconfiguré par l'application. Cette reconfiguration concerne les tâches effectuées par les élèves et donc la nature des interactions (avec les autres élèves ou l'enseignant, avec les objets à connaître...) qui se nouent. Ce point sera développé plus loin.

Dans la suite de notre travail d'analyse, nous envisageons la question du rôle du modèle et de l'instrumentation des activités à l'aide de l'outil informatique au travers des verbalisations, productions et traces informatiques des autres binômes impliqués dans cette expérimentation.

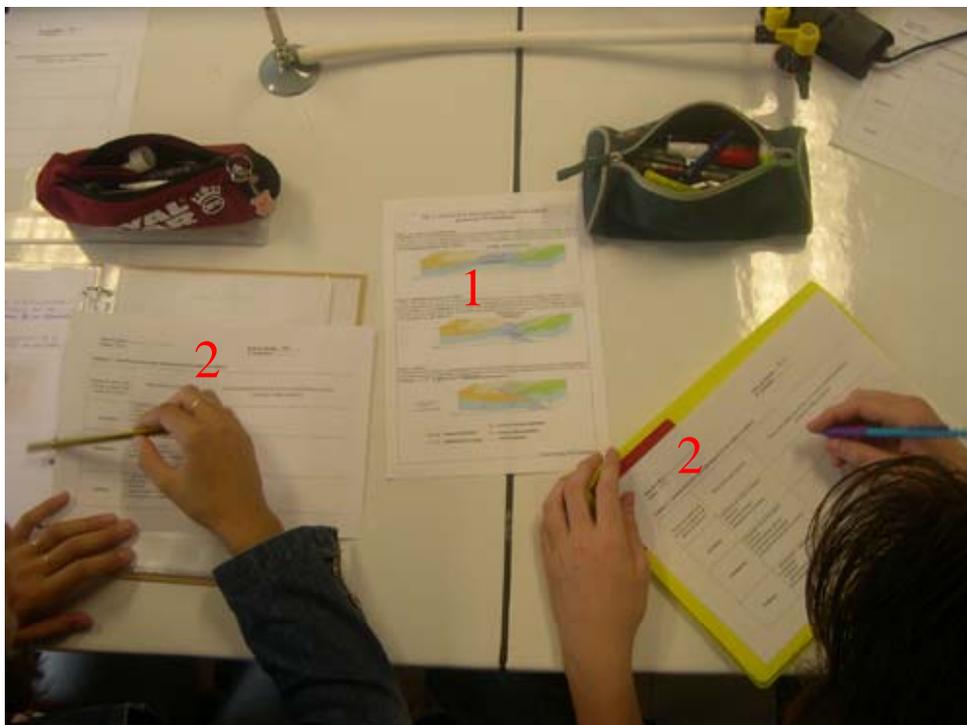
7 Rôles joués par le modèle dans le travail d'investigation conduit par les élèves

Dans la partie précédente nous avons pu suivre le parcours d'un binôme durant l'ensemble des séances qui ont été organisées. L'analyse des traces et des productions de ce binôme nous a apporté des éclairages sur nos questions de recherche. On a vu en particulier les rôles joués par le modèle au cours du travail d'investigation conduit par les élèves. On a vu également comment l'application informatique dont les élèves disposaient a joué un rôle central dans ce travail et comment elle participait à la re-configuration du dispositif d'apprentissage. Les paragraphes suivant seront consacrés à l'examen des mêmes questions pour l'ensemble de notre corpus. Nous avons vu plus haut que différents travaux d'épistémologues ou de didacticiens permettaient d'attribuer différentes fonctions aux modèles scientifiques, pour le chercheur ou pour l'élève. Nous examinons dans ce paragraphe quatre rôles et la manière dont ils interviennent au travers des verbalisations des élèves. Il s'agit des rôles joués dans la perception et la visualisation des phénomènes géologiques, dans l'établissement de prédictions permettant de concevoir le protocole, dans l'interprétation des données et dans la communication et l'argumentation.

7.1 Le modèle, outil de perception et de visualisation

Cette fonction du modèle est qualifiée de « décisive » par Martinand (1992). C'est l'utilisation du modèle comme système de symbolisation qui permet à l'élève de se construire une représentation du phénomène qu'il étudie. Nous avons examiné comment les élèves utilisent cette fonction du modèle dans le cadre d'un travail d'investigation et quels types de difficultés ils rencontrent dans ce cadre d'utilisation.

7.1.1 Identification des caractéristiques et propriétés du modèle par les élèves



La photographie permet de décrire la situation mise en place lors de la préparation de l'école de terrain. Les élèves disposent d'un schéma (1) qui représente les différentes étapes de la formation d'une chaîne de collision qu'ils utilisent pour déterminer les indices à rechercher sur le terrain. Ces indices sont reportés dans un tableau (2) visible sur l'image.

Figure 36 : Traduction du modèle en observables de terrain

La préparation de la classe de terrain débutait par un travail d'analyse du modèle de chaîne de collision fourni aux élèves qui consistait à traduire le modèle en observables de terrain (fig ; 36). La photographie montre les élèves en train de réaliser ce travail. Le modèle était fourni

sous la forme de schémas et textes décrivant la formation d'une chaîne de collision en trois étapes. Les élèves disposaient d'un tableau permettant de lister les observables de terrain correspondants à chacune de ces étapes. Cette tâche les a conduit à identifier les caractéristiques du modèle scientifique qui leur était fourni. A titre d'exemple, dans la transcription ci-dessous, les élèves du binôme consultent le schéma mis à leur disposition et en extraient un élément qu'ils jugent caractéristique.

A9putinier1 3.30 phase A

E1- Donc subduction... donc là à mon avis on a des marges actives... et là on peut dire que c'était une marge passive

E2- Ouais

A1- Donc pour l'accrétion c'était une marge passive et ici [subduction] c'est une marge active... Donc **on peut mettre qu'il y a des failles.**

E1- **Failles de compression cette fois.**

Ces éléments sont indiqués sur le schéma qui représente le modèle scientifique en jeu. Ils représentent des objets géologiques parfois difficiles à observer sur le terrain. Ils représentent également des connaissances sur les caractéristiques des structures géologiques constitutives du modèle et forment ainsi une *phénoménographie* (p. 75) que décrit le modèle.

Au cours de ce travail, l'analyse du modèle qui est faite conduit dans certains cas à identifier des caractéristiques qui ne sont pas directement représentées sur le modèle mais qui sont inférées à partir des informations relevées, c'est le cas pour la transcription ci-dessous :

A3jaime2 4.00 phase 1 [consultent le schéma « étapes de la formation d'une chaîne de collision »]

E1- Là y'a une remontée de magma... **donc forcément il y a du basalte**

La roche (basalte) n'est indiquée ni dans le schéma, ni dans le texte. C'est la mention faite à une remontée de magma au niveau d'un rift qui permet d'en déduire la présence. Ainsi, le modèle, au delà des éléments représentés sur le schéma ou mentionnés dans le texte, s'enrichit en fonction des connaissances dont les élèves disposent. La phénoménographie que décrit le modèle ne recouvre donc pas l'ensemble des connaissances qui peuvent être extraites du modèle car certaines d'entre-elles peuvent être déduites en confrontant le modèle analysé à d'autres modèles géologiques connus et maîtrisés des élèves.

Le tableau 7 indique des exemples de termes employés par les élèves dans leurs échanges pour décrire le modèle à leur disposition. Le dynamisme du modèle est évoqué pour les trois étapes de la formation d'une chaîne de collision. Il est envisagé au niveau des grandes

structures géologiques. Les références aux transformations relatives aux roches sont beaucoup plus rares. Elles sont absentes en ce qui concerne les minéraux.

Accrétion	« ça les sépare » « amincissement de la lithosphère » « ça ouvre un océan » « ça s'étire »
Subduction	« ça se resserre » « elle s'enfonce » « ça repousse dans l'autre sens » « elle plonge »
Collision	« plissement des sédiments » « elle se compacte en fait. » « ça chevauche » « elle est remontée » « la croûte continentale passe en dessous » « ça s'aplatit » « ça fait l'accordéon »

Tableau 7 : Quelques exemples de termes employés par les élèves et portant sur le modèle au cours de l'étape de préparation de l'école de terrain.

Ce travail amène donc les élèves à « faire fonctionner » le modèle. Ses caractéristiques sont mises en histoire ce qui permet d'en envisager le dynamisme et d'en identifier les propriétés. Nous avons trouvé des échanges de ce type pour tous les binômes. L'échange transcrit ci-dessous permet de suivre la démarche d'un binôme et de comprendre comment il en vient à « faire fonctionner » le modèle.

A9putinier1 12.20 phase 1 [consultent le schéma « étapes de la formation d'une chaîne de collision »]

E1- Et ça ça correspond à quoi ? Pourquoi ça monte ça descend ?

E2- Comme tu comprimes tout ça s'aplatit, ça fait l'accordéon

Cette transcription montre que l'élève E2 a repéré des plis représentés sur le schéma. Il envisage alors une explication et propose un phénomène géologique à l'origine de ces plis c'est-à-dire une compression qui conduit à un raccourcissement accompagné de plissements. Il accède donc à une *phénoménologie* décrite par le modèle.

A partir des verbalisations des élèves, nous pouvons ainsi distinguer, dans le cadre du travail effectué dans le registre du modèle, trois niveaux de construction de cette représentation. Le premier niveau correspond à l'identification de caractéristiques mentionnées sur le document qui décrit le modèle. Ce premier niveau porte donc sur un travail de décodage des

informations – schéma ou texte – disponibles. Il correspond, du point de vue de l'élève à l'accès à la compréhension de la phénoménographie décrite par le modèle. Le second niveau correspond quant à lui à l'identification des caractéristiques qui ne sont pas mentionnées explicitement dans les documents fournis mais qui peuvent être déduites grâce aux connaissances disponibles. Enfin un troisième niveau décrit l'identification de ses propriétés qui découlent des caractéristiques du modèle. Ce troisième niveau d'analyse, correspond à la compréhension du dynamisme et du fonctionnement du modèle, à la phénoménologie qu'il représente.

7.1.2 Difficultés rencontrées dans l'analyse du modèle

Ce travail sur le modèle amène les élèves à se confronter à des difficultés qui relèvent de la compréhension du vocabulaire utilisé et des codes employés dans les schémas. Ceci est illustré par l'exemple ci dessous. Les élèves de ce binôme s'interrogent sur le code de couleur utilisé pour distinguer les sédiments des deux marges sans être en mesure d'en comprendre la signification. :

A2putinier2 0.50 phase 1 [consultent le schéma « étapes de la formation d'une chaîne de collision »]

E1- Sédiments...

E2- Ca c'est des sédiments ?

E1- Attends...

E2- **Pourquoi ils sont verts là et orange ici ?**

Certaines occurrences montrent un second type de difficultés que les élèves ont à affronter. Les termes utilisés pour nommer les objets géologiques représentés sur le modèle sont souvent confondus avec les termes nommant les phénomènes géologiques qui leur ont donné naissance. Ainsi, dans la transcription ci dessous, les deux élèves mentionnent la présence de « plissement » plutôt que de plis.

A9nuguet1 12.00 phase A

E1 : Bon ben, qu'est ce qu'on voit, chevauchement, faille, plissement... mais alors de..

E2 : **Faut dire qu'on voit plissement.**

On verra plus loin que ce type de difficulté est très fréquemment rencontré au travers des échanges entre élèves. Ils conduit dans certains cas à ce que les phénomènes géologiques soient confondus avec les objets qu'ils produisent et peuvent aboutir à rendre difficile la distinction de ce qui relève du modèle et de ce qui relève du *registre empirique*. S'il n'est pas

exclu que cette confusion soit parfois faite par les géologues eux-mêmes, il nous paraît nécessaire, dans un contexte d'apprentissage, que les élèves puissent bien distinguer ces deux registres de manière à être en mesure de bien distinguer la donnée de terrain de l'interprétation qui peut en être faite. Cette condition nous paraît en effet nécessaire pour que les interprétations puissent évoluer et se complexifier au fur et à mesure de l'avancée dans les apprentissages.

Par ailleurs, ces transcriptions nous conduisent à une remarque qui rejoint des observations effectuées dans un contexte d'enseignement des sciences physiques effectuées par Larcher (1994). Cet auteur a pu mettre en évidence l'importance de l'explicitation du codage symbolique utilisé pour permettre à l'élève de distinguer le modèle de sa représentation. Ainsi, le code de couleur utilisé pour distinguer les sédiments des deux marges est une source de difficulté dans l'analyse du modèle par les élèves.

7.2 Le modèle, outil de prédiction pour la conception du protocole d'observation

Nous avons évoqué plus haut le caractère « prophétique » du modèle. Cette fonction a été soulignée par Canguilhem (1968). Elle permet au chercheur d'établir des prévisions. Ceci est particulièrement vrai lorsque le modèle est un modèle formel voire numérique. Ceci est également vrai dans le cadre d'un modèle conceptuel. L'analyse des différentes caractéristiques d'un modèle permettent en effet d'établir un certain nombre de prédictions en termes d'observables de terrain : présence de tel ou tel type de faille, d'une certaine catégorie de roches ou d'espèce minérale. Nous avons examiné comment les élèves mettaient en œuvre cette fonction du modèle.

7.2.1 Traduction des caractéristiques et propriétés du modèle en observables de terrain

Nous entendons par protocole d'observation l'ensemble des procédures à mettre en œuvre - observations à réaliser, mesures à effectuer – pour obtenir les données nécessaires dans le cadre d'un travail d'investigation. Cette tâche correspond à la seconde partie de la consigne, lors de la phase de préparation de la classe de terrain, qui porte sur les indices à rechercher pour valider le modèle scientifique dans le cadre alpin. Il s'agit donc de traduire les caractéristiques du modèle en observables de terrain comme cela est compris par les élèves dont les propos sont retranscrits ci dessous :

Aljaime2 5.50 phase 1

Qu'est-ce qui peut nous prouver qu'il y a une subduction ?

Aljaime1 13.30 phase 1

C'est quelle pierre qui se forme à ce métamorphisme là ?

Cette traduction, pour le contexte géologique étudié, consiste le plus souvent à identifier les minéraux, roches et structures géologiques témoins des différentes phases de la formation d'une chaîne de collision. Il s'agit ainsi de faire des prédictions en termes d'observables de terrain et donc de commencer à concevoir le protocole d'observation qui sera mis en œuvre :

A1nuguet2 3.48 phase A

E1 : S'il y a accréation, il y a des sédiments marins...

Dans la transcription ci dessus, l'élève E1 déduit d'un phénomène identifié comme impliqué dans la formation d'une chaîne de collision, l'accréation océanique, que des indices de ce

phénomène devraient se retrouver sur le terrain sous la forme de « sédiments océaniques ». Son raisonnement l'amène à mettre en relation le registre du modèle (l'accrétion) et le *registre empirique* (les sédiments océaniques).

Le caractère prédictif du modèle lors des activités réalisées par les élèves s'exprime également lorsque ces derniers identifient des indicateurs qui, sur le terrain, leur permettront de se localiser par rapport aux différentes structures géologiques. Ainsi, dans la transcription suivante, l'élève E1 exprime que la présence de volcanisme indique que l'on se trouve sur la plaque chevauchante plutôt que sur la plaque plongeante.

A1putinier1 10.1 phase A

E1- Volcanisme sur croûte continentale

E2- Qui passe par dessus

E1- Le fait de dire qu'il y a du volcanisme sur la croûte qui passe par dessus... **Ca veut dire que si on trouve des volcans on saura que c'est celle qui passe par dessus.**

Cet exemple est proche du précédent. Le modèle permet de mettre en relation des éléments qui appartiennent au *registre empirique* (« si on trouve des volcans »), des éléments qui appartiennent au registre du modèle (la croûte continentale). A ces deux registres s'ajoute un troisième qui correspond au registre explicatif « celle qui passe par dessus ». Le registre explicatif de l'élève comprend ce sur quoi il s'appuie pour expliquer. Il s'agit du registre qui donne du sens au modèle et permet de le manipuler (C. Orange, 2000). Il comprend des éléments qui ne sont pas discutés et qui relèvent de la *théorie de l'élève*. Dans le cas présent, l'élève E1 exprime une vision mécaniste des phénomènes. La collision se traduit par des chevauchements de structures géologiques. Ce registre peut donc englober des éléments du modèle qui sont considérés comme acquis et non hypothétiques.

On voit dans cet échange que les rapports sont inversés par rapport au précédent. Dans l'exemple précédent un élément identifié dans le registre du modèle (l'accrétion) permettait de prévoir une caractéristique du *registre empirique* (les sédiments). Ici, c'est la présence d'un élément identifié dans le *registre empirique* (les « volcans »), qui permettra de se localiser sur le modèle (au niveau de la croûte continentale). Autrement dit, le premier exemple montre une projection du registre du modèle sur le *registre empirique*. Dans ce dernier exemple c'est le *registre empirique* qui se projette sur le registre du modèle. Ceci est résumé par la figure 37.

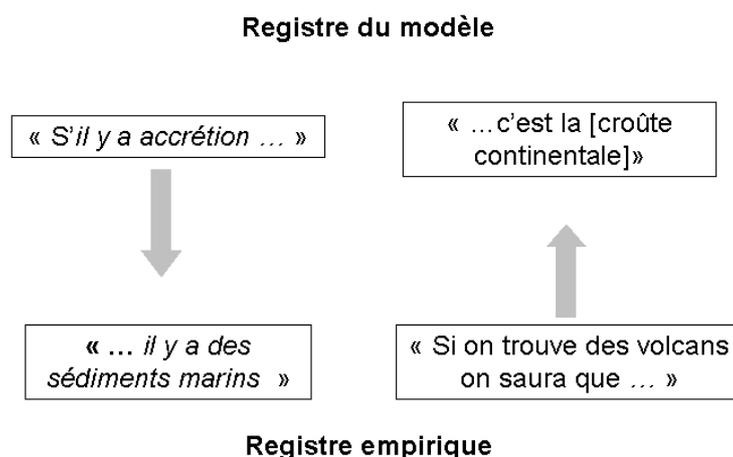


Figure 37 : Liens entre registre empirique et registre du modèle dans les échanges des élèves

7.2.2 Distinction modèle/observables de terrain

7.2.2.1 Résultats des expérimentations de septembre 2005

Lorsque les élèves sont placés en situation de traduire les caractéristiques du modèle en observables de terrain, comme cela était le cas au cours de la préparation de la classe de terrain, ils sont confrontés à différents types de difficultés. En premier lieu, il leur est souvent difficile de distinguer les éléments de ces deux registres. C'est ce type de difficulté que l'on observe au cours de l'échange ci-dessous.

A2jaime1 7.07 phase A

[Les élèves listent les indices à rechercher sur le terrain d'après les éléments fournis par le modèle]

E1. Là, ils te demandent structures tectoniques donc ça va être zone de subduction.

E2. Oui zone de subduction

Outre que cet échange peut traduire le fait que les élèves ont peut être mal compris le sens du mot « structure », on constate que la zone de subduction n'est ici pas identifiée par les élèves comme un élément strictement constitutif du modèle et ils ont du mal à tracer la frontière entre modèle et terrain. Cela amène parfois les élèves à s'interroger sur la possibilité d'observer un élément du modèle sur le terrain :

A9nuguet1 10.00 phase 1

Maintenant est-ce qu'on va voir... Ben un prisme d'accrétion alors ? Mais est-ce qu'on peut le voir ou pas ça ? On peut pas...

Pour un géologue, un prisme d'accrétion est une structure sédimentaire et tectonique qui ne peut pas être observée directement mais dont la présence est déduite des roches et figures tectoniques observées. Dans le cas qui nous préoccupe, les élèves ne disposent pas des connaissances nécessaires pour effectuer la traduction du registre du modèle dans le *registre empirique*. Ces connaissances relèvent de la maîtrise d'autres modèles. Un prisme d'accrétion est un modèle conceptuel qui fait lui-même partie d'un modèle plus global qui est le modèle de subduction. Il y a, en quelque sorte, un emboîtement en poupées russes de différents modèles. La traduction d'un modèle en observable de terrain implique alors que les modèles d'ordre inférieur soient maîtrisés des élèves. Ce ne semble pas être le cas pour les élèves de ce binôme d'après la nature de leurs échanges. Les connaissances nécessaires à cette traduction relèvent également de compétences qui sont liées à une certaine expérience du terrain. Un géologue expérimenté saura reconnaître une faille sur le terrain parce qu'il aura une pratique de l'identification d'un tel objet. Il saura qu'une faille peut se matérialiser par différents types d'observations : décalage de strates, miroir de faille, zones broyées, recristallisations... D'une manière très générale les élèves ne possèdent pas cette expérience.

Dans d'autres cas leurs connaissances leur permettent de trancher. C'est le cas lors de l'échange reproduit ci-dessous :

A2putinier2 6.20 phase A

E1- Métamorphisme...

E2- Oui mais le métamorphisme tu peux pas y voir

E1- Oui c'est clair...

L'idée que le métamorphisme puisse être un observable de terrain est rejeté. Les verbalisations de ces élèves n'apportent pas d'information sur les raisons qui les ont amené à ce rejet mais elles montrent que les élèves explorent les limites du modèle et du *registre empirique*. Cette exploration nous semble importante pour l'apprentissage

Ces constats nous ont conduit à réaliser le schéma (figure 38) qui permet de lister les caractéristiques et phénomènes géologiques relatifs au modèle scientifique décrivant la formation d'une chaîne de collision et de décrire les relations logiques qui les relient. En premier lieu, ce schéma permet de distinguer deux ensembles. Nous avons représenté sur fond bleu les éléments du modèle qui peuvent constituer de véritables observables de terrain. Ce sont donc des objets géologiques qui caractérisent le modèle – c'est pourquoi nous les qualifions de caractéristiques du modèle - mais qui peuvent également appartenir au *registre*

empirique. Nous avons distingué trois types de caractéristiques du modèle qui, du fait de leur échelle, correspondent à trois niveaux d'observation. I correspond à l'échelle du minéral, II à celui de la roche et III à celui d'une structure géologique qui décrit un état particulier de la roche (*eg.* basalte en coussin) ou correspond à une structure géologique qui affecte ou comprend différentes roches (*eg.* faille ou contact anormal). En second lieu, nous avons représenté sur fond jaune les phénomènes géologiques à l'origine de ces objets géologiques (*eg.* métamorphisme) ou des objets géologiques de niveau supérieur qui ne peuvent être observés directement (*eg.* prisme d'accrétion). De ce fait, ces éléments n'appartiennent pas à la phénoménographie du *registre empirique*. Il existe donc une limite qui sépare des éléments qui n'appartiennent qu'au registre du modèle ou qui ne peuvent être identifiés qu'à l'aide du modèle (des phénomènes géologiques et des structures géologiques complexes) d'autres éléments qui peuvent relever aussi bien du registre du modèle que du *registre empirique*. Ce point de vue doit être nuancé. Des objets géologiques peuvent dans certains contextes, appartenir au *registre empirique* et dans d'autres, relever strictement du registre du modèle. C'est par exemple le cas des failles dont la présence sur le terrain peut être parfois matérialisée par des décalages de strates très facilement identifiables alors que sur d'autres sites cette présence ne peut être déduite que très indirectement de l'observation de recristallisations ou du broyage des roches affectées. La distinction entre *registre empirique* et registre du modèle, c'est-à-dire entre ce que l'on peut s'attendre à observer et ce dont on sait que l'on ne pourra pas le voir, dépend surtout de la question qui est travaillée mais elle dépend donc également très largement des compétences et de l'expérience de l'observateur.

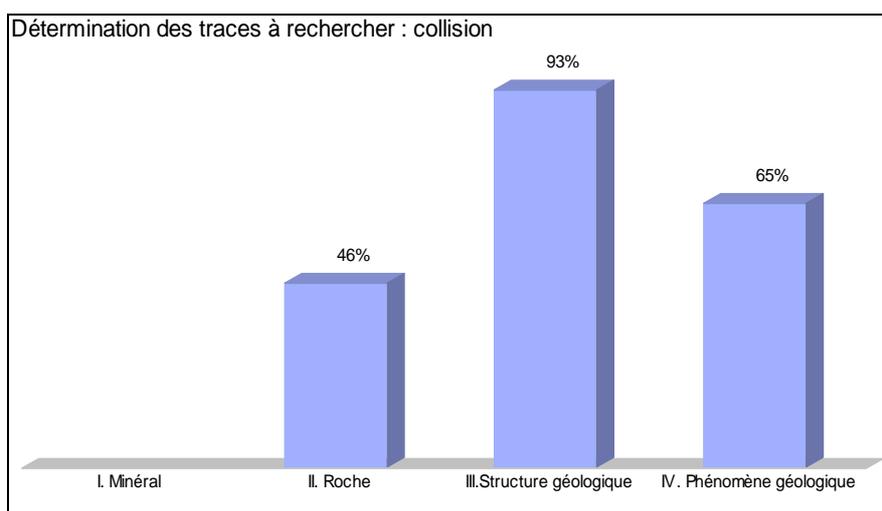
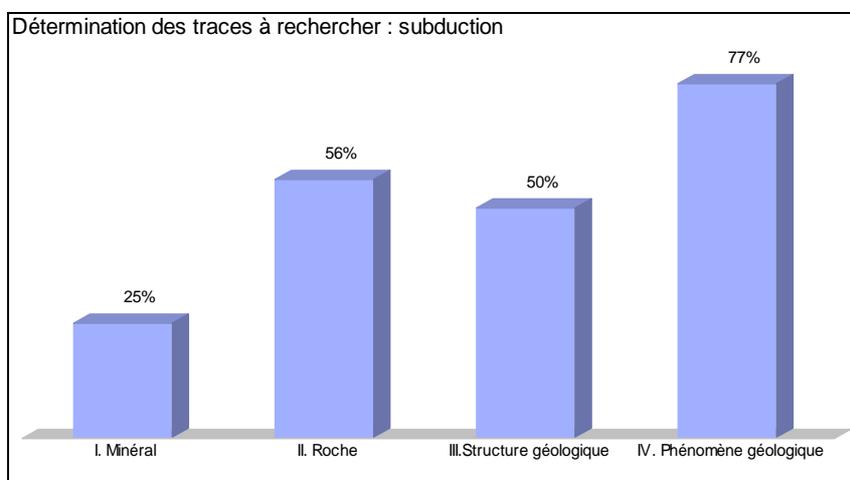
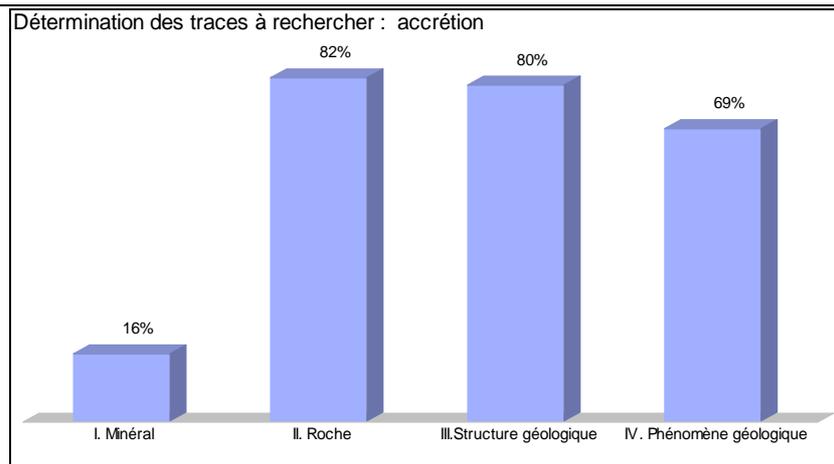
Ce schéma (fig. 38) nous a servi de grille de lecture pour analyser les productions écrites des élèves lors de la phase au cours de laquelle il leur était demandé de traduire le modèle à leur disposition en indices observables sur le terrain.

Les résultats obtenus (figure 39) confirment l'analyse des enregistrements audio. Les élèves ne se limitent pas à citer des observables de terrain. Ils sont nombreux, entre 65 et 77% selon qu'il s'agit de l'accrétion, de la subduction ou de la collision, à citer des phénomènes géologiques ou des structures tectoniques non directement observables (niveau IV). Le plus souvent il s'agit du métamorphisme (lié à l'accrétion, 46% ou à la subduction, 72%). Il peut également s'agir de structures géologiques telles que la lithosphère océanique (39%) ou la dorsale (35%) pour l'accrétion, principalement du prisme d'accrétion pour la subduction (59%). Pour la collision, les deux structures géologiques les plus citées sont l'ophiolite (50%) et les chevauchements (37%).

Seule une minorité d'élèves est donc capable de se limiter, dans ses réponses, à des observables de terrain. Ceci traduit une certaine confusion entre ce qui relève du modèle et ce qui relève du *registre empirique*. A ce stade de leur travail, les élèves éprouvent des difficultés pour distinguer ces deux registres. Ceci est mis en évidence par la manière dont certains d'entre eux formulent leurs réponses lors de ce travail. Ainsi, pour compléter la case « indices recherchés » le binôme 1putinier1 écrit :

« présence **d'une** faille d'extension sur la croûte océanique »

On voit ici que le modèle semble perçu comme une représentation fidèle de la réalité du terrain plutôt que comme une représentation synthétique permettant de rendre compte des structures géologiques présentes.



Les graphiques indiquent les indices à rechercher sur le terrain relevés par les différents binômes pour les trois étapes de la formation d'une chaîne de collision. On constate que les élèves ne se limitent pas à des observables de terrain.

Figure 39 : Traduction du modèle en observables de terrain (expérimentation 2005)

Interrogés : 50 / Répondants : 49

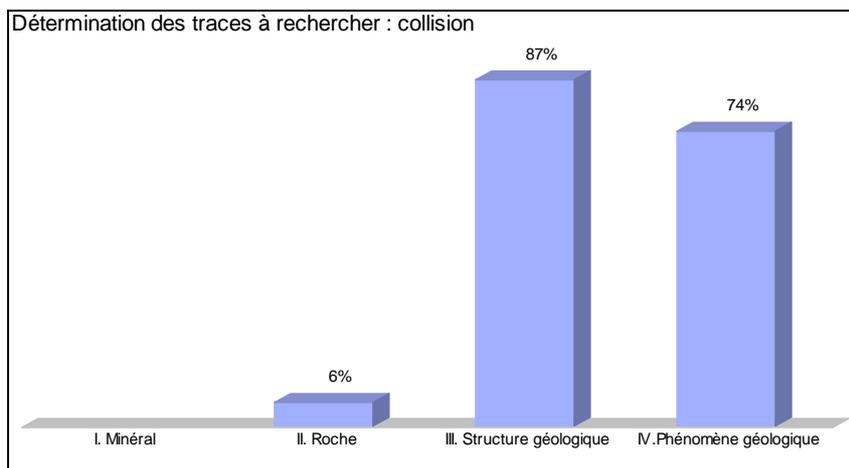
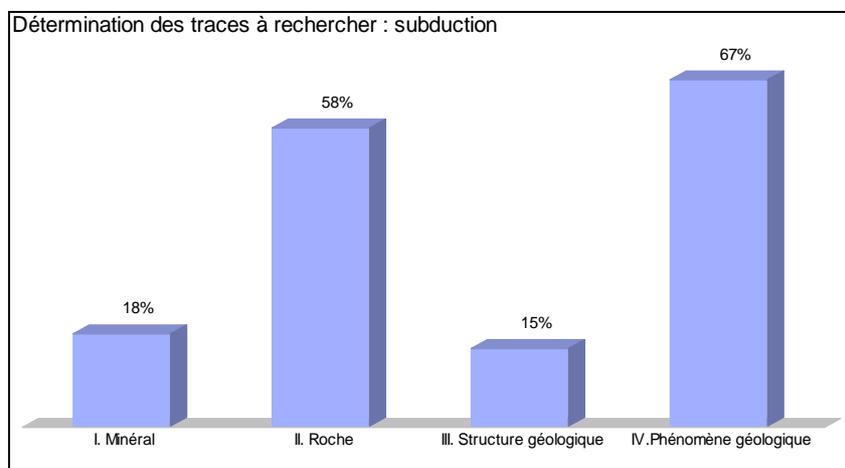
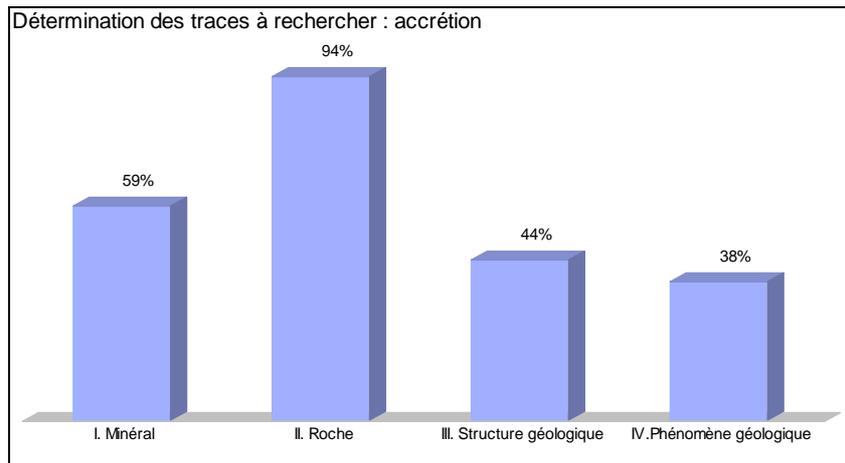
Néanmoins, la traduction du modèle en observables de terrain est une tâche qu'une majorité d'élèves réussit au moins partiellement (figure 40). Les scores sont de l'ordre de 80% pour l'accrétion. Dans ce cas c'est la présence de basalte (73% des binômes) ou de failles normales (82% des binômes) qui est attendue. Pour la subduction c'est principalement la présence de roches métamorphiques qui est prévue (41% des binômes) alors que 89% des binômes ont identifié que les plis sont indicateurs d'une phase de collision. Cette valeur élevée est probablement liée au fait que le plissement est mentionné de manière explicite dans le texte qui accompagne les schémas. Les élèves indiquent donc préférentiellement dans leurs réponses des roches ou des structures géologiques (plis, failles...) c'est-à-dire les niveaux II et III de notre schéma. Ils sont beaucoup moins nombreux à dresser la liste des minéraux constitutifs des roches qu'ils prévoient de retrouver sur le terrain. C'est dans le cas de la subduction que le plus grand nombre de binômes cite ces minéraux (28% des élèves indiquent les minéraux qui signent un phénomène de subduction). Les pourcentages des différentes occurrences des indices que les élèves citent sont indiqués en annexe (annexe P p. 385).

7.2.2.2 Résultats des expérimentations de septembre 2006

Nous avons tenté de tenir compte, pour les expérimentations de septembre 2006, des difficultés rencontrées par les élèves pour traduire le modèle en observables de terrain lors des séances de l'année précédente. Il ne s'agissait pas d'éviter ou de contourner les difficultés que nos résultats mettaient en évidence mais d'aider les élèves à les franchir. Pour cela nous avons scindé cette tâche en deux parties : dans un premier temps les élèves devaient établir la liste des phénomènes géologiques impliqués dans les différentes étapes de la formation d'une chaîne de collision et ce n'est que dans un second temps qu'il leur était demandé d'indiquer les indices à rechercher. Un premier temps de travail en binômes était donc consacré à l'identification des phénomènes géologiques écrits par le modèle. Dans un second temps les échanges des différents élèves de la classe et du professeur permettait de faire le point sur ces phénomènes. Ce n'est que dans un troisième temps que le travail en binômes consistait à lister les indices à rechercher sur le terrain. La comparaison des résultats obtenus en 2006 (figure 40) avec ceux obtenus en 2005 montre que cela s'est généralement traduit par une meilleure réussite de la tâche. Les pourcentages des différentes occurrences des indices que les élèves citent sont indiqués en annexe (annexe P p. 385). Des structures géologiques non directement observables sur le terrain telles que lithosphère océanique, prisme, fosse, dorsale sont moins fréquemment citées. Les phénomènes géologiques tels que le métamorphisme sont moins

souvent confondus avec des indices à rechercher. L'amélioration la plus nette concerne l'étape d'accrétion pour laquelle les élèves ont mieux réussi à lister les roches et minéraux à rechercher (respectivement + 43 % et + 12 %) et moins souvent cité des phénomènes non observables directement (-31 %). Néanmoins, on voit également pour la même étape que les failles normales sont moins souvent indiquées. Pour l'étape de subduction, un nombre élevé de binômes cite le volcanisme et le magmatisme ce qui entraîne une valeur qui reste élevée pour le niveau IV (67 contre 77 % en 2005). Les résultats obtenus pour l'étape de collision ne sont pas très différents pour les deux expérimentations.

Nos résultats tendent à montrer que les difficultés que rencontrent les élèves dans la traduction du modèle en observables de terrain sont mieux surmontées si une tâche préalable les a amenés d'abord à repérer les phénomènes géologiques impliqués. La décomposition de la tâche n'est probablement pas le seul facteur qui explique cette amélioration et il est probable qu'il faut également tenir compte des interventions des enseignants avec lesquels ce point avait été discuté. Ces interventions n'ont pas été observées mais elles ont pu avoir lieu au cours des séances qui ont précédé nos expérimentations. Néanmoins, la difficulté n'a pas été gommée. Les élèves sont bien amenés, à partir des caractéristiques du modèle, à prévoir les indices à rechercher. Le niveau de cette difficulté a été ramené à un niveau de difficulté plus proche de celui que les élèves sont en mesure de franchir. Par ailleurs, la modification de la situation - ce n'est qu'une fois que les phénomènes géologiques sont bien identifiés que les élèves doivent traduire les caractéristiques du modèle en observables de terrain – aide ces derniers à distinguer ce qui relève strictement du modèle des éléments du modèle qui peuvent avoir une réalité dans le *registre empirique*. D'autres variables qui n'ont pas été contrôlées lors des expérimentations peuvent avoir un effet important sur la réussite de cette tâche. Ainsi, le travail effectué lors des séances précédentes, les interventions de l'enseignant sont probablement à l'origine de certaines variations telles que le nombre élevé de binômes qui citent le magmatisme et le volcanisme comme observables de terrain.



Les graphiques indiquent les indices à rechercher sur le terrain relevés par les différents binômes pour les trois étapes de la formation d'une chaîne de collision au cours des expérimentations de septembre 2006. Les élèves sont proportionnellement plus nombreux qu'en 2005 à se limiter à des observables de terrain dans leurs réponses.

Figure 40 : Traduction du modèle en observables de terrain (2006)

Interrogés : 34 / Répondants : 34

7.2.3 Mise en histoire du modèle

Un autre aspect de l'utilisation du modèle pour la conception du protocole d'observation concerne les difficultés que les élèves éprouvent pour dépasser le caractère statique des documents qui leur sont présentés. Nous avons relevé, p. 65, les travaux qui ont souligné cet aspect (Monchamp & Sauvageot-Skibine, 1995 ; Allain, 1995). Nous avons retrouvé des indices de ce type de difficulté dans les productions ou les échanges des élèves suivis lors de nos expérimentations. Ainsi, dans l'exemple ci-dessous, un élève a identifié que la présence des indices d'un plancher océanique serait indicatrice d'un phénomène d'océanisation mais il ne fait pas intervenir les étapes ultérieures de l'histoire géologique et prévoit de retrouver le relief « plat » de l'océan originel :

A1putinier1 4.32 phase 1 [consultent le schéma « étapes de la formation d'une chaîne de collision »]

E1- Ben c'est plat, c'est plat, c'est archi-plat non ?

E2- Tu redis ça ?

E1- Ben oui mais tu peux avoir une zone plate, une plaine non ?

Ce type de difficulté est identifiable de manière récurrente dans les enregistrements audio. Dans le second exemple ci-dessous, les échanges montrent que les élèves s'attendent à trouver un relief de type rift :

A3jaime2 41.40 phase B

[cherchent des indices de dorsale]

E1- Il faut qu'il y ait un creux puis une remontée avec des montagnes.

E2- Oui c'est ça...Ben je sais pas trop

Dans ce troisième exemple c'est une fosse océanique que les élèves s'attendent à trouver :

A9putinier1 5.00 phase A

E2- On peut dire fort relief négatif au niveau de la... du prisme justement

E1- Ouais...

On retrouve le même type d'erreur dans les réponses écrites des élèves lorsque les élèves remplissent le tableau (Annexe : tableau 1). A titre d'exemple, le binôme 9nuguet2 écrit pour indiquer les indices d'accrétion à rechercher sur le terrain :

« fine couche de sédiments **sans plis** »

L'absence de plis semble perçue comme un indicateur d'un phénomène d'accrétion et la réponse montre que les élèves du binôme n'ont pas tenu compte du fait que les sédiments qu'ils mentionnent seront transformés par les étapes ultérieures de la formation de la chaîne.

Le tableau 8 liste quelques exemples que nous avons pu relever dans les verbalisations et productions des élèves.

Le raisonnement qui est mis en œuvre conduit les élèves à transposer un élément du modèle dans le *registre empirique* sans envisager les transformations subies par cet élément, si on tient compte de l'histoire complète de la formation de la chaîne de collision. Les élèves éprouvent donc des difficultés pour « mettre en histoire » le modèle.

Ces échanges traduisent les difficultés que les élèves éprouvent dans l'élaboration d'un *raisonnement diachronique* (p. 66). Les liens entre les différentes phases représentées sur le schéma ne sont pas établis. Chaque phase présente une certaine autonomie. C'est ainsi qu'ils en arrivent à considérer qu'une structure géologique formée au cours d'une étape de la formation de la chaîne n'est pas transformée par les étapes ultérieures. Le devenir de cette structure géologique n'est pas problématisé. Les liens inter-phases qui permettent d'établir des relations entre les événements qui se sont succédés ne sont pas caractérisés. Tout se passe alors comme si le film qui représente la formation d'une chaîne de collision se déroule d'une manière saccadée. Comme si chaque image de ce film était déconnectée de l'image qui la précède comme de celle qui la suit. Parmi les *schèmes* que Dodick et Orion (2003a) évoquent pour décrire le raisonnement diachronique en géologie c'est donc le *schème* des liens inter-phases que les élèves ne semblent pas en mesure de mettre en œuvre c'est-à-dire d'appliquer un raisonnement causal.

<i>Binôme</i>	<i>Référence</i>	<i>Transcriptions</i>	<i>Commentaire</i>
A1putinier1 [consultent le schéma « étapes de la formation d'une chaîne de collision »]	Audio 4.32 séance A	<i>E1- Ben c'est plat, c'est plat, c'est archi-plat non ?</i> <i>E2- Tu redis ça ?</i> <i>E1- Ben oui mais tu peux avoir une zone plate, une plaine non ?</i>	Les élèves se fondent sur le relief que décrit le modèle à leur disposition (océan « plat » ou « creux » lié à la formation d'une fosse océanique) et prévoient de retrouver ce relief sur le terrain.
A3jaime2 [cherchent des indices de dorsale]	Audio 41.40 séance B	<i>E1- Il faut qu'il y ait un creux puis une remontée avec des montagnes.</i> <i>E2- Oui c'est ça...Ben je sais pas trop</i>	
A9putinier1	Audio 5.00 séance A	<i>E2- On peut dire fort relief négatif au niveau de la... du prisme justement</i> <i>E1- Ouais...</i>	
A3nuguet1	Audio 10.30 séance A	<i>E1- Il faut mettre péridotite en profondeur</i> <i>E2- Oui mais on les verra pas, il faut trouver les indices recherchés</i> <i>E1- Ouais</i>	La péridotite est identifiée comme étant un marqueur de la présence de lithosphère océanique mais cet indice n'est pas retenu car les élèves n'envisagent pas les étapes postérieures à l'accrétion responsables de la remontée de la roche en surface.
A9nuguet2	Tableau 1 complété	<i>Fine couche de sédiments sans plis</i>	Les sédiments sont identifiés comme marqueurs de l'accrétion océanique mais les élèves n'envisagent pas leur transformation lors des étapes ultérieures.
A1putinier1	Audio 7.50 séance A et Tableau 1 complété	<i>Présence d'eau</i>	L'eau (de l'océan), caractéristique de l'accrétion est notée comme indice à rechercher.

Tableau 8 : Eléments du modèle transposés dans le registre empirique sans mise en histoire, quelques exemples au travers des verbalisations et productions des élèves

Les travaux de D. Orange (2003b) permettent également d'éclairer notre analyse. Cet auteur évoque un *actualisme de premier niveau* (p. 65) pour décrire le fait que les élèves s'en tiennent à un raisonnement analogique pour translater une structure géologique actuelle vers le passé sans évoquer le temps long nécessaire à sa production. Les verbalisations des élèves placés en situation de traduire un modèle en indices observables montrent que cette situation les conduit à translater certaines structures dans le temps qui suit leur production sans évoquer les transformations qu'elles subissent. Il s'agit donc d'un raisonnement analogique symétrique du précédent. Au final, ce raisonnement traduit un certain *fixisme* (p. 65) dans la manière qu'ont les élèves de considérer le modèle.

7.2.4 Rôle du modèle dans la sélection des affleurements et la détermination de l'itinéraire à parcourir

Au cours des expérimentations, les élèves ont été amenés à déterminer un itinéraire à parcourir pour rechercher les indices de la formation d'une chaîne de collision dans le Briançonnais. Cette consigne les a conduit à choisir, parmi les affleurements géologiques disponibles dans l'EIAH à leur disposition, ceux qui semblent receler ce type d'indices. Ce travail les conduit à utiliser le modèle scientifique comme outil de tri :

A1nuguet2 29.05 phase 3 [consultent la carte géologique]

L'arrêt 1 est bien à faire... le gabbro et le basalte qui sont particuliers de la croûte océanique...et la péridotite c'est pas là normalement. Tu sais la péridotite c'est dans le manteau supérieur... Qu'est-ce que ça fait là quoi ?

Le modèle joue alors le rôle d'un filtre qui va permettre aux élèves de sélectionner, parmi toutes les informations dont ils disposent, celles susceptibles de les aider à résoudre le problème qui leur a été confié. Dans le second exemple retranscrit ci-dessous, les élèves sélectionnent un arrêt sur lequel se rendre. On voit que cette tâche les conduit à évoquer le modèle, à préciser une caractéristique du modèle dont ils jugent pertinent de tenir compte (le gabbro), de préciser également la signification de cet élément (indicateur d'un phénomène d'accrétion océanique) pour discuter de la pertinence de sélectionner l'arrêt 3 :

A1putinier1 28.22 phase A

E1- Il est intéressant celui là, le 3.

E2- Oui mais...

E1- Regarde, ça prouve que ça... C'est ce qui est au fond de la ...

E2- Au fond de la mer

E1- Gabbro c'est ce qui est après...

E2- Gabbro ouais, lors de l'**accrétion**.

E1- Gabbro on peut les observer dans le 3... Péridotite... Les roches sédimentaires y'en avait dans le 3 ou pas ?

Pour concevoir le protocole d'observation, au cours des expérimentations que nous avons conduites, les élèves se sont appuyés sur un modèle de formation d'une chaîne de collision. Ce modèle scientifique a été utilisé pour déterminer les indices à rechercher et sélectionner les sites à visiter. Les élèves ont donc pu utiliser la fonction prédictive du modèle.

Lorsque les élèves utilisent cette fonction prédictive du modèle ils se confrontent principalement à deux types de difficultés. Il s'agit en particulier de la distinction entre les phénomènes géologiques et les objets que ces phénomènes produisent, objets qui peuvent constituer des observables de terrain. Cette difficulté se traduit par une certaine confusion entre registre du modèle et *registre empirique*. Il s'agit également de difficultés liées à la perception de la dynamique du modèle et à sa « mise en histoire », pour penser les modifications successives subies par un objet géologique. Le raisonnement que les élèves mettent en œuvre traduit une vision fixiste de la géologie.

Les élèves ont également montré qu'ils étaient capables d'utiliser le modèle comme un cadre qui leur permet d'effectuer un tri dans les informations qui sont à leur disposition pour élaborer un protocole d'observation. Le modèle apparaît alors comme un outil leur permettant de s'engager dans un travail d'investigation. Les paragraphes suivants seront consacré à discuter cette fonction du modèle au cours des autres phases de cette investigation.

7.3 Le modèle, outil d'interprétation des données

Nous avons vu que de nombreux auteurs s'attachent à attribuer une fonction heuristique aux modèles (voir par exemple (Larcher, 1994 ; Halloun, 2004)). Cette position consiste donc à considérer que le modèle oriente le questionnement et les observations qui sont effectuées. C'est le modèle qui donne alors du sens à ces observations. Les modèles scientifiques sont des constructions destinées à prédire certains aspects d'une réalité objective qui existe indépendamment de l'observateur. Dans ce paragraphe nous examinons de quelle manière les élèves utilisent le modèle pour donner du sens au *registre empirique* auquel ils sont confrontés.

Les élèves sont conduits à confronter le modèle au *registre empirique* à trois moments. Le premier moment de confrontation correspond à la phase d'élaboration du protocole d'observation. La carte, et les différentes données disponibles constituent alors un ensemble d'informations à partir desquelles les élèves se constituent une ébauche de *registre empirique* en tentant de déterminer les sites sur lesquels se rendre et les observations à effectuer. Le second moment correspond au travail sur le terrain. Les élèves conduisent les observations qui ont été programmées. Le dernier moment correspond au travail réalisé en classe au retour de la classe de terrain. Les photographies prises sur le terrain sont triées, commentées et géolocalisées.

7.3.1 Interpréter les relations spatiales et/ou temporelles des données

Nous avons vu que l'analyse spatiale joue un rôle central dans les sciences de la Terre. Ce sont en effet les relations géométriques entre structures géologiques qui permettent de déterminer la chronologie de leur formation et donc de reconstruire l'histoire géologique. Nous examinons dans ce paragraphe les difficultés auxquelles les élèves sont confrontés lors d'une telle analyse et la place jouée par le modèle. Ce type d'analyse a été conduit par les élèves à plusieurs reprises et pour différentes échelles : utilisation du modèle ou de la carte topographique, détermination des mesures à effectuer sur un pli pour évaluer le raccourcissement lié au plissement (fig 41), analyse d'images présentes dans l'application ou intégrées par les élèves, localisation sur le terrain et identification des relations entre minéraux.



Les photographies illustrent la situation mise en place pour conduire les élèves à identifier que la formation d'un pli conduit à un raccourcissement et à un épaissement. Ils ont affiché, avec Géonote, une photographie du pli de Saint Clément et un schéma indiquant le vocabulaire utilisé pour décrire les différents éléments d'un pli.

Figure 41 : Détermination des mesures à effectuer sur un pli pour en évaluer le raccourcissement

Nous examinons d'abord un moment au cours duquel les élèves tentent de mettre en relation la présence de péridotites à l'affleurement (observées sur la carte géologique) et le modèle de formation d'une chaîne de collision. Dans la transcription ci dessous, on voit que le travail qui consiste à déterminer les indices à rechercher sur le terrain s'accompagne d'une interrogation sur les relations spatiales des roches identifiées. Les élèves recherchent un lien entre la coupe de la lithosphère représentée par le modèle et la carte géologique (nous considérons dans ce cas que la carte géologique est un élément constitutif du *registre empirique* dans la mesure où son utilisation se borne à apprécier la présence une roche à l'affleurement) :

A9putinier 1 34.22 séance A

E1- On en était aux péridotites...

E2- Oui ben donc présence de... pareil

E1- Si elles sont en surface ça veut dire qu'elles sont remontées...Ca veut dire qu'il y a du... attend je confond avec la subduction là...

E2- Ben elle sort aussi

E1- Elle sort pareil

E2- Non elles sont pas remontées... c'est quand même assez profond...

E1- Oui mais elle sort grâce au magmatisme non ?

E2- Ouais... **mais regarde sur notre** [montre le schéma indiquant les étapes de la formation d'une chaîne de collision]... Les péridotites restent au fond quand même... donc ça veut dire qu'il y a toute une partie que ce soit... T'as carrément la croûte plus le manteau qui est remonté quand même.

E1- Oui mais...

Les relations spatiales entre des structures géologiques que les élèves identifient peuvent les conduire à en déduire la chronologie des événements géologiques à l'origine de ces structures. Dans la transcription ci-dessous – qui correspond à une phase de travail sur le terrain – les élèves tentent de déterminer l'ordre de formation des minéraux métamorphiques d'un gabbro. Les minéraux sont vus comme des taches en surface, sur la roche plutôt que comme des objets tridimensionnels :

B9nuguet1 4.56.00 séance B

E2 : Oui. [...] Celui-là, il est bizarre.

E1 : Il y a du blanc, du rouille, du vert en filon...

E2 : Il est pas très lisible.

E1 : Il est dur à dessiner. Par contre ça c'est la pierre ou de la vraie rouille ?

E2 : Non non regarde.. Je vais pas à arriver à faire ça.

E1 : La rouille... Le bleu il est autour de la rouille... **Après, il y a le vert qui se met au-dessus.**

Ces échanges montrent que , pour les élèves, les minéraux ne semblent pas avoir de volume. Ils sont perçus comme des tâches de couleurs à la surface de la roche. Ainsi « le vert qui se met au dessus » n'a pas de dimension propre, il peut donc être considéré comme apparaissant ex nihilo plutôt que comme résultant de la transformation de minéraux présents dans la roche. Nous avons enregistré ce type de verbalisations à plusieurs reprises dans le même contexte (la recherche des relations spatiales entre minéraux indicateurs du métamorphisme afin de déterminer la chronologie de leur formation). Les échanges d'un autre binôme constituent un second exemple :

B9nuguet1

[Prendent une photographie]

E1 : Je vais prendre cette couronne de noir.

[...]

E1 : C'est le noir en premier ?

E2 : Parce que vu que le vert est dessus !

Ces échanges traduisent encore une fois que , pour ces élèves, les roches et les minéraux sont des objets qui n'ont pas d'histoire. Ils ne sont pas pensés comme résultant de transformations minéralogiques contrôlées par les conditions de pression et de température mais plutôt comme des « clignotants » qui s'allument ou s'éteignent en fonction de ces conditions.

Pourtant , au terme de leur raisonnement, les élèves déterminent correctement la chronologie d'apparition des minéraux métamorphiques. Néanmoins, ce raisonnement n'est pas fondé sur une identification correcte de relations spatiales entre les minéraux constitutifs de la roche dont la structure tridimensionnelle ne semble pas perçue et elle ne s'appuie pas sur une conception dynamique de la roche. Ce raisonnement s'appuie sur l'idée que des minéraux apparaissent ou disparaissent en fonction de conditions thermodynamiques mais ne résultent pas de transformations de minéraux préexistants. Il s'appuie également sur une conception de la roche qui tient peu compte de la structure tridimensionnelle des minéraux plutôt perçus comme des taches de couleurs qui se recouvrent.

7.3.2 Donner du sens aux données

Au cours des séances que nous avons mises en place, les élèves ont été confrontés, à trois reprises, avec le *registre empirique*. Dans un premier temps ce registre a été inféré à partir d'un travail d'analyse du modèle scientifique et son élaboration a débuté à partir des informations disponibles dans l'application. Le second temps correspond au travail de terrain. Les élèves ont alors été conduits à se construire ce registre au travers des activités qu'ils ont menées. Un troisième temps correspond à la phase au cours de laquelle les élèves sélectionnent et commentent les photographies prises sur le terrain afin de les intégrer à l'application. Nous examinons dans ce paragraphe le rôle que le modèle joue dans l'interprétation des données et comment il permet de leur donner du sens.

7.3.2.1 Lors du travail de terrain

Le corpus que nous avons recueilli pendant le travail des élèves sur le terrain est limité. Seuls quelques binômes ont été enregistrés. Nous avons vu plus haut, à partir du codage de la transcription des échanges du binôme 9nuguet1 que les échanges portaient essentiellement sur le *registre empirique* lors des phases de travail sur le terrain. Le modèle est rarement évoqué. Nous avons mis ceci en relation avec le fait que, une fois les procédures du protocole déterminées (les arrêts à visiter, les roches et minéraux à rechercher) ces procédures déterminent les tâches à effectuer qui correspondent à la mise en œuvre de techniques particulières. Ces procédures ne sont plus discutées mais simplement mises en œuvre car

légitimées par le travail de préparation de la classe de terrain. Pour reprendre les termes de Chevallard (1997), le « bloc pratico-technique » n'a plus besoin d'être justifié par le bloc « technologico-théorique ».

Pour l'essentiel, les élèves s'en tiennent donc aux procédures qu'ils ont déterminées lors de la séance consacrée à la préparation de ce travail. Nous avons pu néanmoins retrouver à plusieurs reprises des références au modèle dans les échanges des élèves. Le plus souvent, cela répondait à une sollicitation de l'enseignant qui tentait d'aider les élèves à replacer leurs observations dans le cadre global décrit par le modèle : subduction pour expliquer la présence de minéraux indicateurs d'un métamorphisme de BT HP, collision pour interpréter la présence de plis par exemple.

Les transcriptions que nous indiquons, à titre d'exemple, concernent un même binôme (Aprieur7) des expérimentations conduites en 2006. Les élèves sont sur le col du Souréou. Ils ont pour consigne de cartographier la zone. Ils doivent donc s'assurer que les roches présentes sont en place, les identifier, rechercher les limites entre les différentes formations et reporter ces limites sur une carte topographique.

La première fois que les élèves évoquent le modèle se situe à un moment où ils s'interrogent sur la fiabilité de la détermination des roches qu'ils ont effectuée. En premier lieu le modèle leur permet de préciser la consigne qu'ils ont reçue. Il s'agit de repérer les limites entre péridotite, gabbro et basalte. D'autre part le modèle leur permet de faire des prévisions sur la localisation de ces limites.

[Recherchent la limite des différentes formations]

E2 : Là ça change non ?

E1 : Non tu retrouves la même chose.

E2 : Ouais c'est vrai mais...

E1 : Parce que ça doit virer vers le gabbro

E2 : T'es sûre ?

E1 : Moi je dis gabbro, métagabbro, vers les complexes... et après basalte

E2 : Ouais mais justement, basalte ça devrait être les plus au dessus car tu sais, quand la truc elle s'est Crac. Donc on va trouver le basalte là bas et en bas si ça se trouve c'est les métagabbros

E1 : Ou de l'autre côté...

E2 : Ouais peut être de l'autre côté ouais. Ben on verra quand on mettra en commun

Les tours de parole des élèves E1 et E2 portent sur les caractéristiques du modèle, sur l'alternance des différentes couches. Ils portent également sur le *registre empirique* et, en

particulier, sur les zones sur lesquelles les différentes roches devraient être présentes. On voit que le modèle leur permet formuler des hypothèses sur la localisation des roches et qu'il guide leurs observations.

Nous avons choisi le col du Souréou parce que les travaux de Chalot-Prat (2005) ont permis de mettre en évidence que le modèle de lithosphère océanique en trois couches (péridotite-gabbro-basalte), habituellement retenu, est ici, en partie, remis en cause du fait de la présence de contacts entre péridotite et basalte sur certaines zones. Nous souhaitons conduire les élèves à s'interroger sur l'adéquation entre le modèle qui leur avait été donné et le *registre empirique* exploré. L'échange suivant se situe à un moment où les élèves repèrent un contact entre péridotite et basalte.

[Recherchent la limite des différentes formations]

E2 : De la péridotite tu as trouvée toi ?

E3 : De partout là.

E2 : A ouais, là y'a de la péridotite. Et pourtant en bas on avait du basalte

E1 : Ouais parce que y'avais la limite non ?

E3 : On en prend ?

E2 : Y'a plusieurs limites en fait. Ouais, celle là faut la prendre. Ca c'est de la péridotite serpentinisée

E1 : C'est quelle couleur ? la légende ?

E2 : Je sais pas. Faut voir... Là on a de la péridotite... Et pourquoi tout à l'heure en bas on avait du basalte ? Ben parce que c'était un autre endroit, c'est tout !

On voit ici que le modèle est en arrière plan de l'échange. La présence d'un contact entre péridotite et basalte pose problème à l'élève E2. Néanmoins, il ne remet pas en cause le modèle. Il propose une hypothèse *ad hoc* pour éviter l'écueil conceptuel : « Ben parce que c'était un autre endroit, c'est tout ! ». Le ton sur lequel est formulée cette hypothèse laisse à penser que E2 ne croit guère que cette hypothèse permet d'expliquer cette anomalie. On remarque également que le recueil des données n'est pas remis en cause alors même que les verbalisations des élèves au cours de ce travail de cartographie indiquent qu'ils s'interrogent beaucoup sur le caractère autochtone ou allochtone des roches et sur la fiabilité de leur échantillonnage.

Plus loin, le même élève E2 utilise le modèle pour interpréter le paysage et donner des instructions à l'autre élève du binôme chargé de réaliser une photographie.

[Prennent une photo de paysage]

E2 : Et là ça fait un peu les trois étages. T'as péridotite, gabbro et... et basalte.

E1 : ...

E2 : Regarde, regarde ! Là t'as péridotite, gabbro, basalte ;

E1 : Comment tu sais ?

E2 : Haha... parce que y'en a un qui est noir, l'autre quoi est vert, et l'autre qui est gris.

Dans cet échange deux tours de parole de E2 jouent un rôle central. Le premier porte sur le modèle : « ça fait un peu les trois étages ». Le second porte sur le *registre empirique* : « y'en a un qui est noir, l'autre quoi est vert, et l'autre qui est gris ». Ils montrent que E2 fait le lien entre ces deux registres.

Alors que le travail de cartographie est sur le point de se terminer, E2 rencontre l'élève E3 (d'un autre binôme). E3 lui apporte une information qui vient de nouveau bousculer ses certitudes. Il existe bien un contact entre péridotite et basalte.

E2 : Attends, ça veut dire que de ce côté c'est de la péridotite et au milieu c'est du basalte.

E3 : Regarde ça fait des [...]

E2 : C'était quoi qu'on avait ? Du gabbro en bas, de la péridotite tout là et là au dessus du basalte ?

E3 : Du basalte on en avait déjà en bas.

Pour autant, l'échange ne se poursuit pas par une tentative d'approfondissement de cette question, ou par une remise en cause du modèle ou des données recueillies.

Cette activité se termine avec un point effectué par l'enseignante sur l'adéquation des données recueillies et du modèle de lithosphère. A la fin de cette mise en commun, une nouvelle activité est lancée. Il s'agit de rechercher des indices du caractère sous-marin des éruptions qui ont permis la formation des basaltes. Le modèle de lithosphère est alors de nouveau évoqué par les élèves E1 et E2 :

E2 : Tiens, on y regarde [les consignes] maintenant comme ça on saura ce qu'il faut faire...

E1 : [lis les consignes]

E2 : Houla !

E1 : [lis les consignes]

E2 : **Sous marin ça fait en coussin. On va les trouver en coussin. Les trucs sous marin ça fait des basaltes en coussins**

E1 : On va en coussin et des **sédiments** volc... Euh...

E3 : On va utiliser la loupe...

Deux caractéristiques du modèle sont évoquées et permettent à E1 et E2 de prévoir quelles observations seront réalisées et donc ce qu'il faut rechercher : des coussins de basalte et des sédiments. Seuls les premiers seront visibles.

On voit, au travers des verbalisations que nous avons pu enregistrer, que le modèle peut constituer un véritable outil pour des élèves en situation d'investigation sur le terrain. Ce modèle leur permet d'établir des prévisions en termes d'observables de terrain (eg. prévoir la présence de telle ou telle roche), il leur permet de préciser le travail qu'ils doivent mener et de le traduire en tâches élémentaires exécutables (eg. localiser la limite entre deux formations géologiques plutôt que cartographier la zone). Ce modèle permet également d'évaluer la fiabilité des observations effectuées (eg. les contacts entre roches). Au final c'est, nous semble-t-il, la question du sens que les élèves attribuent aux activités de terrain qui est en jeu. C'est la mise en relation des données recueillies avec le modèle scientifique qui permet de donner du sens à ces activités. Ainsi, l'explicitation du modèle, son utilisation comme outil permettant le travail d'investigation, l'engagement des élèves dans des tâches qu'ils ont pour partie eux mêmes conçues, sont autant d'éléments qui permettent de construire un *milieu didactique* (p. 62) avec lequel ils peuvent interagir. L'élaboration de ce *milieu didactique* permet la *dévolution du problème* : le recueil de données à confronter avec un modèle scientifique. Elle permet ainsi aux élèves de travailler de manière autonome sur le terrain. Ils n'ont pas besoin de décoder les intentions de l'enseignant afin de comprendre le jeu pédagogique qui se joue.

7.3.2.2 Lors de la rédaction des commentaires des photographies réalisées

De retour en classe, les photographies réalisées sont sélectionnées, puis commentées lors de leur intégration dans l'application. L'annexe (annexe W p. 394) indique et illustre de quelles manières modèle et *registre empirique* sont évoqués dans les commentaires des photographies rédigées par les élèves de quelques binômes. Cette annexe a été réalisée en effectuant une simple copie du code source des fichiers créés lors de ce travail.

Binôme	Texte rédigé par les élèves	Eléments du modèle	Eléments du registre empirique	Eléments d'argumentation permettant de faire le lien entre RM et RE	nb de binômes concernés
Le commentaire se limite à des éléments du <i>registre empirique</i>					23
3 putinier1	Gabbro <i>Voici du gabbro, roche principale présente à notre arrêt.</i>	Gabbro			
Le commentaire se limite à des éléments du registre du modèle					10
9putinier1	ouest du mont du Chenaillet <i>preuve d'accrétion</i>		Accrétion		
Le commentaire mentionne des éléments du <i>registre empirique</i> et du registre du modèle sans expliquer leurs relation					21
3 putinier1	Paysage couches de basalte et gabbro <i>On peut voir une couche de basalte au dessus d'une couche de gabbro. Ceci prouve l'accrétion.</i>	Basalte et gabbro	Accrétion		
Le commentaire mentionne des éléments du <i>registre empirique</i> et du registre du modèle et explique leurs relation					35
8putinier1	gabbro avec filon de basaltes <i>roche grenue contenant des filons de basaltes. Ces gabbros sont de couleur verte (chlorite), preuve d'hydratation de la roche :hydrothermalisme. Ces roches sont caractéristiques de la couche océanique(refroidissement lent de basaltes). Les basaltes sont remontés rapidement, traversant les gabbros. Preuve d'accrétion.</i>	Gabbro, filons de basalte, chlorite	Accrétion	La chlorite, indicateur d'hydrothermalisme	

Tableau 9 : Evocation des registres empirique et du modèle dans les commentaires des photographies rédigés par les élèves

Si on prend en compte les réalisations de l'ensemble des binômes, on peut constater que seuls quatre d'entre eux n'ont pas évoqué le modèle en rédigeant les commentaires des photographies. Trente binômes (sur 48) évoquent ce modèle pour chacune des images qu'ils commentent, et évoquent les relations entre le *registre empirique* construit au cours des activités en classe ou sur le terrain et le modèle de formation d'une chaîne de collision. Quatre binômes n'évoquent pas le modèle dans leurs réalisations, leurs commentaires des images se limitent à une description. Pour les autres binômes (14) cette évocation est partielle, et les élèves s'en tiennent à une description du *registre empirique* pour certaines images.

L'exemple ci dessous illustre ce type de commentaire. Les élèves du binôme 7jaime2 commentent une photographie qu'ils ont intitulée « flysch » :

« formé de schistes , de grès et de conglomérats. Cette roche appartient à l'éocène et est en contact à l'est avec des terrains de l'ère triasique. »

Pour un binôme (9putinier1, annexe W p. 394), c'est le modèle qui est principalement évoqué. Le seul élément du *registre empirique* qui est évoqué est la localisation de la prise de vue. Les éléments de l'image qui ont conduit à la retenir ne sont pas indiqués et leur relation avec le modèle pas explicité.

Lorsque le modèle est évoqué pour donner du sens aux données, il peut l'être dans le cadre d'une argumentation comme dans le texte ci-dessous. Dans cet exemple retenu, le binôme 1putinier1 commente une photographie représentant un métagabbro du lit du Guil à Château Queyras :

« Cette roche compacte est un métagabbro composé donc de reliques : plagioclase et pyroxène (petit, circonscrit, doré, marron et feuilleté) ; avec ici la présence de produits : filons de glaucophanes, Hornblende ; caractéristiques du faciès schiste bleu (métamorphisme). Elle caractérise donc une subduction. L'absence de grenat prouve que la roche n'est pas descendu fortement en profondeur. »

L'argumentation des élèves les conduit à mettre en relation les caractéristiques de la roche (*registre empirique*) avec le modèle de formation d'une chaîne de collision (ici, la subduction). Le lien est argumenté à l'aide des minéraux identifiés. Ces minéraux permettent de déterminer le métamorphisme qui a affecté la roche. Néanmoins, le modèle PTt, qui relie la présence de certains faciès métamorphiques indicateurs de condition de pression et de température particulières, est sous entendu ici.

Le binôme 2jaime1 commente une photographie dont le titre est « prisme d'accrétion » :

« On remarque [sic] que la roche est plissée [sic] et comporte de nombreuses strates ce qui témoignent [sic] d'une déformation dû à la pression lors de la formation de cette roche (collision). Ceci montre qu'il y a eu une subduction. »

L'argumentation qui est conduite permet de faire le lien entre le *registre empirique* (la roche « plissée ») et le modèle (« la subduction ») par l'intermédiaire de la « déformation » que prévoit ce modèle.

Néanmoins, le lien qui est effectué n'est pas fondé sur une argumentation qui explicite complètement les relations qui existent entre la présence d'une roche « plissée » et la subduction décrite par le modèle. Le fait que les « strates » attestent du caractère sédimentaire de la roche est sous-entendu. Le fait que ces roches sédimentaires déformées appartiennent à un prisme d'accrétion n'est pas discuté et, au final, si les élèves établissent un lien entre ces roches et la subduction ce lien reste factuel et non problématisé.

Dans d'autres cas, le modèle est simplement évoqué et la relation avec la donnée décrite n'est pas discutée. Les élèves du binôme 1jaime2 commentent une image qu'ils ont titrée : « Métagabbros à faciès bleu (Queyras) ». Le commentaire qu'ils ont rédigé indique :

« Couronne de Glaucophane, Cristaux de Jadéite, Indice de Subduction »

Le lien est bien établi entre le modèle (la « subduction ») et les minéraux du métamorphisme (« glaucophane » et « jadéite »). Néanmoins, comme dans l'exemple précédent, ce lien est factuel et non explicité. Le tableau 9 présente quelques commentaires de photographies rédigés par les élèves illustre ceci avec d'autres exemples. Il indique également le nombre de binômes concernés par les différentes catégories de commentaires.

De notre point de vue, le modèle peut constituer un outil permettant de donner du sens aux informations collectées de deux manières. Il peut constituer un cadre conceptuel qui permet mettre en relation cette information avec un objet ou un phénomène géologique décrit par le modèle. C'est dans ce cas le registre du modèle qui se projette sur le *registre empirique*. Il peut également être instancié avec les informations recueillies et c'est alors le registre du empirique qui se projète sur le registre du modèle.

Les verbalisations des élèves permettent en effet de constater que, dans certains cas, lorsqu'ils sont confrontés à une donnée disponible dans l'application ou créée par eux-mêmes, ils évoquent le modèle pour donner du sens à cette donnée. Le modèle peut ainsi constituer un cadre conceptuel qui leur permet d'interpréter leurs observations. C'est le cas dans la transcription ci-dessous :

A3jaime2 36.20

E1- Donc ça veut dire qu'il y a eu une expansion océanique au niveau de là. Parce que là y'a des hornblendes.

La présence de hornblende, minéral indicateur d'un métamorphisme HT BP, fait sens dans le cadre du modèle qui fait intervenir ce type de métamorphisme lors de la phase d'accrétion océanique.

En retour, les données interprétées permettent d'instancier le modèle c'est-à-dire de le paramétrer avec les informations du *registre empirique* dont il permet de rendre compte comme dans la transcription ci-dessous :

C9nuguet1 34.00 phase C

E1 : [rédige le commentaire d'une photo] Donc, arrêtu, on met non ?

E2 : Ouais.

E1 : Il s'agit d'un prisme d'accrétion...

E2 : Qui témoigne d'un phénomène de subduction

E1 : on note que le prisme d'accrétion est très large, la roche s'étend sur plus de 40 km

Le modèle, générique, dépourvu d'échelle, prend corps dans le cadre d'un contexte donné et s'instancie avec les informations de ce contexte. On verra plus loin que, à ce double mouvement de projection $RE \rightarrow RM$ et $RM \rightarrow RE$, s'ajoute une projection du registre du modèle sur le registre explicatif qui permet au modèle de jouer le rôle d'un intermédiaire entre *registre empirique* et registre explicatif.

Pour l'ensemble des binômes des expérimentations 2005, le tableau 9 permet de constater que la majorité des binômes (35 binômes) élabore, pour au moins une des images qu'ils géolocalisent, un texte qui fait référence simultanément au *registre empirique* et au registre du modèle et développe une argumentation qui articule correctement ces deux registres. Aucun binôme ne s'en tient à des considérations empiriques dans les commentaires rédigés pour l'ensemble des images mais ils sont 23 à le faire pour au moins une image. En ce sens, on peut dire que tous les élèves ont dépassé le niveau de simple constatation des faits mais pour 13 binômes, l'articulation du *registre empirique* et du modèle n'est pas explicitée.

Le rôle joué ici par le modèle s'exprime donc à différents niveaux. Lorsqu'il est explicité, il permet aux élèves d'identifier les objets géologiques dans la mesure où il constitue un cadre qui leur permet de déterminer la nature des observations à effectuer. Il peut également constituer un cadre qui permet de penser la géométrie des structures géologiques. De ces relations structurales peuvent ensuite être déterminées une chronologie de formation. En second lieu, le modèle permet de donner du sens aux données recueillies dans la mesure où

ces données sont mises en relation avec des phénomènes géologiques décrits par le modèle. Ces relations peuvent être établies de différentes manières. Dans certains cas les élèves se limitent à une simple mise en correspondance d'une caractéristique du *registre empirique* avec une caractéristique du modèle. La nature des liens qui relient les deux registres n'est pas explicitée. Dans d'autres cas ces liens peuvent être précisés. L'argumentation consiste alors à préciser la nature de ces liens, ce qui conduit à faire appel à d'autres modèles, non discutés (eg. un diagramme PTt pour établir des relations entre la présence d'un minéral et la subduction subie par la roche). La fonction heuristique du modèle s'exprime donc, non pas au travers d'une simple mise en relation de deux registres, mais plutôt au travers de l'explicitation de ces liens. Si un modèle peut constituer un outil pour comprendre et une aide à la conceptualisation (Larcher, 1994), c'est en particulier parce qu'il permet, dans le cadre d'un travail d'investigation, d'orienter l'action et l'attention sur les éléments du *registre empirique* qui sont déterminants, qu'il permet d'en comprendre les relations spatiales qu'entretiennent ces éléments et qu'il permet de les considérer comme faisant partie d'un système global qui fait sens.

7.4 Le modèle, outil de communication et support pour l'argumentation

Nous avons évoqué plus haut (p. 47) les travaux qui soulignent le rôle que jouent les modèles lorsque le chercheur souhaite rendre intelligibles ses recherches. Nous avons également évoqué leur rôle d'outil permettant d'expliquer des phénomènes, de les rendre intelligibles. Nous avons vu que des travaux de didactique avaient exploré ces fonctions des modèles dans le cadre de l'enseignement. Nous rappelons aussi les travaux qui portent sur la place des modèles comme support permettant aux élèves d'exprimer leurs conceptions (B. C. Bukley & Boulter, 2000) ou comme support à l'argumentation (Johsua & Dupin, 1989). Dans ce paragraphe, nous essayons, au travers des échanges des élèves, de dégager des indicateurs de tels rôles joués par le modèle mis à leur disposition. Il s'agit d'identifier la place que peut jouer le modèle dans la mise en place d'*interactions épistémiques* entre les élèves d'un même binôme lorsqu'ils conduisent un travail d'investigation.

Nombreuses sont les traces des enregistrements audio ou vidéo qui attestent que le schéma du modèle décrivant la formation d'une chaîne de collision est utilisé par les élèves pour exprimer un avis, leur manière de concevoir les phénomènes étudiés. Le modèle est, par exemple, évoqué lorsqu'un élève pose une question à un autre élève ou à l'enseignant. La question est alors formulée en utilisant le schéma disponible.

Aljaimel 6.56 séance A

[Les élèves tentent de comprendre la disposition des différentes structures géologiques résultants des mouvements liés à la collision]

Attends, je comprend pas comment ça fonctionne. Si on part du principe que le basalte **il est là**, y'a une faille qui est rentrée sous l'autre. C'est laquelle qui est rentrée sur laquelle ?

Le schéma disponible intervient de différentes manières dans l'échange. En premier lieu, il constitue une représentation partagée des phénomènes étudiés. Les élèves peuvent donc échanger sur quelque chose qu'ils ont en commun et désigner tel ou tel élément afin de préciser le sens de leurs propos. Cet échange leur permet ici de se mettre d'accord sur les éléments du modèle qui seront retenus comme pouvant constituer des observables de terrain. Il s'agit ici d'un exemple de communication non verbale. L'image, ainsi que les gestes effectués, permettent de préciser le message que l'on souhaite faire passer. Le modèle est donc évoqué au cours des échanges pour illustrer une explication. Et les images vidéo

permettent de constater que les élèves montrent la représentation du modèle dont ils disposent, affichée à l'écran de leur ordinateur ou sous forme de photocopie, lors des échanges avec leur binôme.

A1nuguet2 12.30 séance A

Là t'as vu, ça s'écarte et d'un coup ça repousse dans l'autre sens.

Cet exemple illustre cette communication non verbale. Le schéma disponible n'est pas une animation et il n'est pas possible de visualiser que « ça s'écarte » ou que « ça repousse dans l'autre sens ». Les termes utilisés par cet élève, les gestes qu'il effectue en désignant la partie du schéma dont il parle, lui permettent d'exprimer la manière dont il décode les flèches qui sont représentées.

Les éléments du modèle représentés sur le schéma peuvent également constituer des références utilisables dans l'argumentation. Ceci est illustré dans la transcription ci-dessous.

A9putinier1 34.22 séance B

E1- On en était aux péridotites...

E2- Oui ben donc présence de... pareil

E1- Si elles sont en surface ça veut dire qu'elles sont remontées...Ca veut dire qu'il y a du... attend je confond avec la subduction là...

E2- Ben elle sort aussi

E1- Elle sort pareil

E2- Non elles sont pas remontées... c'est quand même assez profond...

E1- Oui mais elle sort grâce au magmatisme non ?

E2- Ouais... mais **regarde sur notre**... Les péridotites restent au fond quand même... donc ça veut dire qu'il y a toute une partie que ce soit... T'as carrément la croûte plus le manteau qui est remonté quand même.

E1- Oui mais...

Dans cet extrait, les deux élèves d'un binôme discutent de la possibilité d'observer, ou pas, des péridotites en surface. Pour l'élève E2, c'est le modèle qui permet de trancher puisqu'il montre une remontée du manteau en surface et permet donc de prévoir la présence de telles roches en surface. Cet échange montre que le modèle, dans le cadre de la situation construite, joue un rôle important dans le développement d'*interactions épistémiques* (p. 57) entre élèves d'un même binôme. Le caractère épistémique de cet échange est attesté par la présence des trois critères énoncés par Quignard et Baker (p. 58) pour caractériser une telle interaction. Les élèves tentent de *se faire comprendre* en précisant la manière dont ils envisagent la présence ou l'absence de péridotites en surface et les mécanismes responsables. Cela nécessite de leur

part un effort de compréhension préalable, de reformulation et d'explication. Chacun d'entre eux essaye de *convaincre* l'autre en utilisant des arguments présents sur le schéma qu'ils partagent : « regarde sur notre... ». De plus l'échange montre la volonté d'*aboutir à un compromis* au travers de la prise en compte des arguments de l'autre : « oui mais... » ou des questions posées qui visent à l'amener à changer de position : « elle sort grâce au magmatisme non ? ». Le modèle est au cœur de la négociation qui se noue ici. En effet, le schéma mis à la disposition des élèves constitue un support du dialogue. Il permet aux élèves d'utiliser un lexique commun et une représentation partagée du phénomène étudié.

L'explicitation du modèle en jeu au cours de la séance, le fait qu'un schéma ou une maquette de ce modèle soit disponible, permet aux élèves de construire leur argumentation sur cette une représentation commune. Chaque élève va ainsi être conduit à préciser le sens qu'il attribue aux éléments représentés, à exprimer son point de vue sur les relations qu'il identifie entre ces éléments ou à indiquer la manière dont il envisage le déroulement des phénomènes au cours du temps. L'explicitation du modèle sous forme de schéma légendé et commenté permet également aux élèves de partager un même lexique. Les élèves sont donc conduits à employer les mêmes termes et à préciser les significations qu'ils leur attribuent.

On voit par là le rôle central que joue, dans la situation que nous avons observée, une représentation du modèle dans le développement d'interactions épistémiques. Ce rôle de médiateur est rendu possible par le fait que, dans la situation construite, le modèle est explicite, partagé et enjeu du travail d'investigation qui est conduit.

7.5 Conclusion : le modèle scientifique comme intermédiaire entre *registre empirique* et *registre théorique* de l'élève

Nous avons vu que de nombreux auteurs s'accordent pour considérer la science comme la mise en concordance d'un monde de faits et d'un monde d'idées (voir en particulier Bunge, 1975 ; Nersessian, 1999). Les auteurs ne sont pas moins nombreux à considérer que cette vision des choses vaut également pour la classe (voir en particulier Halloun, 2004). Le point de vue que nous avons retenu à la suite de nombreux auteurs est la place centrale qu'occupe le modèle scientifique dans la classe en tant qu'outil permettant à l'élève d'établir des liens entre son *registre théorique* (p. 74) et le *registre empirique* constitué au cours d'activités de laboratoire ou de terrain. Dans ce paragraphe nous examinons cette fonction du modèle en distinguant ses fonctions prédictives et explicatives et nous discutons le point de vue qui consiste à considérer le modèle comme un outil pour conduire une démarche d'investigation.

7.5.1 Lorsque c'est la fonction prédictive du modèle qui est utilisée

Nous examinons ici comment le modèle scientifique est utilisé par les élèves pour donner du sens aux prédictions qu'ils font sur les observations à réaliser sur le terrain. Dans la transcription ci dessous, les élèves recherchent des indices qui soient marqueurs de l'accrétion océanique :

A1jaime2 6.50 séance A

E1- Oui mais le volcanisme après on le retrouve pas parce qu'en fait, si la dorsale a été créée elle s'arrête quand elle remonte à la surface.

E2- Si comment ?

E1- Si c'est les Alpes c'est que ça s'est arrêté la dorsale.

E2- Oui mais nous on doit faire les trois.

E1- Oui mais y'a pas... **Le volcanisme de la dorsale ça crée des basaltes et donc ce qu'on va trouver nous c'est des basaltes modifiés par l'eau.**

L'élève E1 déduit d'un phénomène, identifié comme impliqué dans la formation d'une chaîne de collision, la présence du volcanisme de la dorsale, que « les basaltes modifiés par l'eau » sont des indices à rechercher sur le terrain. Son raisonnement l'amène à mettre en relation le registre du modèle (dont les basaltes sont une caractéristique) et le *registre empirique* (le terrain qui devrait renfermer cet indice). Ceci est représenté par la figure suivante (fig. 42).

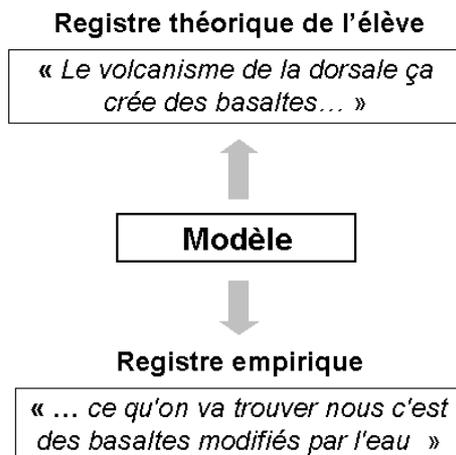


Figure 42 : Mise en relation des registres empirique et théorique de l'élève

Ainsi, dans la situation que nous avons conçue, le modèle scientifique fourni aux élèves joue le rôle d'un outil permettant de faire des prédictions dans le cadre de la conduite d'un travail d'investigation. Les caractéristiques du modèle sont traduites en observables de terrain. Le modèle se projette alors sur le *registre empirique* et permet d'envisager une phénoménologie de ce registre. On voit aussi que cette projection se réalise si l'élève est capable de dépasser la stricte analyse structurale du modèle, s'il est capable de concevoir le dynamisme des phénomènes géologiques impliqués de manière à mettre le modèle « en histoire ». Ainsi, le volcanisme de la dorsale « crée des basaltes ». Nous considérons que le fait que le volcanisme de la dorsale « crée des basaltes » appartient au *registre théorique* de l'élève car c'est une connaissance théorique non discutée. Cette proposition est mise en relation avec le modèle qui est à sa disposition. En ce sens, le modèle se projette également sur le *registre théorique* de l'élève. Il lui permet d'accéder à une autre phénoménologie, explicative cette fois. Avec C. Orange (1995) on peut ainsi considérer que « le modèle joue [...] de deux phénoménologies, l'une empirique, l'autre explicative ». C'est, nous semble-t-il, dans cette double projection du modèle que se réalise sa fonction d'intermédiaire entre *registre empirique* et *registre théorique*.

7.5.2 Lorsque c'est la fonction interprétative du modèle qui est utilisée de l'interprétation des données disponibles

Nous discutons ici la question de la façon dont le modèle dont disposent les élèves leur permet de donner du sens aux informations qu'ils relèvent. Nous avons vu que le modèle peut constituer un cadre conceptuel qui permet aux élèves d'interpréter leurs observations :

A1putinier1 31.05 phase A [consultent la photographie légendé du massif du Chenaillet]

E1- Des basaltes en coussins au dessus des gabbros et après des... métamorphisme. **Et bien c'est ça, c'est une accréation !** Tu vois parce que regarde. Ici ça s'est élargi...

L'accréation océanique est dans un premier temps un élément qui relève du registre du modèle. A ce stade du travail de l'élève et de son apprentissage, cet élément est incorporé à ses connaissances et devient une proposition non discutée qui d'une part permet de donner du sens aux données dont il dispose et, d'autre part, lui permet d'accéder au dynamisme des phénomènes qui ont produit ces données. Selon ce point de vue, à ce stade du travail de l'élève, l'accréation océanique relève des propositions non-discutées qui constituent le *registre théorique* de l'élève. Par *registre théorique* nous entendons non pas théorie formalisée et explicite mais les idées qu'ont les élèves sur la géologie, c'est-à-dire un ensemble d'énoncés que l'élève tient pour vrais et qui constituent autant de *concepts et théorèmes en acte* qui « permettent de penser le réel et d'agir » (Vergnaud, 2001).

Nous représentons sur la figure 43 le rôle joué par le modèle au cours de cet épisode. En premier lieu, l'élève repère la présence de deux roches caractéristiques de la lithosphère océanique (« basaltes en coussins » et « gabbros »). Cela le conduit, dans le cadre du modèle scientifique qu'il utilise, à proposer une explication pour la formation de ces roches (« l'accréation »). Il envisage alors, en désignant la photographie du massif dont il dispose, une phénoménologie nouvelle (l'élargissement).

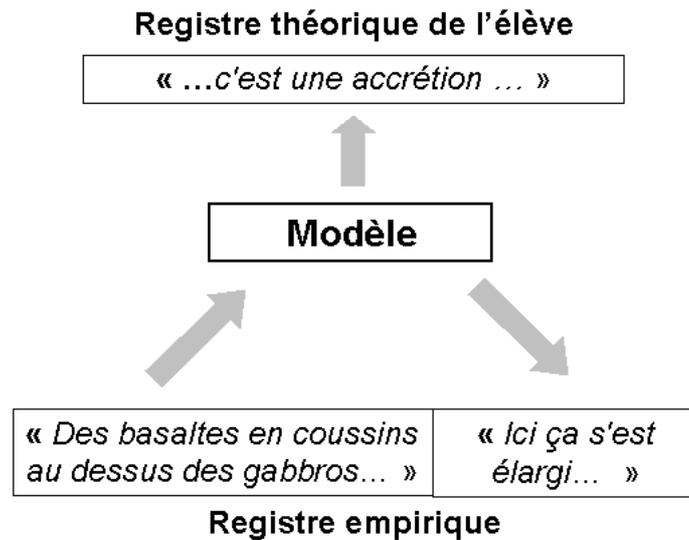


Figure 43 : Place du modèle dans l'articulation des registres empirique et théorique

Cet exemple illustre de nouveau comment le modèle permet l'articulation de deux phénoménologies, celle du *registre théorique* et celle du *registre empirique*. C'est ce rôle de pivot qui lui confère son statut d'outil pour comprendre.

En retour, les données interprétées permettent de produire une instance du modèle c'est-à-dire de le paramétrer avec les informations du *registre empirique* dont il permet de rendre compte.

Le rôle joué ici par le modèle s'exprime donc à différents niveaux. Il permet d'abord d'identifier les objets géologiques et d'analyser leurs relations structurales. Ces relations structurales peuvent ensuite être utilisées pour déterminer la chronologie de leur formation. Par la suite, le modèle permet de donner du sens aux données recueillies dans la mesure où ces données sont mises en relation avec des phénomènes géologiques décrits par le modèle. C'est au cours de cette mise en relation entre registre du modèle et *registre empirique* que le modèle est instancié. Cette instanciation permet un retour vers le *registre empirique*. Le modèle permet de porter un regard renouvelé sur le *registre empirique* c'est-à-dire de produire une phénoménologie nouvelle. Ces points sont résumés par la figure 44.

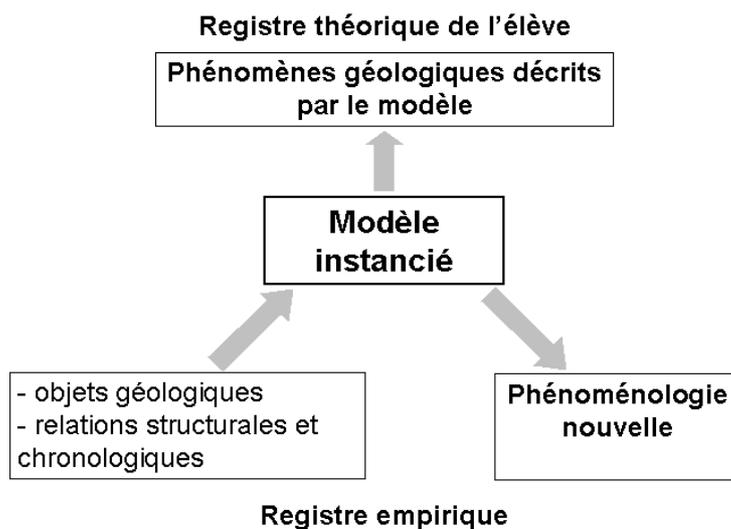


Figure 44 : Le modèle, outil d'intelligibilité

7.5.3 Démarche d'investigation et typologie des tâches

Après avoir examiné les rôles joués par le modèle lors d'un travail d'investigation conduit par les élèves nous pouvons distinguer différents types de tâches en relation avec ce travail. Cette typologie a été détaillée plus haut. Nous en faisons un bref rappel synthétique ici :

- des tâches qui se caractérisent par un travail sur le registre du modèle (tâches de type M) et qui permettent d'en identifier les caractéristiques et propriétés. Le modèle est alors au cœur de l'activité de l'élève et son exploration conduit à en apprécier le caractère dynamique. Cette exploration conduit les élèves à en explorer la cohérence interne (C. Orange, 1997 ; Halloun, 2004) ;
- des tâches qui se caractérisent par un travail sur le *registre empirique* (tâches de type RE) pour lequel le modèle est peu évoqué mais c'est néanmoins le modèle qui, en amont, a permis de déterminer les procédures du travail sur ce registre ;
- des tâches de mise en relation du registre explicatif et du *registre empirique* (tâches de type EM) qui se déroulent d'une part lorsque c'est la fonction prédictive du modèle qui est utilisée et, d'autre part, lorsqu'il est utilisé comme outil d'interprétation.

L'explicitation du modèle scientifique qui est en jeu au cours d'une séance – telle qu'elle a été réalisée dans l'ingénierie didactique que nous avons construite - nous paraît donc être une condition nécessaire pour que des élèves puissent conduire de manière autonome un travail

d'investigation. Le travail que nous avons conduit tend à montrer que l'explicitation du modèle scientifique par l'enseignant permet au modèle de jouer différents rôles qui lui confèrent un statut d'outil pour la conduite de cette investigation. Le modèle pourra en particulier jouer un rôle important à deux moments que nous pensons être des moments clés du travail d'investigation. Il s'agit, en premier lieu, du moment consacré à la conception du protocole. Le modèle permettra à l'élève de prévoir certains aspects du réel. Il s'agit, en second lieu, du moment consacré à l'évaluation de l'adéquation du modèle et du réel c'est à dire les phases de recueil et d'interprétation de données. Les observations de terrain sont confrontées au modèle qui est sensé les décrire. Nos travaux rejoignent donc ceux de Halloun (2004). Nous considérons qu'une démarche d'investigation consiste à placer les élèves dans un contexte rationnel qui les conduise à se construire un *registre empirique* et à tester la pertinence de ce modèle. Nous avons vu que l'explicitation du modèle lui permettait de jouer des rôles que nous jugeons centraux pour la conduite de l'investigation.

- une phase d'analyse préalable d'une représentation du modèle permet à l'élève d'en identifier les caractéristiques et propriétés. Cette analyse peut le conduire à en apprécier le dynamisme. Les caractéristiques du modèle peuvent être traduites en observables de terrain. Il lui est alors possible d'élaborer un protocole d'observation c'est-à-dire de déterminer les procédures à mettre en œuvre pour confronter le modèle au *registre empirique*. C'est principalement le caractère « prophétique » du modèle qui est employé au cours de cette phase ;

- une phase de mise en œuvre de ces procédures le modèle permet de préciser la manière dont elles sont exécutées et d'effectuer une sélection des informations à recueillir. Le modèle constitue alors les *lentilles conceptuelles* permettant de percevoir des objets géologiques et de distinguer l'essentiel de l'accessoire pour d'aborder l'étude de systèmes ou de situations complexes. C'est principalement la fonction de perception qui est mise en jeu lors de cette phase (Martinand, 1992) ;

- une phase au cours de laquelle les données recueillies sont confrontées au modèle. Cette confrontation s'effectue par l'établissement de liens argumentés entre les caractéristiques du modèle et les éléments du *registre empirique*. Le modèle constitue alors un cadre conceptuel dont la confrontation au réel permet de donner du sens aux données recueillies ;

- au cours de ces différentes phases le modèle est un outil partagé qui permet aux élèves d'échanger et d'argumenter.

Cela nous conduit à retenir l'hypothèse que l'apprentissage des sciences s'appuie nécessairement sur la conduite d'une démarche d'investigation c'est-à-dire une démarche qui,

dans le cadre de la résolution d'un problème, conduit à mettre en tension un modèle scientifique et un *registre empirique* constitué lors d'activités de laboratoire ou de terrain. Les résultats de notre recherche nous amènent à considérer que , pour que des élèves puissent s'engager dans ce travail d'investigation de manière autonome, ils doivent disposer d'un modèle explicite. Ce modèle pourra alors exercer différentes fonctions. Toutes ces fonctions concourent à ce que le modèle soit un outil « pour penser ».

8 Activités instrumentées avec Géonote

Nous avons examiné dans la partie précédente comment l'explicitation du modèle scientifique pouvait permettre aux élèves de l'utiliser comme un outil au cours des différentes phases du travail d'investigation qu'ils conduisent. Dans ce qui suit, nous nous attacherons à développer l'analyse de la question de l'instrumentation du travail d'investigation avec l'application Géonote.

C'est une analyse globale de la situation instrumentée que nous proposons. Il ne s'agit pas de tester une application en classe mais plutôt de comprendre comment cette application est développée par les élèves au cours de leur activité. C'est ainsi que nous considérons Géonote comme une *proposition* (Pargman, 2005) qui s'élabore au travers des situations construites par les enseignants et de l'activité des élèves. Nous examinons donc la question de la genèse instrumentale c'est-à-dire les phénomènes d'*instrumentalisation* et d'*instrumentation* (p. 59). Nous examinons ainsi comment les élèves s'approprient l'application. Nous examinons également l'influence de l'*instrument* sur l'activité de l'élève et en particulier la question de la médiatisation des interactions par l'application. Il s'agit des interactions avec l'application elle-même, de la question de la prise en main de Géonote. Il s'agit également des interactions avec un objet à connaître c'est-à-dire un *registre empirique* qui doit être mis en relation avec un modèle scientifique.

La conception de Géonote vise à permettre de construire des situations dans lesquelles le travail de l'élève ne se limite pas à une simple consultation de données (ce que permettent d'autres environnements) mais le conduit à effectuer des opérations sur ces données (eg. mesure de distances, géolocalisation, rédaction de commentaires...). Cette dimension a été prise en compte dans les situations que nous avons construites. C'est un cadre *socio-constructiviste* (p. 50) que nous avons retenu. La manière dont est conçue l'application et dont elle est intégrée dans le *scénario d'apprentissage* vise ainsi à lui permettre de médiatiser l'activité des élèves. Cette médiatisation de l'activité vise le développement d'interactions avec les objets géologiques à connaître. Cela se traduit par la possibilité d'effectuer des transformations sur ces objets La médiation de l'activité vise également le développement

d'interactions épistémiques d'une part de l'élève avec l'application – par un processus d'*instrumentation* – et d'autre part de l'élève avec ses pairs ou avec l'enseignant.

L'analyse que nous développons ici comprend deux approches complémentaires. Il s'agit d'une approche didactique fondée sur une typologie des tâches mises en œuvre dans le cadre d'un travail d'investigation. Il s'agit également d'une approche instrumentale fondée sur l'analyse du traçage de l'activité de l'élève avec l'application.

8.1 Appropriation de l'environnement de travail

Le premier contact des élèves avec l'application a lieu lors de la séance consacrée à la préparation de l'école de terrain. La consigne indique « Proposez un itinéraire qui permettra de se rendre sur des arrêts pertinents pour observer les indices d'une accréation. ». Les élèves doivent donc, dans un premier temps, afficher les informations relatives au secteur du Chenaillet afin de sélectionner les sites sur lesquels il leur faudra se rendre. Il doivent constituer leur environnement de travail à l'écran en affichant les informations nécessaires pour effectuer ce travail.

Lors de l'ouverture d'une session avec Géonote, puis du choix d'un secteur géographique l'application présente à son utilisateur une interface constituée d'une fenêtre permettant de visualiser une carte du secteur géographique. Dans le cas du secteur du Chenaillet, il s'agit d'une carte topographique. Pour utiliser cette carte les élèves peuvent en afficher une partie en utilisant les outils de zoom et de déplacement, y effectuer des mesures avec le réglet pour en apprécier l'échelle, afficher des informations complémentaires – par exemple la géologie – en sélectionnant un autre type de vue et en utilisant la transparence, en affichant la légende permettant de décoder les informations affichées sur la carte et commencer à visualiser les données géolocalisées sur la carte.

La figure 45 présente des extraits de chronogrammes enregistrés au cours de cette phase pour six binômes. Chacun de ces extraits recouvre une durée de l'ordre de 6 à 7 minutes. Il s'agit des premiers clics effectués par les élèves. Ces extraits permettent donc de se faire une idée de la manière dont l'application est prise en main. Les explications fournies par l'enseignant sur le logiciel se sont limitées à une démonstration des potentialités de l'application, d'une durée d'une dizaine de minutes environ. Le choix avait été fait de ne pas mentionner comment les différentes fonctionnalités pouvaient être utilisées, mais les élèves savaient qu'ils pouvaient accéder à une aide présentant le mode d'emploi du logiciel.

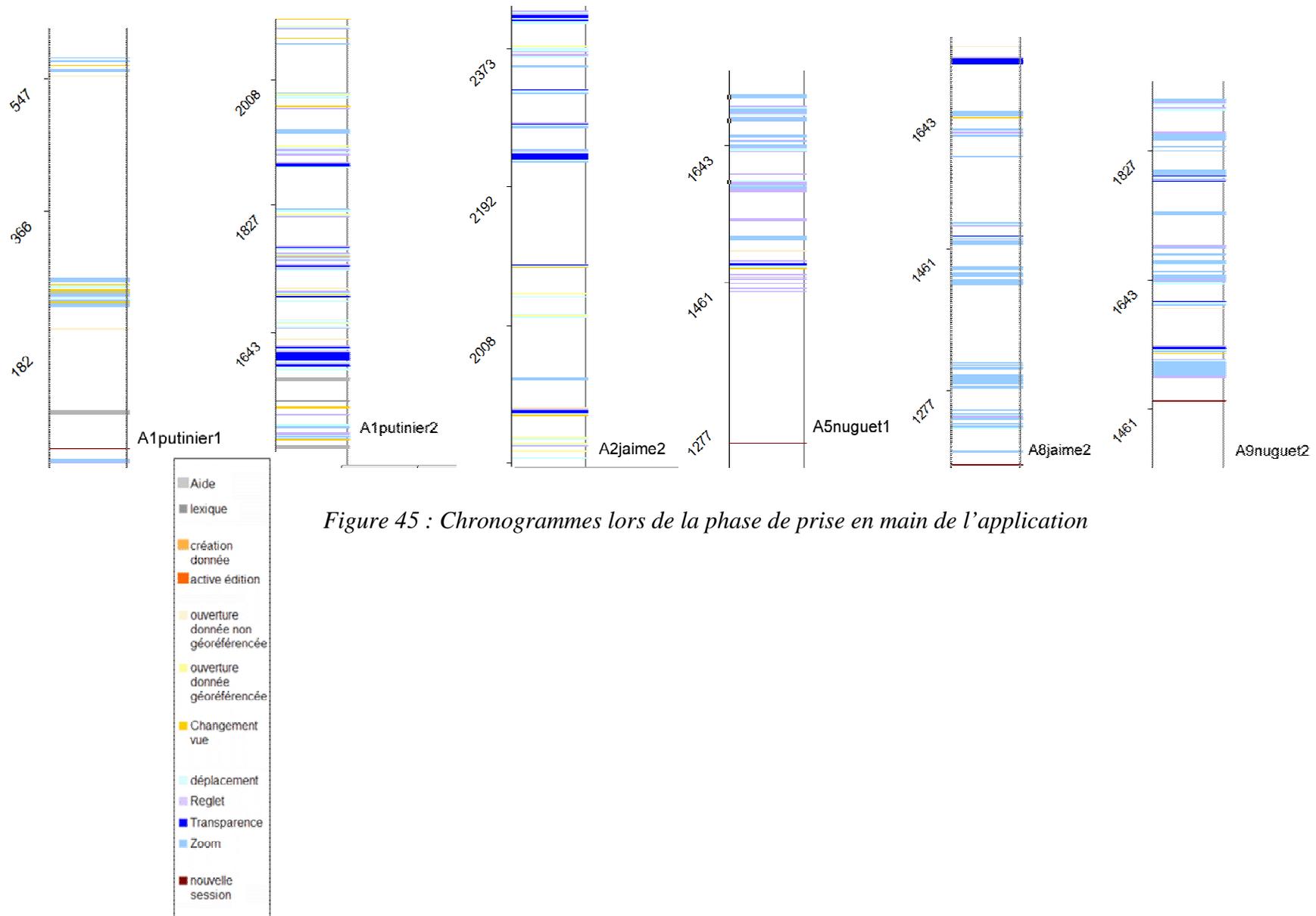


Figure 45 : Chronogrammes lors de la phase de prise en main de l'application

L'étude plus complète du binôme 9nuguet1 nous avait permis de constater que, en cinq minutes environ, les élèves avaient ouvert une session, sélectionné le secteur géographique à étudier, affiché les informations géologiques du secteur et la légende correspondante ainsi que commencé à zoomer et se déplacer sur la carte. Environ trois minutes plus tard, une première donnée disponible avait été consultée. L'étude des chronogrammes des 6 binômes que nous avons sélectionnés confirme une prise en main rapide de l'application. Les différentes fonctionnalités citées plus haut ont été utilisées ce qui signifie que chaque binôme dispose à l'écran, en quelques minutes, d'un extrait de carte topographique sur lequel ont été drapées des informations géologiques et d'une légende permettant d'interpréter ces informations. Néanmoins, on voit que les stratégies sont différentes suivant les binômes considérés :

- pour deux des binômes (1putinier1 et 1putinier2) les informations d'aide ont été consultées (à plusieurs reprises pour le second binôme) ;
- tous les binômes ont affiché la légende peu après l'affichage des informations géologiques sauf pour le binôme 1putinier1 pour lequel cet affichage s'est fait avant même le drapage de la géologie sur la topographie ;
- le binôme 1putinier1 se distingue également par le fait qu'il n'a pas utilisé la transparence pendant la durée représentée sur l'extrait de chronogramme (elle le sera plus tard) ;
- la consultation des données géoréférencées se fait très tôt pour les binômes 1putinier2 et 2jaime2. Elle aura lieu plus tard pour les autres binômes sauf pour le binôme 5nuguet qui n'a pas ouvert de donnée géoréférencée sur ce secteur ;
- ces deux binômes se distinguent également par des actions plus nombreuses et plus variées sur l'interface ce qui traduit une exploration des différentes fonctionnalités disponibles.

Malgré une certaine diversité de l'activité lors de la prise en main de l'interface, on peut extraire un motif de trace informatique caractéristique de cette phase de prise en main. Par *motif de trace informatique* nous entendons une succession d'actions sur l'interface de l'application qui se caractérisent par une certaine invariance, d'une part pour un même binôme au cours du temps et, d'autre part, pour les différents binômes. Ces motifs sont significatifs d'une activité spécifique de l'utilisateur qui constitue un *pattern d'interaction*. Il caractérise la manière dont les élèves utilisent l'application. L'invariance des actions sur l'interface porte sur les fonctionnalités qui sont utilisées et l'ordre dans lequel elles le sont. Le chronogramme du binôme 9nuguet2 est typique à cet égard. Nous en présentons ci dessous un extrait (fig. 46).

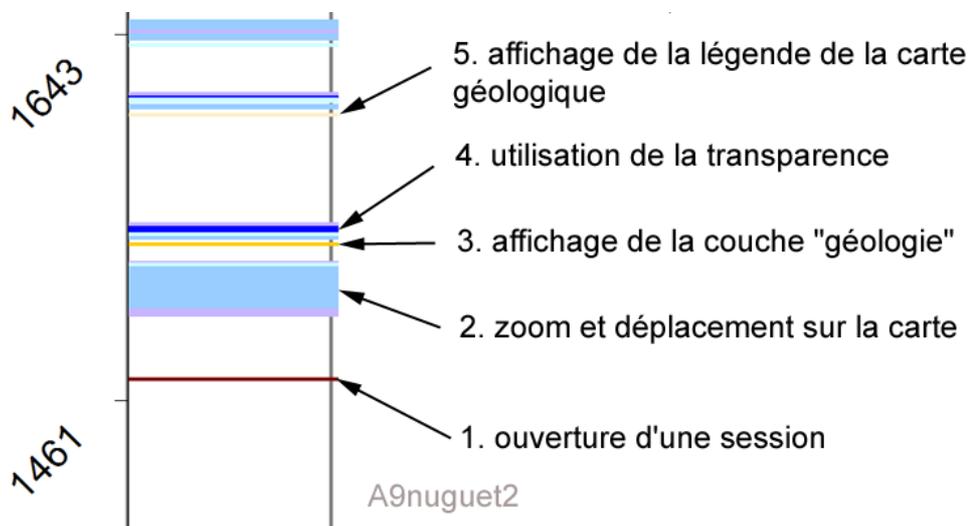


Figure 46 : Extrait de chronogramme montrant la prise en main de l'application (9nuguet2)

Ce motif comprend 5 étapes caractéristiques :

- le lancement de l'application et l'ouverture d'une session qui correspond également à la sélection d'un secteur géographique ;
- un zoom et déplacement sur la carte qui permet la sélection d'une zone sur laquelle s'effectuera le travail ;
- l'affichage de la couche « géologie » ;
- l'utilisation de la transparence qui permet de draper la géologie sur la carte topographique ;
- l'affichage de la légende de la couche « géologie » qui permet le décodage des informations affichées.

Ce motif informatique traduit donc une organisation invariante de l'activité qui s'exprime sous la forme d'un mode d'usage de l'application : un pattern d'interaction. Ce mode d'usage vise la réalisation d'une tâche donnée. Dans le cas présent, il s'agit de l'organisation de l'interface et de l'affichage de toutes les informations utiles pour déterminer un itinéraire pertinent afin de recueillir les indices de la formation d'une chaîne de collision. Un motif informatique est donc un moyen de visualiser la manière dont les élèves utilisent l'application pour réaliser une tâche donnée. Autrement dit, l'identification des motifs informatiques

permet de caractériser les modalités d'usage de l'application et donc les procédures que les élèves développent pour réaliser la tâche prescrite par l'enseignant.

Cette première analyse des traces informatiques nous permet de mettre en relation les notions de *schème*, de *pattern d'interaction* et de *motif* informatique. Le motif informatique qu'il est possible de visualiser à l'aide de la méthode de traçage et de traitement de la trace que nous avons développée est caractéristique d'un type d'interaction avec l'application, un *pattern d'interaction*. Ce *pattern d'interaction* témoigne lui même du développement et du déploiement d'un *schème*. Ce *schème* est caractérisé par une invariance dans l'organisation de l'activité (eg. l'affichage de la carte, le drapage de la géologie, l'affichage de la légende...) pour une situation donnée (l'organisation de l'environnement de travail pour débiter le travail de tracé de l'itinéraire). Ce *schème* est défini par des *théorèmes-en-acte* et des *concepts-en-acte* qui, par définition, ne sont pas verbalisés par les élèves mais qu'il est possible d'inférer à partir des procédures qu'ils mettent en œuvre (eg. un itinéraire se trace sur une carte topographique, les informations d'une carte géologique peuvent être décodées à l'aide de sa légende, une carte géologique permet de déterminer la nature des roches à l'affleurement, la présence d'un gabbro traduit la présence d'une croûte océanique...).

Le développement de ce *schème* s'effectue dans le cadre des contraintes imposées par l'application. L'élaboration d'une interface fonctionnelle comprend *a minima* l'affichage de la carte du secteur étudié, de la légende permettant d'interpréter la carte et un zoom qui permet d'afficher la zone de la carte utile pour effectuer le travail demandé.

L'annexe S p. 388 donne, pour le binôme 8jaime2, les chronogrammes d'ouverture d'une session pour les trois secteurs étudiés. Nous avons arbitrairement décidé que cette phase débute avec l'ouverture d'une nouvelle session et se termine avec l'affichage de la légende de la carte. On voit que le temps nécessaire pour que le binôme dispose d'une interface lui permettant d'effectuer le travail qui lui est demandé diminue de manière très importante au cours de la séance. Cette diminution montre que les élèves sont en phase d'apprentissage. Elle traduit une amélioration de la prise en main de l'application, un processus d'*instrumentation* et le développement d'un *schème* qui consiste dans l'utilisation des fonctionnalités de l'application pour organiser l'interface de telle manière qu'elle permette de débiter le travail sur un secteur donné. Au terme de la séance, les élèves de ce binôme sont capables d'organiser leur environnement de travail en quelques minutes. Ceci est également visible dans les traces informatiques de la quasi totalité des binômes.

8.2 Consultation d'une donnée géoréférencée

Nous avons choisi de permettre aux élèves de consulter, et d'éditer, des informations géolocalisées. L'accès à ces informations est rendue possible par un menu apparaissant lors d'un clic droit sur un arrêt matérialisé par une croix sur la carte. L'information est donc organisée de manière hypertextuelle. Cette manière de concevoir l'application vise à aider les élèves à se construire une bonne représentation du secteur géographique étudié et à se représenter les relations spatiales entre les différentes informations géologiques disponibles.

Les élèves devaient consulter des données géolocalisées sur les secteurs géographiques à deux moments de la séquence : lors de la préparation de l'école de terrain, par exemple pour la sélection d'arrêts à visiter lors de l'excursion au Chenaillet, et également lors de l'édition des données récoltées pendant la phase d'exploitation de la classe de terrain afin de vérifier le bon déroulement de ce travail d'édition.

L'annexe R p. 385 présente quelques exemples de cette phase pour six binômes. Les différents extraits de chronogrammes se distinguent par le fait que pour certains binômes il y a ouverture d'une seule donnée géoréférencée (par exemple pour le binôme 1putinier2) alors que d'autres extraits montrent des ouvertures successives de plusieurs données (binôme 1putinier1 par exemple). Dans ce dernier cas le traçage informatique permet de constater que c'est la même donnée qui a été ouverte plusieurs fois.

Ces extraits présentent des invariants qui peuvent être décrits par la succession d'événements suivants mise en évidence dans l'extrait du chronogramme du binôme 9nuguet1 de l'annexe T p. 389 :

- zoom et déplacement dans l'image permettant d'afficher un arrêt donné ;
- ouverture d'une donnée accessible par le menu de l'arrêt ;
- zoom et déplacement dans l'image de la donnée.

Ce *motif* qui peut être repéré dans les chronogrammes des différents binômes avec des variantes qui portent surtout sur les durées entre les différentes actions et l'insertion d'autres événements signe une activité d'exploration. Il est donc principalement retrouvé pendant deux phases au cours du travail des élèves : d'une part lors du choix de l'itinéraire pour le Chenaillet ou de la consultation des informations disponibles sur le secteur du Queyras et d'autre part, lorsque les élèves consultent les données qu'ils ont éditées.

A titre d'exemple, l'annexe U p. 391 donne quelques extraits de chronogrammes qui montrent la succession de tels motifs lors de cette dernière phase. Le motif est plus simple. En effet, le zoom n'a pas été activé lors de la rédaction de la *fiche paramètres*.

Lorsque ces motifs sont repérés il est alors possible, dans l'enregistrement audio correspondant, de rechercher avec quel type de tâches ce type d'interaction avec est corrélée. Les verbalisations enregistrées au cours de ces phases sont de trois types. Ceci est montré par les transcriptions ci-dessous qui correspondent à un moment où les élèves ont ouvert une donnée qui est un panorama du massif. Ce panorama montre le massif et les différents types de roches.

Le travail sur le *registre empirique* peut se limiter à la constatation d'un fait. L'élève identifie un objet ou une structure géologique :

A2jaime2 35.32

« Y'a de la péridotite qui ressort. »

Dans d'autres cas le *registre empirique* est mis en relation avec le modèle :

A2jaime2 39.30

[Les élèves ont ouvert une donnée qui est un panorama du massif. Ce panorama montre le massif et les différents types de roches]

« Ca fait comme une coupe de croûte océanique. »

Enfin, parfois, certaines relations structurales sont identifiées. La transcription ci dessous illustre un tel moment. L'élève E1 identifie que le massif du Chenaillet est un fragment de lithosphère océanique et s'interroge sur sa présence en altitude.

A1nuguet1 31.40

[Les élèves ont ouvert une donnée qui est un panorama du massif. Ce panorama montre le massif et les différents types de roches]

« E1 : L'arrêt 3 il est marrant...

E2 : Quoi ?

E1 : L'arrêt 3 déjà on va le prendre parce que regarde ce qu'il fait... Il remplit trois cases

E2 : Ah bon ?

E1 : Faille d'extension... des basaltes en coussins **en haut, en dessous** des gabbros, et après des... métamorphisme

E2 : ...

E1 : Et bien c'est ça ! c'est une accréation ! Tu vois ? Ca s'est élargi...

E2 : Oui mais tu le mets dans quoi ?

E1 : C'est quand on a dit... **c'est bizarre que ça soit en l'air !**

On voit, dans les tours de parole de l'élève E1, la manière dont se développe l'interprétation de l'image qu'il consulte. Dans un premier temps le panorama du massif retient son attention dans la mesure où « il remplit trois cases [du tableau à compléter] ». C'est-à-dire que E1 a

repéré que trois éléments présents sur l'images constituaient des indices à rechercher. Dans un second temps il identifie les relations spatiales entre les différents types de roches photographiés. C'est, semble-t-il, l'identification d'une structure en trois couches qui l'amène à identifier une lithosphère océanique et à proposer que « ça c'est élargit » en référence au phénomène d'accrétion océanique. Et termine en s'interrogeant sur le fait que « ça soit en l'air » c'est-à-dire que ce lambeau de lithosphère océanique soit intégré dans une chaîne de montagne.

On voit, au travers de ces exemples, que l'application permet aux élèves de s'engager d'un travail d'exploration. Ce travail d'exploration est caractérisé par le développement d'un second *schème*. Ce *schème* consiste à utiliser des fonctionnalités de l'application pour zoomer sur la carte, afficher une image et zoomer sur l'image pour en apprécier les détails. Ce travail d'exploration est corrélé avec deux types de tâches relatives à une démarche d'investigation : l'identification de caractéristiques du *registre empirique* et parfois la mise en relation de ces caractéristiques avec le modèle scientifique.

Ces exemples illustrent la notion d'*orchestration instrumentale* (p. 60). La manière dont le travail d'exploration est conduit par les élèves est déterminé par la place que l'enseignant a attribuée à l'application géonote dans la situation d'apprentissage qui a été construite. L'activité de l'élève est ainsi déterminée par la tâche prescrite – la recherche d'objets ou de structures géologiques – et par les outils dont il dispose. Par un phénomène d'*instrumentation* l'élève est alors conduit à élaborer un *schème* permettant de mener à bien ce travail d'exploration.

8.3 Détermination de l'itinéraire

Nous avons souhaité que les élèves soient en mesure de s'approprier certaines caractéristiques spatiales des sites à visiter avant même de s'y rendre. Nous souhaitons qu'ils aient une première idée des grands traits structuraux, ainsi que du relief du secteur, et qu'ils localisent la disposition relative des différents arrêts sur lesquels ils devront se rendre. Nous avons, pour cela, conçu une situation dans laquelle il était demandé de déterminer l'itinéraire à parcourir. Ce travail concernait le secteur du Chenaillet pour lequel une marche assez longue devait être effectuée. Les élèves devaient, après avoir sélectionné les arrêts sur lesquels se rendre, choisir l'itinéraire à partir de l'arrêt de l'autocar. Les extraits de chronogrammes de l'annexe V p. 393 permettent de se faire une idée de ce que font les élèves au cours de cette phase.

Du point de vue de l'utilisation de Géonote, on voit que les fonctionnalités implémentées pour faciliter la lecture de carte sont utilisées. Il s'agit du zoom et du déplacement qui permettent de sélectionner le secteur de la carte à étudier et de l'afficher à une échelle qui facilite sa lecture. Il s'agit également du réglet qui est utilisé pour évaluer les distances. Selon les binômes, ces fonctionnalités sont utilisées de manière plus ou moins fréquente.

Les verbalisations des élèves au cours de ces phases montrent que le travail qui est effectué se situe essentiellement dans le *registre empirique*. Ce travail porte sur différents aspects de la carte. Il s'agit principalement de l'identification des sentiers qu'il faudra pratiquer et les toponymes qui se trouvent sur le trajet.

A8jaime2

« On part du bus, on prend la route, et après hop, on arrive au bois des Bans. Là, au bois des Bans, on prend le petit chemin, on continue le petit chemin... dézoome un coup... on continue le chemin... »

Il peut également s'agir de l'appréciation du relief :

Le réglet permet d'apprécier les distances sans que cette distance, évaluée à vol d'oiseau, ne donne une idée très précise de la distance qui sera effectivement parcourue :

« Allez on mesure la distance entre 1, 2 et... »

et plus loin...

« 2618 m, allez on note... »

L'activité des élèves qui se met en place s'apparente à un travail de lecture de carte topographique. Il consiste dans le décodage des informations de la carte : identification du relief, localisation des sentiers, repérage des toponymes.... dans le but de tracer l'itinéraire le plus court et praticable pour réaliser les observations prévues. La manière dont la lecture de la

carte est effectuée dépend de la situation construite. Les élèves s'en tiennent à la recherche d'informations qui ont du sens pour l'objectif qu'ils visent. Géonote est utilisé pour instrumenter ce travail et la manière dont est effectuée cette lecture est ainsi déterminée par les contraintes et possibilités de l'application. La façon dont l'application est utilisée est matérialisée par un *motif de trace informatique*. Ce motif se caractérise par l'utilisation des fonctionnalités de Géonote qui permettent cette lecture de carte. Ce sont le zoom, le déplacement et le réglet. Cela traduit donc le développement d'un nouveau *schème* qui consiste dans la lecture d'une carte avec les outils de navigation disponible dans l'application. Le processus de conception de l'application en tant qu'*instrument* résulte donc d'une double contribution. Il s'agit d'abord de la contribution de l'enseignant qui conçoit la situation et paramètre l'application afin que son utilisation par les élèves soit conforme aux objectifs qu'il s'est fixés. Il s'agit également de la contribution de l'élève qui prend en main cette application et développe des *schèmes d'usage* qui lui permettent d'effectuer les tâches prescrites.

Les verbalisations des élèves engagés dans la *situation d'apprentissage informatisée* ainsi élaborée montrent que cet engagement leur permet de se constituer un *registre empirique* pour le secteur étudié. Les productions des élèves attestent également du fait que les élèves s'approprient certaines caractéristiques de ce registre. C'est ainsi que, pour les expérimentations conduites en 2005, 69 % des binômes proposent un itinéraire pertinent au regard des observations à réaliser et des contraintes topographiques. Le tableau 10 propose une typologie des itinéraires tracés par les élèves. Certains itinéraires peuvent être considérés comme non pertinents car ils ne respectent pas les contraintes topographiques (6jaime1 et 5jaime1) ou comprennent des arrêts qui apportent des informations sans rapport avec le problème à résoudre (5jaime1). Deux critères permettent donc d'évaluer l'itinéraire tracé par les élèves. Le premier est un critère de pertinence. Il renvoie au problème à résoudre dans la mesure où il fait en sorte que le trajet prévu permettra bien de recueillir des données utiles. Ce critère est donc relatif au modèle scientifique en jeu. Le second critère est un critère de faisabilité. Il indique si le trajet prévu est réalisable c'est-à-dire respecte les contraintes topographiques telles que les reliefs, la présence de chemin ou est d'un niveau de difficulté surmontable. C'est un indicateur de la manière dont les élèves s'approprient certaines informations de la carte. Ce critère renvoie donc au *registre empirique*.

9nuguet2 Le trajet est pertinent (les arrêts sélectionnés permettent de recueillir les données utiles pour résoudre le problème) et réalisable (il respecte certaines contraintes topographiques)	5jaime1 Le trajet n'est ni pertinent (certains arrêts comportent des informations inutiles) ni réalisable (du fait de sa longueur en particulier)	6jaime2 Le trajet est pertinent mais pas réalisable (il n'emprunte pas les chemins)

Tableau 10 : Différents types de trajets tracés par les élèves

8.4 Activités instrumentées au cours de la phase de collecte des données sur le terrain

La notion de *système d'instruments* proposée par Rabardel & Pastré (2005) permet de porter l'attention sur la manière dont les différents outils d'une situation d'apprentissage sont articulés au cours de l'activité. Nous examinons ici comment les élèves établissent des liens entre l'utilisation de Géonote d'une part, et l'appareil photographique et le GPS d'autre part. GPS et appareil photographique constituent en effet une sorte d'extension de l'application sur le terrain puisqu'ils permettent le recueil des données qui seront par la suite intégrées à l'application. Ce paragraphe sera donc consacré à une analyse de la manière dont les élèves contrôlent et articulent les *instruments* qu'ils construisent.

La question de la *médiation instrumentale* lors du travail de terrain est également évoquée dans ce paragraphe. Nous examinons l'influence des *instruments* utilisés sur les tâches effectuées et l'activité cognitive des élèves.

8.4.1 Configuration du système d'instruments

Lors du travail sur le terrain les élèves ne disposent pas de la possibilité de consulter l'application Géonote. Néanmoins, l'essentiel de leur activité est déterminée par la place attribuée à l'application dans la situation élaborée puisque la tâche prescrite consiste dans la recherche d'indices de la formation d'une chaîne de collision et de la réalisation de photographies de ces indices afin que ces photographies réalisées soient intégrées à l'application.

Ainsi, lors des temps de travail sur le terrain, tous les binômes disposaient d'un appareil photographique numérique qui devait être utilisé pour prendre des images des indices de la formation d'une chaîne de collision. Des GPS étaient également mis à la disposition des élèves. Les coordonnées GPS des images devaient être relevées. Elles étaient destinées à permettre la géolocalisation des images avec l'application Géonote.

Les observations que nous avons pu faire appellent un certain nombre de remarques. Ces remarques concernent des aspects pratiques. En premier lieu, tous les binômes avaient pu se procurer des appareils photographiques ce qui montre que cet outil est très largement répandu et qu'il est possible d'en envisager des usages pédagogiques sans se confronter à des problèmes insurmontables d'équipement. En second lieu, si nous avons, avant les expérimentations, des craintes en ce qui concerne la récupération des images sur les cartes

mémoire des appareils photographiques, ces craintes ont été rapidement levées. Rares ont été les binômes confrontés à des difficultés et ces difficultés ont été rapidement surmontées.

8.4.2 Contrôle de l'activité et genèses instrumentales

Deux consignes, données par l'enseignant, portent sur la question de l'articulation des outils spécifiques du travail de terrain – appareil photographique et GPS - avec l'application Géonote. Ces consignes visent à prendre en compte les questions d'échelle et de géolocalisation des photographies réalisées.

La première consigne concerne la présence d'un élément permettant d'apprécier l'échelle de la photographie. C'est ainsi que les élèves avaient été invités à introduire un objet facilement identifiable et mesurable dans chacune des images. Cet objet permet ensuite le calibrage de l'image lors de son intégration dans l'application. L'affectation d'une mesure à une zone de la photographie permet par la suite de réaliser des mesures sur l'ensemble de l'image. La très grande majorité des élèves s'est conformée à cette consigne. Les photographies comprennent ainsi le plus souvent une pièce de monnaie, un stylo pour les photographies de roches et minéraux, voire un camarade pour les photographes d'affleurements.

La seconde consigne porte sur le relevé des coordonnées GPS. Ces coordonnées permettent par la suite d'aider à la géolocalisation des photographies réalisées. Encore une fois, cette consigne a été très majoritairement respectée.

Le respect de ces consignes tend à montrer que les élèves semblent avoir bien intégré la question de l'articulation de l'utilisation de l'appareil photographique et du GPS avec l'utilisation de l'application. Ainsi, sur le terrain, les caractéristiques et contraintes de l'application déterminent les activités qui sont effectuées. Les élèves sont en mesure de contrôler cette articulation en prenant en compte, dans la manière dont ils réalisent les tâches de terrain, des éléments déterminants pour que le résultat de leur activité soit adapté aux contraintes et caractéristiques de l'application.

Le contrôle que nous venons de décrire était initié par les consignes données par l'enseignant mais nos résultats tendent à montrer que les élèves sont parfois capables d'imaginer des procédures qui facilitent ce contrôle. Deux exemples le mettent en évidence :

Le premier exemple concerne un binôme qui a utilisé la fonction audio de son appareil photographique. Cette fonction permet, pour chaque photographie, d'enregistrer un fichier audio qui lui est associé. Les élèves de ce binôme ont utilisé cette fonction pour enregistrer, sur le terrain, des commentaires - personnels ou de l'enseignant - des photographies réalisées. Ils l'ont également utilisée pour conserver les coordonnées GPS des images. Ces élèves ont,

pendant la phase d'édition des données avec Géonote, retranscrit certains de ces commentaires. La figure 47 montre ces élèves au court de cette phase. Celui de gauche sélectionne les images à intégrer dans l'application. Celui de droite écoute les commentaires enregistrés.



La photographie illustre la manière dont un binôme contrôle la réalisation de l'activité et les outils qu'ils utilisent. Dans le cas présent les élèves ont en particulier exploité le fait que leur appareil photographique permet de réaliser un fichier audio de commentaires et ont utilisé les deux ordinateurs mis à leur disposition de manière à se partager le travail.

Figure 47 : Un élève du binôme sélectionne les images, l'autre écoute les commentaires enregistrés sur le terrain.

Un second exemple concerne un binôme qui a incorporé, dans les photographies de roches, des crayons de couleurs différentes selon la nature de la roche. Les couleurs retenues étaient conformes aux codes de couleurs de la carte géologique présente dans l'application (fig. 48).



Les photographies illustrent le fait que certains binômes ont introduit, dans les images réalisées, des éléments qui en facilitent l'interprétation. Dans le cas présent il s'agit d'éléments dont les couleurs renvoient aux codes utilisés pour la carte géologique.

Figure 48 : Incorporation dans les images de couleurs permettant de les identifier

Ces différents exemples montrent que les élèves contribuent au processus de conception des outils. Cette contribution se traduit par des *genèses instrumentales* qui pour certaines d'entre-elles sont assistées par l'enseignant au travers des situations qu'il conçoit et qui, pour d'autres, proviennent des initiatives des élèves et échappent à son contrôle.

8.4.3 Médiation instrumentale lors du travail de terrain

Le cadre socio-constructiviste que nous avons choisi place les interactions au cœur du processus d'apprentissage. Nous examinons ici comment, sur le terrain, ces outils médiatisent ces interactions. L'exemple que nous développons est celui de l'utilisation de l'appareil photographique et la place qu'il joue dans les activités de terrain. Le travail de terrain consiste pour l'essentiel dans la constitution d'un *registre empirique*. Au travers de ses actions, l'élève identifie et s'approprie les caractéristiques de ce registre. La place que joue l'appareil photographique dans ce processus transparaît au travers de l'exemple suivant. La transcription correspond à un moment où les élèves réalisent une photographie (fig. 49) :

1jaime2 1 :05 [métagabbro à hornblende au Chenaillet]

E1 : Viens là j'ai une auréole...

E2 : Au milieu c'est du pyroxène, c'est une auréole de quoi ?

E3 : pyroxène et là c'est actinote...

E1 : ... et chlorite. Ben on va tout prendre... **Regarde là y'a... le vert, le noir et là y'a de la hornblende. Il faut que tu prennes les tr... deux.**

E2 : Les deux côtés il faut que je prenne ?

E1 : Ouais

E2 : Ben c'est gentil, je vais me faire [...]...

E1 : Mais non... **tu prends une fois ça, une fois ça**

[...]

E1 : **Tu prends ça, le but c'est de prendre ça...**

E2 : Prends un bon zoom **là dessus**, tu veux pas plutôt zoomer complètement, parce que c'est important... non mais zoome carrément sur le...Moi je la tiens si tu veux la pièce.

[...]

E2 : **Ce qu'on veut voir c'est ça.**

[...]

E1 : C'est de la hornblende. Mais c'est de la hornblende c'est pas pareil...Donc c'est la photo combien ?



La réalisation de photographies sur le terrain est généralement une activité collective qui conduit les élèves d'une part à s'engager activement dans la recherche des indices qu'ils doivent recueillir et d'autre part à échanger sur les observations qu'ils effectuent.

Figure 49 : Photographies de minéraux sur le terrain

Ces échanges montrent comment le fait de devoir prendre une photographie conduit les élèves à observer la roche, à sélectionner les éléments à faire apparaître sur la photographie et à en débattre. Les élèves ont un objectif de réalisation, une photographie, et les éléments dont ils disposent leur permettent d'évaluer la pertinence de cette photographie. Les critères d'évaluation sont la présence de trois minéraux dont les relations géométriques permettent d'apprécier la chronologie de leur formation. Cela les conduit à rechercher activement, sur le terrain, une roche répondant à ces critères. Une fois cette roche trouvée, les échanges portent sur les critères qui permettent de juger de la pertinence de l'objet identifié c'est-à-dire de la nature des minéraux et de la présence d'une auréole. L'échange se termine par des tours de parole qui permettent aux élèves de décider de la meilleure façon de prendre la photographie. Cela les conduit à focaliser leur attention sur les éléments pertinents et les aspects de la roche qui ne le sont pas.

Deux éléments nous semblent primordiaux dans la situation présentée. Le premier élément est l'explicitation du modèle scientifique qui permet aux élèves de savoir ce qu'ils recherchent et de disposer des critères permettant d'évaluer les résultats de cette recherche. L'explicitation du modèle participe à l'élaboration d'un *milieu didactique* qui permet à l'élève d'être autonome dans son travail d'investigation. Le second élément relève de la médiatisation de ces interactions à l'aide d'un appareil photographique. Les interactions s'établissent entre les élèves et le *registre empirique*. Ces interactions mettent en jeu les actions que les élèves exercent en réalisant la photographie et les éléments du registre qui sont identifiés. Ces interactions sont également des interactions sociales. Les échanges au cours de la réalisation de la tâche témoignent de la volonté d'expliquer, d'argumenter et parfois de négocier. Ainsi, l'instrumentation de la tâche détermine de manière forte le fonctionnement cognitif des élèves.

Ceci nous avait été évoqué par un des accompagnateurs du Centre Briançonnais de Géologie Alpine qui avait été amené à nous faire la remarque que « vos élèves se précipitent sur les affleurements alors qu'en général les élèves restent très en retrait ».

8.5 Activités instrumentées au cours de la phase d'édition des données

Une séance de travaux pratiques complète (2h) a été consacrée à l'édition et à la géolocalisation des photographies recueillies sur le terrain. L'application permet en effet de créer des *données* pour Géonote. Créer des *données* signifie que l'élève peut associer à une image un certain nombre d'informations. Une donnée est ainsi constituée d'une image sélectionnée parmi les photographies prises sur le terrain. Elle comprend également un titre et un texte qui ont été saisis lorsque les élèves ont été conduits à compléter la fiche paramètre de la donnée. Il avait été demandé aux élèves de structurer leur texte en deux parties. Une partie décrivant l'image sélectionnée et une seconde partie indiquant en quoi l'indice photographique était un argument en faveur du modèle de formation d'une chaîne de collision pour expliquer la formation des Alpes. Dans certains cas, les élèves ont également saisi des mots clefs. La consigne qui leur avait été donnée était que ces mots clefs fassent référence au modèle. Une fois créée, une donnée peut alors être géolocalisée sur un arrêt présent sur la carte. Elle sera ainsi accessible *via* un menu associé à cet arrêt.

La situation avait été conçue de manière à ce que les élèves s'engagent dans un travail de confrontation du *registre empirique* et du modèle. Il s'agissait d'instrumenter cette phase à l'aide de Géonote. Nous examinons l'activité des élèves à l'aide des deux approches de notre méthodologie. L'approche instrumentale nous permettra, au travers du traçage informatique, d'identifier le développement de *schèmes* et de phénomènes de genèse instrumentale. L'approche didactique, par l'intermédiaire du codage des verbalisations des élèves, nous permettra de caractériser l'engagement des élèves dans un travail d'investigation.

8.5.1 Quelques productions d'élèves

L'annexe W p. 394 présente quelques données produites par les d'élèves ainsi que les chronogrammes qui correspondent à ces productions. Ces exemples ont été sélectionnés car ils illustrent une certaine diversité du point de vue des productions.

Le binôme 1putinier2 (p. 395) s'est plutôt attaché à décrire un panorama en utilisant un logiciel de dessin. Dans le commentaire, un élément du modèle est mentionné (lithosphère océanique) mais les relations entre les informations recueillies et le modèle ne sont pas discutées.

Le binôme 9putinier2 (p. 396) décrit la roche visible sur l'image et met en relation le mécanisme de sa formation avec le modèle.

Dans ses deux productions le binôme 5nuguet2 (p. 397 et p. 398) s'en tient à une description de la roche visible que l'on peut qualifier de générique. Le mécanisme de formation de la roche est expliqué mais dans le commentaire portant sur le métagabbro les élèves ne discutent pas de manière explicite la relation de la roche et du modèle. Dans le commentaire du gabbro un élément du modèle est évoqué : « la montée de l'asthénosphère » mais ce n'est pas pour argumenter de la pertinence d'utiliser ce modèle pour expliquer la formation des Alpes.

Enfin, le texte rédigé par le binôme 9nuguet2 (p. 399) comprend des éléments de description de l'image et la mise en relation de cette donnée avec le modèle. Les productions montrent ainsi une certaine hétérogénéité du point de vue de la prise en compte du *registre empirique* et du modèle, les chronogrammes qui ont été réalisés pour ces différents binômes montrent également une certaine diversité des productions quant au temps consacré à leur élaboration : de l'ordre de 6 minutes pour les plus courts, jusqu'à 25 minutes environ. Les temps longs s'expliquent par le fait qu'il s'agit de la première fois que les élèves utilisent le mode édition (9nuguet2) ou qu'ils ont consacré du temps pour la mise en forme de l'image avec le logiciel de dessin (1putinier2).

8.5.2 Motif de traces informatiques lors de l'édition et de la géolocalisation des données

Le traçage informatique montre au contraire une certaine homogénéité et permet de distinguer trois phases :

- une première phase dont le début est marqué par la fin de l'édition d'une donnée précédente ou le démarrage de l'application et qui correspond à la sélection d'une image. Cette sélection est effectuée à l'aide de l'explorateur de Windows et n'est pas tracée du point de vue informatique ;
- une seconde phase dont le début est marqué par un clic sur le menu *nouvelle donnée* qui correspond à un temps consacré à la rédaction de la fiche *paramètres de la donnée*. Le travail de saisie de cette fenêtre n'est pas tracé du point de vue informatique ;
- une dernière phase dont le début est marqué par un clic sur le menu *modifier carte* et qui correspond à un temps d'exploration de la carte du secteur géographique. Cette phase est caractérisée par l'emploi des outils permettant de naviguer dans la carte (zoom et déplacement).

.Le traçage informatique permet donc de mettre en évidence un nouveau *motif informatique* indicateur d'une activité consistant dans l'édition d'une donnée et sa géolocalisation. Ce motif

est caractérisé par un certain nombre d'invariants. Ce sont d'une part la succession de trois phases et d'autre part la nature des outils utilisés au cours de ces différentes phases. Il traduit le développement d'un *schème* qui consiste dans la mise en œuvre de procédures standardisées.

8.5.3 Genèses instrumentales lors de l'édition et de la géolocalisation des données

Comment l'application est-elle prise en main durant la séance d'édition et de géolocalisation des données ? Quels sont les indices d'un processus de genèse instrumentale durant cette séance ? Nous évoquons dans ce paragraphe quelques observations qui permettent d'apporter des éléments de réponse à ces questions.

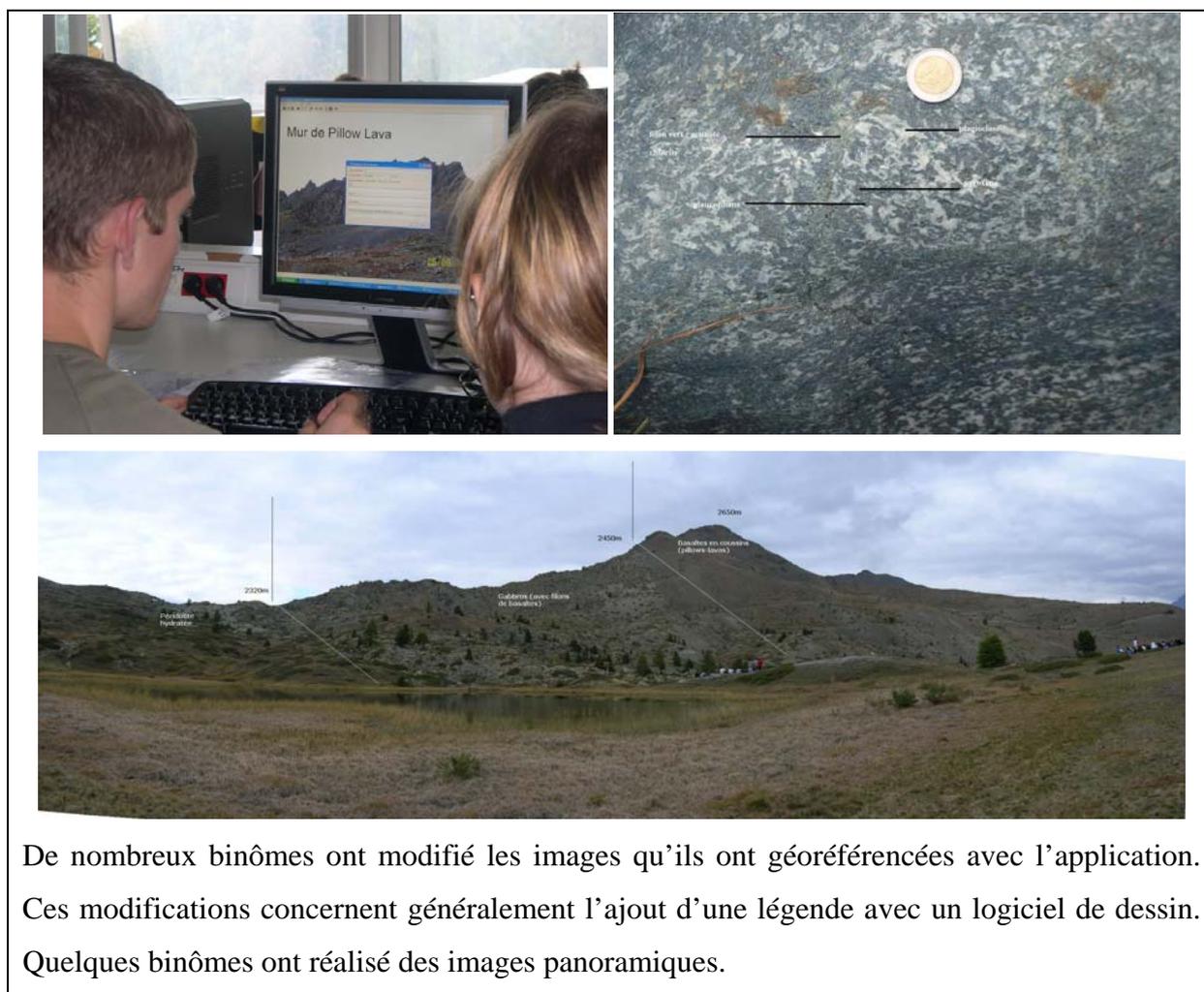


Figure 50 : Quelques exemples de photographies modifiées

Le besoin de légèrer les images à géolocaliser a été ressenti par un nombre non négligeable d'élèves. 11 % d'entre eux ont utilisé un logiciel de dessin – celui installé par défaut sur les machines – pour enrichir leurs photographies avec du dessin ou du texte. Certains ont également, en répondant à notre questionnaire, exprimé le souhait que cette fonctionnalité soit implémentée dans Géonote. D'autres binômes ont réalisé des panoramas afin d'avoir une vue d'ensemble de paysages étudiés. La figure 50 illustre de tels exemples.

Le besoin d'enrichir une photographie a parfois été ressenti après que l'image avait été géolocalisée avec Géonote. Dans ce cas les élèves ont recherché l'image dans les répertoires de l'application pour l'ouvrir avec un logiciel de dessin. Cette manière de procéder leur a posé problème. L'image chargée dans la mémoire de l'application était la photographie avant modifications. Ces modifications ne sont donc visibles que si l'application est fermée puis ouverte de nouveau. Cela a perturbé les élèves.

Un second exemple, concernant les images, porte sur l'intégration de documents non géolocalisés. Certains élèves ont souhaité que des schémas permettant d'interpréter les images qu'ils ont géoréférencées soit disponibles dans la documentation de Géonote. Ils ont par ailleurs remarqué qu'une donnée, lorsqu'elle n'est pas géolocalisée, peut être affichée dans la fenêtre de documentation. Ils ont donc photographié ces schémas en classe et les ont intégrés dans géonote. D'autres ont géolocalisé de telles données. La figure 51 illustre une telle activité.

La manière dont certains binômes ont procédé pour géolocaliser leurs données traduit également une appropriation de l'outil pour la réalisation de la tâche demandée. L'affichage des coordonnées géographiques a permis à certains élèves de ne pas lire la carte sur laquelle s'effectue la géolocalisation et d'effectuer des mouvements de souris horizontaux et verticaux jusqu'à un affichage conforme au relevé GPS de l'image en question. Comme nous souhaitons que la tâche de géolocalisation conduise justement les élèves à s'engager dans un travail de lecture de carte cela nous a amené à diminuer la précision de l'affichage des coordonnées géographiques dans la version postérieure de Géonote. Les élèves doivent alors prendre en compte des informations données par la carte pour effectuer cette géolocalisation avec précision.



L'intégration de schémas géoréférencés est un exemple, parmi d'autres, de l'utilisation de l'application qui n'avait pas été envisagé lors de sa conception. L'image montre un élève qui photographie un schéma qu'il a réalisé. Ce schéma sera géolocalisé avec les images prises sur le terrain.

Figure 51 : Un élève photographie un schéma pour l'intégrer dans Géonote

D'autres tentatives d'utilisation de Géonote ont échoué et se sont traduites par des suggestions des élèves pour l'évolution de l'application : possibilité de disposer d'outils de dessin permettant de modifier des images géolocalisées, possibilité de géoréférencer des fichiers de type vidéo ou audio ou possibilité d'enregistrer, dans un seul fichier, l'ensemble du travail effectué de manière à pouvoir l'enregistrer sur une clef USB.

Pour réaliser des données et les géolocaliser à l'aide de l'application, les élèves disposaient de différents outils. Le concept de *système d'instruments* nous permet d'analyser la manière dont les élèves ont pris en main ces outils et l'influence de ces derniers sur le dispositif d'apprentissage.

Au cours de cette phase les élèves disposaient en particulier de deux ordinateurs par binôme, des logiciels installés sur les machines, de l'appareil photographique et de documents dont des

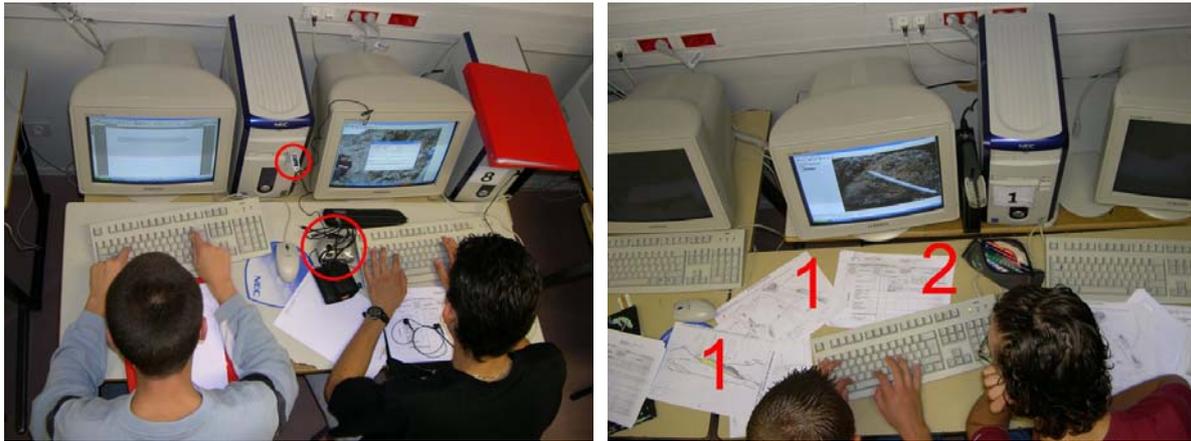
schémas ou tableaux complétés sur le terrain. Un binôme, disposant d'un ordinateur portable, a souhaité utiliser son propre matériel (fig. 52). Leurs motivations exprimées portaient sur la possibilité d'utiliser d'autres logiciels – de traitement d'image et de réalisation de panorama entre autres – connus de ces élèves et non disponibles sur les postes du lycée. Cela traduit leur volonté de se constituer un environnement de travail disposant de fonctionnalités complémentaires pour réaliser le travail demandé et donc des relations étroites qui se nouent entre l'activité et les *instruments* permettant de s'y engager.



La question de l'organisation de l'environnement de travail pour effectuer la tâche demandée est perçue comme importante par les élèves. Cela a conduit certains d'entre eux à souhaiter utiliser leur ordinateur portable personnel pour disposer des logiciels qu'ils utilisent habituellement.

Figure 52 : Un binôme utilise son matériel personnel

Les observations que nous avons pu réaliser nous ont permis de constater différentes modalités d'usage de ces outils. En particulier, les deux ordinateurs sont le plus souvent utilisés par les élèves pour se partager le travail. C'est ainsi que l'un d'entre eux peut se consacrer à une récupération des images de l'appareil photographique et au tri de ces images alors que l'autre se consacre à la rédaction des commentaires des images (figure 53). Pour d'autres binômes, un élève rédige le commentaire d'une image avec un traitement de texte alors que l'autre copie/colle ces commentaires dans la fiche paramètre lors de l'édition d'une donnée avec Géonote. La clé USB (sous forme de lecteur mp3) que possède la majorité des élèves, est alors un auxiliaire précieux qui permet le transfert des fichiers d'un ordinateur à l'autre.



Les photographies permettent de montrer les outils utilisés : appareil photographique et clef USB (cercles), schémas (1) et tableau (2) réalisés ou complétés sur le terrain. La photographie à gauche montre un élève qui rédige le commentaire d'une image à l'aide d'un traitement de texte (élève de gauche). L'autre élève complète la *fiche paramètres* d'une image en copiant/collant le commentaire rédigé.

Figure 53 : : Photographies de binômes au cours de la séance consacrée à l'édition et à la géolocalisation des données

Ces observations soulignent que les élèves sont en mesure de s'approprier les différents outils mis à leur disposition et d'utiliser la complémentarité de leurs fonctions afin de constituer un *système d'instruments* qui leur permet de réaliser la tâche prescrite. Ces observations montrent également le fait que les *instruments* exercent une influence majeure sur l'activité des élèves. Cette influence se traduit par la nature des tâches qu'ils exécutent et le contrôle qu'ils exercent sur leur activité. Il en découle que la situation est largement déterminée par les *instruments* utilisés.

8.5.4 Interactions lors de l'édition et de la géolocalisation des données

Les enregistrements audio nous permettent de distinguer deux types d'interactions entre élèves lors de la phase d'édition et de géolocalisation des données :

- les interactions qui témoignent d'un travail de constitution du *registre empirique* (RE). Elles apparaissent durant toute la durée du motif informatique correspondant mais concernent principalement les phases de sélection de l'image ou de sa géolocalisation. Les extraits de chronogrammes des binômes C5nuguet2 (annexe W p. 397) et C9putinier2 (annexe W p. 396) étayent de ce point de vue ;

- les interactions qui témoignent de la mise en relation du *registre empirique* avec le registre du modèle (EM). Elles se situent principalement lorsque les élèves complètent la *fiche paramètres* de l'image. Les échanges portent alors sur la confrontation des caractéristiques de l'image au modèle scientifique (EM3). C'est le cas, en particulier dans l'extrait de chronogramme du binôme C9nuguet2 (annexe W p. 395). Il peut s'agir également d'échanges qui portent sur l'instanciation du modèle avec les informations apportées par l'image (EM4). Ceci est illustré par l'extrait de chronogramme du binôme C1putinier2 (annexe W p. 395). La mise en relation du traçage informatique et du codage des échanges entre élèves permet ainsi de d'identifier une corrélation entre le type d'utilisation de l'application et la nature des tâches du travail d'investigation qui est conduit.

Ce résultat témoigne du fait que l'application participe à la médiatisation des interactions au cours de l'apprentissage. D'une part elle instrumente le travail de constitution du *registre empirique* en conduisant les élèves à effectuer un travail de sélection et de géolocalisation de l'image et, d'autre part, elle structure le travail de confrontation du *registre empirique* et du modèle.

8.6 Conclusions

8.6.1 De Géonote à la situation d'apprentissage instrumentée

Nos résultats permettent de décrire la conception d'une situation d'apprentissage dans laquelle une application – Géonote - constitue une proposition dont l'usage est déterminé par l'enseignant en tant que concepteur de la situation et également par l'élève qui s'approprie l'application pour réaliser les tâches qui lui sont confiées. Cette description permet d'une part de caractériser le processus de genèse instrumentale et d'autre part de montrer la place de l'application dans l'instrumentation d'un travail d'investigation.

8.6.1.1 Genèses instrumentales

Dans les séances que nous avons observées, les situations qui nous ont paru les plus riches du point de vue de l'apprentissage sont celles au cours desquelles les élèves utilisaient les fonctions d'édition de Géonote. Nous proposons donc de leur ouvrir aussi largement que possible l'accès à ces fonctions d'édition. C'est le choix que nous avons retenu pour le développement de Géonote. Par ailleurs, des observations effectuées nous ont montré un certain nombre d'usages ou de demandes qui peuvent se révéler intéressantes dans l'optique de poursuivre le développement de l'application. Il s'agit par exemple de l'utilisation de la fonction, disponible sur certains appareils photographiques, qui permet l'enregistrement de commentaires audio des photographies réalisées. La demande des élèves portait sur la possibilité d'intégrer et de géolocaliser des fichiers audio ou vidéo. De manière plus fréquente les élèves ont demandé de pouvoir tracer l'itinéraire sur la carte numérique et de légènder les photographies réalisées. De fait, ce travail a été fait pour certains binômes en utilisant le logiciel de dessin de Windows. D'une manière générale la demande des élèves portait sur un accès large à des fonctionnalités permettant un enrichissement, d'une part des documents disponibles par défaut dans l'application et d'autre part des photographies prises sur le terrain. Le tableau 11 permet de mettre en regard des usages que les élèves ont développés lorsqu'ils ont utilisé l'application et des demandes qu'ils ont exprimées quand ils ont répondu au questionnaire.

Usages développés par les élèves	Demandes exprimées par les élèves
Introduction dans les images, lors des prises de vues, d'éléments facilitant leur exploitation ultérieure (couleurs, enregistrements audios...)	Disposer de fonctionnalités de dessin permettant de modifier les documents présents dans l'application ou géoréférencés par eux-mêmes
Enrichissement des images produites (réalisation d'images panoramiques, légende...) à l'aide d'autres logiciels disponibles sur les postes utilisés	
Modification des images postérieurement à leur géoréférencement	
Intégration de schémas explicatifs reproduits à l'aide de l'appareil photographique	Pouvoir géoréférencer des documents de natures différentes (images, texte, sons, vidéos)
Echanges des fichiers produits (textes et images) à l'aide d'une clef USB	Pouvoir accéder facilement aux répertoires dans lesquels les fichiers sont stockés
	Disposer de fonctionnalités permettant d'échanger, mutualiser les documents produits et géoréférencés
Copie de l'application sur une clef USB afin de l'installer sur le poste familial	Pouvoir conserver le travail réalisé

*Tableau 11 : Usages de l'application développés par les élèves
et demandes exprimées*

Les usages indiqués dans le tableau constituent des genèses instrumentales (p. 60). Ils traduisent le fait que les élèves ont été capables d'utiliser l'artefact informatique pour réaliser les tâches qui leurs étaient prescrites. Ils traduisent également l'enrichissement de l'artefact au travers de son usage. Dans quelques cas plus rares ces usages constituent de véritables catachrèses (p. 60). Les fonctionnalités de l'application sont détournées de l'usage prévu par le concepteur. On peut par exemple citer le géoréférencement de photographies de schémas explicatifs afin d'aider à la lecture des images des données réalisées.

Ces genèses instrumentales se sont généralement traduites par des demandes explicites dans les réponses au questionnaire distribué. Ces demandes témoignent du fait que la souplesse de l'application n'était pas suffisante pour permettre la réalisation de certaines tâches que les élèves ont jugées nécessaires. Les attentes en ce qui concerne la modification des images géoréférencées et l'échange des données réalisées sont symptomatiques à cet égard.

Géonote constitue un artefact qui se construit en tant qu'*instrument* au cours de l'activité des élèves. Ces derniers prennent en main l'application et l'utilisent pour réaliser les tâches qui leurs sont confiées. L'analyse des chronogrammes des élèves permet ainsi de repérer des invariants dans la manière dont l'application est utilisée. Ces invariants constituent autant de motifs qui peuvent être identifiés dans les traces informatiques. Ces motifs sont caractérisés

par les fonctionnalités de l'application qui sont utilisées. Ils traduisent le développement de *schèmes* d'usages de l'application. Ces motifs sont corrélés avec des verbalisations indicatrices de certaines tâches réalisées dans le cadre d'un travail d'investigation. Le tableau ci dessous indique les motifs qui peuvent être identifiés dans les chronogrammes et la nature des tâches d'un travail d'investigation avec lesquelles ces motifs sont corrélés.

Pattern d'interaction	Caractéristiques du motif	Nature des tâches
Mise en place de l'environnement de travail (adaptation de l'interface)	Ouverture d'une session et choix d'un secteur géographique, drapage de la carte géologique, zoom et affichage de la légende.	
Consultation de la carte	Utilisation des outils : zoom, déplacement, transparence, réglet	RE
Consultation d'une donnée	Trois phases : zoom et déplacement, affichage de la donnée, zoom et déplacement	RE (et EM)
Création d'une donnée	Deux phases : sélection d'une image, édition de la <i>fiche paramètres</i>	EM (et RE)
Géolocalisation d'une donnée	Utilisation des outils : zoom, déplacement, transparence, réglet	RE

Tableau 12 : Principaux motifs informatiques identifiables dans les chronogrammes

Ces motifs informatiques, leur mise en relation avec certaines tâches du travail d'investigation traduisent un processus d'*instrumentalisation* de l'application. L'élève prend en main l'application pour effectuer le travail demandé. Il l'enrichit à partir de son usage. Les modifications des images prises sur le terrain constituent des exemples de cet enrichissement. En retour, l'application exerce une influence importante sur l'activité des élèves. Cette influence sur la manière dont le travail est effectué, en classe comme sur le terrain traduit quant à elle un processus d'*instrumentation*. La manière dont le travail est effectué est déterminé par l'application. Les conséquences de la prise de photographies sur les observations effectuées sur le terrain en sont un exemple. L'influence de l'application s'exprime donc sur la nature des interactions qui se développent. Les interactions des élèves avec les objets géologiques à étudier, les interactions entre élèves eux-mêmes sont ainsi largement déterminées par l'usage de l'application.

C'est ce double processus d'*instrumentalisation* et d'instrumentation qui caractérise un phénomène de *genèse instrumentale*.

8.6.1.2 Instrumentation d'un travail d'investigation

L'influence de Géonote, en tant qu'instrument, s'exprime également du point de vue du travail d'investigation qui est conduit. La situation construite permet le développement d'un *système d'instruments* constitué de l'application elle-même mais également de l'appareil photographique, du GPS voire d'une clef USB et de l'ensemble des documents fournis par l'enseignant, élaborés ou complétés par les élèves. Les élèves construisent ces *instruments* et élaborent les mécanismes de contrôle qui permettent de les articuler. Le choix d'intégrer des crayons de couleurs dans les photographies, d'utiliser une clef USB pour les échanges de fichiers sont des exemples, parmi d'autres, des procédures mises en place par les élèves pour exercer un tel contrôle. Ces procédures viennent compléter celles mises en place par l'enseignant : demande d'incorporer un objet dont la taille est connue dans la photographie, relevé des coordonnées GPS pour chaque photographie effectuée.

Au final c'est une situation d'apprentissage instrumentée complexe qui est élaborée. L'instrumentation porte sur la constitution d'un *registre empirique*. L'élève est amené à s'approprier les caractéristiques d'un terrain proposé à son investigation. L'instrumentation porte également sur la mise en relation de ce *registre empirique* avec un modèle scientifique interprétatif. Cette mise en relation s'effectue principalement lors de la détermination des procédures du protocole d'observation et lors de l'édition et de la géolocalisation de données. On voit donc que l'instrumentation du travail d'investigation ne consiste pas à l'automatisation dans un but d'efficacité de certaines procédures propres à un travail d'investigation ce qui pourrait être contre-productif du point de vue de l'apprentissage. Il s'agit plutôt de l'instrumentation d'une démarche permettant le développement d'interactions épistémiques.

8.6.2 Quels retours sur la conception de l'environnement ?

Un artefact n'est qu'une proposition (Pargman, 2005). Il ne devient *instrument* que lorsque qu'il est pris en main par un usager et que s'élaborent des *schèmes* de son utilisation. L'analyse des usages d'un artefact joue donc un rôle capital dans le processus de conception. Le travail que nous avons conduit n'avait pas pour objectif principal la conception d'un EIAH mais il nous semble important d'identifier les retombées que notre travail pourrait avoir dans ce domaine. Par ailleurs, les propositions que nous formulons ne visent pas à éviter que les élèves soient confrontés à des difficultés lorsqu'ils sont conduits à consulter ou éditer de

l'information géolocalisée. Il s'agit plutôt de préciser les caractéristiques qu'un environnement doit posséder pour faciliter son intégration et rendre possible l'élaboration de situations d'apprentissages permettant aux élèves de dépasser les difficultés qu'ils rencontrent. Les expérimentations que nous avons conduites nous ont ainsi permis d'apprécier les limites de Géonote et d'identifier un certain nombre de fonctionnalités qui nous paraissent utiles pour que l'application puisse permettre d'instrumenter un travail d'investigation en sciences de la Terre. Ces expérimentations nous ont apporté des informations de différentes manières. D'une part, c'est en confrontant l'application à un contexte d'utilisation que nous avons pu en mesurer l'intérêt et les limites. D'autre part, au cours de cette contextualisation, les retours des enseignants ont été riches en remarques sur l'ergonomie ainsi que sur l'intérêt et les limites des fonctionnalités disponibles. Enfin, l'observation des élèves en activité, l'analyse de certains épisodes dans les traces informatiques, leurs réponses aux questions que nous avons pu leur poser se sont révélés fructueux.

En somme, la genèse d'un EIAH résulte d'une double boucle de conception. Une première boucle courte correspond à un processus de conception dans l'usage. La proposition que constitue l'artefact informatique devient *instrument* par un double mouvement d'*instrumentation* et d'*instrumentalisation* dans le cadre d'une situation d'apprentissage donnée. La seconde boucle, plus longue, conduit, grâce à l'analyse d'usage, à identifier les fonctionnalités qui pourraient présenter de l'intérêt dans le cadre d'une situation expérimentée. Cette analyse porte sur l'analyse des usages *via*, par exemple un traçage informatique de l'activité. Elle porte également sur les attentes des utilisateurs, enseignants ou élèves.

Cela nous conduit à proposer les grandes lignes de ce qui pourrait devenir le cahier des charges d'un Système d'Information Géographique pour l'enseignement des sciences de la Terre. Nous abordons dans ce qui suit quatre aspects qui nous semblent particulièrement importants : l'accès à de l'information géographique et géologique et son traitement, les fonctionnalités d'édition de cette information pour les élèves, la possibilité d'échanger et de mutualiser cette information et le traçage de l'activité lors de l'apprentissage.

8.6.2.1 Un environnement d'accès à l'information géographique et géologique

- Permettre l'accès à l'information diffusée sur le Web

L'accès à des données géoreférencées aux standards usuels nous paraît être un point important. Les expérimentations conduites avec Géonote nous ont montré que l'accès à des données de type carte, photographies satellitaires ou aérienne posait problème. Certaines de ces données sont en accès libre, diffusées par de grands portails d'information géographique de type Google Earth ou Géoportail. Il nous semble important qu'une application dédiée à

l'enseignement soit interfacée avec ces portails et puisse afficher ces données. Sur certaines zones géographiques ces données peuvent en effet présenter un intérêt pédagogique. Outre les cartes, les données géoréférencées qui se sont révélées utiles lors de nos expérimentations sont les images, commentées, accessibles à partir de la carte. Google Earth offre, depuis maintenant quelques mois, la possibilité d'intégrer ce type d'information. Néanmoins, les informations actuellement diffusées sur ces sites ne présentent généralement un intérêt pédagogique que si elles sont croisées avec des informations plus spécifiquement liées à la discipline. Il nous semble utile d'offrir la possibilité d'afficher différentes couches d'information, de les croiser, afin de permettre à l'utilisateur de réaliser des cartes personnalisées comprenant les informations utiles dans le cadre du travail qui est conduit.

- Implémenter des fonctionnalités spécifiquement prévues pour des usages éducatifs

Un élève qui utilise un environnement informatique de type Système d'Information Géographique ne le fait pas avec les mêmes objectifs qu'un professionnel. L'objectif, pour l'élève, est un objectif d'apprentissage alors que le professionnel a des objectifs de réalisation. En un sens, pour le professionnel c'est le résultat qui importe alors que du point de vue de l'enseignant, c'est le processus. Les contraintes ne sont donc pas les mêmes. L'enseignant doit pouvoir prescrire des tâches qui soient susceptibles de favoriser l'apprentissage. Pour l'enseignant, il ne s'agit donc pas de faciliter la tâche de l'élève mais de choisir les difficultés que ce dernier aura à franchir, et mettre en place des conditions qui lui permettent de les franchir. La problématique est différente dans un contexte professionnel où il s'agit d'automatiser un processus avec des objectifs de rentabilité.

Les grands sites de cartographie en ligne que nous mentionnons plus haut n'ont pas été conçus pour un usage éducatif mais sont de plus en plus utilisés par les enseignants. Ils possèdent néanmoins un défaut majeur qui est de ne pas permettre l'affichage de la légende des données diffusées. Outre cet aspect, le travail que nous avons conduit montre qu'il peut se révéler intéressant voire indispensable de permettre l'affichage de différents types d'informations non géoréférencées : légende d'une carte, modèle explicatif, schéma...

Les fonctionnalités qui nous semblent utiles pour naviguer et effectuer un premier niveau de traitement de cette information géoréférencée sont maintenant classiques. Ces fonctionnalités existent sur Google Earth et Géoportail. Elles ont également été implémentées sur Géonote. Il s'agit du zoom qui doit être progressif de manière à permettre à l'élève de choisir la zone géographique sur laquelle il souhaite travailler et de sélectionner l'échelle qui lui paraît la plus pertinente pour son travail. Il s'agit également du réglage et de la possibilité d'effectuer des mesures aussi bien sur les cartes que sur les images géolocalisées afin de pouvoir en apprécier l'échelle. L'affichage des coordonnées géographiques peut également présenter de l'intérêt

dans l'optique d'effectuer du recueil de données sur le terrain en employant un GPS pour les géoréférencer. D'autres fonctionnalités, non actuellement disponibles dans Géonote nous semblent également présenter un intérêt pédagogique. Il s'agit de la possibilité d'afficher des vues tridimensionnelles de manière à apprécier les reliefs ou d'effectuer des requêtes afin de permettre à l'utilisateur d'effectuer une sélection des données qu'il affiche.

- Prendre en compte la diversité des contextes éducatifs

Les demandes des élèves qui ont participé aux expérimentations montrent qu'il est important de leur donner la possibilité d'accéder à l'environnement à distance de manière à leur permettre de poursuivre le travail engagé lorsqu'ils se retrouvent en dehors de leur établissement scolaire. Il est également important de leur donner la possibilité de lire le jeu de données qu'ils ont pu réaliser en classe. Nous avons en effet été interpellé par des élèves qui mettaient en doute l'intérêt de réaliser des jeux de données géolocalisées si, ne disposant pas de l'application chez eux, il leur était impossible de consulter ces données. On voit par là que si l'enseignant s'intéresse principalement au travail de conception, au processus qui permet l'apprentissage, les élèves sont, quant à eux focalisés sur un objectif de production. Le compte rendu, qu'il soit réalisé sous la forme d'un document papier ou sous la forme d'un jeu de données, doit pouvoir être consulté par l'élève quand il le souhaite. C'est donc une application en ligne qu'il paraît judicieux de réaliser.

Toutes ces fonctionnalités peuvent présenter un intérêt variable suivant les situations que l'enseignant souhaite construire. Par ailleurs, de notre point de vue, c'est à l'enseignant que doit revenir la responsabilité de choisir les difficultés que devront franchir les élèves et donc les apprentissages susceptibles d'être effectués. Il s'agit par exemple de permettre à l'élève d'accéder, ou non, à un affichage permettant une vision tridimensionnelle suivant que l'on veut ou pas que l'élève effectue un travail de lecture cartographique. La même remarque vaut, et nous l'avons évoqué plus haut, pour l'affichage des coordonnées géographiques. Il s'agit également de donner à l'enseignant la possibilité de sélectionner les données que l'élève pourra effectivement consulter de manière à adapter l'application aux situations qu'il souhaite construire et au niveau des élèves dont il a la charge. Il nous paraît donc important de donner à l'enseignant la possibilité de paramétrer l'application. Au final, il nous paraît important que l'application présente suffisamment de souplesse pour que l'enseignant puisse être maître d'un processus de co-construction de l'application et de la situation d'apprentissage dans laquelle elle sera utilisée.

8.6.2.2 Un environnement d'édition et de mise en forme des données

- Permettre l'utilisation de l'application pour l'étude de différents contextes géologiques

Une bonne intégration de l'application dans les pratiques des enseignants suppose que ces derniers puissent construire des situations d'apprentissage pour les contextes géologiques qu'ils ont choisi d'étudier. Ceci nous a été confirmé par les échanges que nous avons pu avoir avec les enseignants qui ont téléchargé l'application pour construire leurs propres séances. Ces derniers nous ont indiqué que, outre la question du paramétrage que nous venons d'évoquer, un point important concerne la possibilité d'offrir à l'enseignant d'accéder aux fonctions d'édition de manière à adapter les informations contenues dans l'application aux contextes qu'il souhaite travailler avec ses élèves. Il nous paraît donc important, dans l'optique de permettre une bonne intégration de l'application et sa diffusion large, de donner la possibilité à l'enseignant de produire de nouvelles couches d'information et de nouveaux jeux de données.

- Structurer l'argumentation des élèves durant le travail d'édition des données

Nous avons vu plus haut que nos résultats montrent que, lorsque les élèves rédigent le commentaire d'une photographie cela les conduit à effectuer un travail sur le *registre empirique* et, le plus souvent, à mettre en relation ce *registre empirique* avec le modèle scientifique proposé par l'enseignant. Néanmoins, les productions des élèves montrent que ces deux aspects de la tâche sont effectués de manière inégale selon les binômes. Certains binômes s'en tiennent à un travail sur le *registre empirique*. D'autres au registre du modèle. Nous proposons d'y remédier en modifiant la structure de la *fiche paramètres* de la donnée de manière à afficher deux zones de saisie correspondant à ces deux aspects – l'une permettant de saisir une description de l'image, l'autre de rédiger un texte mettant en relation les données représentées par l'image avec le modèle - de manière à structurer la tâche des élèves et à les aider à éviter d'occulter un de ces aspect au cours de leur travail d'édition des données. Notre objectif est que ce travail s'inscrive véritablement dans une perspective de confrontation du *registre empirique* et du registre du modèle.

8.6.2.3 Un environnement d'échange et de mutualisation des données produites pour favoriser les interactions sociales et le travail collaboratif

Que ce soit au cours de la conception des séances ou lors de l'observation de l'activité des élèves pendant les expérimentations la question de l'échange des données s'est posée de manière cruciale. Pour l'équipe pédagogique, il est en effet important de pouvoir s'échanger les jeux de données en cours de réalisation, de tenir compte des différentes versions et de visualiser les modifications apportées par chacun des membres de l'équipe. La structuration actuelle des données dans Géonote permet cet échange mais cela nécessite que les enseignants disposent d'un minimum d'expérience dans la gestion des fichiers. Quant à la dimension collaborative de la conception de ces données, elle n'est actuellement pas prise en compte.

Le problème s'est posé de manière similaire pour les élèves lorsqu'ils ont souhaité s'échanger des données réalisées entre binômes. Les difficultés ont été contournées en demandant aux élèves de travailler au sein d'un binôme qui était amené à partager un même ordinateur mais le besoin s'est fait sentir de pouvoir mutualiser les jeux de données qu'ils ont produit. Il nous semble donc qu'il est important d'offrir aux élèves la possibilité de s'échanger les données qu'ils produisent de manière à ce qu'il puissent s'engager dans un travail collaboratif de conception. Cela nous conduit à faire un certain nombre de propositions pour la structuration des données du point de vue de leur archivage. En premier lieu il est nécessaire que l'application offre la possibilité d'accéder à des fonctionnalités permettant d'enregistrer et d'ouvrir les données dans des répertoires choisis par l'utilisateur. Il nous semble également nécessaire que ce dernier dispose d'informations de type métadonnées telles que la date de dernière modification et les noms des différents contributeurs. Enfin, le développement des fonctionnalités d'échange des données pourrait s'appuyer sur le fait que les élèves utilisent cette fonctionnalité lorsqu'ils utilisent les outils de *chat* tels que MSN.

Ces fonctions nous paraissent utiles aussi bien pour l'équipe pédagogique engagée dans un projet commun que pour le groupe d'élèves constitué par l'enseignant. Néanmoins, ce qui devrait distinguer ces deux types d'utilisateurs est le niveau des droits de modification sur les données produites. Il semble judicieux de considérer que les élèves disposent de droits réduits pour la modification des données produites par l'enseignants et que ces modifications soient reconnues comme résultant d'un travail des élèves. Notre proposition consiste donc dans l'implémentation de fonctionnalités permettant la réalisation de calques dont l'auteur serait clairement identifié.

8.6.2.4 Exploitation des traces

Pour le chercheur...

Nous avons tenté de montrer que le traçage de l'activité des élèves pouvait apporter des informations importantes dans le cadre d'un travail de recherche. Ce traçage permet en effet de se faire une idée de la manière dont l'application est prise en main et utilisée par les élèves et donc de fournir des informations sur la pertinence des choix qui ont présidé au développement de l'application. Ce traçage permet également de comparer l'activité effective des élèves avec les tâches prescrites, d'apprécier la réalité des *praxéologies* élaborées, et donc d'observer des stratégies mises en œuvre et de juger de l'opportunité des situations élaborées. Néanmoins, la conversion des traces brutes en traces exploitables et interprétables est, pour l'heure, un processus lourd qui pourrait être allégé si un outil spécifique de traitement était développé. Le traçage de l'activité en situation d'apprentissage instrumentée nous semble

offrir de réelles opportunités d'analyse au didacticien en complément d'autres méthodes d'analyse de ces situations.

Ce point nous semble ouvrir des perspectives de recherche qui nous ont conduit à participer au Programme Pluri-Formation (PPF) APPRENTICE « apprendre avec les TICE » dirigé par Alain Mille. Un axe de recherche de ce programme concerne en effet la question des traces d'usages comme conteneurs de connaissances ré-exploitable en situation d'apprentissage. En particulier, le projet ATER, auquel nous collaborons, vise mettre en place un atelier d'exploitation et de visualisation de traces.

Pour l'enseignant...

La possibilité d'offrir à l'enseignant l'opportunité d'analyser le processus suivi par les élèves, les stratégies qu'ils mettent en œuvre nous semblent également présenter un de l'intérêt au regard de la situation actuelle qui conduit à ce que l'enseignant n'accède généralement qu'à la production finale des élèves. Les erreurs et tâtonnements d'un binôme nous semblent receler des informations importantes pour l'enseignant et il nous paraît utile de lui permettre de visualiser les traces informatiques qui en témoignent. Les expérimentations qui ont été conduites ont ainsi mis en évidence l'importance que le traçage de l'activité de l'élève pourrait avoir pour aider l'enseignant à accompagner le travail des élèves et à évaluer leurs travaux. La conception actuelle de l'application ne permet pas à l'enseignant d'avoir une vue globale des réalisations d'un binôme et du processus qui a conduit à cette réalisation. Ce problème s'est posé de manière prégnante à deux moments : d'une part dans la classe, lorsque l'enseignant souhaitait se faire rapidement une idée de l'état d'avancement du travail des élèves d'un binôme pour identifier leurs difficultés et les aider à y remédier et, d'autre part, lors de la phase d'évaluation des productions finales puisque rien n'était prévu dans l'application pour l'aider dans ce travail. Pour consulter les productions d'un binôme, l'enseignant doit ouvrir successivement les données disponibles sur les différents arrêts.

Nos propositions dans ce domaine d'utilisation des traces sont de deux ordres. D'une part il s'agit de concevoir des outils qui permettent à l'enseignant d'afficher à l'écran une vue d'ensemble des productions d'un binôme afin qu'il puisse avoir un aperçu rapide de ces productions et qu'il puisse, dans un second temps, accéder aux détails des données produites dans le but de les évaluer. Il s'agit d'autre part de permettre à l'enseignant d'accéder à des informations sur la manière dont les élèves conduisent leur travail. Cela peut consister dans des informations de bas niveau qui témoignent de difficultés dans l'utilisation de l'application ou dans les stratégies mises en œuvre (non utilisation d'une fonctionnalité de l'application, non consultation d'une donnée...). Ces informations peuvent également porter sur des aspects plus riches du point de vue du travail conduit par les élèves tels que le lexique utilisé pour les

commentaires ou les documents consultés. Certaines de ces traces, utilisables par l'enseignant, pourraient également se révéler utiles pour que l'élève puisse avoir un point de vue réflexif sur le travail qu'il conduit.

Pour l'élève...

L'application Géonote produit des traces que l'utilisateur peut visualiser. Il s'agit en particulier de l'historique de la consultation des données qui lui permet de revenir rapidement à une information qui avait été consultée préalablement. L'affichage des traces réflexives permet donc à l'élève de retrouver des épisodes de son activité et de les rejouer. Il nous semble qu'il pourrait être intéressant d'étendre cette possibilité aux traitements que l'élève a pu être amené à effectuer lors de son travail sur les données – par exemple au travers des commentaires rédigés, des mesures effectuées – de manière à ce qu'il soit conduit à prendre conscience de relations et d'invariants. La possibilité de visualiser ces traces réflexives nous semble importante dans un contexte pédagogique dans la mesure où cela permet à l'élève une prise de recul par rapport à son activité. Des travaux récents (Ollagnier-Beldame, 2006) soulignent l'importance de cette dimension et l'opportunité offerte par les systèmes informatiques pour la métacognition.

Nos propositions pour l'écriture du cahier des charges d'une application destinée à l'enseignement des sciences de la Terre visent donc à dépasser la dimension qui consiste dans la simple consultation d'informations géographiques et géologiques. Il s'agit de permettre à l'élève d'accéder à des fonctions d'édition de manière à ce qu'il puisse se construire son propre point de vue sur un secteur étudié. Le choix des données, présentes dans l'application ou intégrées par l'élève, leur mise en relation, entre-elles et avec un modèle géologique, nous semblent être des activités qui, dans le cadre de la résolution d'un problème scientifique, procèdent d'une démarche de modélisation. En ce sens nos propositions visent à développer une démarche de modélisation, instrumentée par les technologies numériques, pour la conduite d'un travail d'investigation.

9 Conclusions et perspectives

Au terme de ce travail, il s'agit de faire le point sur ce que notre recherche établit en termes de connaissances sur la question de l'investigation scientifique dans le cadre de l'apprentissage des sciences de la Terre et sur la place que les technologies peuvent prendre dans ce type de démarche. Il s'agit également de pointer les outils de recherche qui ont été produits et qui pourraient s'avérer utiles pour des travaux ultérieurs. Il s'agit surtout de relever les interrogations qui subsistent et les questions que notre travail permet de formuler afin d'ouvrir de nouvelles pistes de recherche sur ces thèmes. Il s'agit enfin de dégager les éléments qui peuvent éclairer le travail des enseignants et de leurs formateurs qui souhaitent mettre l'accent dans leurs pratiques sur la conduite d'un travail d'investigation scientifique comprenant l'utilisation de ressources numériques.

9.1 Le modèle scientifique, un rôle clé pour la conduite d'un travail d'investigation de manière autonome

La question de l'investigation pour l'apprentissage des sciences de la Terre nous paraît être une question complexe dont nous avons tenté d'éclairer un des aspects. Notre recherche montre que cette démarche peut être décrite comme une succession de tâches qui permettent la confrontation d'un modèle scientifique explicite et d'un *registre empirique* dans le cadre de la résolution d'un problème scientifique. Au cours de la mise en œuvre d'une démarche d'investigation, un modèle peut jouer différents rôles et constituer un outil qui permettra de mener à bien ces différentes tâches. L'élève peut s'appuyer sur ce modèle pour établir des prévisions en termes d'observables de terrain et ainsi concevoir un protocole d'observation pertinent par rapport au problème à résoudre. Le modèle l'aide également à sélectionner, parmi la complexité du terrain, les données qui peuvent s'avérer utiles. C'est ainsi un outil qui l'aide à percevoir et visualiser des données de terrain. C'est aussi un outil qui lui permet de donner du sens aux observations effectuées et qui rend possible l'interprétation des données recueillies. C'est enfin un outil sur lequel il est possible de s'appuyer pour construire une argumentation scientifique. Il nous semble donc que les modèles scientifiques peuvent jouer, dans une situation d'enseignement, le rôle d'outils « pour penser » - rôle qu'ils jouent pour les chercheurs - malgré les objectifs et les contextes qui distinguent apprentissage et recherche.

Certaines des tâches qui caractérisent une démarche d'investigation nous paraissent être des moments clefs pour que, d'une part, l'élève soit en mesure de mener à bien son travail de manière autonome et, d'autre part, pour que ce travail fasse sens c'est-à-dire soit relié au problème en cours de résolution. En premier lieu, il s'agit de la phase de conception du protocole d'observation car elle justifie le travail de recueil de données et prépare l'élève à la conduite d'un tel travail de manière autonome. En second lieu, il s'agit de la phase de confrontation des données et du modèle parce que cette phase correspond à la mise en tension d'un *registre empirique* et d'un *registre théorique* par l'entremise du modèle, c'est-à-dire à la mise en relation d'observations empiriques et d'assertions théoriques. Cette mise en tension nous semble au cœur du processus d'apprentissage des sciences de la Terre.

Plus largement, il nous semble que l'approche que nous avons retenue permet d'établir un pont entre ce que les auteurs anglo-saxons qualifient de *Inquiry-Based-Learning* d'une part et *Model-Based-Reasoning* d'autre part. Autrement dit, une démarche d'investigation devrait nécessairement s'appuyer sur la confrontation d'un modèle explicite et d'un réel de terrain ou de laboratoire. Ces considérations nous amènent à considérer que l'explicitation du modèle scientifique en jeu au cours d'un apprentissage, par l'enseignant, est un point clé pour que les élèves soient en mesure de conduire une démarche d'investigation de manière autonome.

Une des limites de ce point de vue réside dans le fait que tous les modèles géologiques ne peuvent pas être indistinctement proposés aux élèves. Il est nécessaire de tenir compte du niveau de classe et il peut être pertinent de démarrer un travail avec un modèle élémentaire. Ce peut être un modèle que les élèves maîtrisent qui aura émergé à la suite d'un travail de recueil de leurs conceptions. Il s'agira ensuite de faire évoluer ce modèle en fonction des investigations conduites. Dans ce cas, le travail des élèves devrait comporter un travail d'identification des *nécessités* du modèle (C. Orange, 1997), c'est à dire les contraintes qu'il doit remplir pour décrire les données recueillies. Une seconde limite concerne le *scénario d'apprentissage* (p. 60) que nous avons élaboré. Ce scénario consistait dans la mise à l'épreuve d'un modèle scientifique lors d'une *classe de terrain*. D'autres scénarios sont envisageables. C'est ainsi que nous avons expérimenté, dans le cadre de nos travaux à l'INRP, une situation au cours de laquelle les élèves étaient amenés à choisir, parmi trois modèles de frontière de plaque, celui qui permettait de décrire la formation du lac Baïkal (classe de quatrième). Une autre situation expérimentée consistait à demander à des élèves de terminale de confronter deux modèles pour expliquer la crise Crétacé-paléocène (classe de terminale).

Une autre limite consiste dans la faible part de notre travail consacrée à la question du domaine de validité du umodèle. Nos travaux apportent peu d'éléments permettant de

comprendre comment les élèves gèrent cette dimension du modèle au cours d'un travail d'investigation alors que ce point nous semble important.

Notre travail a permis également de montrer que les élèves sont confrontés à un certain nombre de difficultés pour se construire un *registre empirique* lors de la conduite d'une démarche d'investigation. Ces difficultés avaient déjà été soulignées par de précédents travaux. Elles concernent en particulier des aspects qui ont trait aux rapports que la discipline entretient avec le temps. La mise en œuvre d'un raisonnement diachronique ou de l'actualisme, la mise en histoire des objets géologiques et l'appréhension du dynamisme des phénomènes peuvent poser des problèmes importants aux élèves. Elles concernent également les relations que la discipline entretient avec l'espace. La localisation dans l'espace et la perception tridimensionnelle des objets géologiques sont des exemples relevés au cours de nos expérimentations.

Les aspects de notre travail qui consistent dans la description de ce qu'est une démarche d'investigation et du rôle du modèle dans la conduite d'une telle démarche mériteraient d'être éprouvés pour d'autres contextes – le travail de laboratoire par exemple – ou d'autres disciplines scientifiques. Néanmoins, de notre point de vue, des pistes de recherche qui mériteraient d'être explorées sont ouvertes. La première concerne l'impact du travail d'investigation conduit par les élèves sur le statut qu'ils accordent au modèle. Autrement dit, le travail d'investigation qui a été conduit leur permet-il d'échapper au piège du dogmatisme qui les amènerait à considérer que le modèle utilisé constitue LA réponse au problème posé ? Sont-ils au contraire en mesure d'en apprécier les limites et de faire évoluer cet outil pour conduire d'autres investigations ? Plus largement, il nous semblerait intéressant d'évaluer l'impact de la conduite de ce type de démarche sur la manière dont les élèves considèrent les sciences.

Un travail important reste également à effectuer pour préciser les variables didactiques pertinentes à prendre en compte pour que les élèves soient en mesure de s'engager de manière autonome dans certaines phases d'une démarche d'investigation. La phase de conception de protocole, qu'il s'agisse de protocole d'observation ou de protocole d'expérimentation, nous semble particulièrement intéressante à étudier. Nous l'avons évoqué plus haut, c'est une étape que nous considérons comme une étape clef dans la mesure où elle prépare à l'observation et consiste d'une certaine manière à chausser les *lunettes conceptuelles* qui seront utilisées dans la suite de l'investigation. C'est une phase qui à notre connaissance a peu été examinée par la recherche c'est pourquoi nous-nous sommes d'ores et déjà engagé dans de tels travaux (D'Ham, Ergun, Giraut, Marzin, & Sanchez, 2005 ; Marzin, Girault, Wajeman, d'Ham, & Sanchez, 2007 ; Marzin, d'Ham, & Sanchez, 2007).

9.2 Les outils TIC, des rôles clés dans l'instrumentation d'une démarche d'investigation

L'aspect instrumental de notre approche nous a permis d'éclairer la place des technologies dans la conduite d'une démarche d'investigation menée par des élèves.

En premier lieu, ce travail nous aura conduit à réaliser un EIAH dont les fonctionnalités qui ont été implémentées résultent d'une analyse *a priori* fondée sur notre cadre théorique épistémologique et didactique. L'application Géonote nous a ainsi permis d'instrumenter le travail d'investigation conduit par les élèves au cours de nos expérimentations. Les résultats de ces expérimentations montrent que l'application résulte d'une double boucle de conception. Une boucle longue correspond au processus de conception qui conduit à réviser le cahier des charges de l'application en fonction des observations effectuées lors des expérimentations en classe ou des remarques des utilisateurs, élèves ou enseignants. Une seconde boucle correspond à un phénomène de *genèse instrumentale*. C'est-à-dire à un double mouvement qui correspond à la prise en main de l'application par les élèves pour effectuer leur travail, son *instrumentalisation*, et, en retour, à l'influence de l'application sur l'activité de l'élève et sur son fonctionnement cognitif, c'est-à-dire le phénomène *d'instrumentation*. Ainsi, la phase de conception de l'application ne se limite pas au travail des concepteurs *sensu stricto* mais se poursuit dans l'usage qu'en font les enseignants qui élaborent les *scénarios d'apprentissage* dans lesquels elle est utilisée et l'usage qu'en font les élèves pour réaliser les tâches qui leurs sont prescrites.

L'intérêt de l'application Géonote, tel qu'il a été mis en évidence par les résultats obtenus, ne réside donc pas dans le fait que les technologies facilitent le travail effectué – ce qui pourrait s'avérer contre productif dans un contexte d'apprentissage – mais dans le fait qu'elle permet de médiatiser les interactions. Il s'agit d'interactions entre l'élève et le terrain qu'il étudie dans le cadre de la constitution d'un *registre empirique*. L'application permet de construire des activités au cours desquelles l'élève est amené à effectuer des transformations sur les objets qu'il étudie. Certains résultats de notre recherche tendent ainsi à montrer que les technologies peuvent aider les élèves à surmonter des difficultés à se construire un *registre empirique* dans la mesure où elles constituent des *instruments* de médiation entre l'élève et le réel qu'il étudie.

Elle permet également d'instrumenter le travail de confrontation du *registre empirique* et du modèle scientifique. Il s'agit également d'interactions sociales – entre élèves d'un binôme ou avec leur professeur – qui se traduisent par des moments d'explicitation ou de re-formulation des concepts en jeu dans l'apprentissage.

Les technologies que nous avons utilisées – c'est-à-dire l'application Géonote mais également les GPS ou les appareils photographiques numériques emportés sur le terrain – constituent alors un *système d'instruments* que l'élève élabore et adapte à ses projets. L'élève peut alors s'engager dans un travail autonome. C'est ainsi que l'application participe à la reconfiguration de l'ensemble du dispositif d'apprentissage en exerçant des contraintes fortes sur l'activité des élèves. L'influence de l'application Géonote se poursuit sur le terrain - alors même que l'application n'est pas disponible hors la classe - dans la mesure où le travail de terrain qui est conduit est largement déterminé par l'objectif de réalisation final qui consiste dans l'intégration des données recueillies dans le logiciel.

Notre travail nous a également permis, dans le cadre d'une étude de cas, de discuter de la place de la géomatique dans l'enseignement des sciences de la Terre. Cela nous a amené à formuler un certain nombre de propositions pour l'écriture du cahier des charges d'un Système d'Information Géographique pour l'éducation (SIGé). Le travail initié avec Géonote pourrait ainsi être poursuivi en examinant des situations dans lesquelles des élèves seraient engagés dans un travail d'investigation comprenant l'utilisation d'un SIGé. En effet, selon nous, l'intérêt de ce type d'outils réside dans le fait qu'il permet de construire des situations de classe comprenant des activités de modélisation. Les modèles élaborés avec de tels outils résultent de l'agrégation d'informations de différentes natures qui peuvent être issues de requêtes effectuées sur des bases de données, de traitements numériques ou de recueil sur le terrain. Ces modèles peuvent être enrichis ou révisés en fonction des objectifs visés. Il nous paraît intéressant d'examiner en quoi ces outils permettent de renouveler les rapports à l'information géologique et de déterminer la palette des activités de modélisation qu'ils rendent possibles dans le cadre de la conduite d'une démarche d'investigation.

Plus généralement, ceci pose la question des ressources numériques pour instrumenter un travail d'investigation. L'évolution des environnements informatiques, leur disponibilité pour le grand public permet d'envisager, dans un cadre scolaire, des modalités d'investigation – recueil et traitement de l'information, modélisation, simulation – qui jusqu'alors étaient réservées à des activités effectuées dans un cadre professionnel. Leur intégration dans la classe pose un grand nombre de questions. Ces questions relèvent par exemple de la nature des situations à construire avec ces outils et de leur intérêt pour l'apprentissage. Elles relèvent également des aides à apporter aux enseignants, en particulier en termes de formation et de ressources pour construire son enseignement.

Nous avons commencé à examiner ces différents aspects au travers d'une étude exploratoire que nous avons conduite auprès des enseignants (Sanchez, Genevois et *al.*, 2007) et des expérimentations conduites sur la question de la modélisation pour l'enseignement du cycle

du carbone et du réchauffement climatique (Barrère, Prieur, & Sanchez, 2007). Ces travaux se poursuivent dans le cadre du projet COnception de Ressources pour l'Investigation Scientifique dans l'Enseignement (CORISE) dans un cadre institutionnel que nous avons jugé favorable (la mise en place, à titre expérimental, d'un enseignement de Pratique Scientifique en classe de Seconde – P2S) et permettant un travail pluridisciplinaire. Le projet CORISE est porté par l'Equipe EducTice dirigée par Luc Trouche.

9.3 Des outils pour la recherche

D'un point de vue méthodologique, l'apport principal de notre contribution pour la didactique des sciences de la Terre nous semble résider dans le croisement des approches et des cadres théoriques. Le croisement des approches - didactique et instrumentale – nous permet d'analyser l'influence des *instruments* sur le processus d'apprentissage. Des cadres théoriques issus de la didactique des mathématiques tels que la théorie des situations de Brousseau ou la praxéologie de Chevallard nous semblent pertinents pour l'analyse de situations qui concernent l'enseignement des sciences de la Terre. Des travaux ultérieurs restent nécessaires pour confirmer ce point de vue.

Les outils que nous avons élaborés consistent d'une part dans une typologie des tâches caractérisant une démarche d'investigation et, d'autre part, dans un outil de traçage informatique de l'activité des élèves. Notre typologie des tâches constitue une grille d'analyse des situations d'investigation. Cette grille permet de distinguer les tâches centrées sur le modèle ou le *registre empirique* des tâches qui consistent dans la mise en relation de ces deux registres. La pertinence de cette grille reste à évaluer pour la conduite d'un travail d'investigation dans d'autres contextes. L'intérêt du dispositif de traçage informatique de l'activité des élèves nous semble résider dans le fait qu'il permet de croiser une description fine de l'usage de l'application avec leurs verbalisations et donc d'analyser l'influence de l'artefact sur l'apprentissage. De notre point de vue, cette méthode de recueil de données ouvre un champ de recherche intéressant pour la didactique mais sa diffusion implique que soient développés des outils d'analyse puissants permettant une meilleure intégration des différents types de données et permettant d'effectuer des traitements statistiques et des requêtes automatisés.

9.4 Perspectives pour l'enseignement et la formation

Au terme de ce travail nous souhaiterions que les résultats qu'il a permis d'obtenir puissent avoir un impact sur l'enseignement des sciences de la Terre et sur la formation des enseignants de cette discipline. Le scénario que nous avons construit pour nos

expérimentations possède une certaine valeur générique dans la mesure où il nous semble transférable pour la mise en œuvre d'écoles de terrain pour d'autres contextes, d'autres sites que celui que nous avons retenu. Par ailleurs il est possible d'intégrer à l'application qui a été réalisée les données correspondantes. Le scénario que nous décrivons nous semble donc posséder une certaine souplesse qui permet d'envisager que d'autres enseignants que ceux qui ont participé à nos expérimentations le mettent en œuvre dans leurs classes. C'est dès aujourd'hui le cas pour des enseignants de l'académie de Lyon mais notre expérience nous a montré que la prise en compte des résultats de notre recherche dans l'élaboration de *scénarios d'apprentissage* par des enseignants passe par la mise en place de formations de formateur qui s'appuient sur ces résultats.

Nous espérons plus généralement que notre travail pourra nourrir une réflexion sur le renouvellement des pratiques de classe en particulier en ce qui concerne la place de la classe de terrain dans l'enseignement des sciences de la Terre. Il nous semble que notre travail ouvre un certain nombre de pistes pour concevoir des classes de terrain qui se traduisent par la conduite d'un travail d'investigation dans le cadre de la résolution de problèmes géologiques. Nous souhaitons également que ce travail soit une contribution à la réflexion qui doit être approfondie sur la place des Technologies de l'Information et de la Communication pour l'enseignement des sciences de la Terre et plus précisément sur l'intérêt des outils géomatiques pour la discipline. En particulier, il nous semble important de développer l'usage de ces technologies pour permettre aux enseignants de construire un enseignement qui laisse une part plus importante à l'initiative et à l'autonomie des élèves. Il s'agit également que les élèves perçoivent le sens des activités que leurs enseignants conçoivent. Cet aspect nous semble être une des clefs de la valorisation de l'enseignement des sciences de la Terre et de l'augmentation de l'intérêt des élèves pour la discipline.

Bibliographie

- Allain, J.-C. (1995). Séismes, éruptions volcaniques et intérieur de la Terre : conceptions d'élèves de huit à dix ans. *Aster* (21), 43-60.
- Allègre, C. (1987). *Les fureurs de la Terre*. Paris : Fayard.
- Allègre, C. (2002). L'âge d'or des géosciences. *Pour la Science*, 300, 70-75.
- Antoine, P. (2001). Sciences de la Terre, les talibans sont là. *Géologues* (129).
- Artigue, M. (1988). Ingénierie didactique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 9 (3), 281-308.
- Artigue, M. (1991). Épistémologie et didactique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 10 (2-3), 241-285.
- Astolfi, J.-P. (1993). Trois paradigmes pour les recherches en didactique. *Revue française de pédagogie* (103), 5-18.
- Astolfi, J.-P., & Develay, M. (1989). *La didactique des Sciences*. Paris : PUF.
- Ault, C. R. (1998). Criteria of excellence for geological inquiry : the necessity of Ambiguity. *Journal of research in science teaching*, 35 (2), 189-212.
- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique* (1992 ed.). Paris : Vrin.
- Bachelard, S. (1979). Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles. In P. Delattre & M. Thellier (Eds.), *Elaboration et justification des modèles*. Paris : Maloine.
- Bakas, C., & Mikropoulos, T. (2003, 27-29 september 1996). *Hypotheses and geomorphological reasoning*. *The Scientific Nature of Geomorphology*. Papier présenté à la conférence 27th Symposium in Geomorphology, Birmingham.
- Balacheff, N., Baron, M., Desmoulins, C., Grandbastien, M., & Vivet, M. (1997). *Conception d'environnements interactifs d'apprentissage avec ordinateur, tendances et*

- perspectives*. Papier présenté à la conférence 6èmes journées nationales du PRC-GDR Intelligence Artificielle, pp. 315-337.
- Baron, G.-L., & Bruillard, E. (2007). Quelques réflexions autour des phénomènes de scolarisation des technologies. In L.-O. Pochon & A. Maréchal (Eds.), *Entre technique et pédagogie. La création de contenus multimédia pour l'enseignement et la formation* (pp. 154-161). Neuchâtel : IRDP.
- Barrère, J., Prieur, M., & Sanchez, E. (2007, 24-28 avril 2007). *Démarches et outils pour traiter une question d'actualité scientifique au lycée : le réchauffement climatique*. Papier présenté à la conférence XXVIIIème JIES, Chamonix (à paraître).
- Becu-Robinault, K. (2002). Modelling activities of students during a traditional labwork. In D. Psillos & H. Niedderer (Eds.), *Teaching and learning in the science laboratory*. Dordrecht, Holland : Kluwer Academic Publishers.
- Bezzi, A. (1999). What is thing called geoscience? Epistemological dimension elicited with the repertory grid and their implications for scientific literacy. *Science Education*, 83 (6), 675-700.
- Boorstin, D. (1983). *Les découvreurs*. Paris : Robert Laffont.
- Bouleau, N. (1999a). La modélisation et les sciences de l'ingénieur. In P. Nouvel (Ed.), *Enquête sur le concept de modèle*. Paris : PUF.
- Bouleau, N. (1999b). *Philosophies des mathématiques et de la modélisation. Du chercheur à l'ingénieur*. Paris : L'Harmattan.
- Brahic, A., Daniel, J.-Y., Hoffert, M., Tardy, M., & A, S. (1999). *Sciences de la Terre et de l'Univers* : Vuibert.
- Brossard, M. (2004). *Vygotski, lectures et perspectives de recherches en éducation*. Villeneuve d'Ascq : Septentrion.
- Brousseau, G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. In J. Brun (Ed.), *Recherches en didactique des mathématiques* (Vol. 7). Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble : La Pensée Sauvage.

- Bruillard, E. (1997). *Les machines à enseigner*. Paris : Hermes.
- Buisson, F. (1887). *Dictionnaire de pédagogie* (1911), [Edition électronique]. INRP. Consultable sur : <http://www.inrp.fr/edition-electronique/lodel/dictionnaire-ferdinand-buisson> [2007, mai 2007].
- Bukley, B.-C. (2000). Interactive and model-based learning in biology. *International Journal of Science Education* (22), 895-935.
- Bukley, B. C., & Boulter, C. J. (2000). Investigating the role of representation and expressed models in building mental models. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education*. Dordrecht, Holland : Kluwer Academic Publishers.
- Bulletin Officiel de l'Education Nationale. (1997). hors-série n°1 du 13 février 1997.
- Bulletin Officiel de l'Education Nationale. (2000). n°23 du 15 juin 2000.
- Bulletin Officiel de l'Education Nationale. (2001). hors-série n°5 du 30 août 2001.
- Bulletin Officiel de l'Education Nationale. (2002a). hors-série du 12 février 2002.
- Bulletin Officiel de l'Education Nationale. (2002b). hors-série n°6 du 29 août 2002.
- Bulletin Officiel de l'Education Nationale. (2004). hors-série n°5 du 9 septembre 2004.
- Bunge, M. (1975). *Philosophie de la physique*. Paris : Editions du Seuil.
- Buty, C. (2000). *Etude d'un apprentissage dans une séquence d'enseignement en optique géométrique à l'aide d'une modélisation informatique*. Thèse de doctorat, Université Lyon 2, Lyon.
- Buty, C., Tiberghien, A., & Le Maréchal, J.-F. (2004). Learning hypotheses and an associated tool to design and to analyse teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education* (26), 579-604.
- Canguilhem, G. (1968). Modèles et analogie dans la découverte en géologie. In G. Canguilhem (Ed.), *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences* (1994 ed.). Paris : Vrin.
- Chalot-Prat, F. (2005). An undeformed ophiolite in the Alps : field and geochemical evidences for a link between volcanism and shallow plate tectonic processes. In G. R.

- Foulger & D. L. Anderson & J. H. Natland & D. C. Presnall (Eds.), *Plates, Plumes & Paradigms*. Boulder, USA : Geological Society of America.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique*. Grenoble : La Pensée sauvage.
- Chevallard, Y. (1997). Les savoirs enseignés et leurs formes scolaires de transmission : un point de vue didactique. *Skholê* (7), 45-64.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education* (22), 1041 -1053.
- CNDP. (2002). *Sciences de la vie et de la Terre, classe de première scientifique*. 2002. Consultable sur : <http://www.cndp.fr> [2004, octobre].
- Cohen, I. B. (1985). *Revolution in Science*. Cambridge : Harvard University Press.
- Committee on High School Science Laboratories. (2006). *America's lab report : investigations in high school science*. Washington (D.C.) : National Academies Press.
- De Jong, T., & Van Joolingen, W. R. (1997). *Scientific Discovery Learning with Computer Simulations of Conceptual Domains*. The Netherland : University of Twente.
- De Riquès, A. (2002). Un darwinien pas très orthodoxe. *La Recherche* (356), 25-32.
- De Rosnay, J. (1975). *Le microscope, vers une vision globale*. Paris : Seuil.
- Demounem, R., & Astolfi, J.-P. (1996). *Didactique des sciences de la vie et de la Terre*. Paris : Nathan.
- Dercourt, J., & Paquet, J. (2002). *Géologie, objets et méthodes* (11 ed.). Paris : Dunod.
- Dercourt, J., Paquet, J., Thomas, J., & Langlois, C. (2006). *Géologie : objets, méthodes et modèles* (12 ed.). Paris : Dunod.
- D'Ham, C., Ergun, M., Giraut, I., Marzin, P., & Sanchez, E. (2005, 12-15 octobre 2005). *Conception d'un protocole expérimental avec un logiciel dédié : apprentissages réalisés et difficultés rencontrées par des élèves de terminale S*. Papier présenté à la conférence IVèmes rencontres de l'ARDIST, Lyon.
- Dodick, J., & Orion, N. (2003a). Cognitive factor affecting student understanding of geologic time. *Journal of research in science teaching* (40), 415-442.

- Dodick, J., & Orion, N. (2003b). Geology as an historical science : Its perception within science and the education system. *Science & Education* (40), 415-442.
- Dolle, J.-M. (1999). *Pour comprendre Jean Piaget* (3ème édition ed.). Paris : Dunod.
- Ellenberger, F. (1988). *Histoire de la géologie* (Vol. 1) : Tec et Doc.
- Ellenberger, F. (1994). *Histoire de la géologie* (Vol. 2) : Tec et Doc.
- Ellenberger, F. (1996). Histoire des sciences de la Terre. In Paris (Ed.) : Encyclopedia Universalis.
- Frankel, H. (1981). *The Non-Kuhnian Nature of the Recent Revolution in the Earth Sciences*. Papier présenté à la conférence PSA 1978, pp. 197-214.
- Frodeman, R. (1995). Geological reasoning : geology as an interpretative and historical science. *Geological Society of America Bulletin* (107), 960-968.
- Gilbert, K. J., & Boutler, J. C. (2000). *Developping Model in Science Education*. Dordrecht, Holland : Kluwer Academic Publisher.
- Giordan, A., Girault, Y., & Clément, P. (1994). *Conceptions et connaissances*. Berne : Peter Lang.
- Gobert, J. D. (2000). A typology of causal models for plate tectonics : inferential power and barriers to understanding. *International Journal of Science Education*, 22 (9), 937-977.
- Gobert, J. D., Slotta, J., Pallant, A., Nagy, S., & Targum, E. (2002, April 1-5). *A WISE Inquiry Project for Students' East-West Coast Collaboration*. Papier présenté à la conférence Annual Meeting of the American Educational Research Association, New Orleans.
- Goguel, J. (1996). La géologie contemporaine, *Encyclopedia Universalis*.
- Gohau, G. (1987). *Histoire de la géologie*. Paris : La Découverte.
- Gohau, G. (1989). Neptune ou Pluton : L'histoire de la Terre ou la Naissance de la géologie. *Science & Vie* (Hors série n°166).
- Gohau, G. (1995). Traquer les obstacles épistémologiques à travers les lapsus d'élèves et d'écrivain. *Aster* (20), 21-41.

- Gohau, G. (1997). Naissance de la méthode "actualiste" en géologie. In G. Gohau (Ed.), *De la géologie à son histoire* (pp. 139-149). Paris : CTHS.
- Gohau, G. (2003). *Naissance de la géologie historique*. Paris : Vuibert.
- Gould, S. J. (1988). *La vie est belle - les surprises de l'évolution*. Paris : Le Seuil.
- Gould, S. J. (1990). *Aux racines du temps*. Paris : Grasset et Fasquelle.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. (1991). Understanding models and their use in science : conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of research in science teaching* (28), 799-822.
- Guichard, J. (1994). Réactions à propos de la modélisation. In J.-L. Martinand (Ed.), *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- Guin, D., & Trouche, L. (Eds.). (2002). *Calculatrices symboliques : transformer un outil en un instrument du travail mathématique, un problème didactique*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Halloun, I. A. (2004). *Modeling theory in science education*. Dordrecht, Holland : Kluwer Academic Publishers.
- Harrison, A. G. (2001, 2-6 December 2001). *Thinking and Working Scientifically : The role of Analogical and Mental Models*. Papier présenté à la conférence annual meeting of the Australian Association for Research in Education, Fremantle.
- Houdé, O. (2003). *Vocabulaire de sciences cognitives : Neurosciences, psychologie, intelligence artificielle, linguistique et philosophie* (1 ed.). Paris : PUF.
- Johsua, S., & Dupin, J.-J. (1989). *Représentations et modélisations : le débat scientifique dans la classe*. Berne : Peter Lang.
- Johsua, S., & Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : PUF.
- Kant, E. (1781). *Critique de la raison pure* (2001 ed.). Paris : Aubier.

- Kent, M., Gilbertson, D., & Hunt, C. (1997). Fieldwork in Geography Teaching : a critical review of the literature and approaches. *Journal of Geography in Higher Education*, 21 (3), 313-332.
- Kuhn, T. S. (1962). *La structure des révolutions scientifiques* : Flammarion.
- Lacoste, C. (2001). *Influence des travaux de terrain sur les apprentissages en géologie*. Université de Limoges, Limoges.
- Larcher, C. (1994). Etude comparative de démarches de modélisation. Quelles sont les caractéristiques des démarches de modélisation. In J.-L. Martinand (Ed.), *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- Larcher, C. (1996). La physique et la chimie, sciences de modèles. In J. Toussaint (Ed.), *Didactique appliquée de la physique-chimie* (pp. 160-178). Paris : Nathan.
- Laudan, R. (2002). Tension in the concept of geology : natural history or natural philosophy. *History of Geology* (1), 7-13.
- Laurent, G. (1989). La recherche du temps perdu. *Science & Vie* (Hors série 166).
- Lefèvre, O., & Sanchez, E. (2006). *Géonote : un environnement informatique d'aide au travail sur le terrain pour l'enseignement des sciences de la Terre*. Papier présenté à la conférence Biennale de l'éducation, Lyon.
- Levi Strauss, C. (1962). *La pensée sauvage*. Paris : Plon.
- Lhoste, Y. (2006). La construction du concept de circulation sanguine dans un débat scientifique en classe de 3ème : problématisation, argumentation et conceptualisation. *Aster* (42), 79-108.
- Martinand, J.-L. (1982). *Contribution à la caractérisation de l'initiation aux sciences et techniques*. Thèse d'Etat, Université de Paris XI, Paris.
- Martinand, J.-L. (1992). Présentation. In J.-L. Martinand (Ed.), *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences* (pp. 7-22). Paris : INRP.

- Martinand, J.-L. (1994). Quels enseignements peut-on tirer des travaux dans la perspective du développement de curriculum ?, *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences* (pp. 127-133). Paris : INRP.
- Marvin, U. B. (1973). *Continental Drift : The Evolution of a Concept*. Washington : Smithsonian Institution Press.
- Marx. (1867). *Le Capital* (1976 ed.). Paris : Editions sociales.
- Marzin, P., d'Ham, C., & Sanchez, E. (2007, 21-25 août 2007). *How to scaffold the students to design experimental procedures? A proposition of a situation experienced by 108 high-schools students*. Papier présenté à la conférence ESERA Congress, Malmö, Sweden.
- Marzin, P., Girault, I., Wajeman, C., d'Ham, C., & Sanchez, E. (2007, 17-19 octobre 2007). *L'utilisation d'un arbre des tâches pour concevoir et analyser des situations d'apprentissage en travaux pratiques, intégrant la conception de protocole expérimental par les élèves : trois T.P. expérimentés en géologie, chimie et physique*. Papier présenté à la conférence Vèmes rencontres de l'ARDIST, La Grande-Motte.
- Monchamp, A., & Sauvageot-Skibine, M. (1995). Du fixisme à la tectonique des plaques. Et pourtant elles bougent.... *Aster* (20), 3-20.
- Montangero, J. (1996). *Understanding changes in time*. London : Taylor and Francis.
- Morin, E. (2000). *Les sept savoirs nécessaires à l'éducation du futur*. Paris : Seuil.
- Nersessian, N. J. (1999). Model-based reasoning in conceptual change. In L. Magnani & N. J. Nersessian & P. Thagard (Eds.), *Model-based reasoning in scientific discovery*. New York : Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- OCDE. (2005). *La définition et la sélection des compétences clés - DeSeCo*. OCDE.
- OCDE. (2006). *Evolution of student interest in science and technology studies*. OCDE.
- Ohlsson, S. (1996). Learning to do and learning to understand : A lesson and a challenge for cognitive modeling. In Reimann & Spada (Eds.), *Learning in Humans and Machines : Towards an Interdisciplinary Learning Science* (pp. 37-62). Oxford : Pergamon.

- Ollagnier-Beldame, M. (2006). *Traces d'interactions et processus cognitifs en activité conjointe : Le cas d'une co-rédaction médiée par un artefact numérique*. Thèse de doctorat, Lyon 2, Lyon.
- Olson, S., & Loucks-Horsley, S. (Eds.). (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards : A Guide for Teaching and Learning*. Washington, DC : National Academy Press.
- Orange, C. (1995). *Intérêt de la modélisation pour la définition de savoir opérants en biologie*. Papier présenté à la conférence Séminaire de didactique des disciplines technologiques, Cachan.
- Orange, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie, quels apprentissages pour le lycée ?* Paris : PUF.
- Orange, C. (2000). *Idées et raisons : constructions de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en SVT*. Mémoire de recherche pour l'HDR, Université de Nantes, Nantes.
- Orange, C., Beorchia, F., Ducroq, P., & Orange, D. (1999). " Réel de terrain ", " Réel de laboratoire " et construction de problèmes en sciences de la vie et de la Terre. *Aster* (28), 107-129.
- Orange, C., & Orange, D. (1995). Géologie et Biologie : analyse des liens épistémologiques et didactiques. *Aster* (21), 37-43.
- Orange, D. (2003a). *L'utilisation de l'actualisme par les lycéens* (rapport de recherche). Nantes : IUFM des pays de la Loire CREN.
- Orange, D. (2003b). *Utilisation du temps et explications en sciences de la Terre par les élèves de lycée : étude dans quelques problèmes géologiques*. Thèse de doctorat, Université de Nantes, Nantes.
- Pacault, A. (1987). *De la modélisation*. Papier présenté à la conférence Modèles et simulation, Neuvièmes journées sur l'éducation scientifique, Chamonix.
- Pargman, T. C. (2005). Cas de l'écriture de groupes avec collecticiel. In P. Rabardel & P. Pastré (Eds.), *Modèles du sujet pour la conception. Dialectique activités développement*. Toulouse : Octarès.

- Pastré, P. (1999). La conceptualisation dans l'action : bilan et nouvelles perspectives. *Éducation Permanente* (139), 13-35.
- Pastré, P., Mayen, P., & Vergnaud, G. (2006). La didactique professionnelle. *Revue Française de Pédagogie* (154), 145-198.
- Pernin, J.-P. (2007). Mieux articuler activités pour l'apprentissage, artefacts logiciels et connaissances : vers un modèle d'ingénierie centré sur les scénarios. In M. Baron & D. Guin & L. Trouche (Eds.), *Environnements informatisés et ressources numériques pour l'apprentissage, conception et usages, regards croisés* (pp. 161-194). Paris : Lavoisier.
- Piaget, J. (1963). *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- Piaget, J. (1967). *Logique et connaissance scientifique*. Paris : ESF.
- Piaget, J. (1977). *L'abstraction des relations logico-arithmétiques* (Vol. 1). Paris : PUF.
- Piaget, J., & Garcia, R. (1983). *Psychogenèse et histoire des sciences*. Paris : Flammarion.
- Pitburn, M., Reynolds, S., Leedy, D., McAuliffe, C., Birk, J., & Johnson, J. (2002). *The hidden Earth : visualisation of geologic features and their subsurface geometry*. Association for Research in Science Teaching. Consultable sur.
- Postel-Vinay, O. (2006). Pourquoi les vieilles sciences n'ont plus la cote. *La Recherche* (394), 56-59.
- Quignard, M., & Baker, M. (2007). Approfondir une question dans un débat médiatisé par ordinateurs : complexité d'une situation d'apprentissage collaboratif. In M. Baron & D. Guin & L. Trouche (Eds.), *Environnements informatisés et ressources numériques pour l'apprentissage. conception et usages, regards croisés* (pp. 89-103). Paris : Lavoisier.
- Raab, T., & Frodeman, R. (2002). What's it like to be a geologist? Phenomenology of geology and its practical implications. *Philosophy an Geography*, 5 (1), 69-81.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies. Approche cognitive des instruments contemporains*. Paris : A. Colin.

- Rabardel, P., & Pastré, P. (Eds.). (2005). *Modèles du sujet pour la conception. Dialectique activités développement*. Paris : Octarès.
- Robin, A. (1913). *La Terre, ses aspects, sa structure, son évolution*. Paris : Librairie Larousse.
- Rocard, M. (2007). *République 2.0, vers une société de la connaissance ouverte. Rapport remis à Ségolène Royal*.
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H., & Hemmo, V. (2007). *Science Education Now : A Renewed Pedagogy for the Future of Europe* : European Commission.
- Rogalski, J. (2004). La didactique professionnelle : une alternative aux approches de " cognition située " et "cognitiviste " en psychologie des acquisitions. *@ctivités, 1* (2), 103-120.
- Roubaud, J.-L. (2003). *La représentation de la structure de la Terre par des élèves de l'école élémentaire : obstacles et perspectives*. Papier présenté à la conférence Colloque Quartz sur l'enseignement des sciences de la Terre, Nice.
- Rudwick, M. J. S. (2005). *Bursting the Limits of Time The Reconstruction of Geohistory in the Age of Revolution*. Chicago : University of Chicago Press.
- Ryder, J., & Leach, J. (2000). Interpreting experimental data : the views of upper secondary school and university science students. *International Journal of Science Education, 22* (10), 1069-1084.
- Sanchez, E. (2003). *Chronocoupe : un logiciel pour l'apprentissage du raisonnement diachronique en sciences de la Terre*. Papier présenté à la conférence XXVèmes JIES, Chamonix.
- Sanchez, E., Genevois, S., & Fontanieu, V. Les pratiques géomatiques en collège-lycée. D'après les résultats d'une enquête nationale sur les usages des outils géomatiques dans l'enseignement de l'Histoire-Géographie et des sciences de la vie et de la Terre. *Géomatique Expert, 28*, 49-55.
- Sanchez, E., & Prieur, M. (2007, 21-25 août 2007). *Models and Modelling during Geoscience Courses : Geoscience Teachers Practices in France*. ESERA. Papier présenté à la conférence ESERA Congress, Malmö, Sweden.

- Sanchez, E., Prieur, M., & Devallois, D. (2004). *L'enseignement de la géologie en classe de seconde : quels obstacles, quelles pratiques*. Papier présenté à la conférence XXVèmes JIES, Chamonix.
- Sanchez, E., Prieur, M., & Fontanieu, V. (2005). *L'enseignement des sciences de la Terre : Que font les élèves sur le terrain ?* Papier présenté à la conférence XXVIèmes JIES, Chamonix.
- Sanchez, E., Prieur, M., & Fontanieu, V. (2007). *Modèles et modélisation dans l'enseignement des sciences de la Terre au lycée : Points de vue et pratiques d'enseignants*. Papier présenté à la conférence Vèmes rencontres de l'ARDIST, La Grande-Motte, pp. 345-351.
- Savaton, P. (1995). La carte géologique : représentations d'élèves de classe de première scientifique. *Aster* (20), 139-164.
- Savaton, P. (1998). *L'enseignement de la carte géologique dans le secondaire : Bilan historique et didactique ; réflexion et propositions d'apprentissage nouveau*. Thèse de doctorat, Paris 7, Paris.
- Stengers, I. (1993). *L'invention des sciences modernes*. Paris : La Découverte.
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and instructions*, 4, 71-87.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education* (24), 357-368.
- Trend, R. (2000). Conceptions of geological time among primary teacher trainees, with reference to their engagement with geoscience, history, and science. *International Journal of Science Education*, 22 (5), 539-555.
- Tricot, A., Pléat-Soutjis, F., & Camps, J.-F. (2003). *Utilité, utilisabilité, acceptabilité : interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH*. Papier présenté à la conférence EIAH 2003, pp. 391-402.

- Vale Dias, M. D. L. (2002). *Eduquer et former pour la créativité au XXIe siècle : l'importance de la perspective diachronique*. Papier présenté à la conférence 6è biennale éducation et formation.
- Vergnaud, G. (2000). *Lev Vygotski, penseur et pédagogue de notre temps*. Paris : Hachette Education.
- Vergnaud, G. (2001). *Forme opératoire et forme prédicative de la connaissance*. Papier présenté à la conférence colloque GDM La notion de compétence en enseignement des mathématiques, analyse didactique des effets de son introduction sur les pratiques et sur la formation., Montréal, pp. 6-27.
- Vergnaud, G. (2002, 28-31 octobre 2002). *La conceptualisation, clef de voûte des rapports entre pratique et théorie*. Papier présenté à la conférence Analyse de pratiques et professionnalité des enseignants, Paris.
- Vygotski, L. (1934). *Pensée et langage* (1998 ed.). Paris : La Dispute.
- Walliser, B. (1977). *Systèmes et modèles*. Paris : Seuil.

Table des matières

Résumé (version française longue).....	8
Table des figures et des illustrations.....	12
Table des annexes	15
Introduction	17
1 Problématique de la recherche.....	20
<i>1.1 Les objectifs de la recherche : conduire l'analyse didactique d'un travail d'investigation instrumenté.....</i>	<i>20</i>
<i>1.2 Cadres de la recherche :.....</i>	<i>21</i>
1.2.1 L'Épistémologie et la didactique des sciences de la Terre.....	21
1.2.2 L'apprentissage conçu comme résultant d'interactions	21
1.2.3 La médiation instrumentale de l'apprentissage	22
<i>1.3 Méthodologie de la recherche.....</i>	<i>22</i>
1.3.1 Une ingénierie didactique.....	22
1.3.2 La conception d'un EIAH	23
<i>1.4 Sur les différents aspects qui ont motivé ce travail.....</i>	<i>23</i>
2 Cadre théorique.....	25
<i>2.1 Repères épistémologiques pour la conception de situations d'apprentissage en sciences de la Terre</i>	<i>26</i>
2.1.1 De la géologie aux sciences de la Terre	27
2.1.2 Le rapport des sciences de la Terre au temps.....	30
2.1.2.1 Temps cyclique, temps sagittal	31
2.1.2.2 La dimension historique des sciences de la Terre : les traces du passé	33
2.1.2.3 L'actualisme, concept fondateur	33
2.1.2.4 Raisonnement géologique/raisonnement diachronique.....	34
2.1.2.5 La contingence ou l'histoire modelée par le hasard.....	35

2.1.2.6	Les temps profonds : l'immensité des temps géologiques et la révolution huttonienne	36
2.1.3	Le rapport des sciences de la Terre à l'espace	38
2.1.3.1	Les rapports entre temps et espace	38
2.1.3.2	Représenter, se représenter l'espace et s'y orienter	39
2.1.3.3	Les questions d'échelle	40
2.1.4	Le rapport des sciences de la Terre au réel	41
2.1.4.1	L'inaccessibilité de certains objets géologiques	41
2.1.4.2	La place du travail de terrain.....	41
2.1.4.3	Quelle(s) démarche(s) d'investigation en géologie ?.....	42
2.1.4.4	La place de la modélisation dans les sciences de la Terre	43
2.1.4.4.1	Relations modèle-théorie-expérience	43
2.1.4.4.2	Place de la simulation dans les sciences de la Terre	45
2.1.4.4.3	Propriétés et fonctions des modèles dans les sciences de la Terre.....	47
2.1.5	En guise de conclusion partielle.....	48
2.2	<i>Fondements didactiques pour la conception des séances expérimentées avec les élèves</i>	50
2.2.1	Situation de ce travail du point de vue des théories de l'apprentissage : une approche socio-constructiviste	50
2.2.1.1	L'apprentissage comme interaction sujet-objet.....	50
2.2.1.1.1	L'apprentissage comme processus adaptatif	50
2.2.1.1.2	Le primat de l'opératif sur le perceptif.....	52
2.2.1.2	La médiation dans l'apprentissage	53
2.2.1.2.1	Le modèle de la double germination des concepts.....	53
2.2.1.2.2	La médiation instrumentale	55
2.2.1.3	Interactions et apprentissage	57
2.2.1.3.1	Interactions épistémiques et apprentissage	57
2.2.1.3.2	Interactions épistémiques médiatisées par les EIAH	59
2.2.1.3.3	Scénarios d'apprentissage et orchestrations instrumentales.....	60
2.2.1.3.4	Les interactions élève-milieu	61
2.2.2	Temps et espace dans l'apprentissage des sciences de la Terre : raisonnements d'élèves	63
2.2.2.1	Des obstacles épistémologiques aux obstacles didactiques	63
2.2.2.2	Les rapports au temps.....	64
2.2.2.3	Les rapports à l'espace	67

2.2.3	Modèle et modélisation dans l'enseignement/apprentissage des sciences de la Terre	69
2.2.3.1	Une fonction de perception et de représentation	70
2.2.3.2	Une fonction de communication pour l'argumentation	72
2.2.3.3	Une fonction heuristique	73
2.2.3.4	Les modèles comme outils de médiation entre réel et théorie	74
2.2.3.5	Les modèles, outils d'investigation scientifique pour la classe	76
2.2.4	La place de l'école de terrain dans l'enseignement des sciences de la Terre... ..	78
2.2.4.1	La classe de terrain, ancrages historiques	79
2.2.4.2	Les instructions officielles	80
2.2.4.3	L'école de terrain comme une reconstruction praxéologique	81
2.2.4.4	État des lieux : que font les élèves/les enseignants sur le terrain ?	85
3	Instrumentation d'un travail d'investigation scientifique avec Géonote.....	87
3.1	Constitution d'un registre empirique avec Géonote.....	88
3.1.1	Afficher un secteur géographique	88
3.1.2	S'approprier l'espace et s'y orienter	89
3.1.2.1	Zoomer et se déplacer	89
3.1.2.2	Mesurer des distances.....	90
3.1.2.3	Se constituer sa propre carte par superposition de différentes couches de données	91
3.1.2.4	Afficher les coordonnées géographiques de la carte.....	92
3.1.3	Consulter des informations géoréférencées.....	93
3.1.3.1	Arrêts et données géoréférencés.....	93
3.1.3.2	Informations sur les données géoréférencées.....	94
3.1.3.3	Sélectionner les données effectivement disponibles	94
3.1.4	Naviguer dans l'application et accéder à des ressources.....	95
3.1.4.1	Naviguer à l'aide des boutons de navigation et de l'historique	95
3.1.4.2	Afficher des données de la fenêtre de documentation.....	95
3.1.4.3	Rechercher une donnée dans la base	96
3.1.4.4	Utiliser l'aide et le lexique	96
3.1.5	Prise en compte de difficultés en relation avec l'appréhension de l'espace dans l'application Géonote	97
3.1.6	Accéder à des informations de nature temporelle	97
3.1.6.1	Accéder à différentes représentations du temps.....	98

3.1.6.2	Construire sa propre frise chronologique	99
3.1.6.3	Prise en compte de difficultés didactiques relatives au temps dans le module Calendrier Géologique	100
3.2	<i>Activités instrumentées et confrontation des données à un modèle scientifique</i>	102
3.2.1	Annoter des données sur l'historique	102
3.2.2	Éditer de nouvelles informations.....	103
3.2.2.1	Créer un secteur géographique.....	103
3.2.2.2	Créer une donnée.....	104
3.2.3	Géoréférencer une donnée.....	105
4	Questions, hypothèses et méthodologie de la recherche	107
4.1	<i>Problématique</i>	108
4.1.1	Rendre au modèle son statut d'outil pour l'investigation scientifique et identifier les apprentissages effectués	108
4.1.2	Instrumenter, à l'aide d'un EIAH, la conduite d'un travail d'investigation scientifique	114
4.1.2.1	Instrumenter les tâches de constitution d'un <i>registre empirique</i>	114
4.1.2.2	Instrumenter la confrontation du modèle scientifique au <i>registre empirique</i>	116
4.1.3	Bilan : Problématique et hypothèses de recherche.....	117
4.2	<i>Méthodologie de la recherche</i>	118
4.2.1	Une ingénierie didactique comme méthodologie de recherche	118
4.2.2	Une double approche : didactique et instrumentale	119
4.2.2.1	Une approche didactique.....	119
4.2.2.1.1	Une typologie des tâches pour la conduite d'une démarche d'investigation.....	119
4.2.2.1.2	Tâches centrées sur l'appropriation du modèle (M).....	122
4.2.2.1.3	Tâches conduisant à la mise en relation du modèle et du registre empirique (EM).....	123
4.2.2.1.4	Tâches en relation avec la maîtrise du registre empirique (RE)	126
4.2.2.2	Approche instrumentale	128
4.2.3	Quel(s) type(s) de recherche ?.....	129
4.2.3.1	Une recherche de faisabilité (pragmatique)	129
4.2.3.2	Une recherche de signification (herméneutique)	130

4.2.3.3	Une recherche de régularité (nomothétique) ?	131
4.2.4	Quelles innovations pour la classe ?	132
5	Description des expérimentations conduites et méthodes de recueil des données.....	134
	134
5.1	<i>Déroulement des séances observées.....</i>	135
5.1.1	Les sites Chenaillet-Queyras-Galibier, un intérêt pédagogique remarquable	135
5.1.2	Le lycée du Val de Saône	136
5.1.3	Scénarios d'apprentissage et place des enseignants dans leur conception.....	136
5.1.3.1	Expérimentations de septembre/octobre 2005	137
5.1.3.2	Expérimentations de septembre/octobre 2006	138
5.1.4	Conception des scénarios d'apprentissage et praxéologie didactique.....	141
5.2	<i>Méthodes de recueil et de traitement des données</i>	145
5.2.1	Recueil des productions écrites et des réalisations informatiques	145
5.2.2	Traces informatiques	146
5.2.3	Enregistrements audio et vidéo	148
5.2.4	Réalisation des chronogrammes.....	148
5.2.5	Questionnaires	151
6	Une étude de cas, le binôme 9nuguet1	152
6.1	<i>Identification des indices à rechercher sur le terrain.....</i>	154
6.2	<i>Préparation des observations à effectuer sur le terrain.....</i>	162
6.2.1	Sélection des arrêts à visiter sur le secteur du Chenaillet	162
6.2.1.1	Détermination de l'itinéraire à parcourir sur le secteur du Chenaillet.....	165
6.2.2	Mise en relation des âges des terrains et du chevauchement sur le secteur du Galibier	169
6.2.3	Identification de la nature des indices en faveur du modèle de formation d'une chaîne de collision sur le secteur du Queyras	172
6.2.4	Conclusion sur la préparation de l'école de terrain.....	174
6.3	<i>Activités de terrain.....</i>	176
6.3.1	Activités des élèves sur le terrain	176
6.3.2	Place du modèle dans le travail réalisé sur le terrain	179
6.4	<i>Édition des données avec Géonote.....</i>	182
6.4.1	Réalisations du binôme lors de la séance C	182

6.4.2	Interactions lors de la séance.....	184
6.5	<i>Analyse des productions du binôme du point de vue des apprentissages.....</i>	188
6.5.1	Identification des caractéristiques spatiales du secteur étudié au cours de la phase de conception du protocole d'observation	188
6.5.2	Apprentissages relatifs au concept de subduction.....	191
6.5.2.1	Préparation de la classe de terrain	191
6.5.2.2	Classe de terrain	193
6.5.2.3	Exploitation de la classe de terrain.....	194
6.6	<i>Conclusion.....</i>	199
6.6.1	Sur les rôles joués par le modèle dans le travail d'investigation conduit par les élèves	199
6.6.2	Sur le rôle joué par l'outil informatique mis à la disposition des élèves	199
7	Rôles joués par le modèle dans le travail d'investigation conduit par les élèves....	201
7.1	<i>Le modèle, outil de perception et de visualisation.....</i>	202
7.1.1	Identification des caractéristiques et propriétés du modèle par les élèves.....	202
7.1.2	Difficultés rencontrées dans l'analyse du modèle.....	205
7.2	<i>Le modèle, outil de prédiction pour la conception du protocole d'observation</i>	207
7.2.1	Traduction des caractéristiques et propriétés du modèle en observables de terrain	207
7.2.2	Distinction modèle/observables de terrain	209
7.2.2.1	Résultats des expérimentations de septembre 2005	209
7.2.2.2	Résultats des expérimentations de septembre 2006	215
7.2.3	Mise en histoire du modèle	218
7.2.4	Rôle du modèle dans la sélection des affleurements et la détermination de l'itinéraire à parcourir.....	221
7.3	<i>Le modèle, outil d'interprétation des données</i>	223
7.3.1	Interpréter les relations spatiales et/ou temporelles des données.....	223
7.3.2	Donner du sens aux données	226
7.3.2.1	Lors du travail de terrain	226
7.3.2.2	Lors de la rédaction des commentaires des photographies réalisées	230
7.4	<i>Le modèle, outil de communication et support pour l'argumentation.....</i>	236

7.5 Conclusion : le modèle scientifique comme intermédiaire entre registre empirique et registre théorique de l'élève	239
7.5.1 Lorsque c'est la fonction prédictive du modèle qui est utilisée	239
7.5.2 Lorsque c'est la fonction interprétative du modèle qui est utilisée de l'interprétation des données disponibles	241
7.5.3 Démarche d'investigation et typologie des tâches	243
8 Activités instrumentées avec Géonote	246
8.1 Appropriation de l'environnement de travail	248
8.2 Consultation d'une donnée géoréférencée	253
8.3 Détermination de l'itinéraire	256
8.4 Activités instrumentées au cours de la phase de collecte des données sur le terrain	260
8.4.1 Configuration du système d'instruments.....	260
8.4.2 Contrôle de l'activité et genèses instrumentales	261
8.4.3 Médiation instrumentale lors du travail de terrain	263
8.5 Activités instrumentées au cours de la phase d'édition des données	266
8.5.1 Quelques productions d'élèves.....	266
8.5.2 Motif de traces informatiques lors de l'édition et de la géolocalisation des données	267
8.5.3 Genèses instrumentales lors de l'édition et de la géolocalisation des données....	268
.....	
8.5.4 Interactions lors de l'édition et de la géolocalisation des données	272
8.6 Conclusions	274
8.6.1 De Géonote à la situation d'apprentissage instrumentée	274
8.6.1.1 Genèse instrumentale	274
8.6.1.2 Instrumentation d'un travail d'investigation	277
8.6.2 Quels retours sur la conception de l'environnement ?	277
8.6.2.1 Un environnement d'accès à l'information géographique et géologique ..	278
8.6.2.2 Un environnement d'édition et de mise en forme des données.....	280
8.6.2.3 Un environnement d'échange et de mutualisation des données produites pour favoriser les interactions sociales et le travail collaboratif	281
8.6.2.4 Exploitation des traces	282
9 Conclusions et perspectives	286

9.1	<i>Le modèle scientifique, un rôle clé pour la conduite d'un travail d'investigation de manière autonome</i>	286
9.2	<i>Les outils TIC, des rôles clés dans l'instrumentation d'une démarche d'investigation</i>	289
9.3	<i>Des outils pour la recherche</i>	291
9.4	<i>Perspectives pour l'enseignement et la formation</i>	291
	Bibliographie	293
	Table des matières	306
	Annexes	314

Annexes

Annexe A : Typologie des tâches d'une démarche d'investigation

Tâches centrées sur l'appropriation du modèle (M)

M1 Identifier les caractéristiques du modèle

M2 Identifier les propriétés du modèle

Tâches conduisant à la mise en relation du modèle et du *registre empirique* (EM)

Elaboration du protocole d'observation ou d'expérimentation

EM1 Déterminer des implications du modèle en terme d'observables de laboratoire ou de terrain

EM2 Déterminer les procédures du protocole

Confrontation des données empiriques et du modèle scientifique

EM3 Argumenter l'adéquation des données empiriques aux caractéristiques et propriétés du modèle

EM4 Instancier le modèle : le paramétrer, le contextualiser avec des données empiriques

EM5 Définir le domaine de validité du modèle

EM6 Identifier des contraintes (ou nécessités) du modèle

Tâches en relation avec la maîtrise du *registre empirique* (RE)

RE1 Sélectionner des données empiriques pertinentes au regard de leur lisibilité

RE2 Déterminer les caractéristiques des données empiriques les situer dans l'espace et/ou dans le temps

RE3 Mettre en forme des données empiriques pour faciliter leur lecture

Annexe B : Expérimentations des années 2006 et 2007

Expérimentation 2006

Classe	TS1	TS2	TS3
Enseignante	Annie Jaime	Gilda Putinier	Anne Nuguet
Nombre d'élèves	35	36	34
Nombre de binômes enregistrés	14	15	9
Nombre de binômes filmés en classe	2	2	2
Phase A : réparation de l'école de terrain	22/09/2005	22/09/2005	23/09/2005
Phase B : école de terrain	26 et 27/09/2005	26 et 27/09/2005	26 et 27/09/2005
Phase C : exploitation de l'école de terrain	29/09/2005	29/09/2005	30/09/2005

Sites visités sur le terrain : Chenaillet, Queyras (berges du Guil à Château-Queyras) et Galibier (cols du Galibier et du Lautaret)

Accompagnateurs : 3 guides C.B.G.A, 4 enseignants d'une autre discipline

Expérimentation 2007

Classe	TS	TS
Enseignante	Gilda Putinier	Michèle Prieur
Nombre d'élèves	33	32
Nombre de binômes enregistrés	15	15
Nombre de binômes filmés en classe	2	2
Phase A : réparation de l'école de terrain	19/09/2006	19/09/2006
Phase B : école de terrain	26 et 27/09/2006	26 et 27/09/2006
Phase C : exploitation de l'école de terrain	03/10/2006	03/10/2006

Sites visités sur le terrain : Chenaillet, Queyras (berges du Guil à Château-Queyras) et Saint Clément (panorama sur le pli couché)

Accompagnateurs : 4 enseignants d'une autre discipline dont deux enseignants d'éducation physique ayant les qualifications d'accompagnateur de haute montagne

En quoi les Alpes sont elles une chaîne de collision ?



Eric Sanchez
Michèle Prieur
Gilda Putinier

Séance 1 : Préparation de la classe de terrain



Il s'agit, au cours de cette séance de préparer le travail qui sera conduit sur le terrain. L'objectif est que chacun se rende sur les différents sites en les ayant localisés géographiquement et en sachant précisément quels sont les observations pertinentes à réaliser.

Différents sites seront visités afin de rechercher des traces observables sur le terrain et témoignant des trois étapes du scénario de la formation d'une chaîne de collision :

- secteur 1 : Chenaillet - étape accréation
- secteur 2 : Château -Queyras - étape subduction
- secteur 3 : Saint Clément - étape collision

Le logo  indique un travail à réaliser à la maison

Sauf mention contraire les réponses aux questions doivent être rédigées dans le bloc-note de Géonote.

1. Programme de l'école de terrain

- Activité : Localisation des sites géologiques étudiés et itinéraire du car 

2. Identification des observations à réaliser sur le terrain

- Activité : phénomènes géologiques à l'origine de la formation d'une chaîne de collision 
- Activité : traces à rechercher sur le terrain

3 . Recherche des traces témoignant d'une accréation (Chenaillet)

- Activité : choix d'un parcours géologique

4 . Recherche des traces témoignant d'une subduction (Queyras)

- Activité : identification des observations à réaliser sur le terrain

5. Recherche des traces témoignant d'une collision (St Clément)

- Activité : identification des observations à réaliser sur le terrain

Séance 2 : Classe de terrain

Au cours de cette étape séance vous collecterez les données qui vous permettront de rédiger une histoire argumentée des Alpes avec Géonote. Soyez précis et rigoureux dans le relevé des coordonnées géographiques, les prises de vue et la prise de note. Cela vous facilitera grandement le travail ultérieur.



- **Activité** : travail à réaliser sur le terrain 🕒

Séance 3 : Exploitation de la classe de terrain



Plutôt que la rédaction d'un compte-rendu classique, vous utiliserez un logiciel pour rédiger une histoire géologique argumentée des Alpes. Ce logiciel vous permettra de :

- rédiger cette histoire dans le bloc-note ;
- localiser et commenter les traces observées sur les secteurs géographiques étudiés (Chenaillet et Briançonnais) ;
- réaliser une documentation explicative.

Vous-vous attacherez à montrer en quoi les traces observées sur le terrain sont en accord ou non avec le scénario « chaîne de collision ». Soyez précis dans les commentaires de vos photographies.

1. Préparation de la séance

- **Activité** : sélection des photographies et rédaction des commentaires 🏠

2. Production

Ces deux activités peuvent être réalisées dans l'ordre de votre choix.

- **Activité** : rédaction de l'histoire géologique des Alpes dans le bloc-note de Géonote.
- **Activité** : réalisation d'un jeu de données géoréférencées

[critères d'évaluation et outils utiles](#)

1. Programme de l'école de terrain



Activité : localisation des sites géologiques étudiés et itinéraire du car

- L'école de terrain nous conduira dans les Hautes Alpes (05), le premier jour, sur le site du Chenaillet (commune de Montgenèvre). L'hébergement du soir sera à Briançon. Le second jour, nous nous rendrons dans le Queyras (commune de Château-Queyras) et sur les rives de la Durance (commune de Saint Clément).
A l'aide d'un site dédié au calcul d'itinéraires routiers, rechercher et noter le meilleur itinéraire (sur le territoire français) pour se rendre successivement sur ces sites depuis Trévoux en indiquant les distances à parcourir.

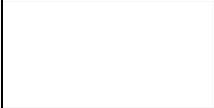


[Lien vers des sites permettant le calcul d'itinéraires](#)

- Au cours de la première journée, pour observer les traces laissées par la collision, nous réaliserons une excursion à pied depuis Montgenèvre. Nous monterons par les sentiers au sommet des télécabines des Charmettes (SE de Mongenèvre). Puis nous contournerons le rocher de l'Aigle (situé au NE de l'arête SW du Chenaillet) par le col du Souréou et le Collet Vert. Retrouvez le trajet à parcourir à pied, en 3D, sur le site de l'office de tourisme du Chenaillet.



[Lien vers le site de l'office de tourisme de Montgenèvre](#)

	Lien vers des sites permettant le calcul d'itinéraires
	Site en français permettant le calcul d'itinéraire
	Site en français permettant le calcul d'itinéraire
	Site en français permettant le calcul d'itinéraire
	Site en français permettant le calcul d'itinéraire
	Photo aériennes de la France

2. Identification des observations à réaliser sur le terrain

Activité : traces à rechercher sur le terrain

- Traduire les phénomènes géologiques à l'origine de la formation d'une chaîne de collision en traces encore aujourd'hui observables sur le terrain pour chacune des étapes:
 - formation d'un océan
 - subduction d'une lithosphère océanique
 - collision entre deux marges continentales(Compléter le tableau 1)



[Scénario de formation d'une chaîne de collision](#)

tableau 1 (tableau à imprimer et compléter)



[au format Word](#)

[au format pdf](#)

3. Recherche des traces témoignant d'une accréation (secteur Chenaillet)

Activité : choix d'un parcours géologique

Il s'agit de choisir un parcours géologique réalisable à pied qui permette de retrouver les traces qui sont des témoins d'une accréation dans les Alpes

- Proposez un itinéraire qui permettra de se rendre sur des arrêts pertinents pour observer les traces d'une accréation. Cet itinéraire devra être précis et réalisable à pied depuis l'arrêt du bus à Montgenève (sélectionnez un nombre limité d'arrêts).
 - tracez cet itinéraire sur la carte topographique , annoter cette carte à l'aide de couleurs et de symboles permettant de localiser les traces à rechercher sur le terrain.
 - justifiez cet itinéraire dans le bloc-note d'un point de vue pratique.



[Scénario de la formation d'une chaîne de collision](#)

Géonote - Secteur Chenaillet

4. Recherche des traces témoignant d'une subduction (Queyras, secteur Briançonnais)

Activité : identification des observations à réaliser sur le terrain

- L'arrêt 1 présente des métagabbros transportés par le torrent du Guil. Localiser, sur la carte géologique, les sites d'où peuvent provenir ces métagabbros.
- Déterminer l'autre trace témoin de la subduction observable à cet arrêt



Géonote, secteur du Briançonnais
arrêts 1 et 2 : Chateau-Queyras

5. Recherche des traces témoignant d'une collision (Saint Clément, secteur Briançonnais)

Activité : identification des observations à réaliser sur le terrain

Le pli de Saint Clément permet de préciser les caractéristiques de la collision. Le travail réalisé sur cet arrêt permettra d'identifier l'orientation des contraintes locales liées au plissement alpin et d'évaluer l'importance de l'épaississement local de la lithosphère.

- Comment, à partir de l'observation d'un pli, peut-on déterminer l'orientation des contraintes (forces) responsables du plissement ?
- Comment peut on calculer l'importance du raccourcissement et de l'épaississement maximal subis par des terrains plissés ?

(raisonnez en vous aidant d'un schéma de pli droit)

répondre sur une feuille à rendre à l'enseignant



Géonote, secteur Briançonnais
arrêt 3: pli de St Clément
Géonote : documentation "Différentes caractéristiques d'un pli"
et "Formation d'un pli couché"

Activité : travail à réaliser sur le terrain

- Pour chaque secteur géographique étudié :
 - recherchez les traces qui constituent des arguments en faveur du scénario de la formation d'une chaîne de collision
 - photographiez (avec un appareil photo numérique) ces traces (prise en compte des différents niveaux d'observation, repérage de l'échelle)
 - relevez leurs coordonnées géographiques,
 - relevez les références des photographies réalisées,
 - commentez les traces observées.



[Fiche d'activités à réaliser sur le terrain](#) (pdf)

1. Préparation de la séance

Activité : création d'un jeu de données

- **Créez un jeu de données géoréférencées et de données explicatives** pour justifier l'histoire géologique des Alpes. Pour cela il faut :
 - créer chaque donnée, c'est-à-dire sélectionner une photographie et compléter sa fiche "paramètres" ;
 - géoréférencer chaque donnée liée à un "arrêt" en créant un "arrêt" sur un secteur géographique et en liant la donnée à cet "arrêt".

critères d'évaluation et outils utiles

Critères d'évaluation et outils à utiliser

La qualité de votre production sera évaluée sur les **critères suivants** :

- **articulation entre l'histoire géologique rédigée et les données qui en sont les arguments** (faire référence aux données en rédigeant l'histoire géologique ou faire référence à l'histoire en rédigeant les commentaires des données) ;
- **précision et rigueur scientifique** des descriptions et des commentaires des photographies ainsi que de l'histoire géologique des Alpes ;
- **richesse de votre production et créativité** dont vous aurez fait preuve (insertion de documents explicatifs, légende des photographies, originalité des productions...)

Scénario de la formation d'une chaîne de collision



photographies prises sur le terrain

notes et documents de terrain

logiciel Géonote

Annexe D : Description du scénario 2006

La colonne de droite se réfère à la typologie des tâches d'investigation scientifique

Première séance : préparation de l'école de terrain (2h00)		
L'objectif de la préparation de la classe de terrain est que chacun se rende sur les différents sites en les ayant localisés géographiquement et en sachant précisément quels seront les observations pertinentes à réaliser, les informations à recueillir et les mesures à effectuer..		
<i>Ce dont disposent les élèves...</i> (outre le formulaire de consignes et les schémas commentés du modèle)	<i>Ce que font les élèves...</i>	<i>type</i>
- tableau 1 vierge	- Ils identifient les phénomènes géologiques se déroulant pour chacune de trois étapes de la formation d'une chaîne de collision.	M1 M2
- tableau 1 colonne 1 complété	- Ils traduisent les phénomènes géologiques à l'origine de la formation d'une chaîne de collision en traces encore aujourd'hui observables sur le terrain.	EM1
- Site d'itinéraire routier	- Ils localisent les sites géologiques à étudier et l'itinéraire à parcourir en car.	RE2 EM2
- Géonote : carte topographique et géologique simplifiée du Chenaillet (1/25 000). Données géoréférencées.	- Ils choisissent un parcours à réaliser à pied sur le massif du Chenaillet répondant aux deux critères suivants : réalisable d'un point de vue pratique et permettant l'observation des traces d'une accréation.	EM2 RE2
- Géonote : carte géologique du Briançonnais (1/250 000). Données géoréférencées.	- Ils identifient les traces de la subduction à rechercher à Château Queyras	EM1 EM2
- Géonote : carte géologique du Briançonnais (1/250 000). Documentation sur les plis	- Ils déterminent les mesures à effectuer pour évaluer le raccourcissement et l'épaississement liés au plissement des terrains.	EM2

Seconde séance : classe de terrain (2 jours) L'objectif de cette école de terrain est la collecte des données qui permettront de reconstituer une histoire argumentée des Alpes avec Géonote.		
<i>Ce dont disposent les élèves...</i> (outre les documents de terrain et les schémas commentés du modèle)	<i>Ce que font les élèves...</i>	<i>type</i>
- <u>Terrain secteur Chenaillet</u> : GPS, appareil photo numérique, carte topographique, panorama, loupe, photographie aérienne, boussole, crayons de couleur.	-Ils échantillonnent, ils recherchent, identifient, localisent et photographient les indices en faveur d'une accréition. Ils cartographient un secteur délimité.	RE1, RE2, RE3 EM4
- <u>Terrain secteur Queyras</u> : GPS, appareil photo numérique, loupe, crayons de couleur, diagramme pression-température.	-Ils recherchent, identifient, localisent, schématisent et photographient les traces d'une subduction. Ils tracent le trajet PTt des roches observées.	RE1, RE2, RE3 EM4
- <u>Terrain secteur Saint-Clément</u> : GPS, appareil photo numérique, boussole, pâte à modeler, carte topographique. Documentation sur les plis	- Ils réalisent une maquette orientée qui raconte l'histoire du pli observé. Ils photographient les différentes étapes de formation. Ils localisent et orientent sur la carte topographique le pli modélisé en pâte à modeler. - Ils évaluent l'amplitude du raccourcissement et l'épaississement du pli observé.	RE1, RE2, RE3 EM4
Troisième séance : exploitation de l'école de terrain (2h00) L'objectif de cette étape est la rédaction d'une histoire géologique argumentée des Alpes.		
<i>Ce dont disposent les élèves...</i> (outre le formulaire de consignes et les schémas commentés du modèle)	<i>Ce que font les élèves...</i>	<i>type</i>
Leurs photographies et autres documents de terrain. Géonote, logiciel de traitement d'images	- Ils créent un jeu de données pour Géonote permettant d'argumenter en faveur du modèle proposé : ils sélectionnent, mettent en forme, commentent leurs photographies et géoréférencent ces images sur une carte géologique. - Ils rédigent une histoire argumentée des Alpes dans le bloc-note de Géonote: cette histoire s'appuie sur les traces observées sur le terrain.	RE1, RE2, RE3 EM3 EM4 EM5

Annexe E : Documents distribués aux élèves (expérimentation 2006)

Tableau 1 : Identification des observations à réaliser sur le terrain

Etapes du scénario de la mise en place d'une chaîne de collision	Phénomènes géologiques	Traces observables aujourd'hui sur le terrain à différentes échelles (structures, roches, minéraux)
Accrétion		
Subduction		
Collision		

Document de terrain journée 1 : Recherche des traces d'une accréation (Chenaillet)

Arrêts ou secteurs étudiés	Activités	matériel
Arrêt 1 : lac artificiel	<ul style="list-style-type: none"> - Tracer sur la carte topographique le trajet suivi à pied depuis le départ - Echantillonner les différentes roches de la lithosphère océanique présentes dans les éboulis. - Noter les coordonnées GPS de l'arrêt : 	carte topographique trajet photographie aérienne boussole loupe GPS, Crayons de couleur
Arrêt 2 : sommet télécabine des Chalmettes	<ul style="list-style-type: none"> - Tracer sur la carte topographique le trajet suivi depuis l'arrêt précédent. - Repérer dans le paysage les cols légendés sur la photo du panorama et compléter la légende en indiquant : l'orientation du paysage, le nom et l'altitude des sommets observés. - Noter les coordonnées GPS de l'arrêt : 	carte topographique photo du panorama photo aérienne boussole GPS
Col du Souréou	<p>Sur cette zone, les 3 consignes suivantes sont à mener de front :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cartographier la zone définie sur la carte topographique : identifier les différentes roches visibles à l'affleurement ainsi que leurs limites. Reporter les observations sur la carte topographique en utilisant des couleurs (jaune gabbro, bleu basalte, vert péridotite), les limites incertaines seront représentées par des pointillés. - Préciser en quoi les observations réalisées dans cette zone témoignent d'une accréation (compléter tableau A) - Photographier et localiser (coordonnées GPS et situation sur la carte topographique) les traces d'une accréation. Réaliser des photographies à différentes échelles (affleurement, roche, minéral) en prenant soin d'intégrer un élément permettant d'en apprécier l'échelle. 	carte topographique du secteur photographie aérienne boussole GPS loupe Appareil photo Echantillons de l'arrêt 1 Crayons de couleurs Tableau A à compléter Tableau 1 : traces laissées par une accréation
Collet Vert	<ul style="list-style-type: none"> - A partir des observations réalisées, identifier différents arguments montrant que les basaltes observés sont issus d'un volcanisme sous-marin. - Photographier et localiser (coordonnées GPS et situation sur la carte topographique) ces traces d'un volcanisme sous-marin. 	carte topographique photographie aérienne boussole, GPS, loupe Tableau B à compléter Appareil photo

Tableau A : col du Souréou

numéro des photographies	Coordonnées GPS des photographies	Traces observées témoin d'une accréation	Argumentation en faveur de la présence d'une lithosphère océanique

Tableau B : collet vert

numéro des photographies	Coordonnées GPS des photographies	Particularités des basaltes	Argumentation en faveur d'un volcanisme sous-marin

Document de terrain journée 2 matin : Recherche des traces d'une subduction (Queyras)

Arrêts	Activités	matériel
Arrêt 1 : les métagabbros du torrent du Guil	Rechercher les roches témoins de la subduction en sélectionnant des échantillons qui permettent de déterminer la chronologie des transformations minéralogiques. Photographier ces roches et faire un schéma légendé et annoté des photos réalisées. Tracer sur un diagramme pression-température le trajet suivi par ces métagabbros depuis leur formation dans l'axe de la dorsale. Noter les coordonnées GPS de l'arrêt :	Appareil photo Crayons couleurs Tableau 1 : traces laissées par une subduction loupe GPS Fig 1 : Diagramme pression-température
Arrêt 2 : affleurement des schistes lustrés	Déterminer en quoi les roches de cet affleurement peuvent être le témoin d'un prisme d'accrétion ?	Tableau C et D à compléter

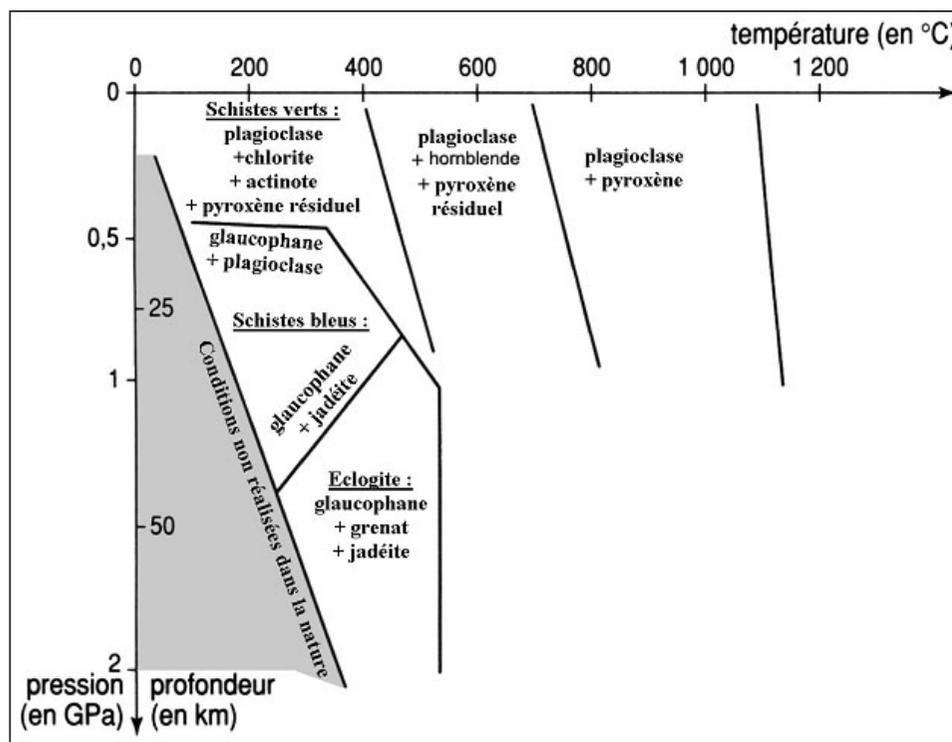


Figure 1 : diagramme pression-température :
présentant les champs de stabilité de différents minéraux des métagabbros.

Tableau C : torrent du Guil

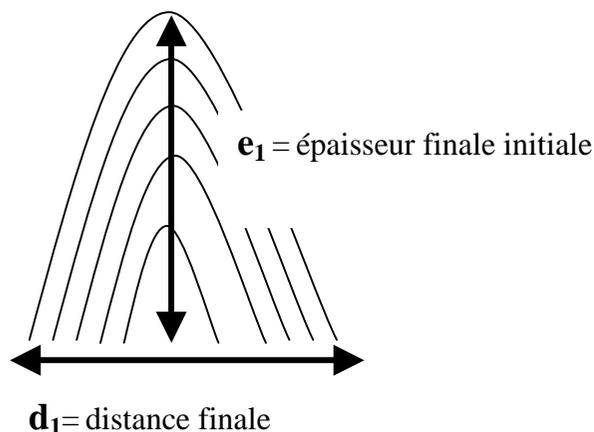
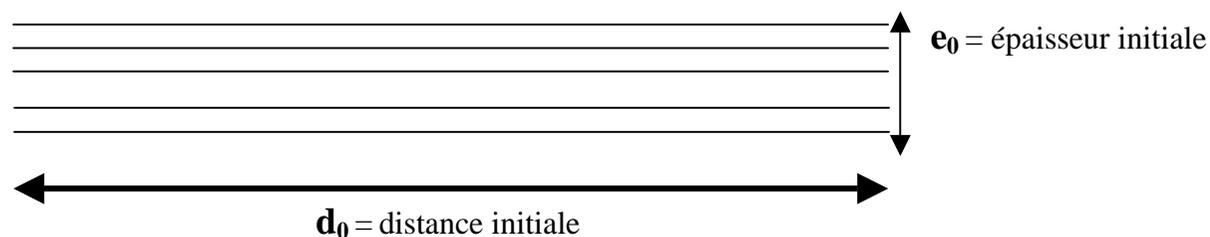
numéro des photographies	Schémas légendés et annotés des photographies réalisées

Tableau D : affleurement des schistes lustrés

numéro des photographies	Argumentation en faveur de la présence d'un prisme d'accrétion

Document de terrain journée 2 après-midi : Recherche des traces d'une collision
Le pli couché de Saint Clément

Activités	matériel
Reconstituer l'histoire du pli de saint-Clément : Réaliser une maquette qui raconte l'histoire du pli observé sachant que les terrains situés au cœur du pli sont les plus récents. Orienter la maquette sur la carte topographique du secteur sachant que l'axe du pli est Nord-Sud et en déduire l'orientation des contraintes. - Réaliser des photos des différentes étapes de l'histoire du pli.	Carte topographique du secteur de Saint-Clément Pâte à modeler Couteau Boussole Appareil photo
Evaluation du raccourcissement et de l'épaississement subis par les terrains du pli de Saint-Clément : Sur un schéma du pli couché de Saint-Clément, représenter les longueurs initiale et finale des terrains ainsi que leur épaisseur initiale et finale. Par visée, estimer le pourcentage de raccourcissement et d'épaississement du pli de Saint-Clément	une règle permettant la visée Figure 2



Pourcentage de raccourcissement = $\frac{(d_0 - d_1) \times 100}{d_0}$

Pourcentage d'épaississement = $\frac{(e_1 - e_0) \times 100}{e_0}$

Figure 2 : Mesure du pourcentage de raccourcissement et d'épaississement des terrains d'un pli droit

Annexe F : Justification de l'itinéraire choisi pour quelques binômes (expérimentation 2005)

7jaimel

« arrêt n°1:roches sédimentaires/arrêt 2:gabbros-basaltes en coussins-péridotites-failles d'extensions-succession de différents types de roches de la lithosphère océanique/arrêt 3:gabbros/arrêt 7:roches sédimentaires océaniques-succession des différents types de roches de la lithosphère océanique-métagabbros. »

8jaimel

« Arrêts 1-2-3-4 car proches, chemins praticables et preuves qu'il y a eu océan par les trois roches successives »

2jaimel2

*« nous avons choisis de passer par le bois des bans > blanche > Cap des douaniers nous arrivons ici à l'arrêt 2 du chenaillet afin d'observerdes péridotites des succession des différentes types de roches de la lithosphère océanique et des plis du à la collision nous continuons sur ce sentier au nord est pour aller aux arrêts:
3 afin de voir des métagabbro-schistes de vert-des gabbros
à l'arrêt 4 afin de voir des basaltes en cousin
puis nous retournerons sur nos pas par le meme sentiers pour aller à l'arrêt 1 au sommet des anges pour voir des roches sédimentaires océaniques
cet itinéraires paraity le plus court. »*

3jaimel2

« de l'arrêt de bus, nous irons à l'arrêt 2 car il n'y a pas de chemin direct pour aller à l'arrêt 1. a l'arrêt 2, présence de péridotite. ensuite, nous irons à l'arrêt 1, ou nous trouverons des métagabbros. nous revenons sur nos pas jusqu'à l'arrêt 2 pour continuer jusqu'à l'arrêt ou trouverons des gabbros. nous finirons par l'arrêt 4 où il y a présence de basaltes en coussin. »

6putinier1

*« arrêt 3: car il y a du gabbro.roche principal du phenomene d'accretion.
arrêt 4: presence de basaltes en coussins.
arrêt 2: presence de peridodite »*

6putinier2

*« pour l'accrétion : à l'arrêt 2, nous pourrons noter la présence de gabbros ainsi que de pillows lavas et de péridotites. nous noterons la possibilité de voir une succession des différents types de roches de la lithosphère océanique (gabbros, basaltes en coussins). à l'arrêt 1 on pourra observer la présence de sédiments océaniques (radiolarites), à l'arrêt 3 présence de basaltes.
pour la subduction : arrêt 2 afin d'observer sédiments océaniques »*

Annexe G : Extrait du fichier de trace informatique du binôme 9nuguet1 (phase C)

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
= <traces>
  = <instant>
    <heures>09</heures>
    <minutes>28</minutes>
    <secondes>54</secondes>
    <entite>menu</entite>
    <action>activation edition</action>
  </instant>
  = <instant>
    <heures>09</heures>
    <minutes>29</minutes>
    <secondes>09</secondes>
    <entite>menu</entite>
    <action>creation (edition)</action>
    <parametre1>donnee</parametre1>
    <parametre2>C:\Documents and
      Settings\CARIP_Pwd\Bureau\photogeonote\DSCF0184.JPG<
      /parametre2>
  </instant>
  = <instant>
    <heures>09</heures>
    <minutes>32</minutes>
    <secondes>25</secondes>
    <entite>menu</entite>
    <action>enregistrer edition</action>
    <parametre1>donnee</parametre1>
  </instant>
  = <instant>
    <heures>09</heures>
    <minutes>32</minutes>
    <secondes>31</secondes>
    <entite>menu</entite>
    <action>modification (edition)</action>
    <parametre1>carte</parametre1>
    <parametre2>C:\Program
      Files\svt\Geonote\Donnees\Cartes\Queyras.gif</parametre2
      >
  </instant>
  = <instant>
    <heures>09</heures>
    <minutes>32</minutes>
    <secondes>31</secondes>
    <entite>reglet</entite>
    <action>depart</action>
  </instant>
  = <instant>
    <heures>09</heures>
    <minutes>32</minutes>
    <secondes>32</secondes>
    <entite>reglet</entite>
```

```

    <action>fin</action>
  </instant>
- <instant>
  <heures>09</heures>
  <minutes>32</minutes>
  <secondes>34</secondes>
  <entite>reglet</entite>
  <action>depart</action>
</instant>
- <instant>
  <heures>09</heures>
  <minutes>32</minutes>
  <secondes>35</secondes>
  <entite>reglet</entite>
  <action>fin</action>
</instant>
- <instant>
  <heures>09</heures>
  <minutes>32</minutes>
  <secondes>37</secondes>
  <entite>carte</entite>
  <action>ajout arret</action>
</instant>
- <instant>
  <heures>09</heures>
  <minutes>32</minutes>
  <secondes>40</secondes>
  <entite>reglet</entite>
  <action>depart</action>
  <parametre1>edition</parametre1>
</instant>
- <instant>
  <heures>09</heures>
  <minutes>32</minutes>
  <secondes>40</secondes>
  <entite>reglet</entite>
  <action>fin</action>
</instant>

```

Annexe H : Transcription de l'enregistrement du binôme A9nuguet1 et codage des verbalisations

A9nuguet1 Étape 1 : préparation de la classe de terrain

	E1 : OK, il faut qu'on remplisse ça.
	E2 : Il faut chercher les roches
	E1 : Exemple : présence de sédiments océaniques
M1	E1 : Ah oui d'accord ça va être ça, sédiments de la marge, sédiments océaniques, croûte continentale...
	E2 : ...
M1	E1 : Non c'est pour le mettre en plus grand. Roches, minéraux, structures tectoniques, failles d'extensions, failles de compression... Les consignes elles sont où.... Perdu les consignes. Non elles sont là... [lit le doc modèle] convection... Oui c'est là où elle s'amincit là...
	E2 : Courants de convection ... c'est ça
M2	E1 : Ouais. Pourtant je croyais que c'était divergence quand ça s'étirait. C'est pas grave.
	E2 : [lit le doc modèle]
M2	E1 : [consulte le doc modèle] La y'a les deux continents et ça les sépare
M2	E2 : Ouais c'est ça l'accrétion. Au départ ça se sépare...et après quand c'est de la subduction...
M2	E1 : Ca se resserre. C'est à l'autre bout du coup... Là t'as les deux continents et ils se séparent avec l'extension.
	E2 : Oui [lit le doc modèle]
	E1 : Donc ça c'est la deuxième partie après c'est la subduction. Donc accrétion... Courants de convection du manteau. Ouais mais non, il faut mettre juste... numéro, structure tectonique
	E2 : ...
M1	E1 : Ben, amincissement de la lithosphère, failles d'extension, failles de compression.
M1	E2 : Oui mais... ou établissement d'un rift.
M1	E1 : Ouais... Pourquoi, ils mettent présence de sédiments océaniques ? Parce que là y'en a. Ah ouais d'accord. Donc là y'a présence de faille...
M1	E2 : ...normale.
	4mn
M1	E1 : Normale. Faut mettre aussi... sur la marge continentale... marge continentale. Ouais, c'est un continent... donc euh... faille normale sur marge continentale
	E2 : Et euh, y'a métamorphisme des roches de la jeune lithosphère océanique.
	E1 :Donc...
	E2 : A cause de ça, à cause du rift qui s'ouvre.
M1	E1 : Ben c'est la péridotite qui se transforme en basalte. C'est ça, métamorphisme des roches de la lithosphère océanique on va avoir... Qu'est-ce qu'on va trouver comme roche si on avait ... ? du basalte !
	E2 :Oui.
	E1 :Péridotite elle devient...
M1	E2 : basalte.
	5mn
M1	E1 : Ben présence de basalte

	E2 : Ouais.
	E1 : Entre parenthèses due au métamorphisme...
	[intervention prof]
	6mn
M1	E1 : Ah, hydrothermalisme donc ça veut dire...
M1	E2 : Activité hydrothermale du rift
M2	E1 : C'est parce que il y a des infiltrations d'eau.
M2	E2 : Si, à cause du rift parce que... C'est ça l'hydrothermalisme. C'est quand il y a des failles, l'eau elle pénètre
	E1 : Ce qui permet le...
M2	E2 : En fait c'est l'hydrothermalisme qui fait qu'il y a des basaltes.
M2	E1 : Non c'est l'hydrothermalisme qui permet qu'il y a des basaltes... c'est dans ce sens.
	E2 : Ouais... tu marques pas que c'est diorite ?
	E1 : Euh... Ouais... diorite. Donc ça entraîne infiltration d'eau.
M1	E2 : Oui... Non ça c'est convection du manteau. Alors après [lit le doc modèle] Ca c'est la subduction [lit le doc modèle].. Oui là y'a un trou il doit être plus...
	E1 : En fait ça c'est d'un autre côté... Là.
	E2 : [lit le doc modèle]
	E1 : C'est la subduction qui ... [lit le doc modèle]
	E2 : [lit le doc modèle]
	8mn
M2	E1 : Ouais, en fait l'hydrothermalisme là entraîne des métagabbros... hornblende...
M1	E2 : Eclogite
M1	E1 : Non... Donc la subduction là.. métamorphisme... [lit le doc modèle]
	E2 : [lit le doc modèle]
M2	E1 : Déjà, métamorphisme des roches de la lithosphère donc du coup ça va se transformer en schiste vert... Non, schiste vert, schiste bleu, éclogite.
	9mn
	E2 : Ah mais oui... subduction !
M1	E1 : [consulte le doc modèle] Oui... métamorphisme des roches de la lithosphère.
	E2 : Donc après...
M2	E1 : Donc du coup, métagabbro devient schiste...
M2	E2 : ... bleu vert et éclogite
M2	E1 : Non c'est vert bleu éclogite
	10mn
EM1	E1 : Schiste bleu alors du coup on va trouver des ... alors... chlorites et actinotes
	E2 : ...
EM1	E1 : Pour les schistes bleus c'est glaucophane... et éclogite c'est ... et grenat.
M1	E1 : [consulte le doc modèle] ... prisme d'accrétion...
M1	E2 : faille de compression et d'extension...
EM1	E1 : Maintenant est-ce qu'on va voir... Ben un prisme d'accrétion alors ? Mais est-ce qu'on peut le voir ou pas ça ? On peut pas...
EM1	E2 : Ben non parce que quand nous on va arriver on sera plus là on sera là.
EM1	E1 : Parce qu'on peut pas voir les sédiments.
	E2 : On fait collision.
EM1	E1 : On peut voir du schiste vert et du schiste bleu.
	12mn
	E2 : [lit le doc modèle]

M1	E1 : Bon ben, qu'est ce qu'on voit, chevauchement, faille, plissement... mais alors de...
M1	E2 : Faut dire qu'on voit plissement.
M1	E1 : Des sédiments de la marge et de la croûte continentale.
M1	E2 : Plissement des sédiments de la croûte continentale subduite et de la marge de la plaque continentale chevauchante.
M1	E1 : Donc plissement des deux...
M1	E2 : Plissement des marges continentales et de la marge continentale de la plaque subduite.
M1	E1 : Voilà... Et on voit des failles normalement.
	13mn
M2	E1 : Haute pression basse température normalement c'est que les schistes verts... Parce qu'après schiste bleu et élogite c'est...non... c'est basse température et moyenne pression. Et élogite c'est même...
	E2 : ...métamorphisme...
M2	E1 : Bon tant pis, on met entre guillemets. On n'est pas obligées de voir... Normalement ça c'est haute pression basse température
M1	E2 : Donc le plissement des marges...
	14mn
EM1	E1 : Aussi plissement...
M2	E2 : de la croûte continentale subduite. Mais là t'as vu.. c'est parce qu'elle s'enfonce mais...
M2	E1 : Si elle se plisse parce que là y'a les flèches dans les deux sens.
M2	E2 : Ben si elle se compacte en fait.
EM1	E1 : Oui plissement
EM1	E2 : Plissement.
M2	E1 : Parce qu'en fait tout ça c'est du au chevauchement de la... des deux croûtes continentales
EM1	E2 : Plissement...
	15mn
EM1	E2 : Ophiolite faut dire qu'on va en trouver aussi.
M1	E1 : Elle apparaît à la surface... croûte océanique
	E2 : Heu... la croûte océanique
M2	E1 : Elle est coincée, elle est remontée
	E2 : [lit le doc modèle] et on met que c'est du à... au...
	E1 : On met quoi ?
	E2 : Tu mets que c'est du au j'sais pas quoi ?
M2	E1 : Ah que la croûte océanique elle remonte ?
	E2 : L'ophiolite c'est la roche non ?
	E1 : Hum, je sais pas..
	16mn
EM1	E2 : Dans une zone d'obduction vu que la croûte océanique elle est remontée on devrait en trouver
EM1	E1 : Ouais... ou emprisonnement de la... Là il est censé y avoir les failles aussi.
EM1	E2 : Et euh... remontée de la croûte océanique... Présence d'ophiolite due à la remontée de la croûte océanique...
	17mn
M1	E2 : Ah mais ils mettent obduction de la croûte océanique.
M1	E1 : Prisonnière entre les sédiments

	18mn
	E2 : On a tout mis ?
M1	E1 : Ben là on a pas mis. Y'a des failles. Y'a des... comment on avait appelé ça ? un fossé d'effondrement là... Là effondrement.
	19mn
	E2 : [lit le doc modèle] distribution du tableau 1.
	E1 : Donc ça on peut le fermer ? Ca c'est l'aide on va la garder.
	[intervention de l'enseignant - consignes]
	24mn
	E2 : Ah en fait faut comparer ça avec ça et ça tu l'as dans l'aide.
	E1 : Ouais, on peut pas l'agrandir ça... voilà.
	25mn
	E2 : En fait faut jouer la transparence
	[intervention de l'enseignant]
EM2	E1 : .. sur lequel l'indice peut être observé... le gabbro donc...Il faut la légende pour avoir la couleur là... pour savoir... précédent.
	E2 : Non, non, documentation.
EM2	E1 : Légende de... Basalte gabbro, péridotite. Gabbro c'est le truc qui est en vert. Ce serait le 1 alors ? non parce que le 1 c'est sur du...radiolarite. Non, c'est du radiolarite ... et gabbro là en 3.
EM2	E2 : le 7
	E1 : Ah oui
	26mn
EM2	E1 : T'es sûre que c'est pas ça le 7 ?
	E2 : Alors attends, essaye de faire...
	E1 : Là tu vois ?
EM2	E2 : Ah non c'est là.
EM2	E1 : Gabbro, c'est en 3.
	E2 : [lis les consignes]
	E1 : Numéro d'arrêt c'est 3 et le secteur faut faire par rapport... par rapport à l'autre...
	E2 : ..par rapport à l'aide... ça c'est rose... attends.
RE2	E1 : parce qu'il faut repérer où c'est en fait... c'est à côté du Chenaillet.
	E2 : Remets... la carte.
	27mn
	E1 : Ca... 3... Bon alors rose.. c'est comme ça...J'arrive pas à faire la liaison avec...
	E2 : Il doit y avoir la légende.
	E1 : Pourquoi il y a 1 2 3 là ?
	E2 : Ca doit correspondre à ça.
	E1 : Non je pense pas.
	E2 : Maintenant y'a 2 3 4
EM2	E1 : Déjà basalte en coussin ce serait 4...
EM2	E2 : Péridotite...
	28mn
EM2	E1 : Péridotite ce serait 2.
	E2 : Métagabbros, roches sédimentaires océaniques (légende), failles d'extensions...
EM2	E1 : Bon attends... là ce serait 2...schiste noir...
RE2	E2 : Schistes verts, hornblende, actinote, chlorite... c'est métagabbro...glaciaire,

	radiolarites et schistes. Ca doit être dans le trias ça non ?
	30mn
EM2	E1 : D'accord... Donc l'arrêt 3 pour les gabbros... gabbro...Tu mets j'ai choisi l'arrêt 3 pour les gabbros... tient, affleurement de gabbros. Donc après on avait fait l'arrêt... 3.
EM2	E2 : 3, non, oui, l'arrêt 4, pour les basaltes en coussins
	E1 : Je peux pas revenir là.
	E2 : Il faut que tu fasses vue.
	E1 : T'à l'heure je pouvais revenir et je peux plus revenir là.
	E2 : Normalement ça doit être vue.
	E1 : Parce que elle il faut que je la ferme.
	E2 : Alors là c'est le 4.
	E1 : Ben on met apparemment... le truc topographie...
	E2 : Géologique...
EM2	E1 : Apparemment, en 4 il y a des basaltes, on pourrait voir des basaltes en coussins.
	E2 : Métagabbros faciès schiste... Pourquoi on a ça ?
	E1 : Ah, c'est ça... 1 2 3 Galibier, Chenaillet, Queyras. Donc là on est dans le Galibier on est dans le 1. Par contre, pour avoir les légendes...
	E2 : Je ne distingue pas du tout les couleurs
	[intervention de l'enseignant]
	E1 : C'est quoi le secteur ?
	E2 : En fait ça doit être l'endroit où on est non ?
	32mn
	E1 : Péridotite 2, Paysage. Oui mais là on n'a pas péridotite. On a mis gabbro mais on n'a pas les péridotites
	P : Alors là tu n'as pas péridotite mais tu as quelque chose. Qu'est-ce que c'est qu'une serpentine ?
EM2	E1 : péridotite hydratée... Donc tu mets l'arrêt 2 car...
	E2 : On trouve de la serpentinite qui est de la péridotite hydratée.
	33mn
EM2	E1 : Alors ensuite on retourne là.
	E2 : On a pas dit pourquoi... pour le basalte. C'est le 4.
	E1 : Ouais mais on n'a rien.
	E2 : Mais on peut dire... si on voit ça.
	[intervention enseignant]
EM2	E1 : Donc il faut faire... 1 2 3 4.
	34mn
EM2	E1 : basalte en coussin égale pillow. Donc en fait pour une question pratique on fera arrêt 2 3 4. Parce qu'on va rien voir d'en bas
	E2 : [consulte les consignes].
	E1 : Par contre métagabbro, roche sédimentaire océanique...
	E2 : Faille d'extension... le chevauchement c'est ça... Tu peux pas descendre en bas.
	E1 : Non, je peux pas descendre.
	E2 : La formation glaciaire ça correspondait à quoi ?
	35mn
	E2 : Alors roche océanique...
	E1 : [consulte les consignes] Faut la légende de la carte topographique.
	E2 : Document...

	E1 : Là.. mais on peut pas avoir les 2. Ah non. Je fais quoi là ?
	E2 : Je crois que t'as viré la barre en fait
	E1 : Ah ouais...Ah c'est là.
	E2 : Dans carnet...
	E1 : Par contre là on voit rien du tout.
	E2 : Ah si ça nous sert à faire un circuit, un itinéraire précis à parcourir à pied.
	E1 : On a pas fini là... On n'a pas fini pour...Donc en fait il me re-faut là... ça...
RE2	E2 : Le Trias c'est plus vieux c'est ça ?
	E1 : Ah oui c'est vrai ! et là c'est plus jeune.
	E2 : Métagabbro, faciès schiste vert.
RE2	E1 : C'est fou ça... Ah mais si le schiste dans le Trias...
	37mn
RE2	E1 : Donc c'est ce qui est r... Ah mais y'en a pas. Parce que le 7 il est sur le Crétacé.
	E2 : Si c'est marqué Ts.
RE2	E1 : Oui mais le 7, le point, il est sur le Crétacé...
RE2	E2 : Là le 5 dans le Crétacé, le 6 dans le quaternaire, le 1.
EM2	E1 : Donc là ce serait 7. Roche sédimentaire océanique... Ah mais radiolite...Roche sédimentaire constituée par accumulation...
	E2 : A grande profondeur...
	38 mn
	E2 : Donc c'est ça non ?
	E1 : C'est des sédiments alors ?
	E2 : Ben ouais.
EM2	E1 : Si c'est des accumulés... Arrêt 1.
	E2 : Tu sais le Jurassique.
M1	E1 : Quels sont les différents types de roche de la lithosphère océanique... ? C'est pas le Crétacé ça ? avec le calcaire...
	E2 : Le Crétacé je crois que c'est le n° 5 mais y'a rien dedans.
	E1 : Succession des différents types de roches de la lithosphère océanique.
	E2 : C'est vrai il reste plus que le quaternaire ou le Crétacé. Crétacé et Trias supérieur.
	39mn
	E2 : : Failles chevauchements
EM2	E1 : Avant il faudrait voir des... Ah mais j'ai pas la carte géologique. Voilà, là on a des failles et des chevauchements... Ah mais on n'a pas d'arrêt. Faut voir des failles d'extension...
	E2 : On a des failles et des chevauchements c'est pareil.
	E1 : Oui mais c'est faille, virgule, chevauchement.
EM2	E2 : Le 5.
EM2	E1 : Ah mais faut qu'on mette aussi ici là... basalte en coussin... mais il est descendu ton truc. Ah attend, je peux remonter... Voilà. Y'avait aussi le 7.
	E2 : Le 7 c'était métagabbros ?
	E1 : Ouais
	40mn
EM2	E1 : 7 et on suppose peut être un affleurement du schiste.
EM2	E2 : Et puis l'arrêt numéro 1, c'est pour les roches sédimentaires océaniques.
	E1 : Là c'était secteur Chenaillet, on n'a pas mis les sites. Ah mais en fait on peut peut être voir... C'est pour ça qu'on trouve pas tout parce qu'on peut aller voir dans

	d'autres secteurs.
	E2 : Le Galibier et le Queyras.
	E1 : On n'est pas obligé de voir le Chenaillet.
	41mn
	E1 : C'est pas grave on va finir avec le Chenaillet et on ira voir le reste après. [lis les consignes] Ouais mais on pourra aller voir avec les autres.
	E2 : [lis les consignes]
	E1 : Alors, alors attends...
	[intervention prof]
	E1 : Mais en fait on s'est trompées on n'a pas pensé qu'on pouvait aller voir dans les autres secteurs
	42mn
EM2	E1 : Ah, il est là le bus... Donc c'est là Cervière...Ah je me trompe je crois... Oui c'est là... Donc après faut faire 2 3 4.
	E2 : Ouais.
	E1 : [lis les consignes] Ah mais attend, comment on le fait l'itinéraire ?
	E2 : [lis les consignes]
	E1 : 2,5 cm sur la carte correspondent à 1 km sur le terrain.
RE2	E2 : Là, c'est Cervière, je suppose que le bus doit être par là...
	43mn
RE2	E1 : Ah c'est là le Chenaillet donc nos arrêts ils sont... Ils sont là nos arrêts 2 3 4. Donc en fait faut qu'on prenne la petite route là... Celle la là.
RE2	E2 : Ils sont où les arrêts ?
RE2	E1 : Ils sont là, parce que le Chenaillet est là, nos arrêts ils sont là.
	E2 : Ouais.
RE2	E1 : Sinon faut qu'on prenne cette route là. Mais ça fait super loin !
	E2 : Mais oui !
RE2	E1 : Non remarque 2,5 cm correspondent à 1 km... Faut qu'on prenne celle la là. La rouge. C'est la plus courte hein ?
	E2 : Après...
RE2	E1 : Celle la... là... là...Attends
	44mn
	E1 : Fallait faire un truc... Ah non faut cacher ça... Du coup ça va nous les mettre...
	E2 : Ouais ben on part...
	E1 : En fait il est là. Non ça nous les met pas...
	E2 : Mets affichage.
	E1 : Ah mais attends, fallait pas ouvrir le calendrier aussi ?
	E2 : Après c'est là.
	E1 : Affichage des coordonnées c'est pas ça... lexique...Recherche... infos
	E3 : Faut maintenir appuyé si tu veux les coordonnées
	45mn
	E1 : Faut maintenir appuyé où ?
	E2 : Si tu veux voir les coordonnées GPS...
	E1 : Non.
RE2	E2 : C'est une route t'es sûre ? Parce que nous on s'arrête ici. Parce que c'est ici en fait l'arrêt. La route elle est pas...
	E1 : Ouais.. Faut faire comment.
	E2 : Ben j'sais pas... La légende...

	E1 : Déjà comment on fait pour tracer l'itinéraire ?
	E3 : Mais non tu le traces avec le crayon.
	E1 : Oui mais comment on fait pour mesurer le...
	E3 : Tu tiens appuyé... Ta fenêtre... Il faut l'ajuster.
	E1 : Ah voilà... c'est pour ça...Merci.
	E2 : Vas y, vas jusqu'au bout...
	E1 : On se calme...
RE2	E2 : Va jusqu'au 2 en fait.
RE2	E1 : 2 km.
RE2	E2 : Ben ça va. 2km à pied c'est pas.
	E1 : Oui mais t'as vu comment ça...
	46mn
RE2	E2 : C'est vrai que ça monte. Là ça fait 2km5.
RE2	E1 : Faut aller jusqu'au 4. De 2 à 4 ça fait combien ?
RE2	E2 : 812m.
	E1 : Bon ben...
RE2	E2 : Comment on la rejoint par contre la route ? C'est quoi ça ? C'est quoi ce machin ? Elle est où la légende du... ? Légende... de la carte topographique... Donc ça non...
	47mn
	E2 : Là t'as 2 choses qui sont séparées...routes... C'est l'autoroute qu'on a pris non ? Route de bonne visibilité...
RE2	E1 : C'est peut être pas terrible de prendre une route principale il faudrait prendre... Ah, chemin d'exploitation, sentier... c'est ça.
	E2 : Continuité aléatoire...
RE2	E1 : Ah mais non on est obligées de prendre la route principale quand même... Ah mais ça fait faire un détour.
	E2 : Ben je sais.
	E1 : Pourquoi avec le bus on prend pas la route principale ? Peut être qu'il fallait qu'on repère dans d'autres secteurs... On passe peut être pas...
	E2 : Ah mais non c'est que pour le Chenaillet là.
	48mn
	E2 : Ca c'est bien une route principale ?
	E1 : Oui oui c'est ça.
RE2	E2 : Nous on s'arrête... Là y'a un petit chemin...
RE2	E1 : Oui mais ça ne nous amène pas au bon endroit.
RE2	E2 : Comme ça.. comme ça... hop.
RE2	E1 : Oui mais attends ça ne nous fait pas...Ca va faire long. Ca nous fait faire un détour. Ca c'est une ville. Ah ! c'était mieux avant. Ah ! Ca redescend. La en bleu... hop... hop... Ah mais ouais.. faut prendre le bleu.
	E2 : C'est quoi le bleu ?
	49mn
	E1 : Itinéraire de ski, de randonnée ou de raid... avec un passage délicat. Ben ouais mais bon... Elle a pas dit la prof qu'il y avait un passage délicat à un moment ?
	E2 : Ben ouais.
	E1 : Je crois bien hein ?
	E2 : Ben ouais.
	E1 : On va changer alors ?
RE2	E2 : Il faut prendre ça... C'est celui là.

RE2	E1 : C'est celui là... Oui mais après ça s'arrête.
	E2 : Attends remets le...la légende.
RE2	E1 : Là.. donc on passerait là... là...
RE2	E2 : On fait un détour mais bon.
RE2	E1 : On va pas prendre la... là là là... Ca va pas plus loin. Ah mais si parce que à mon avis... sous le... sous le... Y'a pas d'autre trait sous la route ?
	50mn
RE2	E2 : Il vaut mieux prendre ça parce que la route principal.
RE2	E1 : On passe là par le village...hop hop hop... Et après on passe ici...
	E2 : Et pourquoi on l'a choisi ? Parce que c'est un sentier de randonnée. Parce que prendre la route principale c'est pas terrible.
	E1 : Je pense qu'il continue après.
	E2 : Ben oui. Il va pas s'arrêter là d'un coup comme ça...
	E1 : Il faut justifier dans le studio-note...
	E2 : Ouais.
RE2	E1 : Donc on prendrait... On passe par Beauregard...On s'ra pas dépaysées hein !
	E2 : Alors itinéraire...
	E1 : Tu peux peut être mettre à la ligne parce qu'en plus on a pas fini. On a pas regardé les autres secteurs.
	E2 : Donc...
RE2	E1 : Alors c'est un itinéraire d'abord il faut traverser la ville puis rejoindre... Cervières.
	52mn
	E2 : Rejoindre le sentier...
	E1 : ... de randonnée qui débute... C'est quoi ce machin en rouge ?
	E2 : Peut être plus haut
	E1 : Ah là... Edifice remarquable
	[intervention prof]
	P : alors elles veulent passer par où ?
	E1 : Par le sentier de randonnée là. Parce que on dit que la route principale c'est peut être pas...
	P : Mais c'est un sentier quand même ce qui est en rouge.
	E1 : C'est marqué route principale
	P. Non non c'est un sentier de randonnée.
	53 mn
RE2	E1 : Bon ben on va prendre lui alors.
	P : Voila... donc ça va être par là...
	E1 : Itinéraire balisé sur sentier
	P : Voilà.
RE2	E1 : Bon ben non en fait... Donc on rejoint le sentier... rejoindre l'itinéraire balisé sur sentier.
	E2 : ... balisé sur sentier.
	E1 : Entre parenthèse rose non ?
	E2 : Ouais.
	54 mn
RE2	E1 : Sur sentier... à vol d'oiseau là y'a 500... 584...
RE2	E2 : A vol d'oiseau il faut que tu partes de là...
RE2	E1 : Oui mais non je fais un peu plus comme ça et comme ça... Ah mais attend... C'est lui là.

RE2	E2 : Tu veux prendre lui comme ça ?
RE2	E1 : Non non... Là c'est lui... Donc ça fait...150.. et là ça fait...1287...Ca fait 1900 à peu près.
RE2	E2 : T'es pas... il faut encore monter là...
	E1 : Ah ouais...
RE2	E2 : Il te manque tout ça encore.
RE2	E1 : 1900 là et après pour aller à là...
RE2	E2 : 2400... 2km et demi
RE2	E1 : Non 2700.
	55 mn
RE2	E2 : 4 km
	E1 : Même plus en prenant en compte... C'est bon.
	E2 : En fait c'est un petit peu long... Situer la période géologique – ère système – durant laquelle ce secteur géographique était occupé par un océan...
	56 mn
	E1 : Calendrier géologique... C'est ça.
	E2 : là... Ca c'est aujourd'hui ça.
	E1 : Ouais... Il faut chercher quand c'était sous l'eau. C'était occupé par un domaine océanique...
	E2 : Ben si en fait quand t'as ça.
	E1 : Ben oui mais on n'a pas la région... Il faut qu'on mette...
	[intervention prof]
	P : Tu cherches quoi ?
	E1 : On en est là... Mais en fait on sais pas la zone...
	[intervention prof]
	58 mn
RE2	E1 : D'accord.. L'océan c'était au Crétacé...
	E2 : On est là... Ah mais ça c'est du Crétacé...
	E1 : Calcaire blanc brun et schiste noir.. Oui mais...
	E2 : Ca peut pas être le quaternaire c'est trop long... On met soit le Jurassique soit le Crétacé.
	E1 : Parce qu'il y eu des radiolarites.
	59 mn
	E1 : Je sais pas en fait quelle caractéristique il faut pour que ce soit l'un ou l'autre.
	E2 : Des radiolarites on a dit que c'était des sédiments.
	E1 : Ouais là on n'a que basalte gabbro.
	E2 : Là, on a du calcaire blanc brun schiste noir. Schiste noir c'est...
	E1 : Madame on est bloquée là. Pour ... On sait pas lequel choisir.
	[intervention prof]
	P : Il est déterminé votre itinéraire ? C'est ça 2 3 4...
	Alors 2 3 4 c'est quelle période c'est quelle roche ? C'est quelle couleur ?
	1h00
	E2 : Quelle période ?
RE2	E1 : C'est Crétacé et Jurassique.... Parce que là les roches.. Mais après ils ne mettent pas.
	E2 : A quoi ça correspond ?
	P : Bon ben ce que tu vas faire tu vas aller regarder le calendrier géologique... et tu as une carte géologique...
	[intervention prof]

	1h01
	P : le secteur géographique vous l'avez repéré ?
	E1 : On sait pas si c'est Crétacé ou Jurassique.
	P : et pourquoi ?
	P : Vous étiez allé voir l'arrêt là ?
	E1 : Les radiolites ?
	P : les radiolarites... C'est bien océanique ça.
	E2 : Ouais.
	E1 : C'est des sédiments de la décomposition de la...
	P : Donc c'est bon, c'est typiquement océanique ça.
	E1 : C'est du jurassique.
	P : Si vous dites que Jurassique y'avait la mer ça vous donne un repère de temps. Dans votre calendrier Jurassique c'est bien joli mais ça correspond à quoi en terme de millions d'années
	1h02
	E1 : C'est là qu'on va voir ça...
RE2	E2 : Quaternaire... Premiers hominidés... Mésozoïque... Non t'es trop loin. Monte encore un tout petit peu... Cénozoïque... Tourne encore.
	E1 : Jurassique... C'est ça... C'est ça qu'on cherchait...
RE2	E2 : Système Jurassique.
RE2	E1 : Oui c'est ça c'était le Jurassique.
	E2 : Oui.
	1h03
	E1 : Donc là on est dans le Jurassique... Donc il y a à peu près...
RE2	E2 : 164 622.
	P : La virgule est là en fait.
RE2	E2 : 164 millions d'années.
RE2	E1 : Mais est-ce que le Jurassique c'est... Ah là... La limite c'est là donc environ 138 millions d'années.
RE2	E2 : Mais situez la période géologique... donc entre 138 Ma et... en fait il faut trouver le début du Jurassique... Ca c'est la fin du Jurassique... entre 1999 et 138 Ma.
	1h04
	E1 : 200 à 136 Ma.
RE2	E2 : Ce secteur géologique était océanique à l'ère jurassique.
	E1 : C'était pas système Jurassique et ère mésozoïque ? Il faut qu'on y retourne.
RE2	E2 : Si, si c'est ça. C'est système jurassique... Entre 200 et 164 milliards d'années
	1h05
	E1 : La il faut mette l'ère mésozoïque... T'as un problème avec les accents hein ?
	E2 : Tu peux vérifier si c'est toujours l'ère mésozoïque ou pas ? C'était à 136... Mésozoïque, mésozoïque... Donc c'est ça... Après on passe au secteur du Galibier.. On ouvre une session.
	E1 : Attend, voulez vous sauvegarder votre session... ? oui.
	E2 : Ben oui sinon on va tout perdre ça.
	E1 : Nom d'utilisateur... Galibier.
	1h06
EM2	E2 : Là il faut qu'on trouve ça là... Il faut qu'on trouve des roches sédimentaires océaniques.. des trucs comme ça.
	E1 : Attend mais on va mettre une petite légende. Légende de la carte géologique

	du Galibier. Roche métamorphique. Roches sédimentaires océaniques.
EM2	E2 : et métagabbro aussi. Métagabbro c'est roche métamorphique.
	E1 : Il y a pas d'arrêt dessus.
	E2 : Essaie de zoomer. Et ça s'en est ?
	1h07
	E2 : C'est pas la même couleur entre ça et ça.
	E1 : Les différents types de roches... Roches sédimentaires océaniques... Extension, dolomie... Alors il faut faire quoi ? [lis la consigne]
	[intervention de l'enseignante]
	1h10
RE2	E2 : Ben oui regarde. Jurassique, Jurassique, Jurassique, trias, trias, après éocène, éocène... On a une succession en fait de...
	E1 : Non parce qu'on est sur le Galibier.
	1h11
RE2	E1 : Alors, là c'est plus récents... Donc la on a des récents...du récents...
RE2	E2 : Des vieilles... Et après des vieilles...
RE2	E1 : Ah voilà. Là on va bien voir. Là on a du récent. Après du plus ancien. Du récent. Du ancien et du récent.
RE2	E2 : Faut noter. On remarque une alternance des âges des roches...
RE2	E1 : ... Des âges des terrains...
RE2	E2 : Des âges des terrains... Dans le secteur...
	1h12
RE2	E1 : ... À l'arrêt 2. Tu mets entre parenthèses éocène jeune... Tu as un problème avec les accents. Tu veux que je te tape ? arrêt 2.
RE2	E2 : Arrêt trois. C'est du jurassique. Après l'arrêt quatre c'est du crétacé. C'est plus jeune que le Jurassique quoi...
RE2	E1 : Il faut peut-être que l'on mette des âges. C'est pas grave écrit. On rajoutera les âges après.
	1h13
RE2	E2 : Et ensuite du trias... À l'arrêt cinq.
RE2	E1 : Après c'est du trias. Quartzite et Cagneule. Donc c'est plus ancien.
RE2	E2 : Et ensuite, de nouveaux, du jurassique, plus récent que trias.
	1h14
	E2 : Après il faut chercher les dates.
	E1 : [Lis les consignes] en plus on est bien en zoom là. Roches noires... Oui TC...
	E2 : TC c'est...
	E1 : Ah c'était pour ça... Donc là on a...
	E2 : Après ça... On est plus là...
	1h15
RE2	E2 : Après l'arrêt trois on est la... Deux, trois c'est du jurassique...
RE2	E1 : Peut-être, c'est du crétacé, c'est N....
RE2	E2 : Après cinq, c'est du trias... Et ensuite, 6, on est vachement haut.
RE2	E1 : Ouais, on est plus, je pense qu'il rejoint la route.
	1h16
RE2	E1 : Le 6 il est par là. Donc en fait il est la.. 6, six...
RE2	E2 : Non, ça va pas. J'ai mis deux ici, 3 ici... Le quatre ici.
RE2	E1 : Non, le cinq ici.
RE2	E2 : Ah mais ça c'est une route. le quatre et le six c'est le Crétacé. Le 5 et 6 c'est du trias.

	E1 : C'est quoi déjà ?
	E2 : C'est du jurassique. Voilà. Ensuite secteur du Queyras. [Lis la consigne]
	E1 : D'accord mais là il fallait peut être qu'on trouve des trucs
	1h17
	E2 : Tu mets roches sédimentaires succession de différents types de roches.
	E1 : Du coup on voit pas les âges là.
	[Intervention de l'enseignant]
	E1 : C'est bon là
	E2 : ... De subduction type andésite. prisme d'accrétion.
	E1 : Accrétion, parce que j'ai tourné la page... La zone de subduction.
	E2 : En fait tu n'as pas rempli la fin de la compression
	E1 : Ben si.... Roches sédimentaires océaniques...
	E2 : On va mettre le... En plus ça va bien avec roches océaniques.
	1h18
	E1 : On va... Mettre l'autre alors... C'est le Queyras... On aura mis tous les secteurs.
	E2 : Maintenant on fait session.
	E1 : Nouvelle session et là il faut mettre oui. La session elle a été enregistrée ?
	1h19
	E2 : [lis la consigne]... Donc on a deux arrêts.
	E1 : Ca va... Roches...
	E2 : On l'a vu ça...
	E1 : Commentaire. Du schiste lustré sur des métasédiments océaniques... [Lis les commentaires de la donnée]
	E2 : On l'a vu ça. foliation. Et après... T'avais d'autres... dans la formation de roches ?
	E1 : Oh non.
	E2 : appuyer sur la touche trois... Métagabbro !
EM2	E1 : Hé ben les métagabbros fallait pas qu'on en voit ?
	E2 : Numéro du Queyras...
EM2	E1 : Faut enlever le 7
	E2 : Hé ben j'ai enlevé... C'est marqué là non ?
	E1 : Ah oui
	1h20
	E2 : [rédige le parcours géologique] j'ai choisi, faut mettre... J'ai choisi...
EM2	E1 : Arrêt 2 du Queyras. Pour pouvoir observer un affleurement de métagabbro.
	E2 : Par contre à l'arrêt 1 il va y avoir un truc aussi.
	E1 : Mais la c'était quoi la question [lis les consignes]
EM2	E2 : C'est ça. C'est sur la route là. En fait, le métagabbro c'est pas ce qu'il y a à la c'est ce qui se forme là. C'est pas ça métagabbro ?
	1h21
	E1 : Attends, on va déjà afficher, les petits, la légende, la carte.
EM2	E2 : Gabbro... dolomite ! fallait pas qu'on en voit ?
EM2	E1 : Pour la truc de collision...
	[Intervention de l'enseignant]
EM3	E2 : En fait les arrêts sont plus... À regarde ça... C'est ce qu'il y a dans la croûte océanique.
	E1 : Ouais.
EM3	E2 : Donc ça montre la présence de la collision. Ah oui, oui, oui il faut marquer là.

	E1 : A toi l'honneur !
	<i>Ih22</i>
EM3	E2 : Alors. À l'arrêt 2. En plus arrêt ça va il n'y y a pas d'accent bizarre... Roches appartenant à la croûte océanique. Ce qui est la preuve d'un phénomène de collision.
EM2	E1 : Oui, les métagabbros on peut les voir à l'arrêt deux.
	E2 : Comme ça ?
	E1 : Oui
	<i>Ih23</i>
	E1 : Schiste lustré...
	E2 : Prisme d'accrétion...
	E1 : Là il nous manque des arrêts. Il nous met arrêt cinq et arrêt six mais on les a pas. Ah non s'était dans le Galibier et on est dans le Queyras.
EM2	E2 : T'as vu ça toi ? Ah oui. Accrétion, subduction, collision. Pli, faille inverse, chevauchement.
	<i>Ih24</i>
	E1 : En fait, le Galibier... Maintenant on a fait toutes les questions. Il faut qu'on cherche. Mais le Galibier c'était pour la collision ? Et la subduction pour le Queyras. Le Galibier, on a zappé la, il faudrait ouvrir la.... Charger une session dans l'ordre non ? mais en fait ça ne va pas. Ça va te charger les résultats.
	E2 : Mais si. C'est bien ce que l'on veut. Retrouver nos résultats.
	[Intervention de l'enseignant]
EM2	E1 : Et là on voulait, et, ah oui, les failles inverses. On ouvre ça.
	E1 : Les failles inverses, c'est bien les failles... De chevauchement.
	E2 : Oui. Mais comment on vois la différence ?
	E1 : Quoi ?
	[intervention de l'enseignant]
	<i>Ih25</i>
RE2	E2 : J'ai mis ça. On part de la. On remonte.
	E1 : Là c'est quoi.
	<i>Ih26</i>
	E2 : Crétacé. Jurassique. Éocène.
	<i>Ih27</i>
EM2	E1 : C'était juste pour voir des plis et des failles inverses. C'était juste pour voir comme ça.
	E2 : Il nous manque aussi. Succession des différents types de roches.
	E1 : Chevauchements... donc ça... faille inverses... On va retourner dans le Queyras. On affiche le Queyras...
	E2 : mais en fait on a que deux arrêt. C'est un peu limité comme choix.
	[intervention de l'enseignant]
	E2 : [lis les consignes]
EM1	E1 : Mais on a déjà mis un truc. Et donc. Il y avait quoi d'autre ? faudrait qu'il y ait une accumulation de sédiments.
	E2 : Dans là un. Il y avait quoi déjà ? Schiste lustré ?
	E1 : Affleurement... Paysage...
	E2 : C'est dommage. Il y a pas marqué le truc comme d'habitude.
RE2	E1 : Si il faut escalader ça...
	E2 : Oui mais on ne sera pas habillées comme ça...
	<i>Ih29</i>
	E1 : Métasédiments...[Lis le document]

EM2	E2 : Déjà c'est des sédiments. Métasédiment océaniques donc...
	E1 : Ah ben ouais. Bien joué Alice... Donc du coût. Et ils sont orientés en plus.
	E2 : En plus ils sont orientés.
EM2	E1 : Je mets à l'arrêt un présence de schistes lustrés qui sont des sédiments, métasédiments, océaniques.
	E2 : Orientés vers le haut.
	E2 : Il faut quitter.
	E1 : Il faut enregistrer d'abord.

B9nuguet1- Étape 2 - terrain (Queyras)

	Acc : donc, on va laisser les sacs ici. Vous allez prendre vos documents. Vous allez dessiner. Vous prenez des photos ? vous allez faire les deux. Vous allez faire une photo et prendre un schéma pour dessiner ce que vous voyez... Vous cherchez les gabbros. Vous dessinez et ce que vous allez voir. Et bien sûr, entre le bleu et le vert vous argumentez la chronologie.
	Prof : vous vous allez chercher un échantillon, faire la photo et dessiner un schéma le plus proche possible de la photo. De manière à voir la correspondance entre les deux et avoir un schéma le plus proche possible de la photo. Mêmes consignes qu'hier. La photo on l'utilisera ensuite dans le logiciel pour l'intégrer avec les commentaires.
	E1 : alors par contre, je ne peux pas passer par là-bas. Moi je passe par là. [...]
	Acc : alors, deux minutes avant de descendre. Dans les échantillons que vous allez chercher vous allez avoir du mal à trouver de petits échantillons. Parce que, tout simplement il y a des dizaines de classes qui viennent et les échantillons les plus petits ont été emportés. Donc cherchez plutôt sur les gros blocs et la vous aurez de belles choses à photographier et à dessiner.
	E1 : Qu'est-ce qu'il faut dessiner ?
	E2 : Tu dessines ce que tu vois.
	E1 : C'est naze si tu le prends en photo.
	E2 : C'est comme ça. [...]
	4h51
RE1	E1 : Elle a pas dit que qu'il y a du vert et du marron ?
RE1	E2 : Du vert et du marron. [...] Ça s'en est un. Mais il n'y a pas de vert dessus.
RE1	E1 : Ca s'en est un pareil mais il y a pas de vert dessus.
	Acc : C'est pas un gabbro ça.
	E1 : Le gros, c'en est un ?
	Acc : Est-ce que vous avez vu un gabbro ?
RE1	E1 : Ca c'est du gabbro non ? [...]
	Acc : Venez par là. On a parlé de minéraux dans les gabbros. Le plagioclase qui est blanc -- alors bien sûr vous me montrez tous ça -- et le pyroxène qui est noir que l'on doit reconnaître en feuilletés ou marron. Bien sûr vous me dites c'est en feuilletés ça. Mais je ne vois pas de plagioclase et je ne vois pas de pyroxène. Bien sûr... Donc cherchez quelque chose qui a une couleur bleue. Sans bouger d'ici... Simplement en tournant à droite et à gauche... Je vous ai parlé de gros blocs... Montrez-moi du doigt un gabbro.
	E1 : Celui-ci.
	4h56
	Acc : ... Quand même...[...] Ce que l'on cherche ce sont des transformations

	métamorphiques. C'est-à-dire des minéraux nouveaux. Dans ces gabbro là vous avez le plagioclase ... blanc, donc on le reconnaît bien. Le pyroxène je vous ai dit qu'il était rouillé. Donc on va le reconnaître par exemple ici. La, en plus, on voit ses feuilletés. Et maintenant si vous approchez votre nez un peu plus près, vous apercevrez des couronnes qui paraissent noires, bleues... C'est pour ça que je l'ai appelé bleu noir. C'est ces couronnes ces zones qui sont entièrement envahies que vous cherchez. La vous avez des couronnes. Et le vert... Sur celui-ci il n'y a pas de vert, sur celui-ci il y en a. À vous de me dessiner le vert pour me montrer la chronologie. Maintenant que vous en avez vu un cherchez en d'autres. Je vous ai déjà dit que les petits ont disparu. Cherchez dans les grands blocs.
	E1 : Bon, Alice on va chercher un autre bloc.
RE1	E2 : Oui. [...] Celui-là, il est bizarre.
RE1	E1 : Il y a du blanc, du rouille, du vert en filon...
RE1	E2 : Il est pas très lisible.
RE1	E1 : Il est dur à dessiner. Par contre ça c'est la pierre ou de la vraie rouille ?
	E2 : Non, non regarde.. Je vais pas à arriver à faire ça.
RE2	E1 : Le rouille... Le bleu il est autour de la rouille... Après, il y a le vert qui se met au-dessus.
	[...]
RE2	E1 : De toute façon ça se voit que le bleu... Je sais pas, on dirait que le bleu il est avant le vert.
	E2 : Oui parce que le vert [...]
RE2	E1 : Oui regarde, on le voit bien ici. Le bleu foncé qui entoure du marron.
	E2 : Le marron
	E1 : Le blanc là.
RE2	E2 : On peut dessiner ce bout là
	4h59
	E1 : Oui.
RE2	E2 : Avec les 2 filons verts perpendiculaires. Comme ça les deux filons ça te...
	E1 : Bon attends sur une grosse pierre...
RE3	[dessin]
	Prof : Est-ce qu'elles en on trouvé un sympa ? Ah bien !
	E1 : Là on a les plagioclases
	Prof : Bien
	E2 : Après on a les petits pyroxènes marron avec bleu autour.
	Prof : Très bien
	E1 : Et le vert...
	Prof (à un autre groupe): Tiens, là il y a le vert qui vous manque. Sur l'autre échantillon vous n'aviez pas le vert qui recoupe tout.
RE2	E1 : Donc, le vert c'est en dernier.
	Prof : Oui
RE2	E1 : Et le bleu c'est avant, c'est après, il se met autour des pyroxènes.
	Prof : Excellent
RE3	[dessin]
	E2 : En blanc c'est...
	E1 : ...c'est les plagioclases.
	E2 : Et en bleu...
	E1 : ...en marron c'est les pyroxènes. Après, les bleus, je ne sais pas ce que c'est.
	E2 : [...] Moi j'ai les impacts rocheux pas trop mal. Donc je crois que je vais rester

	dessus.
	E1 : Je vais faire ça vite fait...
	E2 : Il faut se rappeler que le bleu c'est en couronne d'ordre des pyroxènes.
	E1 : Oui
	[photographie]
RE3	E2 : Attend, je vais mettre une pièce.
	E1 : Je regarde c'est quel numéro...
	E2 : Il faut que tu te mettes là, pour bien qu'on voit le... Pour prendre le...
	E1 : C'est quoi ça ?
RE3	E2 : Tu te mets là et tu prends ça
	E1 : Oui
RE3	E2 : Tu peux le faire d'abord toute la pierre pour montrer qu'on l'a prise sur un gros bloc.
RE3	E1 : Je vais prendre la grosse pierre. [...] Donc, 100 0 176 177. Et j'en ai fait de au cas.. Ou elle ait raté
	5h04
	E2 : Il n'y a plus qu'à tout escalader, c'est cool. Métagabbro. C'est le 3 m'a dit Anna.
	[complètent le document]
	E1 : L'arrêt ?
EM4	E2 : Tu vois je comprends pas parce que sur le truc-là. Avant schiste vert il y a schiste bleu.
	E1 : C'est peut-être dans ce sens que ça se lit.
	E2 : Ben non...
	[...] Changement de secteur (franchissement du pont)
	E2 : On va prendre l'environnement ?
	E1 : Il reste combien de photos ? Attends que je te dirai après.
	E2 : Alice, tu prends la rivière pour montrer...
RE3	[photographie]
	E2 : Là, tu ne l'auras pas.
	E1 : Oui.
	5h07
	Prof : Vous prenez quoi comme photo ?
	E1 : Le paysage avec la rivière derrière.
	Prof : C'est là que vous avez pris les gabbros ?
	E1 : Oui
	E2 : C'est la 100 combien ?
	E1 : Je sais plus. Il a encore bogué. Je l'ai pas pris encore.
	[...]
	E2 : Tu en est à la combien ? ça ne marche pas ?
	E1 : Non il bogue. Ah, ça y est, ça va être la 179.
	E2 : [...]
	E1 : J'ai pris avec, j'ai pris comme ça en fait.
	[...]

C9nuguet1 – étape 3 – Exploitation de la classe de terrain

	E1 : Nous c'est le Queyras.
	E2 : C'est bon tu as tout copié ?
	E1 : Oui, elles n'ont pas le même nom. Si. 80, 81, 83... C'est une des premières qu'il nous faut. Tu veux les regarder ?

	0h01
RE2	E1 : Celle-là c'est la 76. Ah c'est ça qu'on a dessiné. Là on voit mieux. Ça c'est l'environnement, l'affleurement.
	E2 : Oui.
RE2	E1 : Ah oui, génial. Ça c'est pour voir les gros blocs...
	0h02
EM3	E1 : Ca c'était des gabbros foliés. C'était pour montrer que c'était des gabbros foliés.
	E2 : Galibier Galibier Galibier...
RE1	E1 : Ah elles est floue celle-là.
	E2 : J'aime trop celle la.
EM3	E1 : Ca c'était les plissements
	0h03
	E2 : Je ferme ?
	E1 : Oui, alors Géonote, édition, activer.
	E2 : Mode édition, donc c'est bon. Édition, nouvelle donnée.
EM3	E1 : D'abord on fait prisme d'accrétion.
	E2 : Non c'est pas là, il faut aller là. Bureau, c'est photo Géonote.
	E1 : Et donc là, c'est la 180.
	0h04
	E2 : Type géologique, roches. Et l'autre c'est quoi.
	E1 : Paysage, c'est pas paysage. Titre, pli en S.
	E2 : Pli en S. sources.
	E1 : Alice. Commentaire.
	E2 : Il faut dire ce qu'elle nous a dit. La roche en feuillets.
EM3	E1 : J'ai mis pli en S témoins d'un raccourcissement. On met ça ?
EM3	E2 : Donc témoin d'une subduction.
	E1 : Roche sédimentaire, schiste lustré. Pourquoi schiste lustré ?
EM3	E2 : T'es sûre que c'est des schistes lustrés ?
	E1 : Mica donc, le minéral qui brille... C'était là non ?
	E2 : T'es sûre que c'était là ?
RE2	E1 : C'était de la phengite ?
RE2	E2 : Si, minéraux glaucophane + phengite
	0h05
	E2 : Bon je mets ça. Schistes lustrés en feuillets.
EM3	E1 : Présentant des plis en S. Témoins d'un raccourcissement et d'un phénomène de subduction.
EM3	E2 : Il faut dire qu'on est à l'endroit du prisme d'accrétion.
EM3	E1 : Au niveau d'un prisme d'accrétion. Roche sédimentaire. Schiste lustré en feuillets. Et schiste lustré, on met la définition ?
	0h07
	E1 : Pourquoi tu as mis à la ligne ?
	E2 : Parce que sinon...
	E1 : On met les minéraux glaucophane + phengite ?
	E2 : Ben oui. On peut les mettre.
EM3	E1 : La phengite témoigne d'une descente en profondeur puis d'une remontée.
RE2	E2 : La phengite est un mica. Minéral qui brille dans les schistes lustrés.
	0h09
RE2	E1 : Entre parenthèses tu mets égale à feuillets brillants, schiste lustrés...
	E2 : Mais on a déjà mis que...

EM3	E1 : C'est pas grave.... Témoignant d'une descente en profondeur.
EM3	E2 : Puis d'une remontée. Au niveau d'un prisme d'accrétion....
EM3	E1 : Feuillet présentant un pli en S témoin d'un raccourcissement. Ca on peut le noter à la ligne. Présence de glaucophane.[Lis son texte]. Donc ça c'était notre photo...
	E2 : 180
	0h11
	E1 : Donc ça on l'avait mis. Lambeau de roches plus dures.
	E2 : Donc après c'est la 181.
RE1	E1 : Pour pouvoir montrer l'affleurement. Remarque on aurait pu mettre affleurement...
	E2 : Ce n'est pas vraiment un affleurement.
	E1 : On mettra affleurement pour la photo avec moins. OK ?
	E2 : Vas-y. Clique.
	E1 : Alors maintenant il faut modifier la carte. Pour mettre le... C'est le Queyras.
	E2 : Donc là tu ne changes pas. Mets O.K.
RE2	E1 : C'était 45° 44 minutes 34 secondes.
	E2 : C'est marqué au tableau.
RE2	E1 : C'était 6° 47 minutes et 37 secondes.
	E2 : Là par contre, il faut regarder si il y a un chemin.
RE2	E1 : C'est très haut.
RE2	E2 : Altitude 1642 mètres. Il y a pas l'altitude.
	0h13
RE2	E1 : On devrait être là normalement. 6 47 40 donc c'est la. Et 44 45 24.
RE2	E2 : C'est trop haut.
	E1 : On n'a pas de carte. On a que la géologie.
	[Intervention de l'enseignant]
	0h15
RE2	E2 : Trias supérieur.
	E1 : Schiste lustré, il nous faudrait comme ça en fait...
RE2	E2 : Donc plus par là.
	E1 : On a une route ?
RE2	E2 : Non, on ne voit pas les routes. Faudrait plus le mettre là.
RE2	E1 : Ca c'en n'est pas une le truc qui serpente ? on se met là ?
	E2 : Oui
	E1 : Oui car je pense que ça c'est une route.
	E2 : Il faut quitter la session.
	E1 : Voulez-vous sauvegarder votre session ?
	E2 : On n'a rien fait. Édition, Modifier carte.
	0h17
	E1 : L'arrêt il faut le supprimer.
	E2 : c'est, Outil, Édition, Supprimer.
RE1	E1 : C'était 46... Parce que là il y a une route aussi.
	E2 : 47 40
RE1	E1 : Il faut se mettre sur celle-là. Ça correspond plus à nos...
	E2 : Il l'a mis...
	E1 : Photo Géonote.
	E2 : Non ils ne faut pas mettre que la photo. C'était où qu'on n'était ?
	E1 : Attends.

	E2 : Voilà.
	E1 : C'était géoréférence
	E2 : On va mettre les photos et ensuite un truc général.
EM4	E1 : Un truc général on va pouvoir mettre, tu sais il est très grand. Elle avait dit le prisme d'accrétion il est très large
EM4	E2 : 40 km
	E1 : Alors après, on en a un autre de pli en S. ont le met ?
	E2 : Ben oui parce que ce n'est pas le même.
	E1 : Il faut créer une nouvelle donnée.
	E2 : Ca va être les mêmes trucs.
	E1 : C'est bon ?
	E2 : Non. Vas sur bureau. C'est dans Photogéonote. Roche.
	E1 : Oui roche.
	E2 : Titre pli en S.
	E1 : Tu mets entre parenthèses deux. Commentaire ?
	E2 : C'est la même chose.
	E1 : On met conférer pli en S. O.K ?
	0h20
	E2 : Oui. On va faire Édition. Modifier la carte. Queyras, après il faut placer...
RE2	E1 : On a aussi un lambeau de roche plus dure qui a résisté à la compression.
	E2 : Oui 181.
	E1 : C'est aussi une roche ?
RE2	E2 : Oui, non. Affleurement s'est plus quand on te voit toi. Paysage c'est vraiment comme ça.
RE2	E1 : Là on peut mettre aussi que les roches en feuillets se sont penchées vers l'est.
	E2 : Oui
	E1 : Parce qu'on le voit avec l'orientation du crayon. Titre...
	E2 : On a qu'à mettre...
EM3	E1 : Prisme d'accrétion.
	E2 : Qu'est-ce que c'est ça ?
	E1 : Parce que.
	E2 : Un titre c'est quelque chose qui résume la photo.
	E1 : Comment elle est notre photo ?
	E2 : On verra bien si ça ne lui plaît pas
	E1 : Commentaire...
	E2 : Par contre on aurait pu mettre une petite légende sur la photo.
RE1	E1 : Ben oui, mettre là Ouest et là Est. Et puis légender. On le fait ?
	E2 : Oui, il faut quitter. Réduis ça, ça aussi. On va ouvrir Photogéonote.
RE3	E1 : Clic droit, ouvrir avec Paint. Il est là. Donc c'est bon. Faire un trait.
RE3	E2 : Après tu mets texte. Tu écris ton texte.
RE3	E1 : Lambeau de roches plus dures.
	0h24
	E2 : On ne peut pas le bouger en fait .
	E1 : Je fais annuler Édition, en plus ça nous fait un cadre blanc, j'aime pas travailler avec un cadre...
	E2 : Fais comme ça.
RE3	E1 : Lambeau de roches.
RE3	E2 : Mettre par contre en couleur
	0h25

	E1 : Ah non, j'ai dé-sélectionné.
	E2 : Allez, re-fait
	E1 : Sinon on laisse comme ça.
RE3	E2 : Ben oui on voit bien. Il faut juste mettre est et ouest.
RE2	E1 : Là c'est ouest... W. lui par contre il faut qu'on le mette en plus gros.
	E2 : Comment tu avais fait tout à l'heure ?
	E1 : On ne le voit pas.
RE3	E2 : Mets le en noir.
	E1 : Sauvegarder.
	E2 : Attends on n'est pas au bout de...
	E1 : Après on va sélectionner notre photo pour la découper.
	E2 : Il faut la garder en entier.
	0h28
	E1 : Déjà on va l'enregistrer... 80... non caractères spéciaux il ne prend pas.
	E2 : Par contre on ne va pas pouvoir lire lambeau de roche dure.
	E1 : Il faudrait le mettre en plus gros.
	E2 : Fermer et ouvrir avec...
	E1 : On laisse comme ça et si il reste du temps ont le modifiera
	E2 : Ca ferme.
	E1 : De toute façon il faut qu'on ferme
EM3	E2 : Fais Édition, Nouveau, Donnée, donc roche prisme d'accrétion...
RE2	E1 : Commentaire, donc roche en feuillet orientée vers l'est.
RE2	E2 : On remarque que les roches plus dures...
RE2	E1 : Des lambeaux de roche dure ont résisté à la compression... C'est les lambeaux qui sont plus durs ou c'est les roches... Allez c'est les roches.
	0h31
	E2 : Maintenant, Édition, Modifier, Carte.
	E1 : C'est la bis.
	E2 : C'est la 182.
	0h32
	E1 : Quand t'as quelqu'un en échelle c'est pas plutôt type paysage ?
	E2 : Un paysage c'est carrément comme ça. Quand on voit tout... Commentaire...
	E1 : Hé ben là où on n'en a pas. C'est plus pour voir... On a fait le commentaire sur l'autre. Ah si... C'est le commentaire général qu'on voulait mettre.
EM4	E2 : Oui les 40 km. Prisme d'accrétion très large s'étendant sur...
	0h33
	E1 : Non, non, c'est en commentaire général ça.
	E2 : Ah ouais. Jamais, O.K. On ne met pas de commentaire général.
	E1 : Attends je regarde, je vérifie, prisme d'accrétion.
	E2 : Donc je mets OK. Édition...
	E1 : Ah tu as fait un nouvel arrêt.
	E2 : Supprimer, Arrêt...
	E1 : Maintenant il faut qu'on ouvre une session en fait pour écrire le commentaire... Non, activer... session...
	E2 : Queyras, c'est ici.
	0h34
	E1 : [rédige le commentaire d'une photo] Donc, arrêt un, on met... non ?
	E2 : Ouais.
EM3	E1 : Il s'agit d'un prisme d'accrétion...

EM3	E2 : Qui témoigne d'un phénomène de subduction
EM4	E1 : On note que le prisme d'accrétion est très large, la roche s'étend sur plus de 40 km.
	0h35
EM3	E1 : Il peut arriver que lorsque le prisme rencontre une montagne il se mélange avec les roches sédimentaires.
	E2 : lorsque le prisme rencontre une montagne les roches se mélangent avec ?
EM3	E1 : Les sédiments du prisme d'accrétion se mélangent avec l'ophiolite. Il peut ainsi arriver... je ne sais pas si c'est très français... Le prisme d'accrétion...
	E2 : Non, les sédiments du prisme d'accrétion...
EM3	E1 : Le prisme d'accrétion rencontre une montagne et les sédiments se mélangent avec l'ophiolite.
	0h38
	E2 : Voilà c'est bon. Maintenant il faut faire quitter et sauvegarder. Donc maintenant il faut faire Géonote... Édition, Nouveau, Donnée... C'est quelle photo ? 176 ?
RE1	E1 : D'abord il faut en qu'on choisisse la 176. C'est la pierre entière. De toute façon ça va les casser.
	E2 : D'abord on va faire les numéros. Ce que l'on a dessiné. Est-ce qu'il faut à ouvrir Paint pour mettre des légendes ? sur la 77 ou 78. C'est la 178. Ouvrir avec Paint..
	E1 : Ah oui. Mais je n'aime pas Paint. Y'a pas ouvrir avec autres choses. Y'a pas Photoshop. PhotoShop c'est mieux.... Photo Editor. Ça va aller mieux là.... Affichage, Unité de mesure...
	E2 : Ca marche comment ?
	E1 : Ca ne va pas. Ah non. On ne peut pas. On peut peut-être mettre du texte non. Le carré c'est ça.
	E2 : C'est pour recouper.
	E1 : C'est pas grave on va faire avec Paint.
	0h39
RE3	E1 : Ca c'est du filon vert actinote chlorite. Tu devrais te mettre.. Ça ne va pas aller. Il faut te mettre en face du trait. La c'est pas grave. Ca va l'enlever tout seul. C'est pas grave. cliques ailleurs.
	E2 : C'est bon c'est bon. Lâche.
	E1 : De toutes façons, on peut l'agrandir après. filon vert actinote chlorite...
	E2 : Si ça paraît gros. Après dans la photo, ça paraît pas gros. Il vaut mieux le laisser comme cela.
	0h40
	E1 : Après...
RE1	E2 : Un où l'on voit bien. Celui là.
RE3	E1 : Ce qu'il faut mettre le pyroxène et le glaucophane . Glaucophane on peut prendre du bleu. Glaucophane en bleu et pyroxène. Pyroxène là et glaucophane là.
	E2 : Dans l'autre sens peut-être ?
	E1 : On est en blanc
	0h41
	E1 : Pyroxène...
	E2 : Qu'est-ce que tu fais ?
RE3	E1 : Il n'est pas en face. avec un accent grave. Il n'est pas très en face mais tant pis.
	E2 : On voit que c'est sur le trait
RE3	E1 : Glaucophane plus en bleu.

	0h42
	E2 : Attends...
	E1 : Et plagioclase en blanc
	E2 : On fait le tour comme ça
	E1 : Non il faut que les légendes soient à la même hauteur.
	E2 : C'était à la même hauteur déjà ?
	E1 : Oui, attend, arrête.
	E2 : Pile. On ne peut pas à faire mieux
	0h43
RE1	E1 : Minéraux. Ça c'est c'est un gabbro poli observées dans le Guil.
	E2 : Ah oui la Guil.
RE1	E1 : Ca, remarque, il faut le garder pour la photo générale où on voit tout.
RE1	E2 : Là on voit un métagabbro.
	E1 : Ca c'est fait je crois que l'on est d'accord.
	0h44
	E2 : Commentaire
EM3	E1 : Alors là... C'est avec le témoin de pression température. Le premier stade de transformation du Gabbro, apparition... Il y a de la glaucophane témoigne d'un premier stade de transformation du gabbro. Avec un faciès basse température haute pression. Environ 35-40 km de profondeur et 350° Celsius. La température reste peu élevée car la lithosphère océanique froide... Est froide et reste froide. Et la pression est importante donc ceci témoigne d'une zone de subduction.... La lithosphère est froide -- loin de la dorsale -- par rapport à une pression importante. Ce faciès témoigne donc d'une zone de subduction.[Lit son commentaire]
EM4	
	E2 : Et bien c'est bon.
EM3	E1 : Et on a aussi un deuxième stade de transformation du gabbro. Apparition du schiste vert.
	0h48
EM3	E1 : Faciès basse température basse pression. Faciès des schistes verts.
	E2 : Tu peux mettre pareil. Environ...
EM3	E1 : Non, on n'a pas la... La lithosphère océanique. Cela montre que après sa descente la lithosphère océanique remonte en surface.
	E2 : La lithosphère océanique...
	E1 : Mais seules des hypothèses... Tu sais c'es ce que l'on avait dit là.
	E2 : On suppose...
EM3	E1 : Non mais on ne sait pas pourquoi elle remonte. On n'a juste des hypothèses. Le bout se décroche... Ah, mais juste qu'on a des hypothèses.
EM3	E2 : Après sa descente...
EM3	E1 : La lithosphère océanique très profonde remonte en surface.
EM3	E2 : Fait entrer... C'est pas grave. Continue, continue on fera après... Remonte en surface mais seules des hypothèses sont avancées.
	0h50
EM3	E1 : ... Remonte en surface mais seules des hypothèses sont avancées sur ce phénomène.[Lit le commentaire]
	E2 : Oui.
	E1 : ...sont avancées sur les origines de ce phénomène.
	E2 : C'est bon là ?
	E1 : OK, oui on n'avait rien d'autre à mettre. Je vais regarder par rapport aux photos.

	E2 : De toutes façons on peut le mettre dans les autres. On a encore une vue.
RE2	E1 : Oui, on n'en a encore une. L'environnement c'est là où on l'a trouvé. On va mettre Guil rivière qui arrache les matériaux. On peut mettre leurs couleurs bleu pour la glaucophane, vert pour actinote chlorite.
	E2 : O.K. on a fini.
	E1 : Il n'est pas très joli.
	E2 : C'est parce qu'il n'est pas droit.
RE2	E1 : Modifier carte. Il faut qu'on trouve le... C'est le même endroit... Queyras... c'est le même côté.
	E2 : Attends, regarde par rapport à la légende.
	E1 : Pourquoi ?
	E2 : Pour voir si...
	E1 : Ah oui. On quitte, Édition, Désactiver, Nouvelle session.
	E2 : Queyras, et après se fait dans le B. Ophiolite, on en avait des ophiolites ?
	E1 : Non c'est pas...
	E2 : Non, c'était pour la semaine dernière.
RE2	E1 : Il n'y a rien qui correspond. Ah oui. C'est par le ce que c'est la rivière qui l'a descendu.
RE2	E2 : Les roches elles sont dans la rivière en fait.
	E1 : Oui.
	E2 : Comment on fait ?
	E1 : On ne peut pas la voir la rivière.
	E2 : Ben non
RE2	E1 : Tant pis on met juste un arrêt à côté.
	<i>0h54</i>
RE2	E2 : Là.
RE2	E1 : Non, là plutôt. Parce que nous ont on est revenu par là.
	E2 : On fait Session, Quitter
	E1 : On avait effet des modifications ?
	E2 : Où ça ?
	E1 : Sur la session.
	E2 : Activer, ol, Modifier carte. Queyras, mets le un petit peu là.
	E1 : On le met par là.
	E2 : Oui, ou peut-être un petit peu... Sinon il va être dessus.
	E1 : ce n'est pas grave.
	E2 : Après c'est quand tu cliques que tu risques de les confondre.
	E1 : Regarde, ne peut pas, il faut attendre qu'il y ait la petite croix.
	E2 : on se met là. Clic droit.
	E1 : non
	E2 : Clic gauche, c'est 78 bis. Clic gauche, édition supprimer. Tu vois que je te l'avais dit.
	E1 : Édition, Nouveaux, Données...
	E2 : Pas dans le bureau, numéro 176.
	E1 : Là c'est roche titre, métagabbro, on a mis quoi pour... Et la on ne voulait pas mettre autre chose ? la c'était les titres que l'on voulait mettre dans la vue. C'est bons c'était...
	<i>0h56</i>
	E1 : Métagabbro poli observé dans la Guil.. On avait juste mis métagabbro.
	E2 : Oui

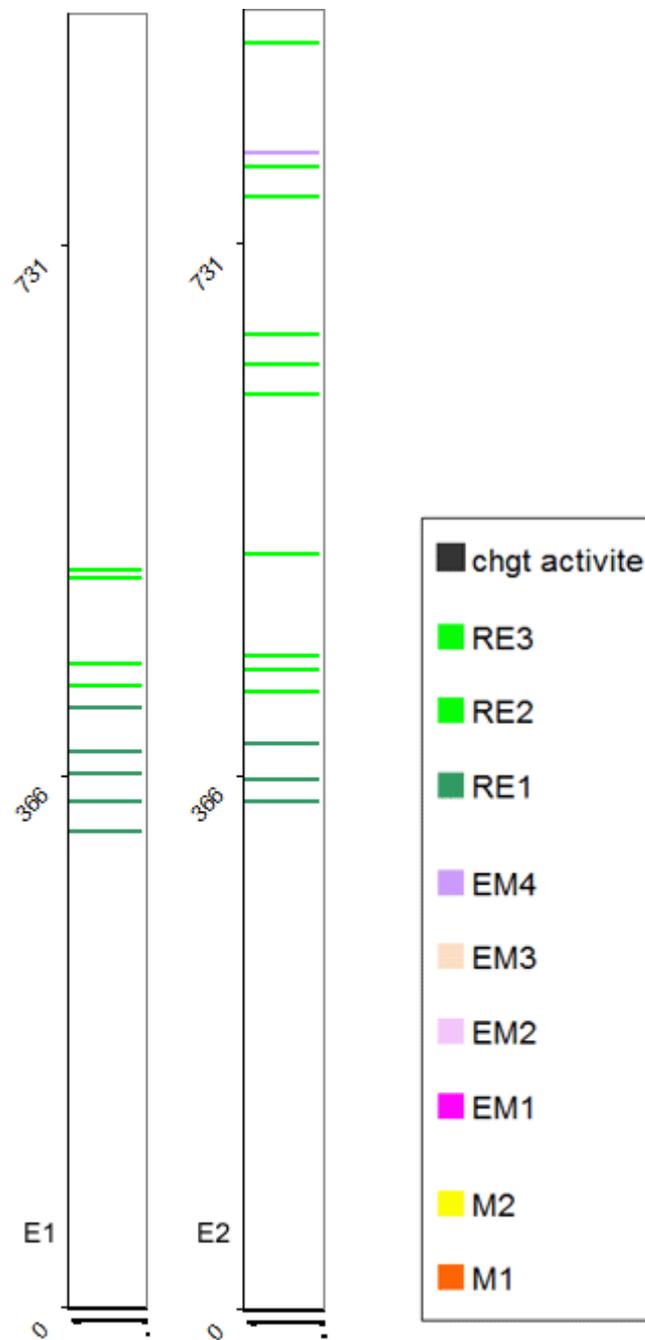
	E1 : Par contre la Guil je ne sais pas comment ça s'écrit. Comme ça ?
	E2 : Oui
	E1 : Il n'y avait pas un S ?
	E2 : Non, elle nous avait dicté.
	E1 : On va mettre un... c'est pas moi. Je suis sur les photos. On ne peut pas être de partout. Commentaire. On va mettre les couleurs. Donc roches de couleur bleue.
	E2 : Ce qui se traduit...
RE2	E1 : Couleur bleue due à la présence d'amphibole glaucophane
	E2 : S
RE2	E1 : Non, c'est la même chose amphibole et glaucophane. Blanc...
	E2 : Blanc comment ça ?
	E1 : Sinon, on peut mettre de couleur... Blanc dû au...
	0h58
RE2	E2 : ...Plagioclase. Vert et on a aussi marron, c'est les pyroxènes en feuillets poli. Et vert...
RE2	E1 : Dû à l'actinote et chlorite
	E2 : Donc c'est bon O.K.
	0h59
	E2 : Édition, Modifier carte, Queyras. Et donc maintenant il ne reste plus que l'affleurement.
	E1 : L'environnement
RE1	E2 : L'environnement donc... C'est la 179 normalement.
	E1 : C'est ça.
	E2 : Elle est là.
	E1 : Titre...
	1h00
	E1 : Guil... On met le commentaire ?
RE2	E2 : Les gabbros ont été observés. On ne pouvait pas les mettre autour du Queyras
	E1 : Métagabbro... Non il faut expliquer pourquoi ils ont été observés dans la Guil
	E2 : Rivière de Château Queyras...
	E1 : Rivière. qui arrache les matériaux des massifs supérieurs
	E2 : Rivière qui arrache les matériaux...
	1h01
	E1 : Des massifs supérieurs... Titre.
	E2 : On peut mettre...
	E1 : Oui
	E2 : Non c'est la rivière qui s'appelle Guil.
	E1 : On met O.K.
	E2 : Oui, donc maintenant Édition, Modifier carte. Queyras
	1h02
	E1 : J'ai cliqué.
	E2 : Tu n'avais pas dû bien cliquer.
	E1 : Roches environnement... Maintenant il faut annoter.
	E2 : Non, ça c'est avec l'autre personne. Maintenant il faut quitter, ouvrir une session et faire un commentaire général.
	E1 : Ah, on a mis les gabbro foliés
	E2 : Il faut le mettre dans la Guil. Fais le commentaire général et après on ira. On ne voulait pas mettre...
	E1 : Il est où l'autre commentaire qu'on avait mis

	E2 : Il est dessous
	E1 : Non
	E2 : C'est parce qu'on a rouvert une nouvelle session.
	E1 : Il faut ouvrir charger une session.
	1h03
	E1 : L'autre c'était quand on était venu voir.
	E2 : C'est l'arrêt 2
	E1 : Mais l'arrêt 2 on a des choses à dire dessus ?
	E2 : Je ne sais
	E1 : Non, pour l'instant il faut que l'on rajoute les gabbro foliés.
	E2 : Bien alors quitte. Édition, Activer, Nouveau, Donnée.
	E1 : Gabbro foliés. C'est la numéro 84.
	1h04
	E2 : Donc...
	E1 : C'est roche... Titre : gabbro foliés.... Commentaire. [Lit ses notes] Témoigne de la contrainte exercée sur le gabbro, surtout divergence. Les gros cristaux se cassent en petits cristaux. Augmentation des surfaces d'échange et donc augmentation du métamorphisme. Transformations, métamorphose, par rapport à un gabbro normal d'où une couleur beaucoup plus noire.
	E2 : Donc je met tout ça ?
	E1 : Donc témoignage de la contrainte... tu veux que je tape ?
	E2 : Non, ça va.
	E1 : ...[dicte] exercée sur le gabbro. Les gros cristaux se cassent en petits cristaux qui se ré-alignent. Il y a donc augmentation de la surface d'échange entre les cristaux de classes différentes. D'où une augmentation des transformations métamorphiques par rapport à un gabbro normal.
	1h06
RE2	E1 : Le gabbro folié a donc une couleur beaucoup plus unie.
	E2 : Par strates. C'est ça ?
RE2	E1 : Non, dans son l'ensemble. Il est tout noir où il est tout vert. Ou il est tout bleu où il est tout vert. Dans ce cas tout bleu noir [lit le commentaire]
	1h07
	E2 : Donc c'est bon. Édition, Modifier, Carte. C'est la 2, 184.
	[intervention de l'enseignant]
	E1 : On n'a pas mis notre commentaire.
EM3	E2 : On peut mettre une conclusion générale pour dire que le Queyras témoigne d'une zone de subduction.
	E1 : A l'arrêt 2, le métamorphisme des gabbros...
	1h08
	E1 : ...[dicte] en étudiant le métamorphisme des gabbros avec le diagramme pression température...
	E2 : ...[écrit] en étudiant le métamorphisme des gabbro avec le diagramme pression température.
EM3	E1 : On peut que conclure que celui-ci correspond à un métamorphisme...
EM3	E2 : Au métamorphisme des gabbro dans une zone de subduction. Le métamorphisme du Queyras est donc bien...
EM3	E1 : Une zone de subduction.
	E2 : C'est pas ça qu'il faut annoter.
	E1 : Il faut cliquer sur un arrêt.

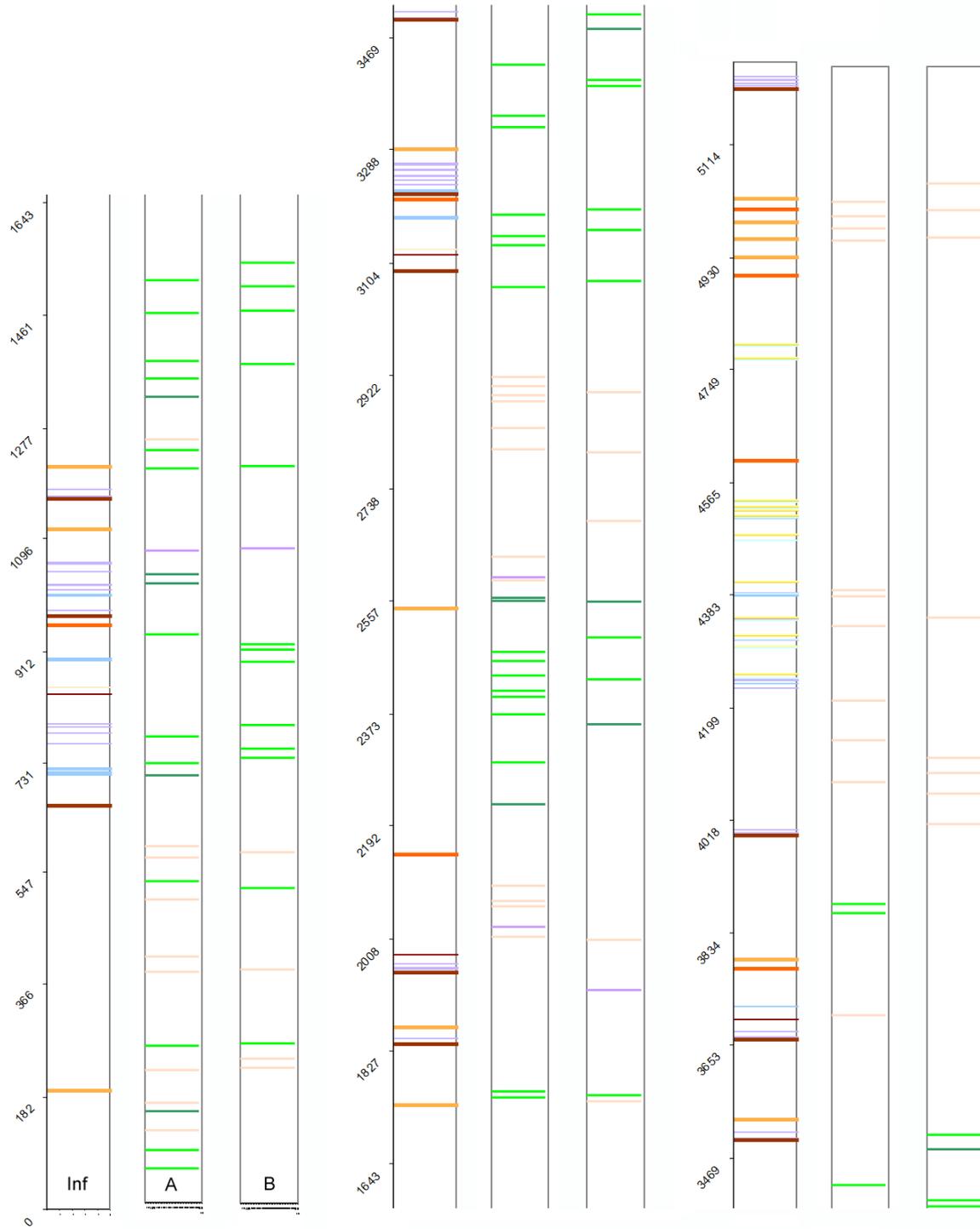
	E2 : Clic droit normalement.
	E1 : Annoter.
	E2 : C'est quoi est là. C'est la roche.
	E1 : Métagabbro
	E2 : Et bien, métagabbro.
EM3	E1 : On peut en mettre plusieurs... Subduction. On met ça ?
	E2 : O.K. maintenant il faut faire pareil avec les autres. Il faut revenir à la vue. Non, tu as cliqué sur le un
	1h13
	E1 : C'est pas grave on va annoter.
	E2 : Le folié...
	E1 : Le gabbro folié, le 84, c'est dans Vue aussi. On est obligé de retourner là.
	E2 : Oui, c'est roche. Clic droit.... Foliés. O.K. tu voulais mettre autre chose
	E1 : C'est pas grave, on peut modifier de tout façon après
	E2 : Retourne sur vue, la petite croix Queyras. Et après il n'y a plus que la rivière
	E1 : Le prisme d'accrétion.
	E2 : Oui mais ça c'est dans le 1.
	E1 : On peut faire-le 1 aussi, on n'est pas obligé. On fait quoi. La vue d'ensemble. 181 avec les lambeaux durs.
EM3	E2 : Il vaut mieux faire la vue d'ensemble. C'est quoi ce que tu voulais mettre ? Prisme d'accrétion ?
	E1 : Oui.
EM3	E2 : C'est la 182 normalement. Prisme d'accrétion.
	E1 : On peut le mettre à schiste lustré pour le...
	1h15
	E2 : On peut demander.
	E1 : Les schistes lustrés on met pas ?
	E2 : Sur quelle photo ?
EM3	E1 : Sur les lits en S ou. On peut mettre plissement.
	E2 : Vu, petite croix roche 180.
	E1 : Oui mais il y a là 183 aussi.
	E2 : N'importe, 180 clic droit.
	E1 : Tu mets en S.
	E2 : Pourquoi ça ne l'affiche pas.
	E1 : [lit un message] Impossible de charger cette donnée probablement déplacée
	E2 : Essaye de la lire
	E1 : On ne peut pas, regarde elle n'est pas là.
	E2 : On peut lire les autres. Oui il n'y a que celle-là que l'on ne peut pas lire
	E1 : Met le commentaire sur la 183, on dira y a eu un bogue et puis voilà. pli ou plissement ?
	E2 : C'est un plissement. C'est pareil un pli et un plissement.
	E1 : Il faut qu'on aille voir dans Édition, Activer.
	1h17
	E1 : Déjà on va enregistrer là. La session elle est enregistrée.
	E2 : Par contre il faut quitter la session.
	E1 : La 81 elle veut pas se charger.
	E2 : Va voir, Édition, si on peut la changer ou faire quelque chose. Il faut quitter d'abord.
	[Intervention de l'enseignant]

	1h20
	E2 : ...mais que la 81 on l'a faite mais qu'elle a pas marché.
	E1 : On va essayer. La 83 on l'a mise mais on n'a pas de commentaire. Voilà 83 confère... A mais on a peut-être les infos ailleurs. Il faut refaire vue Queyras. Nul.
	E2 : Non.
	E1 : Essaye de faire avec elle.
	E2 : Dégoûtée...
	E1 : On avait mis quoi dessus ?
	E2 : On avait mis plein de trucs. On avait tout raconté.
	1h21
	E2 : Ah oui on avait mis tout phengite, minéral qui brille...
	E1 : Mme, on a perdu tout nos commentaires.
	[Intervention de l'enseignant]
	1h24
	E1 : Qu'est-ce qu'on avait mis ?
	E2 : Je ne me rappelle plus. On avait dit un gros truc.
EM3	E1 : On observe un pli en S du à un raccourcissement témoin d'une subduction. Et après on avait mis qu'il y avait de la phengite.
EM3	E2 : A un raccourcissement.
	E1 : On observe de la phengite qui est un minéral...
	E2 : Schiste Lustré.
EM3	E1 : Le prisme d'accrétion est constitué de schistes lustrés. De roches sédimentaires déformées. C'est la même chose.
	1h26
	E1 : Est constitué de roches sédimentaires déformées.
	E2 : Entre parenthèses schistes lustrés.
	E1 : Notamment phengite qui est un mica entre parenthèses minéral qui brille
	1h27
	E2 : D'où son nom de schiste lustré
	E1 : Il faut quitter
	E2 : Tant pis. Modifier, Carte.
	E1 : Je fais quoi. Désactiver.

séance B : terrain (berges du Guil)



séance C : exploitation de l'école de terrain



Annexe J : Formulaire du questionnaire des expérimentations 2005

Questionnaire d'évaluation de Géonote

A. Questions portant sur le logiciel

A1. Donnez des notes au logiciel (de 0 à 20)

Du point de vue de sa facilité d'utilisation :/20

Du point de vue de son intérêt pour préparer la sortie géologique (séance 1) :/20

Du point de vue de son intérêt pour exploiter la sortie géologique (séance 3) :/20

A2. Quel(s) aspect(s) du logiciel avez-vous aimé(s) ?

.....

.....

.....

A3. Quel(s) aspect(s) du logiciel vous a (ont) déplu ?

.....

.....

.....

A4. Quel est, selon vous, ce qu'il faut changer dans le logiciel ?

.....

.....

.....

A5. Quelle(s) difficulté(s) avez-vous rencontrée(s) dans l'utilisation du logiciel ?

.....

.....

.....

B. Questions portant sur le travail sur le terrain

B1. Donnez une note (de 0 à 20) :

* au travail que vous avez réalisé sur le terrain dans les secteurs

- du Chenaillet :/20

- du Queyras (torrent du Guil, affleurement de schistes lustrés...) :/20

- du Galibier (panorama du Lautaret, affleurements du Galibier...) :/20

* au thème de géologie que vous avez étudié (chaîne de collision) :/20

B2. Qu'avez-vous aimé faire lors de ce travail de terrain ?

.....
.....
.....

B3. Quel(s) aspect(s) de ce travail de terrain vous a (ont) déplu ?

.....
.....
.....

B4. Quel est, selon vous, ce qu'il faut changer dans l'organisation de ce travail de terrain ?

.....
.....
.....

B5. Quelle(s) difficultés avez-vous rencontrée(s) lors du travail sur le terrain ?

.....
.....
.....

C. Remarques et suggestions que vous souhaiteriez ajouter :

.....
.....

Annexe K : Formulaire du questionnaire des expérimentations 2006

Evaluation de la classe de terrain dans le Briançonnais

Début de l'enquête : octobre 2006

1. Identification :

1. a) Sexe :

garçon fille

1. b) Nom :

1. c) Etudes envisagées après le baccalauréat (plusieurs réponses possibles) :

mathématiques biologie géologie physique chimie médecine pharmacie paramédical informatique agronomie autre

1. d) Je consulte Internet (plusieurs réponses possibles) :

de chez moi au lycée autre jamais

2. Point de vue sur le logiciel Géonote :

2. a) Pour chacune des fonctionnalités du logiciel indique sa facilité de prise en main :

	très facile	facile	difficile	très difficile
1 - Ouvrir une session et choisir un secteur géographique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2 - Se déplacer, zoomer sur la carte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3 - Naviguer entre les différentes fenêtres	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4 - Ouvrir une donnée et consulter ses informations	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5 - Superposer différentes informations sur une carte (transparence)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6 - Créer une donnée	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7 - Lier une donnée à la carte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

2. b) Quelle(s) fonctionnalité(s) faudrait-il ajouter au logiciel pour l'améliorer ?

2. c) Pour créer tes données pour Géonote, as-tu utilisé un autre logiciel ?

oui non

2. c) bis - Si oui, lequel et pour faire quoi ?

2. d) Pour terminer l'édition de tes données à la maison, tu as consacré :

j'avais terminé en classe moins d'une heure entre 1 et 2 heures entre 2 et 3 heures entre 3 et 4 heures entre 4 et 6 heures plus de 6 heures

3. Utilisation du site de consignes :

3. a) T'es tu connecté(e) à ce site pour faire le travail à la maison ?

oui non

3. a) bis - Si oui, tu as utilisé un ordinateur (plusieurs réponses possibles) :

personnel familial du lycée d'un(e) camarade autre

3. b) Donne ton point de vue pour chacune des propositions relatives au travail de préparation à la maison :

	plutôt d'accord	plutôt pas d'accord
1 - Une fiche de consignes sous forme de pages Web présentant des liens donne accès à une information plus claire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2 - C'est facile et pratique d'accéder à un site de consigne pour réaliser son travail à la maison	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3 - C'est utile de pouvoir consulter les consignes d'un TP avant le jour de sa réalisation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

4. Travail réalisé :

4. a) Pour chacune des activités, indique si tu l'as réalisée :

	réalisé	non réalisé
1 - Préparer le travail de terrain en utilisant le logiciel Géonote	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2 - Rechercher des échantillons de roches pour les nommer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3 - Utiliser une loupe pour déterminer les minéraux d'une roche	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4 - Utiliser une photographie aérienne pour se localiser	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5 - Localiser l'itinéraire parcouru sur une carte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6 - S'orienter sur le terrain à l'aide d'une boussole	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7 - Utiliser la photographie d'un panorama pour s'y repérer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8 - Déterminer les coordonnées géographiques à l'aide d'un GPS	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9 - Repérer les limites des roches et les reporter sur une carte topographique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10 - Rechercher sur le terrain des traces de la formation d'une chaîne de collision et les photographier	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11 - Rechercher sur le terrain des traces de la formation d'une chaîne de collision et les schématiser	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12 - Réaliser la maquette d'un pli à l'aide de pâte à modeler	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13 - Utiliser le logiciel Géonote pour insérer des photographies commentées sur une carte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14 - Rédiger l'histoire géologique des Alpes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

4. b) Pour chacune des activités réalisées, indique son niveau de difficulté :

	très facile	facile	difficile	très difficile
1 - Préparer le travail de terrain en utilisant le logiciel Géonote	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2 - Rechercher des échantillons de roches pour les nommer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3 - Utiliser une loupe pour déterminer les minéraux d'une roche	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4 - Utiliser une photographie aérienne pour se localiser	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5 - Localiser l'itinéraire parcouru sur une carte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6 - S'orienter sur le terrain à l'aide d'une boussole	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7 - Utiliser la photographie d'un panorama pour s'y repérer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8 - Déterminer les coordonnées géographiques à l'aide d'un GPS	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9 - Repérer les limites des roches et les reporter sur une carte topographique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10 - Rechercher sur le terrain des traces de la formation d'une chaîne de collision et les photographier	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11 - Rechercher sur le terrain des traces de la formation d'une chaîne de collision et les schématiser	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12 - Réaliser la maquette d'un pli à l'aide de pâte à modeler	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13 - Utiliser le logiciel Géonote pour insérer des photographies commentées sur une carte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14 - Rédiger l'histoire géologique des Alpes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

4. c) Pour chacune des activités, indique son niveau d'intérêt :

	très intéressant	intéressant	peu intéressant	pas intéressant
1 - Préparer le travail de terrain en utilisant le logiciel Géonote	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2 - Rechercher des échantillons de roches pour les nommer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3 - Utiliser une loupe pour déterminer les minéraux d'une roche	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4 - Utiliser une photographie aérienne pour se localiser	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5 - Localiser l'itinéraire parcouru sur une carte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6 - S'orienter sur le terrain à l'aide d'une boussole	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7 - Utiliser la photographie d'un panorama pour s'y repérer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8 - Déterminer les coordonnées géographiques à l'aide d'un GPS	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9 - Repérer les limites des roches et les reporter sur une carte topographique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10 - Rechercher sur le terrain des traces de la formation d'une chaîne de collision et les photographier	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11 - Rechercher sur le terrain des traces de la formation d'une chaîne de collision et les schématiser	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12 - Réaliser la maquette d'un pli à l'aide de pâte à modeler	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13 - Utiliser le logiciel Géonote pour insérer des photographies commentées sur une carte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14 - Rédiger l'histoire géologique des Alpes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

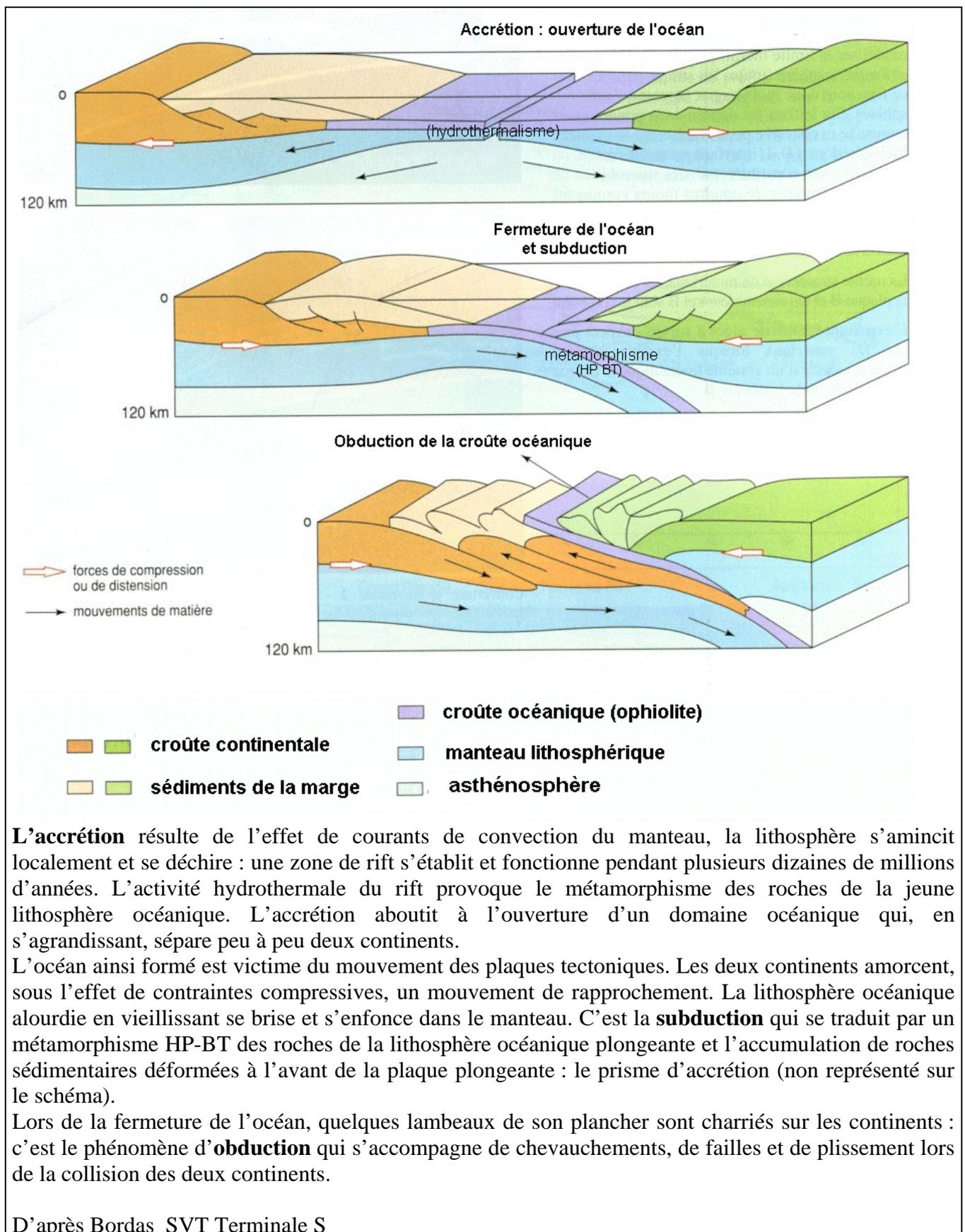
5. Intérêt de l'excursion géologique :

Pour chacune des propositions indique ton niveau d'accord :

	plutôt d'accord	plutôt pas d'accord
1 - J'ai apprécié le fait de travailler en groupe sur le terrain	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2 - J'ai apprécié vivre avec d'autres camarades de la classe pendant deux jours	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3 - Généralement je comprenais ce que je faisais et pourquoi je le faisais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4 - Connaître le modèle scientifique de formation d'une chaîne de collision a été utile pour comprendre ce que l'on a observé sur le terrain	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5 - J'ai apprécié les paysages, l'immersion dans la nature	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6 - J'ai apprécié la marche, les efforts physiques à fournir	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7 - Le travail sur le terrain est très motivant	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8 - On apprend mieux sur le terrain qu'en classe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9 - Depuis ce travail sur le terrain j'ai une meilleure opinion de la géologie	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Envoyer

Annexe L : Modèle scientifique proposé aux élèves (expérimentation 2005)



Annexe M : Réponses du binôme 9nnuguet1 lors de la séance A (réponses rédigée dans le bloc-note de Géonote)

Proposez un itinéraire précis à parcourir à pied (depuis l'arrêt du bus à Cervière), permettant d'observer les indices recherchés. Décrivez et justifiez cet itinéraire puis tracez le sur la carte topographique de la fig. 3.

A l'aide des informations apportées par la carte et le calendrier géologique, datez (en Ma) et situez la période géologique (ère, système) durant laquelle ce secteur géographique était occupé par un domaine océanique

*« j'ai choisi l'arrêt 3 car on y trouve des affleurements de gabbro.puis l'arrêt 2 car il y a de la serpentinite qui est de la peridotite hydratée.ainsi que l'arrêt 4 car on y trouve des basaltes en coussins (pillows).pour une question pratique on fera les arrêts dans l'ordre 2,3,4.
itinéraire: depuis l'arrêt de bus à Cervières, rejoindre l'itinéraire balisé sur sentier (rose) à vol d'oiseau 2,7 km.donc environ 4 ou 5 kilomètres.
ce secteur géologique était occupé par un domaine océanique au système du jurassique (ère mésozoïque),entre 200 et 18 Ma d'années. »*

En mettant en relation la carte géologique du Galibier (fig.5) et le bloc diagramme d'un chevauchement (fig.4), indiquez en quoi la succession des âges des terrains rencontrés sur le parcours matérialisé par des arrêts sur la carte indique la présence de chevauchements dans ce secteur géographique.

« on remarque une alternance des âges des terrains a l'arrêt 2 : éocène (jeune), arrêt 3: jurassique (plus ancien), arrêt 4: crétacé (plus récent), arrêt 5 : trias: quartzites et cargneules (plus ancien), et enfin arrêt 6: jurassique (plus récent que trias). »

Pour les arrêts disponibles, identifiez les indices en faveur du scénario chaîne de collision.

*« j'ai choisi l'arrêt 2 pour pouvoir voir un affleurement de metagabbro.
a l'arrêt 2 il y a présence d'ophiolite roche appartenant à la croûte océanique ce qui est la preuve d'un phénomène d'une chaîne de collision.
a l'arrêt 1 présence de schiste lustrés qui sont des meta-sédiments océaniques orientés vers le haut. »*

Annexe N : Documents géoréférencés par le binôme 9nuguet1

	DSCF0176.JPG
	<typeGeologique>roche
	<auteur>alice ricq
	<titre>métagabbro poli observé dans la guil
	<commentaire>roche de couleurs : bleue due à la présence d'amphiboles glaucophanes blanche due aux plagioclase marron due aux pyroxènes en feuillets polis verte due aux actinotes et chlorites

	DSCF0178bis.JPG
	<typeGeologique>minéraux
	<auteur>alice ricq
	<titre>métagabbro
	<commentaire>il y a de la glaucophane qui témoigne d'un premier stade de transformation du gabbro. Avec un faciès BT/HP (environ 35-40 km de profondeur et 350°C) La température est peu élevée car la lithosphère océanique est froide (loin de la dorsale) par rapport à une pression importante ce faciès témoigne donc d'un phénomène de subduction. On a un deuxième stade de transformation du gabbro avec l'apparition de schistes verts. faciès des schistes verts :BT/BP, prouvant qu'après sa descente la lithosphère océanique très profonde remonte en surface, mais seules des hypothèses sont avancées sur les origines de ce phénomène.



DSCF0179.JPG
<typeGeologique>environnement
<auteur>vide
<titre>rivière Guil
<commentaire>les métagabbros ont été observés dans la Guil, rivière qui arrache des matériaux des massifs supérieurs.</



DSCF0180bis.JPG
<typeGeologique>roche
<auteur>alice ricq
<titre>plis en S
<commentaire>on observe un plis en S dû à un raccourcissement témoin d'une subduction. le prisme d'accrétion est constitué de roches sédimentaires déformées (=schistes lustrés) notamment la phengite qui est un micas (minéral qui brille d'où son nom de schiste lustré).



DSCF0181bis.JPG

<typeGeologique>roche

<auteur>alice ricq

<titre>prisme d'accrétion

<commentaire>roches en feuillets orientées vers l'Est. on remarque que des lambeaux de roches plus durs ont résisté à la compression.



DSCF0182.JPG

<typeGeologique>affleurement

<auteur>alice ricq

<titre>prisme d'accrétion

<commentaire>vide



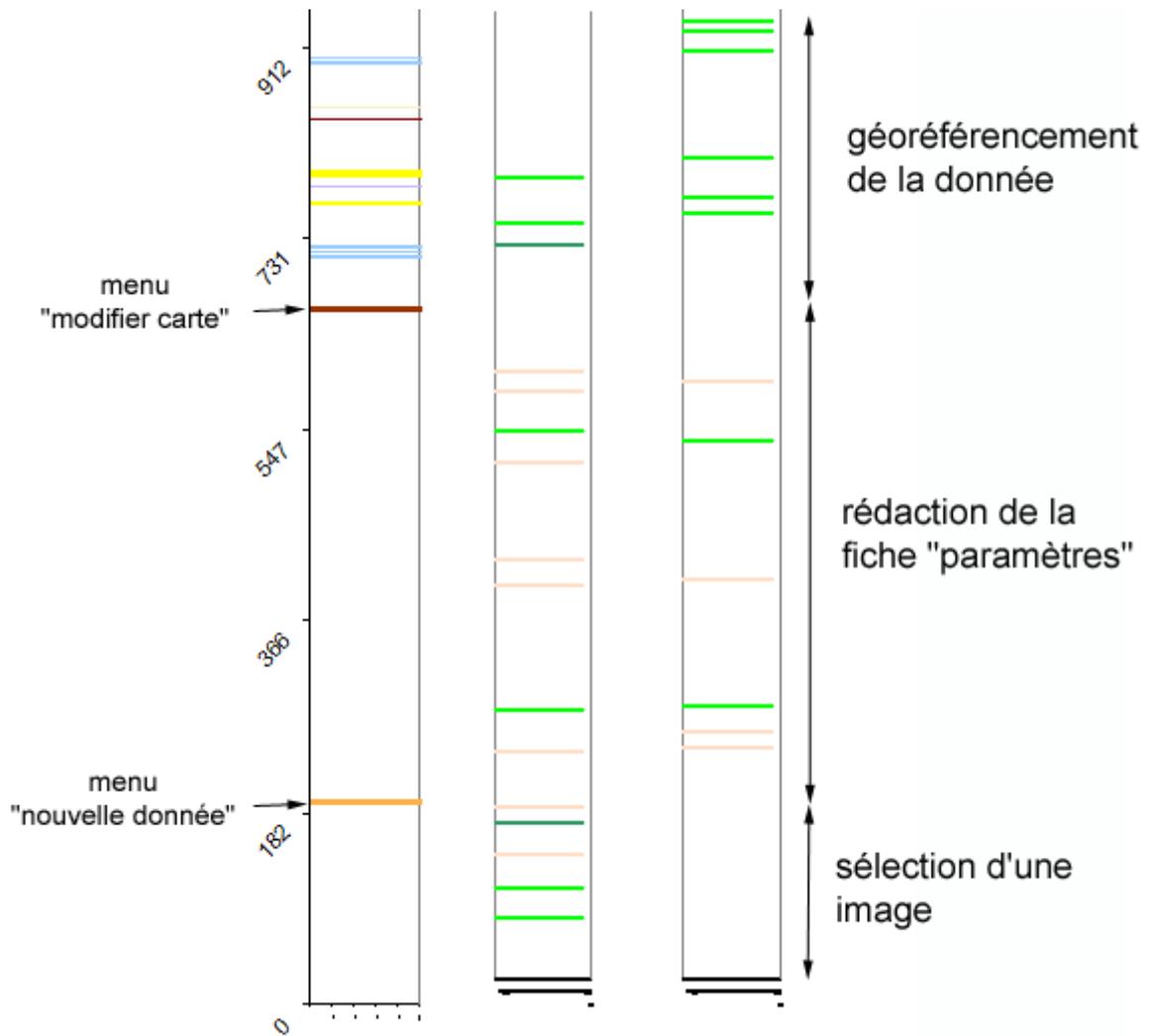
DSCF0183.JPG
<typeGeologique>roche
<auteur>alice ricq
<titre>plis en S (2)
<commentaire>cf "plis en S" </



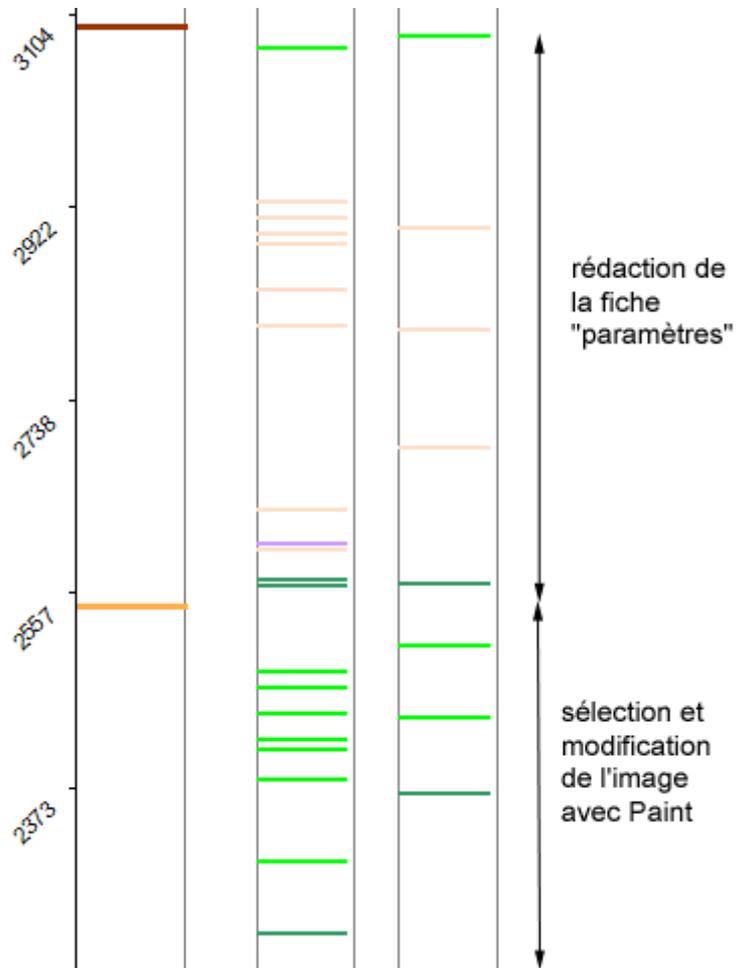
DSCF0184.JPG
<typeGeologique>roche
<auteur>alice ricq
<titre>gabbro folié
<commentaire>témoignage de la contrainte exercée sur les gabbros. les gros cristaux se cassent en petits cristaux qui se réalignent par classe. il y a donc une augmentation de la surface d'échange entre les cristaux de classe différente. d'où une augmentation des transformations métamorphiques (par rapport à un gabbro "normal") le gabbro folié à donc une couleur beaucoup plus unie (dans ce cas bleu noir)

Annexe O : Binôme 9nuguet1, extraits de chronogrammes correspondants à la création des données

Donnée 1

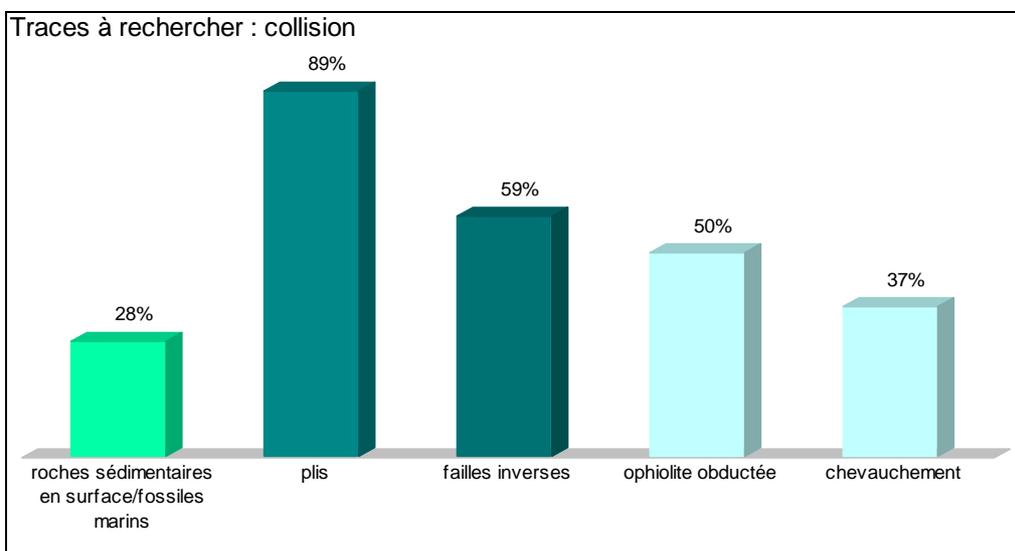
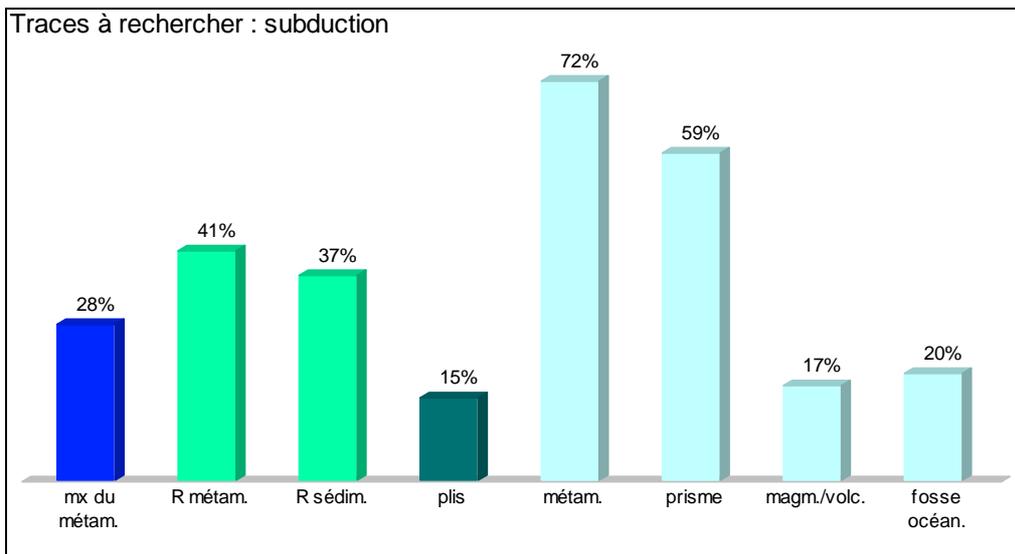
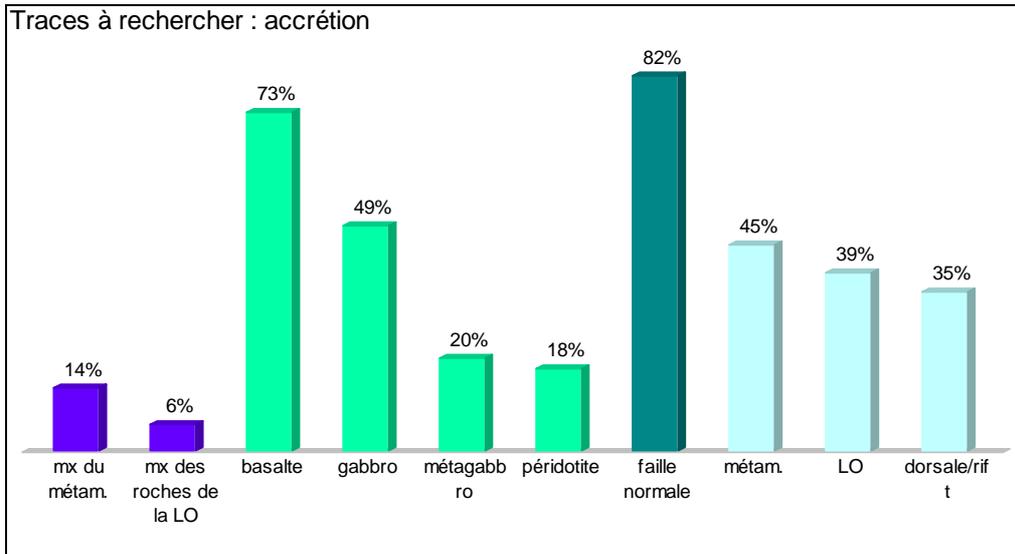


Donnée 3

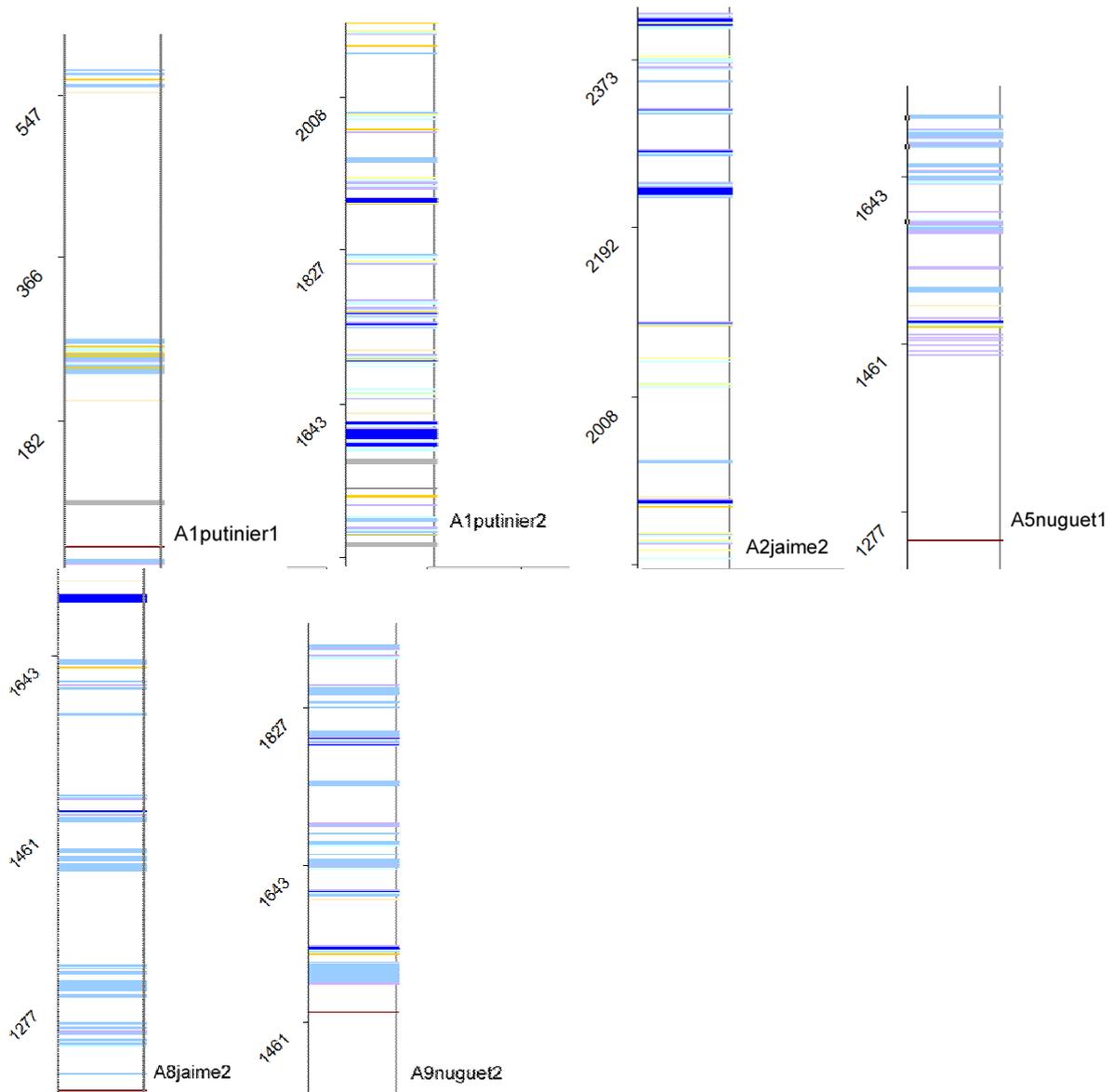


Annexe P : Indices à rechercher indiqués par les élèves dans leurs réponses (2005)

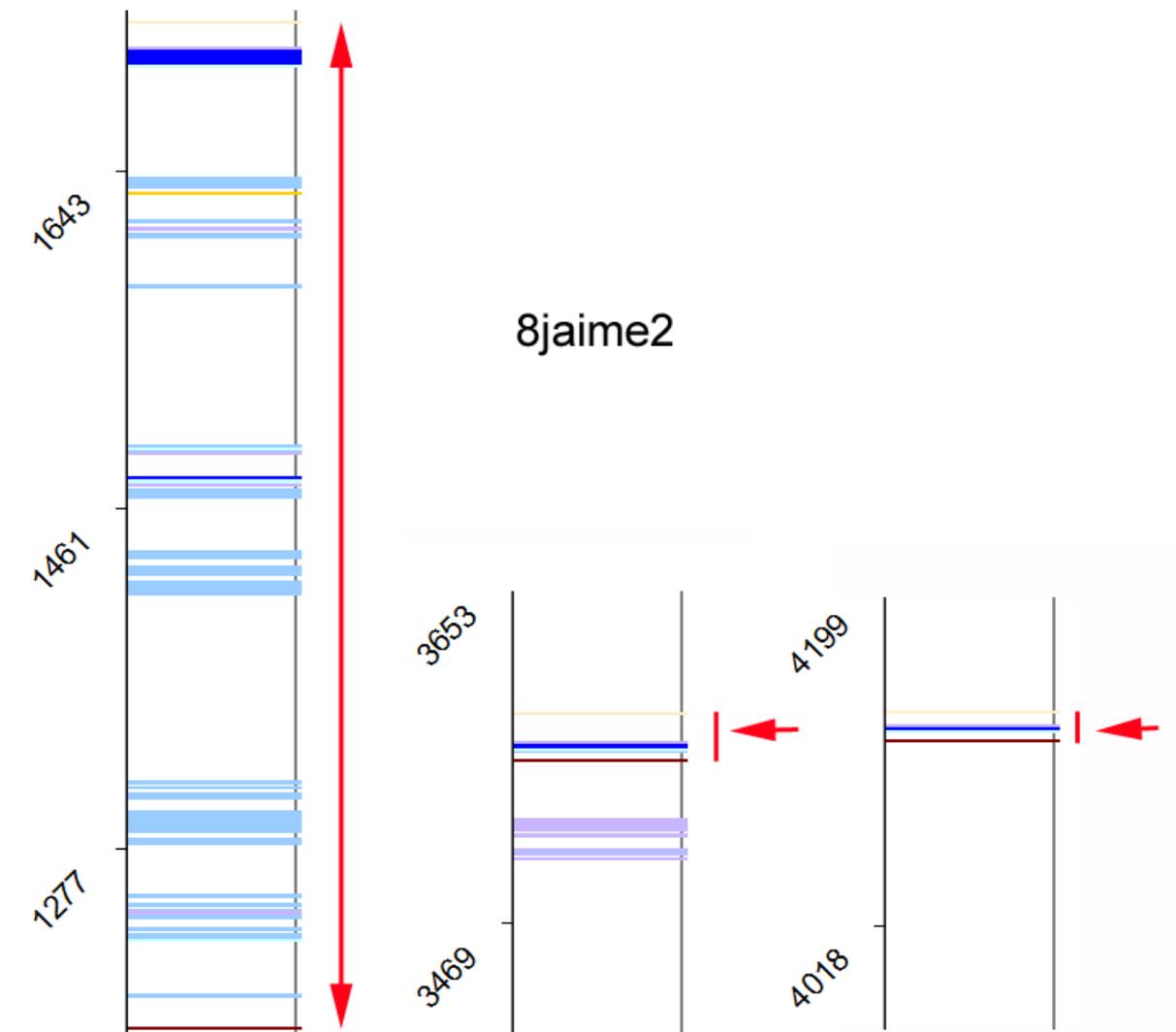
Interrogés : 50 / Répondants : 49 / Réponses : 188



Annexe Q : Extraits de chronogrammes correspondant à la prise en main de l'application

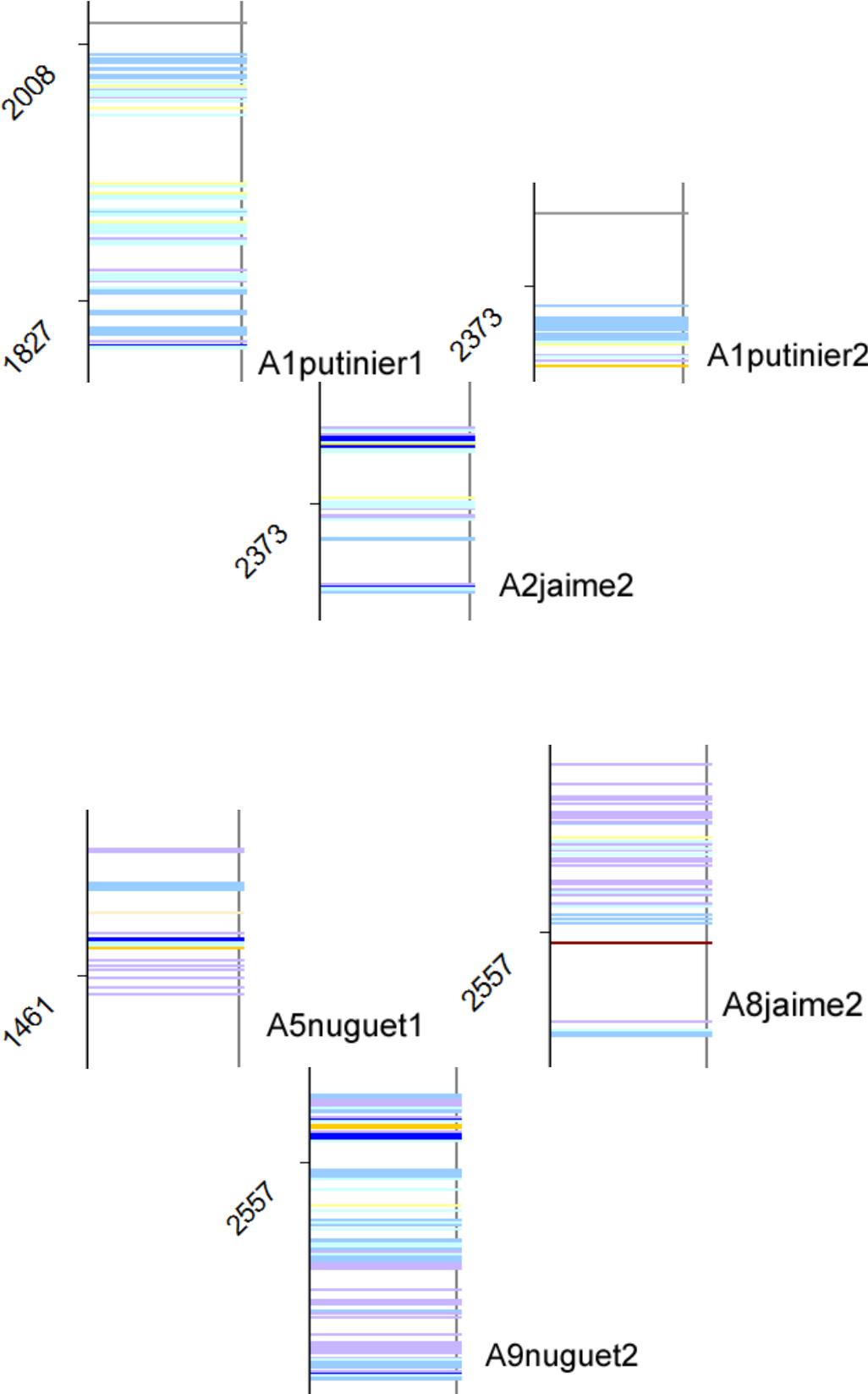


Annexe R : Extraits de chronogrammes du binôme 8 jai2 correspondants à l'ouverture d'une session et à l'organisation de l'interface

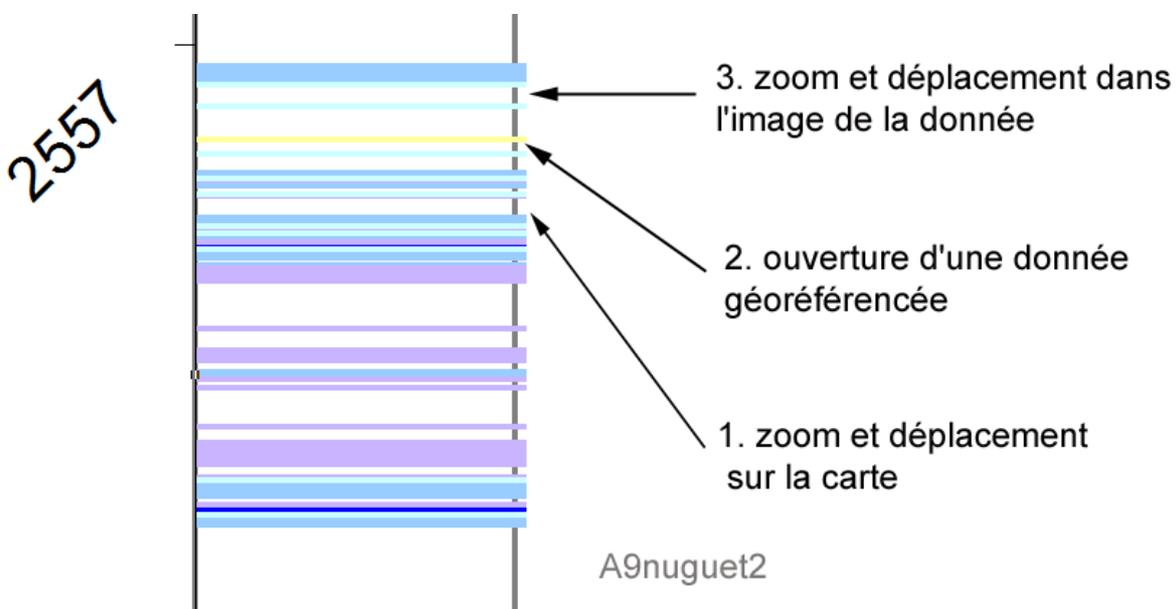


La flèche rouge indique la phase qui en début de session, conduit à organiser l'interface de l'application. Elle débute avec l'ouverture d'une nouvelle session (barre marron) et se termine avec l'affichage de la légende de la carte (barre beige).

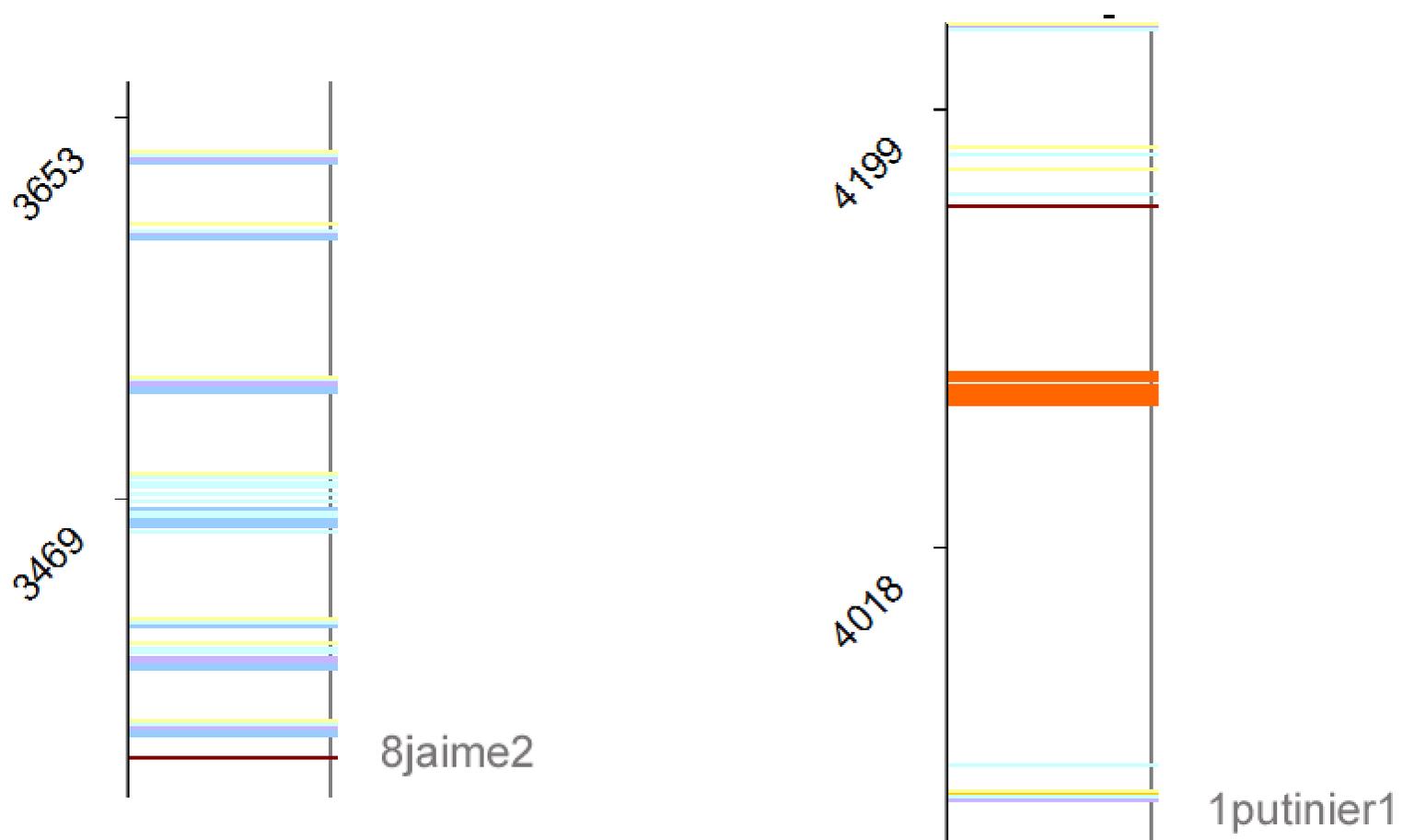
Annexe S : Extraits de chronogrammes correspondants à l'ouverture d'une donnée géoréférencée



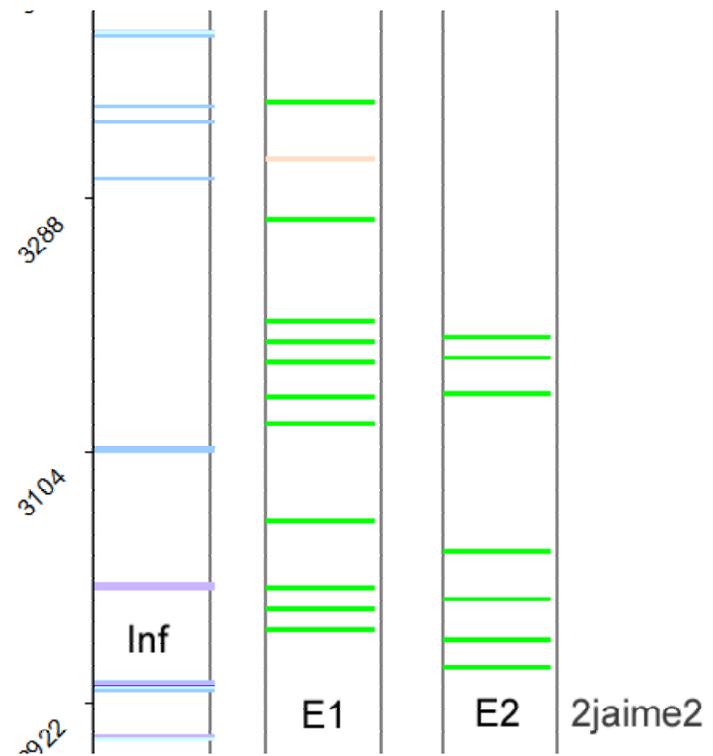
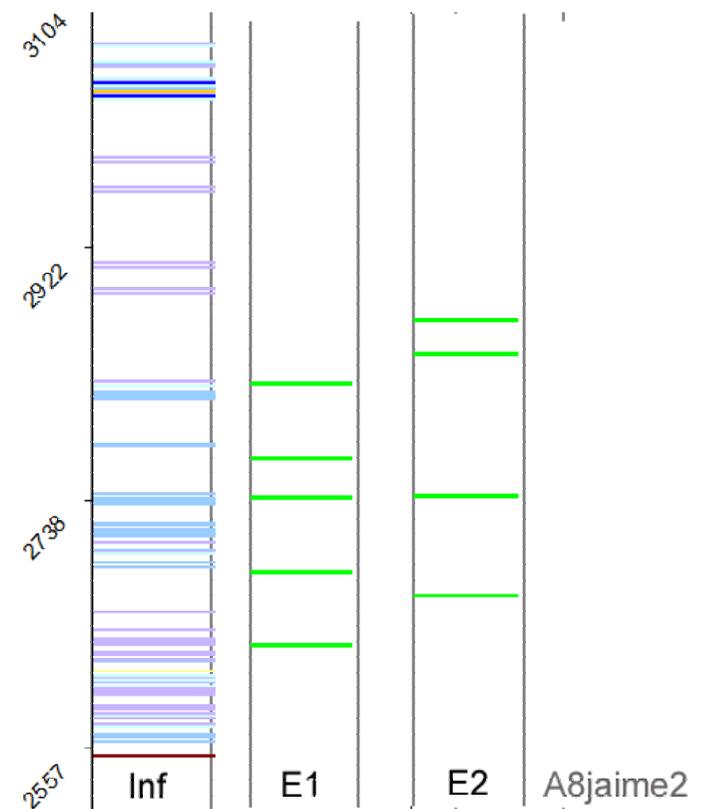
Annexe T : Motif informatique correspondant à la consultation d'une donnée géoréférencée



Annexe U : Extraits de chronogramme correspondants à l'ouverture de données géoréférencées lors de la phase d'édition des données



Annexe V : Extraits de chronogramme au cours du tracé de l'itinéraire

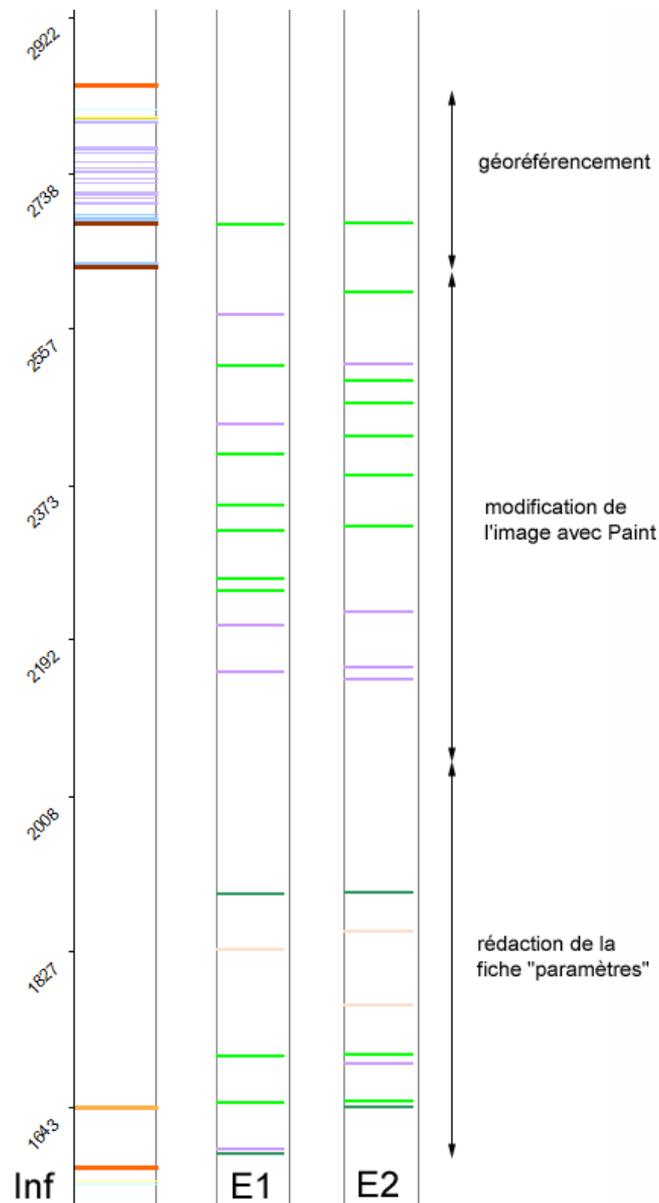


Annexe W : Documents géoréférencés par les élèves (image sélectionnée, texte saisi et extrait de chronogramme correspondant)

C1putinier2 commentaire du panorama du Chenaillet



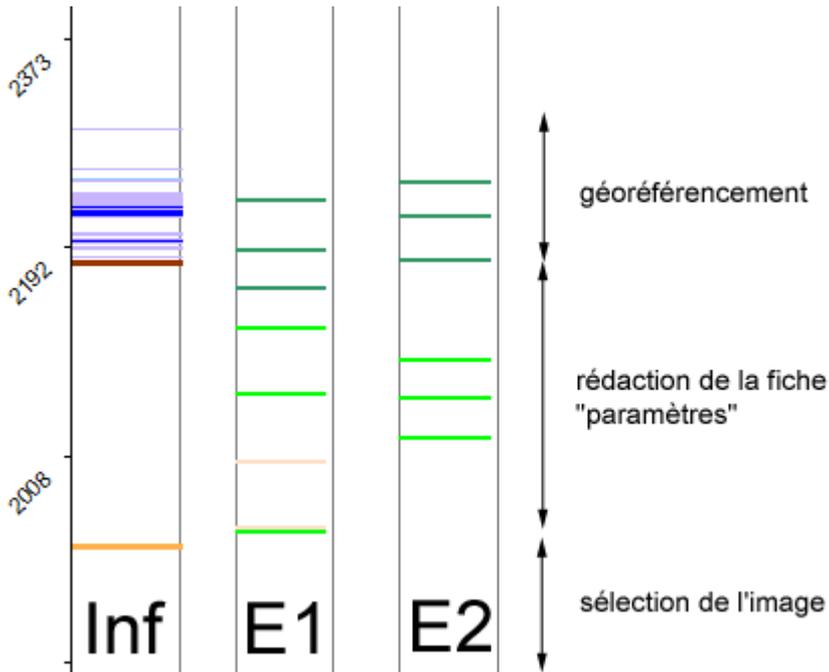
« Cette vue depuis le lac des Sarailles met en évidence la succession des différents types de roches de la lithosphère océanique: péridotites, gabbros et basaltes en coussins (ou pillows-lavas). »



C9putinier2 commentaire péridotite du Chenaillet



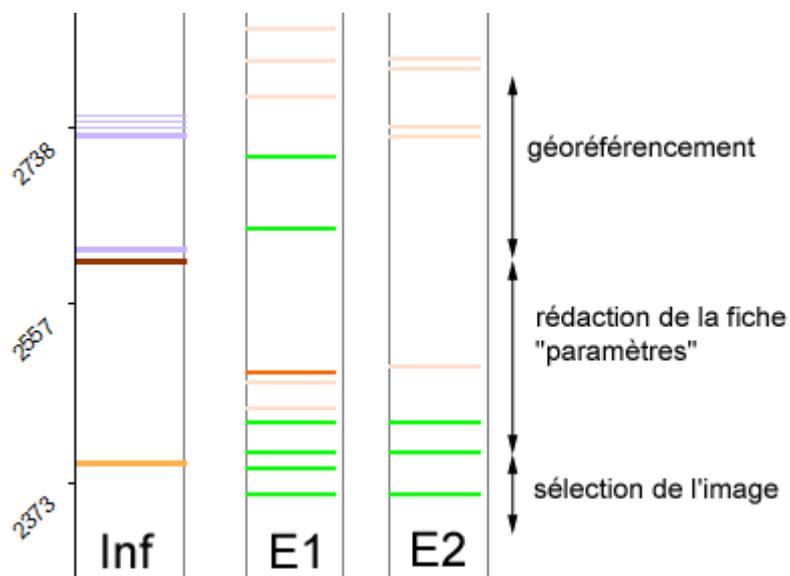
« le gabbro a une structure grenue dûe a son refroidissement lent,lors de la remonté de l'asthénosphère vers la surface,témoin de l'ouverture d'un océan . On observe des plagioclase blancs et des pyroxènes en feuillets. »



C5nuguet2 commentaire gabbro du Chenaillet



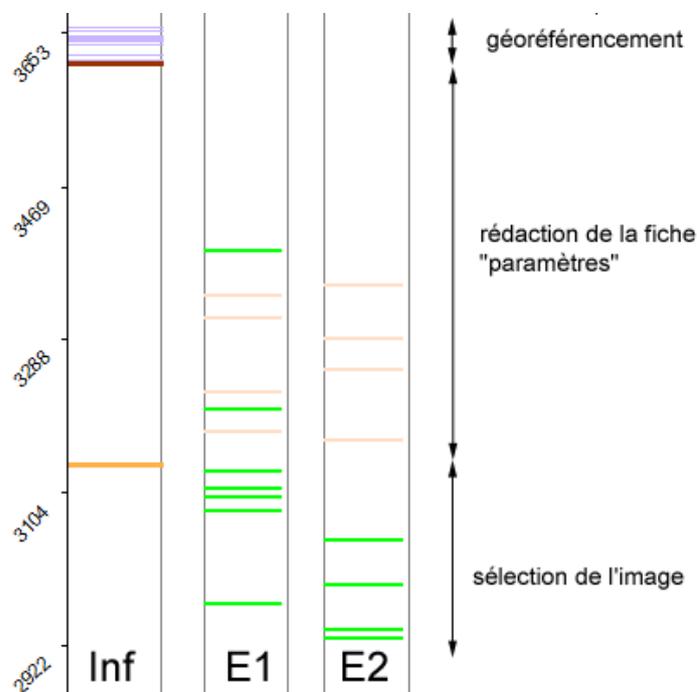
« le gabbro est une roche de structure grenue caractérisée par ses cristaux jointifs et très gros. elle est issue du refroidissement lent du magma. les cristaux qui la composent sont le pyroxène, de couleur marron, et le plagioclase, de couleur blanche. sa formation est due à une fusion partielle de la peridotite, roche composant le manteau, lors de la montée de l'asténosphère »



C5nuguet2 commentaire métagabbro du Chenaillet



« après une hydratation des cristaux composants le gabbro il se forme de nouveaux cristaux appelés hornblende et chlorite. issue de l'hydratation de plagioclases et hornblendes, la chlorite a une couleur verdâtre. quant à elle l'hornblend issue du metamorphisme de plagioclases, pyroxene brun et d'eau, est de couleur noire. de plus la formation d'aureoles d'hornblende autour du pyroxene permet d'affirmer l'apparition secondaire des cristaux. »



C9nuguet2 commentaire péridotite du Chenaillet



« après être sortie de la chambre magmatique, cette péridotite s'est hydratée lors de l'expansion océanique.

Nous pouvons observer beaucoup d'olivine verte, puisque celle-ci a été la dernière à fondre dans la chambre magmatique.

On observe également de pyroxène dorée en feuillets puisque il a été le second à fondre.

enfin nous voyons peu de microcristaux de plagioclase blanc qui ont été les premiers à fondre.

Cela montre un magmatisme qui est celui de la dorsale, témoin de l'accrétion. »

