



HAL
open science

Obstacles à la problématisation du temps dans une approche interdisciplinaire : l'explication de quelques phénomènes naturels par des élèves et de futurs enseignants tunisiens

Youssef Bouganmi

► To cite this version:

Youssef Bouganmi. Obstacles à la problématisation du temps dans une approche interdisciplinaire : l'explication de quelques phénomènes naturels par des élèves et de futurs enseignants tunisiens. Education. Université de Bourgogne; Université de Tunis, 2009. Français. NNT : . tel-00443595

HAL Id: tel-00443595

<https://theses.hal.science/tel-00443595>

Submitted on 6 Apr 2010

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.

UNIVERSITE DE BOURGOGNE
ED-LISIT

UNIVERSITE DE TUNIS
ED- DISEMEF

Thèse

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE BOURGOGNE
ET DE L'UNIVERSITE DE TUNIS
Disciplines : Sciences de l'Education – Philosophie des Sciences
Domaine : Didactique des Sciences

Présentée et soutenue publiquement

par

Youssef BOUGHANMI

Le 15 juin 2009

**Obstacles à la problématisation du temps dans une approche
interdisciplinaire: l'explication de quelques phénomènes naturels par des
lycéens et de futurs enseignants tunisiens**

Directeurs de thèse
Gérard CHAZAL & Noureddine BEN AYED

JURY

M. ORANGE Christian, Professeur, Université de Nantes,	Rapporteur
Mme AZZOUNA Atf, MCF, Université El-Manar, Tunis,	Rapporteur
M. CHAZAL Gérard, Professeur émérite, Université de Bourgogne	Directeur
M. BEN AYED Noureddine, Professeur, Université du 7 Novembre à Carthage	Co-directeur

Année 2009

A mon père, ma mère, mes sœurs et mes frères.

A Samira.

A Sakiet Sidi Youssef, symbole de dignité.

Remerciements

Ce travail a été effectué en cotutelle entre l'Université de Tunis et l'Université de Bourgogne représentés respectivement par les deux écoles doctorales DISMEF et LISIT, sous la direction de M. Nouredine Ben Ayed, Professeur de géologie et M. Gérard Chazal, professeur émérite d'histoire et de philosophie des sciences, que je remercie sincèrement. Une part du financement de ce travail a été assurée par des bourses d'alternances par le Ministère de l'Enseignement Supérieur Tunisien et l'Institut Français de Coopération.

Que Monsieur Nouredine Ben Ayed, mon professeur durant mes études universitaires, co-directeur de mon DEA et directeur de ma thèse reçoive toute l'expression de ma reconnaissance pour ses compétences scientifiques et ses conseils pédagogiques qui m'ont permis de mener à bien cette étude.

Je tiens à remercier M. Gérard Chazal d'avoir su orienter mes recherches aux bons moments en me faisant impliquer dans un travail interdisciplinaire au travers de son regard d'historien et de philosophe des sciences, tout en tirant partie de ma formation de scientifique et de didacticien en début de carrière. Malgré ses préoccupations, il a toujours été disponible pour d'intenses et rationnelles discussions. Merci du temps qu'il a consacré à redonner un peu de rigueur à ma plume qui a tendance quelques fois à dérapier.

Je remercie tous particulièrement Monsieur Christian Orange, Professeur à l'Université de Nantes et Mme Atf Azzouna, Professeur à l'Université de Tunis El-manar, qui ont accepté de juger ce travail et d'en être les rapporteurs et pour les suggestions qu'ils m'ont proposé ainsi de l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail.

Je suis très reconnaissant à Mme Anne marie Drouin Hans, Professeur à l'Université de Bourgogne, pour sa lettre explicative en novembre 2004 de ne pas pouvoir diriger ma thèse à cause de ses engagements et de m'avoir proposé de travailler avec M. Chazal.

Je remercie vivement Mme Atf Azzouna de m'avoir honoré par sa présidence du membre de jury.

Merci aussi à tous mes collègues de longue date du laboratoire, je leur exprime ma profonde sympathie et leur souhaite beaucoup de bien.

Je souhaite enfin remercier mes amis, en particulier Kamel Dridi, Saida Kacem, Chaker Bennour, fatma Said, Ali Hamdi, Nouri M'Barek pour leurs encouragements lors de ce parcours. Enfin, une pensée émue pour tous ceux avec qui j'ai partagé une salle, un café, un repas ou une discussion dans un forum réel ou virtuel pendant ces années.

Résumé

La présente recherche s'intéresse à l'apprentissage et à l'enseignement des sciences de la vie et de la terre auprès des élèves et de futurs enseignants. L'utilisation du temps géologique dans l'explication de quelques phénomènes naturels par les apprenants semble être difficile. Nous engageons donc une réflexion épistémologique et didactique pour l'étude de ce concept dans une approche interdisciplinaire en se basant sur des éléments d'histoire et de philosophie des sciences. Un diagnostic précis des difficultés d'apprentissages des apprenants, par le biais de maintes méthodes de recherche, pourrait permettre de comprendre leurs problèmes et de proposer des stratégies afin de faciliter l'acquisition, non seulement du concept de temps, mais aussi d'autres concepts en sciences. Cette recherche a donc comme objectif l'identification des obstacles épistémologiques à la problématisation du temps.

Pour atteindre notre objectif, la démarche méthodologique suivie est pluriel. En premier temps, nous menons une exploration du terrain par une analyse de manuels et analyse des explications des élèves et des étudiants à propos des séismes, orogénèse et crise biologique. Ces deux phases ont été jumelées par une observation de classe et un entretien avec des étudiants. En deuxième temps, nous menons une étude interdisciplinaire par des ateliers-débats avec les échantillons concernés afin de suivre la construction du temps dans une démarche de problématisation et l'interprétation de l'origine possible des obstacles à cette finalité.

La recherche a permis de dépasser le travail sur les conceptions à celui de la problématisation en identifiant un certain nombre de difficultés liées à l'acquisition du temps géologique comme outil de mesure et de couplage de biologie-géologie. Les registres explicatifs dans lesquels travaillent les étudiants sont variés. Des registres favorisant la problématisation du temps tels que le mobilisme, l'évolutionnisme. D'autres registres dépendent des obstacles identifiés et ne favorisent pas la problématisation du concept en question. Les origines de ces obstacles sont plurielles. Un travail interdisciplinaire en se basant sur la construction de problème comme outil méthodologique didactique par le biais d'un débat mettant en jeu le rôle des questions de l'enseignant, l'histoire des sciences...etc. permettrait, non seulement de dépasser les difficultés à la problématisation d'un concept, mais aussi d'améliorer les méthodes d'enseignement. Ainsi des axes de recherches devraient être entrepris pour des approfondissements théoriques et pratiques.

Mots clés : conceptions, problématisation, obstacles épistémologiques, temps, manuel scolaire, phénomènes naturels, élèves et futurs enseignants

Abstract

This research focuses on learning and teaching of biology and geology by students and teachers. The use of geological time in the explanation of some natural phenomena by learners is difficult. We use an epistemological reflection on the teaching and study of this concept in an interdisciplinary approach by using elements of history and philosophy of science. An accurate diagnosis of the difficulties of learners through many research methods let us understand their problems and suggest strategies to facilitate the acquisition not only the concept of time but also other concepts in science. The main objective of this research is to identify epistemological obstacles to problematization of time.

To achieve our objective, the methodology followed is plural. First time, we explored the field by an analysis of textbooks and analysis of the explanations earthquakes, orogenesis and biological crisis by learners. These two phases were combined with an observation of class and an interview with students. In second time, we are conducting an interdisciplinary study through workshops and debates with the samples in order to follow the construction of time in a problematization and interpretation of the possible origin of the obstacles to that objective. Research has helped us to overcome the work on the drawing board to the problematization by identifying a number of difficulties related to the acquisition of geological time as a tool for measuring and coupling biology and geology. Registers explanatory in which students work are two types. Some registers supporting the problematization of time such as mobility of the earth, evolutionism. Other registers depend on the obstacles identified and not favourable the problematization of the concept in question. The origins of these obstacles are plural. Interdisciplinary work on the basis of the construction problem as a method of teaching through a discussion involving the role of the teacher' questions, the history of science ... etc. would not only overcome the difficulties in the problematization of a concept, but also to improve teaching methods. Thus lines of research should be undertaken for theoretical and practical.

Keywords: misconceptions, problematization, epistemological obstacles, time, textbook, natural phenomena, students and teachers.

Sommaire

Résumé	2
Sommaire	4
Liste des tableaux	9
Liste des figures	11
Sommaire des annexes	12
Introduction générale	13

Chapitre 1 : Des conceptions vers la problématisation

1. Les sciences de la vie et de la terre	17
2. Les axes de recherche des Sciences de la terre	18
2.1. La géologie historique	19
2.2. La géologie fonctionnaliste	20
2.3. Les sciences de la terre fonctionnalistes et le temps géologique	21
3. Une vision didactique sur l'enseignement-apprentissage des sciences de la terre	22
3.1. Le temps et l'espace dans l'enseignement de la biologie-géologie	22
3.2. Les conceptions des apprenants	24
3.3. Conclusion	25
4. La construction du problème en sciences : un outil méthodologique didactique	26
4.1. Des conceptions primitives de l'élève vers la problématisation	27
4.2. Notion de problème	28
4.3. Dimension du problème	30
4.4. Utilité de la situation-problème	30
4.5. La résolution du problème : une tâche de sa construction	31
4.6. Conclusion	32
5. Les registres de modélisation en sciences	32
5.1. La modélisation dans le cadre des travaux de Jean Louis Martinand	33
5.2. La modélisation dans le cadre des travaux de Christian Orange	36
5.3. La modélisation dans le cadre de travaux de Denise Orange	37
6. Construction du problème ou du champ des possibles	38
6.1. Exemples de construction du problème en sciences	39
6.2. Réflexion sur le registre explicatif	41
7. La double pensée dans le fonctionnement du raisonnement	42
7.1. L'apodictique ou les savoirs conditions	42
7.2. L'assertorique ou les savoirs solutions	43
7.3. Conclusion : le registre explicatif se dédouble-t-il en assertorique et apodictique ?	44
8. Questionnement et construction du problème	45
8.1. L'art du questionnement	45
8.2. Pourquoi les enseignants posent-ils des questions ?	46
8.3. De la question au problème	47
8.4. Typologies des questions	48
9. Conclusion	49

Chapitre 2 : Temps géologique et obstacles épistémologiques

1. Du temps géologique en biologie et en géologie	51
1.1. Le temps géologique : un outil de mesure en biologie et en géologie	52
1.2. L'essor du temps géologique	53
1.3. L'extrapolation du présent vers le passé	53
2. Le temps dans les préoccupations géologiques des savants arabo-musulmans	54
3. La découverte de l'immensité du temps profond	54
3.1. Méthode de datation	55
4. Conclusion : problématiser le temps géologique	56
5. L'obstacle épistémologique	57
5.1. La mythologie du feu et de l'eau	58
5.2. L'éternité d'un cycle et la rédemption des âmes	60
5.3. Un dilemme des montagnes : cause par essence ou cause par accident	62
6. Les fossiles : transformation des espèces ou créations successives	63
7. Obstacle psychologique à concevoir le temps à grande échelle	65
8. Nature du temps dans le neptunisme et le plutonisme	69
9. L'actualisme et l'extrapolation du présent vers le passé	70
10. Le catastrophisme actuel	72
11. L'hostilité au mobilisme du à un obstacle conservateur	73
12. Le mobilisme, un nouveau paradigme	75
13. La fonction négative en sciences de la terre	76
14. Conclusion	77

Chapitre 3 : L'interdisciplinarité des phénomènes étudiés

1. La limite Crétacé-Tertiaire : un événement géologique et biologique majeur	79
2. Les crises biologiques : un problème scientifique à part	80
2.1. Mécanisme du phénomène de l'extinction	81
2.2. L'iridium d'origine ambigu face aux hypothèses de l'extinction	82
2.3. L'amorphisation au secours de l'hypothèse cosmique	83
2.4. D'où vient le spinelle nickélifère ?	83
2.5. CHICXULUB, dernier chaînon de la preuve	85
2.6. Les dinosaures : principales victimes de la crise C/T	85
2.7. Gradualisme ou brutalisme de la crise biologique	86
2.8. Conclusion	88
3. Les séismes ; interdisciplinarité, histoire et prédiction	89
3.1. Des concepts physiques dans l'explication des séismes	89
3.2. L'utilité de l'histoire des séismes	90
3.3. Concevoir les séismes dans un cadre tectonique	91
3.4. Développer la culture de prédiction des séismes	93
3.5. Conclusion	93
4. La formation des chaînes de montagnes dans un cadre tectonique	94
4.1. Origines différents des montagnes	95
4.2. L'accrétion des « terranes », une difficulté majeure	96
4.3. Les ophiolites, des océans perdus	97
5. Conclusion : la tectonique des plaques, un modèle unificateur	97

Chapitre 4 : L'organigramme méthodologique

1. Problématique et questions de recherche	99
2. Le manuel scolaire ; une étude pré-exploratoire	100
2.1. Objet, champ et finalités de l'analyse des manuels	102
2.2. La grille d'analyse	102
2.2.1. Définition des styles éducatifs	103
3. Une étude des illustrations	105
3.1. Une typologie des contenus explicatifs	105
3.2. Une typologie d'images fondées sur leur processus de construction	106
3.3. Une typologie d'images fondée sur le contenu de leur message	107
4. analyse des manuels par termes pivots	107
5. Le questionnaire ; un outil pour le recueil des conceptions	108
5.1. Recueil des données auprès des élèves de la 2 ^{ème} année secondaire	109
5.2. Recueil des données auprès des élèves de la 4 ^{ème} année Sc. Exp.	109
5.3. Recueil des données auprès des étudiants	110
5.4. Recueil des données dans une séance de TP de géologie	111
6. L'entretien, un outil d'approfondissement	111
7. Croisement de catégories avec le test chi-deux d'homogénéité	112
8. Application d'outil méthodologique : la construction de problème	112
8.1. Présentation de l'atelier-débat n°1	113
8.2. Présentation de l'atelier-débat n°2	113
8.3. Présentation de l'atelier-débat n°3	114
8.4. Un débat complémentaire	118
9. Méthodologie de construction des espaces de contraintes	120

Chapitre 5 : Temps géologique et problématisation dans le manuel scolaire

1. Analyse descriptive des manuels	122
2. Analyse comparative de la hiérarchie des deux manuels	123
3. Les styles éducatifs, situations-problèmes et problématisation	126
3.1. Les styles éducatifs dans le manuel de la 2 ^{ème} année secondaire	126
3.2. Les styles éducatifs dans le manuel de la 3 ^{ème} année sciences expérimentales	128
3.3. Analyse comparative des styles éducatifs privilégiés	131
3.4. Conclusion	132
3.5. Analyse des rubriques ; « situations-problèmes » et « réfléchissons »	133
3.6. Conclusion	136
4. Le temps géologique dans les deux manuels	136
4.1. Echelle stratigraphique ou calendrier géologique	136
4.2. Le temps géologique et la typologie des illustrations	137
4.3. Etude comparative des illustrations des deux manuels	143
4.4. Conclusion	145
5. Analyse des manuels par termes pivots	145
5.1. Termes pivots dans le manuel de la 2 ^{ème} année	145
5.2. Termes pivots dans le manuel de la 3 ^{ème} année Sc. Exp.	148
5.3. Conclusion : temps géologique et problématisation	150

Chapitre 6 : Conceptions et nature du temps chez les élèves et les futurs enseignants

1. Analyse des réponses des élèves de la 2^{ème} année secondaire	151
1.1. Analyse de l'item 1 : fonctionnement d'un séisme	151
1.1.1. Analyse des réponses à la question Q1	151
1.1.2. Analyse des réponses à la question Q2	154
1.1.3. Conclusion	156
1.2. Analyse de l'item 2 : la formation des chaînes de montagnes	158
1.2.1. Analyse des réponses à la question 3	158
1.2.2. Analyse des réponses à la 2 ^{ème} question	160
1.2.3. Conclusion	162
2. L'explication des crises biologiques par des élèves de la 4^{ème} Sc. Exp.	165
2.1. Catégorisation et analyse des réponses à la 1 ^{ère} question	166
2.2. Catégorisation et analyse des réponses à la 2 ^{ème} question	168
2.3. Catégorisation et analyse des réponses à la 3 ^{ème} question	171
2.4. Catégorisation et analyse des réponses à la 4 ^{ème} question	174
2.5. Conclusion	174
3. L'explication de phénomènes naturels par des futurs enseignants	175
3.1. Analyse des réponses à la 1 ^{ère} question	175
3.2. Analyse des réponses à la 2 ^{ème} question	178
3.3. Analyse des réponses à la 3 ^{ème} question	180
3.4. Conclusion	184

Chapitre 7 : A la recherche de prémices de la problématisation dans une séance d'enseignement classique

1. Typologie des questions de l'enseignant	186
2. Conclusion	189
3. Analyse comparative de l'entretien	190
3.1. Comparaison des conceptions sur le séisme	190
3.2. Comparaison des conceptions sur l'extinction	190
3.3. Conceptions d'E1 sur la formation des chaînes de montagnes	191
3.4. Comparaison des conceptions sur le temps et l'espace	192
4. Conclusion	193

Chapitre 8 : Débat et problématisation du temps dans une approche interdisciplinaire

1. Analyse de l'atelier n°1	194
1.1. Phénomènes naturels identifiés sans estimation du temps	194
1.2. Phénomènes identifiés avec estimation du temps	195
1.3. Conclusion	197

2. Analyse de l'atelier-débat n°2	198
2.1. Analyse des réponses à la première question	199
2.2. Analyse des réponses à la deuxième question	199
2.3. Analyse des réponses à la troisième question	200
2.4. Analyse de quelques extraits du débat sur le texte d'Avicenne	200
2.5. Conclusion	203
3. Analyse de l'atelier n°3	204
3.1. Obstacles épistémologiques liés au temps	204
3.2. Obstacles épistémologiques liés aux séisme et tsunami	207
3.3. Obstacles liés à la datation	209
3.4. Obstacles épistémologiques liés à la convergence	210
3.5. Obstacles épistémologiques liés au couplage biologie-géologie	212
3.6. Conclusion	213
4. Construction du temps géologique par les futurs enseignants au cours du débat	214
4.1. La construction du temps géologique dans l'explication du séisme	215
4.2. Construction du temps géologique dans l'explication d'une crise biologique	218
4.3. Construction du temps géologique dans l'explication de l'histoire des alpes	219
4.4. Et l'assertorique !	222
4.5. Conclusion	223
5. Obstacles de mise en relation des phénomènes étudiés avec le vivant et la terre	224
5.1. Conclusion	226
5.2. Problématisation du temps et interdisciplinarité : exemple de la crise biologique	227
5.3. Nature du temps mobilisé après le débat	231
6. Conclusion	232
Conclusion générale	234
Limites et approfondissements de recherches	241
Bibliographie	243

Liste des tableaux

Tableau 1 : différence entre deux perspectives du travail : conceptions et problèmes	27
Tableau 2 : conditions d'une situation problème	31
Tableau 3 : quelques critères de la problématisation et la problématique	32
Tableau 4 : obstacles épistémologiques liés à la mythologie du feu et de l'eau	59
Tableau 5 : obstacles épistémologiques liés à la religion	62
Tableau 6 : obstacles épistémologiques liés à la cause du phénomène étudié	63
Tableau 7 : comparaison entre De Luc et Cuvier	64
Tableau 8 : Obstacles épistémologiques liés au concept « fossile »	65
Tableau 9 : un exemple d'obstacle psychologique à concevoir le temps géologique	68
Tableau 10 : nature du temps chez les neptunistes et les plutonistes	70
Tableau 11 : obstacle conservateur à la mobilité du globe	75
Tableau 12 : nature du temps, obstacles épistémologiques et courants de pensée	78
Tableau 13 : Caractéristique et conséquence de la crise crétacé-Tertiaire	82
Tableau 14 : la crise biologique conjonction de deux phénomènes géologiques	88
Tableau 15 : Grille modifiée des styles éducatifs	105
Tableau 16 : les questions posées à la population concernée	109
Tableau 17 : questions posées à la population concernée	110
Tableau 18 : questions posées aux futurs enseignants	111
Tableau 19 : couplage biologie-géologie	115
Tableau 20 : mise en relation des phénomènes naturels	119
Tableau 21 : mise en relation du temps géologiques avec les phénomènes étudiés	120
Tableau 22 : couplage temps et biologie-géologie	120
Tableau 23 : présentation générale des deux manuels analysés	123
Tableau 24 : thème analysé ; manuel de la 3 ^{ème} année sciences expérimentales	124
Tableau 25 : thème analysé ; manuel scolaire de la 2 ^{ème} année secondaire	125
Tableau 26 : styles éducatifs dans le manuel de la 2 ^{ème} année secondaire	127
Tableau 27 : Styles éducatifs, manuel de la 3 ^{ème} année sciences expérimentales pp274-295	128
Tableau 28 : styles éducatifs dans le manuel de la 3 ^{ème} année Sc. Exp. pp296-325	129
Tableau 29 : Styles éducatifs, manuel de la 3 ^{ème} année Sc. Exp. pp326-349	130
Tableau 30 : Comparaison des styles privilégiés dans les deux manuels	131
Tableau 31 : typologie de questions posées dans les situation-problèmes	132
Tableau 32 : Typologie des questions dans la rubrique « réfléchissons » du manuel de la 2 ^{ème} A. S.	135
Tableau 33 : Typologie des illustrations dans le manuel de la 2 ^{ème} année secondaire	139
Tableau 34 : Typologie des illustrations dans le manuel de la 3 ^{ème} année Sc. Exp.	141
Tableau 35 : Comparaison des typologies des illustrations	143
Tableau 36 : Comparaison du contenu des illustrations	144
Tableau 37 : temps géologique et énergie dans le manuel scolaire de la 2 ^{ème} AS	147
Tableau 38 : temps géologique et énergie dans le manuel de la 3 ^{ème} année scolaire	149
Tableau 39 : mise en catégorie des réponses des élèves à propos du tsunami	152
Tableau 40 : croisement des catégories C2 et C4	153
Tableau 41 : mise en catégorie des réponses des élèves	155
Tableau 42 : croisement des catégories C1/Sc1 et C2/Sc1	155
Tableau 43 : notions du temps mobilisées par les élèves	158
Tableau 44 : catégorisation des réponses des élèves à propos de l'orogénèse	160

Tableau 45 : mise en catégories des réponses des élèves	162
Tableau 46 : mise en catégories des réponses des élèves	164
Tableau 47 : croisement des catégories C1/Sc1 et C2/Sc2	165
Tableau 48 : mise en catégorie des réponses des élèves	167
Tableau 49 : croisement des catégories C1 et C3	168
Tableau 50 : mise en catégorie des réponses des élèves de la répartition spatiale de la crise biologique	170
Tableau 51 : croisement C1/Sc1 et C2/Sc3	171
Tableau 52 : mise en catégories des réponses des élèves	173
Tableau 53 : conceptions, registres explicatifs et nature du temps chez les élèves	174
Tableau 54 : conceptions des futurs enseignants sur le séisme et le tsunami	176
Tableau 55 : croisement de C2/Sc4 et C4/Sc3	177
Tableau 56 : l'explication de l'orogénèse alpine par les étudiants	179
Tableau 57 : croisement des catégories C2 et C3	180
Tableau 58 : mise en catégories des réponses des étudiants	182
Tableau 59 : croisement des catégories C1/Sc2 et C4/Sc2	184
Tableau 60 : conceptions, registres explicatifs et nature du temps chez les étudiants	184
Tableau 61 : raisons du questionnement de l'enseignant	187
Tableau 62 : conceptions de E1 et E2 sur le séisme	190
Tableau 63 : conceptions sur l'extinction	191
Tableau 64 : conceptions de E1 sur l'orogénèse	191
Tableau 65 : comparaison des conceptions de E2 et E1	192
Tableau 66 : Phénomènes sans estimation du temps	195
Tableau 67 : Phénomènes identifiés avec estimation du temps	196
Tableau 68 : la cause de l'orogénèse par des futurs enseignants	199
Tableau 69 : concepts non évoqués par Avicenne selon les étudiants	199
Tableau 70 : mise en relation du séisme et autres phénomènes géologiques	200
Tableau 71 : extrait du débat sur le texte d'Avicenne	201
Tableau 72 : extrait du débat sur la relation orogénèse-séisme	202
Tableau 73 : quelques critiques du texte d'Avicenne	204
Tableau 74 : temps et registres explicatifs des étudiants	207
Tableau 75 : temps et registre explicatif des étudiants	209
Tableau 76 : modélisation du temps	210
Tableau 77 : registres explicatifs des étudiants	211
Tableau 78 : obstacles et registres explicatifs des étudiants	213
Tableau 79 : nature du temps et obstacles épistémologiques chez les étudiants	213
Tableau 80 : extrait du débat sur la datation	214
Tableau 81 : extrait du débat sur l'histoire d'un séisme	216
Tableau 82 : extrait du débat l'extinction	218
Tableau 83 : extrait (1) sur l'histoire des alpes	219
Tableau 84 : extrait (2) sur l'histoire des alpes	220
Tableau 85 : extrait du débat sur le concept non évoqué par Avicenne	221
Tableau 86 : des affirmations ou savoirs solutions	222
Tableau 87 : obstacles et registres explicatifs des élèves	226
Tableau 88 : temps et registres explicatifs chez les élèves	232

Lise des figures

Figure 1 : origine et utilité des conceptions	26
Figure 2 : Schéma de la modélisation selon Jean-Louis Martinand (1996)	35
Figure 3 : les différents registres mis en jeu dans la modélisation (C. Orange, 2000)	37
Figure 4 : Les différents registres en jeu dans la modélisation (D. Orange, 2003)	37
Figure 5 : Une représentation de la construction de problème : de la connaissance ordinaire au savoir scientifique (C. Orange, 2002, p.89)	39
Figure 6 : double pensée dans le registre explicatif	44
Figure 7 : l'interaction entre les raisons du questionnement de l'enseignant	49
Figure 8 : des conceptions vers la problématisation	50
Figure 9 : la tectonique des plaques un modèle unificateur des phénomènes étudiés	98
Figure 10 : organigramme méthodologique de l'étude pré-exploratoire	107
Figure 11 : organigramme méthodologique de l'étude exploratoire	112
Figure 12 : méthode d'analyse des couplages biologie-géologie	116
Figure 13 : organigramme méthodologique de la problématisation	116
Figure 14 : organigramme méthodologique général	117
Figure 15 : résumé des termes pivots en relation avec le temps géologique	148
Figure 16 : résumé des termes pivots en relation avec le temps géologique	150
Figure 17 : usage du temps géologique par les étudiants	198
Figure 18 : espace de contrainte d'Avicenne sur l'orogénèse	198
Figure 19 : espace de contrainte des étudiants sur quelques phénomènes géologiques	202
Figure 20 : espace de contrainte des étudiants sur la relation orogénèse-séisme	203
Figure 21 : obstacles liés au temps	205
Figure 22 : obstacles liés aux séisme et tsunami	207
Figure 23 : obstacles liés à la datation	209
Figure 24 : obstacles liés à la convergence	210
Figure 25 : obstacles liés au couplage biologie-géologie	212
Figure 26 : espace de contraintes des étudiants sur l'histoire du séisme	217
Figure 27 : espace de contraintes des étudiants sur l'extinction	219
Figure 28 : espace de contraintes des étudiants sur l'histoire des Alpes	221
Figure 29 : obstacles liés aux tsunami et séisme	224
Figure 30 : obstacles liés à la formation des chaînes de montagnes	225
Figure 31 : obstacles liés aux crises biologiques	226
Figure 32 : exemples de crises biologiques par les élèves	227
Figure 33 : problématisation de la crise biologique et du temps par les élèves dans un débat	230
Figure 34 : nature du temps liée aux phénomènes étudiés	331
Figure 35 : nature du temps liée au vivant et à la terre	331

Sommaire des annexes

Annexe 1 : extraits des programmes	252
Annexe 2 : extrait du manuel scolaire des sciences naturelles de la 2 ^{ème} année Sec.	255
Annexe 3 : extrait du manuel scolaire des sciences de la vie et de la terre de 3 ^{ème} année sciences expérimentales	282
Annexe 4 : the educational style Grid	368
Annexe 5 : mesure de surface des illustrations dans les deux manuels	369
Annexe 6 : exemples de réponses des élèves de la 2 ^{ème} année secondaire	374
Annexe 7 : exemples de réponses des élèves de la 4 ^{ème} année sciences expérimentales	383
Annexe 8 : exemples de réponses des futurs enseignants	390
Annexe 9 : enregistrement d'une séance de TD-TP de géologie de ST4	405
Annexe 10 : réponses de deux étudiants au questionnaire et à l'entretien	408
Annexe 11 : exemples de réponses des futurs enseignants aux ateliers	420
Annexe 12 : Enregistrement du débat avec des futurs enseignants	443
Annexe 13 : tableaux du couplage biologie-géologie par les futurs enseignants	449
Annexe 14 : atelier-débat avec des élèves de la 3 ^{ème} année Sciences Expérimentales	454

Introduction

L'utilité de la construction de problème en sciences et la nécessité de la compréhension de l'application de cette démarche, dans plusieurs domaines d'enseignement-apprentissage et de recherche, m'ont encouragé d'entreprendre ce projet. Dans les conversations quotidiennes le mot « problème » est souvent utilisé : quel est ton problème ? J'avais un problème avec telle ou tel...etc. Mais qu'en est-il en sciences ? La construction du problème est-elle devenue une évidence dans l'activité de recherche, dans l'enseignement-apprentissage et/ou la formation des adultes pourtant ne prend-elle pas toute son ampleur dans des programmes officiels ? Les concepteurs des programmes "glissent" la notion de construction du problème en arrière plan de la situation-problème. Cependant, les notions de problème et de problématisation ont fait l'objet de plusieurs travaux didactiques, nous estimons donc qu'ils sont "véritablement thématiques" par les chercheurs. Mais dans les cas, il ne suffit pas de coller l'étiquette « problème » à des sujets ou à des thèmes étudiés pour que nous développons une problématisation. La construction du problème en sciences pourrait être un outil didactique efficace pour explorer les relations entre les problèmes et les connaissances qu'ils mettent en jeu et/ou qu'ils permettent de construire à condition que l'exploration s'effectue dans des cadres théoriques précis. En fait, la construction du problème comme moyen didactique permet d'orienter l'acquisition des savoirs vers de nouveaux objectifs impliquant un changement profond dans les connaissances que l'on veut voir acquérir par les apprenants. Conformément aux objectifs généraux de l'enseignement-apprentissage des Sciences de la vie et de la terre (SVT), le programme officiel, en Tunisie aussi bien qu'en France, se propose à la fois de favoriser l'acquisition des savoirs scientifiques fondamentaux et de former l'esprit du futur citoyen. En ce qui concerne le contenu scientifique, l'objectif est de s'en tenir aux connaissances les plus fondamentales. Les données de base pourraient être solidement mises en place, formant ainsi le socle sur lequel se construit la culture scientifique de l'homme moderne. Si les objectifs cognitifs définis sont clairement délimités, il devient possible de s'attacher à une démarche didactique. L'enseignement qualitatif passe, aussi souvent que possible, par la mise en œuvre d'une démarche réflexive constructiviste, dans laquelle l'apprenant n'est pas le simple spectateur de sa formation, mais un véritable acteur. Il participe à la construction de son savoir en même temps qu'à la formation de son esprit en s'impliquant aussi bien dans l'énoncé de la question que dans la recherche de la réponse.

Nous intéressons, notamment, aux questions qui renvoient à de "vrais" problèmes scientifiques permettant à l'apprenant de problématiser son propre savoir dans une démarche pluridisciplinaire.

L'enseignement-apprentissage des SVT fait souvent appel à la problématisation hélas difficile à mettre en œuvre au lycée et même à l'université, vu les obstacles épistémologiques qui peuvent surgir et résister aux changements, mais nous rechercherons toutes les occasions de faire appel à une démarche concrète. Nous essayons d'identifier les obstacles à la problématisation du temps. Selon J.-P. Astolfi (1993a, 2005), si pour le chercheur, un énoncé renvoie à des pratiques qui lui sont familières, il n'en va pas de même pour l'élève, qui risque d'apprendre des formules plutôt que de participer à une élaboration. Les SVT pourraient être un exemple d'exercice coordonné du développement de l'esprit critique en se focalisant sur l'origine des obstacles et leur(s) devenir(s) après une activité qui met en jeu la problématisation. Sans tomber dans le réductionnisme, les SVT n'expliquent pas tout, elles donnent ainsi l'occasion aux apprenants de mettre en valeur des qualités parfois délaissées dans d'autres domaines scientifiques.

Au cours de l'année, enseignants et apprenants abordent les différents aspects du programme en organisant leur argumentation à partir d'exemples concrets, et aboutissent ainsi à la mise en place des notions et concepts attendus. Les explications illustrées par des exemples forment l'esprit et justifient l'état actuel de la science : ces exemples n'ont pas à être mémorisés en tant que tels mais l'élève devrait avoir appris à utiliser les faits qu'on lui fournit. C'est l'acte même de la problématisation qui est en jeu ici. Il est naturellement d'usage, pour l'enseignant, d'introduire son cours en cherchant à capter l'attention de ses élèves, en éveillant leur intérêt, en suscitant chez eux une appétence pour le travail. Répondre à cet objectif est assorti d'un horaire, certes modeste mais néanmoins significatif, ce qui donne à l'enseignant le temps de cette introduction, sans qu'il ait à empiéter sur celui imparti au traitement du chapitre lui-même. Nous n'imposons pas ici une façon d'entrer dans le cours. Un enseignant choisira sa manière de procéder en tenant compte des capacités de ses élèves, mais aussi des choix du système éducatif dont il fait partie. Il s'agit en effet de faire sentir, dès le début d'un thème, en quoi le contenu scientifique prolonge, précise et complète la formation traitée dans les programmes des classes antérieures.

Voir la complexité de l'application d'une démarche problématisante dans l'enseignement-apprentissage des SVT pour laquelle nous avons déjà quelques repères théorique (G. Bachelard (1938), M. Fabre (1999); C. Orange (2000), D. Orange (2003)), Notre travail, principalement didactique, s'incarne dans plusieurs domaines scientifiques. Nous ne

prétendons pas pouvoir travailler sur beaucoup de problèmes scientifiques mais nous essayons de réunir dans une vision interdisciplinaire quelques concepts scientifiques à l'intersection de la biologie et de la géologie, disciplines oscillant entre deux approches : historique et fonctionnaliste. Le temps est un concept difficile à construire dans la pratique enseignante des SVT. Nous avons donc choisi le temps, concept fondamental des SVT, afin de pouvoir relier les différents problèmes scientifiques sur lesquels nous menons notre étude. Ces problèmes scientifiques font l'objet du programme tunisien de l'enseignement-apprentissage des SVT au lycée et à l'université :

- le problème du séisme-tsunami
- le problème de la formation des chaînes de montagnes
- le problème des crises biologiques

Les deux premiers problèmes relèvent de la géologie alors que le troisième tient de la biologie et fait appel à un cadre scientifique interdisciplinaire.

En continuité directe avec l'évolution de la didactique des sciences ces dernières années, l'apprenant est mis dans une situation de problématisation dont l'objectif n'est pas de mimer la véritable recherche scientifique, ni de prétendre faire redémontrer en quelques minutes ce que plusieurs générations de chercheurs ont peiné à découvrir. Nous interrogeons donc l'histoire des sciences afin de dégager certains obstacles qui surgiraient chez nos élèves ou nos étudiants. Selon Astolfi, l'enseignement scientifique ne saurait se ramener à un enseignement des résultats de la science, ni les énoncés scientifiques à un seul texte du savoir. Mais simplement faire comprendre ce qu'est cette démarche scientifique, faite de doute et d'imagination, d'habileté intellectuelle et manuelle, permet à la science de se construire par l'incessante confrontation des conceptions ou des "préjugés".

Notre travail se veut résolument didactique. Il fait de l'histoire des sciences son laboratoire et de l'épistémologie son outil de réflexion ; il ne se limite pas au travail sur les conceptions mais le dépasse pour travailler sur la construction du problème (problématisation) et les obstacles épistémologiques. On s'intéresse donc aux obstacles à la problématisation du temps par les apprenants à travers leurs explications des phénomènes naturels ci-mentionnés. Pour ce faire, notre texte comprend deux parties. Une partie est consacrée aux fondements théoriques regroupant trois chapitres. Nous engageons dans le premier chapitre une réflexion la construction du problème en sciences, donc on montre comment dépasser le travail sur les conceptions sans nier leur dans la préparation d'un débat. Nous montrons aussi l'utilité des questions de l'enseignant dans l'élaboration du savoir raisonné par les élèves. Le deuxième chapitre est une réflexion épistémologique basée sur l'étude de quelques obstacles dans

histoire des sciences en relation ou non avec le temps géologique. Nous identifions certains obstacles épistémologiques franchis ou pas les sciences de la nature. Nous essayons dans le troisième chapitre à travers l'explication actuel des phénomènes étudiés de montrer qu'ils s'entrecroisent dans la théorie mobiliste. La deuxième partie est consacrée aux investigations méthodologiques. D'abord, nous explicitons l'organigramme méthodologique que nous avons mené. Ensuite, nous menons une étude pré-exploratoire d'analyse comparative de deux manuels scolaires. On s'intéresse principalement à l'utilité des manuels dans l'engagement des apprenants dans la problématisation et l'usage du temps dans l'explication des phénomènes étudiés. Puis, nous étudions les conceptions des élèves et des futurs enseignants (productions écrites, entretiens et analyse d'une séance de classe) dans le but d'explorer le terrain. Par la suite, nous essayons de chercher les prémices de la problématisation à travers l'analyse d'une séance d'enseignement classique et l'analyse d'un entretien avec des étudiants. Enfin, nous consacrons le dernier chapitre à l'application de la problématisation comme outil méthodologique didactique. Il s'agit de la construction du concept de « temps géologique », comme outil de mesure et de couplage en géologie et biologie, par de futurs enseignants et des élèves de la 3^{ème} année Sciences expérimentales. Ce travail sera suivi d'une conclusion générale sur les apports de cette recherche et quelques éléments de réponses pour notre problématique de départ. Vu l'importance que valent les perspectives de notre recherche, nous essayons de réfléchir sur des éventuelles propositions pour de futurs projets de recherches.

Des conceptions vers la problématisation

Notre recherche didactique s'intéressera à la problématisation en sciences. Nous prendrons en compte la construction du problème en sciences après avoir expliqué la spécificité des sciences de la vie et de la terre. Nous expliquerons l'importance du travail sur les conceptions des apprenants et nous le comparerons à celui de la problématisation. Une explication de la modélisation et de sa relation avec la problématisation nous aidera à reconstruire les différents registres de modélisation mobilisés par les apprenants. Nous développerons l'importance des questions de l'enseignant dans une démarche de problématisation.

1. Les sciences de la vie et de la terre

Il est opportun de préciser les liens entre sciences de la vie et sciences de la terre dont le dénominateur commun est le temps, bien évidemment le temps géologique¹. Les sciences de la vie et de la terre forment un ensemble de disciplines expérimentales mais aussi historiques. Elles sont enseignées en Tunisie - aux collèges et aux lycées- par le même professeur. Nous les désignons avant sous le nom de Sciences Naturelles. Elles comprennent pour les sciences de la vie, l'écologie, la zoologie, la botanique, la physiologie, l'anatomie mais encore la biochimie, la génétique. Pour les sciences de la terre on a aussi bien la géophysique, la pétrologie, la minéralogie, la sédimentologie, la tectonique, ainsi que la géochimie, la paléontologie. En fait, la distinction entre vie et terre s'avère peu satisfaisante car la vie est omniprésente sur Terre et modifie tous les phénomènes physico-chimiques naturels. Les SVT forment donc un ensemble varié qu'on pourrait appeler sciences de la nature. Les SVT sont avant tout expérimentales et aussi historiques. La géologie historique et la biologie historique, avec leurs corollaires : paléontologie et crises biologiques, semblent ne pas être expérimentales même si elles utilisent les résultats de sciences expérimentales. En fait, une expérience est actuelle, il n'y a pas une expérience du passé. Le passé laisse des traces, c'est au géologue de les découvrir, et il doit faire appel à des méthodes, scientifiques certes, expérimentales, mais on extrapole toujours les résultats vers le passé. C'est le présent qui illumine le passé. Toutes les expériences de datations ou de reconstitution fournissent des interprétations et non des certitudes expérimentales. La géologie historique et/ou la biologie

¹ Temps envisagé du point de vue de l'âge de la Terre. Il se mesure en âges, en millénaires, en périodes et en ères et comprend les principales périodes de l'évolution géologique et de celle de la vie sur la Terre.

historique permet de reconstruire une histoire et non l'histoire. « Les généralisations biologiques semblent bien être toujours placées sous la tutelle de schémas de causalité historique » (J. Gayon, 2005, pp55-67). Seulement, La reconstitution des événements passés échappe à l'expérience vu l'effacement des témoignages au fil du temps géologique.

Peut-on réellement appliquer la même méthode aux sciences de la vie et de la terre ? Ce n'est pas aussi facile que l'on pense. Il nous semble que la méthode expérimentale appliquée aux sciences de la vie n'est pas tout à fait la même que celle appliquée aux sciences de la terre. Comme l'affirme D. Terré (1998), en géologie, nous ne pouvons pas remonter d'une manière unique les traces d'une expérience donnée jusqu'à son commencement. Cependant ces deux disciplines se complètent et sont encore enseignées aux collèges et aux lycées par le même professeur. Dans d'autres pays, l'Allemagne par exemple, la géologie est en relation avec la physique plus qu'avec la biologie. Les phénomènes naturels de notre travail (séismes, orogénèse, et crises biologiques) font partie et de la géologie et de la biologie, les crises biologiques font le lien entre les deux disciplines. Comme l'affirme, F. Ellenberger (1978), l'histoire n'a pas à juger mais à comprendre. Nous essayons donc de spécifier les particularités de l'évolution des sciences de la terre en nous basant sur la construction des problèmes géologiques depuis l'avènement des premières théories jusqu'à ce que la géologie devienne une science. Mais tout d'abord nous approfondissons notre cadre théorique qui s'inscrit dans un cadre, plus large, celui la problématisation en sciences, et plus particulièrement en Sciences de la vie et de la terre. Nous essayons d'extraire la construction des problèmes au fil de l'histoire de la géologie et de la biologie tout en tenant compte de l'usité du temps et de l'espace. Notons que « Si les scientifiques ne s'intéressent pas à l'histoire, c'est tout leur désavantage [...] Et je pense que si j'ai pu développer des théories qui intéressent les gens, comme celle des équilibres ponctués, c'est parce que je m'efforce de comprendre l'histoire »(C. Cohen, 2002, p33). Nous précisons, tout d'abord, les axes de recherche de la géologie pour éclaircir le champ scientifique dans lequel nous menons notre thèse.

2. Les axes de recherche des Sciences de la terre

Les sciences de la terre regroupent plusieurs champs scientifiques : géologie, géodésie, géochimie, géomorphologie, géochronologie, etc. L'étude mathématique de la terre qui a permis de déterminer sa forme et sa dimension fait partie de la géodésie. L'application des méthodes statistiques aux problèmes géologiques et en particulier l'évaluation des gisements renvoie à la géostatique. La géophysique quant à elle s'intéresse à l'application des méthodes

techniques à l'étude du globe terrestre, elle regroupe l'aéronomie, la sismologie, la volcanologie, la météorologie, etc. La minéralogie et la pétrologie font partie de la géochimie, champ aussi vaste qui étudie la distribution des éléments chimiques dans le sol, l'hydrosphère et l'atmosphère. Les roches, témoins du temps géologique, renferment souvent des fossiles et des débris d'animaux et de végétaux et sont étudiés dans le cadre de la paléontologie.

L'objectif essentiel de la géologie est de retracer l'histoire du globe terrestre depuis les temps les plus reculés où nous puissions remonter jusqu'à l'actuel. Cette étude se fonde sur les théories, les questions de recherche ou hypothèses, l'observation, l'expérimentation, l'étude des terrains géologiques, etc. Quoiqu'il en soit, les études géologiques s'articulent autour de trois thèmes : la connaissance des matériaux de l'écorce terrestre (minéralogie et pétrologie), l'analyse des processus qui opèrent à la surface et à l'intérieur de la terre (volcanisme, sédimentologie, tectonique, sismologie) et la détermination de la succession des événements qui fait l'objet de la géologie historique (stratigraphie et paléogéographie). Les travaux de F. Ellenberger (1994-1998) et de G. Gohau (1987, 1990) ont montré que la géologie est à la fois une science historique et fonctionnelle. Ce dualisme est indispensable au cours de son histoire et elle s'est peu à peu divisée en de nombreuses disciplines. Mais son évolution générale reste marquée par deux grands axes de recherche : La description de l'écorce terrestre telle qu'elle se présente aujourd'hui et l'histoire des phénomènes qui sont à l'origine de cet état.

Les sciences de la terre sont multiples, ce n'était qu'un rapide survol de leur diversité. La géologie est un carrefour de plusieurs champs de savoirs et de recherches. Face à cette diversité des savoirs que devons nous enseigner à nos élèves? Certes, le choix est difficile.

2.1. La géologie historique

Celle-ci est à la terre ce que l'histoire est à l'humanité. Elle se propose de reconstituer la succession des événements qui ont marqué la planète depuis sa naissance, il y a environ 4,5 milliards d'années. Une partie de ces événements, enregistrés dans les strates sédimentaires, est du ressort de la stratigraphie. Une autre concerne les phénomènes d'origine interne comme l'évolution des magmas, les épisodes volcaniques, etc. Une troisième se rapporte aux phases successives des déformations de l'écorce terrestre, à la chronologie des "phases orogéniques" (périodes au cours desquelles s'édifient les chaînes de montagnes).

« La base de la géologie réellement historique réside dans sa capacité à transformer en archive tout ce qui vient déranger accidentellement l'organisation de la nature, et non à le rejeter comme accident » (G. Rumelhard, 1995, pp9-25). Les reconstitutions dans le temps de ces transformations nécessitent de disposer d'une échelle chronologique universelle permettant de

les situer les uns par rapport aux autres et si possible, de façon absolue, les événements successifs ou les matériaux élaborés pendant une période donnée : c'est l'échelle des temps géologiques, divisée en ères (primaire, secondaire...), elles-mêmes divisées en systèmes (jurassique, crétacé...), en sous-systèmes (lias), puis en étages (sinémurien, oxfordien...). Les limites des différentes périodes correspondent à des événements importants à l'échelle de la planète ; ces périodes sont maintenant datées par les méthodes de la géochronologie, qui utilisent les propriétés de désintégration des isotopes instables (U, K, Rb, C, etc.) de certains éléments radioactifs.

2.2. La géologie fonctionnaliste

L'analyse du fonctionnement actuel ou passé de la planète permet de mettre en évidence un certain nombre de phénomènes dont l'ensemble constitue la géodynamique ou dynamique de la terre, qui se subdivise elle-même en géodynamique externe et géodynamique interne. La géodynamique externe s'applique à tous les phénomènes dont les causes et les manifestations principales ne concernent que la partie superficielle du globe, aux frontières de la lithosphère, de l'hydrosphère et de la biosphère

La géodynamique interne est le domaine des phénomènes profonds, même si leurs conséquences sont sensibles en surface. C'est l'étude des déformations des matériaux terrestres, depuis les cassures à l'intérieur d'un minéral jusqu'aux grandes structures observées grâce à la géodésie spatiale ; elle est du ressort de la géologie structurale ou tectonique. Elle comporte, à une petite échelle, un aspect mécanique et expérimental qui la rapproche de certaines disciplines de la physique comme la mécanique des solides.

Dans un ordre de grandeur supérieur, celui des chaînes de montagnes, la géologie structurale se préoccupe davantage de reconstituer les événements, de les dater les uns par rapport aux autres, et revêt donc un aspect historique non négligeable.

A l'étude de cette évolution géométrique des matériaux s'ajoute parfois celle de leur transformation qui est la préoccupation des disciplines de la pétrologie, considérées sous leur aspect dynamique : étude des magmas, de leur différenciation, de leur transfert dans la lithosphère, éventuellement de leur comportement en surface (volcanologie) ; étude des transformations des roches soumises à des pressions ou à des températures élevées (pétrologie métamorphique). Dès qu'on prononce tectonique des plaques nous sommes plutôt dans le champ de la géologie fonctionnaliste. Nous sommes conscients que ce n'est pas aussi facile de faire la distinction entre les deux axes de recherche en géologie (fonctionnaliste et historique)

qui s'articulent l'un à l'autre. Nous essayons dans ce qui suit de recourir à des travaux antérieurs pour fonder notre problématique de recherche.

2.3. Les sciences de la terre fonctionnalistes et le temps géologique

Nous ne visons pas ici à expliquer le temps géologique profond mais plutôt le temps comme il est conçu en géologie fonctionnaliste et plus particulièrement en tectonique des plaques. La théorie mobiliste est impliquée directement dans l'actualisme. Selon Gould (1990, p97), J. Hutton dans *la théorie de la terre*, précise que « le temps, qui mesure toutes les choses dans nos idées, mais qui se dérobe souvent à nos desseins, est par nature incommensurable et immatériel ». Gould s'est penché sur la question du temps en géologie, dans son livre « *Aux racines du temps* », il livre une méditation sur les échelles de temps et leur incidence sur la perception des processus géologiques.

Dans son interview en décembre 2001, Xavier Le Pichon précise que la méthode de datation des roches a permis de dater la terre. Selon lui, les géologues étaient conscients de l'importance du temps alors que les géophysiciens, avant la datation isotopique, s'étaient trompés. D. Orange (2003) a montré la multiplicité des temps dans les sciences de la nature avant d'approfondir cette recherche en sciences de la terre. En fait, « tout dépend de ce qu'on fait du temps ». Pour X. Le Pichon, le temps ce n'est pas seulement connaître une échelle. Dire que telle roche a tel âge, c'est plutôt connaître quels sont les processus du passage d'une étape à l'autre. Ainsi, lorsque nous cherchons à expliquer l'histoire de cette roche c'est de celle de la terre dont il est question. Lorsque X. Le Pichon évoque les processus géologiques on n'est plus dans une science expérimentale mais plutôt dans une science historique.

Les physiciens ont montré que le temps est abstrait et réel, donc mesurable. Mais le temps passe : à peine mesuré, il passe, il est histoire. Dès lors il devient insaisissable. Notre connaissance expérimentale, en acte, ne peut atteindre que le présent. Mais le présent ne dure qu'un instant et nous nous tournons vers le futur. Une station d'enregistrement d'ondes sismiques montre à tout instant une nouvelle fréquence. C'est donc là le vrai travail du géologue : établir un modèle explicatif, à partir de l'analyse du présent passé, qui peut être soumis à l'expérience. C'est encore le temps qui jugera la validité de ce modèle. Mais peut-on construire des modèles où le temps se compte en millions d'années ?

Les vitesses relatives des plaques sont faibles : quelques centimètres par an, les déplacements observés lors des séismes sont peu importants : quelques dizaines de mètres au pire, donc le facteur que nous ne devons pas oublier dans notre réflexion : c'est le temps, le temps géologique. Les phénomènes géologiques se déroulent sur des millions d'années : la formation

des Pyrénées a pris plus de 50 millions d'années, celle des Alpes, qui est encore en cours dure déjà depuis 40 millions d'années. L'évolution biologique est aussi un phénomène historique.

3. Une vision didactique sur l'enseignement-apprentissage des sciences de la terre

Les difficultés de la conceptualisation en sciences ont joué sur le passage à une orientation résolument didactique. Depuis 1970, la didactique a pris en charge une réflexion épistémologique sur les contenus scientifiques. S'inspirant essentiellement des travaux de Piaget, au début de son essor, elle s'est rapidement intéressée aux travaux de Bachelard. Pour M. Fabre (2001), La pensée bachelardienne développe deux idées cardinales : « celle d'obstacle et celle de problème. Bien évidemment par la suite, les didacticiens ont rendu compte des travaux qui ont succédé à ceux de Bachelard ; de Kuhn (1962) avec la révolution scientifique et la notion de paradigme et de K. Popper (1973) par ces réflexions sur la notion de problème. Mais nous pensons, comme le souligne Fabre, que la pensée de Bachelard est donc loin d'avoir épuisé sa fécondité didactique. Depuis son essor, la didactique s'intéresse peu à la géologie et son enseignement, et nous avons attendu l'année 1995 pour voir deux numéros d'Asters² consacré entièrement à la didactique de la géologie. Plusieurs travaux depuis cette année ont été menés et servirent de base à l'élaboration de nos questions de recherche. Dans une vision épistémologique bachelardienne, qui est la nôtre, nous essayons d'apporter une signification aux explications avancées par les apprenants de certains phénomènes naturels : séismes, orogénèse et crises biologiques. Notant que les crises biologiques s'inscrivent à la fois dans les deux disciplines géologiques et biologiques. De ce fait « il faut problématiser la fonction du temps en géologie et en biologie pour comprendre que, si de nombreux systèmes relevant de ces sciences sont stables structurellement, cela est paradoxalement nécessaire à leur développement et à leur évolution dans une autre échelle de temps » (C. Orange et D. Orange, 1995, pp26-49). Le concept "temps" est étroitement lié au concept "espace", c'est dans cette dimension spatiotemporelle que certains phénomènes naturels devraient être expliqués.

3.1. Le temps et l'espace dans l'enseignement de la biologie-géologie

M. Sauvageot-Skibine (1995) a montré que les concepts « temps » et « espace » sont toujours requis, si non encore d'avantage par la théorie globale. Ces concepts sont difficiles à faire naître et utiliser par l'apprenant. Et même si ces problèmes ont été relevés par la didactique,

² Revues spécialisées en didactique des sciences de la vie et de la terre.

ils constituent des sujets loin d'être épuisés. « La paléontologie peut aider à construire le concept de temps » (G. Colette et P. Schneeberger, 1995). Alors que la carte géologique (P. Savaton, 1995) peut aider à construire le concept d'extension spatiale (en trois dimensions). La compréhension de ces deux concepts (temps et espace) va se compliquer quand il s'agira de passer du local ou régional au global. Dès que nous les abordons, nous faisons appel à la physique. En fait, les nouvelles activités intellectuelles et mentales de l'apprenant ne deviennent possibles qu'après affrontement entre « permanence et changement » au niveau des manières de se représenter les structures géologiques, dans l'espace et le temps (A. Monchamp et M. Sauvageot Skibine, 1995, pp3-20). J.-P. Astolfi a remarqué que les jeunes élèves considèrent les fossiles comme des constructions humaines en raison d'un obstacle artificialiste à concevoir la géométrie à leur âge, renforcé par la difficulté de concevoir la géométrie d'une couche géologique. Le questionnaire, proposé aux élèves par G. Gohau (1995, pp21-41), portait sur l'âge et le mécanisme de la formation des chaînes de montagnes. Il lui a permis de remarquer que les élèves attribuent l'orogénèse à un phénomène unique dans une histoire linéaire non répétitive.

Savaton a montré que la réalité pratique de la construction de la carte géologique est ignorée. Les représentations des élèves montrent que les dimensions spatiales et temporelles sont très mal perçues. Les roches ne sont pas imaginées dans l'espace : ce qui montre l'absence de raisonnement géométrique et de positionnement temporel. La dimension spatiale (en trois dimensions) de la carte est réduite en deux dimensions planes. En 2003, D. Orange a tenté de comprendre les difficultés des élèves à utiliser le temps en géologie. Elle a montré que l'utilisation spontanée du temps pour la construction et la résolution de problèmes géologiques peut faire obstacle à leurs apprentissages. Les apprenants ne conçoivent pas le temps dans sa dimension géologique. Nous posons la question de la place de l' « espace » dans les explications en sciences de la terre, ainsi que la mise en relation des deux concepts (temps et espace). C. Allègre (1983) précise que le message géologique possède à la fois une dimension spatiale et une dimension temporelle. Dans cette direction, des approfondissements auront lieu dans notre projet de recherche.

Les travaux actuels des tenants de l'approche de problématisation en sciences rendent compte de l'importance particulière des registres de modélisation (registre empirique, registre des modèles et registre explicatif) dans la construction des problèmes en sciences. Nous reviendrons à l'explication de ces registres ultérieurement. En fait, nous avons tenté (Y. Boughanmi, 2004) de reconstruire les registres de modélisation mobilisés par les élèves dans l'explication de certains phénomènes géologiques. Nous sommes parvenu au fait qu'ils sont

très variés et hétérogènes. La cause de cette hétérogénéité mérite d'être approfondie. La problématisation nécessite la mise en tension (et non en relation) des registres empiriques pour comprendre comment les apprenants acquièrent un savoir scientifique explicatif. Cette mise en tension débouche sur des nécessités.

Les travaux que nous venons de citer ont montré d'éventuelles difficultés en ce qui concerne l'appropriation du savoir géologique et biologique par les apprenants. L'histoire des sciences enrichit les diverses façons dont ont été abordées les explications des phénomènes géologiques. En se basant sur ces travaux et aussi sur l'histoire de la géologie et de la biologie, nous approfondirons notre cadre théorique et nous essaierons d'apporter quelques éléments de réponse pour les questions relatives à notre recherche. Néanmoins nous rappelons que nous abordons dans ce travail seulement quelques phénomènes naturels (séisme et tsunami, orogénèse et crises biologiques). Les séismes et les chaînes de montagnes sont enseignés au lycée et à l'université alors que les crises biologiques ne sont pas enseignées en tant que telles mais sont survolées par plusieurs disciplines durant le parcours d'étude de chacun. Récemment, les crises biologiques ont été rajoutées dans le programme de la 3^{ème} année en sciences expérimentales.

3.2. Les conceptions des apprenants

Tous les apprenants avaient eu par le passé, dans leurs esprits beaucoup de "représentations". Ces connaissances, parfois préscientifiques, ont comme origine différentes sources (social, médias...) et peuvent être même parfois contradictoires avec les connaissances scientifiques. Une problématique s'impose. Devons nous ignorer la culture scientifique des apprenants pour leur transmettre de manière magistrale le savoir encyclopédique, objet des programmes officiels ou devons nous au contraire travailler à partir de leurs conceptions qu'ils ont pu acquérir dans leur passé et, dans cette hypothèse là, comment y parvenir ? Les définitions proposées par les didacticiens penchés sur la question disent que dans l'esprit de chacun il y aurait tout un système d'idées permettant de comprendre le monde qui l'entoure. C'est une sorte de "théorie" sur le monde ou une "modélisation" du monde. Le terme de conceptions désigne l'ensemble des images et de modèles présents chez l'apprenant avant même qu'une activité quelconque ne débute (G. De Vecchi et A. Giordan. 1989). Une prise en compte de ces conceptions et un travail à partir d'elles pourrait être en mesure de dispenser un enseignement de qualité aux apprenants.

De nombreuses recherches ont établi (Y. Boughanmi et D. Orange (2005) ; G. Gohau (1995), Y. Boughanmi (2006)) que les apprenants possèdent avant même d'aborder tout enseignement

des idées sur les questions à étudier. De nombreux auteurs ont pu se rendre compte que le savoir scientifique "passe mal", qu'il est moins bien intégré ou rapidement oublié et surtout qu'il est rarement utile du fait qu'il s'avère peu mobilisable dans la pratique. Ajoutons le qu'il existe une rupture entre les savoirs de l'élève et la culture scientifique. Si un enseignement magistral est à exclure puisque s'avérant peu adapté à l'acquisition du savoir, quelle place doit-on donner aux conceptions primitives de l'élève dans l'élaboration des cours des sciences de la vie et de la terre, et plus particulièrement, comment aborder le concept « temps géologique », et aussi le concept « espace ». Telle est la démarche que nous voulons développer dans notre travail. Cependant, nous dépassons le travail sur les conceptions par celui de la problématisation.

Certains auteurs constatent que les cours de sciences ne donnent pas les résultats réellement escomptés dès lors qu'ils sont dispensés de manière trop académique. Ces cours ont pour objectif de faire acquérir à l'élève une certaine ouverture sur le monde qui l'entoure et non pas une connaissance dont l'acquis ne dépassera pas le temps de l'évaluation. Pourquoi après tant d'effort l'élève retient peu ? Cette question pourrait être mise en perspective avec une analyse mettant en évidence le rôle moteur du système de réflexion de l'apprenant dans son aptitude à acquérir des connaissances solides. Ce système de réflexion se construit pour chaque individu peu à peu au cours de son cursus et résiste fortement aux changements. Ainsi, l'enseignement semble ne pas pouvoir ignorer le « déjà-là » au risque de se voir refoulé et donc de s'évader de l'esprit de l'élève. Le changement semble avoir une certaine stabilité et l'apprentissage d'une connaissance, l'acquisition d'une démarche en dépend. Si l'on n'en tient pas compte des représentations, elles se maintiennent et le savoir proposé ne sera pas géré.

Toute la difficulté est donc de faire évoluer ces conceptions en faisant prendre conscience aux apprenants de leur résistance au changement. Le savoir que l'on veut faire acquérir pourrait être perçu et reconnu comme nouveau, mais il devrait pouvoir s'intégrer aux systèmes interprétatifs de celui qui le reçoit. Ainsi, les méthodes d'enseignement qui font de l'apprenant un élément passif dans l'élaboration du cours sont de plus en plus critiquées car elles font apparaître l'apprenant comme le "présent-absent" du système éducatif : il est là, mais on tient rarement compte de ce qu'il sait ou croit savoir.

3.3. Conclusion

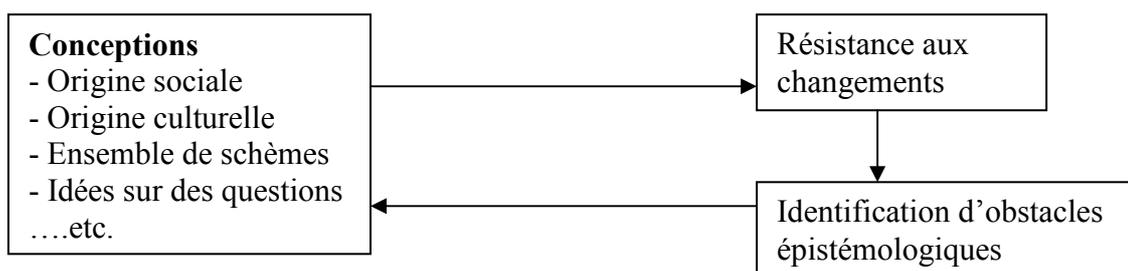


Figure 1 : origine et utilité des conceptions

Quelque soit l'origine des conceptions des apprenants, elles pourraient résister aux changements. L'interprétation des conceptions reflèterait une partie de la pensée de l'apprenant et permettrait l'identification des obstacles épistémologiques à l'acquisition d'un savoir quelconque. Cependant, notre travail veut plus s'orienter vers la problématisation, l'analyse des conceptions de la population concernée serait une phase exploratoire aidant à la construction du problème scientifique dans un cadre où la science doit être conçue comme explication et non pas une forme de description.

4. La construction du problème en sciences : un outil méthodologique didactique

La nécessité d'un enseignement pertinent fait de la construction du problème un champ d'investigation permettant le développement de la pratique enseignante. Certains didacticiens se penchent aujourd'hui dans leurs travaux sur les notions de problématisation (construction du problème), problématique (recherche d'une solution), problème et situation-problème vu leur intérêt pour l'acquisition du savoir scientifique. « Bachelard et Dewey situent le problème par rapport au savoir et par rapport à l'élève, et tout irait bien si les élèves posaient eux-mêmes un problème scientifique » (M. Sauvageot-Skibine (1995). Les travaux de M. Fabre (2005), de G. Rumelhard (1997) montrent que la problématisation est un "véritable concept" didactique. Ce concept clé de notre travail, même s'il a été repris par plusieurs recherches, mérite d'être mieux expliqué avant que nous le transposions à l'explication de phénomènes naturels en sciences de la vie et la terre. En fait, plusieurs travaux sur la problématisation ont portés sur les sciences fonctionnalistes avant que D. Orange (2003) apporte une nouvelle vision de la manière de travailler sur des problèmes de sciences historiques ; biologiques et plus particulièrement géologiques. Il serait féconds de mener des approfondissements théoriques dans l'objectif de comprendre comment se construit l'explication scientifique chez le chercheur ou chez l'apprenant.

4.1. Des conceptions primitives de l'élève vers la problématisation

Les conceptions des apprenants et leur prise en compte dans l'enseignement-apprentissage ont représenté un thème majeur des recherches en didactique de la biologie et récemment en géologie (J.-P. Astolfi et B. Peterfalvi (1997); P. Clement et al. (1994). Ces conceptions montrent une forte résistance à l'appropriation du savoir scientifique. Notre intérêt pour l'étude des conceptions des apprenants s'inscrit dans un cadre constructiviste de l'enseignement-apprentissage. Ces conceptions ne révèlent certainement qu'une partie de la pensée de l'apprenant, leur investigation nécessite un travail continu d'interprétation. Comme l'affirme J.-P. Astolfi (2005), les recherches de C. Orange et bien d'autres didacticiens s'efforcent de montrer que la science n'est pas un temple, mais un chantier. C. Orange propose, sans en nier l'intérêt, de dépasser le travail sur les conceptions alternatives des apprenants, afin de travailler avec la construction des problèmes. La construction du problème ne peut se cantonner au début du travail scientifique ; elle est une part essentielle et se développe dans le temps ; en interaction permanente avec les études empiriques. L'analyse des conceptions dans la phase exploratoire de notre travail sera d'un grand intérêt, c'est une phase indispensable pour identifier les obstacles empêchant les apprenants d'acquérir un savoir. Dans le tableau suivant Astolfi résume la différence, sans les opposer, entre le travail sur les conceptions et celui sur la construction des problèmes en s'inspirant du travail de C. Orange (1999).

Tableau 1 : différence entre deux perspectives du travail : conceptions et problèmes

Perspective du travail sur les conceptions alternatives	Perspective du travail sur la construction de problèmes
Faire passer d'une conception C1 à une conception C2 Faire prendre conscience de ses conceptions et de leurs limites	Faire passer d'une opinion O à un savoir scientifique S Faire chercher les raisons Qui se cachent derrière nos idées

Dans la première perspective, plutôt psychologique, les conceptions C1 et C2 sont de même nature, C2 étant simplement plus proche des savoirs savants. La question essentielle est alors de savoir qui a raison, et le moyen privilégié pour trancher les alternatives est celle du conflit sociocognitif. Le savoir « vrai », que les apprenants le savent, est caché quelque part.

Dans la seconde perspective, plus épistémologique, l'opinion O n'est pas de même nature que

le savoir S. La question essentielle n'est alors plus de savoir qui a raison mais de comprendre les raisons des points de vue en présence. Il s'agit davantage de remonter vers l'amont que de filer vers l'aval. Il s'agit de chercher les justifications de ses idées, d'identifier le référent empirique sur lequel on s'appuie, de repérer le système des contraintes à respecter.

Selon J.-P. Astolfi (2000), un constructivisme psychologique n'est généralement pas synonyme de constructivisme épistémologique. Comme l'explique C. Orange, le passage des idées aux raisons c'est le passage d'une logique de communication à une logique de validation. En termes kantien, quitter le champ de l'assertorique (du latin : *asserere*, affirmer) pour affirmer un énoncé possible pour celui de l'apodictique³ (du grec : *apodeiknunai*, démontrer) afin d'introduire un énoncé nécessaire. L'affirmation peut ne pas conduire à la démonstration. G. Bachelard (1947) nous enseigne que toute pensée scientifique se dédouble en pensée assertorique et pensée apodictique, entre une pensée consciente du fait de pensée et pensée consciente de la normativité de pensée. De ce fait, les raisons débouchent sur des nécessités. Comme l'affirme Y. Lhoste (2006), en se basant sur l'explication de Bachelard, il faut que la problématisation soit conçue comme « *une surveillance intellectuel du soi* ». Nous empruntons ce chemin afin de nous écarter du « formalisme scolaire » et de rapprocher l'apprenant du chercheur.

Le développement du savoir scientifique nécessite une vision critique au sens de Bachelard, une révolution et un changement de paradigme au sens de Khun. Les didacticiens s'efforcent de se focaliser et de pousser les travaux sur la problématisation qui est devenue une nécessité pour développer des méthodes scientifiques actuelles pour l'enseignement et la recherche. L'objet de notre recherche touche plusieurs domaines scientifiques : géodynamique interne et externe, géophysique, géochimie, biologie, paléontologie. A l'école, les apprenants viennent confronter leurs propres modèles du monde à des modèles scientifiques parfois difficile à construire. Nous essaierons d'analyser leurs conceptions avant de reconstruire leurs espaces de contraintes par rapport à l'explication scientifique de certains phénomènes naturels (séismes et Tsunami, formation des chaînes de montagnes et crises biologiques).

4.2. Notion de problème

Nous retenons des Grecs au moins trois définitions du problème : *proballein* (se jeter en avant); *problema* (ce qui est placé là devant, le boucler) ou *problema* (le promontoire, la saillie). Un problème est souvent défini comme une difficulté à surmonter ou comme un

³ Est apodictique ce qui est nécessaire, ce qui ne peut être autrement. En cela, la modalité de l'apodictique se distingue de celle de l'assertorique : ce qui pourrait être autrement.

obstacle intellectuel à l'appréhension du vécu. Mais selon K. Popper, quand nous rencontrons un problème, il est évident que, quoi qu'il en soit, nous ne pouvons pas en savoir grande chose. Au mieux, nous n'avons qu'une vague idée de ce en quoi il consiste réellement. Comment alors pouvons-nous élaborer une solution ? Un problème se construit en critiquant sa solution non convaincante. Comme nous l'enseigne K. Popper (1991), c'est en proposant une solution inadéquate et en la critiquant que nous arrivons à comprendre le problème. Donc nous testons en quelque sorte le dysfonctionnement de la solution. G. Rumelhard (1997a) voit qu'en biologie et en géologie les problèmes ne sont posés que rarement. De ce fait, le savoir biologique et/ou géologique se présente comme des résultats cumulés. Nous pensons, comme nous l'enseigne Bachelard, que quelle que soit la discipline et quoi qu'on dise, dans la vie scientifique, les problèmes ne se posent pas d'eux même. C'est plutôt en travaillant sur un problème assez longtemps et assez intensivement que nous aboutirons à sa compréhension et à une solution comme le note Popper. Mais c'est en termes d'obstacles qu'il faut poser le problème scientifique. Cependant, l'activité du traitement du problème se penche tantôt sur la problématique (la résolution du problème) et tantôt sur la problématisation (la construction du problème). Un problème est toujours sur le chemin d'une recherche de cohérence. Il faut surtout ne pas confondre question et problème car certaines questions ne renvoient pas à des problèmes scientifiques. La problématisation pourrait avoir comme point de départ une question avec pour objectif la formulation d'un problème. Pour passer de la question au problème il n'y a pas de méthodes ou de recettes déterminées mais nous pensons qu'en déchiffrant les termes de la question et en adoptant des reformulations possibles de la question nous pourrions aboutir. Pour J. Dewey (1962), rien ne peut être fait problème pour quelqu'un, simplement parce qu'on lui accole l'étiquette problème, ou encore parce que c'est une chose difficile et rébarbative.

Selon J.-P. Astolfi et R. Demounem (1997) les problèmes ne sont pas uniquement un moyen pour évaluer les acquisitions des élèves mais ils peuvent être comme l'origine de la construction de leur savoir. Le problème scientifique passe donc d'un critère d'évaluation de l'apprentissage à un moyen d'acquisition et de réflexion sur le savoir en question. Néanmoins J.-P. Astolfi et al (1997a) résument la résolution du problème en deux tâches : comprendre la question et expliciter le contrat didactique. Telle qu'elle est définie par M. Fabre (1993), la problématique est loin d'être achevée en se basant uniquement sur ces deux tâches. Quelles sont les conditions de possibilités de résoudre un problème? Dans notre travail nous nous intéresserons plus à la construction du problème par les apprenants qu'à sa résolution, nous

commencerons tout d'abord par étudier la dimension du problème et sa résolution avant de nous pencher sur sa construction.

4.3. Dimension du problème

Selon M. Fabre (1999) le problème est constitué par le sujet (activité) et la tâche (espace-problème et domaine). Selon lui la description de la tâche relève de l'objectif alors que l'interaction relève du subjectif. Cette interaction crée une situation-problème (J.-F. Richard, 1990). Fabre avance quatre catégories de problèmes : la recherche d'une solution à un problème bien identifié, la recherche décisionnelle ; quelles hypothèses ou solutions choisir ?, la recherche d'explications ; formuler explicitement les buts des problèmes et la recherche de reformulation ce problème est-il bien choisi ? Notre travail est une recherche qualitative de signification. La problématisation est aujourd'hui l'une des clés de la progression scientifique. C'est en construisant des problèmes objectifs que nous faisons avancer le questionnement scientifique. Souvent les apprenants ne participent pas à la construction d'un problème dans la classe, le professeur pose la question (qui renvoie à un problème) et y répond. Or l'acquisition des connaissances est loin d'être une transmission ou accumulation du savoir. Nos apprenants sont-ils capables de problématiser le savoir que nous tentons leur faire acquérir ?

4.4. Utilité de la situation-problème

Le concept situation-problème est utilisé dans plusieurs contextes de formation. Il correspond davantage à l'idée d'une situation d'apprentissage présentée à l'élève lui permettant le franchissement d'un obstacle ou d'atteindre les objectifs visés pour développer la compétence, qu'à une situation à caractère problématique à résoudre. En fait, La situation problème est une situation d'apprentissage. Elle est une stratégie d'enseignement qui favorise l'engagement des élèves dans la construction de leur savoir. Dans un contexte bien déterminé, une situation problème a un but et requiert plus qu'une procédure de résolution. Donc elle fait appel à plusieurs connaissances et à plus d'un type de connaissances qui amène un conflit cognitif dont la solution n'est pas évidente mais réalisable. Le travail de la situation-problème fonctionne ainsi sur le mode du débat scientifique à l'intérieur de la classe, stimulant les conflits socio-cognitifs potentiels (J.-P. Astolfi, 1993b).

Une situation-problème propose à l'apprenant une tâche pour laquelle il ne dispose pas immédiatement de tout ce qui lui est nécessaire pour l'accomplir. « Il y a de l'imprévisible dans la recherche, il y a de vrais problèmes, des problèmes qui font apparaître des difficultés inédites, pour le traitement desquels les méthodes ne se sont pas données à l'avance, il y a des

résultats inattendus, qui bouleversent parfois profondément les idées acceptées » (J. Ladrière, cité par L. Apostel et al. 1973, p19-56). Les représentations des apprenants se révèlent inadéquates si elles ne peuvent pas interpréter d'une façon canonique un problème. Fabre voit que tout schème, toute conception, fonctionne comme un outil et comme un obstacle. La situation-problème devrait offrir une résistance suffisante, amenant l'élève à y investir ses connaissances antérieures disponibles ainsi que ses conceptions, de façon à ce qu'elle conduise à leur remise en cause et à l'élaboration de nouvelles idées.

Tableau 2: conditions d'une situation problème

<p>La situation-problème est situation d'apprentissage</p>	<p>Franchir un obstacle</p> <p>Développer des compétences</p> <p>Engager l'élève dans la construction de son propre savoir</p> <p>Plus qu'une procédure de résolution</p> <p>Conflit cognitif</p> <p>Solution réalisable</p> <p>Mettre en cause les conceptions</p> <p>Elaboration de nouvelles idées</p>
---	---

4.5. La résolution du problème : une tâche de sa construction

L'apprenant peut s'engager dans la résolution du problème en imaginant la réponse. Les connaissances de l'apprenant pourraient être insuffisantes à la résolution d'un problème. Nous estimons qu'après l'enseignement le savoir raisonné de l'apprenant répondrait à cette insuffisance. Le novice conscient de l'inadéquation de sa résolution, au sens de K. Popper, peut donc reformuler le problème. Ceci fait appel à l'intervention de l'enseignant sans que celle-ci se substitue au travail de l'apprenant. Dans la tâche même de la résolution du problème pourrait exister la tâche de sa construction : c'est dans l'acte même de la problématisation que naissent les questions renvoyant à de "vrais" problèmes scientifiques. Du côté de la recherche en didactique des sciences, « la relation entre problèmes, activités et apprentissages semblent aller de soi » (C. Orange, 2005). La modélisation est en étroite relation avec la problématisation. C'est en posant des "bons problèmes" que nous sommes stimulés pour trouver des modèles qui permettent leurs résolutions. Mais nous sommes inscrits dans un cadre théorique dans lequel construire le problème est plus que le représenter ou le modéliser c'est plutôt s'engager dans un processus rationnel correspondant à une exploration du possible, de l'impossible et du nécessaire.

4.6. Conclusion

Nous récapitulons dans le tableau suivant quelques critères de la construction du problème et de sa résolution.

Tableau 3: quelques critères de la problématisation et la problémation

Construction de problème	Genèse des solutions dans le problème	Raison des points de vue Justifications des idées Champ de l'apodictique Surveillance intellectuelle du soi Critique de la solution Recherche de la cohérence Objectivité
Résolution de problème	Fin des problèmes dans la solution	Critère du vrai ou faux Outil d'évaluation Positivité de la solution Champ de l'assertorique Affirmations des points de vue Méthodes de résolution (génétique, maths)

Nous retravaillons, mais brièvement, la mise relation des différents registres de modélisation. Comme nous l'avons souligné (Y. Boughanmi, 2004), la modélisation est une mise en relation dans un registre empirique et un registre des modèles, alors que la problématisation serait la mise en tension entre les deux registres. Pour comprendre comment les apprenants construisent des problèmes nous sommes appelé à reconstruire leurs espaces de contraintes. Nous rappelons donc les définitions des différents registres de modélisation tels qu'ils sont définis dans la littérature didactique. En fait, si la modélisation est une mise en relation entre les éléments du registre empirique (les contraintes empiriques) et les éléments du registre des modèles (contraintes théoriques et nécessités sur les modèles), la problématisation est une mise en tension entre ces mêmes registres. Nous proposons dans ce qui suit l'explication des différents registres telle qu'elle est présenté dans la littérature didactique.

5. Les registres de modélisation en sciences

Nous allons nous baser sur les travaux de J.-L. Martinand (1992, 1995); C. Orange (2000) ; D. Orange (2003) pour expliquer les différents registres de modélisation : le registre empirique, le registre des modèles et le registre explicatif. Le présent développement théorique va nous

permettre de mener une réflexion sur la reconstruction des registres de modélisation mobilisés par les apprenants dans l'explication de quelques phénomènes naturels et sous-entendus par leur espace de problématisation.

5.1. La modélisation dans le cadre des travaux de Jean Louis Martinand

La recherche scientifique et l'enseignement des sciences se fondent sur la modélisation. Une explication de la notion de modèle et de la nécessité de modéliser nous paraît intéressante avant de définir les registres de modélisation construits pour l'appropriation d'un savoir scientifique. Ces registres seront utiles pour l'analyse des réponses des élèves. Le terme modèle présente une polysémie marquée. Au sens large, il définit toute activité de représentation, quelle que soit la nature des opérations intellectuelles réalisées : définition (espace), loi (loi des gaz parfaits), reconstruction conceptuelle (cellule). L'idée des tenants de cette conception est que l'activité scientifique porte sur des objets construits par l'esprit humain, qui devraient être reconstruits au fur et à mesure du développement de la science. Au sens étroit, le terme modèle désigne toute représentation matérielle, iconique ou symbolique, faite en vue d'une explication. Cette dernière reproduit certains aspects de l'objet étudié pour comprendre son fonctionnement et déduire des nouvelles propriétés.

Certes, nous assistons à un usage intensif des mots modèles, modélisation, méthodes de modélisation, problèmes de modélisation dans le vocabulaire scientifique. Selon Martinand, il n'est pas toujours facile de définir le terme modèle vu la double incertitude des définitions : incertitude sur le statut épistémologique des modèles et incertitude sur le sens d'une évolution possible des types de modèles utilisés. Les modèles ne sont pas questionnés dans l'enseignement dogmatique. Ils sont présentés comme des évidences aux apprenants. Le rejet de ce dogmatisme par les apprenants incite à réfléchir sur les modèles et leur enseignement. Comment construire, adapter et utiliser les modèles ? Les modèles sont hypothétiques, modifiables, pertinents pour certains problèmes dans certains contextes. Il fallait donc donner aux modèles leurs trois caractéristiques pour qu'ils soient fonctionnels. Mais selon Martinand, ce qui pose problème ce sont les modèles spontanés qui peuvent résister aux modèles enseignés. Les besoins de modélisation peuvent être d'ordre pratique afin de maîtriser l'action ou la fonction technique de certains objets ou les conditions de leur utilisation. Nous pouvons être incités à modéliser pour d'autres raisons : expliquer par des théories la forme même de la caractéristique de l'objet.

La distinction n'est pas toujours nette entre modèle et théorie ou modèle et lois. La relation entre modèle et théorie pose la question du rapport entre les phénomènes réels de la nature

(registre empirique) et les modèles construits (registres des modèles). C'est une réflexion sur la relation entre le « réel » et le « construit » (modèle). La théorie est conçue comme un ensemble de lois qui tentent d'expliquer des phénomènes de la nature, alors que le modèle est conçu comme un « artefact »⁴. Dans les deux cas, il s'agit d'une interprétation de la réalité. X. Le Pichon (1984) affirme qu'avant la formulation de la tectonique des plaques, plusieurs grands phénomènes géologiques défiaient toutes les explications logiques et rigoureuses. Par exemple, on savait bien que la lave des volcans provient du manteau, mais on ne savait pas expliquer pourquoi il y avait magmatisme et pourquoi les volcans se répartissaient de façon non aléatoire à la surface du globe. Il en était de même en ce qui concerne l'origine et la distribution des séismes. Même interrogation pour les chaînes de montagnes ; on saisissait bien en observant la géométrie des couches géologiques qu'il fallait des forces de compressions latérales pour plisser ces couches et pour soulever une aussi grande quantité de matériel qui à l'origine s'était déposé dans un bassin marin, mais on n'arrivait pas à identifier ce qui causait ces forces.

La théorie de la tectonique des plaques est devenue un modèle de la dynamique externe et interne du globe terrestre qui permet de comprendre d'une façon unifiée les grands phénomènes géologiques (X. Le Pichon, 1984). Nous pensons que la révolution en sciences de la terre des années soixante a développé une théorie et a créé un modèle : modèle et théorie sont-ils des synonymes ? Mais tout modèle demande à être testé, et ce n'est qu'après avoir réussi le test qu'il peut être considéré comme valide. « Ce test, il se fonde bien évidemment sur la validité des observations et la rigueur des interprétations mais aussi obligatoirement sur le pouvoir unificateur des phénomènes observés » (X. Le Pichon, 2001). La théorie de la tectonique des plaques se veut explicative. Bien que nous puissions tester son explication sur plusieurs phénomènes géologiques, petits et grands, nous allons nous limiter ultérieurement aux deux phénomènes : les séismes, et la formation des chaînes de montagnes. Les crises biologiques renvoient à une obligation d'interdisciplinarité. Les deux premiers phénomènes sont enseignés dans le programme de la 2^{ème} année secondaire (15-16 ans) durant l'année scolaire 2004-2005. Le même thème a été basculé pour être enseigné en 3^{ème} année sciences expérimentales durant l'année scolaire 2006-2007. Les travaux de C. Orange ouvrent un nouveau champ de travail, que nous empruntons, sur la modélisation et sa relation avec la problématisation. Nous allons redéfinir les registres dont la mise en tension débouche sur la problématisation.

⁴ Phénomène d'origine artificielle ou accidentelle rencontré lors d'une observation, d'une expérience.

La modélisation consiste à relier le référent empirique (faits, objets, phénomènes) à sa représentation. Ces deux mondes de la modélisation peuvent être rapprochés d'un premier schéma de modélisation élaboré par Martinand. Ce premier schéma repose sur la distinction de deux registres : le registre du référent empirique, et celui du modèle, qui le représente. Ce schéma a été critiqué par Martinand par lui-même car il ne fait apparaître que deux registres. Pour J.-L. Martinand (2000), les modèles (en tant que signifiés) jouent des rôles analogues aux concepts et « théorèmes ». Le registre de référent empirique est finement décrit : Martinand distingue la phénoménotechnique, qui contient les objets utilisés et leurs conditions d'utilisation, la phénoménographie, qui est la « lecture première » des phénomènes, et la phénoménologie, qui en est une "lecture seconde" une fois que le modèle du phénomène a été construit. Les processus de modélisation sont, en quelque sorte, les allers-retours entre les deux registres. Un deuxième schéma de la modélisation a été construit par Martinand.

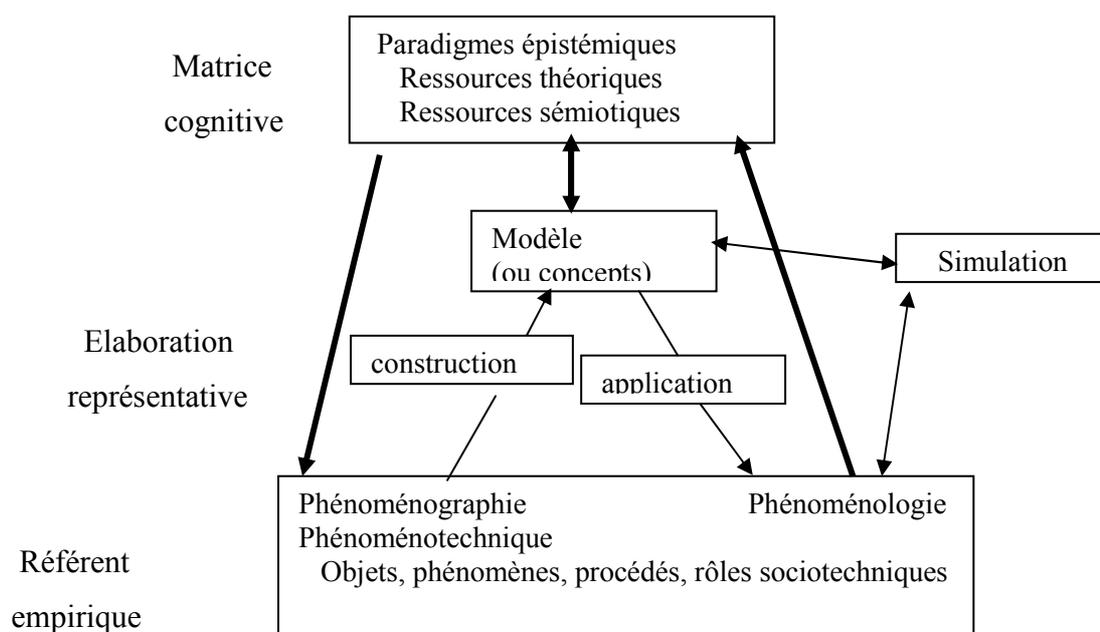


Figure 2 : Schéma de la modélisation selon Jean-Louis Martinand (1996)

Ce deuxième schéma de Martinand a été utilisé essentiellement pour construire ou analyser des séances ou des séquences d'enseignement. Elle conduit à décrire les événements qui se déroulent dans la classe du point de vue de l'enseignant et du point de vue de la physique. En fait, les travaux de Martinand sont développés dans le domaine de la physique et la technologie. Le paradigme épistémique est la conception de ce que doit être la connaissance, c'est l'image de la science que l'on a. Les ressources théoriques, les ressources sémiotiques (langages, schématisations graphiques, symbolisations mathématiques et représentations

informatiques) et les paradigmes épistémiques constituent ensemble la matrice cognitive. Cependant la façon dont l'apprenant voit la réalité dépend de ses connaissances antérieures, qui ne sont pas celles de l'enseignant évidemment : la phénoménographie de l'enseignant n'est pas forcément opératoire pour l'élève. Dire que la phénoménographie est une première lecture avant l'application du modèle estompe le fait que toute description de la réalité véhicule des éléments d'un modèle préexistant, simplement par le langage utilisé.

C. Orange (1994) a proposé de travailler aussi, avant Martinand, dans un troisième registre : celui de "réfèrent explicatif". Martinand n'était pas d'accord sur cette appellation vu la confusion que peut induire le double emploi de réfèrent (réfèrent empirique et réfèrent explicatif).

5.2. La modélisation dans le cadre des travaux de Christian Orange

Utilisant une distinction entre registre du modèle et registre empirique introduit par Martinand, Orange a décrit la construction de problèmes comme l'identification et la mise en tension des deux registres. La confrontation au réel, directe ou non, y joue donc un rôle essentiel. Cela conduit C. Orange à mettre en avant la variété des relations entre registres empiriques et explications. En partant de l'idée que l'entrée dans les savoirs scientifiques a plus à voir avec la construction des problèmes qu'avec leur résolution, C. Orange propose le passage d'un problème qui se pose à des modèles explicatifs hypothétiques, complètement explicites et raisonnés. L'explication nécessite la construction des modèles. Pour Orange construire un modèle c'est mettre en relation deux mondes : le monde empirique et le monde explicatif.

Reprenons alors les définitions attribuées par C. Orange (2000) aux différents registres :

- Le registre empirique (ou "mondes des faits et des phénomènes") est constitué de phénomènes que le modèle explique et dont il rend compte. Ce registre est constitué de faits et de phénomènes du monde que l'on doit prendre en compte ou expliquer dans le cadre du problème étudié.
- Le registre des modèles (où "monde des explications"). Ce registre des modèles est formé de constructions rendant raison de certains faits et phénomènes du registre empirique. Mettre en tension ces deux mondes c'est construire une explication, un modèle. Il en résulte une construction explicative, Orange définit un troisième registre.
- Le registre explicatif est "le monde qui donne sens au modèle et permet de le manipuler". Vues les difficultés qu'a soulevé l'intégration du concept de registre explicatif en didactique, voire en épistémologie, nous essayons d'approfondir le cadre théorique où il a surgi afin

d'éclaircir son usage dans notre investigation méthodologique. Ce concept n'a cessé d'enrichir les débats dans des rencontres scientifiques (colloques, séminaires ou congrès) ce qui nous ramène à revoir sa définition afin de défendre son utilité.

Le schéma, construit par C. Orange (2000), regroupant les trois registres, est le suivant. Les flèches montrent qu'il y a au moins une relation entre deux registres.



Figure 3 : les différents registres mis en jeu dans la modélisation (C. Orange, 2000)

5.3. La modélisation dans le cadre de travaux de Denise Orange

En s'inspirant des travaux de Martinand sur la modélisation et du schéma de mise en relation des registres de modélisation par Orange, D. Orange (2003) construit le schéma suivant de la modélisation, qui se distingue du précédent par la place du registre explicatif. Selon D. Orange, le registre explicatif est plus englobant.



Figure 4. Les différents registres en jeu dans la modélisation (D. Orange, 2003)

Les travaux didactiques sur la modélisation en géologie sont peu développés. En travaillant sur quelques exemples en géologie fonctionnaliste et aussi en géologie historique. Les registres peuvent être reconstitués ainsi que les relations qu'ils mettent en jeu. C'est dans ce courant de recherche privilégiant une approche épistémologique de la modélisation que s'inscrit notre recherche. D. Orange (2003) a essayé de caractériser la modélisation en sciences de la terre à partir de l'étude de deux exemples : le volcanisme de subduction et l'arénisation (formation de l'arène granitique). Pour chacun des deux exemples, elle a repéré le registre empirique et celui des modèles, autant pour les experts que pour les élèves. Elle conclut que les constituants, la richesse et l'organisation des registres de modélisation varient d'un apprenant un autre et de l'apprenant à l'expert. Le schéma de la modélisation construit par D. Orange nous semble plus adéquat pour reconstruire les différents registres mobilisés par les apprenants pour expliquer les phénomènes géologiques. Le registre empirique et le registre des modèles ne sont jamais donnés, mais ils sont construits. De ce fait, elle avance l'idée qu'il faut aussi voir le registre explicatif. Nous avons remarqué (Y. Boughanmi, 2007b)

la difficulté qu'impose la construction du registre explicatif et nous tentons de l'approfondir et de l'éclaircir.

6. Construction du problème ou du champ des possibles

Dans une perspective didactique, il faut considérer l'idée de "saillance" (qui relève du significatif) comme caractère fondamental du problème. Déstabiliser les conceptions des apprenants par une question serait une partie de la phase de construction d'un problème. Les enseignants qui s'attachent aux manuels scolaires ou à des programmes pour formuler des problèmes ne peuvent comprendre toute la charge épistémologique du problème. C'est en accédant à des questions du type ; qu'est ce que le temps géologique? Qu'est ce qu'une molécule virulente ? Que nous pouvons accéder au caractère de "saillance". Car un problème est une difficulté selon K. Popper (1991) et comprendre un problème consiste à découvrir qu'il y a une difficulté et où gîte la difficulté. Ce qui ne peut se faire qu'en découvrant pourquoi certaines solutions de prime abord ne marchent pas. Identifier la difficulté et/ou trouver une solution est insuffisant pour la construction du problème c'est plutôt critiquer la non efficacité des solutions proposées. Selon Dewey, Pour que l'enfant se rende compte qu'il a affaire à un problème réel, il faut qu'une difficulté lui apparaisse comme étant sa difficulté à lui, comme un obstacle né au cours de son expérience, et qu'il s'agit de surmonter. « quelle que soit la constitution des registres qui se construisent pour répondre à un problème, leur mise en correspondance se doit de dépasser la simple mise en relation pour une véritable problématisation ou mise en tension qui débouche sur des nécessités. Nous reprenons le schéma (C. Orange, 2000) qui tente d'explicitier en quoi consiste la problématisation. Le registre explicatif n'étant pas mentionné ci-dessous.

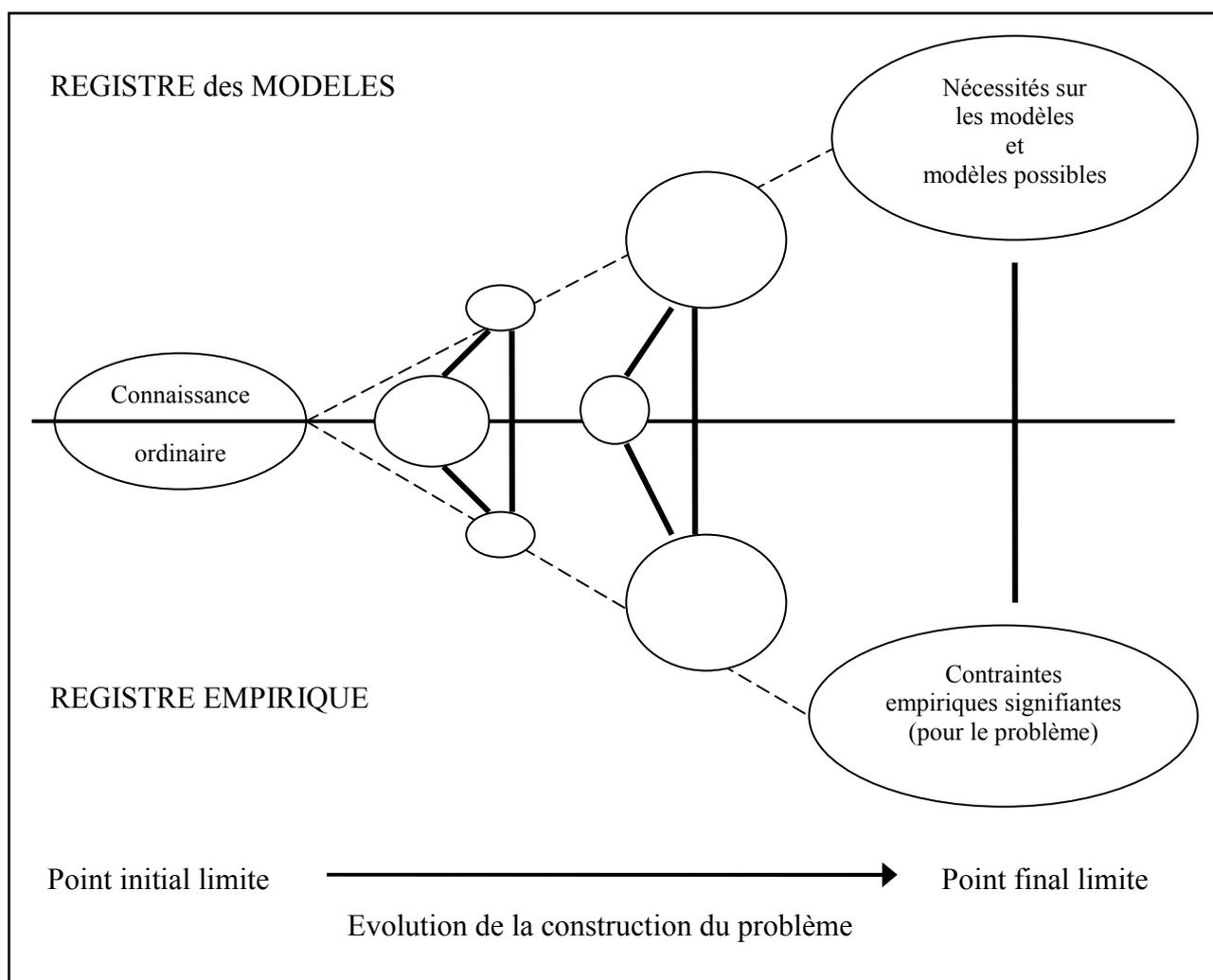


Figure 5 : Une représentation de la construction de problème : de la connaissance ordinaire au savoir scientifique (C. Orange, 2002, p.89)

6.1. Exemples de construction du problème en sciences

Prenons l'exemple du voyage avancé souvent par Fabre comme un problème. Imaginez qu'on vous demande de chercher une personne X qui habite à Paris et dont on vous donne uniquement l'adresse. Tous ce que vous allez faire depuis la préparation (argent, billet, ticket, n° de Metro...) peut être considéré comme des *conditions de possibilité* de réussir à trouver la personne. Et si vous arrivez au domicile de X où vous serez informé qu'il a déménagé, il faut de nouvelles conditions de possibilité pour le retrouver. Un problème *mal* posé ou un *faux* problème échappe à l'explication. Semmelweis (1818-1865), médecin qui œuvra pour l'hygiène, a émis plusieurs hypothèses pour comprendre d'où venaient les fièvres puerpérales qui causaient 13% de la mortalité maternelle et néonatale dans son service. Dans l'autre service dirigé par le professeur Barcht, le taux de mortalité par la même maladie était de 2%.

Les deux services étaient situés dans le même hôpital et usaient des mêmes techniques. Seul le personnel était différent, des étudiants en médecine avec Semmelweis et des sages-femmes en formation avec Barcht. Face à cette énigme, Semmelweis proposa plusieurs hypothèses réfutées soit par expérience et/ou par observation : une épidémie, une atmosphère putride, régime alimentaire, soins différents ou même la position lors de l'accouchement. La mort de son ami, Jakob Kolletschka, suite à une infection après s'être blessé au cours de la dissection d'un cadavre lui ouvrit les yeux sur le rapport entre la contamination par les cadavres et la fièvre puerpérale. C'était lui et ses étudiants qui apportaient les particules de contamination aux patients. La théorie microbienne n'avait pas encore vu le jour, Semmelweis conclut que c'était une substance cadavérique inconnue qui provoquait la fièvre puerpérale. Le lavage des mains avec une solution d'hypochlorite de calcium avant l'examen des patients fit tomber le taux de mortalité à 2,4. Si le problème était bien posé Semmelweis aurait pu découvrir plus rapidement la solution.

Dans un autre domaine celui de la géologie, loin de la médecine, la grande controverse du dévonien (S. Jay Gould, 1994) surgit suite à une difficulté apparemment mineure rencontrée dans la datation des strates du Devonshire⁵. Vers 1834, De la Beche prétendait avoir découvert des plantes fossiles à l'intérieur des couches de *grewacke*. Murchison n'avait jamais vu les roches du Devonshire mais il déclara que De la Beche avait commis une erreur monumentale, car les couches *grewacke* datent du Silurien alors que la vie sur Terre est postérieure à cette ère donc les plantes fossiles devaient provenir du carbonifère. Le débat était beaucoup plus complexe que cette simplification. Mais la controverse du Dévonien est un exemple d'un débat entre deux points de vue opposés sur l'explication d'un problème scientifique. La résolution finale exige une réinterprétation radicale des données. Les roches du Dévonien n'étaient ni vieilles (datant du Silurien), ni jeunes (datant du carbonifère). La datation grâce aux types de roches a échoué ; le Dévonien devient un nouveau concept fructueux pour la géologie (1840). Sa faune distincte raconte aussi l'histoire de l'une des extinctions massives qui a touché la planète. La question mineure de la datation des strates du Devonshire débouche sur des nécessités qui résolvent d'autres problèmes géologiques.

La construction de problèmes peut être décrite comme l'identification et la mise en tension des deux registres. A partir de ce schéma nous essayons de chercher les justifications des idées des apprenants, d'identifier le référent empirique sur lequel ils s'appuient, de repérer le système des contraintes à respecter. Nous rappelons que notre question principale est de

⁵ Actuellement Devon, un comté du sud-ouest de l'Angleterre

savoir comment les apprenants usent du temps géologique dans l'explication de quelques phénomènes naturels. Quelles ont été les préoccupations scientifiques derrière l'apparition de ce concept (ici le temps) clé des sciences de la vie et de la terre ?

6.2. Réflexion sur le registre explicatif

Tel qu'il a été défini par Orange, le registre explicatif est le monde qui donne sens au modèle et permet de le manipuler. La construction et la mise en relation du registre empirique et du registre des modèles se fait dans un cadre de « références explicatives », si on reprend l'expression de Canguilhem. Pour Apostel, ce sont des analyses du prototype qui satisfont à certaines conditions. Les éléments du registre explicatif, quoi que très difficiles à mettre en œuvre, se basent sur l'articulation des contraintes empiriques et des conditions de possibilité. D. Orange et F. Beorchia (2007) insistent sur l'importance des principes structurants qui constituent des cadres pour la construction de problèmes et fondent ainsi des domaines de savoirs scientifiques.

Nous remarquons à travers les exemples ci-dessus que l'activité de construction du problème se base sur l'explicitation des conditions du problème quelle que soit la pertinence de la solution trouvée. Dans le cas du voyage les conditions du problème fonctionnent comme un contrôle du processus, on n'a pas forcément besoin de l'explicitier. Dans le cas controversé du dévonien ou le problème de la fièvre puerpérale, tout le travail porte sur l'explicitation des conditions qui rendent la solution possible. La qualité de la solution dans des situations de classe semble victorieuse s'il s'agit d'une réussite expérimentale par exemple. Mais parfois, ce sont les conditions de la réussite qu'il faut expliciter, où même d'un échec. La *surveillance intellectuelle du soi* permettrait à l'apprenant de dépasser l'affirmation (assertorique) vers l'élaboration d'un énoncé (apodictique). La pensée de Semmelweis serait dédoublée en assertorique et apodictique. Le Dévonien a été découvert en se basant sur l'affirmation et la démonstration. Aussi rationnelle qu'elle soit, la démonstration à elle seule ne peut accomplir la tâche de la construction d'un problème. Nous nous interrogeons sur les statuts épistémologiques des savoirs solutions (qui relèvent de l'assertorique ?) et des savoirs conditions (qui relèvent de l'apodictique ?). La construction du problème, dans les deux orientations, semble être un outil méthodologique didactique permettant de chercher les justifications des idées des apprenants, d'identifier le référent empirique sur lequel ils s'appuient et de les faire se rapprocher des chercheurs ?

7. La double pensée dans le fonctionnement du raisonnement

Chercher la raison ou l'explication, c'est admettre implicitement l'insuffisance d'un simple réductionnisme. L'explication ou la recherche de la raison des choses comporte un paradoxe : concilier la nécessité et la production des changements ou la construction des nouveautés scientifiques, dans ce cas. Les nouveautés elles-mêmes sont des nécessités, mais pas nécessairement des nécessités sur les modèles. L'explication s'agit d'un mode de raisonnement qui permet de rendre intelligible ce qui est obscur au sens de Halbwachs. Elle pourrait être aussi une assimilation adéquate à des structures objectivées. L'explication serait l'équivalent d'une réponse d'ensemble au problème de la connaissance scientifique. Comme l'affirme D. Terré (1988), un énoncé scientifique devient acceptable ou utilisable dans la mesure où il offre des possibilités objectives de relances et d'action. La construction d'un nouveau langage explicatif est une opération difficile dans la mesure où il s'agit de transformer ce qui est à expliquer en principe d'explication. Ceci demande-t-il un dédoublement de la pensée en affirmation et élaboration ? Nous essayons de développer ce que nous entendons par assertorique et apodictique afin de pouvoir déterminer les éléments constitutifs du registre explicatif.

7.1. L'apodictique ou les savoirs conditions

Dans notre travail sur la problématisation en sciences, nous essayons de réfléchir sur les pratiques mises en oeuvre dans les classes pour identifier chez les apprenants comment ils problématisent leur savoir de manière raisonnée au lieu de restituer des résultats scientifiques cumulés. L'apprentissage de la problématisation pourrait être mise en oeuvre par la dévolution du problème aux apprenants et la pratique de la discussion, dans un débat par exemple, permettant l'apprenant de s'approprier son savoir. Il s'agit de mettre les apprenants dans des situations qui les obligent à construire un problème scientifique. M. Fabre et C. Orange ont permis de poser un cadre théorique à partir de la logique de l'enquête de Dewey, de l'épistémologie bachelardienne du problème scientifique, de la philosophie générale du problème chez Deleuze et aussi de la logique de la découverte de Popper. Il y a dans l'histoire de la pensée, explique Fabre, un oubli du questionnement. Tout énoncé affirmatif (savoirs solutions) peut ne pas prendre de sens que comme réponse à une question. En ce sens que la problématisation ne se réduit plus à la résolution de problèmes, laquelle présuppose que les énoncés des problèmes soient déjà bien formés. Or le « problème du problème », c'est précisément la construction du problème. L'épistémologie Bachelardienne est une épistémologie de la construction des problèmes et non pas seulement de leur résolution.

Deleuze dénonce quant à lui, dans l'image dogmatique du savoir, un pédagogisme latent : le maître énonce les problèmes, la tâche des élèves n'étant que de les résoudre. La problématisation est donc un processus multidimensionnel, mais elle n'est pas pour autant une remise en question de tout : elle suppose une pensée contrôlée par des normes à construire et elle délimite l'espace de la recherche. Un problème bien posé se résout lors de sa construction. Pour C. Orange la problématisation est une condition de possibilité pour acquérir des savoirs scientifiques. Pour l'apprenant, un concept restera un savoir scientifique, apodictique et pas seulement assertorique, s'il n'oublie pas le problème dont il est issu ; il n'entre dans un savoir scientifique que s'il entre dans l'idée de la nécessité. Orange a montré que la problématisation du concept d'articulation correspond à une nécessité construite par tension entre un registre empirique (constat à la fois d'une continuité et solidité du bras et du pliage du bras) et un registre des modèles (il y a des os qui ne doivent pas être disjoints ; les os doivent bouger au niveau du coude) dans le cadre épistémique d'un registre explicatif (le mécanisme). Il ne s'agit donc pas seulement de décrire une articulation, mais d'en concevoir les conditions de possibilité : il faut à la fois que ça tienne et que ça plie. Orange montre, sur le cas de la problématisation du concept de milieu intérieur chez Bernard, qu'il en est de même dans le travail des chercheurs. Quelles sont donc les conditions pour pouvoir débattre et construire un problème ?

Il fallait construire une référence commune (un registre empirique partagé), qu'il y ait des idées différentes et que le registre explicatif soit partagé. Cela correspond à ce que Popper nomme, dans *La connaissance objective*, « travailler sur un problème ». Les élèves n'inventent pas les problèmes : ils re-problématisent et construisent des concepts à un certain niveau de conceptualisation et de problématisation. Chez les chercheurs et chez les élèves, dans les deux cas, il y a travail sur un problème. Il ne s'agit pas non plus d'acquérir d'abord des connaissances puis de problématiser : pour apprendre des connaissances, il fallait comprendre celles-ci comme des *réponses à des problèmes*. On ne problématiser pas non plus à vide, pour qu'il y ait débat et problématisation, il fallait, selon Orange, trois conditions : une référence commune, plusieurs thèses, un accord sur le type de débat. La construction du problème nécessite certainement de l'apodicticité.

7.2. L'assertorique ou les savoirs solutions

Kant nous propose trois modalités de la fonction de la pensée dans le jugement : l'apodictique, le problématique et l'assertorique. L'apodictique relève de la nécessité, puisqu'il prouve. Le problématique relève de la possibilité, puisqu'il établit des rapports de conditionnalité par

rapport à des hypothèses. Et l'assertorique affirme, pose des jugements qui relèvent du fait. Or qu'est ce qu'un fait ? Ce qu'on appelle fait n'a de sens que dans un processus de problématisation. Si pour les objets matériels, le jugement paraît moins discutable, celui qui concerne les objets de pensée semble nettement plus sujet au débat et au désaccord. L'assertorique peut relever de la banalité et du manque, de la fausse évidence et de la facilité, mais ne peut-il pas aussi exprimer l'opérativité d'une pensée en acte ? L'apprenant n'est pas celui qui comprend et répète ce que l'enseignant a dit, mais celui qui démontre et découvre, voire qui prouve par lui-même ce que le l'enseignant tente de lui enseigner. Et si l'affirmation (savoirs solutions dans ce cas) relevait de l'implicite? N'y a-t-il pas de valeur à s'intéresser à l'assertorique comme faisant partie du processus de raisonnement de l'apprenant?

7.3. Conclusion : le registre explicatif se dédouble-t-il en assertorique et apodictique ?

La complémentarité des deux axes s'avère obligatoire et ce n'était que le dédoublement de la pensée en « assertorique » et « apodictique » qui aurait permis à Bachelard de basculer de l'objectivité vers la subjectivité⁶. La structure dialoguée de la raison dans les sciences se dédouble nécessairement en une pensée assertorique et une pensée apodictique. Le savoir scientifique n'est pas accompli par l'expérience commune mais plutôt par la double pensée (apodictique et assertorique) qui affine, différencie et multiplie les structures qui s'expriment par la détermination des conditions de possibilité de résoudre un problème scientifique face à la multiplication des expériences. Se focaliser sur les savoirs conditions, sans donner d'importance aux savoirs solutions, dans la construction des éléments constitutifs du registre explicatif d'un apprenant risquerait de nous faire perdre des informations sur le fonctionnement de son raisonnement. Nous proposons le schéma récapitulatif suivant :

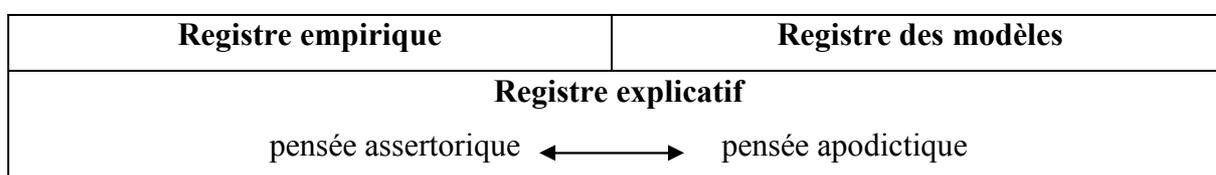


Figure 6: double pensée dans le registre explicatif

Pour ouvrir une nouvelle interrogation sur la possibilité de l'utilisation de la problématisation en classe, nous revenons au questionnement, principalement aux questions posées par l'enseignant. Ces questions ont-elles un rôle dans le développement de la culture de problématisation chez les apprenants.

⁶ Cette dualité a été soulevée lors d'une journée scientifique sur « l'œuvre de Gaston Bachelard » à l'Université Lyon 3 en 2006. *Non publié.*

8. Questionnement et construction du problème

Une étude faite par E.-C. Wragg & G. Brown (2001) montre qu'entre cinq et dix ans d'expérience de classe, l'enseignant pose environ un quart ou un demi-million de questions. En sciences de la vie et de la terre, comme dans tout autre domaine d'ailleurs, l'enseignant est souvent *questionneur* et *questionné* (O. Maulini, 2005). Des travaux (S. Abdelli et M. Abrougui (2005), O. Maulini (2006), E.-C. Wragg (1993) sur les questions mobilisées par les apprenants dans la classe ont montré leur utilité dans la compréhension du savoir enseigné. Mais quels sont les types de questions posées par les enseignants ? Et pour quelle raison les posent-ils ? C. Orange (2000) Note que le passage des idées aux raisons c'est le passage d'une logique de communication à une logique de validation. Ce travail de recherche que nous menons sur les questions des enseignants s'inscrit dans un cadre de recherche plus large, celui de la problématisation et de la construction de problèmes dans la classe. Nous nous intéressons plutôt au questionnement, il n'est pas question ici de la construction du problème mais plutôt de l'aboutissement à celui-ci à partir des questions. Nous essayons, à partir d'une étude de cas, d'identifier les raisons pour lesquelles l'enseignant pose des questions. Mais en particulier, nous tentons de suivre l'évolution du questionnement de l'enseignant tout au long d'une séance de travaux pratiques. L'interaction des questions de l'enseignant avec ceux des étudiants débouche-t-elle sur des problèmes scientifiques ?

8.1. L'art du questionnement

En général, n'importe quelle discussion commence par poser au moins une question, sauf si elle-même est objet de conversation. Dans la classe, l'art du questionnement pourrait apporter des éléments de réponses à quelques problèmes scientifiques, ou construire des « conditions de possibilité » de leurs résolutions. Si vous demandez à un enseignant la manière dont il enseigne, la réponse sera, si vous avez de la chance : « c'est en posant des questions ». Toutefois, l'enseignant pose des questions, auxquelles lui-même ne pourrait répondre qu'avec du temps. Dans cet ordre d'idée, l'esprit scientifique nous interdit d'avoir une opinion sur des questions que nous ne comprenons pas, sur des questions que nous ne savons pas formuler clairement (G. Bachelard, 1938). Certes, il y a des classes dans lesquelles les professeurs posent rarement des questions. Par ailleurs, celles posées par les étudiants sont parfois insincères ou rhétoriques, d'autres ne sont que du complément aux idées avancées par l'enseignant. Dans ce qui suit, nous nous intéressons aux questions de l'enseignant en suivant leur enchaînement du commencement à l'élaboration d'un problème. Nous étudierons aussi la manière dont l'enseignant pose des questions qui peuvent miner, plutôt que construire un

problème. Mais nous espérons que les *vraies* questions viennent des étudiants. Généralement, les questions mobilisées dans la classe sont ceux du professeur, et les étudiants n'auront pas l'occasion d'échanger des questions entre eux. Mais comme l'affirme Bly (1986, cité par Wolf, 1987), les questions peuvent embarrasser plutôt que stimuler les apprenants à se renseigner, laisser un sentiment de stupidité plutôt que permettre de franchir une difficulté. Actuellement, notre souci concerne la façon dont nous incitons des étudiants à penser. Beaucoup d'étudiants ne peuvent pas distinguer l'information appropriée dans des problèmes différents de sciences de la terre, ou fournir et défendre une thèse dans un débat ou un essai. Nous avons vraisemblablement développé un système éducatif d'« apprendre par cœur » et donc tuer l'esprit critique de l'étudiant. Que devient l'aura du savant quand l'élève récite tout sans broncher et qu'il ne reste rien à lui faire chercher ? L'enseignant pose ses propres questions et y répond. Comment les questions de l'enseignant permettent-elles de développer la discussion et enrichir un débat débouchant sur un problème scientifique ? Comment engager des étudiants dans l'application de leurs connaissances scientifiques dans de nouveaux problèmes relatifs aux sciences de la terre ?

8.2. Pourquoi les enseignants posent-ils des questions ?

Les raisons pour lesquelles les professeurs posent des questions sont variées et souvent différentes de celles d'une conversation quotidienne. En fait, selon le contexte les règles du questionnement dans la classe changent. Comme l'affirme Ausubel et al (1978), nous posons des questions à nos enfants pour savoir ce qu'ils savent déjà et non pas pour obtenir de nouvelles connaissances. D'autres raisons nous incitent à poser des questions dans la classe : rappeler des définitions, développer l'imagination, approfondir la compréhension, résoudre des problèmes. Se rajoutent à ces raisons les questions de gestion de classe, comme par exemple, avez vous apporté vos livres ?

Pate et Bremer (1967) ont mené une enquête auprès de cent quatre vingt dix enseignants sur les raisons de poser des questions aux apprenants. Ils ont montré que les raisons se divisent, essentiellement, en trois catégories : questions de connaissances et de compréhension, questions de rappel des faits et questions d'identification des difficultés. Ils ont remarqué l'absence de raisons telles qu'aider l'étudiant à se poser des questions en lui posant des questions. L'enquête d'E.-C. Wragg (1993) lui a permis de diviser les raisons en trois catégories : questions de gestion de la classe, questions de recueil d'informations et des questions d'ordres plus supérieurs tels que ceux de synthèse ou généralisation.

8.3. De la question au problème

Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit (G. Bachelard, 1938). C'est dans l'héritage bachelardien que se développe notre réflexion épistémologique et « quoi qu'on dise, dans la vie scientifique, les problèmes ne se posent pas d'eux-mêmes ». C'est dans l'acte même de la transposition didactique que naissent et se développent les problèmes et les questions de la recherche (Y. Boughanmi, 2006).

Selon G. Rumelhard (1997), en biologie et en géologie la question n'est posée que rarement, de ce fait le savoir se présente comme un cumul de résultats. Ceci nous empêche de poser la question. En biologie, un problème peut se situer dans l'ordre pratique des choses comme un dysfonctionnement d'un organe (les reins par exemple) qui donne lieu à un problème physiologique dans le corps humain. En géologie, les difficultés d'explication de la formation d'une chaîne de montagne loin des frontières de plaques tectoniques peuvent être considérées comme un problème scientifique. Le problème se définira en fonction de la spécificité du type de l'interrogation. Il s'agira donc d'un obstacle intellectuel à surmonter voilant la compréhension du vécu. Répondre immédiatement à une question, c'est confondre une question avec un problème, c'est s'empêcher de réfléchir, c'est éventuellement prendre le risque de manquer le sens de la question pour la faire entrer dans le cadre de ce que l'on sait. Or, selon Orange, la réussite de l'explication scientifique se base sur le *nécessaire* et le *possible* utilisés dans la construction du problème. Il fallait chercher et découvrir le problème ou un problème qui s'exprime et se dissimule à la fois dans la question. Selon Fabre, l'essentiel n'est pas résoudre des questions toutes faites, comme dans les exercices scolastiques, mais s'entraîner à construire les problèmes, lesquels, c'est bien connu, ne se construisent pas tout seuls. Certaines questions ne renvoient pas à des problèmes : les questions factuelles, c'est-à-dire les questions dont la réponse s'obtient par une observation adaptée de la réalité, des faits : Quelle heure est-il ? D'autres en revanche sont l'expression d'un problème : celles qui ne trouvent pas de réponses satisfaisantes lorsqu'on a recours à l'observation des faits, soit parce qu'ils sont muets sur la question, soit parce qu'ils offrent une multiplicité de réponses contradictoires.

L'interaction des questions de l'enseignant débouche-t-elle sur des problèmes scientifiques ? La problématisation a pour point de départ la question et pour point d'arrivée la formulation d'un problème. Nous d'étudier une séance d'enseignement classique afin de déterminer s'il y a des prémices de problématisation. Les questions seront catégorisées selon

la typologie suivante. Cette typologie sera utilisée aussi dans l'analyse des questions proposées dans les manuels scolaires.

8.4. Typologies des questions

En se basant sur les travaux d'E.-C. Wragg (2001), E.-C. Wragg (1993) et G. Brown et O. Maulini (2006) nous avons identifié une variété de catégories de questions posées par les enseignants. Si les raisons du questionnement sont multiples, nous retenons les plus importantes dans cet exposé. Celles retenues sont adaptées à notre démarche méthodologique. Nous présentons ci-dessous la grille d'analyse des questions posées par l'enseignant. Cette grille sera utilisée pour analyser les questions dans les manuels scolaires. La grille étant préétablie, nous expliquons brièvement les raisons du questionnement

Questions conceptuelles : dans cette catégorie nous classons les questions permettant d'obtenir des idées, des définitions et le raisonnement relatif au sujet étudié. Nous pouvons stimuler les apprenants à mobiliser des réponses correctes et incorrectes afin de les aider à formuler ou clarifier les concepts appropriés.

Questions empiriques : les questions dans ce cas exigent des réponses basées sur des faits ou sur des résultats expérimentaux. L'enseignant demande aux étudiants d'aller au-delà de l'information immédiatement disponible (J. Bruner, 1957). Il leur demande de trouver des indices, de les examiner et de discuter quelles inférences sont justifiées.

Questions pédagogiques : Il s'agit des questions de gestion de la classe. L'enseignant demande aux apprenants s'ils ont compris ou comment mémoriser des idées scientifiques.

Questions de valeurs : des questions relatives à la morale, à l'environnement, ou des questions relatives à la société (économiques par exemples). La dimension sociale d'un savoir scientifique évoqué par l'enseignant dans la classe pourrait donner un sens au savoir et attirer l'attention des apprenants sur le fait que le développement de la science plaide en faveur de la société.

Questions de transfert ou problème scientifique : Les questions de transfert provoquent un genre d'extension de la pensée, demandant à des étudiants d'appliquer leurs connaissances à de nouveaux problèmes scientifiques. Quand les enseignants posent des questions de transfert, ils insistent sur le fait que les étudiants se demandent : comment je peux savoir que répondre ? Quelle hypothèse devrais-je avancer pour répondre ?

Discussion

Une variété de questions posées par l'enseignant pourrait déboucher sur des problèmes de

recherche. L'interaction des questions, quelles que soient leurs raisons passerait la classe des questions *simples* à des questions de plus en plus interprétatives qui permettrait l'émergence de nouveaux problèmes. Selon C. Orange (2007), les élèves construisent des raisons qui délimitent des champs des possibles. Donc, les enseignants, par leurs questions, ont la puissance de procurer des occasions de dialogue avec les étudiants. En fait, les questions fonctionnent très bien quand vous avez des étudiants qui sont habitués à creuser l'information, mais cela n'est pas toujours le cas. Peut-être qu'à force d'enseigner « des réponses sans questions » (G. Chazal, 2005), les apprenants penseraient que le savoir est une accumulation de connaissances. Nous avons montré comment les questions de l'enseignant peuvent générer un problème scientifique. Si la connaissance scientifique découle d'un problème comme nous dit Bachelard, l'origine du problème pourrait être une ou plusieurs question(s). Il en découle que la problématisation pourrait avoir comme point de départ une question dont l'objectif est la formulation d'un problème (Y. Boughanmi, 2007).

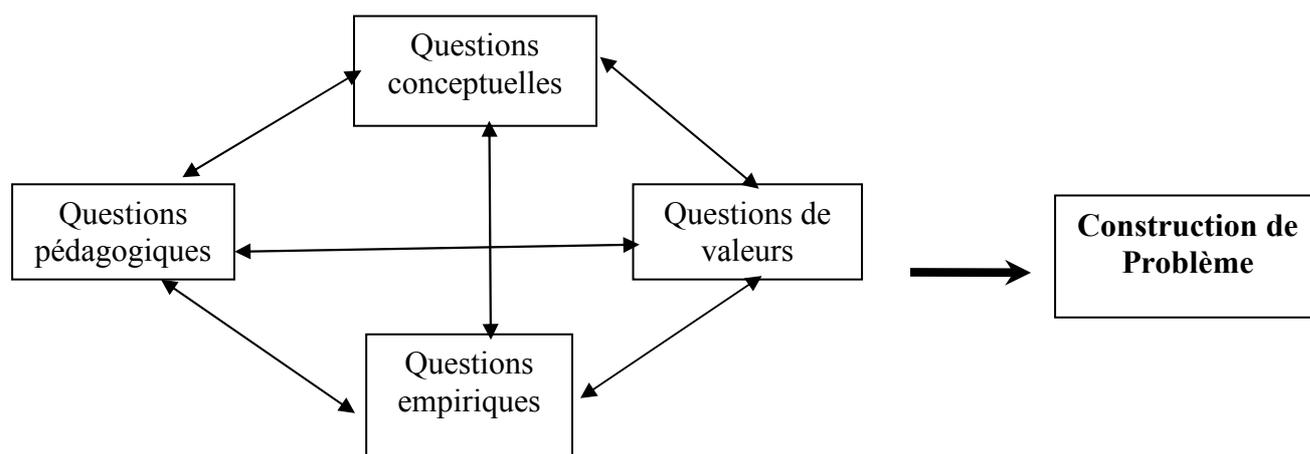


Figure 7 : l'interaction entre les raisons du questionnement de l'enseignant

9. Conclusion

Le travail sur les conceptions nous permettra d'identifier les différents obstacles à l'acquisition des connaissances. Ces conceptions formeront l'objet de l'étude exploratoire afin d'essayer d'appliquer la problématisation comme outil méthodologique didactique dans une discussion scientifique. Nous essayons de chercher aussi à travers l'étude d'une séance d'enseignement classique le rôle que pourrait jouer les questions de l'enseignant dans le développement cette méthodologie chez les futurs enseignants.

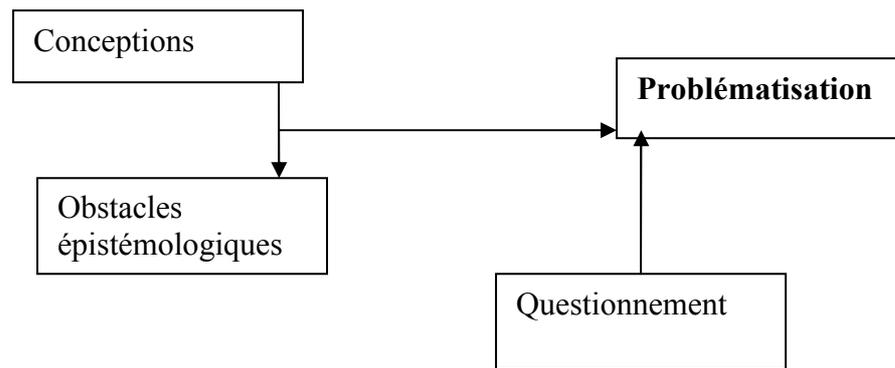


Figure 8 : des conceptions vers la problématisation

Mise à part les obstacles qui seront identifiés par l'étude des conceptions des élèves et/ou des futurs enseignants, nous essayons dans le chapitre suivant de travailler sur les obstacles qui au cours de l'histoire ont fait obstacles de concevoir l'utilité du temps dans l'explication des phénomènes naturels. Il est souhaitable de traiter d'abord la naissance du concept du temps en sciences de la nature.

Temps géologique et obstacles épistémologiques

La géologie s'est d'abord affirmée comme mythologie, puis s'est voulu la science de tous les phénomènes terrestres, avant de se restreindre, à travers de multiples disciplines spécialisées, à la seule étude du globe terrestre, dans ses constituants et dans son histoire. Les plus anciennes spéculations de l'étude de la matière étaient basées sur un combat entre des principes opposés mais complémentaires : le chaud et le froid, le sec et l'humide, l'eau et le feu. Quelles sont les controverses débouchant surtout à la découverte du temps géologique. Nous dégageons quelques obstacles épistémologiques qui ont contribué ou échappé à l'évolution des sciences naturelles. Nous aborderons donc certains paradigmes dépassés ou non par la discipline. Les obstacles, que nous traiterons, refoulent-ils chez nos apprenants aujourd'hui ? S'opposent-ils à la construction de problèmes géologiques ou biologiques par les élèves et/ou les futurs enseignants ?

1. Du temps géologique en biologie et en géologie

Le temps géologique a longtemps été marqué par l'absence des êtres vivants. La certitude est absente de la datation expérimentale qui permet d'atteindre un âge qualifié à tort d'âge absolu. Pour essayer d'intégrer la multiplicité des temps, il serait intéressant de considérer l'évolution du système terre/vie dans une vision globale. La sédimentologie, le principe de superposition et d'identité paléontologique nous explique l'enregistrement de chaque couche fossilifère qui se superpose dans le temps aux précédentes. Lamarck et Lyell, notamment, ont montré que nous pouvons trouver dans deux couches sédimentaires superposées les mêmes fossiles. Ceci renvoie à l'aspect continu et progressif du développement du vivant dans le temps. Cependant, même avec le développement des méthodes de datation, l'âge du fossile reste ambigu, c'est la notion même de fossile qui peut être remise en cause. En fait, dans des couches sédimentaires fossilifères d'âge donné, il suffit de retrouver un fossile pour avoir accès aux êtres vivants qui vivaient à l'époque dans le sédiment. Mais le fossile subit des modifications à la suite de l'enfouissement, des phénomènes tectoniques, des remaniements géochimiques. Pourrait-on avoir une vision mobiliste ou fixiste de la fossilisation ?

Le métamorphisme est un dynamisme, les interactions entre la terre milieu de vie et les écosystèmes montrent à la fois une continuité et une discontinuité depuis un passé très éloigné dans le temps jusqu'au présent. Le sédiment est un milieu de vie et la vie modifie toutes les roches en formation. Nous ne parlons plus d'un milieu sédimentaire azoïque : des souches

bactériennes lithotrophes vivant dans des roches à une profondeur de 2,7 km. Les conditions de possibilités de vie semblent sans cesse s'élargir et nous pensons que tous les milieux sur et dans la terre sont habités par des êtres vivants. Les éléments chimiques d'une roche peuvent ne pas avoir un âge unique, alors que le fossile fait exception. Comment peut-on dater un fossile ? Dans une vision sédimentaire fixiste, le temps qui sépare deux couches correspondant à des milieux de vie différents est considéré comme si important que l'on peut voir deux milieux superposés (un actuel, un passé) indépendants. Dans une vision sédimentaire mobiliste il n'y a jamais séparation réelle, les roches sédimentaires profondes ne sont pas à l'abri des modifications liées au vivant.

Nous n'essayons pas de remettre en cause le principe de superposition mais plutôt de réfléchir sur un concept parfois flou. Actuellement, les roches sont soumises à l'action de modifications par des solutions chimiques mais aussi par des êtres vivants. Donc elles ne sont pas actuellement exemptes de vie. Ce sont des roches du passé vu l'âge de leurs composés chimiques et d'actualité comme abri des êtres vivants. C'est là où interfèrent l'actuel et le passé ainsi que la biologie et la géologie. Si l'on reporte dans le temps le raisonnement, il n'y a aucun moment où nous avons une roche qui ne soit pas remaniée par le vivant. Toute la difficulté est de délimiter la zone de vie à un instant donné. Si elle s'étend comme nous disons actuellement à toute la zone où nous pensons que se forment les roches sédimentaires (zone de diagenèse) dans ce cas, il n'y a jamais d'âge précis pour une roche sédimentaire, il y a un continuum. L'oscillation du concept du temps géologique entre la biologie et la géologie est une sorte d'application de l'actualisme ; nous projetons l'action de l'être vivant actuellement vivant dans une roche vers un passé infini de remaniements des minéraux. Le sédiment en cours de diagenèse peut être considéré comme un abri des phénomènes vivants. Dans une vision mobiliste, la diagenèse est un phénomène qui fait intervenir le vivant et une roche sédimentaire à un âge extrêmement étendu dans le temps géologique.

1.1. Le temps géologique : un outil de mesure en biologie et en géologie

En dehors de sa mesure technique, le temps n'est pas qu'un simple paramètre d'évolution, mais est un concept physique qui n'a de sens que relativement à des phénomènes physiques. L'analyse relativiste du temps conforte encore cette conclusion. Les phénomènes géologiques s'expliquent dans un temps différent : le temps géologique. Contrairement aux mécanismes micro-évolutifs qui relèvent du temps court, « Eldredge et Gould pensent que les mécanismes de spéciation, certes long pour le temps écologique, sont instantanés pour le temps profond » (A. de Ricqlès, 2002, p33). En fait, le paléontologue ou le géologue trouve ses témoins dans

les strates sédimentaires d'âges différents. Le temps écologique n'est autre que le temps géologique, mais le problème est de parvenir à projeter le premier dans le deuxième.

1.2. L'essor du temps géologique

« Concevoir de façon abstraite et intellectuelle le temps est assez simple : je sais combien de zéro je dois mettre après le nombre dix pour représenter des milliards. Quant à le digérer, c'est une autre affaire » S. Jay Gould (1990). L'explication des événements et/ou des phénomènes géologiques et biologiques nécessite l'extrapolation du présent vers le passé. Le passé n'est pas seulement le présent qui n'est plus là comme le futur n'est pas du présent qui ne serait pas encore là. La triade du passé, futur et présent est une réalité autonome que n'efface pas le passage du temps. Cependant la perception du temps à l'échelle humaine se situe dans le présent et fait obstacle à concevoir l'immensité du temps géologique. Le passé s'obtient par une opération sur le présent et le présent est la clé du passé. Il existe des contenus du présent qui sont de conditions passées, et d'autres qui, provenant du passé, sont néanmoins présents. Les Alpes, chaînes de montagnes qui se soulèvent encore sous l'effet de la convergence, sont présentes depuis environ 45 millions d'années. Donc le passé reste pour nous continuellement présent. Le passé ne cesse plus d'exister, il est là, il n'a jamais cessé d'être utile. Comment atteindrions-nous le passé ? Comment extrapoler le présent vers le passé ?

1.3. L'extrapolation du présent vers le passé

Evoquer l'histoire de la terre, d'un séisme, d'une chaîne de montagne ou d'une crise biologique, c'est mettre en avant la question du temps qui s'est écoulé. Nous pouvons nous demander si le temps est dans la réalité des choses ou seulement une idée dans l'esprit de l'homme qui l'observe. Le temps géologique ne nous est accessible que dans la mesure où nous étudions la fossilisation. « C'est dans le présent de la terre que nous cherchons des traces de son passé » (D. Orange, 2003). Les terrains ont gardé des traces non du temps lui-même mais de divers processus géologiques des phénomènes passés entre lesquels nous pouvons établir une relation temporelle. Il s'agit donc d'une reconstruction du temps passé insaisissable directement. . En fait, il n'y a pas une discontinuité entre le passé et le futur. Cette continuité pourrait être le processus qui transforme le futur en présent. Pour cela il n'est pas toujours facile d'extrapoler le présent vers le passé. C'est en raison de cela que notre problématique sur le temps géologique a une importance didactique fondée sur l'analyse épistémologique de l'histoire des sciences.

2. Le temps dans les préoccupations géologiques des savants arabo-musulmans

A vrai dire, comme le note A. Djebbar (2001), il n'y a pas une discipline appelée « géologie » à cette époque. Mais, avec notre regard actuel sur leurs préoccupations, nous pouvons dire qu'il existe des réflexions qui méritent d'être mentionnées. La découverte du temps profond a commencé, très tôt, avant Hutton et Lyell. Les explications géologiques, même si elles n'existent pas dans des ouvrages spécifiques sont abordées surtout par Al-Bîrûnî, Ibn Sina (Avicenne) et Ikhwan as-Safa (Les frères de pureté) ; ils abordent la question dans une problématique plus large concernant la terre et son histoire. Al-Bîrûnî (cité par M.S. Atchekzai, 1974, pp 18-42) affirme que « La mer est devenue terre et la terre est devenue mer ; de tels changements, s'ils ont eu lieu avant que l'homme n'existât, ne sont pas connus, et quand ils sont survenus ultérieurement à son existence, on n'en a pas souvenir parce que la longueur des temps écoulés a effacé les témoignages de ces événements s'ils sont survenu peu à peu ». Al-Bîrûnî est conscient de l'immensité des temps écoulés, regrette l'absence de témoignages [fossiles]. Il affirme (Al-Bîrûnî) que si on creuse des puits ou des étangs, on trouve des couches de poussière, de sables et de cailloux, des coquilles, du verre et des os dont on ne peut dire qu'ils ont été ensevelis ici à dessein. Le pionnier de l'observation scientifique de cette époque parla des pierres dans lesquelles sont inclus des coquillages, des cauris, et ce qu'on appelle des « oreilles des poissons », parfois parfaitement conservées, ou bien ayant laissé des empreintes de leur forme première alors que la bête a péri. Il s'agit bien d'une explication de la fossilisation, il faisait de la paléontologie avant la lettre.

Avicenne affirme que les montagnes se forment « tout au long du temps, à partir d'une argile compacte et sèche qui s'est solidifiée au cours d'une période indéfinie. Il semble que cette terre ait été dans le temps passé non habitée mais plutôt couverte par la mer. Puis, elle s'est solidifiée, soit après l'émergence petit à petit au cours d'une période dont l'histoire n'a pas retenu ses limites, soit sous les eaux à cause de l'intensité de la chaleur existant sous les mers» (Ibn Sina)⁷. Nous retrouvons chez les deux savants le rôle du temps dans les processus géologiques de la fossilisation et de l'orogénèse. Nous proposons dans le deuxième atelier un texte d'Avicenne sur l'orogénèse afin de comprendre le rôle de l'histoire des sciences dans la construction du problème du temps géologique par les futurs enseignants.

3. La découverte de l'immensité du temps profond

C'est dans une démarche rationnelle que Gould a déchiffré l'une des questions parmi les plus

⁷ Ibn Sina : *Risālat al-ma'ādīn wa l-āthār al-'ulwiya* [Epitres sur les minerais et les phénomènes météorologiques]. Cité par 'A. Sakri, in *Encyclopédie de la civilisation arabo-musulmane*, vol. I, p. 605-606.

actuelles à propos de la notion du temps. Il note que pour qui cherche à comprendre l'histoire de la pensée en géologie, il n'est pas de question plus importante. Reprenons sa question « comment ceux qui par le passé ont étudié la terre en sont-ils venus à opérer cette transposition radicale et à ne plus concevoir en milliers, mais en milliards d'années ? Actuellement, l'âge de la terre est estimé en milliards d'année. Avant l'essor de la géologie historique, même la révolution darwinienne passait en silence à côté de la découverte du « temps géologique ». Twain pensait que l'homme est là depuis trente-deux milles ans. Selon lui le monde s'est préparé à cet événement d'apparition pendant cent millions d'années. Pour expliquer l'immensité du temps Mark Twain dit que l'humanité (l'âge) ne représente que la pellicule de peinture qui coiffe la bosse de la Tour Eiffel. Le pinacle a été préparé pour cette pellicule comme le monde a été préparé pour l'espèce humaine. Notons que cette métaphore du temps humain pourrait être à l'origine d'un obstacle anthropomorphique chez nos apprenants.

Selon Gould les idées de Mark Twain convergent avec celles de Hutton et Lyell considérés comme pères fondateurs de la découverte du temps profond. Le temps profond est si difficile à appréhender, si étranger à notre expérience de tous les jours comme le souligne Gould. Pour comprendre la notion du temps Gould a recours aux métaphores. Ceci semble pédagogique, mais nous pensons qu'il vaut mieux construire des modèles, en se basant sur des métaphores, pour comprendre la notion du temps. Nous menons une réflexion épistémologique sur l'histoire de la géologie en abordant la construction du « temps profond » chez les savants grecs et les savants arabo-musulmans du moyen âge, période dont on oublie souvent l'apport au développement scientifique actuel. Cette réflexion épistémologique contribuerait à la compréhension des explications de certains phénomènes géologiques avancés par les apprenants.

3.1. Méthode de datation

La méthode de datation absolue est fondée sur la mesure de la variation du rapport isotopique entre le moment de la fermeture de l'échantillon daté et le présent. Suivant les couples d'isotopes choisis, il est possible de calculer un âge soit en mesurant les rapports isotopiques d'un isotope qui disparaît lors de la réaction et dont la quantité initiale est connue, soit en mesurant les rapports isotopiques d'un isotope qui apparaît lors de la réaction et dont la quantité initiale est nulle. Dans le cas général, on ne connaît pas la quantité initiale d'isotope ; l'âge de la roche est obtenu par résolution d'un système simple d'équations linéaires. Dans le cas d'une roche, les équations sont obtenues en effectuant des mesures sur plusieurs échantillons de la même roche. Le choix du couple d'isotopes pour calculer un âge dépend de

l'âge présumé et de la nature de la roche.

L'âge de la croûte océanique est celui des basaltes qui la constituent. La croûte océanique la plus ancienne n'excède pas 200 millions d'années, alors que l'âge des roches continentales les plus anciennes atteint 3.8 milliards d'années. L'épaisseur des dépôts sédimentaires recouvrant les basaltes est toujours faible, dépassant rarement un kilomètre, ce qui est en relation avec ces âges relativement récents. Cette jeunesse des fonds océaniques suggère qu'ils se renouvellent au cours des temps profonds. La croûte océanique la plus récente se situe au niveau des axes des dorsales. L'âge des basaltes augmente de manière symétrique lorsqu'on s'écarte de part et d'autre de la dorsale. Des zones correspondant à une même période géologique dessinent donc des bandes parallèles à la dorsale et symétriques de part et d'autre de celle-ci. L'axe des dorsales correspond donc à une zone de formation de la croûte océanique. Une fois formée, celle-ci est progressivement écartée de part et d'autre de l'axe dont elle s'éloigne dans un mouvement évoquant un double tapis roulant.

La compréhension des phénomènes biologiques et géologiques repose nécessairement sur une perception cohérente des échelles de temps (temps géologique). Les élèves apprécient spontanément les durées d'événements qui s'étendent de quelques secondes à quelques milliards d'années. La présentation des notions telle qu'elle apparaît dans le programme est-elle le seul possible ? L'analyse du manuel ainsi que les questionnaires auprès des apprenants apporteront quelques éléments de réponses. Nous proposons aux futurs enseignants des ateliers relatifs à des événements et/ou phénomènes, biologiques ou géologiques, dans le but de comprendre comment se construit le concept du temps géologique chez eux au cours d'un débat.

4. Conclusion : problématiser le temps géologique

La lenteur des processus géologiques et biologiques les rend difficile à comprendre à l'échelle du temps humain⁸. Les capacités d'intégration de l'élève risquent de ne pas être ménagées vu la difficulté de gérer l'immensité du temps géologique dans l'explication de certains phénomènes naturels. Les élèves sont-ils incapables d'évaluer la succession chronologique, la durée des événements et le concept de dynamique terrestre ? Les enseignants sont-ils conscients des difficultés de la transposition du concept de temps géologique ? En effet les objets du savoir géologique, en plus de l'échelle du temps, s'établissent à des échelles spatiales variées, du cristal à l'univers. Mais c'est souvent à l'échelle du continent qu'on

⁸ Temps humain envisagé du point de vue de la vie d'une personne. Il se mesure en jours, en mois et en années et englobe des événements tels que la naissance, l'obtention de diplômes, le mariage, la retraite et la mort.

l'explique. La durée des phénomènes naturels s'évalue le plus souvent en millions d'années et la notion de temps géologique serait d'un accès difficile pour l'apprenant.

Les séismes ne durent que quelques secondes mais les phénomènes tectoniques qui les précèdent se déroulent sur des millions d'années. Le scénario de la constitution et de la destruction d'une chaîne de montagne demande une réflexion sur l'échelle de temps propre à ce type de phénomène géologique et sur les difficultés de datation et de mesure de durée que cela pose. Les apprenants sont-ils conscients de l'histoire tectonique d'un séisme ou d'une chaîne de montagne ? Nous nous interrogeons aussi sur la signification de la crise biologique. S'agit-il d'un événement isolé ? Peut-on définir clairement son début, sa fin, sa durée ? Peut-on savoir où il s'est produit ? Comment ? Au lieu de fournir aux apprenants la frise du temps et de l'espace, pouvons-nous les aider à la construire ?

La compréhension des phénomènes biologiques et géologiques repose nécessairement sur une perception cohérente de l'échelle de temps géologique. Les élèves apprécient-ils les durées des événements qui s'étendent de quelques secondes à quelques milliards d'années ? L'enseignement-apprentissage des sciences de la vie et de la terre permettra une réflexion transversale sur le temps géologique. Notre objectif est de replacer dans le temps, quand cela est possible, des événements biologiques ou géologiques, dans le but de comprendre comment se construit le concept « temps géologique » chez nos apprenants. Mais quel sont les obstacles qui pourraient empêcher les élèves de concevoir l'immensité du temps ? Nous développons dans ce suit un rappel sur l'obstacle épistémologique et nous essayons d'identifier quelques obstacles dans l'histoire des sciences afin de voir s'ils refouleraient chez nos apprenants.

5. L'obstacle épistémologique

La didactique des sciences a emprunté beaucoup à l'épistémologie bachelardienne et ne cessera de le faire tant que sa fécondité est loin d'être épuisée. Bachelard affirme dans son texte célèbre que « la notion d'obstacle peut être étudiée dans le développement historique de la pensée scientifique et dans la pratique de l'éducation » (G. Bachelard, 1938, p17). Pour Bachelard il est nécessaire de renoncer aux connaissances antérieures pour changer de culture scientifique et accepter une véritable rupture entre la « connaissance sensible » et la « connaissance scientifique ». En effet, l'évidence qu'apporte la première n'est pas rationnelle, mais exprime une satisfaction intime profondément irrationnelle. Pratiquement, cela signifie que pour penser scientifiquement il ne faut jamais s'en tenir à l'objet immédiat, à l'observation première mais se donner comme principe de méthode leur remise en cause. Dans cette perspective bachelardienne celui qui apprend devrait remettre fortement en cause ses

conceptions et les restructurer selon les mêmes principes qui régissent le développement de la connaissance scientifique chez le savant. La didactique relie souvent les représentations au concept d'obstacles, plus particulièrement, le mot « rupture peut désigner le pas à franchir entre le sens commun et la connaissance scientifique » (M. Fabre et C. Orange, 1997, pp37-57). La construction du savoir par l'apprenant se réaliserait par la construction de problèmes, qui ne se posent pas d'eux-mêmes, et par le dépassement des obstacles épistémologiques, qui pourraient être la connaissance sensible ou commune présente chez l'apprenant sous forme de conceptions. Ces obstacles trouvent leurs origines dans l'histoire des sciences, dans le culturel, dans la religion...etc. Toutefois dans l'esprit d'une culture il se creuse de très puissants obstacles épistémologiques qui dominent la pensée. Durant des siècles la géologie n'existait pas en tant que discipline autonome et reconnue, et si c'est le cas aujourd'hui c'est qu'il a fallu des changements paradigmatiques autant dans les sciences de la nature - par la suite dans la discipline elle-même - que dans la société. Toute compréhension de l'histoire de notre terre était entravée par des obstacles épistémologiques variés. Nous essayons de suivre certains basculement d'idée menant à la naissance de la discipline : la géologie, tout en identifiant des obstacles qui pourraient surgir chez nos élèves lors de l'explication de certains phénomènes naturels.

5.1. La mythologie du feu et de l'eau

La pensée scientifique était prisonnière d'une interprétation religieuse, les dépôts de coquilles situés à l'intérieur des terres (les fossiles) furent compris comme un témoignage du Déluge et renvoyant au catastrophisme historique. Il était admis également que les quatre éléments constitutifs de la matière (la terre, l'eau, l'air, le feu) étaient répartis, dans cet ordre, de l'extérieur vers l'intérieur du globe terrestre. Ainsi, pendant longtemps, les sources seront considérées comme l'exutoire d'un réservoir profond inépuisable. En se basant sur la Lettre, les premières explications d'un Burnet ou d'un Sténon proposent deux cycles de répétition, un globe submergé et un globe consumé par le feu. En s'inspirant des écrits d'Hérodote, Maillet explique, dans *Telliamed*⁹, le devenir des eaux de mers après leur évaporation sous l'action des rayons solaires. Ces eaux vont être élevées vers d'autres globes qui une fois submergé rétablissent leurs poids et la substance qu'ils ont perdu. Il lui semble que les cendres restées, suite aux incendies que ces globes ont subis, vont former avec les sables, les métaux et les pierres une nouvelle croûte. En travaillant sur les traces humaines, Maillet pense que si on

⁹ Benoit de Maillet. *Telliamed*,..., rééd. 1984, p. 221-225. Texte intégral dans G. Gohau. 2003. p. 43-45.

creuse jusqu'au centre de notre globe, il se peut qu'on trouve de la matière, des os et des pierres qui ont subis plusieurs immersions successives sans être la proie des flammes. Avec cette remarque, Maillet suggère une stratigraphie en vue de reconstituer une histoire du globe moins régulière des cycles de Burnet ou de Sténon.

Desmaret, comme Sténon, avait procédé dans un ordre rétrograde pour écrire l'histoire des volcans mais il les considère comme produit du feu. Foujas aussi pense que les granites sont des produits d'une terre torréfiée et longtemps en proie des feux. Soulavie voit que le feu est un facteur dominant dans la formation du globe. En comparant les monuments avec les faits, Buffon distingue quatre et même cinq époques dans la plus grande profondeur du temps. La première époque, où la matière du globe étant en fusion par le feu avant que la terre prenne sa forme. La seconde, où cette matière du globe s'étant consolidée. La troisième, où la mer couvrant la terre actuellement habitée. La quatrième, où s'est faite la retraite de ces mers qui couvrent les continents. Enfin, la cinquième époque, où les animaux du midi ont habité les terres du nord. Buffon affirme que « la terre étoit informe et toute nue, les ténèbres couvroient la face de l'abyme, et l'esprit de Dieu étoit porté sur les eaux » (Buffon, p30).

La mythologie de l'eau a renforcé un obstacle à concevoir l'immensité du temps géologique et a développé le catastrophisme historique¹⁰. Comment, par exemple, concevoir que dans un minimum de temps un tel déluge se produit : dissolution des continents, ré-sédimentation de la matière mobilisée et bouleversements des couches nouvelles. Comme le note Ellenberger, ni Woodward, ni personne ne pouvait franchir le mur conceptuel de la succession chronologique des événements géologiques. La « dissolution diluvienne » n'a pu être rejetée qu'avec l'affleurement de la pensée actualiste. La naissance de la stratigraphie a fermé le diluvianisme. Les explications ont donc restés longtemps piégées dans la mythologie du feu et de l'eau.

Tableau 4 : obstacles épistémologique liés à la mythologie du feu et de l'eau

Fossiles, témoignage du déluge	Catastrophisme historique, Diluvianisme
Un globe submergé et un globe consumé par le feu	Cycles de répétitions
plusieurs immersions successives de la matière sans être la proie des flammes	Pas cycles

¹⁰ Le catastrophisme historique, par apposition à l'actualisme, est utilisé dans les explications historiques.

5.2. L'éternité d'un cycle et la rédemption des âmes

Les prémices de la géologie comme discipline ont été jetées par Sténon et se sont heurtées longtemps au dogme de l'église concernant l'âge de la Terre. En fait, ses observations scientifiques contredisaient directement l'enseignement biblique qui dit que la Terre fut créée en six jours. Dans son « *prodrome d'une dissertation sur un solide naturellement contenu dans l'intérieur d'un solide* » de 1669, il a démontré que les coquilles fossiles et autres débris sont des restes d'anciens organismes vivants et qu'ils sont déposés dans l'eau. Il annonce donc très tôt le principe de la superposition. D'ailleurs il affirme, qu' « au temps où se formait l'une des strates les plus élevées, la strate inférieure avait déjà acquis une consistance solide » (N. Sténon, 1669, p30). Il a remarqué qu'en Toscane une dualité globale dans les couches : un ensemble de couches argilo-sableuses, fossilifères, est venu combler des vallées d'effondrement ouvertes dans un ensemble de couches, azoïques, plus anciennes. En plus, Sténon (1669) a remarqué que les strates, tant perpendiculaires à l'horizon, qu'inclinées sur lui, en un autre temps ont été parallèles à l'horizon. La déformation des couches renvoie à la tectonique mais Sténon en appliquant ce principe à la formation des chaînes de montagnes, il supposa que l'inclinaison des couches est due à un phénomène d'effondrement par disparition de couches plus anciennes. Ceci l'éloigne de l'idée d'un mouvement de poussée.

Le frontispice (in S. Jay Gould, 1990, p38) original de la *Telluris theora sacra* montre le contenu du récit et le conflit de Burnet sur le temps et l'histoire de la terre. Comme l'affirme, J. Roger (1995), Burnet a défini la théorie de la terre comme un système qui cherche à donner une explication historique et physique de la structure du relief superficiel du globe terrestre pris dans l'ensemble de sa masse et de son histoire. Mais selon F. Ellenberger (1988), c'est Bouquet qui a proposé, suite à Woodward, une théorie de la formation des montagnes en liaison avec la rotation de la terre. Dans cette partie nous limitons notre travail à la comparaison de l'histoire de la Toscane¹¹ de Sténon à la narration de Burnet afin de montrer le conflit entre la pensée scientifique, si elle existe, et la foi de chaque auteur.

Le frontispice montre Jésus debout sur un cercle de globes et nous lisons au dessus de sa tête l'Apocalypse : je suis le commencement et la fin. Sous son pied gauche nous voyons la terre originelle plongée dans le chaos. Nous retrouvons cette image dans la figure 25 de l'histoire de la Toscane qui montre qu'à cette époque les couches pierreuses étaient encore horizontales et que les eaux de la pluie inondaient la surface plane qui renferment des cavités au dessous

¹¹ D'après Sténon, *De Solido...*, planches 20-25 et N. Sténon, *De Solido...* 1669. D'après L. Elie de Beaumont, « fragments géologiques tirés de Sténon, etc. ». *Annales de sciences naturelles*, Tommes 25 et 26, 1832. Cité in G. Gohau. 2003. *Naissance de la géologie historique ; la terre, des « théories » à l'histoire*. Vuibert-Adapt. pp. 27-29.

des couches supérieures. Suite à ce chaos, le globe passera, selon Burnet par une période de stabilité où se forment des couches lisses avant que le déluge survienne pour nous punir les péchés et la terre sera submergée de nouveau. La Toscane de Sténon (fig. 24) montre que les couches supérieures étaient intactes avant que leur rupture (Fig. 23) se soit produite sous l'action des eaux ou du feu. Le plan B, A, C était couvert à une certaine époque par les eaux de la mer mais avant que ce plan se formât les plans F, G, I ont la même position actuelle. Cette période de stabilité de la Toscane n'est autre que celle de la stabilité du globe dont a parlé Burnet. Par la suite, les eaux étant retirées, la terre actuelle émerge. Ceci est confirmé par Sténon dans l'histoire de la Toscane. Il dit qu'à certaine époque il exista une surface plane continue renfermant des cavités lorsque le plan F, G se formait les hautes montagnes étaient couvertes par les eaux.

En se basant sur la Lettre, Burnet affirme que ce globe stable sera consumé par le feu et retrouvera son harmonie et Christ règnera mille ans sur le globe régénéré. Si Burnet a modélisé le globe en s'inspirant de l'Écriture, Sténon a exposé l'accord de ses conclusions avec elle. Il se base sur l'histoire de la Toscane pour avancer six phases de l'histoire du globe qui coïncide avec ceux avancés par Burnet et donc ne contredisent pas la Lettre sacrée. Sténon mentionna à plusieurs reprises que la nature et l'Écriture sont en accord et quand la « nature se tait, l'Écriture parle ». Selon lui la terre stable devrait avoir des changements soit à cause de l'eau ou du feu en quatre mille ans.

Chez les deux auteurs, nous retenons l'éternité cyclique. Ils n'ont pas dépassé le cadre temporel répétitif d'une terre actuelle séparant deux grands cycles de répétition : le passé marqué par le déluge destructeur et l'avenir traçant les mêmes états mais dans l'ordre inverse. La méthodologie scientifique de Sténon tire son originalité du fait qu'elle s'appuie sur l'expérimentation et l'observation directe du terrain. Cette méthodologie est un progrès scientifique du fait qu'elle est adoptée de nos jours, l'explication de Burnet n'est autre qu'une narration ou un récit. La puissance scientifique de Sténon n'est pas comparable au rajout modeste de Burnet à l'acquis scientifique. Mais ce qui gêne chez Sténon c'est que le déroulement de son histoire géologique colle avec les « enseignements de l'Écriture » (Gould, , 1990, pp80-81). Sténon aurait pu sauver sa réflexion scientifique mais il s'est consacré à la « rédemption des âmes ». Les deux auteurs conjuguent des preuves par observation de la nature et l'enseignement de la Lettre, un obstacle religieux surgit chez eux et des connaissances scientifiques perdirent au lieu de faire preuve d'un progrès intellectuel.

Tableau 5 : obstacles épistémologiques liés à la religion

Obstacle religieux	Rédemption des âmes
Diluvianisme Stabilité de la terre avant le déluge Finalisme : commencement et fin Mythologie de l'eau et du feu	Éternité d'un cycle Histoire de la Toscane de Stenon Frontispice de Burnet Explication conjuguée par observation de la nature et l'enseignement de la Lettre

5.3. Un dilemme des montagnes : cause par essence ou cause par accident

Les activités des savants du moyen âge sont, essentiellement, focalisées sur quatre thèmes : les minerais, les pierres précieuses, les phénomènes géologiques et l'histoire des êtres vivants en relation avec l'histoire de la terre. L'or, l'argent, et le cuivre étaient nécessaires pour la frappe des monnaies ; le fer pour la fabrication des armes et bien d'autres métaux (mercure, plomb, zinc) pour usage divers. Les savants de l'époque donnaient des noms aux pierres précieuses et même ils s'intéressaient à leurs aspects géologiques ; la manière dont la pierre s'est formée dans son minerai, son intérêt esthétique, sa couleur, sa forme géométrique, mais ils ne donnaient aucun intérêt à son âge. C'était un travail de description et de classification. Sur le plan scientifique, c'est plutôt les propriétés physiques (dureté, poids) et chimiques qui sont étudiés. Nous rappelons aussi que les premières grandes collections minéralogique, le *De re metallica* (1556) d'Agricola décrit la technique d'exploitation des mines et les connaissances relatives aux minéraux (G. Gohau, 1990). Mais qu'en est-il des montagnes ? A quelles difficultés se sont affrontés les savants de Moyen-âge dans l'explication de l'orogénèse ?

Certaines explications de l'orogénèse avancées par Avicenne, Albert le Grand et bien d'autres étaient en avance par rapport à la majorité des explications jusqu'à 1850. Selon F. Ellenberger (1974) l'érosion a été expliquée par Albert de Saxe comme le processus de régénération des reliefs : la terre est faite de couches, et ces couches sont bouleversées ; les montagnes sont des ruines et la terre est une planète. Toutefois, le théologien Albert le Grand, en s'inspirant largement des travaux des Savants Arabo-musulmans, entrevoit dès le 13^{ème} siècle l'importance des forces internes dans la formation des montagnes.

Bien que plusieurs explications aient été avancées, nous nous limitons à celle avancé par

Avicenne¹². Il a essayé d'expliquer la formation des chaînes de montagnes¹³. Il pensa que l'élévation du sol peut avoir une cause par essence, comme elle peut avoir une cause par accident. L'orogénèse est due aux tremblements de terre qui peuvent soulever une partie de la terre et produit donc un monticule. Nous pensons qu'Avicenne estime que suite à un séisme il y a suffisamment de forces pouvant déplacer ou pousser l'énorme quantité de matière vers le haut. Quant à la cause par accident, il suppose que lorsque une faille aura lieu, le vent souffle ou bien l'eau creuse et ce après un ruissellement profond la partie de la terre non creusé forma une chaîne de montagne. L'erreur était extérieure aux sciences telles que le mythe du déluge universel, elle est plus accès sur leur cause. La force qu'Avicenne suppose suffisante pour soulever des tonnes de matière l'a empêché de concevoir le lien entre séisme et orogénèse. Nous comparons plus tard l'explication de la formation des chaînes des montagnes par Avicenne à celle avancée par les étudiants.

Tableau 6 : obstacles épistémologiques liés à la cause du phénomène étudié

Cause par essence	Un séisme soulève une partie de la terre et forme un monticule
Cause par accident	Faille puis ruissellement profond, la partie non creusé forme un monticule

6. les fossiles : transformation des espèces ou créations successives

Selon F. Ellenberger et G. Gohau (1981), De Luc est connu parmi les derniers dilluvianistes ayant contribué au renouveau du catastrophisme si puissant dans les années 1800-1835. Pour J.-A. De Luc les faits sont eux seuls une vérité scientifique. Les travaux de De Luc ont été critiqués par Gillispie en 1959 et Davies en 1969. Mais, c'est D.R. Oldrayd qui a rendu hommage à ce savant et a insisté sur l'aspect historique de la pensée du De Luc. Le mérite géologique de De Luc se résume ainsi :

- Toutes les roches de la croûte terrestre, granite compris, mais produits volcaniques (ou il range le basalte) exclus, sont des « précipités » formés au sein d'un « liquide » (la mer actuelle).
- Certains couches sont bouleversées après les catastrophes qui consistent à un affaissement différentiel causé par des cavités souterraines sous l'action du « liquide extérieur ».
- Les chaînes de montagnes s'expliquent par des ramifications endurcies.

Nous trouvons chez De Luc des explications morphologiques du paysage géologique mais il n'a pas saisi l'immensité du temps, il est resté fidèle au temps humain et à la bible mais il était

¹² Ibn Sina : Risalat al-ma'adin wa l-athar al-'ulwiya [Epitres sur les minerais et les phénomènes météorologiques]. Cité par A. Sakri, in *Encyclopédie de la civilisation arabo-musulmane*, vol. I, p. 605-606.

¹³ Voir le texte intégral d'Avicenne dans le chapitre 4

conscient que sur la verticale les faunes fossiles les plus récentes tendent vers l'actuel. Nous pouvons même dire que De Luc s'est rendu compte du rôle des fossiles dans la datation, il pense disposer de « chronomètres » naturels probants. La fondation de la paléontologie permet de situer De Luc par rapport à ses prédécesseurs et à ses successeurs. Il a observé des fossiles dans des roches différentes et il les a mis en rapport avec des différences d'âge. D'ailleurs G. Gohau (1992) le considère parmi les premiers qui ont parlé des causes actuelles. En corollaire les fossiles sont un moyen de datation. De Luc transformiste n'adhère pas à la génération spontanée. Le fait de trouver différents fossiles dans des couches successives le laisse penser à deux solutions : la transformation des espèces ou les créations successives. De Luc renvoie le changement des organismes au changement du « liquide ». Influencé par le « Dilluvianisme », la pensée de De Luc n'a pu dépasser les explications de la Bible. Georges Cuvier « imagine, et souhaite sans doute être lui-même un Newton des sciences naturelles, qui rassemblerait dans une histoire unique le passé de la terre et celui de la vie » (J. Roger, 1973, pp 23-48). Mais il a trop inspiré de De Luc. Nous citons quelques passages qui tiennent compte de temps.

Tableau 7 : comparaison entre De Luc et Cuvier

De Luc (1727-1817)	Cuvier (1769-1832)
Le temps étoit l'un de ces agents vagues auquel les géologues avoient coutume d'assigner l'émergence de nos continents : ils croyoient suppléer ou à l'indétermination des causes agissantes	Je sais que quelques naturalistes comptent beaucoup sur les milliers de siècles qu'ils accumulent d'un trait de plume
ces couches...se sont formées, comme toutes les autres couches par des dépôts au fond d'un liquide	les fossiles...nous ont appris que les couches qui les recèlent ont été déposées paisiblement dans un liquide
«l'extinction totale de diverses espèces d'animaux [cornes d'amon, etc.] » «tous les animaux marins périrent [là où s'opéra le dépôt du sable] » «nombre d'espèces... furent détruites (12 ^e Lettres à Del., p 100)	«leurs races mêmes ont fini pour jamais » «détruire tous les quadrupèdes... faire périr la classe entière » «événements effroyables. Des êtres vivants sans nombre ont été victimes de ces catastrophes »

Les observations intéressantes faites par Deluc sur la présence de faunes différentes dans des couches d'âge différent ont permis d'amorcer l'usage de la paléontologie stratigraphique, il

manquait encore des règles pour déterminer l'âge des couches par l'observation des fossiles. C'est à Cuvier que l'on doit un pas décisif dans cette direction. Contrairement aux Wernerien, il a surtout constaté l'importance des fossiles dans la datation des terrains. La théorie de Werner suppose une cristallisation universelle, de moins en moins vraisemblable, car les observations de la nature actuelle montrent que les dépôts varient d'un lieu à l'autre. A cette époque, l'usage des fossiles pose un problème, car la nature ne montre pas non plus une identité de faune sur tout le globe. Cuvier résout le problème en supposant des "révolutions". Ces révolutions seraient la conséquence de catastrophes. Mais comment a-t-il expliqué la réapparition d'une nouvelle faune après une catastrophe ? Cuvier suppose qu'elle était déjà présente ailleurs sur la terre et qu'elle migre pour envahir de nouveaux territoires, avec le corollaire gênant de l'absence de liaison d'une faune à son époque. C'est pourquoi les successeurs de Cuvier ont préféré imaginer que la destruction des espèces était générale et qu'elle était suivie d'une nouvelle création. Alcide d'Orbigny (1802-1857), créateur des "Etages" (Gaudant J. 1984), admet par exemple la création successive des espèces à chaque époque géologique. En fait, Cuvier lui-même distinguait plusieurs époques successives, ce qui contredit sa thèse des migrations. Les terrains les plus anciens renferment des invertébrés, viennent ensuite les quadrupèdes ovipares, puis les mammifères. De Luc piégé dans le transformisme et Cuvier dans le créationnisme, les deux auteurs n'ont pas dépassé l'explication biblique.

Tableau 8 : Obstacles épistémologiques liés au concept « fossile »

Transformisme ou créations successives chez De Luc	différents fossiles dans des couches successives
Créationnisme chez Cuvier	Révolutions conséquence de catastrophes Thèse des migrations des espèces

7. Obstacle psychologique à concevoir le temps à grande échelle

Contrairement à Stenon et Burnet, Buffon a dépassé de loin l'obstacle religieux sur la durée de la création de la terre. Il affirme que l'« ouvrage des six jours ne peut s'entendre que comme une formation, une production de formes tirées de la matière créée précédemment » (G.-L. De Buffon, 1778, p 33). Il voit qu'il y a deux temps dans le livre sacré : un temps de la création de la matière et un temps de la production de la lumière. Buffon était convaincu que les six jours cités devraient être non semblables aux nôtres, ni même à des jours de lumière et qu'il est plus logique de les entendre comme six « espaces de temps » ou « six intervalles de durée ». Il se posa plusieurs questions pour donner une certaine légitimité à ses

convictions religieuses. «C'est son intérêt pour Newton qui a conduit Buffon à poser à la nature des questions nouvelles et à formuler les hypothèses fécondes » (G. Cangulihem, 1992). Il a pensé à l'usage de l'imparfait dans l'écriture comme preuve de l'immensité du temps. Il a dit, en interprétant certains passages, que « c'est pendant un long espace de temps que la terre a été informe et que les ténèbres ont couvert la face de l'abyme » (G.-L. De Buffon, 1778, p30). Buffon voit que la *lettre* tue quand elle est contradictoire avec la raison et la vérité des faits, cette vérité qui selon lui vient de Dieu. Ses questions et ses explications semblent être non contradictoire avec la Bible et ne donnent pas l'occasion aux hommes de l'église de critiquer ses observations et ses recherches qui les considèrent non différentes des vérités révélées. Pourquoi dit-il nous refusons ce temps puisque Dieu nous le donne par sa propre parole. Par respect à l'écriture ou par peur de l'église, Buffon s'est voulu se débarrasser d'un obstacle religieux bloquant l'avancement des sciences pendant des siècles. A-t-il réussi ? Oui, mais pourquoi il n'a pas avancé des âges de la terre reflétant sa réflexion? En lisant « *histoire et théorie de la terre* » ou « *des époques de la nature* », nous apercevons l'importance qu'il accorde à la notion du « temps » à travers les âges du globe qu'il a proposé. Nous analysons quelques passages traitant le temps afin d'identifier l'obstacle non franchis par Buffon.

En 1744, Dans « *histoire et théorie de la terre* » Buffon a construit une interprétation historique du globe terrestre concernant sa constitution intérieure. Il annonça que « Les changements qui sont arrivé au globe terrestre depuis deux et même trois mille ans, sont fort peu considérables en comparaison des révolutions qui ont dû se faire dans les premiers temps après la création» (G.-L. de Buffon, 1744, p77). Nous remarquons qu'il est conscient de l'immensité du temps écoulés depuis la création cependant il hésite sur la date des changements, elle est de « deux ou trois mille ans ». Ces hésitations se répètent tout au long de son texte. Selon lui il a fallu des années pour la production d'une telle épaisseur de la terre. Il considère que la terre nous habitons « a été longtemps sous les eaux de la mer » (G.-L. de Buffon, 1744, p 81). Une autre doute à propos des changements du globe, conséquence du déluge universel, c'est qu'ils pourraient être faits dans un temps court ou il a fallu peut-être beaucoup de temps, mais enfin il s'est fait. Sa conception du temps n'est pas claire, mais il a tendance à favoriser une dimension temporelle immense. Le temps dont il parle devrait être très long comme il le signale dans ce passage «Avec le temps les golfes deviendront des continents, les isthmes seront un jour des détroits, les marais deviendront des terres arides, et les sommets de nos montagnes les écueils de la mer » (G.-L. de Buffon, 1744, p106). L'explication de ces changements dans son « *histoire* » montre que le temps long est toujours

présent dans sa pensée, cependant il n'a annoncé que rarement des chiffres de quelques mille ans. Semble-t-il confronter un obstacle psychologique à concevoir l'immensité du temps dont il parle ?

Dans les « Epoques de la nature », Buffon propose l'histoire du globe en sept étapes : *lorsque la terre et les planètes ont pris leur forme, lorsque la matière s'étant consolidée a formé la roche intérieure du globe, ainsi que les grandes masses vitrescibles qui sont à sa surface, lorsque les eaux ont couvert nos continents, lorsque les eaux se sont retirées, et que les volcans ont commencé d'agir, lorsque les éléphants et les autres animaux du midi ont habité les terres du nord, lorsque s'est faite la séparation des continents et enfin lorsque la puissance de l'homme a secondé celle de la nature.* L'usage de la conjonction de subordination « lorsque » introduit une proposition subordonnée de temps au passé indiquant un moment précis du passé. Or les faits qu'il aborde ne peuvent être précis parce qu'il s'agit de phénomènes qui s'étendent sur des intervalles ou périodes de temps. D'ailleurs, Buffon (1778, p38) affirme que « *les vérités de la nature ne doivent paroître qu'avec le temps* ». Il considère le passé comme la distance où notre vue y décroît, et s'y perdrait même. Remonter à quelques siècles dans ce passé, selon Buffon, ne fait qu'augmenter les incertitudes et les erreurs sur les causes des événements. La peur de l'erreur et de l'incertitude sont principalement des causes qui ne laissent pas Buffon augmenter le temps à une échelle plus grande, son temps est resté coincé entre des siècles et quelques mille ans. La comparaison des monuments¹⁴ et des faits¹⁵ lui a permis de distinguer les quatre ou les cinq premières époques « dans la plus grande profondeur du temps » à travers duquel nous descendons du sommet de l'échelle jusqu'à nos jours. Il y a trois cent soixante mille ans que les éléphants ont séjourné en Sibérie. En ce moment la terre tournoit sur un axe de 45 degrés de celui sur lequel elle tourne aujourd'hui. Ces deux affirmations il les a rejeté à cause de l'insuffisance de son explication.

Après une liquéfaction causée par le feu, il a fallu du temps pour que le globe se refroidisse. Ce temps devrait être différent de six ou huit mille ans avancés par le livre sacré. « Il faut du temps pour que le feu, quelque violent qu'il soit, pénètre les matières solides qui lui sont exposées, et un très-long-temps pour les liquéfier » (G.-L. de Buffon , 1778, 42). La comparaison de la chaleur des autres planètes à celle de la terre a montré que le « temps de l'incandescence » et celui de la chaleur du globe terrestre a duré trente-sept mille deux cents six ans. L'objection sur la très longue durée du temps, pourquoi se lancer dans un espace

¹⁴ Les monuments qu'on doit regarder comme les témoins de ses premiers âges.

¹⁵ Les faits qui peuvent nous rapprocher de l'origine de la nature.

vague de durée de cent soixante huit mille ans, a poussé Buffon de répondre que l'âge de la terre est de soixante quinze mille ans et la nature vivante doit subsister pendant quatre vingt treize mille ans. Il a du souci d'avoir peut être raccourci cette durée, elle pourrait être plus longue. Il s'est posé alors les questions suivantes : «Pourquoi l'esprit humain semble-t-il se perdre dans l'espace de la durée plutôt que dans celui de l'étendue ?» (G.-L. de Buffon, 1778, p 67). « Pourquoi cent mille ans sont-ils plus difficiles à concevoir et à compter que cent mille livres de monnaie ? Nous avons peine à nous former une idée de mille ans, et ne pouvons plus nous représenter dix mille ans, ni même en concevoir cent mille» (G.-L. de Buffon, 1778, p 68). Cette liste de questions, et bien d'autres, prouve non seulement que les contemporains de Buffon ont du mal à concevoir l'immensité du temps, mais que Buffon lui-même doute aux chiffres qu'il avance, il espérait les augmenter après avoir étudié plusieurs arguments. Dans la deuxième époque, il propose deux mille neuf cents trente ans avant que le globe se consolide entièrement. Frappé par l'immensité de l'épaisseur des sédiments observés sur la côte normande (France), il éleva l'âge de la terre à cent mille ans, «il s'est peut-être passé vingt-cinq mille des premières années avant que l'eau, toujours rejetée dans l'atmosphère, ait pu s'établir à demeure sur la surface du globe » (G.-L. de Buffon, 1778, p73). Buffon conscient que l'esprit humain est trop limité pour comprendre l'immensité du temps, n'a pu pousser la « durée absolue » de la « belle nature » qu'à cent trente deux milles ans.

Cette lecture brève qu'elle soit nous a permis de prouver que Buffon s'est débarrassé d'un obstacle religieux à concevoir l'immensité du temps mais il a été confronté à un obstacle psychologique qui a limité ses souhaits de donner à la terre un âge plus quelques cent mille ans. Tenant compte de leur âge et de leurs connaissances à propos du temps géologique, nos apprenants pourraient-ils confronter ce type d'obstacle dans l'explication de certains phénomènes géologiques ?

Tableau 9 : un exemple d'obstacle psychologique à concevoir le temps géologique

Critères	Exemples
Hésitation sur les dates de changements	Deux ou trois milles ans
Peur de l'erreur de l'incertitude	La terre était longtemps sous les eaux : dimension temporelle immense
Question sur l'esprit humain	Quelques siècles : augmentation de l'incertitude
Difficulté de gérer 100 mille ans	Trois cent soixante mille ans : éléphants en Sibérie six ou huit mille ans, temps de refroidissement du globe

8. Nature du temps dans neptunisme et le plutonisme

C'est au 18^{ème} siècle que se développe l'antagonisme fameux entre les «neptunistes» et les «plutonistes». Les neptunistes, rangés derrière Werner, donnent à l'eau un rôle primordial dans l'origine de toutes les roches, y compris le granite, qui se seraient solidifiées dans un océan primitif. Certains d'entre eux proposent une origine analogue pour le basalte, dont pourtant l'appartenance à la famille des laves est connue depuis les observations de Desmaret, au milieu du siècle. Les plutonistes, adoptant les idées de Hutton, préfèrent donner cette place au feu que l'on subodore dans les régions centrales de la Terre, et aux phénomènes volcaniques. Nous retrouvons dans les deux courants la mythologie de l'eau et du feu.

Le neptunisme influencera beaucoup la géologie moderne par le souci de classer et de nommer les terrains d'après leur ordre de superposition en couches. Cet ordre correspond à l'âge relatif de ces terrains et il soutient que la délimitation des massifs et des bassins est fixée dès la formation du globe. Werner subdivise donc les montagnes en douze formations qui commencent depuis le Dévonien se continuent par le Trias et se terminent par des couches de basaltes qu'ils croient sédimentaires et enfin la craie. Cette subdivision vise à mettre en évidence une « colonne lithologiques universelle » qui se heurtera au problème qu'une époque ne peut être caractérisée par un dépôt unique. On ne peut pas dater relativement les couches qu'au moyen des fossiles, et non en fonction de la lithologie. Comment Werner ne s'est-il pas rendu compte de ce qui nous semble actuellement une évidence ? En fait contrairement à Buffon, les neptuniens tiennent pour avérée l'irréversibilité des phénomènes géologiques et postulent que l'ordre des précipitations des matériaux de l'océan primitif n'est pas quelconque : les premiers dépôts, disent-ils, sont faits « de beaux et grands cristaux » (G. Gohau, 2003), l'équivalent du granite actuellement. Puis à mesure que les eaux sont plus agitées, les cristaux deviennent plus petits et plus confus, noyés dans un tissu lâche opaque. Par ailleurs, les eaux marines s'abaissent progressivement par évaporation, suivant Werner et les dépôts primitifs les plus élevés, sédimentés au sommet de bosses du globe primitif, commencent à émerger. Quand les plus hautes montagnes émergent, l'érosion produite des dépôts mécaniques qui « souillent » les précipitations chimiques.

Généralement, nous opposons la théorie neptunienne aux idées des plutonistes. Hutton est le plus célèbre représentant de cette école. Son système, publié en 1795 dans *Theory of the Earth*, est fondé sur l'action du feu ou de la chaleur souterraine auquel il attribue trois effets : La consolidation des sédiments, le soulèvement des strates, la formation des montagnes et l'injection de granite à l'état liquide dans les couches. Nous pouvons dire que sur le problème de la consolidation des sédiments (la diagenèse), les neptuniens étaient plus près de la réalité

que les plutonistes. Nous savons actuellement que la diagenèse est un phénomène de précipitation de matériaux dissous dans des conditions de faibles pression et température, mais les deux propositions suivantes sont novatrices. A l'appui de la seconde hypothèse, Hutton décrit et interprète les discordances angulaires (Jay Gould S. 1990) comme résultant de l'érosion d'un terrain plissé et son recouvrement par des strates plus jeunes. Les discordances deviennent donc avec Hutton un moyen de reconnaître et dater les mouvements orogéniques. Quant aux observations prouvent l'injection du granite à l'état fondu, les plutonistes réfutant leur origine aqueuse. Le granite n'est pas primordial mais postérieur aux couches dans lesquels est injecté. Le granite considéré par les naturalistes comme ayant une origine d'une partie de la terre primitive est postérieur au schiste alpin qui n'est pas aussi une couche originelle. Un dernier élément important est l'apparition avec Hutton de la notion de cycle : l'histoire de la terre repose sur la répétition de cycles de formation de montagnes.

Même en absence de la géophysique nous remarquons une pensée logique, admettre un modèle du globe d'une «croûte» rocheuse entourant une sphère fluide avec un noyau central lourd avec ou sans « feu ». L'idée d'un feu central et celle du passage des matériaux dits « primitifs » par un état de fusion constituent un pas décisif vers la compréhension des événements magmatiques. Malgré, les problèmes que les deux courants ont confrontés, leur opposition semble être féconde et leurs a permis de mieux expliquer le magmatisme et la diagenèse. Résumons les différents types de temps dans lesquels travaille chaque partisan.

Tableau 10 : nature du temps chez les neptunistes et les plutonistes

Neptunisme	Plutonisme
Mythologie de l'eau	Mythologie du feu
Irréversibilité des phénomènes géologiques	Répétition des cycles réversibles
Précipitations chimiques continues	
Temps court	Temps cyclique
Temps long	

9. L'actualisme et l'extrapolation du présent vers le passé

Charles Lyell (1797-1875) est considéré comme le fondateur de la sédimentologie. C'est en grande partie la conséquence de l'élaboration de son « principe des causes actuelles » ou plutôt « des causes réelles » selon la traduction correcte du terme anglais « *actual* » (*Principles of Geology*, 1834). Ce principe postule que les causes des changements géologiques n'ont jamais été autres que celles qui se manifestent de nos jours et qu'elles ne se sont jamais manifestées avec une intensité plus grande. Il devient donc possible d'expliquer la

genèse des dépôts par une comparaison avec la nature actuelle : il s'agit d'un champ énorme qui s'est ouvert à la recherche. Lyell était aussi persuadé par l'immensité du temps géologique ; il avait observé des dépôts feuilletés et avait attribué leur régularité à un cycle annuel, ce qui exigeait des centaines de milliers d'années pour déposer l'ensemble d'une formation.

Les multiples études de terrain du 19^{ème} siècle et du 20^{ème} siècle ont confirmé la possibilité d'interpréter la genèse et l'évolution des formations géologiques et des formes de terrain à partir des processus physiques et biochimiques agissant actuellement à la surface de la terre et permanents sur de longues durées au moins, comme ceux liés à la gravité, aux différences de température, aux échanges entre atomes, sans qu'il soit nécessaire de faire appel à des catastrophes ou à des facteurs exceptionnels. Mais, s'il est probable que les processus physiques et chimiques élémentaires en œuvre aujourd'hui l'étaient aussi dans le passé, rien ne prouve que leurs caractères, leurs rythmes, leurs intensités, et surtout leurs combinaisons en systèmes locaux ou plus vastes étaient identiques à l'actuel.

Les héritages des périodes anciennes inclus dans les formations géologiques montrent ainsi que la couverture végétale était très peu dense jusqu'au Dévonien, ce qui exposait les sols beaucoup plus qu'aujourd'hui aux différents agents d'érosion, eaux courantes, vent, etc..., sous des climats apparemment chauds et secs, avec une atmosphère dont la composition n'était pas identique à celle d'aujourd'hui. Les conditions d'élaboration des grandes surfaces d'aplanissement de l'ère primaire sont donc sans équivalent aujourd'hui (G. Beaudet et R. Coque, 1994, pp227-254). De même, si le froid s'est étendu sur les latitudes moyennes à l'ère quaternaire, les conditions d'ensoleillement y étaient radicalement différentes de ce qu'elles sont dans les régions polaires et subpolaires actuelles. Et si l'extinction des Dinosaures il y a 65 millions d'années est bien liée à l'effet d'une collision d'un météorite avec la terre, il s'agit bien d'un phénomène exceptionnel et non reproductible. En l'absence d'archives, les explications avancées « ne permettent pas d'affirmer qu'un scénario soit certain » (S. Tirard, 2005).

L'insuffisance de l'actualisme soulève donc plusieurs questions sur la durée des événements et des phénomènes ou sur la réalité du passé qui n'est plus mais qui a été. Selon les formulations il y a de profondes différences. Nous n'avons pas fait de recherches historiques approfondies mais il est tout à fait possible que la formulation de ce principe ait beaucoup évolué. Le principe des causes actuelles nous permet de dire que les causes de l'évolution sont actuellement décelables car actuellement en jeu (D. Orange, 2003). Les causes et non pas forcément les mécanismes, dans le sens où il peut y avoir eu des étapes dans l'évolution qui sont passées et ne se reproduiront plus. Nous pensons ici au problème de l'origine de la vie.

Ce sur quoi il est nécessaire de s'accorder c'est sur la "causalité" et donc sur la validité des lois expérimentales par le passé. Les lois expérimentales découvertes actuellement s'appliquaient-elles par le passé ? En énonçant ce principe, le scientifique sait qu'il fait reposer sa connaissance sur un principe raisonnable, mais qui n'est pas nécessairement scientifique, dans le sens où il n'est pas toujours démontrable expérimentalement. Toute discussion de la validité de ce principe reste dans le cadre d'une discussion scientifique, mais se fait, non pas avec les outils du scientifique, mais avec ceux du philosophe. Par contre, il est clair que ce principe nous à se poser ces questions en géologie. Face aux causes agissantes dont on ne trouve pas des explications, il est possible, selon D. Orange (2005), de recourir à l'actualisme méthodologique pour construire les problèmes de la géologie historique en évacuant un catastrophisme trop immédiat, qui permettrait tout. Cependant il est nécessaire d'introduire de longues durées pour dépasser le catastrophisme. C'est entre les deux courants que la géologie forgeait ses concepts scientifiques. Si le catastrophisme historique semble être une nécessité pour expliquer certaines catastrophes vu l'insuffisance de l'actualisme, y a-t-il un nouveau catastrophisme ?

10. Le catastrophisme actuel

La terminologie du « *catastrophisme* » n'a jamais disparu de l'histoire des sciences de la vie et de la terre même si les scientifiques ne lui accordent pas une certaine rationalité à l'explication qu'il avance à certains phénomènes naturels. Au-delà du domaine scientifique nous assistons à un usage du terme catastrophe dans les différentes civilisations. Ce retour du catastrophisme enrichit-il nos registres explicatifs ? Plusieurs nouveaux ouvrages ces dernières années traitent le catastrophisme, sans exhaustive, nous citons « bio-catastrophisme et poshumanité » (D. Lecourt,) ; « autres crises- autres catastrophes » (E. Buffetaut, 2003) ; « ces catastrophes qui firent le monde » (G. Gohau, 1987)...etc. ceci sans compter le nombre d'articles scientifiques parus durant la dernière décennie. L'explication de ce retour du catastrophisme surtout en sciences de la vie et de la terre, nous aidera à expliquer les obstacles à l'acquisition du temps par les apprenants.

En biologie, La conception de l'évolution de la vie est majoritairement graduelle selon le schéma darwinien. Ce gradualisme les empêche de considérer la nature cataclysmique de certains événements. La sélection naturelle peut avoir lieu durant des catastrophes, les espèces survivantes après la crise crétacée sont l'exemple. L'accélération des processus évolutifs serait très importante suite à une crise. En écologie, disciplines récentes, la conception catastrophiste exprime le pessimisme des scientifiques concernant la nature. Le

catastrophisme historique est souvent exclu des explications vu sa relation avec des explications créationnistes. Le catastrophisme actuel semble être un moment qui pouvait engendrer un évènement unique par sa violence et sa portée, ici en biologie ou en géologie mais il peut s'étendre par exemple à l'économie ou la politique ou la guerre. Le catastrophisme historique s'applique aux faits historiques par contre le catastrophisme actuel s'applique aux catastrophes actuelles écologiques, par exemple. Selon les études faites, une catastrophe écologique se prépare pour ruiner notre planète d'une façon irréversible. C'est en géologie et en paléontologie que le catastrophisme actuel est que le retour du catastrophisme est remarquable. L'extinction de certaines espèces d'insectes suite au tsunami est un exemple catastrophisme actuel mais qui fait appel à l'actualisme vu les causes du séisme. Cependant il trouve aussi une place dans le catastrophisme historique puisque il pourrait avoir lieu des événements dans l'histoire de la terre avec une ampleur plus grande. Ce catastrophisme actuel ne serait-il pas un des registres explicatifs des apprenants ? Dans des travaux ultérieurs, il serait fructueux d'examiner un tel intérêt pour les hypothèses catastrophistes après environ un siècle d'abondance. Cela permettra de réfléchir sur l'histoire de la géologie et la biologie.

11. L'hostilité au mobilisme du à un obstacle conservateur

Les idées de Wegener (1929) ont été accueillies généralement avec hostilité. Ses détracteurs mettaient en évidence les problèmes suivants : pourquoi un continent géant comme la Pangée est-il resté d'un seul tenant pour se morceler ensuite en peu de temps? Comment expliquer l'origine des phases orogéniques anciennes ? Comment une sphère assez résistante pour supporter des dénivellations de l'ordre de 10 Km se laisserait-elle déformer de façon importante par des forces aussi minimes que les forces de marée ? Des débats sur les nouvelles idées mobilistes ont été organisés, du vivant de l'auteur. Leur jugement, dans l'ensemble était défavorable à Wegener. L'un des plus redoutables adversaires de Wegener est Harold Jeffreys, géophysicien de Cambridge qui publia en 1924 un important traité intitulé *The Earth*, réédité, en 1929, qui s'oppose résolument à la théorie de Wegener en soutenant que les forces envisagées sont bien trop faibles pour mouvoir les continents. Il affirme que "Selon la théorie de Wegener, une force minuscule n'aurait pas seulement déplacé l'Amérique par-delà l'Atlantique actuel, mais encore la résistance opposée à ce mouvement par le fond du Pacifique aurait provoqué l'élévation des montagnes Rocheuses. « La supposition selon laquelle la terre pourrait être déformée indéfiniment par de petites forces à la seule condition que celles-ci agissent longtemps, est donc une supposition très dangereuse, qui peut conduire à des erreurs graves » (J. H. Jeffreys, 1924, p 261). Les arguments de Jeffreys reposent

essentiellement sur l'idée que la Terre est beaucoup trop résistante pour se laisser déformer par les forces liées aux marées ou de la *polflucht* (force répulsive du pôle). En 1929, Jeffreys était encore plus ferme sur son rejet de la théorie de Wegener. Pour lui il n'y a pas la moindre raison de croire que des mouvements des continents à travers la lithosphère soient possibles. Pour cela il rejette l'idée d'une dérive séculaire des continents soutenue par A. Wegener et bien d'autres.

Selon P. Testard-Vaillant (2000, pp 52-55), une conférence a été organisée à New York, en 1926, sous la direction de l'AAPG (American Association of Petroleum Geologists). Cette conférence a rassemblé tous ce que la communauté considère de Wegnériens et d'antiwagnériens. « Wegener, lucide, se contente d'expédier une courte communication. Un coup d'épée dans l'eau, comme prévu : l'assemblée à la majorité, rejette ses thèses ». Pendant une quinzaine d'années, le monde de la géologie est divisé en partisans et adversaires de la dérive continentale. Après la mort prématurée de Wegener (1931) dans une tempête de neige au Groenland, l'idée perd son plus ardent défenseur et la controverse s'atténue considérablement. Mais sa mort ne freina pas l'ardeur de ses partisans.

Le « fixisme » était le paradigme régnant et il le demeura jusqu'en 1968. L'autrichien Eduard Suess dans sa grande synthèse du début du 20^{ème} siècle, décrivait la terre comme une planète en lent refroidissement dont la surface se craquait et se boursoufflait sous l'action de la contraction superficielle. En 1983, dans l'écume de la terre, Allègre rappelle que la théorie mobiliste ne date pas de 1961, date à laquelle elle est admise plus ou moins par la communauté scientifique et qu'elle n'est que l'héritière de la théorie de la dérive des continents proposée en 1912. Allègre retrace l'évolution des idées et analyse le phénomène complexe par lequel une théorie essentiellement exacte est critiquée voir éliminée pour ressusciter cinquante ans plus tard. La résistance de l'esprit humain aux changements et la non acceptation des idées nouvelles ne ferait que retarder la profusion de développements. X. Le Pichon (2003, p 203) note que Ewing, jusqu'à sa mort en 1974, n'a pas accepté le succès de la théorie de la tectonique des plaques et même attendait que de nouvelles recherches montrent que le modèle de la tectonique des plaques était faux.

La théorie « mobiliste » a mis en relation ce qui était autrefois perçu comme indépendant (les séismes, les volcans, formation des chaînes de montagne ...). Selon X. Le Pichon (1984, 2003) cette théorie est caractérisée par son pouvoir explicatif et prédictif. La mobilité continentale n'est qu'une traduction en surface de mouvements profonds. Elle est devenue le pivot de la révolution que les sciences de la terre ont connu depuis environ un demi de siècle.

Rien n'était fixe; la fermeture de la Méditerranée est en cours ainsi que l'ouverture de la mer rouge, en plus les continents n'ont pas toujours le même contour. L'esprit humain semble avoir refusé avec beaucoup d'énergie que le monde ait une histoire, la pensée reste attachée à l'immobilisme et au fixe, ou bien admet un changement une seule fois ceci qui fait recours au catastrophisme. Le changement de paradigme ne se fait que grâce à une révolution. L'opposition mobilisme-fixisme crée un dilemme qui nous permettra de considérer l'esprit humain, même scientifique, comme conservateur. Cet obstacle, de conservation d'idées, peut expliquer la non-acceptation des idées de Wegener qui ont bouleversé la pensée « fixiste » mais il a fallu attendre trente ans après sa mort pour que Hess et Dietz les rajeunissent. Cet obstacle pourrait probablement figurer dans la pensée des apprenants.

Tableau 11 : obstacle conservateur à la mobilité du globe

Obstacle conservateur	Forces faibles pour mouvoir les continents
Fixisme	Résistance de l'esprit humain au changement

12. Le mobilisme, un nouveau paradigme

Wegener, en 1912, formula la première théorie « mobiliste ». Sa vision concernait les continents et le passé géologique. Comme l'avait affirmé Hurolod Jeffreys (géophysicien*) dès 1924, la dérive des radeaux continentaux était « une explication qui n'explique rien de ce que nous (géophysiciens) voulons expliquer ». Le mécanisme de déplacement proposé pour les continents ne pourrait expliquer ni la distribution actuelle des volcans ni celles des séismes ; il se heurtait à des impossibilités mécaniques évidentes. Les essais d'explication tectonique de Wegener faisaient appel à une différence de « fluidité » entre le Pacifique et l'Atlantique, différence que la géophysique démentait. C'est Hess, en 1960, qui rendit le mobilisme fertile pour l'ensemble des sciences de la terre en proposant le « see-floor spreading » (renouvellement du fond des océans). Hess avait pour ambition de rendre compte à la fois de la géodynamique (volcanisme, sismicité, structure des rifts et des fossés) et de l'évolution géologique antérieure. Le fond de l'océan forme un tapis roulant prenant naissance à l'axe des océans pour plonger le long des fossés océaniques. IL fallut huit ans pour intégrer le schéma de Hess au sein d'une théorie mobiliste globale, la tectonique des plaques qui répondit à son ambition.

Des travaux et des théories furent présentés avant que ne soit formulé la dérive des continents par Wegener en 1912 puis l'expansion océanique (A. Hallam, 1976) par Harry. H. Hess dans les années soixante et enfin la « théorie de la tectonique des plaques » par Jason.W. Moragan,

Dan Mackenzie et Xavier Le Pichon en 1968. Cette théorie apporte la dimension géophysique qui manquait à celle de Wegener. Elle donne un modèle global qui explique tous les phénomènes géologiques. Mais aussi satisfaisante qu'elle soit, cette théorie n'explique pas tout. Elle s'intéresse à un concept global du "système terre" qui résulte de la convergence des travaux de nombreux spécialistes : géologues, géophysiciens, géochimistes, océanologues et climatologues. De ce fait cette théorie globale ne porte pas de nom, contrairement à la plupart des grandes théories. X. Le Pichon (2001) confirme que pour les géologues il est un géologue alors que les géophysiciens le considèrent comme géophysicien, ceci montre que le modèle explicatif s'enracine dans plusieurs disciplines. Nous testons si la théorie mobiliste serait un modèle unificateur dans l'explication de certains phénomènes naturels par les élèves et les futurs enseignants.

13. La fonction négative en sciences de la terre

La géologie offre plusieurs exemples de conceptualisation du négatif. La géologie naissante au début du 19^{ème} siècle bute sur la perte de matière. Depuis Descartes les théories de la terre ont pour ambition d'expliquer la formation du globe et non sa destruction. Descartes lui-même ne semblait pas se préoccuper de la lente destruction des reliefs par l'érosion. Mais même si d'autres auteurs s'en préoccupent, tentent de les évaluer, ils ne leur font jouer aucun rôle positif. Hutton fut le premier à comprendre le rôle de la destruction des reliefs dans le cycle géologiques. L'existence de discordance angulaire avait bien été remarquée mais cette idée suppose que les terrains formés suite à des mouvements tectoniques ont été ensuite effacés par l'érosion. Le négatif est intégré dans le cycle géologique (G. Rumelhard, 1995). Les cycles de l'érosion effacent les traces lors de leur passage. Le passé, antérieur au dernier cycle, doit être considéré comme n'a jamais perdu. Ainsi ce concept de discordance ne permet pas immédiatement de datation sinon de manière relative : le mouvement est postérieur à la couche tectonisée la plus récente et antérieur aux plus anciennes des couches non affectées. Mais toutes les couches tectonisées sont-elles pour autant de même âge, et soulevées par une révolution unique qui aurait effacé toute trace antérieure.

Il faudra encore du temps pour comprendre que si l'érosion efface les archives, elle laisse cependant les empreintes. La base de la géologie réellement historique réside dans sa capacité à tout transformer en archive. Selon Rumelhard, il est aisé d'observer une apparition mais peut-on observer une disparition. Dans le cadre de la tectonique des plaques, on parle de zones d'accrétion, de collision ou de subduction. X. Le Pichon (1984) écrit que « la subduction est sans doute le phénomène dynamique et énergétique majeur de notre globe ».

Cette subduction peut provoquer des séismes mais ces événements deviennent difficiles à caractériser par des manifestations directement observables à la surface de la terre. Selon Le Pichon la difficulté est liée aussi à la nature même de la subduction qui est de faire disparaître et non de créer. Rumelhard met le doigt ici sur un « obstacle épistémologique », au sens Bachelardien, comment observer positivement une disparition ? Le négatif n'est pas seulement le contraire. L'inverse de l'expansion océanique n'est pas la contraction, mais la subduction. La subduction est l'une des manifestations de la convection dans le manteau. L'expansion océanique en est une autre. Pour conceptualiser une disparition il faut une théorie forte mais comment caractériser l'invisible. La lenteur des processus géologiques fait obstacle à un tel changement paradigmatique. La perte de la matière dans le globe terrestre figurait dans les explications des apprenants et développerait une pensée négative chez eux.

14. Conclusion

Nous résumons dans le tableau suivant les différents obstacles épistémologiques et les courants de pensée tout en les reliant à la nature du temps. Nous donnons aussi les principales idées de chaque courant. Ces obstacles épistémologiques réapparaissent-ils dans les explications des apprenants ?

Tableau 12 : nature du temps, obstacles épistémologiques et courants de pensée

Nature du temps	courants de pensée et obstacles épistémologiques	Principales idées
Temps court	Obstacle religieux	Diluvianisme Stabilité de la terre avant le déluge Finalisme : commencement et fin Mythologie de l'eau et du feu
	Essentialisme accidentalisme	Un séisme soulève une partie de la terre et forme un monticule Faille puis ruissellement profond, la partie non creusée forme un monticule
	Transformisme	différents fossiles dans des couches successives
	Créationnisme	Révolutions conséquence de catastrophes Thèse des migrations des espèces
	Obstacle psychologique	Hésitation sur les dates de changements Peur de l'erreur de l'incertitude Question sur l'esprit humain Difficulté de gérer 100 mille ans
	Obstacle conservateur Fixisme	Forces faibles pour mouvoir les continents Résistance de l'esprit humain au changement
Temps court et Temps long	Neptunisme	Mythologie de l'eau, Diluvianisme Irréversibilité des phénomènes géologiques Précipitations chimiques continues
Temps cyclique	Plutonisme	Mythologie du feu, Diluvianisme Répétition des cycles réversibles
Temps cyclique	Catastrophisme historique	Fossiles, témoignage du déluge Un globe submergé et un globe consumé par le feu plusieurs immersions successives de la matière sans être la proie des flammes
Temps court et temps long	Actualisme	L'extrapolation du présent vers le passé
Temps court	Catastrophisme actuel	Evènement unique brutal qui fait appel à l'actualisme et au catastrophisme historique
Temps géologique	Mobilisme	Théorie mobiliste

L'interdisciplinarité des phénomènes étudiés

Nous essayons dans ce chapitre de se focaliser sur les problèmes que soulève l'explication des trois phénomènes naturels choisis pour cette étude en les renvoyant aux obstacles évoqués précédemment ou en dégagant de nouveaux problèmes dans le savoir savant actuel. Nous traitons d'abord la crise biologique comme un exemple d'interdisciplinarité de couplage biologie-géologie. Ensuite nous montrons que la théorie de la tectonique des plaques est un modèle unificateur à travers l'explication des séismes et de la formation des chaînes de montagnes. La tectonique des plaques met en relation les trois phénomènes étudiés. L'explication scientifique des trois phénomènes, nous permettra d'approfondir l'analyse des réponses des données recueillies.

1. La limite Crétacé-Tertiaire : un événement géologique et biologique majeur

Depuis l'apparition de la vie, la terre est le siège d'interactions entre le monde vivant et les enveloppes fluides ou solides de la planète. Dans le cadre de l'horaire imparti, un seul sens de cette interaction est envisagé, celui de l'influence des événements ayant affecté la surface de la terre sur le monde vivant. Le degré de cette influence a été variable au cours du temps géologique. Nous avons montré que les périodes pendant lesquelles l'influence des événements qui ont affecté la surface de la terre a été particulièrement importante pour les changements de la biosphère. En 2004, le tsunami a été un événement marquant des transformations dans la biosphère comme dans la géosphère. Une crise biologique est une discontinuité majeure à l'échelle planétaire et à l'échelle du temps qui sépare des périodes de plus grande stabilité. Parmi les grandes coupures référencées dans l'échelle stratigraphique internationale, nous nous sommes intéressés plus particulièrement au passage du Crétacé au Paléocène. Cet exemple peut être utilisé pour renforcer l'idée du caractère non prévisible de l'évolution qui résulte de la combinaison des innovations génétiques, d'une part, et de l'action de l'environnement, d'autre part. La limite Crétacé-Tertiaire a été définie au 19^{ème} siècle par des changements faunistiques. Par la suite, des analyses stratigraphiques précises ont mis en évidence l'existence d'une fine couche de composition caractéristique, intercalée dans des séries d'environnements sédimentaires variés en des lieux répartis sur toute la surface de la terre. Cette couche souvent nommée « couche à iridium » sert de repère temporel pour l'étude des changements biologiques qui ont affecté la diversité du monde vivant (voir chapitre 3).

L'apparition de nouvelles espèces après cette crise ainsi que l'extinction d'autres constatées à cette période coïncident avec les événements géologiques et cosmiques. N'est-il pas question de l'origine de la vie ? L'exploitation de données géologiques (forages, coupes, cartes, relevés faunistiques et floristiques, photographies) a permis d'établir les changements biologiques (extension ou permanence de la faune et de la flore) à la limite Crétacé-Paléocène, dans les milieux pélagiques, benthiques et continentaux. La relation entre la biologie et la géologie semble aller de soi, entre un monde inerte constituant l'abri et un monde vivant l'occupant. Les bouleversements de la géosphère sont considérés à l'origine des changements de la biosphère et vice versa. Les apprenants conçoivent-ils les crises biologiques comme repère temporel de l'histoire de la terre ?

2. Les crises biologiques : un problème scientifique à part

Les coupures dans les temps géologiques sont, au moins pour les plus importantes (entre les ères par exemple mais également, souvent entre deux systèmes), toujours définies par des changements stratigraphiques et paléontologiques considérables : transgression ou régression marine, orogénèse, mais aussi disparition de groupes entiers, apparition ou épanouissement considérable de nouvelles espèces ; autrement dit, de grands changements dans la biosphère, de véritables crises biologiques. Cette limite se traduit par des périodes de crise, surtout sensibles au niveau biologique. L'extinction de masse, affirme R. Leaky et R. Lewin (1997), s'agit des périodes de l'histoire de la terre au cours desquelles une fraction significative de toutes les espèces ont été éliminées.

L'extinction, en biologie, est la disparition de populations ou d'espèces interfécondes ou encore de groupes taxinomiques supérieurs, tels que les familles. Les extinctions massives d'espèces ont été identifiées au début du 19^{ème} siècle grâce à l'étude de fossiles. Elles apparaissent sous forme de successions de faunes et de flores nettement différentes les unes des autres au cours de l'histoire de la terre. Le phénomène d'extinction est une crise biologique se traduisant par des disparitions massives d'espèces. Ainsi la crise biologique du Crétacé/Tertiaire a entraîné la disparition de quantité de gros animaux, notamment tous les dinosaures.

Une extinction ou « crise biologique » répond à des critères précis. Elle devrait correspondre à la disparition simultanée, sur l'ensemble du globe, d'un nombre d'espèces anormalement élevé, appartenant à des groupes très divers et dépourvus de lien écologique. Il est nécessaire d'analyser des séries sédimentaires continues (de l'avant crise à l'après crise) et, si possible, d'avoir un marqueur physico-chimique indépendant des fossiles qui permette de situer la

coupure de façon précise. En fait, nous ne pouvons évoquer une crise biologique que si les données paléontologiques révèlent l'existence de changements nettement plus importants que le renouvellement permanent des espèces. En particulier, il faut que les extinctions :

- concernent des groupes nombreux et divers d'êtres vivants aussi bien continentaux que marins ;
- soient relativement synchrones et soudaines, c'est-à-dire se déroulant pendant une durée brève à l'échelle des temps géologiques (un à quelques millions d'années au maximum) ;
- affectant l'ensemble de la planète (à l'échelle spatiale).

Depuis environ 550 millions d'années, le temps géologique a connu cinq crises d'extinction en masse. Deux sont survenues au cours de l'ère primaire : à la fin de l'ordovicien (430 millions d'années), puis à la fin du frasnien (365 millions d'années), entraînant chacune la disparition de près de 70% des espèces. La troisième crise, datant de 250 millions d'années, signe le passage de l'ère primaire à l'ère secondaire. Quelque 90% des espèces ont alors disparu. Survenue au jurassique (140 millions d'années), la quatrième crise a été bien moins catastrophique. Enfin, la cinquième, dite du crétacé / tertiaire (passage du secondaire au tertiaire), a entraîné la disparition des grands animaux comme les dinosaures, ainsi que de nombreux invertébrés marins.

2.1. Mécanisme du phénomène de l'extinction

Deux courants d'idées s'opposent pour tenter d'expliquer les phénomènes d'extinction : d'un côté, les partisans d'une catastrophe ; de l'autre, ceux d'une extinction progressive. Ces derniers s'appuient sur les régressions des mers, qui ont coïncidé avec toutes les crises biologiques. Ils supposent que le recul des mers a bouleversé l'équilibre écologique des plateaux continentaux où vivaient la plupart des espèces marines et modifié les climats sur les continents. Mais la durée de ces phénomènes contredit la soudaineté apparente des extinctions en masse.

Il semble de nos jours que l'hypothèse de la catastrophe est la plus probable. Il pourrait s'agir de la chute d'une gigantesque météorite ou de l'éruption d'un énorme volcan. La découverte de l'iridium sédimentaire, en 1980, a cependant fait pencher la balance en faveur d'une origine extra-terrestre, l'iridium est en effet extrêmement rare sur Terre. Or, sa présence en quantités anormalement élevées dans les sédiments contemporains de la dernière crise pourrait signer la chute d'une météorite sur la terre, avec, pour conséquences, des poussières obscurcissant l'atmosphère. Cette collision aurait laissé des traces sous la forme d'un cratère de 200 km de diamètre, au sud-est du Mexique. Des forages réalisés en 1997 dans l'océan

Atlantique à proximité de ce cratère ont révélé une séquence sédimentaire compatible avec cette théorie : à une couche riche en fossiles marins antérieurs à l'impact de la météorite a succédé une couche de poussières et de gaz contemporaine de l'impact, puis une couche contenant des fragments de la météorite elle-même, une couche traduisant une prolifération des espèces survivantes et enfin l'apparition de nouvelles espèces. Toutefois, cette théorie n'explique pas pourquoi les dinosaures ont disparu, alors que d'autres animaux ont survécu à cette catastrophe. La diversité des insectes, par exemple, n'a subi pas trop de modifications. Quelle hypothèse les apprenants tiennent-ils comme explicative du phénomène de l'extinction des espèces?

Tableau 13 : Caractéristique et conséquence de la crise crétacé-Tertiaire

Caractéristique	Conséquence	Exemples
Une crise brutale, massive et sélective	Extinction massive, rapide d'espèces et de groupe d'espèces de milieux continentaux et océaniques	milieu continental : dinosaures (Reptiles) Milieu océanique : Ammonites (Mollusques Céphalopodes), Foraminifères (fait partie du zooplancton).
	certaines groupes d'espèces résistent à la crise, en se diversifiant rapidement, et en occupant toutes les niches écologiques.	Exemple : Mammifères, Oiseaux

2.2. L'iridium d'origine ambigu face aux hypothèses de l'extinction

En étudiant les sédiments déposés au fond de la mer, les paléontologues ont montré qu'au moins 50% des espèces planctoniques de la fin du Crétacé disparaissent sur une épaisseur sédimentaire de quelques centimètres et ceci quelle que soit la situation géographique. Cette diminution est due essentiellement à une chute brutale de la teneur en carbonate et la formation d'une couche d'argile dépourvue de fossiles. L'iridium est un marqueur de la matière météoritique arrosant la terre. Alvares et son fils Walter découvraient, en 1980, que le passage Crétacé-Tertiaire a été marqué par un enrichissement en iridium d'une couche d'argile. « Un indice qui va les mener droit sur les traces du bolide extraterrestre qui, voilà 65 millions d'années, a percuté la terre » (R. Rocchia, 1996, p53). Cependant, la couche d'argile nécessite une dizaine de millions d'années pour être envahie par l'iridium, alors qu'elle s'est formée en moins d'un million d'années. L'hypothèse a échoué. La seule idée possible est que l'iridium provient d'un objet extraterrestre, astéroïde, qui aurait heurté la terre à la fin du Crétacé. Quelques milliards de tonnes d'iridium se sont répandus sur la planète. Cependant, en 1983, W. Zoller et ses collègues ont remarqué que le volcan d'Hawaii rejette de l'iridium.

L'iridium n'est plus extraterrestre mais plutôt d'origine volcanique. Les platinoïdes (osmium, platine, ruthénium, rhodium et palladium) présents dans les sédiments reflètent aussi bien la présence de la matière météorique ou volcanique.

La distribution stratigraphique de l'iridium est aussi ambiguë. Pour les tenants de l'hypothèse cosmique, la dispersion est un événement instantané alors que sa résidence dans l'eau de mer est de l'ordre de plusieurs dizaines de milliers d'années. Alors que pour les partisans de l'hypothèse volcanique, la dispersion stratigraphique de l'iridium s'interprète comme la trace d'une longue durée, voire d'une série d'événements discrets. Or la quantité d'iridium rejetée par un volcan est négligeable devant la masse (500000 tonnes) contenus dans les sédiments. L'hypothèse volcanique n'a permis que d'entretenir un débat remplaçant la crise C/T dans un cadre « terrestre et gradualiste ». Donc, la terre a bien connu une catastrophe cosmique à la fin du crétacé. Cette dualité explicative, gradualisme et brutalisme poserait-elle problème chez nos élèves ?

2.3. L'amorphisation au secours de l'hypothèse cosmique

Bruce Bohor découvre en 1984 dans les sédiments de la limite C/T des grains de quartz portant les traces d'un choc violent. J.-C. Doukhan et H. Leroux (1996, p 56) affirment que la collision d'une météorite avec la terre est « un phénomène exceptionnel qui, en un temps très bref, dégage une énergie colossale ». Un bolide extraterrestre peut heurter la Terre avec une vitesse de vingt kilomètres par seconde libérant une énergie cinétique d'environ 4.10^{16} joules. La météorite tombée sur Terre, il y a 65 millions d'années, a déposé 10^{23} joules. Les cristaux de quartz signent la collision Météorite-Terre, ils se transforment d'une façon irréversible en de fines lamelles de silice amorphe (le stishovite, SiO_6). On parle de phénomène d'amorphisation sous une pression de milliards de pascals. Le stishovite subit le phénomène de métamorphisme durant la phase post-impact. Il est donc difficile de caractériser un impact aussi ancien de 65 millions d'années. Les lamelles de verre (stichovite) n'ont jamais été observées dans un produit volcanique, alors que leur abondance dans les sédiments de la fin du crétacé est remarquable. C'est « une signature plus indélébile, plus indiscutable d'un choc de météorite » J-C Doukhan et H. Leroux (1996). Si l'ambiguïté explicative de l'amorphisation fait objet de recherches, elle serait une difficulté pour les apprenants.

2.4. D'où vient le spinelle nickélique ?

En 1983, Alessandro Montanari et son équipe ont remarqué la présence de sphérules d'argile dans les sédiments de la limite C/T avec du spinelle nickélique, riche en nickel d'où leur

nom. Les études ont montré que le spinelle est ni terrestre, ni extraterrestre. Quelle est alors l'origine du spinelle nickélicifère de la limite C/T ?

Le spinelle a pour formule générale $AO \cdot B_2O_3$ où le site A est occupé par les ions divalents Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Ni^{2+} et Zn^{2+} ; le site B par les ions trivalents Al^{3+} , Cr^{3+} et Fe^{3+} et tétravalents Ti^{4+} et Si^{4+} . Le spinelle de la limite C/T appartient à la série de la magnétite : il forme une solution solide dont les pôles principaux sont la magnétite proprement dite $FeO \cdot Fe_2O_3$, la magnésioferrite $MgO \cdot Fe_2O_3$ et la trévorite $NiO \cdot Fe_2O_3$.

Il est surprenant que le spinelle ait tous ces éléments dans sa formule chimique, en plus l'hypothèse de sa formation dans le nuage de vapeur au moment de la collision ne repose sur « aucun fait scientifique : aucun minéral de ce type n'a jamais été identifié dans un cratère d'impact » (E. Robin, 1996). Ceci est confirmé par les lois de la thermodynamique qui dit que la température élevée ne peut que réduire le fer et non l'oxyder. Or le spinelle contient le fer trivalent.

L'analyse des micrométéorites fondues au moment de l'entrée dans l'atmosphère montra que ces particules contiennent du verre, d'olivine, de spinelle...le spinelle est un minéral secondaire né de la fusion et de l'oxydation du grain extraterrestre lorsqu'il pénètre dans l'atmosphère avec une vitesse de l'ordre de 20 km/s. Seul le spinelle subsiste dans les sédiments de la limite C/T, c'est une autre preuve de la chute des météorites sur terre. La présence du spinelle dans les sédiments de la limite C/T et ce dans la terre ferme et les océans confirme qu'un évènement cosmique s'est produit à cette époque. La composition chimique du spinelle varie d'un lieu à un autre. Il est impossible de confondre un spinelle «italien» avec un spinelle «tunisien». Donc on peut imaginer l'arrivée de plusieurs objets sur Terre mais provenant d'une même source. S'agit-il d'une chute simultanée de plusieurs fragments ? Contrairement à l'iridium qui s'étale sur près d'un mètre de part et d'autre des sédiments de la limite C/T, les spinelles nickélicifères sont concentrés dans les premiers centimètres comme le montre une coupe géologique de la région du Kef en Tunisie. « L'étendue considérable de l'anomalie en iridium ne reflète donc pas la durée de l'évènement » (E. Robin, 1996). Au Kef l'activité de bioturbation (action mécanique des animaux fouisseurs qui peuvent ramener les spinelles tout au plus quelques centimètres dans les sédiments) est faible ce qui permet d'affirmer que les spinelles nickélicifères ont été formés en un temps bref, de centaines d'années environ. Or les corps provenant de la même source percutent la terre en un « laps de temps » bref. L'hypothèse qui semble la plus probable c'est le météorite frôlant dans son chemin un corps du système solaire se fracture et se fragmente en un « déluge de boules cosmiques », percutant alors toute la planète Terre. La crise C/T pourrait alors toucher en

grande partie la Terre. Que pensent les élèves et les futurs enseignants ?

2.5. CHICXULUB, dernier chaînon de la preuve

Les quartzs choqués, l'iridium et les spinelles nickélicifères, sont insuffisants pour prouver qu'un météorite a percuté la terre il y a 65 millions d'années. Il manquait la confirmation de la taille du cratère. Au début des années quatre vingt dix, les géophysiciens ont repérés ~~à~~ au Yucatan, au sud-est du Mexique, « une large structure circulaire qui réunissait toutes les caractéristiques du fameux cratère. La structure est centrée sur la bourgade côtière de Chicxulub, d'où elle tire son nom » (Ph. Claeys, 1996). Le cratère de Chicxclub est masqué par quelques milles mètres de sédiments, c'est une vaste dépression dont le diamètre est compris entre 180 et 320 mètres. Certains scientifiques pensaient qu'il s'agit d'une « caldera volcanique », thèse démontée par les forages faits dans la structure à des fins pétrolières. Deux arguments plaident en faveur d'un impact météoritique. *Primo*, des fragments de roches du socle contiennent des cristaux de Quartz et de feldspath choqués. *Secundo*, on trouve en profondeur une roche dont la plupart des minéraux ont totalement fondu, typique du remplissage d'impact. « Le doute n'est plus permis : Chicxclub est bien un cratère d'impact » (Ph. Claeys, 1996). Mais quel est son age ? La datation grâce aux isotopes d'argon, la roche fondue a été datée de $64,98 \pm 005$ millions d'années. Grâce aux mesures paléomagnétiques, on sait que cette roche s'est solidifiée dans une période où le champ magnétique était inverse du champ actuel. La limite C/T se situe bien évidemment à l'intérieur de cette période d'inversion. Il reste à préciser les effets ; la météorite tombée dans des eaux peu profondes a provoqué certainement une énorme vague (tsunami). Les derniers restes du tsunami généré par l'impact sont des sables grossiers empilés sur 2 à 3 mètres d'épaisseur. Claeys affirme que les sables grossiers sont déposés rapidement (quelques jours) sous l'influence des courants sous-marins très puissants qui ont changé plusieurs fois de direction. Quel est l'impact de cette perturbation sur l'environnement et les écosystèmes terrestres selon les élèves et les futurs enseignants ?

2.6. Les dinosaures : principales victimes de la crise C/T

« Tous les dinosaures disparaissent, des plus gros aux plus petits. Aucun animal de plus de 25 kg ne semble d'ailleurs avoir survécu à la crise » (E. Buffetaut, 1996). Les reptiles apparus à la fin du Trias, il y a 230 millions d'années, sont définitivement éteints à la fin du créacé. Ce groupe a connu un succès évolutif considérable sur tous les continents avec des formes bipèdes, quadrupèdes, herbivores ou carnivores. Buffetaut affirme qu'il est impossible de

suivre centimètre par centimètre les derniers stades de l'évolution des dinosaures. Leur disparition est-elle soudaine ou graduelle ? Les extinctions sont sélectives : la plupart des autres groupes de Reptiles persistent sans extinctions notables (crocodiles, lézards, serpents...). Les dinosaures, eux, figurent parmi des groupes extrêmement variés et sont affectés par l'extinction en masse et cela dans le monde entier, dans un court laps de temps. Les tenants du gradualisme, tels que J.-D. Archbald, avancent l'idée que les dinosaures, les ptérosaures (reptiles volants), les reptiles marins (plésiosaures et mosasaures) étaient engagés depuis plusieurs millions d'années dans une phase de déclin graduel. Thèse largement contestée par Dale Russell, paléontologue canadien, il n'y a guère de doute que les dinosaures survécurent bien jusqu'à la fin du Maastrichien. La disparition des dinosaures est un phénomène global alors que les divers travaux sont limités à des terrains de l'ouest américains. Les travaux au sud de la France, plutôt qu'un déclin, révèlent un renouvellement des espèces au cours du Maastrichien. Pour les gradualistes, opposant du catastrophisme, la sélectivité des extinctions au niveau des mammifères est due au changement graduel du climat. L'énorme quantité de poussières projetées dans l'atmosphère empêche le rayonnement solaire de parvenir sur terre avant de former au sol la couche de l'iridium. L'obscurité provoque l'arrêt de la photosynthèse et donc une perturbation dans la chaîne alimentaire. Le dépérissement des plantes sera suivi de la disparition des dinosaures herbivores, eux-mêmes proies des dinosaures carnivores. L'arrêt de la photosynthèse dans le monde entier a de graves conséquences, aucun être vivant n'aurait pu survivre si l'évènement s'était déroulé en un temps très long. « C'est donc bien une catastrophe, par définition brutale mais brève, qu'il faut envisager » (E. Buffetaut, 1996). Comme nous l'avons annoncé la thèse de l'impact d'un bolide extraterrestre prend plus d'ampleur aujourd'hui même si des zones d'ombres demeurent encore à déchiffrer.

2.7. Gradualisme ou brutalisme de la crise biologique

Jusqu'à une époque récente les chercheurs croyaient que « ces extinctions se sont produites de manière graduelle, sur une période de temps assez longue » (J. Smit, 1996). Au début des années 1980, Peter Ward paléontologue américain et ses partisans pensaient que la disparition des ammonites avait été précédée d'une période de déclin qui s'étend sur plusieurs millions d'années avant qu'elles s'éteignent sans descendance à la limite C/T. Cette thèse a été démontée par P. Ward lui-même après l'exploration des falaises calcaires du pays basque et le constat que des ammonites ont subsisté jusqu'à cette date.

Dans les régions à sédimentation continue, une fine couche d'argile, riche en iridium, dépourvue ou très pauvre en carbonate de calcium, sépare des sédiments beaucoup plus riches en CaCO_3 . Ce sont des microfossiles, coccolithes (plaques calcaires de quelques microns formant le test d'algues calcaires) et surtout Foraminifères (protozoaires planctoniques ou benthiques possédant un test calcaire) qui sont la cause de la forte teneur en calcaire de ces sédiments. Dans tous les sites (Kef en Tunisie, Caravaca et Zumaya en Espagne...) et alors que durant le Crétacé il y a un renouvellement graduel des espèces de Coccolithophoracées et de Foraminifères, on constate une extinction brutale de 80 % de ces micro-organismes planctoniques et 50% des espèces d'invertébrés à la limite Maastrichtien-Danien. De nouvelles espèces de Foraminifères, de dimensions plus réduites, apparaissent au début du Tertiaire et des espèces benthiques ne sont pratiquement pas touchées.

La chute de la teneur en carbonate de calcium à la limite Crétacé-Paléocène traduit une diminution considérable des dépôts de coccolithes et de test de Foraminifères planctoniques. Cette diminution est attribuée à une raréfaction de ces micro-organismes planctoniques dans les eaux océaniques à cette période. Cet effondrement coïncide précisément avec l'apparition de la fine lame d'argile enrichie en iridium et en spinelle nickélique [...] signe un impact extraterrestre.

Les ammonites et les bélemnites, céphalopodes marins très bien représentés au crétacé, disparaissent de façon brutale, soudaine et synchrone il y a 65 millions d'années. Il n'existe aucune ammonite postérieure au crétacé. Par contre, les nautiloïdés, mollusques proches des ammonites, ne sont pas affectés. Les données quantitatives et qualitatives concernant les coccolithophoracées et les foraminifères, la disparition des ammonites et des bélemnites plaident en faveur de l'existence d'une crise biologique majeure en milieu marin. La sélectivité des extinctions est à noter : certains groupes (foraminifères benthiques, nautiloïdés...) ne sont pas touchés par la crise.

Au niveau de la flore les chercheurs ont mis en évidence au niveau, de la couche à iridium, une augmentation considérable du pourcentage de spores de fougères par rapport aux grains de pollen. Tout se passe comme si l'abondance des plantes à fleurs avait décliné soudainement, pendant le temps correspondant à l'accumulation de l'iridium. Le pic de spores à la limite Crétacé-Paléocène traduit une crise biologique brutale entraînant, au moins temporairement, la disparition de 30 à 40% des plantes à fleurs.

L'extinction des foraminifères fut-elle graduelle ou brutale ? L'analyse des deux sites les plus complets du monde (Le Kef en Tunisie et Caravaca en Espagne), par Dieter Herm en 1982, a montré que les disparitions furent brutales et soudaines voire compatibles avec une

catastrophe cosmique. Ceci prouve, ce qui a été démontré par Peter Luterbacher et Isabella Premoli Silva en 1963, que les foraminifères sont morts subitement à la fin du Crétacé. Gerta Keller a réétudié la même série du Kef, et soutint que les disparitions se sont étalées sur quelques dizaines de milliers d'années. Difficile de trancher face à un problème scientifique soutenu par des données du terrain. Un test aveugle a été mené sous la direction de Robert Ginsburg. « Six échantillons identiques, méconnaissables et codés, ont été confiés à quatre micropaléontologues », leur mission était de déterminer les différentes espèces présentes dans chaque échantillon. Ils ont constaté, comme Gerta Keller, que certaines espèces (pas toujours les mêmes) semblaient s'éteindre sur plusieurs milliers d'années. « Mais quand on superpose les résultats des quatre chercheurs, la thèse de la disparition graduelle s'évanouit [...], près de la moitié des espèces disparaissent juste au niveau de la limite C/T (J. Smit, 1996). La chute météoritique semble être l'argument d'une disparition brutale, dans un « laps » de temps relativement courts. La tendance de se borner sur les deux explications enrichies chez les élèves un amalgame explicatif et leur faire obstacle à l'appréhension d'un phénomène sujet de débat jusqu'à nos jours.

2.8. Conclusion

Nous récapitulons dans le tableau suivant les hypothèses et les arguments de la crise Crétacé-Tertiaire.

Tableau 14 : la crise biologique conjonction de deux phénomènes géologiques

Repère temporel	Hypothèse	arguments
Couche d'argile noire - forte quantité d'Iridium - diminution du rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ - diminution de la teneur en CaCO_3	L'impact météoritique Phénomène géologique externe (météorites)	forte teneur en iridium dans les météorites dans la limite K/T
	Impact volcanique Phénomène géologique interne (tectonique des plaques, volcanisme)	empilements de gigantesques coulées de basaltes émission de gaz et de poussière dans l'atmosphère

L'hypothèse météoritique est un phénomène planétologique externe alors que l'hypothèse volcanique est une cause tectonique de la crise. La crise de l'ère primaire coïncide avec la fragmentation de la Pangée est les hypothèses probables de cette crise sont principalement

tectoniques. La tectonique des plaques est-elle un modèle explicatif de certains phénomènes biologiques et géologiques ? Nous expliquons dans ce qui suit les séismes et l'orogénèse.

3. Les séismes ; interdisciplinarité, histoire et prédiction

Si la sismologie est aujourd'hui développée, son explication fait toujours appel à d'autres disciplines tels que la physique et se fait dans un cadre globale celui de la tectonique des plaques. L'histoire des séismes renvoie à une pensée catastrophiste et négative car elle est liée la destruction et au menace. Ceci nous a ramené à développer des stratégies de prédiction. Nous traitons ci-dessus ces points énumérés.

3.1. Des concepts physiques dans l'explication des séismes

Lorsqu'un matériau rigide est soumis à des contraintes de cisaillement, il va d'abord se déformer de manière élastique puis, lorsqu'il aura atteint sa limite d'élasticité, il va se fragmenter, en dégageant de façon instantanée toute l'énergie accumulée durant la déformation élastique. C'est ce qui se passe lorsque la lithosphère est soumise à des contraintes. Sous l'effet des contraintes causées le plus souvent par le mouvement des plaques tectoniques, la lithosphère accumule l'énergie. Lorsqu'en certains endroits, la limite d'élasticité est atteinte, il se produit une ou des ruptures qui se traduisent par des failles. L'énergie brusquement déagée le long de ces failles cause des tremblements de terre. Si les contraintes se poursuivent dans cette même région, l'énergie va à nouveau s'accumuler et la rupture conséquent se fera dans les plans de faille déjà existants. A cause des forces de friction entre les deux parois d'une faille, les déplacements le long de cette faille ne se font pas de manière continue et uniforme, mais par coups successifs, déclenchant à chaque fois un séisme. Dans une région donnée, des séismes se produiront à plusieurs reprises le long d'une même faille, puisque cette dernière constitue un plan de faiblesse dans la lithosphère. A noter que les séismes ne se produisent que dans du matériel rigide. Par conséquent, les séismes se produiront toujours dans la lithosphère, jamais dans l'asthénosphère qui est plastique.

Le séisme ou le tremblement de terre est une secousse ou succession de secousses plus ou moins violentes du sol. Il résulte du relâchement brutal de contraintes dans la croûte terrestre, qui provoque un glissement de deux compartiments le long d'une faille et un rebond élastique. Ces secousses peuvent être imperceptibles ou très destructrices. Six sortes d'ondes de choc sont engendrées au cours de ce processus. Deux sont classées comme ondes de volume - c'est-à-dire qu'elles se propagent à l'intérieur de la terre - et les quatre autres sont des ondes de surface. Les ondes transmettent aux objets deux types de mouvements. Les

ondes primaires ou de compression (ondes P) les font osciller d'avant en arrière dans la même direction que leur propagation, alors que les ondes secondaires ou de cisaillement transversal (ondes S) transmettent des vibrations perpendiculaires à leur direction. Les ondes P se propagent toujours à plus grande vitesse que les ondes S ; ainsi, quand un tremblement de terre se produit les ondes P sont les premières à se manifester et à être enregistrées dans les observatoires sismologiques du monde entier

Tous ces concepts scientifiques ; énergie, élasticité, ondes ...etc. relèvent de la physique. Si les futurs enseignants ont acquis un minimum possible de connaissances physiques, il n'est pas toujours le cas pour des élèves. Un enseignement des séismes qui ne tient pas compte de l'interdisciplinarité risque de laisser certaines ambiguïtés dans l'acquisition des concepts en relation.

3.2. L'utilité de l'histoire des séismes

De tout temps, les questions relatives à la nature des séismes ont préoccupé les hommes, surtout ceux vivant dans les zones à risque sismique. Certains philosophes grecs de l'Antiquité attribuent les tremblements de terre à des vents souterrains, alors que d'autres pensent qu'ils sont causés par les feux des profondeurs de la terre. L'usage de l'histoire des séismes en classe permettrait aux apprenants de mettre en cause la mythologie du feu et de l'eau et haut de-là donner acquérir une explication scientifique proche de celle des savants. Vers 130 apr. J.-C., le savant chinois Chang Heng, qui pense que les ondes se propagent à travers la terre à partir de la source d'un séisme, construit un vaisseau en bronze conçu pour enregistrer le passage de ces ondes. Huit ballons sont délicatement placés en équilibre sur la bouche de huit dragons disposés sur le pourtour du vaisseau ; toute vibration sismique, dans les environs, fait chuter un ou plusieurs ballons. Cette brève histoire stimule les apprenants à se poser la question sur les phénomènes physiques, par exemple, qui font tomber les ballons. Une comparaison de ce vaisseau en bronze au sismogramme actuel et tirer des conclusions l'enregistrement des ondes sismiques et l'analyse des courbes tracées.

Pendant des siècles, les ondes sismiques sont observées avec le vaisseau de bronze et il faut attendre l'époque contemporaine pour que des théories scientifiques expliquent la cause des tremblements de terre. En s'appuyant sur sa connaissance de la résistance et du comportement des matériaux de construction soumis à des contraintes, l'ingénieur irlandais Robert Mallet déclare, en 1859, que les séismes se produisent soit par une flexure soudaine et forcée des matériaux élastiques constituant une partie de la croûte terrestre, soit par un relâchement des contraintes suivi d'une fracturation de ces mêmes terrains. Nous remarquons encore l'utilité

des concepts physiques, tels que la résistance et le comportement des matériaux, dans l'explication des séismes.

Plus tard, dans les années 1870, le géologue britannique John Milne conçoit le premier appareil d'enregistrement sismique ou sismographe. Composé d'un simple pendule et d'une aiguille suspendus sur une assiette en verre fumé, il est le premier instrument utilisé en sismologie permettant de différencier les ondes sismiques primaires des ondes secondaires. Le sismographe moderne est inventé au début du vingtième siècle par le prince Boris Galitzyne, un sismologue russe. L'appareil, constitué d'un pendule magnétique suspendu entre les pôles d'un électroaimant, contribue aux progrès de la recherche sismique contemporaine.

En travaillant avec les élèves sur quelques exemples d'histoire en géologie, et plus particulièrement celle des séismes, nous identifions leurs difficultés et delà nous proposons des stratégies leurs permettant de les dépasser.

3.3. Concevoir les séismes dans un cadre tectonique

Si la théorie de la tectonique des plaques est devenue un modèle explicatif des différents phénomènes géologiques, nos travaux antérieurs ont montré que la majorité des élèves les expliquent dans un cadre non tectonique. Actuellement, nous distinguons trois catégories de séismes en fonction de leur origine : tectonique, volcanique ou artificielle. Les séismes tectoniques sont les plus fréquents et les plus dangereux ; c'est également les plus difficile à prévoir. La principale cause des tremblements de terre est liée à la tectonique des plaques, autrement dit aux contraintes engendrées par les mouvements de treize plaques majeures et mineures qui constituent la croûte terrestre. La plupart des séismes tectoniques se produisent aux limites des plaques, dans les zones où une plaque glisse le long d'une autre - comme dans le cas de la faille de San Andreas en Californie, zone à risque la plus importante de l'Amérique du Nord - ou s'enfonce sous une autre plaque : phénomène de subduction. Les séismes associés aux zones de subduction représentent presque la moitié des séismes destructeurs de la terre et dissipent 75% de l'énergie sismique de la planète. Ils sont concentrés le long de la « ceinture de feu », une bande d'environ 38 600 km de long, qui coïncide avec les marges de l'océan Pacifique. Ils appartiennent à la catégorie des séismes profonds, le point de rupture se situant à une profondeur comprise entre 300 et 700 km. L'un des cas les plus catastrophiques est celui qui s'est produit en 1964 en Alaska (séisme de magnitude 9,2 sur l'échelle de Richter).

En dehors de la ceinture de feu, les séismes tectoniques se produisent dans des contextes

géologiques différents. Les dorsales médio-océaniques - lieux de l'expansion des fonds océaniques - sont le siège de nombreux séismes, d'intensité modérée, dont le foyer est relativement superficiel (moins de 100 km de profondeur). Ces tremblements de terre sont rarement ressentis et ne représentent que 5% environ de l'énergie sismique de la planète. Une autre zone fortement sismique s'étend à travers la méditerranée, la mer caspienne et l'Himalaya et se termine dans le golfe du Bengale. Cette région coïncide avec un domaine complexe de chaînes montagneuses, récentes et élevées, résultant de la convergence de plaques issues de la Laurasia et du Gondwana ainsi que de grandes failles de décrochement qui font coulisser des blocs les uns par rapport aux autres. Ces zones de coulissement dissipent environ 15% de l'énergie sismique de la terre. Les tremblements de terre qui en résultent, à des profondeurs superficielles ou intermédiaires (entre 100 et 300 km), ont souvent dévasté des régions du Portugal, de l'Algérie, du Maroc, de l'Italie, de la Grèce, de la Macédoine, de la Turquie, de l'Arménie, de l'Afghanistan, de l'Iran et de l'Inde.

Il arrive que des secousses rares mais très destructrices se produisent dans des zones réputées tectoniquement calmes. Les principaux exemples de ces ébranlements intraplaques sont les trois séismes d'une force considérable qui ont frappé la région située autour de New Madrid (Missouri) en 1811 et en 1812. Assez puissants pour être ressentis à une distance de 1600 kilomètres, ces chocs ont produit des déformations topographiques qui ont modifié le tracé du Mississippi. Les géologues pensent que les tremblements de terre de New Madrid révèlent un étirement de la croûte terrestre semblable à celui qui est à l'origine du Rift Valley en Afrique.

Les séismes d'origine volcanique présentent surtout l'intérêt d'annoncer des éruptions volcaniques, comme ils l'ont fait pendant les semaines précédant l'éruption du mont Saint Helens (Washington) en mai 1980. Ces tremblements de terre se manifestent lorsque le magma s'accumule dans la chambre magmatique d'un volcan. Tandis que le sommet du volcan se soulève et que les flancs s'inclinent, des ruptures dans les roches comprimées sont révélées par une multitude de microséismes. Sur l'île d'Hawaii, des sismographes ont enregistré jusqu'à mille microséismes par jour avant une éruption.

Enseigner les séismes sans les renvoyer à un cadre tectonique, ne fait qu'augmenter le cloisonnement des idées chez les apprenants comme sont cloisonnés les chapitres dans le manuel scolaire.

3.4. Développer la culture de prédiction des séismes

Les tremblements de terre font peser de graves menaces sur les populations qui vivent dans des régions sismiques. Ils peuvent semer la mort en détruisant des habitations, des édifices publics, des ponts, des barrages ou en déclenchant de catastrophiques glissements de terrains. En cas de secousses sous-marines, les rivages peuvent être affectés par un autre risque : la formation de tsunami (ou raz-de-marée) ; ceux-ci sont provoqués par l'onde de choc qui se propage à la surface des eaux marines. De véritables murs d'eau sont projetés le long des côtes avec une violence telle que des villes entières peuvent être détruites. En 2004, un séisme sous-marin de magnitude 9,0 sur l'échelle de Richter a engendré le tsunami le plus meurtrier de l'histoire des catastrophes naturelles, dévastant tout le sud et le sud-est de l'Asie.

Face à cette menace des populations, les enseignants sont appelés à développer chez l'élève la culture de prédiction. La seule manière efficace de se protéger des séismes est donc la prévention. Il fallait évaluer le risque sismique et construire en conséquence selon des normes qu'il faut faire appliquer. Développer la recherche en matière de construction parasismique en élaborant de nouvelles techniques de génie civil pour lutter contre les effets mécaniques des séismes. Informer et préparer les populations des zones à risques ainsi que les moyens de secours et d'information à ces événements.

Les déformations de la surface du sol, des variations du champ magnétique terrestre, le changement de niveau de l'eau dans les puits et même le comportement des animaux sont des indices qui peuvent être significatifs. D'autres méthodes de prévision des séismes sont également mises en œuvre par les géologues. La première repose sur la mesure de la formation des contraintes dans la croûte terrestre ; les géologues recherchent les failles et évaluent leur activité. Enfin, la recherche de données historiques s'avère également indispensable pour connaître l'histoire sismique d'une région.

Les préventions des séismes ou bien d'autres catastrophes peuvent être rassurées par la prise en charge par l'école ou certaines associations de formations en matière de secourisme. Ces formations font de futurs citoyens responsables et capables d'agir en cas de risques naturels.

3.5. Conclusion

Les séismes sont en relation directe avec des concepts physiques qui sans leur compréhension, l'élève serait incapable d'avancer une explication scientifique proche de celle des experts. L'explication du phénomène sismique nécessite la construction d'un modèle qui se base à la fois sur une explication mécanique (à l'échelle de la couche géologique, de la faille) et

structurale globale de la déformation (à l'échelle de la terre. L'enseignement des séismes dans un cadre interdisciplinaire et dans un cadre tectonique est une nécessité pour leur compréhension. Néanmoins, si la grande majorité des séismes se situe aux frontières de plaques, il n'en demeure pas moins qu'on connaît de l'activité sismique intraplaque, c'est-à-dire à l'intérieur même des plaques lithosphériques. Les séismes intraplaques continentales sont plus difficiles à expliquer. Les géologues expliquent les séismes dans le cadre de la théorie de la tectonique des plaques. En est-il de même pour les apprenants? La culture de prédiction des catastrophes chez les apprenants pourrait faire l'objet d'une éducation à la citoyenneté.

4. La formation des chaînes de montagnes dans un cadre tectonique

S'il est une question qui a embarrassé les géologues, c'est bien la formation des chaînes de montagne, comme les Rocheuses, les Alpes, l'Himalaya ou les Appalaches. C. Allègre (1983), dans *l'écume de la terre*, précise que la tectonique, elle, s'attaque au complexe, à l'indéchiffrable, aux chaînes plissées et cassées dont la compréhension défie l'esprit rationnel de l'époque. Ce qui échappe à la compréhension de l'orogénèse c'est qu'en fait elle met en jeu plusieurs phénomènes : sédimentation, plissements, cassures, érosion de certaines parties, injection magmatique. De plus, l'étude des chaînes de montagne demande la compréhension du processus (surtout le temps géologique) de leur formation. La modélisation est importante pour comprendre l'orogénèse. La théorie de la tectonique des plaques a apporté des explications. Les chaînes des montagnes sont le résultat de la convergence des plaques. Mais aussi le cycle des roches, les roches et leurs déformations (roches sédimentaires, roches métamorphiques, ophiolites) font partie de l'orogénèse. Les roches sédimentaires contiennent des fossiles, ce matériel se trouvait donc dans un océan s'il s'agit d'êtres marins avant de se retrouver dans une chaîne. Sous l'action de la pression et de la température, ces roches vont se transformer en roches métamorphiques. Ces transformations chimiques (réactions entre les ions minéraux des roches), et mécaniques (failles, plissement) comprennent aussi l'action des forces latérales et verticales. Le soulèvement est un phénomène inverse de la subsidence : le soulèvement en bloc d'une région ou soulèvement épirogénique. L'explication des soulèvements épirogéniques constitue une des difficultés majeures des sciences de la terre, difficulté que la tectonique des plaques s'efforce de résoudre. La théorie mobiliste semblerait-elle explicative des différents problèmes géologiques chez les apprenants ?

4.1. Origines différents des montagnes

Une caractéristique commune à toutes les grandes chaînes de montagnes, c'est bien le fait que les roches y sont déformées à des degrés divers. Depuis longtemps, les géologues qui étudiaient la géométrie de la déformation dans les chaînes de montagnes savaient bien qu'il fallait des forces de compression latérales pour produire une telle géométrie. Ils devaient donc trouver le mécanisme responsable de ces compressions ainsi que le mécanisme responsable du soulèvement de tout ce matériel déposé dans un bassin océanique qui compose la chaîne. Le plus souvent, il y a une zone de roches sédimentaires non déformées qui jouxte la chaîne déformée proprement dite. Ces roches sédimentaires sont du même âge que celles de la chaîne et représentent habituellement d'anciens sédiments déposés sur les plateaux continentaux.

Avant la théorie de la tectonique des plaques, il y avait un débat entre "horizontalistes" pour qui la formation d'une chaîne de montagnes se faisait sous l'action de forces de compression latérales, et les "verticalistes" qui eux évidemment invoquaient de grandes forces verticales. A cette époque, le mouvement des plaques était inconnu, ce qui laissait passablement de place à l'imagination. La théorie de la tectonique des plaques vient réconcilier horizontalistes et verticalistes en proposant un modèle qui tient compte des compressions latérales et du soulèvement d'une énorme masse de matériel et en identifiant le moteur responsable des forces nécessaires à la formation d'une chaîne de montagnes. Le chevauchement progressif de la plaque océanique sur ce qui reste de la plaque océanique du côté continental concentre le matériel qui se trouve sur les fonds océaniques pour former un prisme d'accrétion qui croît à mesure de la fermeture entre l'arc volcanique et le continent. La collision entre l'arc volcanique et le continent crée un chevauchement important de tout le matériel du prisme d'accrétion sur la marge continentale. L'activité ignée cesse et de grandes masses de roches ignées peuvent rester coincées dans la lithosphère. Finalement, la poursuite du mouvement concentre encore plus de matériel et forme une chaîne déformée que l'on qualifie de chaîne de montagnes immature, en ce sens que la dynamique n'est pas terminée. La marge de cette chaîne immature peut se transformer en une nouvelle zone active (subduction), ce qui permet à la collision de se poursuivre et instaure du volcanisme d'arc continental sur la nouvelle chaîne. Un exemple type de cette dernière situation est la Cordillère des Andes, reliée à la collision de la plaque océanique de Nazca et à la partie continentale de la plaque de l'Amérique du Sud. Mais la véritable chaîne de montagnes mature est celle qui sera formée par la collision entre deux plaques continentales. Dans cette situation, à mesure que se

referme l'étau constitué par le rapprochement des deux plaques, il se construit, comme dans le cas précédent, un prisme d'accrétion qui croît progressivement par la concentration du matériel dans un espace de plus en plus restreint, et la chaîne de montagnes s'érige peu à peu. Avec la collision des deux plaques et la cessation du mouvement, la chaîne a atteint sa hauteur maximum et acquis ses caractéristiques.

Il y aura une zone de roches non déformées jouxtant les roches déformées de la chaîne, parfois de façon symétrique de part et d'autre de la chaîne. Il y aura aussi des roches métamorphiques très déformées aux racines de la chaîne, car ces dernières se forment sous des températures et des pressions très élevées. On trouvera aussi des lambeaux de croûte océanique et on parle des ophiolites. De grandes masses de roches ignées (batholithes et plutons) resteront coincées dans la lithosphère continentale. Un exemple de chaîne de montagnes formée par la collision entre deux plaques continentales, ce sont les Himalaya qui ont été formées par la collision récente, il y a à peine 10 Ma, d'une petite plaque dont la portion continentale constitue aujourd'hui l'Inde et une grande masse continentale, l'Asie. La chaîne n'est d'ailleurs pas stabilisée puisqu'elle se soulève encore.

La compréhension de l'orogénèse ne serait possible sans la renvoyer à un cadre tectonique. Ce dernier nécessite une explication des transformations chimiques à l'échelle de la roche et des forces physiques qui soulèvent des milliards de tonnes de la matière.

4.2. L'accrétion des « terranes », une difficulté majeure

Ces dernières années, on s'est rendu compte que dans plusieurs chaînes de montagnes, la situation n'est pas simple. Ces chaînes sont souvent composites, c'est-à-dire qu'elles sont formées d'un collage de plusieurs morceaux qui possèdent chacun leurs caractéristiques propres. Ces morceaux correspondent à des petites masses continentales, des microcontinents, qu'on appelle les terranes, une transposition du terme anglais "terranes".

Prenons comme exemple le cas de la Cordillère du nord ouest de l'Amérique qui est formée de plusieurs éléments accolés les uns aux autres. Les géologues l'ont nommé, ce mécanisme de construction d'une chaîne de montagnes par collages successifs ; l'accrétion des terranes. Des microcontinents (terranes) d'origines variées (agglomérats d'îles volcaniques, fragments de plaques continentales) sont transportés par le tapis roulant des fonds océaniques. Lorsqu'ils arrivent en collision avec une grande plaque continentale, ces terranes sont arrachés à la plaque qui les transporte et collés à la marge de la grande plaque continentale, car leur densité est trop faible pour qu'ils puissent être enfoncés dans l'asthénosphère. Il peut s'accumuler ainsi

plusieurs de ces morceaux "exotiques".

Les grandes chaînes de montagnes se forment donc par convergence de plaques lithosphériques. Nous retrouvons aujourd'hui des chaînes à l'intérieur de plaques lithosphériques continentales tels que l'Himalaya et les Pyrénées, et c'est tout à fait normal puisqu'elles sont issues de la soudure de deux plaques continentales. Seul le cadre de la tectonique des plaques peut expliquer cette situation. L'origine de ces microcontinents pourrait faire un obstacle à l'explication des chaînes issues de leurs collages successifs chez les apprenants.

4.3. Les ophiolites, des océans perdus

Depuis longtemps, les géologues ont été intrigués par la présence dans les Alpes de roches très différentes de celles constituant la croûte continentale. Les informations venues des océans ont permis de mieux comprendre l'origine de ces roches : elles pourraient représenter des fragments de croûtes océaniques. Comment expliquer alors la position actuelle de ces anciens fonds océaniques, aujourd'hui portés à une altitude considérable, au cœur des chaînes de montagnes? L'interprétation de la formation des chaînes de montagnes dans le cadre de la tectonique des plaques, fournit une voie d'explication.

Les ophiolites sont une association de roches typiques constituée, de bas en haut, par des péridotites plus ou moins serpentinisées, des gabbros et des basaltes en pillow-lavas. L'altération donne fréquemment des teintes vertes à ces ensembles de roches appelées ophiolites. Ces ophiolites constitueraient donc des vestiges du domaine océanique qui séparait les deux marges continentales avant leur collision. Celui-ci a pour l'essentiel disparu par subduction mais certaines parties pourraient avoir été charriées sur l'une des marges continentales, selon un mécanisme appelé obduction. Nous ne prétendons pas travailler avec les étudiants sur ces vestiges océaniques mais elle pourrait faire objet d'autres études. Néanmoins, nous pensons les ophiolites sont mal compris par les apprenants.

5. Conclusion : la tectonique des plaques, un modèle unificateur

Avant la formulation de la théorie de la tectonique des plaques, plusieurs grands phénomènes géologiques défiaient toutes explications logiques et rigoureuses. Par exemple, on savait bien que la lave des volcans provenait du manteau, mais on ne savait expliquer pourquoi il y avait magmatisme et pourquoi les volcans se répartissaient de façon non aléatoire à la surface du globe. Il en était ainsi en ce qui concerne l'origine et la distribution des séismes. Même

interrogation aussi pour les chaînes de montagnes; on saisissait bien en observant la géométrie des couches géologiques qu'il fallait des forces de compression latérales pour plisser et faillir ces couches et pour soulever une aussi grande quantité de matériel qui à l'origine s'était déposé dans un bassin marin, mais on n'arrivait pas à identifier ce qui causait ces forces.

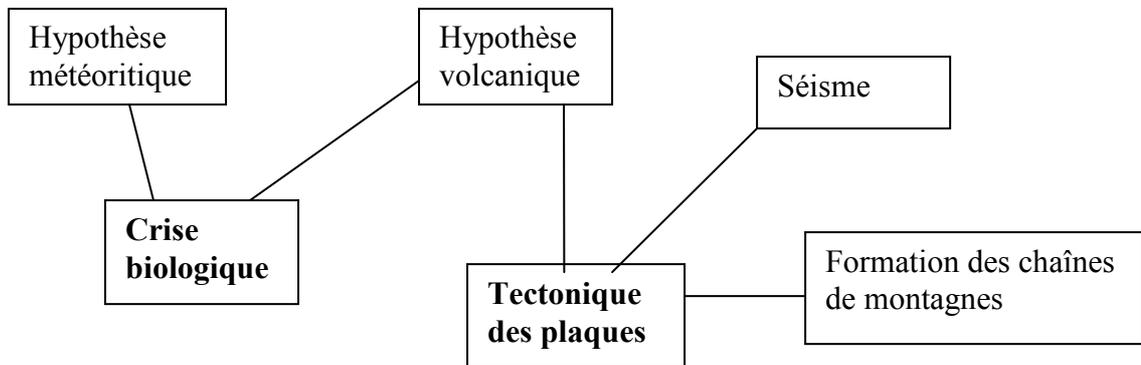


Figure 9 : la tectonique des plaques un modèle unificateur des phénomènes étudiés

Avec la théorie de la tectonique des plaques tout devient clair. La tectonique des plaques est devenue un modèle de la mécanique planétaire terrestre qui permet de comprendre d'une façon unifiée les grands phénomènes géologiques. Mais tout modèle demande à être testé, et ce n'est qu'après avoir réussi le test qu'il peut être considéré comme valide. Le pouvoir unificateur d'un modèle qui se veut planétaire est le meilleur test qu'on puisse faire subir au modèle. Ce test, il se fonde bien évidemment sur la validité des observations et la rigueur des interprétations, mais aussi obligatoirement sur son pouvoir unificateur des phénomènes observés. L'explication des séismes ou des chaînes de montagnes se fait dans un cadre tectonique. Nous essayons de voir si les apprenants conçoivent l'utilité de ce modèle unificateur et s'ils ont pu dépasser certaines difficultés que nous venons d'énumérer.

Dans les chapitres précédents nous avons essayé de fonder théoriquement notre sujet de recherche. Dans le chapitre suivant, nous présentons la méthodologie suivie pour le recueil et l'analyse des données.

L'organigramme méthodologique

L'exploration du terrain avec la multiplication des outils de recueil de données nous permettra d'enchaîner par la reconstruction - plus loin - des registres de modélisation des apprenants et d'identifier les difficultés de l'apprenant à propos de l'explication de quelques problèmes géologiques et biologiques. Nous présentons dans ce chapitre les questions de recherche nous permettons de mettre en relation le cadre théorique et le travail empirique. Pour travailler sur notre problématique, ne menons une étude pré-exploratoire par l'analyse comparative de deux manuels et une étude exploratoire portant sur les conceptions et les difficultés des apprenants. Nous essayons, en se basant ces deux études exploratoires, de travailler sur la problématisation comme outil méthodologique dans la construction du concept temps géologique par des apprenants tunisiens.

1. Problématique et questions de recherche

Notre objectif général est d'étudier l'utilisation du concept « temps géologique » par des lycéens et de futurs enseignants dans l'explication des quelques phénomènes naturels : séisme, orogénèse et crise biologique ainsi que la construction de ce concept par le biais de la problématisation. Pour mener cette étude interdisciplinaire, nous essayons de répondre aux questions suivantes qui ne sont pas toutefois exhaustives mais les plus importants de notre travail.

Questions de l'étude pré-exploratoire

Les styles éducatifs dans le manuel scolaire favoriseraient-ils l'usage du temps géologiques dans l'explication des phénomènes étudiés ?

Les illustrations montreraient-elles la nécessité du temps géologique dans la compréhension de certains processus géologiques ?

Les situations-problèmes proposés par les auteurs du manuel développeraient-elle la construction de certains problèmes géologiques ou biologiques par les lycéens ?

L'analyse par termes pivots montrerait l'ampleur que donnent les auteurs au concept temps géologique dans l'explication des phénomènes étudiés.

Questions de l'étude exploratoire

Les élèves ou les futurs enseignants utiliseraient-ils le temps géologiques dans l'explication du fonctionnement des séismes et de la formation des chaînes de montagnes ?

Les élèves ou les futurs enseignants mobiliseraient-ils le temps géologique dans l'explication des crises biologiques ?

Les élèves ou les futurs enseignants utiliseraient-ils la théorie de la tectonique des plaques dans l'explication de certains phénomènes géologiques ?

Les questions posées par l'enseignant dans un cours engageraient-elles les étudiants dans la construction de leur propre savoir ?

Quels sont les obstacles épistémologiques des apprenants à l'usage du temps géologique dans l'explication des phénomènes étudiés ?

La théorie de la tectonique des plaques est-elle un modèle explicatif des différents phénomènes ?

Problématisation du temps par un débat auprès des futurs enseignants et d'élèves de la 3^{ème} Sc. Exp.

L'explication d'un processus d'un évènement ou phénomène naturel par les futurs enseignants leur permettrait de concevoir l'utilité du temps géologique.

Les obstacles épistémologiques qui traversent l'histoire des sciences refouleraient chez les futurs enseignants ou les élèves.

Le couplage biologie-géologie permettrait d'identifier des obstacles épistémologiques à l'acquisition du temps géologique par les futurs enseignants ou les élèves.

Le débat permettrait la construction quelques processus de phénomènes géologiques ou biologiques en tenant compte du temps par les élèves ou les étudiants

2. Le manuel scolaire ; une étude pré-exploratoire

Le manuel scolaire est un personnage si familier du théâtre de la classe, un outil si usuel qu'on oublie parfois de réfléchir à sa nature et à sa fonction. Les polémiques qu'il provoque sont périphériques. Nous dénonçons son prix, sa couverture et surtout son poids qui par l'encombrement des cartables déformerait, génération après génération, les dos des lycéens. De nos jours, l'élève est l'acteur central de sa propre formation et l'école peut lui fournir les moyens de construire lui-même son propre savoir. Les travaux sur les manuels sont multiples (M. Grosbois, G. Ricco et R. Sirota. 1992; De Hart Hurd, 1978, G. Rumelhard, 1986 ; W. Baalman, V. Frerich and R. Illner. 1996 ; G. Berthou-Gueydan, 2006 ; M.-F. Perrier, 1997 ; M. Abrougui et al, 2006; L. Mouelhi et P. Clément, 1994) mais nous nous intéressons à ceux qui corroborent plus notre travail. Ce dernier s'élargit sur un réseau de concepts scientifiques dont le nœud est le concept du "temps géologique". Il est fort intéressant de prendre en compte le sens qu'il prend en s'articulant à d'autres concepts. L. Mouelhi (2007) a travaillé

sur l'analyse des programmes en se basant sur l'étude de l'approche conceptuelle dans le manuel, l'étude des images (ou illustrations) et l'étude des types d'exemples et de contenus explicatifs. Quels types de contenus sont traités relativement à la géologie et à la biologie dans les deux manuels de la 2^{ème} année secondaire et celui de la 3^{ème} année sciences expérimentales ? Particulièrement, comment les concepts « temps géologique » et « espace » sont-ils (ou non) traités, illustrés ou explicités ?

Nous tenterons d'analyser deux manuels scolaires et nous nous intéressons en priorité à la fonction éducative du manuel : Quel savoir véhicule-t-il aux apprenants ? Toutefois dans notre système éducatif, nous estimons que les manuels scolaires seraient conformes aux programmes officiels. Les chapitres que nous allons analyser portent essentiellement sur les phénomènes naturels étudiés et enseignés aux élèves, et dont nous retenons surtout les parties qui traitent séismes, orogénèse et crises biologiques. Nous ne faisons ni une étude des structures, ni une analyse des dépenses économiques. L'approche étant didactique, elle s'intéresse au contenu scientifique. Cependant, vu le développement accéléré des technologies de l'information et de la communication, il serait important de s'interroger sur l'avenir du manuel scolaire tant dans sa forme que dans son contenu.

Après 1968, nous assistons aussi à un grand progrès au niveau des connaissances scientifiques liées au contexte tectonique global qui a permis de mieux comprendre le globe terrestre. Nous nous interrogeons aussi sur la place de la géologie dans la société. Qu'en est-il de l'importance de la dimension sociale de cette discipline ? Notre travail est donc sur deux volets :

Principalement, la dimension géologique comment est-elle définie ? Est-elle utilisée pour mettre en évidence l'importance des concepts clés de la géologie et de la biologie (temps géologiques et espace géologiques) dans la compréhension du contexte global des phénomènes naturels ?

Secondairement, la dimension socioculturelle de l'enseignement de la géologie tient-il compte du contexte social ou se limite-t-il à la transmission des connaissances ? L'environnement, le développement durable, la construction des ouvrages hydrauliques, et la construction des maisons parallèlement à la propagation des ondes sismiques dans le pays sont des sujets qui touchent de près la société. Ya-t-il une sensibilisation, une intégration de responsabilité par rapport à ces problèmes ? Ceci fera l'objet d'autres études, nous n'approfondissons pas trop cette partie.

Pour ce faire nous analyserons en se basant sur la grille d'analyse du contenu et des images. Nous analysons aussi les situations-problèmes présentés aux élèves dans le manuel. Nous

mènerons aussi une analyse par termes pivots, particulièrement, qui sont en relation avec le temps géologique.

2.1. Objet, champ et finalités de l'analyse des manuels

Nous considérons comme manuel scolaire tout support pédagogique (livres dans ce cas) qui devrait être acquis par l'élève et qui serait mis à la disposition de l'enseignant. Il ne sera pas possible d'analyser la totalité des deux manuels scolaires. Nous avons donc choisi d'étudier les parties qui portent sur les trois thématiques à travers lesquelles nous menons notre étude :

- le manuel de la 2^{ème} année secondaire (M1) ¹⁶: thème de la géologie
- le manuel de la 3^{ème} année sciences expérimentales (M2) ¹⁷: thème de la géologie, notant que les crises biologiques sont traitées dans cette partie.

Nous vérifions d'abord la conformité des manuels aux programmes officiels. L'étude des deux thèmes nous permettra de suivre l'évolution de l'enseignement de la géologie au lycée. Les futurs enseignants, étudiant en maîtrise, avec qui nous avons mené nos investigations, utiliseront le manuel scolaire. Le manuel développerait chez eux l'utilité du temps géologique dans l'explication de certains problèmes géologiques.

2.2. La grille d'analyse

La grille d'analyse (voir annexe 9) désigne un ensemble de critères sur lesquelles se prononce notre analyse. Elle répond aux différents critères d'analyse du contenu du manuel. Nous adaptons une grille d'analyse, déjà élaborée, aux objectifs de notre travail. Cette grille vise à décrire le manuel, à apprécier son degré de conformité aux programmes, à se prononcer sur la qualité du contenu scientifique du manuel. Pour se faire nous allons traduire (anglais au français) la grille d'analyse élaborée dans le cadre du projet de recherche européen BIOHEAD-CITIZEN¹⁸ 2004-2007 : « *Biology, Health and Environmental Education for better Citizenship* ». Cette grille collective a été élaborée en Algérie et approuvée à Malta. De prime abord, elle concerne l'éducation à l'environnement et à la santé, mais par la suite elle a été simplifiée pour pouvoir s'appliquer à d'autres thèmes de l'éducation à la sexualité. Nous allons donc transposer son usage à la géologie. Néanmoins, nous avons traduit « educational style » par « style éducatif » au lieu de « style pédagogique » utilisé par S. Abdelli et M. Abrougui (2007). Nous pensons que les styles pédagogiques sont plus englobant et ne se

¹⁶ Manuel de la 2^{ème} année secondaire 2004-2005.

¹⁷ Manuel de la 3^{ème} année sciences expérimentales 2006-2007.

¹⁸ This project entitled « *Biology, Health and Environmental Education for better Citizenship* » (research project coordinated by Carvalho G, Clement P., Bogner F). It puts in partnership 19 countries.

limitent pas aux quatre catégories présentées dans la grille. En effet, un style pédagogique est déterminé par les modes de relations qui s'établissent entre élèves et enseignants au cours de l'activité pédagogique. Selon l'activité pédagogique, l'enseignant est un facilitateur et une référence et il suffit à l'élève de justifier son passage par les étapes d'un certain parcours. Ou bien, l'enseignant est un pourvoyeur de connaissances. La qualité de la formation s'identifie avec celle de l'exposé. Les contenus de formation sont détaillés et normalisés. La certification par l'évaluation sommative est la règle. Dans certaines activités pédagogiques, l'accent est mis sur le dialogue entre l'élève et l'enseignant, le moteur de ce dialogue étant fortement déterminé par une perspective d'intégration sociale et professionnelle. L'enseignant est un éducateur, un interlocuteur, un tuteur. Le style pédagogique dominant est celui de l'exemple. L'apprenant est régulièrement orienté afin qu'il trouve sa place dans la société. Nous utilisons, préférentiellement, la terminologie « style éducatif » afin de nous démarquer de cette hiérarchisation de styles pédagogiques, beaucoup plus compliquée, qui dépend de l'espace géographique et donc de l'histoire de l'éducation dans chaque société. Nous reprenons dans ce qui suit les définitions de chaque catégorie.

2.2.1. Définition des styles éducatifs

L'application, avec prudence, de cette grille pour chaque thème est essentielle lorsque l'enseignement souhaite changer l'attitude des apprenants (éducation à l'environnement, éducation à la santé, éducation à la sexualité). Il n'est pas toujours facile de concevoir ce que pense un apprenant. Dans notre cas nous essayons de l'appliquer à un contenu scientifique géologique, cependant nous ne nions pas le rôle de la géologie dans la société. Nous reviendrons sur cette question plus tard. La grille est articulée sur une technique d'identification de différents styles éducatifs, elle est construite de façon à permettre de répertorier les types d'approches préconisés par les éditeurs ou les auteurs des manuels. Nous nous limitons aussi à analyser les approches des concepteurs et auteurs de chaque manuel, d'autres travaux pourront porter sur l'usage du manuel par les élèves et les enseignants. La grille présente quatre styles éducatifs visant à catégoriser les contenus textuels. Chaque phrase peut être référencée suivant l'un des styles en fonction du degré de l'information, de la participation et la problématisation. Nous explicitons dans le tableau suivant les styles éducatifs et leurs indicateurs. Nous avons repris les définitions explications avancées par Biohead-Citizen des différentes catégories, mais nous tenons compte de la spécificité du thème sur lequel nous menons notre travail.

Le style informatif

Dans ce style, les phrases apportent uniquement des informations : ce sont des données, des faits. Il n'y a pas de problématisation, pas de demande de réflexion, pas de proposition d'action.

Le style injonctif

Dans ce style, les phrases ont un style impératif ou injonctif : " vous devez faire ceci..., Faites comme ça, ...parce que la science le montre, ..." Le message ou le style utilisé est de type informatif, avec des consignes ou des directives à appliquer ; l'information est transmise de manière dogmatique, il ne s'agit pas en général d'une éducation. L'essentiel dans cette approche est de transmettre le maximum de connaissances. La problématisation peut être présente mais donnée dans le manuel, les solutions sont imposées sans argumentation et l'action, si elle est proposée, est imposée.

Le style persuasif

Les phrases donnent des solutions en nuancant (emploi du conditionnel, présentation de différents arguments) : " vous pouvez conclure,...vous devrez faire ceci,...voyez les avantages de prendre cette solution ou le dérangement si vous ne suivez cette solution,..."

Dans ce cas, la problématisation est très généralement présente, avec une argumentation ne s'intéressant qu'à une seule solution spécifique et une forte suggestion pour les actions proposées qui sont aussi à justifier.

Le style participatif

Les phrases présentent plusieurs points de vue ou plusieurs solutions. Elles amènent l'apprenant à se questionner, elles sollicitent leur réflexion, l'expression de leurs propres idées. Dans ce style, la problématisation est systématiquement présente et c'est parfois aux élèves à la découvrir eux-mêmes. Elle peut mener à une discussion ou à un débat en classe dont l'issue la plus positive serait une action choisie et élaborée par les élèves. Pour chaque phénomène étudié (séismes, orogénèse ou crises biologiques), nous analyserons l'importance relative de chacun des quatre styles éducatifs. Notant que dans la plupart des cas, le style éducatif sera (A). Ainsi, quand cela ne peut pas être (A), nous donnons des citations précises, l'argumentation ou des illustrations.

Tableau 15 : Grille modifiée des styles éducatifs

Indicateurs	Styles éducatifs			
	(A) Informatif	(B) Injonctif	(C)	(D) Participatif
Dans le manuel			Persuasif	
Problematisation	Absent	Absent ou présent, mais les solutions sont imposées sans argumentation	Présent, mais l'argumentation tend uniquement à une solution spécifique	Présent, ou bien être découverte (par les apprenants). Débat ouvert.
Activité proposée	Rien	Activité imposée	forte suggestion pour l'activité proposée qui est la seule justifiée	L'activité est construite, ou bien choisie par les apprenants
Style et Structure de la phrase	<u>Descriptif informatif</u> : "les données sont... les faits sont... la situation est... l'interprétation est... la plus importante chose à connaître est..."	<u>Impératif injonctif</u> : "vous devez faire ceci..., faire cela, parce qu'il est comme il est... puisque c'est la manière, parce que la science le démontre, parce que la religion dit"	<u>Indicatif</u> "vous pouvez conclure que... il devrait conclure cela... vous devriez faire cela..." "Voyez les avantages de prendre cette solution ou le dérangement sérieux de ne pas prendre cette solution..."	<u>Participatif</u> Présentation de plusieurs points de vue. Plusieurs solutions proposées. Demandant les idées des apprenants, leurs suggestions

3. Une étude des illustrations

Dans notre analyse, nous prenons en compte toutes les illustrations figurant dans les deux manuels. Nous privilégions une typologie d'images fondée sur leur processus de construction et sur le contenu de leur message (L. Bardin (1993) ; P. Clément (1996b); G. Mottet et al (1995) ; G. Mottet (1996)). Nous apporterons quelques réflexions sur la nature des illustrations, les types des illustrations privilégiés, le degré d'abstraction des différentes illustrations et les messages véhiculés par ces images relativement à l'usage du temps géologique dans l'explication en géologie.

3.1. Une typologie des contenus explicatifs

A la suite de l'étude des notions clés et des illustrations des manuels, nous analyserons, particulièrement, les types d'exemples et les contenus explicatifs utilisés par les auteurs. Pour

cela essayerons suivantes :

- Quelle est la nature des explications proposées pour chacun des exemples ?
- Quels sont les messages qui transparaissent à travers les choix des exemples et des modèles explicatifs privilégiés ?
- Quelles sont les messages véhiculés par ces illustrations ?

En se basant sur les travaux de S. Abdelli et al (2007), nous adapterons la méthodologie de typologie des images biologiques à notre contexte géologique et biologique. Pour ce faire, nous utilisons la grille élaborée, tout en tenant compte des modifications liées à la spécificité de l'image géologique. Deux typologies ont été retenues pour cette analyse :

3.2. Une typologie d'images fondées sur leur processus de construction

J. Bertin, P. Clément ont distingué deux types d'images : les images graphiques et les images figuratives. Clément note que les images graphiques mettent en forme des données ou interprétations qui préexistent : équations, résultats expérimentaux, modèles et autres conceptualisations. Les images figuratives, a contrario, ont un rapport direct avec les objets ou phénomènes à interpréter ; même si ce rapport implique des appareillages plus ou moins sophistiqués, avec transcodage des signaux les plus divers en signes iconiques.

En se basant sur l'étude de S. Abdelli et al (2007), nous avons repris les sous-catégories retenues pour l'analyse des images et reformulé les définitions selon le message spécifique de l'image en géologie.

Les images graphiques : nous classons dans cette catégorie les images selon la nature des données qui ont permis de les construire. Notons que nous distinguons deux sous catégories :

- Images de données empiriques : Tableaux, histogrammes, courbes, cartes géologiques
- Images de conceptualisation scientifique : images ou schémas non figuratifs (sismogrammes, modèle structural du globe terrestre, coupe géologique...)

Les images figuratives :

Les images figuratives sont liées soit à des domaines visuels (codage iconique de signaux visuels), soit à des domaines non visuels transcodés (Transcodage iconique par transformation de signaux physiques les plus divers en signaux visuels). Nous retiendrons, dans cette catégorie :

- Les images issues d'observation macroscopique (œil nu, photos, photos satellitaire, films, radiographie, échographie,),
- Les images issues d'observation microscopiques (microscope optique, microscope électronique)

Nous distinguons les images illustrées par des photos, des schémas et/ou des dessins.

3.3. Une typologie d'images fondée sur le contenu de leur message

Nous étudions aussi, en plus du processus de la construction de l'image, son contenu. D'une part, nous avons précisé pour chaque illustration, ce qu'elle représente, d'autre part, nous avons distingué quelques catégories qui nous ont semblé, a priori, pertinentes :

- Cas des images représentant ou ayant un lien avec le temps géologique
- Cas des images représentant ou traitant des phénomènes géologiques
- Cas des images représentant des espèces disparues

Nous nous sommes intéressés à l'étude de la place dans l'explication des phénomènes géologiques :

- elle représente ou non le temps géologique
- elle explique un contenu théorique géologique
- elle met en relation temps et espace dans l'explication du phénomène étudié

4. analyse des manuels par termes pivots

Nous mènerons un recensement des notions, vocabulaires, verbes qui renvoient à l'utilisation du temps géologique ou à des processus géologiques montrant son importance dans l'explication des phénomènes étudiés. Pour ce faire nous avons numéroté de (n) à (n+1) les lignes chaque chapitre afin de regrouper dans un tableau (voir chapitre suivant) les différentes expressions, terminologies ou processus recensés. L'interprétation des résultats sera précédée par une analyse réflexive sur l'échelle géologique présentée dans les deux manuels.

Résumons la procédure méthodologique de l'analyse des deux manuels :

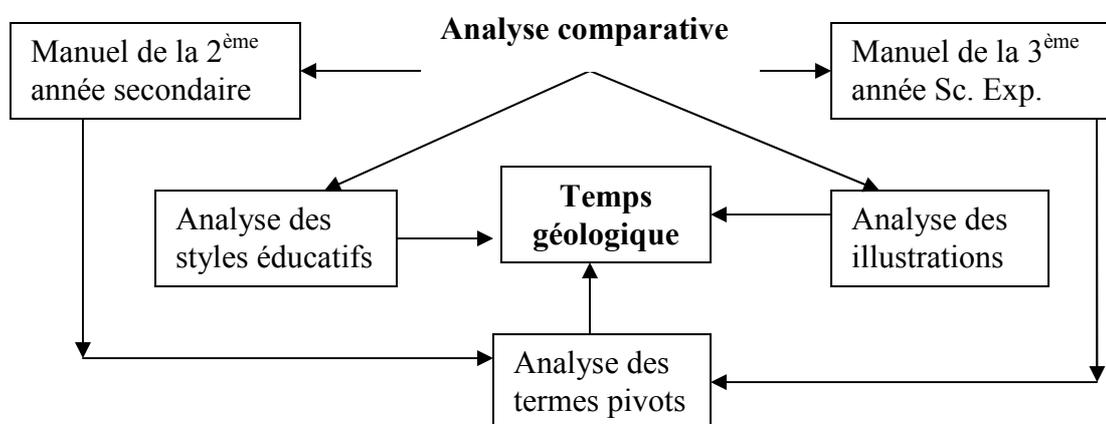


Figure 10 : organigramme méthodologique de l'étude pré-exploratoire

5. Le questionnaire ; un outil pour le recueil des conceptions

Nous procédons par des questionnaires auprès des élèves tunisiens de la 2^{ème} année secondaire durant l'année scolaire 2004-2005 et des étudiants en maîtrise (SVT4¹⁹ et ST4²⁰) durant l'année scolaire 2005-2006. Nous avons assisté à une séance de travaux dirigés de géologie avec les étudiants ST4. Suite à cette séance, nous avons mené un entretien avec deux étudiants. Au moment où nous avons commencé les enquêtes, les crises biologiques n'étaient pas enseignées en tant que chapitre en tant que tel mais on les retrouve dans des paragraphes sur la fossilisation. Nous étions donc ramené à soumettre un questionnaire concernant les crises biologiques à des élèves de la 4^{ème} science expérimentale durant l'année 2005-2006. Le thème de géologie rajouté récemment (voir annexe 8) aux programmes de la 3^{ème} année sciences expérimentales²¹ fait objet d'analyse, comme l'avons signalé plus haut. Ce thème traite entre autres des séismes, de l'orogénèse et des crises biologiques, problèmes géologiques sur lesquels nous menons notre recherche. Une grande partie de ce thème faisait partie du programme de la 2^{ème} année secondaire en 2005-2006.

Le questionnaire est mené avec un public le plus souvent représentatif d'une population ou d'un groupe de personnes. Selon François De Syngly (1992), le questionnaire permet de recueillir des données sur les comportements ou les intentions de comportement ; les opinions et les attentes (espoirs, craintes, aspirations), les motivations et les attitudes (génératrices d'opinions ou d'actions). Le questionnaire peut s'articuler autour de deux types de variables : variables concernant l'identification de la personne (âge, sexe, milieu social) ; variables obtenues à partir de la question sur les aspects essentiels du phénomène étudié. C'est autour de cette dernière que nos questions ont été développées.

Pour construire le questionnaire, pour les élèves ou bien les étudiants, nous étions appelés tout d'abord à définir l'objet de l'étude, les populations sur lesquelles nous allons mener notre enquête ainsi que leurs caractéristiques. Puis, nous avons déterminé les grands groupes de questions pour faire une première rédaction des questionnaires, des entretiens ou des ateliers. Ensuite, nous avons déterminé les échantillons du travail (élèves et étudiants). Un essai a été mené avec quelques personnes avant de passer à la rédaction définitive des questions. Toutes les questions sont ouvertes ou des questions de production : le répondant va formuler une réponse avec ses propres explications, il s'agit pour lui de reconnaître et de déterminer et de formuler sa réponse à partir des éléments de son propre champ cognitif. Les réponses à ce

¹⁹ Futurs enseignants de secondaire

²⁰ Futurs enseignants et plus spécialistes en sciences de la terre

²¹ Année scolaire 2006-2007

type de questions sont libres et riches d'informations. Néanmoins, les informations peuvent être trop dispersées et nous ne pouvons pas maîtriser toutes les conditions de productions. Les questions ouvertes se prêtent plus difficilement à l'analyse statistique. Pour cela nous veillons à ne perdre aucune information recueillie. Toutefois, la forme ouverte est indispensable, quand la qualité de mémorisation et la mobilisation des conceptions sont en jeu.

5.1. Recueil des données auprès des élèves de la 2^{ème} année secondaire

Après enseignement du thème de la partie du programme consacrée à la géologie (voir annexe 6), deux items renfermant chacun deux questions ouvertes ont été posées à cinquante huit élèves tunisiens de la deuxième année secondaire du Lycée Menzel Tmim. L'item 1 (voir tableau 16) porte sur la définition du tsunami et la cause du séisme déclenché en 2004 dans la région sud et sud-est de l'Asie. L'item 2 (voir tableau 16) porte sur l'orogénèse.

Cette enquête a été menée trois semaines après l'événement (tsunami) et de la fin du dernier chapitre du thème de géologie. Les réponses des élèves seront classées dans des catégories qu'on définit après lecture de l'ensemble des réponses et le regroupement de celles que nous supposons proches de point de vue scientifique. Il nous arrive de classer une réponse dans une seule, deux ou plus catégorie(s) parce qu'elle renferme plus qu'une idée, une explication ou conception.

Tableau 16 : les questions posées à la population concernée

Question 1 : Selon vous qu'est ce que le tsunami ?
Question 2 : Expliquez comment s'est déclenché le séisme du 26-12-2004 qui a frappé la région sud et sud-est de l'Asie ? vous pouvez illustrer vos propos par un schéma.
Question 3 : Quand se sont formées les chaînes de montagnes ?
Question 4 : Comment se sont formées les chaînes de subduction ? illustrez vos propos par un schéma.

5.2. Recueil des données auprès des élèves de la 4^{ème} année Sc. Exp.

Les crises biologiques ne sont pas enseignées dans un chapitre bien déterminé. C'est pourquoi nous avons choisi des élèves de baccalauréat étant donné qu'ils ont, plus au moins acquis durant leur enseignement, des connaissances en relation avec le thème des crises : fossiles, fossilisation, stratigraphie, échelle géologique...etc. En fait, les crises biologiques ne sont pas enseignées, en ce moment, dans un chapitre bien clair. Ce n'est que durant l'année scolaire 2006-2007, qu'elles ont été rajoutées au programme (voir annexe 6) de la 3^{ème} année sciences expérimentales (19 ans).

Nous présentons les questions posées aux élèves du baccalauréat sciences expérimentales.

Tableau 17 : questions posées à la population concernée

Question 1 : comment, selon vous, les dinosaures ont-ils disparu ?
Question 2 : comment expliquez-vous qu'il y ait apparition de nouvelles espèces après la disparition des dinosaures ?
Question 3 : pensez-vous que l'extinction des espèces a touché toute la planète ? Expliquez.
Question 4 : pensez-vous qu'une crise géologique ralentit l'évolution des espèces ? Expliquez.

Ce questionnaire a été soumis à deux classes : une classe (28 élèves) du lycée de Kalaat-Snan (nord-ouest de Tunisie) et une classe (18 élèves) du lycée secondaire de Mednine (sud-est de la Tunisie). Nous considérons que notre échantillon est homogène étant donné que le système éducatif tunisien est unifié du point de vue du programme et du contenu du savoir enseigné. Trente minutes ont été laissées aux élèves pour répondre aux questions. Les enseignants ont été chargés d'expliquer le cadre de cette enquête, et surtout ils ont insisté sur le fait que ce questionnaire ne serait pas évalué, pour donner plus de liberté aux élèves de mobiliser le maximum de leurs conceptions. Une lecture de l'ensemble des réponses nous permet de dégager la majorité des conceptions mobilisées par les élèves dans leurs explications. Les explications qui se rapprochent sont regroupées dans des catégories.

5.3. Recueil des données auprès des étudiants

Les futurs enseignants sont les étudiants en maîtrise sciences de la vie et de la terre (SVT4) et les étudiants de la maîtrise sciences de la terre (ST4). Notre choix est justifié par le fait que durant leur parcours les étudiants ont acquis suffisamment de connaissances leur permettant d'expliquer les phénomènes naturels étudiés. Ces étudiants passent le CAPES (certificat d'aptitude pour l'enseignement secondaire) après avoir réussi la maîtrise et les admis seront des enseignants aux lycées ou aux collèges. Nous avons donc proposé trois questions à un échantillon de 47 futurs enseignants. Les étudiants disposaient d'une heure pour répondre à l'ensemble des questions. On a gardé la première question posée aux élèves de la 2^{ème} année secondaire portant sur les séismes et le tsunami. Pour l'orogénèse, la question sur les chaînes alpines prend en compte à la fois du processus et de l'histoire de ces chaînes. Nous engageons donc, les étudiants dans deux types réflexions : scientifique et historique, historique parce qu'elle peut les amener à réfléchir sur le temps géologique. Les crises biologiques sont enseignées aux étudiants dans le cours de la géologie et dans une partie du cours de biologie.

Ce phénomène reste un pont entre les deux disciplines et il est un bon exemple d'interdisciplinarité. Les questions sont plus ouvertes par rapport aux questions posées aux élèves de secondaire. Nous avons demandé aux étudiants d'illustrer leurs propos par des schémas pour les séismes et l'orogénèse et de justifier leurs réponses pour les crises biologiques.

Tableau 18 : questions posées aux futurs enseignants

Question 1	Expliquez comment s'est déclenché le séisme du 26-12-2004 qui a frappé la région sud et sud-est de l'Asie ? illustrez vos propos par un schéma.
Question 2	Comment se sont formées les chaînes alpines ? illustrez vos propos par un schéma.
Question 3	Expliquez les causes des crises majeures caractérisées par des extinctions en masse des êtres vivants. Justifiez votre réponse.

5.4. Recueil des données dans une séance de TP de géologie

Dans le but de rechercher dans un enseignement classique une méthodologie engageant l'étudiant dans la problématisation, nous avons assisté à une séance de travaux pratiques (TP) avec les étudiants de maîtrise spécialité sciences de la terre (ST4) à la faculté des sciences de Bizerte. Ce TP dure trois heures. Il ne nous était pas possible d'enregistrer la séance suite à la demande de l'enseignant mais il nous a permis de transcrire directement sur papier le déroulement de la séance. Chemin faisant, nous avons transcrit presque la totalité du discours du déroulement de la séance (voir annexe). La grille étant préétablie (voir chapitre 1), nous lisons les notes prises et nous plaçons dans des catégories les questions que nous supposons utiles pour cette analyse. Cette séance sera suivie d'un entretien avec deux étudiants.

6. L'entretien, un outil d'approfondissement

Après avoir assisté à cette séance de TP de géologie, nous avons profité de l'occasion pour mener un bref entretien avec deux étudiants seulement, les autres n'étaient pas motivés pour participer. Cet entretien entre dans le cadre de la préparation des débats-ateliers sur la construction du problème. D'ailleurs, les ateliers ont été préparés en se basant sur le travail pré-exploratoire portant sur l'analyse des manuels et celui exploratoire portant sur l'analyse des productions des élèves et des étudiants. Les questions que nous avons posées durant cet entretien portent sur les trois problèmes géologiques mentionnés.

Conclusion

Nous récapitulons dans ce tableau les outils de recueil des données.

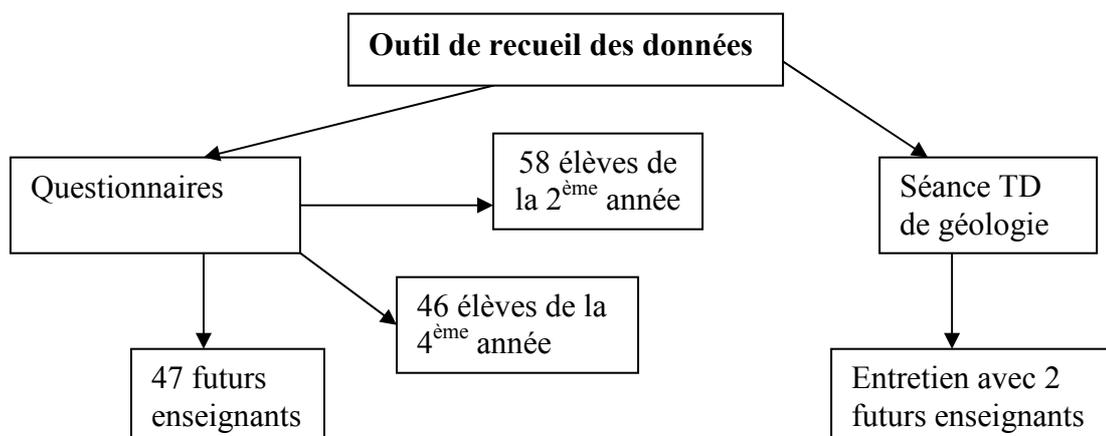


Figure 11 : organigramme méthodologique de l'étude exploratoire

7. Croisement de catégories avec le test chi-deux d'homogénéité

L'utilisation d'un test chi-deux nous permettra de déterminer, quand il est nécessaire, la nature de lien entre les catégories. Nous vérifions donc leur dépendance ou indépendance pour approfondir l'analyse des réponses.

L'hypothèse testée est la suivante :

H_0 : la distribution de fréquence du caractère étudié est identique pour les différentes populations comparées.

C: nombre de colonnes, l : nombre de lignes

Nombre entre parenthèse : effectif théorique

X^2_{obs} est comparée avec la valeur seuil, X^2_{th} lue sur la table X^2 pour $(l-1)(c-1)$ ddl et pour un

risque d'erreur α .

*si $X^2_{obs} > X^2_{th}$, l'hypothèse H_0 est rejetée au risque d'erreur α : les différents échantillons sont extraits de populations ayant des distributions différentes du caractère étudié.

*si $X^2_{obs} < X^2_{th}$, l'hypothèse H_0 est acceptée : les différents échantillons sont extraits de populations ayant la même distribution du caractère étudié.

8. Application d'outil méthodologique : la construction de problème

Pour suivre le fonctionnement de raisonnement chez les étudiants et les aider à construire le concept « temps géologique » dans un cadre interdisciplinaire nous avons proposé à 18

étudiants trois ateliers-débats. Ces trois ateliers diffèrent par leur contenu et leur contribution à la construction du temps géologique. Nous avons chargé l'enseignant de mener un débat avec des volontaires entre eux. Après avoir répondu aux différentes activités des ateliers, 6 étudiants ont accepté de participer au débat portant essentiellement sur l'usage du temps géologique dans l'explication de quelques problèmes géologiques et sur le couplage biologie-géologie.

18 étudiants ont participé à cette enquête menée en mai 2007. Quatre vingt dix minutes ont été laissées aux étudiants pour répondre aux différentes questions. Les ateliers sont suivis par un débat. Six étudiants ont accepté de participer à ce débat. La discussion est enregistrée par un caméscope et transcrite afin d'être analysée. Pour le débat, nous avons demandé à l'enseignante d'orienter, là où c'était nécessaire, la discussion autour du rôle du temps géologique dans l'explication des phénomènes géologiques : séismes, orogénèse et/ou crise biologiques.

Pour les ateliers, nous procédons pour l'analyse comme on l'a déjà fait pour les questionnaires par contre l'analyse du débat se base sur méthodologie de la problématisation.

8.1. Présentation de l'atelier-débat n°1

Nous proposons aux étudiants dans cet atelier d'identifier les phénomènes géologiques qui ont accompagné la séparation du continent africain et du continent américain. Les questions sont les suivants :

1/ Identifiez et expliquez les différents phénomènes géologiques qui ont accompagné le passage de la période (b) à la période (a)

2/ Disposer ces phénomènes géologiques sur une échelle temporelle en millions d'années

L'identification des phénomènes géologiques et leurs dispositions sur une échelle temporelle proposée par l'étudiant nous permettront de faire le lien entre l'explication d'un phénomène ou évènement et l'usage du concept « temps géologique ».

8.2. Présentation de l'atelier-débat n°2

Nous avons proposé aux futurs enseignants un texte d'Avicenne (Ibn Sina) sur l'orogénèse. Notre choix est justifié, d'une part, par le fait qu'Avicenne est un médecin et nous supposons que cela rend curieux les étudiants, et d'autre part, par le manque de bibliographie des savants arabo-musulmans, nous pensons surtout aux explications géologiques d'Al-Biruni qui méritent d'être étudié. Notre choix se justifie aussi par le souci de montrer que certains obstacles ont bloqué l'émergence de la géologie avant le 18^{ème} siècle. Nous confrontons aussi

les explications actuelles des étudiants aux explications avancées par Avicenne. Le texte d'Avicenne est le suivant :

« Quand à l'élévation [du sol], elle peut avoir une cause par essence, comme elle peut avoir une cause par accident.

Quant à la cause par essence, c'est comme ce qui arrive dans de nombreux tremblements de Terre puissants où le souffle, agent du tremblement de Terre, soulève une partie de la terre et produit brusquement un monticule.

Quant à la [cause] par accident c'est [comme] lorsqu'il arrive que des failles [adviennent] à une partie de la terre, et pas à une autre, parce que des vents ont soufflé ou des eaux ont creusé, provoquant un mouvement d'une partie de la terre et pas l'autre. Alors celle sur laquelle s'est écoulée [l'eau] se creuse et celle sur la quelle elle ne s'est pas écoulé reste [comme] un monticule. Puis les ruissellements ne cessent d'approfondir le premier creusement jusqu'à ce qu'il atteigne des profondeurs importantes. Alors, ce qui reste de l'effondrement devient une montagne » (Avicenne cité in A. Djebbar, 2001)

Les questions

- a/ Laquelle des hypothèses vous paraît plus proche de vos explications de l'orogénèse ? Expliquez
- b/ Est-ce qu'il y a un concept scientifique qui vous paraîtra utile dans l'explication de l'orogénèse et qu'Avicenne n'a pas évoqué ?
- c/ Pouvez vous expliquer le lien entre les séismes et l'orogénèse

8.3. Présentation de l'atelier-débat n°3

Avant de donner ce travail aux étudiants, nous avons essayé de préparer le tableau (voir ci-dessous) tout en mettant en relation ses composantes et en nous basant sur des faits scientifiques. Nous avons tenu compte du couplage biologique-géologique et du rôle du temps géologique dans la mise en relation de ces deux disciplines et dans l'explication de phénomènes naturels. Nous ne nions pas les difficultés du remplissage de ce tableau, mais nous avons favorisé l'esprit de synthèse, de critique des connaissances dont nous doutons parfois de leur exactitude. Nous pensons surtout à l'arrière plan philosophique de certains concepts scientifiques. Cette mise en relation d'aussi différents concepts scientifiques ouvre des pistes de recherche sur le couplage entre la biologie et la géologie. Nous rappelons que le temps géologique constitue un pont de couplage des deux disciplines. Les futurs enseignants donnent-ils à ce concept son ampleur dans la mise en relation des sciences de la vie et de la terre ? Tiennent-ils compte de son usage dans leurs explications ?

Tableau 19 : couplage biologie-géologie

<i>Ce qu'on se propose d'étudier</i>	Vie	Terre	Etres vivants	Echelle géologique
ça me concerne...	<i>Je suis à un moment précis de l'Histoire d'un évènement qui est celui de la Terre et de la Biosphère.</i>			
Le temps	Des temps les plus courts (réactions chimiques) aux plus longs (Évolution), en passant par les cycles et les biorythmes	Des phénomènes les plus brefs (séismes, éruptions) à la formation de "Pangée", en passant par les cycles et les rythmes géologiques	De ma création aux étapes de ma vie, conduisant à la mort, ma place sur la terre, mon passé, mon avenir, mes rythmes et ma pérennité	Il est court, il est long, il peut être rythmé et permettre des phénomènes cycliques
<i>Cà me concerne...</i>	<i>ça menace ma vie, comment je pourrais l'éviter ?</i>			
Séismes et tsunami	Catastrophe, dégâts matériels, extinction de certaines espèces (insectes)	géodynamique interne et externe, Transformation de l'énergie	Prédiction des séismes et tsunami, éviter les catastrophes	Phénomène géologique long (subduction), séisme en un temps bref
C'est utile de dater...	<i>Comment dater mes ancêtres et les ancêtres de mes ancêtres... et le reste ?</i>			
Datation, Absolue, relatif	Les traces d'une Vie évoluant servent de repères	Les relations géométriques des phénomènes permettent des repères relatifs	C'est important pour raconter l'Histoire de mon espace	Datation relative Avant, pendant, après Datation absolue
<i>Cà me concerne...</i>	<i>Je vis près d'un relief remarquable issu d'une convergence.</i>			
Convergence : <i>Subduction,</i> <i>Collision</i>		Construction des continents et des reliefs, Arriver à une connaissance de la dynamique globale de la terre en complément avec les connaissances des classes antérieures	C'est tout simplement des Histoires de mon espace et de ma Terre	Des phénomènes qui se déroulent sur des durées très longues, ponctués d'événements cataclysmiques Cycles
<i>C'est utile de comprendre...</i>	<i>Notre Monde évolue, une nouvelle crise biologique se prépare-t-elle ?</i>			
Couplage des événements biologiques et géologiques	La vie influe la Terre	La terre influe la Vie	Ma place à comprendre ce qui s'est passé	Le Temps permet de lents bouleversements et de rapides changements

Nous retenons uniquement les étudiants qui ont répondu. Pour analyser les réponses des étudiants, nous recourons à la mise en relation deux à deux des concepts scientifiques proposés. Nous regrouperons dans des schémas les thèmes étudiés et les différentes explications attendus par les étudiants selon la figure suivante.

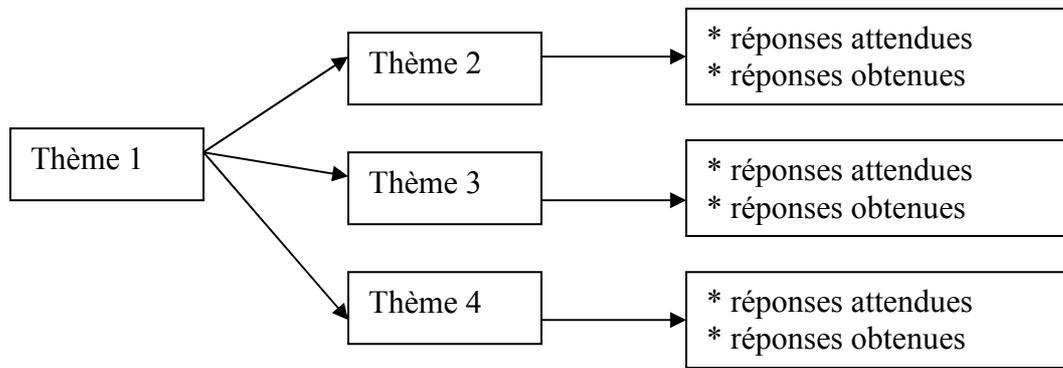


Figure 12 : méthode d’analyse des couplages biologie-géologie

Conclusion

Résumons la méthodologie dans l’organigramme suivant :

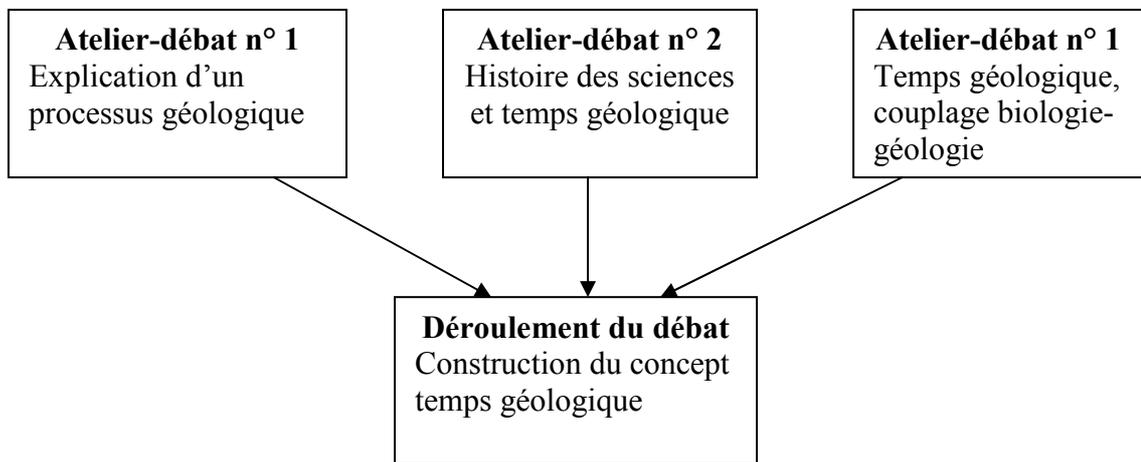


Figure 13 : organigramme méthodologique de la problématisation

Conclusion

Nous récapitulons dans le schéma suivant les différents outils méthodologiques.

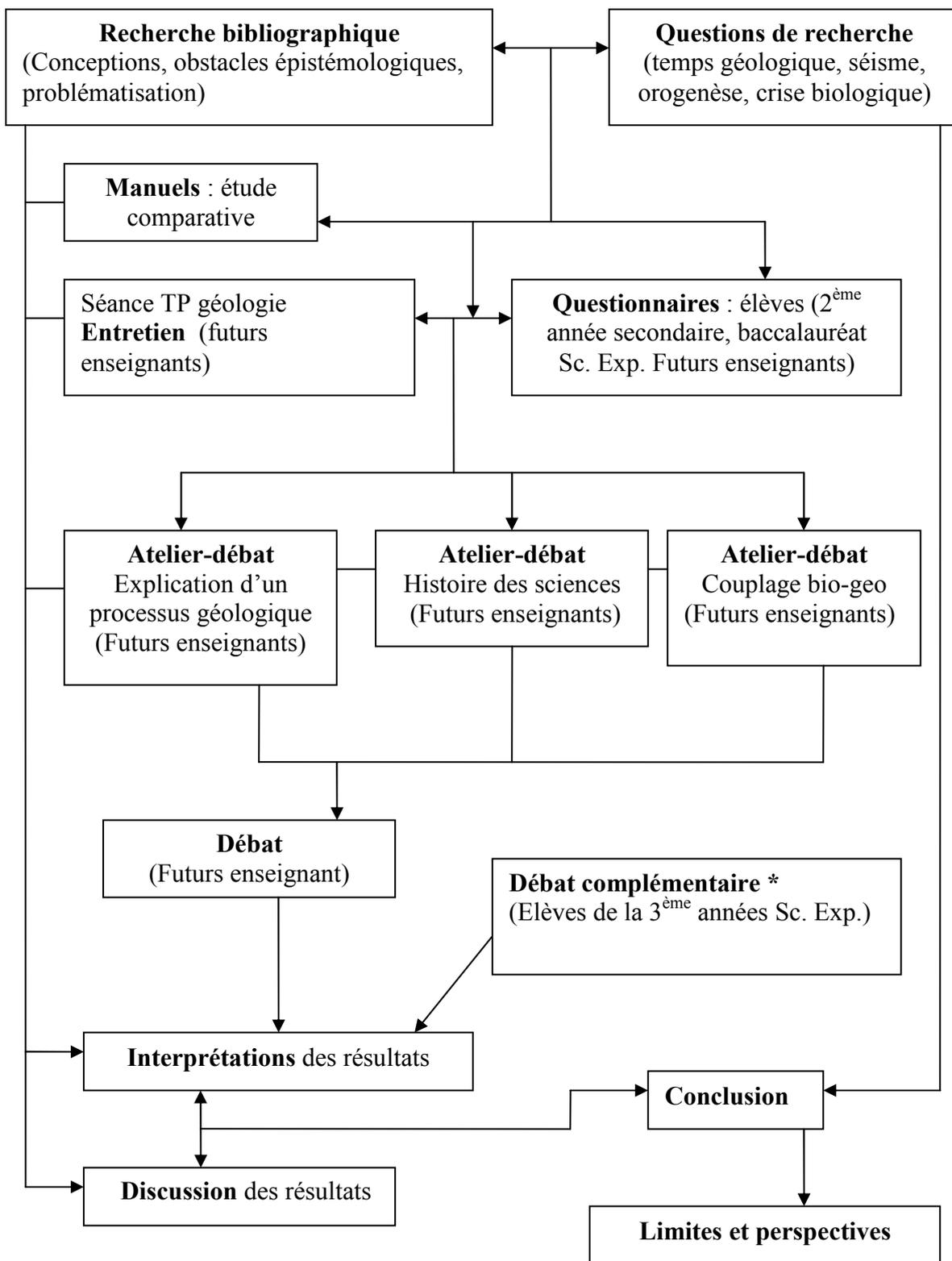


Figure 14 : organigramme méthodologique général

(*voir paragraphe suivant)

8.4. Un débat complémentaire

Lors de la construction des espaces de contraintes nous avons remarqué l'insuffisance des arguments nécessaires mobilisés par les futurs enseignants pour reconstruire leurs différents registres. Leurs participations étaient sous forme d'affirmations et des raisons. Même si nous avons utilisé leurs discussions pour construire certains espaces de problèmes, nous restons prudents sur les discussions que peuvent soulever, vu l'insuffisance des arguments.

Le premier débat était avec des futurs enseignants qui ont déjà acquis suffisamment de connaissances sur les problèmes discutés et aussi sur la notion du temps géologique. Le nouveau débat a lieu le mardi 2 décembre 2008 avec des élèves de la 3^{ème} année sciences expérimentales qui n'ont pas encore suivi le cours de la géologie. Le débat porte sur le couplage géologie-biologie et l'usage du temps géologique dans l'explication d'une crise biologique. Il est précédé par le remplissage d'un tableau et suivi de deux tableaux. Ces tableaux sont inspirés du tableau déjà proposé aux futurs enseignants, seulement nous avons limités leurs composantes aux phénomènes étudiés. Nous avons aussi combiné la colonne « vie » et « être vivant » en seule colonne « vivant » pour éviter l'amalgame que peut induire le sens philosophique du concept « vie ». Pour alléger la tâche aux élèves le débat portera uniquement sur la notion de crise biologique.

Echantillon et procédure

4 élèves en 3^{ème} année sciences expérimentales répartis en deux binômes ont participé à ce débat. Le nombre étant réduit parce que les élèves volontaires pour participer sont en période d'examens et se sont absenté à la dernière minute. Mes deux collègues chargés de cette enquête ont été obligés de le mener avec les présents.

1^{ère} phase : Chaque binôme remplit le tableau suivant

Tableau 20 : mise en relation des phénomènes naturels

Mise en relation	Vivant	Terre	Echelle géologique
Séismes et tsunami	- Catastrophe, dégâts matériels, - extinction de certaines espèces (insectes) - Prédiction des séismes et tsunami, éviter les catastrophes	- géodynamique interne et externe, - Transformation de l'énergie	Phénomène géologique long (subduction), suivi d'un séisme en un temps court
Formation des chaînes de montagnes	C'est tout simplement des Histoires de mon espace et de ma Terre	Construction des continents et des reliefs, Arriver à une connaissance de la dynamique globale de la terre en complément avec les connaissances des classes antérieures	Des phénomènes qui se déroulent sur des durées très longues, ponctués d'événements cataclysmiques Cycles
Crise biologique	La vie influe la Terre Ma place à comprendre ce qui s'est passé	La terre influe la Vie	Le Temps permet de lents bouleversements et de rapides changements

2^{ème} phase : déroulement du débat

Nous avons proposé à notre collègue chargée de l'enquête quelques pistes pour qu'elle puisse orienter le débat quand il nécessaire. Cette liste de questions n'est pas exhaustive, elle dépend du discours des élèves.

- * Dégager le maximum d'arguments d'explications se rapportant aux crises biologiques
- * vous avez trouvez les informations : médias, écoles, magazines, film
- * De quelle manière la géosphère influence-t-elle la biosphère ?
- * Exemples d'espèces ou groupes d'espèces ayant disparu ou n'ayant pas disparu
- * Le pourquoi, le comment, le quand pour les exemples qu'ils évoquent. Par exemple, pourquoi les dinosaures ont-ils disparu ? Quand le dernier dinosaure nous a quitté ? Quand le premier dinosaure a vu le jour ?
- * Expliquez la (ou les) cause(s) de la crise K/T ? proposer toutes les hypothèses possibles ? avec les arguments
- * Combien de temps la crise a durée? Vous êtes sur que ce temps est suffisant (ou insuffisant) pour la crise à fait disparaître ou apparaître les différents espèces évoqués
- * Notre monde évolue, une nouvelle crise biologique se prépare-t-elle ? cause, quand, proche pourquoi, combien elle va prendre du temps ?

A la fin de la discussion :

* chaque binôme propose une définition du temps géologique.

3^{ème} phase : chaque binôme remplit les deux tableaux

Tableau 21 : mise en relation du temps géologiques avec les phénomènes étudiés

	Séisme-tsunami	Formation des chaînes de montagnes	Crise biologique
Le temps géologique	Phénomène géologique long (subduction), séisme en un temps bref	Des phénomènes qui se déroulent sur des durées très longues, ponctués d'événements cataclysmiques Cycles	Le temps géologique permet de lents bouleversements et de rapides changements

Tableau 22 : couplage temps et biologie-géologie

	Vivant	Terre	Echelle géologique
Le temps géologique	Des temps les plus courts (réactions chimiques) aux plus longs (Évolution), en passant par les cycles et les biorythmes Anthropomorphisme De ma création aux étapes de ma vie, conduisant à la mort, ma place sur la terre, mon passé, mon avenir, mes rythmes et ma pérennité	Des phénomènes les plus brefs (séismes, éruptions) à la formation de "Pangée", en passant par les cycles et les rythmes géologiques	Il est court, il est long, il peut être rythmé

9. Méthodologie de construction des espaces de contraintes

La méthodologie d'analyse a été complètement décrite par C. Orange et reprise dans d'autres travaux (Orange D., 2003 ; F. Beorchia, 2003 ; Y. Lhoste, 2007). Nous avons définis dans le premier chapitre les différents registres de modélisation. Il s'agit là de reconstruire l'activité de la construction de problème, en se basant sur la distinction entre le registre des modèles (**RM**) et le registre empirique (**RE**), comme une mise en tension entre les contraintes empiriques (**CM**), éléments du registre empirique et les nécessités sur les modèles (**CM**), éléments du registre des modèles. L'espace de contrainte en jeu de chaque extrait du débat est une sorte d'articulation entre les éléments constitutifs de chaque registre. Le registre explicatif (**REx**) étant plus englobant, c'est lui qui organise la mise en relation des contraintes empiriques et des contraintes théoriques et/ou les nécessités sur les modèles. Nous référons donc les réponses de l'apprenant au registre empirique ou au registre des modèles ou à une

mise en tension entre les deux. Par la suite, nous attribuons à l'intervention le statut de contrainte empirique ou de nécessités sur les modèles (**CM**). Nous considérons comme contrainte un déjà-là convoqué dans un raisonnement actuel, alors qu'une nécessité serait un construit nouveau, sur la base d'un raisonnement.

Dans le chapitre suivant nous analysons les deux manuels tout en s'intéressant à au temps géologiques et à la problématisation.

Temps géologique et problématisation dans le manuel scolaire

Nous mènerons dans ce chapitre une étude pré-exploratoire fondée sur l'analyse comparative de deux manuels. Après une analyses descriptive des deux livres, nous procéderons par à une analyse qui illumine les deux volets notre recherche : problématisation et temps géologique. D'abord, nous étudierons les styles éducatifs présents et les situations-problèmes proposées par les auteurs en essayant de répondre à la question suivante : le style éducatif favorisé ou la situation-problème proposée engagerait-il l'élève dans la construction d'un problème scientifique ? Ensuite, nous étudierons l'utilité du temps géologique dans l'explication des phénomènes géologiques par le biais d'une analyse de l'échelle géologique, d'une analyse de l'utilité de ce concept à travers les illustrations. Nous finirons par l'analyse des termes pivots.

1. Analyse descriptive des manuels

Le thème géologique du manuel comporte, entre autres, les trois phénomènes naturels à savoir les séismes, l'orogénèse et les crises biologiques objet de notre recherche. Nous rappelons que la question principale porte sur l'usage du temps géologique dans l'explication des ces trois phénomènes par des apprenants tunisiens (élèves et futurs enseignants). Comme nous l'avons signalé, les séismes et la formation des chaînes de montagnes font partie du thème de la géologie enseigné aux élèves de la 2^{ème} année secondaire durant l'année scolaire 2004-2005. Lorsque nous avons entamé notre thèse en 2004, le thème des crises biologiques ne figurait pas dans l'enseignement secondaire ni dans les collèges. Le même thème a été basculé vers un niveau supérieur, il fait partie du programme de la 3^{ème} année sciences expérimentales durant l'année scolaire 2006-2007. Les crises biologiques prennent leur place dans le programme de la 3^{ème} année sciences expérimentales. Nous analysons donc les deux thèmes de la géologie traités dans les deux manuels en menant aussi une étude comparative : le manuel scolaire de la 2^{ème} année secondaire 2004-2005 et le manuel scolaire de la 3^{ème} année sciences expérimentales 2006-2007. Notant que dans ce dernier, le thème géologique ne diffère, dans sa globalité, du premier que par le chapitre traitant l'évolution biologique. Nous présentons dans le tableau ci-dessous les deux manuels analysés.

Tableau 23 : présentation générale des deux manuels analysés

	Manuel 1	Manuel 2
Titre	Sciences naturelles Géologie-Ecologie	Sciences de la vie et de la terre
Auteurs	Rachid Abroug Mongi Zakhama, Med Salah Mzali Mohsen Tayeb	Inspecteur Principal : Rachid Abroug Inspectrice : Melika Belguith Inspectrice : Farida Ferjani Inspecteur : Dhafer Sallami Professeur principal : Mohamed Tounsi Professeur : Samir Ben Rejeb
Edition, code, année	Centre national pédagogique 225-201---2004-2005	Centre national pédagogique 225-332 ; 2006-2007
Programmes officiels	Décret n°	Décret n°
Nombre total de pages	202	351
Niveau scolaire	2^{ème} année secondaire	3^{ème} année sciences expérimentales
Age	16-17 ans	17-18 ans
Horaire destiné au thème de la géologie	10 semaines (2.5h/semaine)	7 Semaines (4 h/semaine)

A première vue, nous remarquons le changement d'appellation qui suit l'évolution normale des deux disciplines de la biologie et de la géologie regroupées ensemble sous le nom des « sciences naturelles » puis « les sciences de la vie et de la terre ». Pour le manuel de la 2^{ème} année secondaire, nous n'avons aucune idée sur le statut des auteurs par contre pour celui de la 3^{ème} année secondaire les grades y apparaissent. Deux tiers des auteurs de ce dernier appartiennent aux corps d'inspection, les autres sont des enseignants du secondaire qui sont, souvent, issus des milieux qui gravitent autour du corps d'inspection. En fait, la tendance générale est de privilégier les spécialistes de la pédagogie, de la didactique et les praticiens de terrain. Nous n'avons pas une idée sur la formation des auteurs en didactique des sciences. En Tunisie, le manuel est universel, un seul manuel par discipline. Il est géré par le centre national pédagogique (CNP) et par le ministère de l'éducation et de la formation sur le plan de l'élaboration des programmes et de l'édition. Y-a-t-il une différence d'un manuel et d'un niveau à l'autre ? S'agit-il du même savoir véhiculé ?

2. Analyse comparative de la hiérarchie des deux manuels

Le choix des thèmes dépend de la problématique générale de notre étude. Nous focalisons notre étude sur la dimension spatiotemporelle et son rôle dans la compréhension de certains phénomènes géologiques : séismes, orogénèse et crises biologiques. Mais vu la relation entre

les deux disciplines géologiques et biologiques, nous ne pouvons pas faire trop de choix, donc nous analysons le thème complet avec des grilles d'analyses. L'explication des séismes et de l'orogénèse se fait dans le cadre de la théorie de la tectonique des plaques. Les crises biologiques relient la biologie et la géologie. Dans un cadre plus large, la vie, la terre, le temps et l'espace sont les concepts scientifiques clés de notre analyse. Nous donnons une idée sur les différentes parties analysées du thème de la géologie dans le tableau suivant, mais notons que cette analyse ne se limite pas à ces parties.

Tableau 24 : thème analysé ; manuel de la 3^{ème} année sciences expérimentales

Thème	Phénomènes géologiques, échelles, théorie	Chapitres, sections ou paragraphes
Dynamique du globe terrestre et évolution biologique	Echelles géologiques	- Le calendrier géologique (p 275) - comment dater les fossiles (p330)
	Séismes	- La sismologie, un outil d'investigation (pp 279-282). - Les fosses océaniques, une sismicité particulière (p308) - La théorie de la tectonique explique la répartition des séismes et des volcans (pp 313) - La tectonique des plaques à l'origine de la sismicité et du volcanisme (p 323)
	Formation des chaînes de montagnes	- La tectonique des plaques explique la formation des chaînes de montagnes : cas de l'Atlas tunisien (pp319-321) - L'orogénèse de l'Atlas tunisien (p 323)
	Crises biologiques	- L'évolution biologique comporte des périodes de crise (pp337-339) - Une disparition mystérieuse (p 341) - relation entre l'évolution biologique et l'évolution géologique (pp 344-346)

L'un des objectifs de notre travail est la problématisation du temps géologique par des futurs enseignants. Nous essayons de construire leurs espaces de contraintes dans lesquelles se situent leurs explications. Nous avons remarqué qu'au début de chaque chapitre une situation-problème²² est mise à la disposition des élèves et des enseignants. L'analyse de chaque situation-problème serait d'un apport important pour la compréhension de la construction de problème en sciences de la vie et de la terre. Nous ne reprenons pas ici l'histoire complexe du trait d'union entre situation et problème. Nous étudions chaque situation-problème dans un cadre didactique imprégné de réflexions épistémologiques. Dans le manuel de la 2^{ème} nous

²² Cette appellation est proposée par les auteurs du manuel

trouvons au début de chaque chapitre une partie appelée « *réfléchissons* » (tableau 29) avec des questions dont les élèves et le professeur découvrent la réponse au fur et mesure qu'ils avancent dans le chapitre. Qu'est ce qui fait différence entre un début « *réfléchissons* » de celui de « *situation-problème* » ?

Nous présentons dans le tableau suivant quelques exemples de sections, paragraphes ou chapitre analysés dans le manuel scolaire de la 2^{ème} année secondaire.

Tableau 25 : thème analysé ; manuel scolaire de la 2^{ème} année secondaire

Thème	Phénomènes géologiques, échelles, théorie	Chapitres, sections ou paragraphes
La structure du globe terrestre	Séismes	- Réfléchissons p 44 - comprenons pp 45- 49 - testons notre acquis p50
La tectonique des plaques	Formation des chaînes de montagnes	- Réfléchissons (p53, question 3) - Comprendons pp 60-63 - Testons notre acquis pp65-66 - Echelle stratigraphique p67
	Crises biologiques	Ne sont pas enseigné à ce niveau

La hiérarchisation de chaque chapitre comporte, dans ce manuel, une partie dite de réflexion, une partie de compréhension, un test des acquis et une partie d'informations. Dans la partie « *réfléchissons* » on trouve des questions scientifiques dont la réponse peut ne pas être à la portée des élèves et ne peut être comprise qu'après l'étude du chapitre entier. Ces questions sont souvent connues par les enseignants mais engagent-ils les élèves dans une réflexion ? Au début du chapitre, la majorité des élèves ne pourraient pas donner une esquisse de réponse à la question « comment est la structure interne du globe terrestre ? » (M1, p44)²³. La partie « *comprendons* » est consacrée à l'explication scientifique à l'aide de textes et des illustrations que nous analyserons plus tard. La partie « testons notre acquis » renferme des exercices. Dans la partie « informons-nous » on trouve des explications supplémentaires comme par exemple « l'échelle de Richter ».

La hiérarchisation de chaque chapitre dans le manuel de la 3^{ème} année Sc. Exp. a changé par rapport à celle du Manuel de la 2^{ème} année secondaire. Nous assistons à une multiplication des rubriques : les objectifs visés, la situation-problème, les préacquis, les activités, la synthèse,

²³ Manuel scolaire de la 2^{ème} année secondaire p. 44 (voir annexe)

les exercices, la recherche. Il est important de noter cette évolution hiérarchique même si nous doutons de l'utilité de l'intercalation de certaines parties. Nous ne voyons pas, si nous voulons développer une certaine autonomie de l'explication des phénomènes naturels chez l'élève, pourquoi mettre la partie *recherche* à la fin du chapitre. L'usage des outils disponibles (carte géologiques, médias, magazines, Internet) dans la recherche sur un thème particulier avant même de l'entamer pourrait leurs permettre de mieux comprendre en classe. Ce travail sera donc considéré comme des préacquis et donc cette rubrique « préacquis » pourrait prendre place avant la rubrique « *situation-problème* ». Reste à savoir s'il s'agit vraiment de situation-problème et pas d'une simple « *mode* » des auteurs influencé par les travaux didactiques des sciences depuis une décennie. L'analyse nous apportera quelques éléments de réponses. Ce n'était qu'une analyse superficielle, dans ce qui suit nous essayons à l'aide de grilles de se focaliser sur le contenu de chaque manuel (textes et illustrations) tout en renvoyant l'analyse à l'ampleur que porte le temps géologique comme concept clé de l'explication des problèmes géologiques.

3. Les styles éducatifs, situations-problèmes et problématisation

Nous essayons de voir si les styles éducatifs privilégiés et les situations-problèmes proposées contribueraient au développement de l'autonomie de réflexion chez les élèves et de l'élaboration de leur propre savoir.

3.1. Les styles éducatifs dans le manuel de la 2^{ème} année secondaire

Tels que nous l'avons expliqué lors de la présentation de la grille d'analyse, nous lisons le contenu du manuel et nous essayons d'identifier et repérer les styles B, C et D en donnant des exemples et des citations. Le reste du contenu sera considéré du type A.

Tableau 26 : styles éducatifs dans le manuel de la 2^{ème} année secondaire

Style éducatif	citations significatives, exemples, arguments, illustrations (si utile, ajoutez l'annexe avec la photocopie ou scanner des pages)
(A)	Le resté u contenu
(B)	p44- comment est la structure interne du globe ? » - Comment peut-on élucider ? - que peut-on déduire ? - tableau 1 + que peut-on déduire ? - tableau 2 + que peut-on déduire ? P47 : exercices n°1 (reportez, que pensez-vous, que peut-on conclure)
(C)	p50 : exercice n° 2 (représentez graphiquement, calculez la vitesse des ondes) p53 : Questions + images : - la répartition des continents et des océans est-elle stable ou en évolution. - comment expliquer... ? - chaînes de montagnes : comment expliquer leur naissance ?
(D)	P64-66 Exercice n°1 : quels renseignements géologiques peut-on tirer en ce qui concerne le fond de l'atlantique sud ? Exercice 2 : expliquez le mouvement des quatre plaques représentées dans la figure Exercice n°3 : analyser ce profil, comment expliquer la structure du rift

15/24 pages analysées renferment un contenu scientifique de type informatif, c'est une transmission des connaissances sans aucune incitation à la réflexion. Il s'agit, grosso modo, de définitions, d'explications de concepts scientifiques, des analyses d'illustrations. Dans la majorité des cas, les connaissances scientifiques sont données sous forme de résultats. La présence des deux styles éducatifs injonctif et persuasif montre le dogmatisme qui pourrait être induit par les concepteurs et les auteurs du programme. Limiter ces types de styles dans le manuel, évite l'obligation de l'utilisateur du manuel d'être enfermé dans le souci des auteurs de manuels. Le fait que la science est vraie, tant qu'elle n'est pas réfutable, ne devrait en aucun être transposé comme cumul de résultats dans le manuel.

Les auteurs ont essayé de développer le style participatif à l'aide des images ou des tableaux et/ou un texte explicatif suivis de questions de déduction ou d'interprétation sous forme d'exercices d'application. Le style éducatif participatif se résume en trois exercices de trois pages à la fin du chapitre. La majorité des questions demande l'interprétation d'une carte géologique, une courbe ou une coupe géologique. Nous pensons que les élèves seront aptes à avancer des éléments de réponses après avoir suivi le cours.

D'une façon générale, le style informatif l'emporte sur les autres styles éducatifs. Le manuel semble être fait pour l'enseignant. Le discours transmissif limiterait le développement de l'esprit créatif chez l'élève. La connaissance scientifique enseignée sous forme d'information

et de cumul de résultats dictée à l'élève ne développerait pas son autonomie et sa vision critique.

3.2. Les styles éducatifs dans le manuel de la 3^{ème} année sciences expérimentales

Le nombre de pages analysées étant élevé, nous présentons l'analyse dans trois tableaux. Nous comparons aussi les styles privilégiés dans ce manuel et celui de la 2^{ème} année secondaire. Quels types de styles éducatifs sont favorisés après les réformes du programme? Notons aussi que ce n'est pas le même niveau scolaire auquel est destiné le même thème de la géologie.

Dans le tableau suivant nous récapitulons les styles éducatifs privilégiés dans le chapitre portant sur la structure et la composition du globe terrestre.

Tableau 27 : Styles éducatifs, manuel de la 3^{ème} année sciences expérimentales pp274-295

Style éducatif	Citations Significatives, exemples, arguments, illustrations
(A)	Tout le reste du contenu
(B)	<p>p279: activité : texte + illustrations</p> <ul style="list-style-type: none"> - Localiser sur le document 6, l'épicentre et l'hypocentre <p>p284: activité : courbe</p> <p>Formuler des conclusions sur la structure du globe terrestre.</p> <p>p 285: activité : doc 17</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nommer à partir du document les différentes parties du manteau <p>p286-287 : Activité</p> <ul style="list-style-type: none"> - Analyser, montrer, préciser... - Comment peut-on expliquer que parmi tous les milieux du globe terrestre, seul le noyau externe est à l'état liquide <p>p290-291: Activité : schémas+ tableau</p> <ul style="list-style-type: none"> - A partir du document, indiquer la composition chimique du manteau
(C)	<p>p280: activité : textes + illustrations</p> <ul style="list-style-type: none"> - proposer une hypothèse expliquant la naissance de ces ondes ? <p>p281: activité : courbe</p> <ul style="list-style-type: none"> - que peut-on déduire <p>p281: activité : courbe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Proposer une hypothèse permettant d'expliquer ces variations brusques ?
(D)	<p>p278 : Situation-problème</p> <p>p295 : Exercices</p>

Le tableau suivant résume les styles éducatifs privilégiés dans le chapitre portant sur la tectonique des plaques.

Tableau 28 : styles éducatifs dans le manuel de la 3^{ème} année Sc. Exp. pp296-325

Style éducatif	Citations significatives, exemples, arguments, illustrations
(A)	Tous le reste du contenu
(B)	<p>p300 : activité : schémas 9-12+ portrait de Wegener</p> <ul style="list-style-type: none"> - Indiquer la composition du Gondwana - quelles preuves géographiques peut-on chercher pour valider cette théorie ? <p>p301 : activité : carte géologiques+textes+schémas de répartition de fossiles en Afrique et Amérique</p> <ul style="list-style-type: none"> - déduire des preuves en faveur de la théorie de la dérive des continents <p>p303: activité : schémas, textes</p> <p>quelle relation peut-on faire entre l'expansion océanique et la dérive des continents ?</p> <p>p306 : Synthèse des activités :</p> <p>Rédiger un résumé sur l'expansion océanique (mécanisme et preuves) proposé par la théorie d'Harry Hess (dans les années 40)</p>
(C)	<p>p304: activité : carte+coupe</p> <ul style="list-style-type: none"> - proposer une hypothèse expliquant la variation de l'épaisseur au fond océanique -rédiger un résumé qui explique l'orogénèse de l'Atlas Tunisien.
(D)	<p>p297 : situation problème</p> <p>p325 : exercices</p>

Le tableau suivant présente l'analyse du chapitre portant sur la dynamique du globe terrestre et l'évolution biologique. Cette partie est rajoutée au programme de la 3^{ème} année sciences expérimentales en 2006. Elle n'était enseignée auparavant à aucun niveau scolaire. Comme nous l'avons noté précédemment, lorsque nous avons entamé notre thèse en 2004, ce chapitre était une grande lacune dans le programme des sciences de la vie et de la terre. Si le chapitre fait partie du programme, dans quels styles éducatifs les concepteurs du programme l'ont-ils placés ?

Tableau 29 : Styles éducatifs, manuel de la 3^{ème} année Sc. Exp. pp326-349

Style Educatif	Citations significatives, exemples, arguments, illustrations
(A)	Tous le reste du contenu
(B)	<p>p330: texte+ schémas - En vous appuyant sur vos connaissances de génétique, discuter les deux théories présentées.</p> <p>p331: schémas + informations Comparer l'Ichtyostéga aux poissons et aux amphibiens.</p> <p>p332: schémas + définitions Exploiter les informations et déduire une argumentation en faveur de la théorie de l'évolution</p> <p>p334: arbre phylogénique Comparer le degré de parenté des mammifères.</p> <p>p336: courbes+textes Par l'exploitation des documents faire le lien entre la teneur de l'atmosphère en oxygène et la variation de la biomasse</p>
(C)	<p>p335 : schémas des continents à l'ère primaire+ schémas biotopes des vieux grès rouges Expliquer comment le déplacement des continents qui résulte de la tectonique des plaques a un effet sur l'évolution biologique : la séparation des continents favorise l'augmentation de la biodiversité et leur rassemblement réduit cette biodiversité.</p> <p>p337: texte +document Formuler une hypothèse pour expliquer le pic d'iridium observé au niveau de la couche d'argile noire à la fin du crétacé.</p> <p>p339: Document+texte Analyser le document, déduire de l'isthme du panama dans l'évolution de la biodiversité de la faune des deux Amériques.</p> <p>p340: Texte+ documents Poser une hypothèse expliquant l'évolution du nombre de représentants des groupes des trilobites en fonction du temps</p> <p>p341: texte+ documents Proposer une hypothèse sur l'extinction des dinosaures.</p> <p>p342 : texte+ documents Proposer des hypothèses pour expliquer l'extinction des végétaux et l'origine du charbon fossile.</p>
(D)	<p>p327: situation-problème</p> <p>p328: situation-problème</p> <p>p347 : exercices</p> <p>p349- Recherche</p>

Nous remarquons toujours la présence des deux styles B et C (injonctif et persuasif) dans le manuel de la 3^{ème} année sciences expérimentales sous forme de suggestions imposées aux apprenants. Le style informatif prédomine l'ensemble des pages analysées. La tendance de donner plus d'ampleur au style participatif se résume par la multiplicité des activités proposées aux lecteurs et particulièrement aux élèves. Ces activités présentées renvoient plus

aux styles injonctif et persuasif et donnent à l'élève une certaine autonomie de réflexion. Le style participatif a pris lui aussi plus d'ampleur dans ce nouveau programme, nous retrouvons au début de chaque chapitre au moins une situation-problème, des exercices à la fin de chaque chapitre et une rubrique de recherche. Ces trois volets différents montre la volonté des concepteurs et/ou des auteurs d'engager plus l'apprenant dans le développement de son processus d'acquisition des connaissances. Nous comparons dans ce qui suit les styles privilégiés par les auteurs dans les deux manuels.

3.3. Analyse comparative des styles éducatifs privilégiés

Nous comparons dans le tableau suivant les styles éducatifs des deux manuels.

Tableau 30 : Comparaison des styles privilégiés dans les deux manuels

Styles éducatifs	M1	M2
(A)	Dominant	peu dominant
(B)	Présent	présent
(C)	Présent	Présent
(D)	peu présent	peu présent

Le style le plus dominant les thèmes analysés est le style informatif. Mais nous remarquons une évolution de la conception des auteurs concernant ce style dont sa domination étant réduite dans le manuel de la 3^{ème} année sciences expérimentales. Le style participatif peu présent dans le manuel M1 prend plus d'ampleur dans le manuel M2. Le style injonctif et celui persuasif sont encore présents dans le manuel M2. Il est plus important de considérer l'effort de s'orienter vers la multiplication des activités destinées aux apprenants. Au niveau de la 2^{ème} année, ces activités se résument en quelques phrases. Dans le nouveau programme, il semble que les auteurs sont conscients du rôle que peut jouer l'autonomie des élèves dans la construction de leur savoir. Quoi qu'il en soit, le style participatif reste peu développé dans d'autres manuels tunisiens (M. Abrougui et al., 2007). Il serait souhaitable d'engager plus l'élève dans l'élaboration et la construction de son savoir et de s'échapper du dogmatisme. Cependant, le dogmatisme réapparaît toujours dans le style informatif. N'y a-t-il pas d'autres méthodes pour ne pas présenter les sciences comme cumul de résultats ?

L'essai de passer de la dominance du style informatif vers le style participatif, dans le nouveau thème de la géologie, ainsi que la limitation des autres styles reflète une orientation vers cette tendance à l'autonomie et à la réflexion. En fait, la prédominance du style informatif traduit la conception d'une transmission de résultats scientifiques cumulés, et ne développe pas le plaisir de l'invention chez l'apprenant. Il est important de signaler que les

incitations à la participation dans les activités sont nécessaires (notamment dans le manuel de la 3^{ème} année sciences expérimentales), mais parfois elles renvoient à une solution et n'incitent pas forcément à l'élève à se poser des questions. Notre travail est inscrit dans une approche constructiviste qui met en jeu la construction du problème scientifique par l'apprenant. Il est regrettable de voir le style informatif l'emporter sur les autres styles dans les activités proposées aux élèves. L'apparition du concept didactique « situation-problème »²⁴ dans le manuel de la 3^{ème} année favorise une tendance au style participatif. Néanmoins, il ne suffit pas seulement de favoriser ce style, comme c'est remarquablement fait dans le manuel, mais il est aussi nécessaire d'engager l'apprenant dans une approche de construction du problème. Nous reviendrons plus tard à l'analyse des trois situations problèmes figurant dans le manuel afin de nous assurer des tendances des concepteurs et de leur efficacité dans l'enseignement du thème de la géologie.

3.4. Conclusion

Il paraît, à travers la réforme du programme et du contenu du manuel, que les auteurs du programme sont convaincus par l'utilité de la participation et de l'autonomie de l'élève dans la construction de son savoir. Néanmoins, l'analyse montre que cette prise de conscience est limitée dans la mise en texte du savoir. L'utilisation de grilles de catégorisation des styles éducatifs nous a montré que les enseignements semblent ne pas être problématisés et finalisés dans le but d'aider les apprenants à agir avec réflexion critique sur le contenu et leur permettre de problématiser leur propre savoir. La multiplication des activités dans le programme de la 3^{ème} s'avère d'importance dans les processus de mise en texte des savoirs. Cependant ces activités restent très centrées sur le contenu scientifique et la géologie semble être exclue du contexte socio-économique. Nous n'avons trouvé aucune importance, dans les deux manuels, donnée à la prévention où la prédiction des séismes par exemple.

Il convient donc de retenir que :

- L'ampleur du style informatif, qui favorise une transmission du savoir sous forme de cumul de résultats, pourrait mener les auteurs des manuels à se questionner sur les objectifs réels de la mise en texte des contenus d'enseignement.
- La limitation des styles injonctifs et persuasifs réduit le dogmatisme scientifique et rompt avec une éducation autoritaire.
- La tendance dans le nouveau programme de la géologie à l'usage du style participatif reste

²⁴ Cette appellation est proposée par les auteurs du manuel

limitée et ne peut traduire l'autonomie de l'apprenant dans la construction de son savoir. Cette participation pourrait être associée à d'autres dimensions, socio-économiques par exemple.

3.5. Analyse des rubriques ; « situations-problèmes²⁵ » et « réfléchissons »

Les situations-problèmes sont proposées dans le manuel de la 3^{ème} année Sc. Exp. par contre la rubrique « réfléchissons » est proposée dans le manuel de la 2^{ème} année secondaire. La présentation d'une situation-problème au début d'un chapitre est particulièrement efficace. Elle permet aux élèves d'explorer et de mobiliser leurs pré-acquis. Elle permet aussi d'attirer l'attention de l'apprenant et de l'impliquer dans la situation de construction du problème et de sa résolution. Néanmoins, si la construction de problème peut être faite au début, sa résolution totale n'est pas une obligation tant que la séance ou le chapitre est en cours.

Nous récapitulons dans ce qui suit les exemples de situations-problèmes présentées au début de chaque chapitre du thème de la géologie avec leurs questions. Afin d'incarner cette analyse dans notre projet de recherche portant sur la construction des problèmes en sciences, nous transposons une grille d'analyse, élaborée par moi-même dans la typologie des questions des enseignants pour analyser les différentes questions posées dans les trois situations-problèmes. Comme nous l'avons proposé, cette grille nous permet d'identifier les attributs associés aux concepts « problème ». Nous essayons donc de montrer si les questions posées dans les situations-problèmes renvoient à des problèmes scientifiques ou aident à leur construction. Nous essayons de déterminer les typologies des questions et de les classer dans les différentes catégories : Questions conceptuelles (obtenir des idées, des définitions...etc.) ; Questions empiriques : (faits, expérimentation...etc.) ; Questions pédagogiques (gestion de la classe, compréhension, mémorisation) ; Questions de valeurs (des questions relatives à l'environnement, à la société) ; Questions de transfert ou problème scientifique (questions d'extension de la pensée, application des connaissances à de nouveaux problèmes scientifiques). C'est ce dernier type de questions que nous considérons corrélant avec notre étude sur la construction de problèmes en sciences.

²⁵ Situations-problèmes proposées par les auteurs du manuel.

Tableau 31 : typologie de questions posées dans les situations-problèmes

Situation-problème	Types des questions	Exemples
P278 3 questions	Conceptuelle, empirique	Quelle est l'origine de l'énergie dissipée lors de la production des séismes et des volcans
P 297 2 questions	Empirique	Comment expliquer la répartition des séismes, des volcans et des chaînes de montagnes ?
P298 7 questions	Empirique Conceptuelle De transfert	Comment expliquer la jeunesse de la croûte océanique ? Que signifie-t-elle ? (théorie de la tectonique des plaques) Peut-on exploiter la théorie de la tectonique des plaques pour prédire l'évolution géologique de certaines régions du globe ?
P 328 1 questions	Empirique	Quels sont les arguments qui plaident en faveur de la théorie de l'évolution ?

L'ensemble des questions, présentées successivement dans ce tableau, retrace exactement le programme, c'est une sorte d'hierarchisation du cours pour le professeur. Elles sont des questions qui peuvent être des sous-titres dans un chapitre. A notre sens, seul l'enseignant est capable de répondre à ces questions, leur résolution sera le cours dicté aux élèves en situation d'apprendre. Les problèmes qu'ils proposent sont des opérations mentales, l'élève ne peut y répondre qu'après avoir acquis une certaine connaissance.

Les situations-problèmes sont accompagnés de textes, d'images ...etc. qui n'ont pas parfois de relations avec les questions. Par exemple le texte p 278 parle d'échelle, d'énergie sismique alors que l'élève n'a pas encore une idée sur ces notions ; par contre les questions (voir tableau 39) vont dans un autre sens, sur le modèle structural et/ou l'analyse des ondes. Il s'agit bien de questions conceptuelles qui ne renvoient à aucun problème. Un énoncé qui renvoie à un « vrai » problème ne donne pas des indices de réponses. Ce n'est pas le cas de du 2^{ème} problème (Manuel, p 297-298)²⁶, le texte explique bien la jeunesse de la croûte océanique sujet de la question posée « comment expliquer la jeunesse de la croûte océanique. »

Dans la situation-problème (manuel, page 298)²⁷ sur la tectonique des plaques, on demande aux élèves la signification de cette théorie ou son utilité. Nous avons montré dans des travaux antérieurs (Y. Boughanmi, 2004) que les élèves ne font pas la différence entre la dérive des continents et la théorie de la tectonique des plaques et ce, après l'enseignement du thème de la géologie. La théorie de la tectonique des plaques n'est pas conçue comme un modèle explicatif des autres phénomènes géologiques. En posant ces questions au début du thème,

²⁶ Manuel scolaire de la 3^{ème} année Sc. Exp. (voir annexe)

²⁷ Manuel scolaire de la 3^{ème} année sciences expérimentales

seul l'enseignant serait apte de répondre. La majorité des questions, posées dans les différentes situations-problèmes, sont des questions conceptuelles, certaines sont empiriques ; aucune question qui permette l'extension de la pensée. S'il n'y a pas de l'imprévisible dans la situation-problème qui rend la tâche un peu difficile pour l'élève et l'oblige de chercher ailleurs, elle devient une simple question scientifique où il n'est plus l'acteur. Certaines questions pédagogiques portent sur la signification d'une théorie, d'autres portent sur l'évolution climatique. Mais nous remarquons que le thème de la géologie n'est pas relié à la société. Nous n'avons pas des questions sur la prédiction des séismes, par exemple. La géologie est une discipline qui touche de près l'éducation à l'environnement. Quant à la construction de problème, ses situations-problèmes ne font pas l'objet de cette approche étant donné qu'elles ne renvoient pas à des problèmes. Les problèmes que soulèvent les situations-problèmes sont des questions purement scientifiques, œuvre de l'enseignant et de l'expert. Il serait important d'impliquer l'apprenant dans l'acte même de son apprentissage afin de lui permettre de développer des aptitudes auxiliaires de construction du problème, et au-delà sa résolution.

Nous revenons aussi au manuel de la 2^{ème} année secondaire pour catégoriser les questions posées dans la rubrique « *réfléchissons* ». Quels types de questions sont proposés par les auteurs dans cette rubrique ? Renvoient-elles à une extension de la pensée ?

Tableau 32 : Typologie des questions dans la rubrique « réfléchissons » du manuel de la 2^{ème} AS

Réfléchissons	Types de questions	Exemples
P 44 2 questions	Empirique De transfert	Comment est la structure du globe terrestre ? Que peut-on déduire ?
P 53 1 questions	Empirique	Comment expliquer la naissance des chaînes de montagnes ?

Par comparaison au nouveau manuel, la rubrique « réfléchissons » n'offre pas beaucoup de questions à travers lesquelles nous pouvons estimer l'engagement des apprenants des situations de problématisation. La majorité des questions dans les deux manuels sont empiriques et parfois conceptuelles. Les réponses à ces questions sont un cumul de connaissances que l'enseignant est censé expliquer ou dicter aux apprenants. Ce type de questions n'engagerait pas les élèves dans un processus de réflexion ou d'extension de la pensée et ne leur donnerait pas l'occasion de réfléchir sur l'utilité de telles connaissances dans leur environnement social.

3.6. Conclusion

Le style informatif favorisé dans les deux manuels et les situations-problèmes à travers lesquelles les auteurs cherchent à sélectionner de « bonnes questions » susceptibles d'intéresser les élèves semble être limité pour développer une auto-construction du savoir. Toutefois, explorer des questions problématiques ou amener les élèves à problématiser peut bien sûr se faire via toute une série de situations-problèmes ou à travers un style participatif faisant de l'élève l'élaborateur de sa connaissance. Toutefois, les questions posées dans les situations-problèmes sont des questions empiriques ou conceptuelles. Une situation problème ne se confond pas à la problématique et pourrait être une démarche concrète adaptée aux élèves afin qu'ils apprennent quelques choses. Les situations-problèmes ou plutôt « bonnes questions » scientifiques proposés par les auteurs sont difficiles à résoudre vu le manque de connaissances chez les élèves et ne favoriseraient pas l'engagement de l'élève dans une problématisation. La seule question qu'on a supposé de transférer et posera un problème, mais après enseignement du thème entier de la géologie, porte sur l'utilité de la théorie de la tectonique des plaques dans l'explication de l'évolution géologique. Une situation-problème devrait permettre le franchissement de certains obstacles sans qu'elle soit trop difficile sous peine d'abandon de l'apprentissage par l'apprenant. Elle pourrait être plus pertinente qu'elle aura du sens pour l'apprenant, notamment si elle est reliée à des situations de son monde ou société.

4. Le temps géologique dans les deux manuels

On s'intéresse ici au concept « temps géologique » en enchaînant par une comparaison de l'échelle géologique dans les deux manuels : son emplacement, sa nomination, son contenu...etc. Nous analysons aussi les illustrations et leur contenu afin d'étudier la place que donnent les auteurs à ce concept clés de l'enseignement de la biologie ou la géologie.

4.1. Echelle stratigraphique ou calendrier géologique

Dans le manuel de la 2^{ème} année secondaire, l'échelle stratigraphique est présentée à la fin du thème de la géologie. Cet échelle renferme les ères, les systèmes, les séries et une échelle géologique en millions d'années (MA). L'évolution des êtres vivants depuis l'apparition des animaux à coquilles jusqu'à l'Homo Sapiens sont placés dans la 5^{ème} colonne du tableau (voir annexe 8). La 6^{ème} colonne est consacrée aux différents épisodes géologiques de formation

des chaînes de montagnes du Calédonien²⁸ jusqu'à l'Alpin tardif (Cénozoïque, Ere Tertiaire). Sur le plan connaissance, nous pensons que cette échelle stratigraphique est une synthèse de plusieurs travaux. Nous regrettons l'emplacement de cette échelle à la fin du thème comme un complément du cours et non comme base dans l'explication des différents phénomènes géologiques. Autre problème, celui de la lisibilité, à peine peut-on lire 50% du contenu scientifique. Nous aurions souhaité voir cette échelle placée au début du cours tout en lui consacrant une explication pour que les élèves se familiarisent avec son usage. Une séance de formation des élèves sur son usage, sa lecture et surtout l'explication de son échelle temporelle leur permettra de prendre en conscience l'importance du temps géologique dans l'explication des phénomènes naturels qui ont frappé la planète. En plus, nous ne voyons pas l'intérêt de la colonne concernant l'évolution des êtres vivants étant donné qu'à ce niveau, en 2004-2005, la relation évolution-dynamique du globe terrestre n'étant pas enseignée. Le graphique aurait pu être allégé.

Notre souhait s'est transformé en réalité, dans le nouveau programme de la 3^{ème} année sciences expérimentales le calendrier géologique (au lieu de « échelle stratigraphique »), est placé au début du thème de la géologie (voir annexe p). Mais nous étions étonnés de cette appellation. Nous ne savons pas si les auteurs et les concepteurs du programme prennent en compte la différence entre « échelle stratigraphique » et « calendrier géologique », mais nous pensons qu'ils ont tendance à simplifier les concepts pour les élèves. Cette expression est utilisée dans la vie quotidienne pour indiquer le calendrier annuel bien connu des apprenants. Ne crée-t-il pas un obstacle épistémologique ? Le mot « calendrier » renvoie au temps à l'échelle humaine qui échappe à l'appréhension du temps géologique. Nous ne nions pas l'effort des auteurs concernant la clarté et la lisibilité du graphique avec Eres, systèmes, Séries et échelle temporelle (en millions d'années). Mais contrairement au graphique dans le manuel de la 2^{ème} année secondaire, nous ne trouvons pas sur ce « calendrier géologique » les différentes étapes de l'évolution des êtres vivants, alors qu'un chapitre entier est consacré à la relation évolution-dynamique terrestre.

4.2. Le temps géologique et la typologie des illustrations

Nous essayons de voir, principalement, si le temps géologique prend de l'ampleur dans les schémas, les illustrations ou les diagrammes. Mais on s'intéresse aussi au concept de l'espace

²⁸ Les formations sédimentaires et volcaniques dont les âges s'étalent du Permien (225-280 millions d'années) au Tertiaire (1,5 - 65 MA). Certaines formations de la chaîne seraient plus anciennes que le Permien mais leur âge n'est pas déterminé.

et à l'explication de certains phénomènes géologiques et ce par l'analyse du contenu et du type des illustrations. Nous catégorisons les différentes illustrations tout en les mettant en relation avec les conceptions scientifiques. Nous présentons dans le tableau suivant l'analyse des illustrations des selon le contenu scientifique et les types d'images.

Tableau 33 : Typologie des illustrations dans le manuel de la 2^{ème} année secondaire

Conceptions scientifiques Typologie des images			Contenu de l'illustration						Total (au total 24 pages analysées) (Surface totale analysée 12720 cm ²)		
			Temps géologique (représentant ou non le temps géologiques)		Espace géologique (deux dimensions, trois dimensions)		Théorique (explication d'un phénomène ou un événement géologique)				
			Nombre d'image	Surface (cm ²)	Nombre d'image	Surface (cm ²)	Nombre d'image	Surface (cm ²)	Nombre d'image	Surface (cm ²)	Surface (%)
Image figurative	Macroscopique	Photo			1	243,1	7	580,55	8	823,65	6,47%
		Schéma ou dessin									
	Microscopique	Photo									
		Schéma ou dessin									
Image graphique	Image de conceptualisation scientifique (schéma ou image non figuratif)		5	231,43			20	862,09	25	1093,52	8,59%
	Donnée empirique (tableau, graphe, courbe, carte, échelle)		1	147	5	487,32	15	644,1	21	1278,42	10,05%
Total		Nombre d'image	6		6		42		54		
		Surface (cm ²)		378,43		730,42		2086,74		3195,59	
		Surface (%)		2,97%		5,74%		16,4%			25,11%

Un quart de la surface totale des pages analysées est consacré aux illustrations. Nous remarquons que les images figuratives macroscopiques se résument essentiellement en photos, elles représentent 6,47%. Elles représentent généralement des photographies de volcans en éruption, une destruction d'une maison suite à un séisme, une photo satellitaire de la planète terre, une photo d'un scientifique (Wegener, Le Pichon). Les schémas microscopiques ne sont pas présents dans ce manuel. Souvent ce sont les images microscopiques de la cristallographie qu'on trouve dans un manuel. Les images graphiques représentent 18,64% de la surface totale des pages analysées dont 8,59% sont des images de conceptualisation et environ 10% des données empiriques (tableaux, graphe, courbes, cartes géologiques). Sur le plan du contenu des illustrations et essentiellement de ce qui renvoie à notre problématique de départ, à savoir l'utilité de la conception spatiotemporelle dans l'enseignement-apprentissage de la géologie, le nombre d'illustrations est minime. Six images dont chacune renferme au moins une notion qui renvoie à l'immensité du temps géologique. Six images, aussi, donnant de l'importance à l'espace dans la géologie, mais surtout c'est l'espace à deux dimensions traduit souvent en cartes géologiques représentées dans le plan (au sens géométrique du terme). Il semble que les auteurs ne donnent pas une grande importance aux concepts « temps » et « espace ». Ils sembleraient que les auteurs donnent plus d'importance aux illustrations utilisées dans l'explication des phénomènes géologiques (42/52 images soit 16,4% de la surface totale). Ces illustrations sont principalement des images de conceptualisation. L'image, dans ce manuel, qui n'occupe qu'un quart de la surface totale des pages traitant le thème de la géologie risque de minimiser son utilité dans l'explication scientifique vu les difficultés de l'appréhension des modèles en géologie. Dans ce qui suit nous analysons les illustrations du manuel de la 3^{ème} année sciences expérimentales.

Tableau 34 : Typologie des illustrations dans le manuel de la 3^{ème} année Sc. Exp.

Message scientifique			Contenu de l'illustration						Total (au total 75 pages analysées) (Surface totale analysée 39750 cm ²)		
			Temps géologique (représentant ou non le temps géologiques)		Espace géologique (carte à deux dimensions)		Théorique (explication d'un phénomène ou un événement géologique)				
			Typologie d'images			Nombre d'image	Surface (cm ²)	Nombre d'image	Surface (cm ²)	Nombre d'image	Surface (cm ²)
Image figurative	Macroscopique	Photo					38	1781,48	38	1781,48	4,48%
		Schéma ou dessin	1	72,9			4	382,6	5	455,5	1,14%
	Microscopique	Photo					1	179,2	1	179,2	0,45%
		Schéma ou dessin									
Image graphique	Image de conceptualisation scientifique (schéma ou image non figuratif)		12	1623,79	2	182,4	31	2931,35	45	4737,54	11,91%
	Donnée empirique (tableau, graphe, courbe, carte, échelle, coupe géologique, arbre phylogénétique)		12	1121,62	7	714,08	23	1951,75	42	3787,45	9,58%
Total		Nombre d'image	25		9		97		131		
		Surface (cm ²)		2818,31		896,48		7226,38		10941,1	
		Surface (%)		7,09%		2,25%		18,17%			27,56%

Le thème de la géologie dans le manuel de la 3^{ème} année sciences expérimentales ne se limite pas à l'étude du modèle structural et la théorie de la tectonique des plaques, il étudie en plus la relation entre la dynamique du globe terrestre et l'évolution biologique. De ce fait, le nombre total des illustrations a considérablement augmenté. Nous retrouvons une seule photo microscopique pour montrer les composantes cristallographiques d'une roche. 43 images macroscopiques, dont 38 sont des photographies, ont été consacrées majoritairement à des explications théoriques de certains phénomènes géologiques. 87 images graphiques sont recensées dans ce thème, dont 45 occupant 11,91% de la surface totale des pages analysées. Ces représentations sont aussi très variées et représentent généralement des cartes géologiques, des échelles, des courbes ou coupes géologiques. Le nombre d'images représentant ou mentionnant dans leur contenu le temps géologique est d'environ 25, cependant du point vue pourcentage ne dépasse pas 8%. Le concept espace n'est présent que dans environ 2% de la surface totale consacrée aux illustrations par contre les illustrations utilisées dans les explications théoriques à 97/131 de l'ensemble des images analysées soit environ 18% de leur surface totale. Afin de pouvoir expliquer l'évolution du manuel nous allons comparer dans ce qui suit les illustrations des deux manuels.

4.3. Etude comparative des illustrations des deux manuels

Nous essayons dans ce paragraphe de comparer les deux manuels, plus particulièrement les deux thèmes de la géologie abordés. D'abord, nous comparons les typologies des illustrations et puis leurs contenus.

Tableau 35 : Comparaison des typologies des illustrations

			Manuel de la 2 ^{ème} année secondaire		Manuel de la 3 ^{ème} Sciences Expérimentales	
			Nombre d'illustrations	Surface %	Nombre d'illustrations	Surface %
Image figurative	Macroscopique	Photo	8	6,48%	38	4,48%
		Schéma ou dessin			5	1,14%
	Microscopique	Photo			1	0,45%
		Schéma ou dessin				
Image graphique	Image de conceptualisation scientifique (schéma ou image non figuratif)		25	8,59%	45	11,91%
	Donnée empirique (tableau, graphe, courbe, carte, échelle, coupe géologique, arbre phylogénétique)		21	10,05%	42	9,58%
Total			54	25,11%	131	27,56%

Nous estimons que le manuel a évolué en forme et en contenu. En termes de proportionnalité, les illustrations occupent un quart des pages analysées de chaque manuel. Les images macroscopiques, les images de conceptualisation et les images empiriques sont plus présentes que celles microscopiques, photographique, ou figuratives. Dans les deux manuels les images graphiques (images de conceptualisations ou donnée empiriques) sont très variées. Il semble que les auteurs donnent plus d'importance à ce type d'illustrations en prenant en compte leur rôle dans l'explication des phénomènes géologiques et leurs usages comme complément ou base de cette explication. Les images figuratives ne dépassent pas 7% de la surface analysée dans les deux manuels. Le développement de la technologie et plus particulièrement de la photographie numérique nous incite à donner plus de place aux photos surtout satellitaires, qui peuvent aider dans l'explication de la notion d'espace en deux ou en trois dimensions. Nous remarquons la quasi-absence de photos microscopiques alors qu'elles sont très utiles

dans l'explication de la composition chimique de la roche. En conclusion nous ne pouvons pas dire que le manuel a beaucoup évolué du point de vue typologies d'illustrations, d'ailleurs 100% des images utilisées dans le manuel de la 3^{ème} Sciences expérimentales sont en couleur ce qui permet une meilleure lisibilité.

Pour mieux mettre en valeur cette évolution du manuel, il nous est recommandé de comparer les illustrations en nous basant sur la conception scientifique qu'elles véhiculent.

Tableau 36 : Comparaison du contenu des illustrations

		Manuel de la 2 ^{ème} année secondaire		Manuel de la 3 ^{ème} année Sciences Expérimentales	
		Nombre d'illustrations	Surface (%)	Nombre d'illustrations	Surface (%)
Contenu des illustrations	Temps géologique représentant ou non le temps géologique	6	2,97%	25	7,09%
	Espace géologique (carte à deux dimensions)	6	5,74%	9	2,25%
	Théorique (explication d'un phénomène ou un événement géologique)	42	16,4%	97	18,17%
Total		54		131	27,56%

Nous remarquons que les illustrations montrant des notions temporelles ont augmenté dans le manuel de la 3^{ème} Sc. Exp. Ceci est dû à la proportionnalité des images par rapport au nombre total des pages analysées et aussi à l'ampleur que commence à donner les concepteurs aux deux concepts du temps et de l'espace. Le contenu des illustrations évoque plus le temps géologique alors que l'espace géologique même s'il augmente de point contenu il propose dans les meilleurs cas des cartes en deux dimensions. Certains inspecteurs sont au courant des travaux didactiques à l'ISEFC, d'autres ne le sont pas. La nouvelle génération d'inspecteurs suit une formation solide en didactique et en tout autre discipline qui se rapporte à l'enseignement. Le contenu expliquant un phénomène naturel qui accompagne les images comme commentaire a augmenté avec une certaine rigueur dans l'exposition et la présentation. Seulement nous attirons l'attention sur la complémentarité entre ce qui est schématisé et ce qui est contenu scientifique, elle permet aux élèves de mémoriser les concepts et de lever l'ambiguïté que le schéma seul ne peut accomplir.

4.4. Conclusion

A travers cette étude il est intéressant de noter que les illustrations représentant le temps géologique est plus important dans le manuel de la 3^{ème} Sc. Exp. alors que l'ampleur, en terme de pourcentage, du concept espace s'est réduit. Le temps géologique est souvent présent dans les images de conceptualisation et s'il était absent dans les dessins du manuel de la 2^{ème} année, il est présenté dans environ 70 dessins dans le manuel de la 3^{ème} Sc. Exp. Le concept d'espaces représenté uniquement par des images figuratives, sous forme de photo, ou dans des images graphiques empiriques dans le manuel de 2^{ème} année, occupe plus de place dans les images de conceptualisation, principalement, dans de celui de la 3^{ème} année Sc. Exp. les images de conceptualisation semblent avoir plus d'importance pour l'introduction des deux concepts dans l'explication. Des images avec des repères spatiotemporels peuvent aider l'apprenant à concevoir l'utilité du temps géologique ou de l'espace dans l'explication des problèmes étudiés. Pour vérifier cette orientation, nous analysons tous les termes ou notions qui se rapportent au concept temps dans les deux manuels. Ceci nous permettra de vérifier l'utilité du manuel scolaire dans l'acquisition du temps géologique par les élèves.

5. Analyse des manuels par termes pivots

Pour approfondir l'étude sur la place du temps géologique dans le contenu scientifique des deux manuels, nous avons retenus les termes pivots utilisés par les auteurs ; temps géologique et énergie. L'apparition du concept d'énergie dans l'analyse des explications des élèves (voir chapitres suivants) ou de futurs enseignants nous a incité à recenser aussi les termes ou les notions qui se rapportent à lui. Cependant le travail sur ce concept fera objet d'autres problématiques, nous le traitons ici brièvement.

5.1. Termes pivots dans le manuel de la 2^{ème} année

Le temps géologique (voir tableau ci-dessous) est présent sous trois formes. Dans la majorité des phrases, paragraphes ou notions il est mentionné implicitement dans le processus géologique d'un phénomène quelconque : expansion océanique, subduction, orogénèse...etc. il est aussi mentionné, mais rarissime, dans certains vocabulaire descriptif d'un phénomène naturel par exemple, brutalité. Explicitement, le temps géologique est mentionné sous forme des subdivisions de l'échelle stratigraphique ; ères, échelle et âge en millions d'années ou en minutes. L'acquisition de la notion du temps en sciences de la terre passe par l'explication des processus géologique des différents phénomènes naturels. Seulement que certains phénomènes sont rapide et d'autres lents, n'est-il pas problématique pour l'élève ?

Contrairement au temps géologique, le concept « énergie » est mentionné une seule fois par contre on retrouve les notions qui renvoient à ce concept dans les causes du dynamique terrestre, courant de convection, plasticité des roches ou bien dans les résultats de ce même dynamisme, intensité du séisme, flux de chaleur, montée du magma...etc.

Tableau 37 : temps géologique et énergie dans le manuel scolaire de la 2^{ème} année secondaire

concept	Chapitre : structure de la terre	Chapitre : la tectonique des plaques
Temps géologiques	L37 : brutalité L78 : vitesse en km/s L 54 : quelques minutes L109 : temps en min	L330 : ère primaire L335 : séparation de l'Amérique du sud et l'Afrique au crétacé L348 : divers positions des continents par Wegener : carbonifère, éocène et quaternaire inférieur L350 : Trias L358 : fougère de l'ère primaire L366 : Processus de l'expansion océanique L386 : sédiments proches des côtes d'âge crétacé supérieur L388 : ouverture de l'atlantique il 150 millions d'années L390 : âge de la terre 4.5 milliards d'années L482 : formation de chaîne de subduction (t=0 à t=+30MA) L502 : rapprochement de l'Asie et l'Inde s'est effectué en 70 millions sur 7000 km ; formation d'Himalaya L564 : ouverture de la Téthys au Trias L565 : reconstitution des Alpes : Lias (180Ma) au jurassique (148Ma) L579-593 : formation de l'atlas tunisien, Jurassique, Crétacé, Eocène, Oligocène, Miocène, Quaternaire L620 : âge de sédiments L640, 641 : ouverture du golfe d'Aden il y a 20 millions d'années L646 : échelle stratigraphique
Energie	P43 : densité moyenne 5.52 L14 : la température augmente de 1°C/30 mètres L29, 30 p45:énergie, tension L32 : élasticité des roches L 50 : secousses L253 : intensité du séisme L259 : quantité d'énergie libérée lors d'un séisme	L309 : sortie du magma L374: activité sismique intense L375 : dégagement de chaleur L401 : gradient géothermique élevé au niveau de la dorsale L402 : flux de chaleur L404 : dorsale : état de tension L413, 318, 376 : courants de convection L429 : forces de compression

Les élèves s'interrogent-ils sur la relation temps géologique-énergie ?

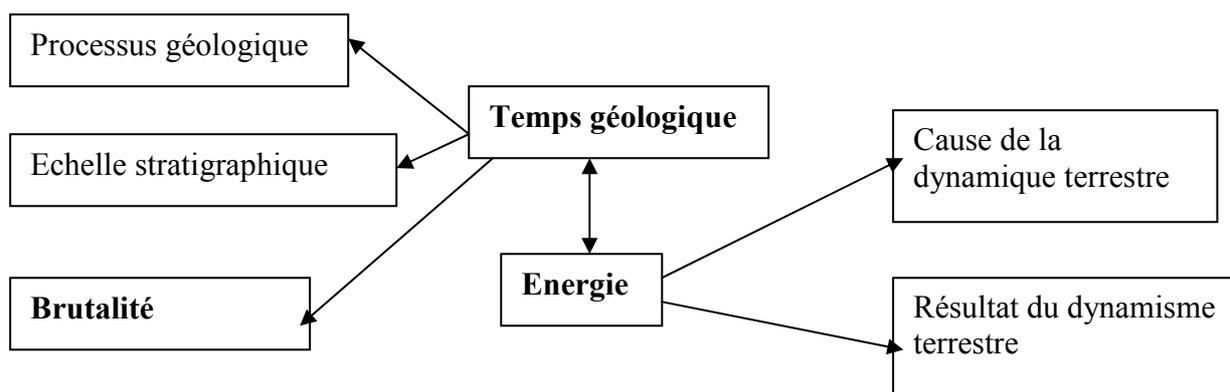


Figure 15 : résumé des termes pivots en relation avec le temps géologique

5.2. Termes pivots dans le manuel de la 3^{ème} année Sc. Exp.

Dans ce manuel, le concept « temps géologique » apparaît en tant que tel plusieurs fois dans le texte (voir tableau). Excepté quelques ères ou étages mentionnés tels que le permien le dévonien, les auteurs veillent à donner, approximativement, la date du début phénomène géologique en millions d'années, par exemple, il y a 180 MA le Gondwana sud s'est séparé de l'antarctique ; il y a 120 MA l'atlantique s'est ouvert, archéoptéryx il 150 MA...etc. Même s'il y a des processus géologique de quelques phénomènes naturels dans lesquelles le temps géologique est implicite, ils sont diminués par rapport au manuel de la 2^{ème} année secondaire. Nous retrouvons par exemple l'expansion océanique, la formation de quelques chaînes de montagnes...etc. ce manuel diffère de l'ancien par l'apparition de deux expressions qui renvoient au temps géologique: actuel et évolution. Nous identifions par exemple, l'évolution du méditerranée jusqu'à l'actuel, l'évolution de la teneur de l'oxygène, évolution des trilobites au cours du temps...etc. l'actuel renvoie directement au passé mais aussi au futur alors que l'évolution montre l'étendu d'un phénomène sur un laps de temps lent ou court. Les exemples d'être vivant disparus au cours du temps mettrait les élèves devant un tas de questions sur le mode de vie, sur la période de leur vie ou sur les causes de leur disparition. La notion de crise biologique est en relation directe avec le temps géologique. Nous remarquons aussi l'apparition du concept d'espace géographique dans ce manuel.

Pour le concept énergie il n'y pas une grande différence avec l'autre manuel, il est toujours lié à des notions qui renvoient aux causes de la dynamique terrestre ou les résultats de ce dynamisme. Cependant nous retrouvons quelques nouvelles terminologies telles que les réactions exothermiques et le champ magnétique terrestre. Soit le schéma récapitulatif suivant :

Tableau 38 : temps géologique et énergie dans le manuel de la 3^{ème} année scolaire

concept	Chapitre : structure et composition du globe terrestre pp274-295	Chapitre : la tectonique des plaques pp296-325	Chapitre : l'évolution biologique pp 326-349
Temps géologiques	L17 : temps actuel L19 : temps géologique L24 : calendrier géologique L154 : temps d'arrivée d'ondes en minutes	L50 : âge de la croûte océanique 180MA L51 : croûte continentale 3.9MA dans certaines régions L52 : âge de la terre 4.5milliards d'années L10 : Pangée : 200 MA L110 : séparation Gondwana sud de l'antarctique ; 180MA L112 : ouverture de l'atlantique : 120Ma L114 : actuel L134 : formation des Appalaches, des Mauritanides, des Calédonides ; entre 470 et 350 MA L137 : répartition en Afrique et Amérique du sud: - Mesosaurus, 260 Ma - Glossoptéris, 240 Ma - Cynognathus, 240 Ma L203 : carte de la variation d'âge du fond océanique L523 : déplacement de la plaque indienne depuis 70 Ma L607 : âge de l'île la plus éloignée d'Hawaï est 40 Ma L610 : évolution de la méditerranée et l'atlantique depuis 180Ma à l'actuel -	L6 : âge de la terre ; 4500 MA L7 : apparition de la vie ; 3500 à 4000 MA L10 : apogée de la diversité, 500 MA L13 : temps géologique L16 : temps géologique L3 : calendrier de la terre L86, 87 : position des continents au Permien et à la fin du crétacée L 89 : temps géologique L134 : premiers poissons au Dévonien inf (450 MA) L135 : premiers amphibiens au Dévonien sup (350MA) L144 : Ichtyostéga, Dévonien sup L160 : Archéoptéryx il y a 150 MA L184 : Dimetrodon il y a 280 MA L212 : arbre phylogénique de 5 groupes des vertèbres L214 : arbre phylogénique de certains mammifères L246 : évolution des continents à l'ère primaire L271 : évolution de la teneur en oxygène et l'évolution biologique
Energie	L79, 80 : activité du globe terrestre : dégagement d'énergie L98 : secousses L128 : ondes de compression L139 : énergie libérée par le séisme L216 : densité, propriétés physique des couches L247 : élasticité des roches L285 : pression L290 : état physique de ma matière L318 : forte explosion volcanique L425 : champ magnétique terrestre L468 : réactions exothermiques (désintégrations)= énergie sous forme de chaleur	L29 : émission d'énergie L172 : au cours de la montée du magma la pression chute plus rapidement que la T° L220 : champ magnétique L275 : compression et sédimentation L301 : élasticité des roches L346 : en 10 à 20 MA, 900 à 1800 km de lithosphère sont disparus par subduction L430 : courant de convection L480 : énergie	L283 : évolution de la teneur en oxygène et de la biomasse L285 : crise Crétacé-Tertiaire L380 : évolution des trilobites au cours du temps L395 : Trias L405 : géographie du globe terrestre crétacé inf à la limite crétacé-Tertiaire L446 : évolution des végétaux en fonction des temps géologiques

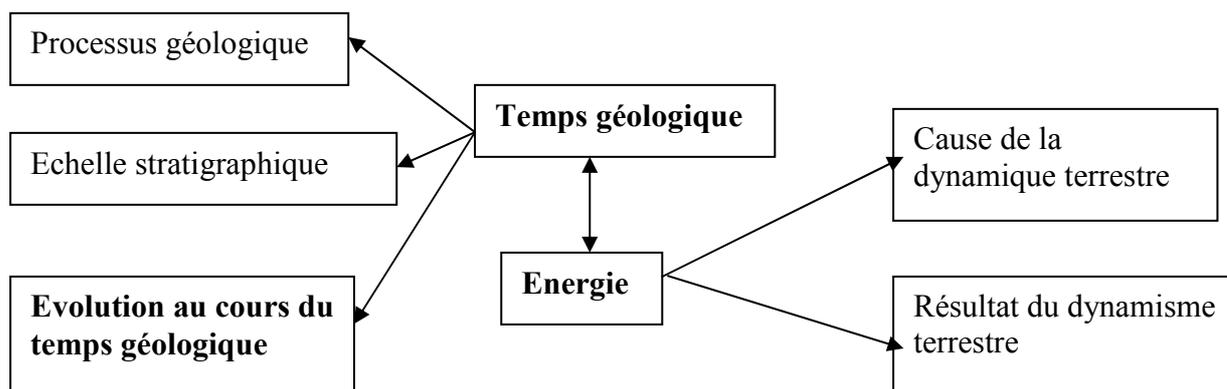


Figure 16 : résumé des termes pivots en relation avec le temps géologique

5.3. Conclusion : temps géologique et problématisation

Le style informatif dominant dans les deux manuels et l'orientation limitée vers le style participatif montre que le discours scientifique transmissif reste développé. Ceci encourage l'enseignement des sciences comme cumul de résultats. L'essai des concepteurs de multiplier les activités scientifiques en excluant l'aspect socioconstructiviste de la science, n'engage pas les élèves dans une réflexion sur l'utilité de ce qu'il acquis en dehors de la classe. Les situations-problèmes proposant une multitude des questions conceptuelles ou empiriques n'engagent pas les apprenants dans un processus de problématisation d'une façon générale et de concevoir l'utilité de certains concepts scientifiques, ici le temps géologique. L'utilisation de la terminologie « calendrier », emprunté à la vie quotidienne, peut faire obstacle à l'appréhension du temps lent par rapport au temps court de la vie humaine. Cependant, nous notons que le temps géologique est présent, mais implicitement, dans le processus géologique de certains phénomènes géologiques et biologiques expliqués dans le manuel. Il est aussi explicitement présent dans ses aspects stratigraphiques ou pour dater d'une façon ponctuelle certains phénomènes. L'essai de la construction de problème à travers l'explication d'un processus géologique de certains phénomènes naturels serait fructueux pour l'élève de concevoir l'utilité du temps géologique. L'orientation vers le style participatif dans le manuel engagerait les apprenant dans une situation d'élaboration réflexive et autocritique leur permettant d'acquérir l'espace, l'énergie et le temps géologique. Nous étudierons dans le chapitre suivant leurs conceptions ainsi que les obstacles qui en découlent pour expliquer les séismes, l'orogénèse ou les crises biologiques.

Conceptions et nature du temps chez les élèves et les futurs enseignants

Notre recherche est qualitative dans laquelle nous essayons de donner une signification (Astolfi J.-P., 1993) aux conceptions mobilisées par le public de notre projet. Comme nous l'avons mentionné dans nos investigations théoriques, le passage par les conceptions du public concerné dans un travail didactique est important du fait qu'il nous permet d'entamer une étude plus profonde sur problématisation. Le choix de notre méthodologie et des procédures de recueil des données est conditionné par notre problématique. D'une façon générale, notre travail porte sur l'utilisation, principalement, du concept « temps géologique » dans l'explication des séismes, de l'orogénèse et des crises biologiques par des élèves et par de futurs enseignants.

1. Analyse des réponses des élèves de la 2^{ème} année secondaire

Nous analysons dans ce qui suit les réponses des élèves à propos des séismes et la formation des chaînes de montagnes.

1.1. Analyse de l'item 1 : fonctionnement d'un séisme

Cet item porte sur les processus géologiques qui ont produit un phénomène naturel perceptible (séisme du 26-12-06) et sa conséquence (tsunami). Nous rappelons que le tsunami n'est pas enseigné dans le programme officiel. Mais il a été largement médiatisé. Nous essayons de voir comment un élève peut appliquer son savoir dans des situations réelles hors de la classe. Pour déterminer l'ensemble des catégories dans lesquelles nous classons les réponses, nous lisons toutes les réponses et nous essayons de regrouper les plus proches du point de vue de l'explication dans une seule catégorie.

1.1.1. Analyse des réponses à la question Q1

La question 1 « *selon vous qu'est ce que le Tsunami ?* » s'intéresse à la définition tsunami non expliqué en classe, l'élève mobilise ses propres conceptions déjà acquises. Soit les catégories dans lesquelles nous avons classé leurs réponses.

- **La catégorie 1** est constituée des réponses montrant une confusion de terminologie entre les notions « tsunami » et « séisme ». *Exemple « le tsunami est un séisme, c'est un tremblement brutal qui se propage dans le globe ».*

- **La catégorie 2** regroupe les réponses aux caractéristiques suivantes :

* les réponses qui sont en une relation directe avec les images et les schèmes de destruction, de décès...etc. Exemple « *tsunami est une catastrophe naturelle qui a frappé la région de sud est de l'Asie avec beaucoup de dégâts personnel, destruction des maisons* » (E36).

* les réponses en relation avec les conséquences morales des êtres humains. Exemple « *le tsunami est un grand séisme qui a tué des millions de gens surtout des enfant, il a fait beaucoup de mal et la faim des hommes, il a causé l'apparition des orphelins qui meurent de faim* » (E14) (traduit de l'arabe).

- **La catégorie 3** regroupe les réponses mobilisant la situation géographique et la date du tsunami. Exemple « *le tsunami du 26-12-2004 a frappé la région sud est de l'Asie, il a touché toute les îles* » (E39) ;

- **La catégorie 4** regroupe les explications qui renvoient à la théorie de la tectonique des plaques. Exemple « *la croûte terrestre et les couches profondes du globe sont soumises à des forces internes dont l'effet est de produire des déformations de certaines parties de la croûte. Il y a accumulation de l'énergie en un point ce qui provoque une tension. Alors le tsunami se fait à la profondeur de la mer et il a causé beaucoup de victimes* » (E40).

- **La catégorie 5** regroupe les réponses que nous ne pouvons pas classer dans l'une de catégories précédentes. Exemple « *le tsunami a choqué la Tunisie* » (E9).

Le tableau suivant récapitule l'ensemble des catégories selon lesquelles nous avons classé les réponses des élèves.

Tableau 39 : mise en catégorie des réponses des élèves à propos du tsunami

Catégories	Effectif / 58
Catégorie 1 : confusion ; tsunami est un séisme	27
Catégorie 2 : catastrophisme actuel et influence psychique ; mort, destruction des maisons, famine, mal	27
Catégorie 3 : coordonnés spatiotemporels ; situation géographique et date du tsunami	19
Catégorie 4 : explication tectonique ;	10
Catégorie 5 : réponses difficiles à classer	3

L'analyse des réponses nous révèle que plus de la moitié des élèves assimilent le tsunami à un séisme et mobilisent des conceptions catastrophistes (mort, destruction des maisons, famine, malheur). Ces conceptions renvoient au catastrophisme et nous estimons qu'ils trouvent leur

origine, principalement, dans les médias. Les premiers schèmes qui parviennent en tête de l'apprenant sont ceux diffusés par les différents médias. En fait les médias ont donné plus d'importance aux dégâts matériels et pertes humaines, ceci est normal mais ça peut amplifier chez les élèves de fausses explications du phénomène naturel en question. Certains élèves n'ont évoqué que la situation géographique et la date de l'évènement. Néanmoins une dizaine des apprenants ont mobilisé des conceptions qui renvoient à la théorie de la tectonique des plaques, par exemple, le mouvement de deux plaques a induit la subduction de l'une sous l'autre ce qui a provoqué cette catastrophe. D'autres élèves ont parlé du rôle du séisme dans la production de l'énergie susceptible de produire les énormes vagues. Après enseignement nous avons attendu que les élèves essayent de transposer l'explication des séismes dans un cadre tectonique à un cas particulier celui du séisme au sud est de l'Asie, phénomène naturel non étudié en classe. Il serait important que l'élève puisse mobiliser le savoir dont il dispose dans une situation nouvelle.

Pour voir s'il y a une relation entre l'explication qui renvoie au catastrophisme et l'explication tectonique, nous croisons les deux catégories C2 et C4.

Tableau 40 : croisement des catégories C2 et C4

		C2 : catastrophisme actuel et influence psychique ; mort, destruction des maisons, famine, mal	
		Oui	Non
C4: explication tectonique	Oui	3 (5)	8 (6)
	non	25 (23)	22 (24)

Nombre entre parenthèse : effectif théorique

Nombre sans parenthèse : effectif réel

$$X^2_{th} = 3,84 \text{ à } 5 \% \text{ et } ddl = 1$$

$$X^2_{cal} = (3-5)^2/5 + (8-6)^2/6 + (25-23)^2/23 + (22-24)^2/24$$

$$X^2_{cal} = 1.79$$

$$X^2_{cal} < X^2_{th} = 3,84 \text{ à } 5 \% \text{ et } ddl = 1$$

Il s'agit d'une indépendance entre les deux catégories. Seulement 3 élèves relient explique le tsunami dans un cadre tectonique qui fait appel au catastrophisme actuel. Presque la moitié de la population ne penchent ni vers l'explication tectonique, ni vers le cadre du catastrophisme. Au total 47 élèves n'utilisent pas la théorie de la tectonique des plaques comme théorie explicative du tsunami.

1.1.2. Analyse des réponses à la question Q2

La question est la suivante : comment s'est déclenché le séisme du 26-12-2004 qui a frappé la région sud et sud-est de l'Asie ? Les élèves essaient d'expliquer la cause et le fonctionnement du séisme dans le cadre de la théorie de la tectonique des plaques. A travers leurs explications, nous essayons de rassembler celles proches dans une même la catégorie et éventuellement dans des sous-catégories. On définit d'abord les catégories.

La catégorie 1 regroupe les réponses qui renvoient à la théorie de la tectonique des plaques et on la subdivise en plusieurs sous-catégories selon la cause évoquée du séisme, courant de convection, subduction...etc.

Exemple 1 « *le séisme qui s'est produit en Indonésie est du à l'éloignement de deux plaques et l'enfoncement d'une autre plaque sous une autre et leur soulèvement en haut* » E 40 (traduit de l'arabe)

Exemple 2 « *ce sont deux plaques qui se déforment sous la mer à cause des courants de convection qui se trouve dans l'asthénosphère* » (E39)

La catégorie 2 regroupe les réponses mobilisant des causes non-tectoniques. Exemple 1 « *le séisme du 26-12-2004 qui a frappé la région sud et sud-est de l'Asie, il fait beaucoup des dangers, beaucoup du mal, la mer a envahi toute la région et il casse les maisons et fait mourir beaucoup de gens* »(E 29)

Exemple 2 « *le séisme s'est déclenché à cause d'un courant de vent très fort et qui a attaqué les montagnes et les forêts* » (E20)

Le tableau récapitule les catégories et les sous-catégories dans lesquelles nous avons classé les réponses.

Tableau 41 : mise en catégorie des réponses des élèves

Catégorie 1: causes qui renvoient à la tectonique des plaques	Sous-Catégories	Effectif/58	Catégorie 2 : causes non tectoniques	Sous-catégories	Effectif / 58
	Sc1 : Subduction	9		Sc1 : catastrophe	26
	Sc2 : Courant de convection	1		Sc2 : Vent fort	1
	Sc3 : Libération du magma	1		Sc3 : Emergence de la mer	1
	Sc4 : Mouvement des plaques	9		Sc4 : Cassure au niveau de la lithosphère	3
	Sc5 : Foyer du séisme	3		Sc5 : Soulèvement du sable	3

En ce qui concerne les causes qui renvoient à la théorie mobiliste, uniquement 9/58 élèves pensent que la subduction et/ou les mouvements des plaques sont la cause du séisme. D'autres causes tectoniques tels que le courant de convection, la libération du magma et les foyers des séismes ont été évoqués par les apprenants. Nous remarquons qu'aucun élève n'a parlé de la faille, rejouant dans la région, qui est proposée par la communauté scientifique comme la cause principale de ce séisme. 2/3 de la population interrogée ont mobilisé des causes non tectoniques (vent fort, émergence de la mer, cassure, soulèvement du sable). La majorité d'entre eux n'ont pas même répondu à la question mais ils se mettent directement à parler du nombre de morts, des maisons détruites, de l'immensité de la vague. Nous ne trouvons aucune explication scientifique qui renvoie à la théorie de la tectonique des plaques. L'image catastrophique présentée par les médias est bien là et donc elle pourrait échapper à l'appréhension d'une explication scientifique de ce qui est produit.

Pareil nous vérifions la relation entre la catégorie subduction qui renvoie à la théorie de la tectonique et la catégorie catastrophe.

Tableau 42 : croisement des catégories C1/Sc1 et C2/Sc1

		C1/Sc1 : Subduction	
		Oui	Non
C2/Sc1 : catastrophe	Oui	3 (4)	23 (22)
	Non	6 (5)	26 (27)

Nombre entre parenthèse : effectif théorique

Nombre sans parenthèse : effectif réel

$$X^2_{th} = 3,84 \text{ à } 5 \% \text{ et } ddl = 1$$

$$X^2_{cal} = (3-4)^2/4 + (23-22)^2/22 + (6-5)^2/5 + (26-27)^2/27$$

$$X^2_{cal} = 0.67$$

$$X^2_{cal} < X^2_{th} = 3,84 \text{ à } 5 \% \text{ et } ddl = 1$$

Il s'agit d'une forte indépendance entre les deux catégories. Comme précédemment seulement trois élèves ont envoyé l'explication du séisme au deux cadres explicatifs ; théorie mobiliste et catastrophisme actuel. Cependant 49 élèves n'utilisent pas la théorie de la tectonique des plaques dans l'explication du séisme.

1.1.3. Conclusion

Nous retenons que la majorité des élèves assimilent le tsunami à un séisme et non pas à sa conséquence. Les conceptions mobilisées par la plupart d'entre eux renvoient au catastrophisme (catastrophe, mort, destruction des maisons...). Nous pensons que la dominance des conceptions catastrophistes dans les explications des élèves est due à la survalorisation médiatique de l'évènement centré sur les dégâts en laissant dans l'ombre les explications scientifiques. Une dizaine d'apprenants ont expliqué cet évènement dans un cadre qui renvoie à la théorie de la tectonique des plaques. Ces explications trouvent leurs origines dans le cours récemment enseigné. Nous avons assisté à une explication scientifique - simplifiée - de l'évènement dans les médias mais les élèves semblent incapables de mobiliser leur savoir acquis dans l'explication d'un évènement largement médiatisé. L'actualisation du savoir enseigné, en se basant sur des exemples d'évènements actuels, le rend opérationnel. C'est-à-dire que l'apprenant pourrait avoir une occasion d'étudier en classe des phénomènes naturels qui se produisent récemment (tsunami, réchauffement de la planète,). L'identité professionnelle d'un enseignant se caractérise aujourd'hui par sa capacité à aider les élèves à appliquer un savoir acquis hors de la classe. Ceci n'est possible que par l'actualisation du cours enseigné et de son enrichissement par des exemples autres que ceux développés dans les programmes scolaires.

L'interaction entre science et médias enrichit l'enseignement-apprentissage des sciences de la vie et de la terre. L'analyse des processus de la transposition didactique, initiée par M. Verret (1975) a été largement développée depuis par Y. Chevallard (1985) en didactique des mathématiques. Elargie à la didactique de diverses disciplines scientifiques (J.-P. Astolfi *et al*, 1997), la transposition didactique s'est avérée utile à l'étude des processus de médiatisation

(P. Clément et al. 1994). Le schéma de la transposition didactique a été profondément remodelé durant ces dernières années. Cependant, la transposition didactique avec ces différentes phases qui conduisent du savoir savant au savoir « raisonné » ne semble pas prendre en compte la médiatisation des savoirs indissociable de sa diffusion. Les références à ce qui doit être enseigné ou médiatisé sont loin d'être réduites à ce que Chevallard appelle le « savoir savant ». Il existe un affrontement vif entre l'explication scientifique et la diffusion médiatique qui rend très souvent l'apprenant inapte à son utilisation comme outil d'apprentissage, sans médiateur. En fait, le scientifique, pris par des enjeux de crédibilité scientifique et de reconnaissance par ses pairs (E. Triquet et P. Clément, 1990), favorise l'écriture d'un texte hermétique et prudent. Par contre, l'éditeur, le responsable de publication pris dans une logique de diffusion vont pousser vers une simplification et une certitude qui s'éloignent de la rigueur scientifique.

La transposition didactique s'intéresse aux processus de la sélection des contenus qui vont être enseignés et analyse comment s'effectue ensuite cette transposition. Créer des savoirs comme transposer ceux-ci nécessite alors de réaliser parallèlement une « transposition médiatique » de ces mêmes savoirs. L'analyse du savoir scientifique médiatisé devient alors un objet d'étude pour la didactique des sciences. Les médias pourraient être analysés comme des sources de diffusion des connaissances. L'internet, par exemple, constitue un véritable acteur de la formation des apprenants. Mais « Reste à l'internaute averti à faire le tri entre les sens admis par les diverses disciplines universitaires et les élucubrations personnelles qui n'ont aucune garantie de sérieux » (G. Rumelhard, 2005). Le modèle didactique devrait alors être remodelé pour faire apparaître les médias dans le triangle didactique. Ce modèle pourrait être complété par les interactions des apprenants avec des médias.

Des travaux didactiques (C. Orange, 1995, J. Deltail et al, 2003; Y. Boughanmi et D. Orange, 2005) ont montré que les élèves ont des difficultés à concevoir le fonctionnement d'un séisme. J.-Ch. Allain (1995) a analysé les conceptions des élèves à propos des séismes et a montré que la majorité des élèves évoquent les manifestations destructrices et catastrophiques. Nous avons tenté dans cette partie de porter une réflexion sur l'explication des séismes par les élèves ainsi que leurs conséquences, plus particulièrement le « tsunami » qui est un évènement pivot de l'interaction entre un savoir scientifique et un « savoir médiatique ». La « transposition médiatique » serait d'importance, vu l'interaction apprenant-médias, pour une réflexion sur le réaménagement de la transposition didactique dans laquelle naissent et se développent les problèmes et les questions de recherche.

1.2. Analyse de l'item 2 : la formation des chaînes de montagnes

Dans cet item les questions portent sur la formation des chaînes de montagnes. Nous essayons de dégager leurs conceptions sur la notion du temps géologiques, souvent absente dans le programme, et surtout sur le processus de la formation des chaînes de subduction déjà enseigné en cours.

1.2.1. Analyse des réponses à la question 3

La question est : quand se sont formées les chaînes de montagnes ? Nous ne visons pas par cette question à ce que les élèves donnent un âge bien déterminé d'une chaîne de montagne ; Mais nous essayons juste de dégager des indicateurs du temps géologique où du processus géologique relatant l'histoire d'un phénomène naturel, dans leurs réponses. Il s'agit d'un recensement non statistique. Nous remarquons une diversité des indices du concept « temps géologique » dans leurs vocabulaires. Nous nous interrogeons aussi sur leurs pratiques langagières dans l'explication des questions, qui pourraient être un objet d'autres travaux. Nous avons regroupé les notions qui renvoient au temps dans le tableau 4.

Exemples de réponses :

« C'est au tertiaire que les chaînes se ont formé » (E21)

« Depuis l'âge de la glace » (E 20)

« Les chaînes de montagne se sont formé depuis longtemps » (E13)

« Suite à la collision deux plaques au 20^{ème} siècle » (E29)

Tableau 43 : notions du temps mobilisées par les élèves

- 21 ^{ème} siècle	- récemment
- depuis que la terre était formée de la Téthys	- 20 ^{ème} siècle
- depuis plusieurs millions d'années	- reliefs récents ajoutés aux vieux
- chaînes alpines : depuis 200 millions	- il y a ceux qui datent depuis 15 millions
- après longtemps, depuis longtemps	d'années et d'autre de plus de 30 millions
- avec les continents, avant il n'était pas	d'années
comme ça	- quand les continents étaient soudés et
- depuis l'âge de la glaciation	formaient la Pangée
- au Tertiaire	- il y a 180 Millions d'années

Seulement 18/58 élèves ont évoqué la notion de temps dans leurs réponses, même si la question est orientée par l'adverbe « quand ». Les élèves n'ont pas donné des exemples bien précis dans leurs réponses. Il y a 200 millions d'années l'Afrique et l'Europe formaient un

seul continent, les chaînes alpines ne datent que d'environ 40 millions d'années après la collision entre les plaques continentales (européenne et africaine). Néanmoins nous retrouvons chez certains élèves quelques notions indicatives, non précises, de l'immensité du temps (depuis longtemps, après longtemps, quand les continents étaient soudés...). Il s'agit d'une traduction directe de la langue arabe, d'ailleurs nous retrouvons l'expression « depuis longtemps » dans les romans en langue arabe. Donc à l'obstacle épistémologique lié à la difficulté de gérer le temps géologique se rajoute un obstacle de pratique langagière dû à la traduction intégrale de certaines notions qui permettent aux élèves de renvoyer les phénomènes au temps le plus éloignés selon leur compréhension de ce concept.

D'autres notions mobilisées renvoient à une conception du temps à l'échelle humaine (récemment, 21^{ème} siècle...). Ce temps constitue-t-il un obstacle à l'appréhension du temps géologique ? Ceci empêche les élèves de concevoir le temps géologique dans sa dimension réelle. Le temps géologique ne semble pas être facile à gérer par les apprenants, c'est pourquoi ils ont recours à la vie quotidienne. Nous reviendrons sur ces difficultés ultérieurement. Notons qu'aucun élève n'a mobilisé des notions qui renvoient au concept de l'espace. Dans un autre volet que celui de leurs conceptions sur le temps, les élèves ont expliqué l'orogénèse. Ils ont essayé d'expliquer comment se forme une chaîne orogénique. Nous récapitulons dans le tableau suivant les différentes catégories. Si une réponse renferme plus d'une conception, elle peut être classée dans plusieurs catégories.

La sous-catégorie 1 rassemble dans cette catégorie les réponses évoquant le mouvement des plaques. Exemple « *les chaînes de montagnes se sont formé quand se fait la subduction et la convergence des plaques* »

La sous-catégorie 2 regroupe les réponses mobilisant des concepts qui se rapportent à l'activité volcanique. Exemple « *en réalité, les montagnes sont un ensemble de laves volcaniques qui se transforme en composante de la terre en contact avec l'eau* » (E6)

La sous-catégorie 3. Exemple « *les chaînes de montagnes se sont formé après avoir des mouvements de terementents de terre il ya 180 millions d'années* » (E31)

La sous-catégorie 4 regroupe les concepts en relation avec les produits ophiolitiques. Exemple « *les chaînes de montagnes se sont formé par des grosses roches qui se divisent, ç'est à dire on trouve dans les sédiments des roches magmatique par exemple, les ophiolites* » (E 38)

La sous-catégorie 5 regroupe les réponses qui renvoient à une conception artificielle induite par la construction des maisons dans la vie quotidienne. Exemple « *après un événement sismique, les pierres seront rassemblé les une sur les autres pour former les chaînes de*

montagnes » (E 42)

La sous-catégorie 6 rassemble les réponses difficiles à classer. Exemple « *je ne sais pas* » (E20)

Tableau 44 : catégorisation des réponses des élèves à propos de l'orogénèse

Catégorie	Sous-catégories (SC)	Effectifs / 58
Naissance des chaînes de montagnes	SC1 : Mouvements des plaques (collision, subduction, enfouissement, rapprochement)	23
	SC2 : Activité volcanique	1
	SC3 : Activité sismique	2
	SC4 : Produits ophiolitiques	5
	SC5 : conception artificielle : ensemble de roches posées les unes sur les autres	4
	SC6 : Réponse difficile à classer ou non réponse	10

Plus d'un tiers des élèves évoque les mouvements des plaques comme causes principales de l'orogénèse. Le contenu du cours est présent dans les réponses des élèves mais nous n'assistons pas à une explication scientifique des mécanismes provoquant ce phénomène naturel. Un seul élève pense que l'activité volcanique peut produire des chaînes, pourtant que le rift médio-océanique n'est un autre qu'une chaîne volcanique. La relation entre l'activité sismique ne peut être claire qu'à une grande échelle tectonique. Une minorité des élèves ont parlé des produits ophiolitiques sans évoquer le phénomène d'obduction ou les chaînes qui en résultent suite à cette collision prolongée. 4/58 élèves mobilisent une conception artificielle ; ils pensent qu'une chaîne de montagne est formée par la superposition de roches les unes sur les autres. Cette image trouve son origine dans la vie quotidienne, celle de la construction des maisons. Il s'agit d'un obstacle artificiel.

1.2.2. Analyse des réponses à la 2^{ème} question

La question est : Comment se sont formées les chaînes de subduction ? Illustrez vos propos par un schéma. Etant donné que les élèves ont étudié les chaînes de subduction, nous essayons de savoir comme ils expliquent leur naissance. Un schéma à l'appui de leurs réponses pourrait nous donner une idée sur la modélisation de l'orogénèse. Nous récapitulons dans le tableau suivant les différentes sous-catégories.

La sous-catégorie 1 : nous regroupons les réponses qui renvoient à la subduction en bordure des continents. Exemple « *à la suite d'une subduction, les terrains situés en bordure des continents se déforment : il se crée une chaîne de montagne côtière* » (E58)

La sous-catégorie 2 regroupe les réponses expliquant une partie de l'orogénèse la subduction et le blocage. Exemple « *une partie de la croûte entre sous une autre partie de la terre et se bloque : la subduction commence* » (E6)

La sous-catégorie 3 regroupe les réponses tenant compte de la densité dans le phénomène de subduction. Exemple « *à la rencontre de deux plaques, une plaque océanique (densité 3) s'enfonce sous une plaque continentale (densité 2.7) jusqu'à une profondeur de 700 km ; c'est le phénomène de subduction* » (E45)

La sous-catégorie 4 rassemble les réponses évoquant l'enfoncement de lithosphère océanique sous celle continentale. Exemple « *une chaîne de subduction se forme quand la lithosphère océanique plonge sous la lithosphère continentale, elle s'enfonce dans l'asthénosphère* » (E23)

La sous-catégorie 5 regroupe les réponses évoquant la collision l'explication de la formation des chaînes de collision. Exemple « *lorsque le rapprochement deux continents continue, l'océan les séparant se ferme, ils entrent en collision* » (E37)

La sous-catégorie 6 rassemble les réponses qui parlent de l'enfoncement de l'asthénosphère sous la lithosphère. Exemple « *les chaînes de subduction se forment quand l'asthénosphère océanique plonge sous les lithosphère continentale quand les deux plaques se rencontrent* » (E30)

La sous-catégorie 7 renferme la réponse suivante : « *au passage des plaques l'une à côté de l'autre, il se forme un volcan qui produit des roches* » (E39)

Tableau 45 : mise en catégories des réponses des élèves

Catégorie	Sous-Catégories	Effectifs/58
La formation des chaînes de subduction	Sc1 : subduction en bordure des continents	7
	Sc2 : subduction puis blocage dans la profondeur	10
	Sc3 : densité : plaque moins dense s'enfonce sous une autre plus dense	2
	Sc4 : lithosphère océanique s'enfonce sous la lithosphère continentale	15
	Sc5 : Collision	4
	Sc6 : Asthénosphère océanique plonge sous la lithosphère	5
	Sc7 : Volcanisme et formation des roches	1

Moins d'un quart de la population interrogée suppose que la subduction n'est autre que l'enfoncement de la lithosphère océanique sous la lithosphère continentale. 7/58 élèves évoquent la subduction des terrains en bordure des continents comme cause de formation des chaînes de montagne. Notant qu'il y a une confusion avec la subduction à la limite des plaques. D'autres élèves pensent que l'orogénèse est due au plongement de l'asthénosphère sous la lithosphère. Seulement 10/58 élèves ont mobilisé des notions qui renvoient aux mécanismes de l'orogénèse tels que le blocage d'une croûte à une certaine profondeur de subduction. Certains élèves ont évoqué la collision qui est, normalement, un phénomène qui suit la subduction. Les chaînes de collision sont autres que celles résultant de la subduction. Un seul élève a évoqué le volcanisme comme cause de la formation des reliefs.

Nous remarquons qu'il y a un cloisonnement d'idées, l'explication du phénomène n'a jamais été globalisante. Chaque élève a mobilisé une partie du savoir acquis à propos de la formation des chaînes de subduction. Ceci nous ramène à penser à la difficulté de la compréhension d'un phénomène non perceptible à l'appréhension humaine.

1.2.3. Conclusion

La diversité des modes d'explication de la formation des chaînes de montagnes pose problème dans la compréhension des différents processus de l'orogénèse. L'orogénèse expliquée dans un cadre non tectonique et la difficulté de comprendre le phénomène dans une

échelle du temps géologique long fait obstacle pour les élèves quant à leur compréhension de ce phénomène non perceptible à l'appréhension humaine.

Contrairement aux séismes, l'orogénèse n'est pas perceptible ni à l'apprenant, ni à l'expert. Certains élèves relient l'orogénèse à la tectonique des plaques du fait qu'ils ont étudié les chaînes de subduction ou chaînes de collision dans le cours. Pour eux, la convergence des plaques à elle seule peut entraîner la formation des chaînes de montagnes. Le phénomène de la convergence renvoie à la théorie de la tectonique des plaques, mais elle ne suffit pas pour former une chaîne de montagne. Pour les experts, l'orogénèse est un phénomène étudié dans le cadre de la tectonique globale. L'explication des élèves est donc simple du type une cause entraîne un effet. L'orogénèse est plus complexe. Nous pensons que les mouvements des plaques (convergence et divergence) sont les mieux retenus par les élèves. S'ils savent qu'il y a convergence, certains élèves ne semblent pas savoir que l'un des principaux résultats de ces mouvements est la formation des chaînes de montagne.

2. L'explication des crises biologiques par des élèves de la 4^{ème} Sciences Expérimentales

Nous analysons dans ce qui suit les réponses des élèves de baccalauréat Sc. Exp. à propos des crises biologiques.

2.1. Catégorisation et analyse des réponses à la 1^{ère} question

La question est : comment, selon vous, les dinosaures ont-ils disparu ? Nous essayons de rechercher chez les élèves les principales causes qu'ils voient derrière la disparition des dinosaures. Après avoir lu toutes les réponses des élèves, on les regroupe dans des catégories dont on définit comme suit, certaines réponses ont été classées dans une ou plus de catégories.

La catégorie extinction brutale regroupe les réponses favorables à l'extinction rapide et soudaine des espèces, elle rassemble les sous-catégories suivantes :

Sous-catégorie 1 : regroupe les réponses favorables à l'hypothèse météoritique. Exemple « *les dinosaures sont disparus après qu'un météorite avait heurté la terre ce qui a provoqué l'explosion et la disparition* » (E1)

Sous-catégorie 2 : regroupe les réponses favorables à l'hypothèse volcanique. Exemple « *les dinosaures ont disparu après un catastrophe naturelle due à une explosion volcanique* » (E17)

La catégorie extinction graduelle rassemble les réponses favorables à l'extinction lente et progressive des espèces, elle regroupe les sous-catégories suivantes :

Sous-catégorie 1 : rassemble les réponses proposant le changement climatique comme cause

d'une crise biologique. Exemple « *la disparition des dinosaures s'explique par le changement du climat, la nature. Je pense que les dinosaures vivent dans des conditions bien précises. Et quand ces conditions changent, ces animaux finissent par disparaître* » (E4)

Sous-catégorie 2 : rassemble les réponses proposant l'évolution comme cause de la crise biologique. Exemple « *les dinosaures sont disparu à cause des mutations génique, chromosomiques et sélection* » (E32)

Sous-catégorie 3 : rassemble les réponses évoquant le type ou la quantité des aliments comme cause de l'extinction. Exemple « *la disparition des dinosaures est dû au changement de l'environnement qui a causé la toxicité des plantes et l'absence de la nourriture* » (E43)

Certaines réponses sont difficiles à classer. Exemple « *les hommes et les dinosaures ne peut être jamais des camarades* » (E30)

Tableau 46 : mise en catégories des réponses des élèves

Catégories	Sous-catégories	Effectif / 46
Extinction brutale	Sc1 : hypothèse météoritique : météorite a heurté la terre (explosion, produits chimiques)	18
	Sc2 : hypothèse volcanique : gaz volcanique	4
Extinction graduelle	Sc1 : changements climatiques et environnementaux : sécheresse, température	21
	Sc2 : évolution : sélection naturelle, mutation...	16
	Sc3 : alimentation : plantes toxiques, manque de nourriture	7
Réponses difficiles à classer		2

Nous remarquons que plus d'un tiers de la population interrogée évoque l'explosion et les produits chimiques produits par l'impact météoritique comme cause de l'extinction des dinosaures. Il leur paraît que cet évènement s'est produit brutalement, donc sur une période très courte. Il paraît aussi que pour les apprenants cette brutalité n'est comprise que dans le cadre du temps géologique lent et donc qu'elle s'est déroulée sur au moins une dizaine de millions d'années. Elle est brève mais par rapport à l'échelle géologique et non du jour au lendemain tel qu'ils pensent. Cette explication trouve son origine dans les médias étant donné que les crises biologiques ne font pas partie du programme enseigné. Nous nous retrouvons encore une fois face à la transposition médiatique qui empêche l'acquisition de certaines notions scientifiques. Par contre presque la moitié des élèves pensent aux changements

climatiques et environnementaux (sécheresse, température). La sélection naturelle et la mutation sont mobilisées par 1/3 des élèves interrogés. Rares sont les élèves qui ont pensé à l'explosion volcanique pourtant elle a enrichi le débat sur la cause des extinctions de masse durant au moins deux décennies. Il s'est avéré comme nous l'avons expliqué (voir chapitre 1) que la quantité d'iridium dégagé par le volcan est insuffisante pour provoquer un tel évènement. La nourriture (plantes toxiques ou manque de nourriture) ne semble pas être une cause convaincante de l'extinction et pourtant on la retrouve dans les explications de certains élèves. Cette extinction graduelle prend plus de temps selon les apprenants que celle brutale, mais il ne semble pas qu'ils sont conscients de l'immensité du temps géologique qui fait disparaître autant d'espèces que celles disparues durant cette catastrophe naturelle.

D'une façon générale, nous assistons à la mobilisation des explications qui renvoient aux deux thèses du débat (Boughanmi Y., 2007a). L'extinction est brutale, nécessite donc un phénomène bref mais qui s'étend sur des millions d'années. Ou elle est graduelle et elle a commencé beaucoup plus tôt et a fini par faire disparaître toutes les espèces. Le débat n'est pas encore clos pour les scientifiques eux-mêmes.

Pour vérifier s'il y a relation entre la catégorie extinction brutale et extinction graduelle nous croisons les deux sous-catégories hypothèse météoritiques et changements climatiques. Soit le tableau suivant :

Tableau 47 : croisement des catégories C1/Sc1 et C2/Sc2

		hypothèse météoritique : météorite a heurté la terre (explosion, produits chimiques)	
		Oui	Non
changements climatiques et environnementaux : sécheresse, température	Oui	3 (5)	16 (14)
	Non	9 (7)	18 (20)

Nombre entre parenthèse : effectif théorique

Nombre sans parenthèse : effectif réel

$$X^2_{th} = 3,84 \text{ à } 5 \% \text{ et } ddl = 1$$

$$X^2_{cal} = (3-5)^2/5 + (16-14)^2 / 14 + (9-7)^2 / 7 + (18-20)^2 / 20$$

$$X^2_{cal} = 1.85$$

$$X^2_{cal} < X^2_{th} = 3,84 \text{ à } 5 \% \text{ et } ddl = 1$$

Il s'agit d'une indépendance entre les deux catégories. Une minorité évoque les deux causes de l'extinction simultanément ; changement climatique et hypothèse météoritique. Un tiers

des élèves n'ont pas évoqué l'hypothèse météoritique dans l'explication d'une crise biologique.

2.2. Catégorisation et analyse des réponses à la 2^{ème} question

La question est : comment expliquez-vous qu'il y ait apparition de nouvelles espèces après la disparition des dinosaures ? Nous estimons que les élèves mobilisent leurs conceptions sur l'apparition de nouvelles espèces après une telle crise qui a provoqué la disparition d'environ 50% des espèces. Certes, les élèves se posent la question sur la diversité des espèces dans notre monde actuel? Les élèves ont étudié dans leur cursus lycéen la génétique, la diversité du monde vivant, l'écologie...etc. cependant aucun thème enseigné porte sur l'origine de la vie dans le programme. La question est donc interdisciplinaire et fait appel à plusieurs disciplines biologiques et géologiques. Après avoir défini les catégories en les renvoyant aux disciplines dont les étudiants.

Dans la **catégorie 1**, nous rassemblons les réponses évoquant des causes génétiques pour expliquer l'apparition de nouvelles espèces. Exemple « *le problème s'explique par le changement de l'information génétique et aussi le problème de la mutation. Les dinosaures dans un temps précis ne trouvent pas les conditions favorables pour la continuité de leur vie, d'où l'apparition de nouvelles espèces plus adaptées à partir d'un changement brusque de l'information génétique* » (E5)

Dans la **catégorie 2**, nous regroupons ici les réponses prenant la sélection naturelle comme mécanisme de l'évolution. Exemple « *je pense qu'après la disparition des dinosaures vont apparaître des nouvelles espèces dont ces derniers peuvent s'adapter dans un environnement sans dinosaures, c'est la sélection naturelle* » (E9)

Dans la **catégorie 3**, on rassemble les réponses qui renvoient à la théorie de l'évolution, plus particulièrement celles qui parlent de la spéciation et l'isolement géographique. Exemple « *l'explication de l'apparition de nouvelles espèces après la disparition des dinosaures, ils sont le résultat de l'isolement géographique et l'adaptation avec le nouveau environnement puis l'apparition de nouveaux groupes et espèces qui ont une ressemblance et différence de caractères des dinosaures* ». E (22)

Dans la **catégorie 4**, nous regroupons dans cette catégorie les réponses mobilisant le changement climatique comme un facteur à l'apparition et l'évolution de nouvelles espèces. Exemple « *l'apparition de ces nouvelles espèces est due au changement climatique dans la nature et dans le climat qui devient plus favorable à l'extinction d'autres espèces. En effet la disparition des dinosaures rend la terre plus favorable à l'existence de nouvelles espèces : la*

chaîne de l'écosystème est maintenue ». (E8)

Dans la **catégorie 5**, nous rassemblons les explications renvoyant à l'écologie mais qui tiennent compte de la libération des niches écologiques. Exemple « *les dinosaures présents dans la planète ont occupé des niches écologiques mais après leur isolement et leur disparition les nouvelles espèces ont aussi occupé les mêmes niches écologiques* » (E7).

Dans la **catégorie 6**, les élèves ne donnent pas d'explication et se limitent à mentionner l'évolution biologique d'une façon générale. Exemple « *il y a apparition de nouvelles espèces après la disparition des dinosaures à cause de l'évolution biologique* » (E44)

Tableau 48 : mise en catégorie des réponses des élèves

Catégories	Effectif/46
Catégorie 1 : génétique : mutation (chromosomique, génique ...)	23
Catégorie 2 : évolution : sélection naturelle	5
Catégorie 3 : évolution : spéciation, isolement géographique, isolement reproductif	14
Catégorie 4 : écologie : changements climatiques	7
Catégorie 5 : écologie : libération des niches écologiques occupées par les dinosaures	6
Catégorie 6 : réponse tautologique : évolution biologique	10

La mutation chromosomique ou génique, la sélection naturelle et la spéciation sont les causes mobilisées par les apprenants pour expliquer l'apparition des nouvelles espèces. Ces notions scientifiques sont récemment enseignées aux élèves dans les chapitres portant sur l'évolution des êtres vivants et la génétique. D'ailleurs, c'est pourquoi une dizaine des élèves ont répondu d'une façon tautologique, c'est l'évolution biologique qui fait apparaître de nouvelles espèces. Les changements climatiques dans cette 2^{ème} question ne sont mentionnés que par 7/46 élèves pourtant presque la moitié des élèves ont évoqué ces changements comme cause principale de l'extinction. Seulement 6/46 élèves ont évoqué la libération des niches écologiques occupées par les dinosaures comme cause en faveur de l'apparition des nouvelles espèces. Si l'extinction des espèces est expliquée dans le cadre des thèses du débat (brutalisme et gradualisme), l'apparition de nouvelles espèces est graduelle (mutation, sélection ou spéciation) selon la majorité des hypothèses traitant cette question. Ces faits évolutionnistes semblent s'étendre sur un temps long, mais toujours au sens chronologique du temps. Selon certains élèves des centaines d'années ont fait disparaître toutes ces espèces fossiles que nous

connaissions, c'est un temps très court. Nous ne savons pas grand-chose sur les espèces dont on n'a pas encore trouvé de traces.

Etant donné que le développement de la génétique plaide en faveur de la théorie de l'évolution, nous croisons les deux catégories C1 et C3 pour voir si ce lien est maintenu par les apprenants dans leur réponses.

Tableau 49 : croisement des catégories C1 et C3

		génétique : mutation (chromosomique, génique ...)	
		Oui	Non
évolution : spéciation, isolement géographique, isolement reproductif	Oui	9 (12)	18 (15)
	Non	11 (8)	8 (11)

Nombre entre parenthèse : effectif théorique

Nombre sans parenthèse : effectif réel

$$X^2_{th} = 3,84 \text{ à } 5 \% \text{ et } ddl = 1$$

$$X^2_{cal} = (9-12)^2/12 + (18-15)^2/15 + (11-8)^2/8 + (8-11)^2/11$$

$$X^2_{cal} = 3.28$$

$$X^2_{cal} < X^2_{th} = 3,84 \text{ à } 5 \% \text{ et } ddl = 1$$

X^2_{cal} est proche au $X^2_{th} = 3,84$ à 5 % et $ddl=1$. Nous ne pouvons pas parler d'une dépendance ou indépendance suite à ce calcul. Nous supposons que les différents échantillons ne présentent pas une homogénéité claire. Dans ce cas l'hypothèse H_0 n'est pas tout à fait acceptée. Nous ne pouvons pas dire que les deux échantillons sont extraits de populations ayant la même distribution du caractère étudié.

2.3. Catégorisation et analyse des réponses à la 3^{ème} question

La question est : pensez-vous que l'extinction des espèces a touché toute la planète ? Expliquez. L'étude du concept d'espace (ici l'espace géographique) nous permettra de savoir si les élèves peuvent gérer l'un des concepts clés de la géologie. L'espace géographique du globe est énorme et peuplée de différentes espèces avant la crise du Tertiaire. Si l'extinction était globale, comment certaines espèces ont survécu et si elle était partielle comment les dinosaures ont disparu totalement de la planète. Il aurait dû en rester vivant quelque part à la surface du globe. Les réponses sont classées dans des catégories, voire dans des sous-catégories.

Catégorie 1 : on regroupe dans cette catégorie les réponses montrant que l'extinction est brutale et qu'elle touché toute la planète. On la subdivise en sous-catégories :

La **sous-catégorie 1** rassemble les réponses évoquant l'impact météoritique comme cause d'une extinction globale. Exemple « *un grand météorite arrive sur la planète et détruit tous* » (E22).

La **sous-catégorie 2** rassemble les réponses évoquant la perturbation dans la chaîne alimentaire comme cause suffisante pour une extinction globale. Exemple « *l'extinction des espèces a touché toute la planète car elle était causé par la perturbation dans la chaîne alimentaire* ». (E7)

La **sous-catégorie 3** regroupe les réponses considérant la disparition de toutes les espèces une preuve d'une extinction brutale. Exemple « *l'extinction des espèces a touché toute la planète et on peut cité comme exemple la disparition des dinosaures dans l'Amérique est suivie de leur disparition dans d'autres places* » (E12).

Catégorie 2 : nous regroupons dans cette catégorie les réponses montrant que l'extinction est graduelle et partielle c'est-à-dire qu'elle s'est fait en plusieurs millions d'années et qu'elle n'aurait pas touché toute la planète. On la subdivise en sous-catégories :

La **sous-catégorie 1** regroupe les réponses proposant comme arguments le fait que certaines espèces ont survécu. Exemple « *non, parce qu'il y a des animaux qui ont survécu en sud d'Amérique et non pas en sud d'Afrique ce qui explique le degré d'adaptation de l'animal au milieu mais il y a un type d'oiseaux qui a disparu d'une région à une autre suite à des catastrophes* » (E5).

La **sous-catégorie 2** rassemble les explications la répartition partielle de l'extinction par le changement du climat d'une région à une autre. Exemple « *l'extinction des espèces ne touche pas toute la planète car le climat et le profil ne sont pas le même partout, le climat d'Afrique n'est comme celui de l'Amérique* ». (E3)

La **sous-catégorie 3** regroupe les explications tenant en compte l'adaptation des espèces. Exemple « *l'extinction n'a pas touché toute la planète car il y a formation de nouvelles espèces et d'autres sont adaptées aux nouvelles conditions de la vie* » (E1).

Tableau 50 : mise en catégorie des réponses des élèves de la répartition spatiale de la crise biologique

Catégories	Sous-catégories	Effectif/46
Catégorie 1 : Extinction brutale : L'extinction est globale dans l'espace géographique	Sc1 : l'impact météoritique a touché toute la planète	5
	Sc2 : perturbation dans la chaîne alimentaire	10
	Sc3 : la disparition de toutes les espèces	10
Catégorie 2 : Extinction graduelle : L'extinction est partielle dans l'espace géographique	Sc1 : la disparition de certaines espèces et pas d'autres	7
	Sc2 : le climat n'est pas le même d'une région à une autre	7
	Sc3 : degrés d'adaptation des animaux	3

Une minorité des élèves pensent que l'impact météoritique a touché toute la planète. Un météorite ne peut toucher la planète que s'il se divise en des milliards de fragments et que chaque fragment doit être très lourd du fait qu'il peut produire des spinelles nickélicifères lors du contact avec la terre. Une dizaine d'élèves ont évoqué la perturbation dans la chaîne alimentaire comme cause suffisante pour faire disparaître toutes les espèces. Nous pensons que les plantes toxiques que les élèves évoquent ne peuvent pas être réparties dans tout le globe terrestre vu que chaque région a ses propres propriétés écologiques.

Pour certains élèves la disparition de certaines espèces et pas d'autres, montre bien que l'extinction n'a pas touché toute la planète. Le climat aussi n'est pas le même d'une région à une autre. L'adaptation des animaux aux événements est différente selon les espèces donc l'extinction ne peut pas être globale. Les travaux de la majorité de chercheurs ont montré que l'extinction a touché 50% des espèces durant la crise crétacé/tertiaire et elle atteint 80% durant la crise de l'ère primaire. En aucun cas de crise biologique l'extinction n'a touché toute la planète. La conception d'espace géographique semble être difficile à gérer par les élèves de baccalauréat. Nous remarquons aussi que l'extinction globale coïncide avec la catégorie extinction brutale alors que l'extinction partielle coïncide avec l'extinction graduelle. Il leur semble que l'extinction globale se fait très rapidement, il s'agit selon eux d'une catastrophe qui n'a pas duré longtemps. Le catastrophisme est encore maintenu comme courant par lequel nous expliquons certains phénomènes naturels. Alors que l'extinction partielle prend son

temps et touche peu à peu certaines régions du globe et pas d'autres. Ce phénomène se déroule sur quelques décennies voire un siècle. Ceci montre la relation que les élèves font entre le temps et l'espace, si l'espace géographique de la planète terre est touché totalement, ceci doit être bref dans le temps alors que celle partielle se fait durant un temps important. Le temps à l'échelle humaine fait obstacle à l'appréhension du temps géologique, l'espace géométrique fait obstacle à la conception d'une des hypothèses du débat portant sur l'extinction brutale ou graduelle.

Pour vérifier s'il y a un lien entre l'espace planétaire touché par le météorite et l'espace géographique dépendant du climat, nous croisons deux sous catégories des catégories extinction graduelle et extinction brutale.

Tableau 51 : croisement C1/Sc1 et C2/Sc3

		l'impact météoritique a touché toute la planète	
		Oui	Non
le climat n'est pas le même d'une région à une autre	Oui	2 (1)	5 (6)
	Non	5 (6)	34 (33)

Nombre entre parenthèse : effectif théorique

Nombre sans parenthèse : effectif réel

$$X^2_{th} = 3,84 \text{ à } 5 \% \text{ et } ddl = 1$$

$$X^2_{cal} = (2-1)^2/1 + (5-6)^2/6 + (5-6)^2/6 + (34-33)^2/33$$

$$X^2_{cal} = 1.36$$

$$X^2_{cal} < X^2_{th} = 3,84 \text{ à } 5 \% \text{ et } ddl = 1$$

Il s'agit d'une indépendance entre les deux catégories. La majorité ne pense pas que l'impact météoritique a touché toute la planète. Pareil pour le changement du climat, qui n'est pas le même d'une région à une autre, renvoie à une extinction limitée dans l'espace géographique.

2.4. Catégorisation et analyse des réponses à la 4^{ème} question

La question est la suivante : pensez-vous qu'une crise biologique ralentit l'évolution des espèces ? Expliquez.

Si une crise a touché toute la planète terre, pourrait-elle ralentir l'évolution biologique des espèces où serait-elle en faveur de l'apparition de nouvelles espèces. Comment les élèves expliquent-ils ces idées ? Les réponses ont été divisées en deux volets : certains élèves voient qu'une crise peut ralentir l'évolution alors que d'autres pensent qu'elle l'accélère. Soit les catégories dans lesquelles nous avons classé les réponses :

Catégorie 1 : elle regroupe les réponses favorables au ralentissement de l'évolution des espèces suite à une crise. Cette catégorie est subdivisée en sous-catégorie selon la conséquence d'une crise.

Dans la **sous-catégorie 1** les réponses tiennent compte de la disparition des espèces pour prouver le ralentissement du rythme de l'évolution. Exemple « *oui, je pense que la crise géologique ralentit l'évolution des espèces car il y a disparition des espèces en centaines et par conséquent le ralentissement de l'évolution* » (E20).

Dans la **sous-catégorie 2** les réponses montrent qu'une crise biologique peut limiter l'apparition de nouvelles espèces et surtout elle diminue la fréquence de mutation qui est, selon les élèves, le mécanisme génétique expliquant l'évolution. Exemple « *je pense qu'une crise biologique peut ralentir l'évolution des espèces car l'évolution est le résultat de plusieurs facteurs, les mutations diminuent par la crise* » (E31).

Dans la **sous-catégorie 3** on regroupe les réponses supposant que les formes intermédiaires limite l'apparition des nouvelles espèces. Exemple « *la présence d'une forme intermédiaire comme l'Archéoptéryx provoque le ralentissement de l'évolution des espèces* » (E39).

Dans la **sous-catégorie 4**, on regroupe les réponses dans lesquelles la crise biologique est considérée comme facteur de perturbation de l'évolution et la destruction des écosystèmes et par conséquent le ralentissement de l'évolution. Exemple «

Catégorie 2 : on regroupe dans cette catégorie les réponses favorables à l'accélération de l'évolution des espèces suite à une crise biologique. Deux sous-catégories sont identifiées ;

Dans la **sous-catégorie 1** nous regroupons les réponses évoquant l'apparition de nouvelles espèces et leur diversité comme indice de l'accélération du rythme de l'évolution. Exemple « *une crise géologique accélère l'évolution des espèces car elle touche l'environnement qui a un rôle sélective qui change les structures des acides aminés et donc apparition d'un grand nombre nouvelles espèces* » (E25).

Dans la **sous-catégorie 2** nous regroupons les réponses. Exemple « *contrairement, je pense qu'une crise peut enrichir l'existence des espèces et donne chance à l'apparition des nouvelles espèces d'où la fréquence des mutations élargit la sélection naturelle et donc accélère l'évolution biologique, même si elle une cause fondamentale de la disparition de plusieurs espèces* » (E8).

Tableau 52 : mise en catégories des réponses des élèves

Catégories	Sous-catégories	Effectif/46
Catégorie 1 : Une crise biologique ralentit l'évolution des espèces	Sc1 : disparition des espèces	8
	Sc2 : limite l'apparition de nouvelles espèces et diminution de mutations	5
	Sc3 : forme intermédiaire limite l'apparition des espèces	2
	Sc4 : perturbation de l'évolution et la destruction des écosystèmes	9
Catégorie 2 : Une crise biologique accélère l'évolution des espèces	Sc1 : diversité des espèces et apparition des nouvelles espèces	10
	Sc2 : Adaptation des espèces aux nouvelles conditions et occupation de niches écologiques libérées	5

Selon quelques élèves une crise biologique peut ralentir l'évolution des espèces étant donné qu'elle les fait disparaître. D'autres élèves pensent qu'une crise biologique limite et diminue la possibilité de mutation considérée comme origine principale dans l'apparition de nouvelles espèces. Nous ne voyons pas comment une forme intermédiaire, par exemple l'archéoptéryx, peut limiter l'évolution des espèces. Nous estimons qu'ils pensent qu'une forme intermédiaire peut avoir plusieurs critères de classification ; plume, bec, ...etc., donc elle ne donne pas l'occasion pour que d'autres espèces se développent. Pour certains élèves, la destruction des écosystèmes lors d'une crise biologique est une cause de ralentissement de l'évolution des espèces. Selon Rumelhard, il est aisé d'observer une apparition que d'observer une disparition. Nous pensons que cette pensée négative dans la science est en relation avec les notions de catastrophes telles que dans ce cas « crise » et « destructions des écosystèmes ». Une dizaine des élèves pensent que la diversité des espèces après la crise crétacé-tertiaire est une preuve que la crise biologique accélère le rythme de l'évolution des espèces. La libération des niches écologiques suite à une crise donne plus de chances d'apparition à des espèces nouvelles. Mais pas tout de suite, il fallait du temps, et du temps géologique en millions, voire en milliards d'années. Nous rappelons que la crise de la fin du crétacé se traduit par une diminution sélective de la diversité biologique. Celle-ci s'est rétablie en quelques millions d'années à partir des espèces ayant survécu. La crise est suivie d'une période où l'apparition

de nouvelles espèces l'emporte largement sur les extinctions normales. Ainsi, la disparition des dinosaures a permis le succès évolutif des mammifères au Tertiaire en libérant des niches écologiques qui leurs étaient inaccessibles durant l'ère secondaire.

2.5. Conclusion

Dans quelles références explicatives nous classons les conceptions des élèves et à quel nature de temps renvoient-elles ? Nous résumons dans le tableau suivant les différents conceptions et nous essayons d'identifier les différents registres explicatifs.

Tableau 53 : conceptions, registres explicatifs et nature du temps chez les élèves

Nature du temps	Conceptions	Registres explicatifs
Temps long	<ul style="list-style-type: none"> - Subduction, collision, volcan, séisme, courant de convection, mouvements des plaques, ophiolite, fermeture de la Téthys, formation des roches - Changements climatiques, hypothèse volcanique, sécheresse, nourriture - Sélection, évolution, adaptation, extinction des espèces, mutation, spéciation, isolement, apparition de nouvelles espèces 	<ul style="list-style-type: none"> - Tectonique - Gradualisme, partielle - Evolutionnisme
Temps court	<ul style="list-style-type: none"> - vent fort, cassure, progression de la mer, destruction des maisons, famine, - mal, malheur - Ensemble de roche superposé - Hypothèse météoritique - Destruction des écosystèmes, libération de niches écologiques 	<ul style="list-style-type: none"> - Catastrophisme actuel, anthropomorphisme - psychique - Conception artificielle - Brutalisme, globale - Environnement

La nature du temps chez les élèves dépend de leurs conceptions et leurs registres explicatifs. Les registres explicatifs qui se rapportent au temps long ou au temps court sont variés. Le temps long apparaît dans les processus géologiques ou biologiques lorsque les élèves travaillent dans registre explicatif tectonique, évolutionniste ou gradualiste. Le temps court apparaît lorsque les élèves mobilisent des explications qui renvoient au catastrophisme actuel, à l'anthropomorphisme, à l'effet psychique, à la conception artificielle, au brutalisme et à l'environnement. Les explications mobilisées par les élèves à propos des phénomènes géologiques sont très variées. Le tsunami est expliqué d'une part dans un cadre tectonique et d'autre part dans un cadre de catastrophisme actuel et d'anthropomorphisme. Leur conséquence est d'ordre psychique. La formation des chaînes de montagnes est expliquée dans un cadre tectonique mais aussi les élèves mobilisent des schèmes qui renvoient à la vie quotidienne ; la superposition des roches est une conception artificielle. Les crises

biologiques, elles aussi sont expliquées comme phénomènes brutales ou graduelles. Résolument chaque phénomène est expliqué dans deux cadres temporels différents : temps à l'échelle humaine et temps à l'échelle géologique. Quel sont les obstacles qui font face à l'usage du temps nécessaire dans l'explication des phénomènes étudiés ?

Pour mieux explorer le terrain de notre recherche et travailler sur la construction du problème par les apprenants, nous essayons d'étudier l'explication des phénomènes naturels, déjà étudié avec les élèves, chez de futurs enseignants des sciences de la vie et de la terre.

3. L'explication de phénomènes naturels par des futurs enseignants

Les processus des phénomènes géologiques et biologiques sur lesquels nous menons notre recherche ne sont pas perceptibles à l'appréhension humaine. Les futurs enseignants pourraient-ils mobiliser une explication de ces phénomènes plus approfondie dans un cadre plus large : celui de la théorie de la tectonique des plaques ? Sont-ils conscients de la dimension spatiotemporelle du déroulement des processus géologiques de ces phénomènes ? Leur formation, durant leur cursus secondaire et universitaire, leur permet d'acquérir un certain savoir, susceptible d'être enseigné à leurs élèves. Il ne s'agit pas d'un jugement ou une d'une évaluation, mais plutôt d'une recherche de signification de ce que les futurs enseignants mobilisent comme explications.

3.1. Analyse des réponses à la 1^{ère} question

La question est la suivante : expliquez comment s'est déclenché le séisme du 26-12-2004 qui a frappé la région sud et sud-est de l'Asie ? Illustrez vos propos par un schéma.

Catégorie 1 : caractéristique du séisme

Nous regroupons dans cette catégorie les réponses prenant en compte les caractéristiques géographiques ou physiques du séisme. Cette catégorie est subdivisée en trois sous-catégories.

La **catégorie 1**, subdivisée en trois sous-catégories, regroupe les réponses évoquant les caractéristiques d'un séisme. Exemple « *généralement le séisme est caractérisé par son origine et ses ondes sismiques (P, L, S). Le séisme du 2004 était au niveau de la mer* » (E16).

La **catégorie 2**, rassemble les explications qui renvoient à la tectonique des plaques : subduction, énergie, faille inverse. Exemple « *le séisme qui a frappé la région sud est de l'Asie s'est déclenché au niveau de la mer ou un déplacement de deux plaques par subduction a provoqué une remontée du niveau de la mer et donc les villes côtières se trouvent submergées dans l'eau* » (E3)

La **catégorie 3**, rassemble les explications des conséquences du séisme, ici le tsunami. Exemple « le séisme du 26-12-2004 qui a frappé la région sud et sud est de l'Asie était situé dans la mer et a provoqué une augmentation du niveau de l'eau sous forme d'un vague géante, il a produit d'énormes dégâts » (E6).

Tableau 54 : conceptions des futurs enseignants sur le séisme et le tsunami

Catégories	Sous-catégories	Effectif / 47
Catégorie 1 : Caractéristiques du séisme	Sc1 : situation géographique	26
	Sc2 : ondes sismiques, leurs vitesses, foyer	10
	Sc3 : échelle du séisme	7
Catégorie 2 : Cause tectonique du séisme	Sc1 : déplacement des plaques, mouvements des plaques, compression des plaques	6
	Sc2 : phénomène de subduction	10
	Sc3 : accumulation d'énergie à l'intérieur de la terre	3
	Sc4 : faille inverse, ancienne faille de grand rejet	11
	Sc5 : faille normale	2
	Sc6 : volcanisme au niveau des dorsales	1
Catégorie 3 : Tsunami : catastrophe conséquence du séisme	Sc1 : tsunami, raz de marée	18
	Sc2 : énormes vagues	17
	Sc3 : Inondation, envahissement de la région par l'eau, montée du niveau marin	10
	Sc4 : dégâts matériels, pertes économiques Et humaines	12

Nous remarquons que les caractéristiques du séisme prennent plus de place dans l'explication du phénomène. 26 futurs enseignants (voir tableau 17) ont évoqué la situation géographique. Une dizaine ont parlé des ondes sismiques, de leur vitesse et uniquement 7/47 ont évoqué l'échelle du séisme sur l'échelle de Richter. La vitesse des ondes, la situation géographique et l'échelle d'un séisme sont des généralisations connues des étudiants étant donné qu'ils ont acquis ces notions dès leurs classes de secondaire et que cette catastrophe a fait rage dans tous les médias durant les dix derniers jours de l'année 2004. Nous n'étions pas satisfaits que seulement onze futurs enseignants évoquent la faille inverse de grand rejet comme cause

principale du séisme et par conséquent du tsunami. Selon M.-H. Inoubli (2005), les caractéristiques de ce séisme n'étaient pas totalement connues au début, mais plusieurs organismes proposent que la cause principale soit une faille de l'ordre de 600 km orientée Nord 130° environ. Une dizaine des étudiants ont évoqué la subduction qui est le résultat du mouvement des plaques.

Le séisme qui s'est déclenché dans la région sud et sud-est de l'Asie est dû à l'enfoncement de la plaque Indo-Australienne sous l'île de Sumatra dont la vitesse de la subduction est estimée à 5 cm/an (Y. Boughanmi, 2006). L'accumulation de l'énergie n'a été mobilisée que par trois étudiants alors que c'est cette énergie qui a causé les immenses vagues par la suite. Nous ne voyons pas pourquoi deux étudiants voient qu'une faille normale a rejoué et a déclenché le phénomène. Le volcanisme n'a été évoqué que par un seul futur enseignant. Grosso modo, moins d'un tiers des étudiants mobilisent des explications qui renvoient à la théorie de la tectonique. La faille inverse est la cause principale du séisme. La variable conséquence du séisme est différente selon les étudiants. Plus d'un tiers pense que le tsunami est la conséquence directe du séisme. 17 étudiants ont parlé d'énormes vagues. Contrairement aux élèves, seulement un quart des étudiants ont évoqué les dégâts matériels et les pertes humaines et économiques. Pour une dizaine des futurs enseignants l'inondation et la montée des eaux des mers sont les causes de ce tsunami. Généralement, la conception catastrophiste règne dans les explications des étudiants. Comme les élèves, les futurs enseignants n'ont gardé que les schèmes catastrophiques du phénomène naturel.

Pour approfondir sur le lien entre une cause tectonique et la conséquence catastrophique du séisme, nous croisons les catégories C2/Sc4 et C4/Sc3.

Tableau 55 : croisement de C2/Sc4 et C4/Sc3

		Faille inverse, ancienne faille de grand rejet	
		Oui	non
Dégâts matériels, pertes économiques Et humaines	Oui	4 (4)	13 (13)
	Non	7 (7)	23 (23)

Nombre entre parenthèse : effectif théorique

Nombre sans parenthèse : effectif réel

$X^2_{th} = 3,84$ à 5 % et ddl = 1

$X^2_{cal} = 0$

$X^2_{cal} < X^2_{th} = 3,84$ à 5 % et ddl = 1

Il s'agit d'une forte indépendance entre les deux catégories. Plus que la moitié des futurs

enseignants n'ont pas évoqué la principale cause du séisme ; la faille. Peu de réponses revoient aux deux cadres explicatifs ; catastrophisme actuel et théorie mobiliste.

3.2. Analyse des réponses à la 2^{ème} question

La question est la suivante : Comment se sont formées les chaînes alpines ? Illustrez vos propos par un schéma.

Nous attendons que les futurs enseignants évoquent le processus de la formation des chaînes alpines. Ces processus les incitent à évoquer la notion du temps géologique. En fait, le processus de l'orogénèse alpine ou d'autres phénomènes géologiques nous donne une idée sur l'usage du temps géologique par les étudiants. Nous avons regroupé dans le tableau suivant les explications des étudiants dans des catégories. Certaines réponses renferment plus qu'une conception.

Dans la **catégorie 1**, nous regroupons les réponses qui considèrent que l'orogénèse des alpes est due au phénomène de subduction. Exemple « *les chaînes alpines se sont formés à la suite d'une série des nappes de charriages et des mouvements de subduction partant de Agadir jusqu'à la grèce. Ces mouvements ont été accompagné de plissement, fossé d'effondrement* » (E3).

Dans la **catégorie 2**, les alpes sont formées suite à la fermeture de la Téthys. Exemple « *la fermeture de la Téthys du au rapprochement de l'Afrique et l'Eurasie a donné la chaîne alpine* » (E37)

Dans la **catégorie 3**, nous rassemblons les réponses qui explique la formation des la collision de la plaque africaine et celle européenne. Exemple « *les chaînes alpines sont formés par la collision des deux plaques terrestres : européenne et africaine, donc la formation de ces chaines de montagnes se fait aux frontière sud de l'Europe* » (E22).

Dans la **catégorie 4**, les étudiants considèrent les alpes comme résultat de la superposition des séries d'allochtones. Exemple « *la rencontre des plaques Africaines et Européenne au niveau de la méditerranée est à l'origine des flyschs qui se propagent de part et d'autres de la méditerranée. La superposition de ces allochtones forment la chaîne alpine européenne* » (E1).

Dans la **catégorie 5**, les étudiants expliquent l'orogénèse des alpes par l'ouverture de l'atlantique. Exemple « *l'ouverture de l'atlantique en forme de ciseau et par conséquence la fermeture de la Thétys est due au rapprochement des deux plaques africaines et européenne a provoqué la formation des chaînes de montagnes* » E (29).

Tableau 56 : l'explication de l'orogénèse alpine par les étudiants

	Catégories	effectifs/ 47
Orogenèse des alpes	C1 : Succession d'étapes du à la subduction, nappes de charriages plus subduction	9
	C2 : Fermeture de la Téthys	22
	C3 : Collision des plaques africaine et européenne	33
	C4 : Séries d'allochtones superposées	2
	C5 : Ouverture de l'atlantique	6

La majorité des étudiants (33/47) pensent à la collision de deux plaques ; africaine et européenne. Ce processus, actuellement en action, est connu au sein de la population interrogée. 22/47 étudiants évoquent la fermeture de la Téthys. On trouve les traces de cet océan fossile dans la mer Méditerranée. Il semble que ces deux phases sont les mieux expliquées par les futurs enseignants. Nous n'avons pas trouvé une explication renfermant toutes les phases de la formation des chaînes alpines. Certains d'entre eux ont parlé de la succession des étapes de la subduction, des nappes de charriage ou de la superposition de séries d'allochtones. Il s'agit de généralisation abusive et non de réponses fondées sur des arguments scientifiques.

Certains étudiants ont mobilisé au moins deux phases du processus orogénique des chaînes alpines. Il nous semble qu'ils sont conscients, mais sans le signaler, de l'immensité du temps géologique. La fermeture de la Téthys et l'ouverture de l'Atlantique se sont déroulées sur un temps long de millions d'années. Nous rappelons que les données de la tectonique globale ont permis de concevoir, très grossièrement, la genèse des Alpes de la manière suivante :

Il y a 200 millions d'années, l'Europe et l'Afrique ne formaient qu'un seul continent (le Gondwana). Il y a 160 millions d'années, l'ouverture de l'Atlantique Sud a poussé la plaque africaine vers l'est et a provoqué la formation d'un océan alpin entre deux failles transformantes. Cet océan sépare alors un continent "européen" et un continent "africain" qui porte l'Italie actuelle. L'Atlantique Nord s'est ouvert il y a 100 millions d'années. L'Afrique subit alors une rotation dans le sens inverse des aiguilles d'une montre et migre vers le sud, sous la marge adriatique de la plaque africaine. Il y a 80 millions d'années, une obduction provoque le charriage sur la marge européenne, vers le nord-ouest, d'une portion du plancher océanique ainsi que des sédiments. La collision continentale a eu lieu il y a 40 millions d'années. Coincé entre les deux continents, le plancher océanique laminé est fortement

déformé en même temps que ses deux marges ; la plaque africaine chevauche alors la plaque européenne. Au cours de ces affrontements se forment les reliefs alpins entre les plaques continentales.

Les réponses des futurs enseignants n'étaient pas complètes et approfondies. Leurs conceptions à propos du temps géologique, même si elle paraît dans les processus géologiques de la formation des chaînes alpines, semble être loin d'être raisonné. Si les futurs enseignants ne conçoivent pas l'importance du temps géologique dans l'explication des phénomènes naturels et leurs processus, la tâche sera beaucoup plus compliqué pour les élèves.

Tableau 57 : croisement des catégories C2 et C3

		Fermeture de la téthys			
		Oui		Non	
Collision des plaques africaine et européenne		14	(11)	10	(13)
	Oui	7	(10)	16	(13)
	non				

Nombre entre parenthèse : effectif théorique

Nombre sans parenthèse : effectif réel

$$X^2_{th} = 3,84 \text{ à } 5 \% \text{ et } ddl = 1$$

$$X^2_{cal} = (14-11)^2/11 + (10-13)^2/13 + (7-10)^2/10 + (16-13)^2/13$$

$$X^2_{cal} = 2.49$$

$$X^2_{cal} < X^2_{th} = 3,84 \text{ à } 5 \% \text{ et } ddl = 1$$

Il s'agit d'une indépendance entre les catégories. Environ un tiers des étudiants interrogés relie la fermeture de la Téthys à la collision des deux plaques africaine et européenne. Un tiers des étudiants n'ont pas évoqué les deux phénomènes géologiques.

3.3. Analyse des réponses à la 3^{ème} question

La question est la suivante : expliquez les causes des crises majeures caractérisées par des extinctions en masse des êtres vivants. Justifiez votre réponse.

La question est sous forme de dissertation pour donner plus de liberté aux étudiants de mobiliser les explications du sujet traité. A la faculté de Bizerte, les crises biologiques sont enseignées dans les cours de géologie²⁹ et dans d'autres cours de biologie. D'une façon générale nous considérons que les étudiants ayant acquis durant leurs cursus secondaire et universitaire, ainsi que par la transposition médiatique, les connaissances nécessaires pour

²⁹ Nouredine Ben Ayed. 2006. Cours de géologie. Faculté des sciences de Bizerte.

expliquer les crises biologiques. Nous avons récapitulé dans le tableau suivant l'ensemble des catégories qui en découlent de l'analyse de leurs réponses. Une réponse peut être classée dans une ou plusieurs catégories quand elle renferme plus qu'une idée ou conception.

La **catégorie 1**, rassemble les réponses qui renvoient aux changements climatiques. Exemple « *les cause climatiques par exemple, certains êtres vivants ne trouvent pas les conditions favorables de vivre dans un climat très humide ou bien un climat aride...etc, il y a aussi des problèmes pédologiques du changement du climat qui ont participé à l'extinction en masse des dinosaures* »(E20).

La **catégorie 2**, regroupe les réponses qui renvoient à la théorie mobiliste. Exemple « *Il y a eu un grand volcanisme qui a injecté une grande masse de poussière qui a empêché la lumière de passer et a causé les crises* » (E40).

La **catégorie 3**, regroupe les réponses qui renvoient aux problèmes écologiques. Exemple « *la crise est due au réchauffement général du globe d'ou la disparition des espèces thermophobes et l'apparition des espèces thermophiles* » (E4).

La **catégorie 4**, rassemble les réponses favorisant l'impact météoritique comme hypothèse expliquant la crise biologique. Exemple « *la principale cause des crises majeurs est l'heurtement de la surface du globe terrestre par les météorites qui libèrent des poussières provoquant un changement de la vie des êtres vivants qui finissent par disparaître* » (E

Dans la **catégorie 5**, certains étudiants évoquent l'impact de l'être humain dans la crise pourtant qu'il y a 60 MA l'être humain n'existait pas. Exemple « *la crise est due au changement atmosphérique causé par l'être humain* » (E1).

Dans la **catégorie 6**, un étudiant pense à la volonté divine comme cause de la crise. Exemple « *les causes des crises majeurs est la volonté du Dieu* » (E47).

Tableau 58 : mise en catégories des réponses des étudiants

Catégories	Sous-catégories	effectifs/47
Catégorie 1 : Changements climatiques	Sc1 : teneur de l'O ₂ /CO ₂ , ozone	7
	Sc2 : Elévation de la température, réchauffement du globe, effet de serre	21
	Sc3 : Fusion des calottes glacières	10
Catégorie 2 : Phénomènes tectoniques	Sc1 : Activité volcanique, poussière	7
	Sc2 : Activité sismique	2
	Sc3 : Tectoniques des plaques, dérive des continents	8
Catégorie 3 : Problèmes écologiques	Sc1 : Pollution, déchets	5
	Sc2 : Adaptation des êtres vivants, sélection naturelle	8
	Sc3 : Compétition entre espèces	1
Catégorie 4 : Impact météoritique	Sc1 : Libéralisation de poussière et arrêt de la photosynthèse	6
	Sc2 : Météorite a heurté la terre	23
	Sc3 : Lumière bloquée, perturbation de la chaîne alimentaire	6
Catégorie 5 : Intervention de l'être humain	Sc1 : Exploitation humaine des ressources	4
Catégorie 6 : Volonté Divine	Sc1 : Volonté divine	1

Nous remarquons que le nombre de variables a augmenté par rapport à l'analyse des réponses des élèves de baccalauréat. Cependant, l'impact météoritique et le changement climatiques restent les causes les plus plausibles chez les étudiants. Presque la moitié des étudiants interrogés pensent que le réchauffement de la planète a contribué énormément à l'extinction massive. Nous ne sommes pas sûr qu'à cette époque l'effet de serre ait une influence sur la vie. Les futurs enseignants extrapolent des problèmes actuels vers le passé pour donner une explication. Une dizaine des futurs enseignants ont évoqué la fusion des calottes glacières, or selon nos connaissances ces calottes n'existent qu'aux deux pôles de la planète et leur fusion

ne pourrait donc pas toucher 50% des espèces. Il nous semble que les étudiants aient en tête le déluge, la fusion de la glace provoque une grande catastrophe, comparable au déluge, et donc elle a provoqué la disparition des êtres vivants. La teneur en oxygène et en dioxyde de carbone dans l'atmosphère a causé la disparition des espèces selon sept futurs enseignants. Nous pensons que le gaz carbonique pourrait contribuer à de futures extinctions de masse s'il atteint une masse critique dans l'atmosphère. Encore une fois les étudiants extrapolent des problèmes actuels dans l'explication du passé. 23/47 étudiants ont expliqué les crises par le fait qu'une météorite a heurté la terre mais seulement 6/47 étudiants ont parlé des effets de ce choc météoritique tels que la libération de nuage de poussière et le blocage de la photosynthèse. Ceci renvoie à l'une des hypothèses de la crise du tertiaire. D'autres étudiants (6/47) ont évoqué la perturbation des chaînes alimentaires à cause de l'arrêt de la photosynthèse.

Le débat sur l'origine du nuage de poussière n'a cessé de se faire rage entre les tenants de son origine volcanique et les autres qui lui attribuent une origine météoritique. En fait ce nuage est formé d'iridium et certains chercheurs ont trouvé sa trace dans la matière échappée des volcans. 7 futurs enseignants ont évoqué le volcanisme comme source de cette poussière qui empêcha la photosynthèse et par suite a provoqué l'extinction des espèces. Il nous semble que la quantité de poussière dégagée par un volcan ne suffit pas pour provoquer cette crise, sauf s'il y avait des volcans, et ce partout dans le monde. L'activité sismique n'a été proposée que par deux étudiants pour expliquer la disparition des espèces. Même dans les médias et dans le cours, les séismes ne sont pas considérés comme cause de telle crise biologique. Cependant, le tsunami a causé la disparition d'un certain nombre d'insectes. 8/47 étudiants ont parlé de la tectonique des plaques et de la dérive des continents mais ils n'ont pas plus développé cette idée. D'une façon générale les phénomènes tectoniques ne semblent pas être parmi les principales causes d'extinction évoquées par les étudiants.

Certains étudiants sont conscients des problèmes écologiques et de l'action anthropique sur les espèces. 4/47 étudiants ont évoqué la surexploitation des ressources, 8/47 étudiants pensent à l'adaptation des êtres vivants aux conditions environnementales et à la sélection naturelle. La pollution peut contribuer à la disparition des espèces selon 5 /47 étudiants. Un seul étudiant donne une réponse qui renvoie à un cadre religieux ; il pense que la disparition des espèces était une volonté de Dieu ; il s'agit peut être d'un obstacle religieux mais il n'a pas expliqué mieux sa réponse. Nous aurions aimé avoir l'occasion de mener un entretien avec lui mais nous n'en avons pas eu la chance.

Pour vérifier s'il y a une relation entre la catégorie (C4/Sc2) et la catégorie C1/Sc2), nous

faisons recours à leur croisement.

Tableau 59 : croisement des catégories C1/Sc2 et C4/Sc2

		Elévation de la température, réchauffement du globe, effet de serre			
		Oui		Non	
Météorite a heurté la terre	Oui	9	(8)	13	(14)
	Non	8	(9)	17	(16)

Nombre entre parenthèse : effectif théorique

Nombre sans parenthèse : effectif réel

$$X^2_{th} = 3,84 \text{ à } 5 \% \text{ et } ddl = 1$$

$$X^2_{cal} = (9-8)^2/8 + (13-14)^2/14 + (8-9)^2/9 + (17-16)^2/16$$

$$X^2_{cal} = 0.36$$

$$X^2_{cal} < X^2_{th} = 3,84 \text{ à } 5 \% \text{ et } ddl = 1$$

Il s'agit d'une forte indépendance entre les deux catégories. Il n'y a pas une relation entre le changement climatique et l'impact météoritique comme causes des crises majeures caractérisant l'histoire de la planète.

3.4. Conclusion

Nous résumons dans le tableau suivant les conceptions et les registres explicatifs des futurs enseignants. L'identification des registres explicatifs n'est pas donnée vu le manque d'informations dans les réponses aux questionnaires. La détermination de la nature du temps est en fonction des conceptions ou le registre explicatif de l'apprenant. Nous résumons dans le tableau suivant les conceptions, les registres explicatifs et la nature du temps correspondant.

Tableau 60 : conceptions, registres explicatifs et nature du temps chez les étudiants

Nature du temps	Conceptions	Registres explicatifs
Temps long	<ul style="list-style-type: none"> - étapes de la subduction, nappes de charriage, série d'allochtone, volcan, déplacement des plaques, collision, accumulation d'énergie, faille inverse, faille normale, fermeture de la Téthys, ouverture de l'atlantique - Hypothèse volcanique, changement climatique - Sélection, évolution, adaptation, extinction des espèces 	<ul style="list-style-type: none"> - Tectonique - Gradualisme, partielle - Evolutionnisme
Temps court	<ul style="list-style-type: none"> - Inondation, énorme vague, dégâts, pertes humaines, dégâts matériels, - Volonté divine - problèmes écologiques, exploitation humaine des ressources - Hypothèse météoritique 	<ul style="list-style-type: none"> - Catastrophisme actuel - Anthropomorphisme - Créationnisme - Environnement - Brutalisme, globale

La diversité des réponses des futurs enseignants est sans doute en liaison avec leur formation lycéenne ou universitaire. Cependant, leurs explications, aussi complètes qu'elles soient, manquent des approfondissements basés sur des arguments scientifiques. Parfois les explications ne sont pas loin de celles des élèves, n'est il pas question de ce qu'ils ont acquis de plus. Le temps long correspond aux mêmes registres explicatifs dans lesquelles les élèves travaillent. Par contre pour le temps court, un nouveau registre se rajoute chez les étudiants ; le créationnisme. La conception artificielle n'est pas évoquée par les étudiants, les chaînes de montagnes sont œuvre de la nature. L'histoire des Alpes se résume en deux phases ; fermeture de la Téthys et collision des deux plaques africaine et européenne. La tendance aux explications qui renvoient au deux types de temps est présente chez les étudiants. Chaque phénomène est expliqué dans au moins deux registres explicatifs. Quel type d'obstacles empêche les étudiants de mobiliser le processus géologique d'un phénomène naturel et par delà le temps nécessaire d'avoir lieu ?

Dans le même projet de préparation à la problématisation et l'identification des obstacles liés au temps, nous enchaînons par l'analyse des questions de l'enseignant d'une séance de TD-TP de géologie auprès des futurs enseignants. Nous essayons de voir si les questions de l'enseignant permettent de faire évoluer la séance vers un (ou des) problème(s) à résoudre. Nous approfondissons aussi l'étude sur les conceptions des étudiants.

A la recherche de prémices de la problématisation dans une séance d'enseignement classique

Nous avons transposé la grille de typologie des questions des enseignants à l'analyse des questions posés dans les rubriques «situations-problèmes» et «réfléchissons» dans les manuels. Nous avons montré que la majorité des questions sont conceptuelles ou empiriques. Ces derniers trop focalisé sur le contenu scientifique et ne n'engagent pas l'élève dans une réflexion profonde lui permettant construire son propre savoir. Nous essayons à travers l'étude des questions que posent l'enseignant en classe de retrouver une éventuelle perspective de problématisation. Nous analysons un entretien avec les étudiants pour approfondir le travail sur leurs conceptions et le fonctionnement de leur raisonnement.

1. Typologie des questions de l'enseignant

Nous rappelons que l'hierarchisation n'est pas linéaire au cours de la séance du TP. Les questions posées par l'enseignant oscillent d'une catégorie à l'autre. L'intervention des étudiants était rare, donc nous ne pouvons pas étudier leurs questions ou leurs réponses, mais nous ne nions pas leurs rôles dans le déroulement de la séance. Nous présentons dans le tableau suivant la mise en catégories des questions de l'enseignant.

Tableau 61 : raisons du questionnement de l'enseignant

Raisons du questionnement	Exemples de questions de l'enseignant
Questions conceptuelles	<p>P : qu'est ce que la tectonique appliquée ? D'après ce que vous avez appris appliquée à quoi ?</p> <p>P : est ce que les âges nous intéressent ? Les couleurs ? Première chose à chercher</p> <p>P : sous le Trias une masse carbonatée couvre l'Afrique du Nord (Jurassique). Pourquoi ? Vu les caractéristiques important/ enrochement (pierre pour limiter l'érosion). ensuite après le Jurassique ? Qu'est qu'il y a alors ?</p>
Questions empiriques	<p>P : déchiffrer les conditions de faisabilité et le choix de site le plus stable dans une région donnée et ce en fonction des différents types de failles et d'accidents affectant la couverture superficielle dans une région</p> <p>P : en tant que géologues qu'est ce que vous allez faire ? Pourquoi t'as choisi.</p> <p>P : comment identifier les structures tectoniques ?</p> <p>P : identifier la nature des failles F1, F2, F3 affectant la structure S1, S2, S3</p> <p>P : application sur la feuille (la carte) de Hajeb El Youn : identifier la nature des failles F1, F2, F3 affectant la structure S1, S2, S3</p> <p>P : est ce que la faille affecte la surface ? c'est quoi ? Est que tu parles de l'extension ou du rejet?</p> <p>C'est la projection sur le plan</p> <p>P : imaginez le reste au cours du temps ? T1.....T présent</p>
Questions pédagogiques	<p>P : vous avez compris ?</p> <p>P : oh la !! Vous avez tout oublié</p> <p>P : n'oubliez jamais le nombre de vos doigts</p> <p>Trias, Jurassique, Crétacé, Néogène et Mio-Plio-quaternaire (c'est la couche qui alimente la planète)</p> <p>P : vous copiez intégralement le plan. D'accord ?</p> <p>P : je vous demande d'apprendre l'échelle stratigraphique</p> <p>P : liaison théorique-pratique (chemin réversible, réciproque) ; tu fais un raisonnement dans un sens et tu exploites les données dans un autre sens.</p> <p>P : qui veut rectifier le schéma ?</p>
Questions de valeurs	<p>P : c'est une discipline : domaine d'application : au profit de l'humanité (socio-économie) ou non ?</p>
Questions de transfert ou Problème scientifique	<p>question 1: autoroute Mjeb Elbab- Tunis ? Problème ? Projet étudié sans géologues</p> <p>Pourquoi il y a enfoncement qui a causé des bombements différents de 50 à 100 cm voire de 2m.</p> <p>question 2 : proposer un ou plusieurs site(s) d'emplacement d'un ouvrage hydraulique dans les meilleures conditions de stabilité et d'étanchéité à Hajeb El Youn (centre de Tunisie).</p>

L'enseignant a posé, surtout au début du TP, des questions conceptuelles. Une définition de la « tectonique appliquée » est demandée en se basant sur ce que les étudiants ont acquis durant leur cursus universitaire. Il était souhaitable que les étudiants à la fin de la séance puissent eux-mêmes élaborer un titre. L'outil utilisé dans ce TP étant la carte géologique de Hajeb El Youn (centre de la Tunisie). L'enseignant a posé des questions qui se rapportent aux âges géologiques, aux couleurs..., il essaye d'attirer l'attention des étudiants sur les bases de la lecture d'une carte géologique. Cette préparation des apprenants à d'autres types de questions leur a permis d'entrer dans le cadre général de la séance du TP. Les questions conceptuelles poussent, tout au long du TP, les étudiants à clarifier certains concepts de géologie.

Une fois les grandes lignes du travail sont définis, l'enseignant demande aux étudiants (futurs géologues) de déchiffrer les conditions favorables d'un site stable en fonction des failles et des accidents affectant la région du centre de la Tunisie. Il leur demande d'identifier sur la carte géologique la nature de trois failles (F1, F2, F3) affectant trois structures géologiques de la région. Pour déterminer la nature de ces failles les étudiants mobilisent des connaissances empiriques concernant la géométrie des failles, l'âge des terrains qu'elles affectent. Les questions empiriques stimulent les étudiants à mobiliser des connaissances se rapportant aux temps géologique et l'espace. C'est dans un cadre géologique spatiotemporel que les étudiants réfléchissent.

L'application sur la carte de Hajeb El Youn était suivie d'une question de transfert. L'emplacement d'un ouvrage hydraulique dans la région dépend des caractéristiques des failles déjà déterminées. Mais les étudiants avec leur enseignant ont été amenés à reprendre l'histoire géologique de la région, des terrains qui la constituent pour faire la synthèse. Bref ils ont mobilisé la majorité des conceptions scientifiques nécessaires à la construction d'un ouvrage hydraulique avec l'aide des questions de l'enseignant.

Quant à la question 1, qui porte sur les bombements observés sur l'autoroute reliant Mjez Elbab à Tunis, il a été précédé par une question sur les ères géologiques « est ce que les âges nous intéressent ? » et le professeur enchaîne « quelle est la première chose à chercher ? » Et il répond « le Trias, pourquoi ? ». Face au silence des étudiants sans réponse, l'enseignant leur demande pourquoi il y a enfoncement observé sur l'autoroute. Parce que le Trias gicle en dômes ou en champignons, répond un étudiant. En passant de la carte au terrain, l'enseignant a mis les étudiants face à un problème scientifique. En fait, le Trias est une couche savon peu dense, au niveau de « Djebel Bou Mouss³⁰ » le Quaternaire repose sur cette couche et a

³⁰ Djebel Bou Mouss = Montagne en Tunisie que traverse l'autoroute Tunis- MjezElBab

provoqué l'enfoncement du terrain de quelques centimètres voire de 2 mètres. L'enseignant a attiré l'attention des étudiants sur le rôle du géologue - qui était absent - dans l'étude de la résistance de la roche.

Tout au long de la séance, les questions pédagogiques apparaissent dans la majorité des cas sous forme de phrases affirmatives. Elles sont essentiellement des conseils se rapportant à la mémorisation, la synthèse des données...etc. Cependant, la dimension sociale évoquée sous forme de questions de valeurs n'a pas occupé toute sa place. Nous avons souhaité que les deux problèmes géologiques soulevés (ouvrage hydraulique et/ou tracé autoroutier) stimulent les étudiants à penser l'application de la géologie au profit de la société.

2. Conclusion

Les raisons du questionnement sont plurielles. Nous avons discuté seulement les plus importantes. Les questions conceptuelles, les questions empiriques et les questions pédagogiques ont toutes leur place dans le déroulement du TP. Les questions de transfert sont les résultats du déroulement normal de la séance. L'application des concepts scientifiques dans de nouvelles conditions, comme ceux déjà évoqués (ouvrage hydraulique, tracé d'une autoroute), est une difficulté que les étudiants ne peuvent franchir sans l'aide de leur enseignant. Le flux de questions de l'enseignant permet aux étudiants de raisonner, mais ne risque-t-il pas d'empêcher les étudiants de se poser les leurs ? Il serait intéressant que les étudiants eux-mêmes élaborent leurs propres questions qui renvoient à un problème géologique. Les questions de valeurs apparaissent implicitement dans les deux problèmes sur la construction d'un ouvrage hydraulique ou d'un tracé d'une autoroute. Les deux problèmes géologiques ont des bénéfices pour la société ; l'eau est une énigme à résoudre dans les années qui viennent, l'autoroute diminue l'espace géographique en reliant les villes entre elles et aura des retombés socio-économiques. La géologie pourrait être enseigné en tenant compte de son bénéfice pour la société. En partant par exemple du problème de l'eau, l'étudiant aurait la possibilité de mobiliser les concepts scientifiques et proposerait des solutions au problème de l'eau au futur. Les questions de l'enseignant stimulaient les étudiants à participer à l'application du savoir acquis dans de nouvelles conditions de terrain ou de laboratoire. Engager les étudiants dans le processus du questionnement, c'est donner du sens à leurs réponses. Les impliquer dans la construction d'un problème scientifique, c'est donner du sens au savoir qu'ils ont acquis.

3. Analyse comparative de l'entretien

Pour mesurer l'implication des étudiants dans la proposition des questions et approfondir le travail sur leurs conceptions, on analyse dans ce qui suit quelques extraits de l'entretien que nous avons mené auprès de deux étudiants sur les séismes, l'orogénèse ou les crises biologiques.

3.1. Comparaison des conceptions sur le séisme

Nous récapitulons dans le tableau suivant quelques conceptions des deux étudiants sur le fonctionnement d'un séisme.

Tableau 62 : conceptions d' E1 et E2 sur le séisme

Conceptions	E1	E2
lieu du séisme	Limite des plaques, Pas à l'intérieur du continent	Sur le plan de faille
Cause du séisme	Mouvements tectoniques Déformations cassantes	Rapprochement de deux plaques Faille sur une grande échelle
Durée du séisme	Quelques secondes	?
Tsunami	Conséquence d'un séisme du à une subduction continue dans le temps	Grandes vagues
Energie	?	Dégagement d'énergie Maintien de l'équilibre du globe

Le rapprochement des plaques à une échelle très grande peut déclencher un séisme au niveau de la limite d'affrontement. Le séisme peut avoir lieu sur le plan de la faille. D'ailleurs, la cause principale du séisme d'Asie en 2004 est une faille dont on trouve le foyer du séisme au niveau de son plan. Nous notons une vision positive sur l'activité sismique chez E1, le dégagement de l'énergie est un maintien d'équilibre pour le globe terrestre. Concernant le temps géologique l'étudiant parle du temps court du séisme mais il se rattrape par la suite en évoquant la subduction et sa continuité dans le temps. Il renvoie au processus géologique la durée du séisme, dès lors il pas sur le volet temps lents. Si les deux étudiants pensent que la cause du séisme est tectonique, seul E2 a évoqué le dégagement d'énergie comme résultat de la dynamique terrestre aboutissant au tremblement de la terre.

3.2. Comparaison des conceptions sur l'extinction

Nous regroupons dans la catégorie 1 quelques exemples d'animaux disparus lors de la crise. Dans la catégorie 2, nous rassemblons les notions qui renvoient à l'adaptation. La cause de l'extinction fera l'objet de la 3^{ème} catégorie et la notion d'espace géographique dans le 4^{ème} catégorie.

Tableau 63 : conceptions d'E1 et E2 sur l'extinction

	E1	E2
Exemples d'animaux disparus	Ichtyostéga, certains reptiles, coelacanthé	Dinosaures Êtres vivants supérieur
Adaptation	Forme de transition, Respiration pulmo-brachiale,	Insectes ont survécu
Cause de l'extinction	?	Sélection naturelle
Espace géographique	Crise n'a pas touché toute la planète	?

Si l'extinction aurait touché toute la planète, il n'y aurait pas de survivants. Don Certaines espèces ont survécu alors que d'autres nous les connaissons à travers les fossiles. Il pense que l'Ichtyostéga comme forme intermédiaire a disparu totalement alors que le coelacanthé, espèce mieux adaptée aux nouvelles conditions, a survécu. L'aptitude de la respiration dans deux milieux différents a donnée la chance à cette espèce de persister. Les insectes vu leurs petites tailles n'étaient pas trop touchés par l'extinction alors que les êtres vivants de grandes tailles, principalement les dinosaures, ont tous disparu. L'extinction est-elle donc partielle. L'étudiant affirme que le coelacanthé n'a pas survécu dans toutes les régions du monde. L'adaptation respiratoire montre que les êtres vivants qui ont échappé à la crise sont les mieux adaptés aux nouvelles conditions de l'environnement. La nature fait la sélection dans un contexte darwinien.

3.3. Conceptions d'E1 sur la formation des chaînes de montagnes

Nous récapitulons dans le tableau suivant quelques conceptions d'E1 sur l'orogénèse.

Tableau 64 : conceptions d'E1 sur l'orogénèse

	Conceptions
Orogénèse	Compression, contraintes, formation des alpes, rapprochement des plaques
Dimension géométrique	Grande échelle géologique, altitude de la montagne grande, racine profonde
Notion de temps	Phénomène lent contrairement au tsunami événement court

La compression à une grande échelle a fait des Alpes une chaîne de montagnes très élevée. Ces chaînes sont le résultat des mouvements tectoniques de l'Eurasie et Gondwana. L'altitude très élevée des alpes se comprend dans une géométrie spatiale et à par conséquence une racine des montagnes trop profonde. L'étudiant explique l'orogénèse des Alpes dans un cadre

tectonique tout en tenant compte de l'espace occupé en altitude et en profondeur, la racine est aussi profonde que l'altitude est élevée. Il considère aussi que la formation des chaînes de montagnes est un phénomène lent par opposition au tsunami un évènement bref.

3.4. Comparaison des conceptions sur le temps et l'espace

Nous rassemblons dans ce tableau les conceptions sur le temps, l'espace et le couplage géologique.

Tableau 65 : comparaison des conceptions d'E2 et E1

	E1	E2
Temps	<ul style="list-style-type: none"> - Loin de l'existence humaine - Autre époque : Précambrien - Fragmentation progressive de la Pangée - Extinction brutale 	<ul style="list-style-type: none"> - Formation des alpes sur des millions d'années - Un évènement est court dans le temps - échelle
Espace	Deux dimensions, sur le plan	Carte géologique
Couplage biologie-géologie	Pas de relation entre fragmentation de la Pangée et l'extinction des espèces	?

Selon E1, un phénomène géologique progressif tel que la fragmentation de la Pangée n'a pas d'impact sur l'extinction des êtres vivants. Ce phénomène nécessite un temps court par contre les phénomènes géologiques se produisent sur une échelle qui s'étend sur un temps long. Cependant l'étudiant affirme que le temps est difficile à gérer car l'existence humaine est minuscule devant l'immensité du temps écoulé avant son apparition. L'extinction est brutale mais elle peut s'étendre sur quelques millions d'années, ce qui n'est pas négligeable comme longue durée. Pour l'étudiant considère l'extinction un évènement et par conséquent elle devrait être court dans le temps. Il nous semble que pour lui un évènement est très court réellement par contre un phénomène peut s'étendre sur une longue période. Ceci est confirmé par E2 qui considère qu'un phénomène prend des millions d'années et non pas le même cas pour un évènement. La formation des alpes est un phénomène preuve sur l'immensité de temps géologiques. Concernant la conception spatiale, la surface plane en deux dimensions reste la seule évoquée par les deux étudiants.

4. Conclusion

Enseigner comment problématiser reste une tâche difficile tant que l'enseignant ne donne pas l'occasion aux étudiants de se poser eux-mêmes des questions qui renvoient à quelques problèmes en géologie. Notant que le déroulement de la séance était normal étant donné que nous n'avons pas proposé à l'enseignant d'utiliser la problématisation dans l'enseignement du TP. L'enseignant pose des questions et apporte des réponses. Les interventions des étudiants au cours de la séance sont rares, donc il est difficile de savoir s'ils ont problématisé un savoir. Cependant les questions de transfert auraient pu être utiles pour un travail de problématisation. Ceci serait possible en engageant dès le début les étudiants à travailler sur l'un des problèmes (ouvrage hydraulique, autoroute). Un tas de questions géologiques seraient proposées par les étudiants pour réussir l'un des projets. Sans sous-estimer l'enseignement classique, il serait difficile de le considérer comme générateur d'une situation de problématisation ou l'étudiant élabore lui-même son savoir.

L'entretien avec les deux étudiants nous a permis d'éclairer et approfondir le travail sur leurs conceptions. Un événement est court, un phénomène peut prendre plusieurs millions d'années. La brutalité de l'extinction ne peut pas avoir une relation avec le processus géologique de la fragmentation de la Pangée. Il semble intéressant de creuser les conceptions sur le temps et le couplage biologie-géologie. L'entretien a porté sur plusieurs thèmes en un temps court ce qui a peut-être influencé leurs réponses qui étaient non fondées sur des arguments.

Il serait difficile, au moins dans ce cas d'enseignement classique, de parler d'une problématisation d'un savoir par les étudiants. Des réponses scolaires sans argumentations ne permettent pas d'étudier le degré d'une problématisation présumé chez les étudiants. Un recours à une étude d'un débat dont le but est la problématisation fera l'objet du chapitre suivant.

Débat et problématisation du temps dans une approche interdisciplinaire

Nous avons expliqué théoriquement comment se construit un problème en sciences en présentant des exemples d'histoire des sciences et en identifiant quelques obstacles épistémologiques en sciences naturelles. L'analyse des explications des élèves et des étudiants a montré maintes difficultés et obstacles à l'usage du temps géologique en sciences de la vie et la terre ou à l'explication de certains problèmes biologiques et géologiques. D'une façon générale, le temps géologique est présent dans les manuels analysés, soit explicitement à travers l'échelle stratigraphique, soit implicitement dans l'étude des processus des différents phénomènes géologiques étudiés. Est-il problématisé par les apprenants? L'étude des situations problèmes a montré qu'elles sont réduites à des questions scientifiques. L'analyse de la séance de TP a montré que dans l'enseignement classique l'enseignant se pose des questions et apporte des réponses. Au cours de l'entretien les étudiants ont mobilisé des schémas sans arguments. Plusieurs obstacles épistémologiques à la compréhension de certains problèmes géologiques. A travers ces études, nous comprenons la charge difficile de l'application d'une démarche basée sur la problématisation. C'est pourquoi nous avons fait recours au débat dans lequel nous suivons le fonctionnement du raisonnement de l'apprenant lors de la construction de son savoir et nous essayons de les aider à concevoir la machinerie temporelle qui est un pont de jonction de la biologie et la géologie. Comme nous l'avons mentionné, nous étudions d'abord trois ateliers se rapportant chacun au temps géologique et nous analysons par la suite le débat.

1. Analyse de l'atelier n°1

Nous rappelons que cet atelier porte sur l'identification des phénomènes géologiques accompagnant la séparation de l'Afrique et l'Amérique du Sud et de les déposer sur une échelle géologique.

1.1. Phénomènes naturels identifiés sans estimation du temps

Afin de pouvoir analyser les réponses des étudiants, sans nier le concept du temps géologique, nous avons pensé à identifier tout d'abord, les phénomènes géologiques évoqués sans estimation du temps. Nous plaçons les phénomènes en relation avec la théorie de la tectonique des plaques dans le tableau le suivant :

Tableau 66 : Phénomènes sans estimation du temps

	Phénomènes identifiés sans estimation du temps
Tectonique des plaques	<ul style="list-style-type: none"> - fragmentation de la Pangée: Laurasie et Gondwana - dérive des plaques - divergence des deux continents : séparation de l'Afrique et l'Amérique du sud - expansion océanique ; ouverture de l'océan - distension des plaques - ouverture de l'océan atlantique avec une vitesse de 2 cm / an - ouverture de la Téthys - subduction puis collision - faille, cassure - volcanisme - rift - étirement crustal - formation croûte océanique

La majorité des étudiants ont évoqué des phénomènes qui se rapportent aux mouvements des plaques. Ce sont des réponses tirées de l'observation directe du schéma de la question. Les autres phénomènes géologiques évoqués trouvent leur origine dans les cours suivis au secondaire où à l'université. L'un des étudiants a parlé de la vitesse de l'ouverture de l'Atlantique, il s'agit d'une conception physique et spatiale étant donné que la vitesse ne fait qu'augmenter l'espace de l'océan. Sans savoir le temps géologique dans lequel les étudiants placent l'ouverture de la Téthys ou de l'Atlantique, nous ne pouvons pas comparer leurs réponses. La subduction, la collision, le volcanisme ou le rejeuement de faille sont des phénomènes et/ou événements qui se produisent à tout instant dans une région du globe. Si les étudiants ne donnent pas des exemples précis, il sera difficile de connaître leurs coordonnées spatiotemporelles. L'étirement crustal ou la formation d'une croûte océanique au niveau du rift se produisent aussi à tout moment. Il semble que les étudiants n'accordent pas, principalement un intérêt au temps géologique pour placer les phénomènes géologiques dans une période ou un moment de l'histoire du globe. Cependant tous les phénomènes géologiques évoqués sont en relation avec la théorie de la tectonique des plaques. Cette dernière est-elle considérée comme modèle explicatif de tous les phénomènes géologiques ? A part le volcanisme et la faille, nous supposons que la question elle-même a induit les réponses des étudiants et donc ne nous sommes pas sûre de cette unification de la théorie mobiliste par les étudiants.

1.2. Phénomènes identifiés avec estimation du temps

Nous essayons de mettre en catégorie les phénomènes proposés par les étudiants selon les dates qu'ils estiment. Nous donnons aussi la date approximative de chaque phénomène

évoqué afin de pouvoir comparer leurs estimations aux connaissances scientifiques.

Tableau 67 : Phénomènes identifiés avec estimation du temps

	Phénomènes géologiques	Temps estimé par l'étudiant	Temps réel
E 1	- fermeture de la Téthys - séparation de l'Amérique sud et l'Afrique	- il y a 150 millions d'années - jurassique supérieur- crétacé inférieur	- Crétacé supérieur, il a 45 millions d'années - il y a 160 millions d'années
E2	- rifting et montée du magma à cause des courants de convection	- il y a 15 millions d'années	?
E 3 E4 E12 E 14	- séparation de deux continents (Amérique et Afrique) et apparition du rift - transgression et régression de la mer rouge	- il y a 200 millions d'années	A cette date elles forment encore un seul continent : la Pangée
E 6	- dérive des continents : masse continentales glissant sur le SIMA	- il y a 3 millions d'années	?
E 8	- dérive des continents africain et sud américain - naissance de l'atlantique sud - phénomène de distension - amincissement de la croûte continentale - volcanisme au niveau du rift - dorsale en activité	De – 230 à – 150 millions d'années	
E 9	- mouvement des plaques	Ere Tertiaire: jurassique- trias- fin du tertiaire	Ce phénomène est de tout temps
E 10	- Séparation de deux continents et ouverture de l'océan atlantique	- il y a 15 millions d'années	Il y a 160 Millions d'années
E 11	- séparation du l'Afrique et l'Amérique - ouverture de l'atlantique	- Jurassique inférieur et crétacé, ère secondaire	200 à 160 millions d'années
E 13	- mouvement tectoniques, failles, mouvement des plaques, volcanisme	- Ere Tertiaire	?
E14	- remontée du magma	- 50 millions d'années	?
E 15	- volcanisme, séisme, faille - divergence des plaques - déplacement des plaques	- il 1 million d'années - il y a 3 millions d'années - il y a 2 millions d'années	? ? ?
E 17	- dérive des continents - rift médio-océanique - expansion océanique -position actuelle des continents	- 16 millions d'années - 14 millions d'années - 6 millions d'années - 4 millions d'années	? 160 millions d'années ? ?

Les étudiants donnent des dates pour des phénomènes géologiques qui se reproduisent depuis les temps les plus reculés. Ils ont donné des dates pour les mouvements des plaques (E13, E9), l'expansion océanique (E17), la position actuelle des plaques et/ou le volcanisme (E13). Ces phénomènes géologiques peuvent avoir lieu à n'importe quel moment de l'histoire du globe terrestre et sont continuellement présent. La remontée du magma, dont E14 donne une date de 50 millions d'années, a eu lieu depuis l'existence de la planète jusqu'à nos jours. Donner une date à phénomène perpétuel, même s'il se produit que dans certaines régions du globe, nous n'éclaire pas sur l'utilité du temps géologique que les étudiants mobilisent sans se poser la question sur la continuité ou la ponctualité de ce phénomène.

Nous remarquons aussi qu'il y a une confusion d'attribution de dates pour différents phénomènes. La fermeture de la Téthys, dont la Méditerranée est l'un des vestiges océaniques, par exemple a commencé il y a 45 millions d'années (crétacé supérieur) entre l'Inde et l'Asie mais la fermeture de l'isthme de Panama ne date que d'environ trois millions d'années. Les étudiants ont estimé que la fermeture de la Téthys a eu lieu il y a 150 millions d'années, alors qu'il y a 200 millions d'années, l'Afrique et l'Amérique formaient un seul continent et l'ouverture de l'Atlantique n'a commencé qu'il y a environ 160 millions d'années. Cette confusion de dates des certains phénomènes pourrait être lié à l'oubli des chiffres, néanmoins les futurs enseignants sont appelé à savoir les dates des grands phénomène qui ont bouleversé le globe au cours de l'histoire.

Nous remarquons aussi que les étudiants n'ont parlé que de phénomènes géologiques et ils n'ont pas donné de l'importance aux phénomènes biologiques telle la crise biologique qui a eu lieu il y a 65 millions d'années. Lorsqu'on se situe par rapport à l'histoire le couplage géologie-biologie serait d'importance pour expliquer les conséquences d'un tel phénomène ou d'un autre.

1.3. Conclusion

Les futurs enseignants ont mobilisé des phénomènes géologiques sans estimation de la date de leur déroulement, par contre ils ont été tous en relation avec la théorie de la tectonique des plaques. Certains étudiants ne s'intéressent pas à l'utilité du concept temps pour l'explication des phénomènes géologiques qui ont accompagné l'ouverture de l'Atlantique et la séparation de la plaque africaine de la plaque américaine. Les quelques dates évoquées, même si elles sont parfois précises, montrent certaines confusions des périodes où les phénomènes géologiques identifiés ont eu lieu. De même certains étudiants estiment des dates pour des phénomènes géologiques qui se produisent de tout temps, par exemple, le déplacement des

plaques peut avoir lieu à tout moment. Résumons dans le schéma suivant l'usage du temps géologique par les étudiants.

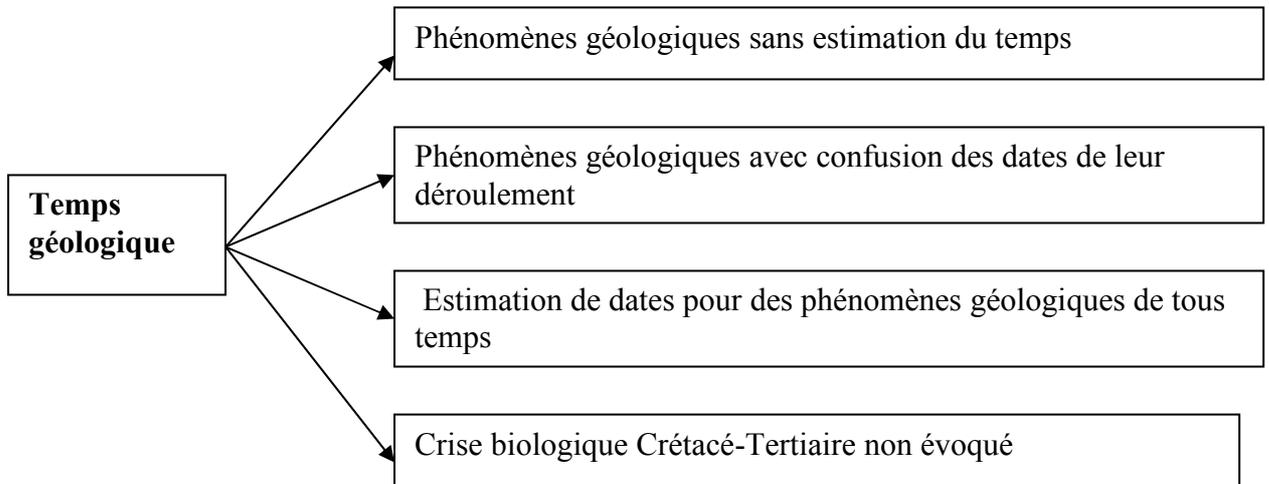


Figure 17 : usage du temps géologique par les étudiants

2. Analyse de l'atelier-débat n°2

Nous sommes basés sur l'explication de la formation des chaînes de montagnes par Avicenne afin de reconstruire son espace de contrainte. Dans la cause par essence, un monticule (contrainte empirique) se forme soudainement suite à des séismes qui soulèvent une partie de la terre (nécessité sur les modèles). Dans la cause par accident, les failles dans une région de la terre sont dues au ruissellement ou à des vents (nécessité sur les modèles) qui creusent une partie de la terre et pas une autre. Celle qui reste forme un monticule (contrainte empirique). La lecture du texte d'Avicenne par une vision actuelle sur le temps géologique montre qu'une certaine temporalité, même si elle n'est pas mentionnée explicitement, existe dans le processus géologique de la formation des chaînes de montagnes qu'il mobilise.

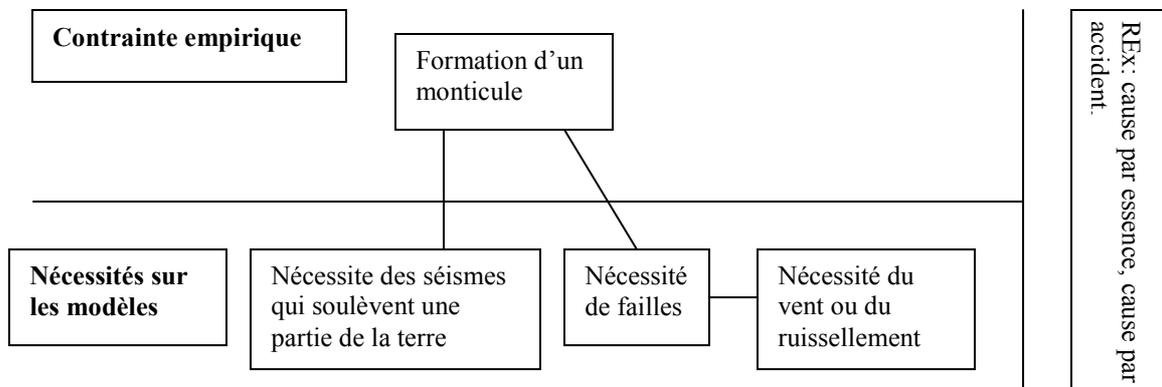


Figure 18 : espace de contrainte d'Avicenne sur l'orogénèse

2.1. Analyse des réponses à la première question

La 1^{ère} question porte sur les hypothèses avancées par Avicenne sur l'orogénèse. Nous avons regroupé par catégories les réponses des étudiants.

Tableau 68 : la cause de l'orogénèse par des futurs enseignants

		Effectif /18
Formation des chaînes des montagnes	Cause par essence	14
	Cause par accident	4
	Cause tectonique: plissement, faille, collision, volcanisme, mouvement des plaques	8
	Temps géologique	0

L'explication de l'orogénèse par Avicenne a été évoquée dans un cadre non tectonique même s'il met en relation la formation des chaînes de montagnes avec les séismes ou l'érosion. Les concepts préscientifiques avancés engagent-ils les étudiants dans la critique de cette explication ? Quatorze futurs enseignants sont d'accord pour dire que la formation des chaînes montagneuses a été causée par « le souffle » des séismes. Il s'agit d'un obstacle essentialiste. Quatre futurs enseignants sont en faveur de la cause par accident. Moins de la moitié ont renvoyé l'orogénèse à un phénomène tectonique. Il semble que le texte historique semble à influencer les réponses des étudiants dans lesquelles ils mobilisent des causes tectoniques et des causes par essence ou par accident. Même si le texte d'Avicenne présente une certaine logique, la vision critique semble être absente dans leurs explications. Dans l'explication des étudiants le temps géologique est absent. Ceci fera l'objet de la 2^{ème} question.

2.2. Analyse des réponses à la deuxième question

Nous avons demandé aux étudiants de dégager le concept absent du texte d'Avicenne. Le concept n'est autre que le temps géologique.

Tableau 69 : concepts non évoqués par Avicenne selon les étudiants

Concepts non évoqués	Effectif/18
Subduction et collision	9
dérive des continents	3
cycle des roches	1
Plissement	1
Volcanisme	2
temps géologique	0

La cause par essence et la cause par accident ont été exclues par les étudiants. La majorité des concepts évoqués trouvent leur origine dans la théorie de la tectonique des plaques. Nous remarquons que tous les étudiants ont évoqué des phénomènes géologiques qui sont en relation avec la formation des chaînes de montagnes ou sont la cause. Les chaînes de subduction ou de collision sont le résultat des mouvements des plaques qui s'étend sur un temps géologique relativement long. Le cycle des roches est impliqué dans tous les phénomènes géologiques. Le temps géologique principalement, semble non considéré comme un concept scientifique chez les étudiants. Pourtant, lors du premier atelier on l'a évoqué dans les questions en demandant aux étudiants de proposer une échelle temporelle pour les phénomènes identifiés.

2.3. Analyse des réponses à la troisième question

Si Avicenne à une époque où il n'a pas de moyens a osé de mettre en relation la formation des chaînes de montagnes avec l'activité sismique ou avec l'érosion, il est évident qu'on proposant aux étudiants de faire un lien entre séisme et Orogenèse. Cette mise en relation pourrait nous éclairer sur l'utilité de la théorie de la tectonique dans l'unification des différents phénomènes géologiques.

Tableau 70 : mise en relation du séisme et autres phénomènes géologiques

	Phénomènes géologiques	Effectif/18
Le séisme est en relation avec	Instabilité du sol, destruction, élévation du sol	2
	Formation des chaînes de montagnes	2
	Plissement, collision, subduction,	5
	Déplacement des plaques	7

Nous avons proposé aux étudiants de mettre en relation les séismes et l'orogénèse dans un cadre tectonique. Cependant, les notions « élévation », « instabilité » présents dans le texte d'Avicenne sont reprises par deux étudiants. Deux étudiants seulement voient qu'il y a une relation entre les séismes et la formation des chaînes de montagnes sans qu'ils avancent une explication. Certains étudiants ont pensé que l'activité sismique est en relation avec des phénomènes tectoniques telles que la subduction et la collision. Sept étudiants pensent que le déplacement des plaques est la cause principale des séismes.

2.4. Analyse de quelques extraits du débat sur le texte d'Avicenne

Dans ce qui suit, nous analysons une partie du débat à propos du texte d'Avicenne. Cependant, par souci de manque d'arguments mobilisés par les futurs enseignants, nous restons prudent sur la construction des espaces de contraintes et les éléments constitutifs de

chaque registre.

Tableau 71 : extrait du débat sur le texte d'Avicenne

8	Nadia	Déjà il parle des tremblements de terre qui peuvent provoquer des vagues ou des plis par exemple, se qui explique la déformation du sol
9	Maher	les eaux et l'érosion ne provoquent pas la formation des chaînes de montagne
10	Nadia	la première hypothèse est vraie
11	Ridha	la deuxième n'est pas logique
12	Nadia	parce que les ruissellements se font au fur et à mesure du temps, déjà dans le texte "puis les ruissellements ne cessent d'approfondir le premier creusement jusqu'à ce qu'il atteigne des profondeurs importantes" ce n'est pas vrai les ruissellements font agrandir en largeur et non en profondeur
13	Mohamed	non, la profondeur aussi, mais ce qui m'échappe, c'est la dernière phrase " ce qui reste fait une montagne", ce n'est pas logique du tout
14	Enseignante	d'accord, et pour le concept ou les concepts qu'Avicenne n'a pas évoqué
15	Nadia	il a parlé des tremblements de terre, du ruissellement et l'érosion généralement, mais il n'a pas parlé du volcanisme
16	Maher	Aussi déplacement des plaques, orogénèse, érosion
17	Enseignante	je ne vois pas le mot plaque dans son texte
18	Hanène	Pas tout à fait mais il a dit mouvement d'une partie de la terre et pas l'autre
19	Nadia	Il a expliqué les choses mais d'une façon non scientifique, c'est littéraire
20	Enseignante	Tu veux dire langage du texte
21	Nadia	par exemple, on ne peut pas dire le ruissellement fait approfondir, scientifiquement ou géologiquement, il a négligé plusieurs autres phénomènes, tectonique surtout.

Selon Nadia, le tremblement de terre peut provoquer des vagues (CE) ou des plis (CE) qui peuvent causer une déformation du sol (CM) et non pas la formation d'une chaîne de montagne comme le voit Avicenne. Cependant Nadia (10) affirme que la première hypothèse est vraie. De même la cause par accident est rejetée par Maher et Nadia, l'érosion et le ruissellement (CE) ne donnent pas naissance à une chaîne de montagnes (CE). Confrontés à l'explication d'Avicenne lors du questionnaire papier-crayon, les étudiants n'ont pas critiqué le contexte présscientifique de son texte. Lors du débat, ils déclarent par exemple que la cause par accident n'est pas logique (Ridha, 11) et que l'explication dans ce texte n'est pas scientifique (Nadia, 19). Lorsque l'enseignante a posé la question sur le concept non évoqué par Avicenne, elle voulait pousser les étudiants à penser au temps géologique. Cependant, nous remarquons qu'ils reprennent les mêmes réponses ; le volcanisme, le déplacement des plaques qui renvoient à un cadre tectonique. Le temps n'est évoqué que par Nadia (12) qui

selon elle l'érosion se fait en un temps lent. Essayons de reconstruire l'espace de contrainte des étudiants.

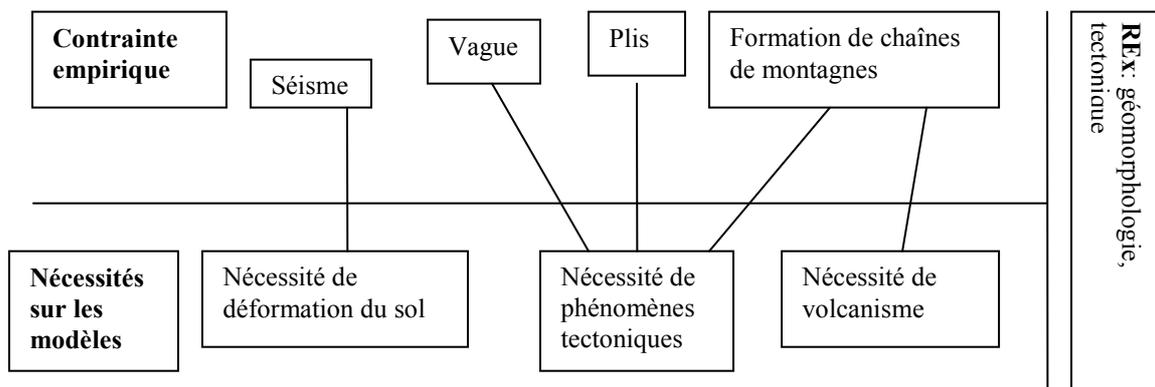


Figure 19 : espace de contrainte des étudiants sur quelques phénomènes géologiques

Le cadre explicatif des différents phénomènes mobilisés dans cette section du débat est tectonique ou géomorphologique. Pour s'assurer que la tectonique est le registre explicatif dans lequel travaillent les étudiants, nous approfondissons l'analyse d'une deuxième section du débat.

Tableau 72 : extrait du débat sur la relation orogénèse-séisme

22	Enseignante	comment se forme alors une chaîne de montagnes
23	Ridha	par subduction, mouvement tectonique
24	Nadia	par collision, deux plaques qui entrent en collision
27	Enseignante	Vous avez dit qu'un séisme est un phénomène fréquent, s'il en relation avec l'orogénèse pourquoi il n'y a pas autant de chaînes que de séismes?
28	Hanène	le séisme est un phénomène fréquent, c'est vrai, mais la relation n'est pas tout à fait claire
29	Mohamed	si les séismes se déclenchent aux frontières des plaques, les chaînes de montagnes se forment à ce niveau aussi
30	Hanène	Mais Avicenne n'a aucune idée sur la tectonique à cette époque, et pour l'orogénèse il faut une grande force pour soulever des quantités énormes de matière
31	Ridha	la formation des chaînes de montagnes est due aux courants de convection qui peuvent provoquer un volcan
32	Nadia	On parle de chaînes volcaniques dans ce cas
33	Enseignante	Donc vous êtes d'accord qu'il y a une relation entre séisme et orogénèse?
34	Ridha	Les courants de convection sont dus au mouvement, pression, chaleur au centre de la terre; certains séismes dus à des failles qui sont eux mêmes dus au déplacement de plaques. Ces déplacements causent aussi la formation de chaînes de montagne
35	Hanène	Au niveau du rift, il y a des volcans aussi

Plusieurs éléments constitutifs de leurs registres de modélisation ont été mobilisés. L'une des conséquences de la subduction (CE), de la collision (CE) dues aux mouvements des plaques (CM) est la formation d'une chaîne de montagnes (CE). Nous remarquons que la collision et la subduction qui sont des construits théoriques dans le cadre de la théorie de la tectonique des plaques sont devenues des éléments empiriques chez les futurs enseignants. Selon certains étudiants c'est au niveau de la limite des plaques, zone où se produisent les deux phénomènes géologiques simultanément. Cependant, pour les chaînes de montagnes, il est nécessaire qu'il y ait des courants de convection (contrainte sur les modèles) formant ainsi des chaînes volcaniques (CE). Hanène (30) parle de grandes forces du au courants de convection pour soulever l'énorme quantité de matière ce qui renvoie à l'énergie résultat du dynamisme du globe terrestre. L'un des étudiants (Ridha, 34) se charge d'expliquer la relation entre courants de convection, séismes et orogénèse, le déplacement des plaques peut produire des failles causant des séismes mais aussi des chaînes de montagnes.

Soit l'espace de contrainte des futurs enseignants sur la formation des chaînes de montagnes et sa relation avec le séisme. Mais nous remarquons qu'aucun des étudiants n'a pensé au temps géologique comme lien entre les deux phénomènes.

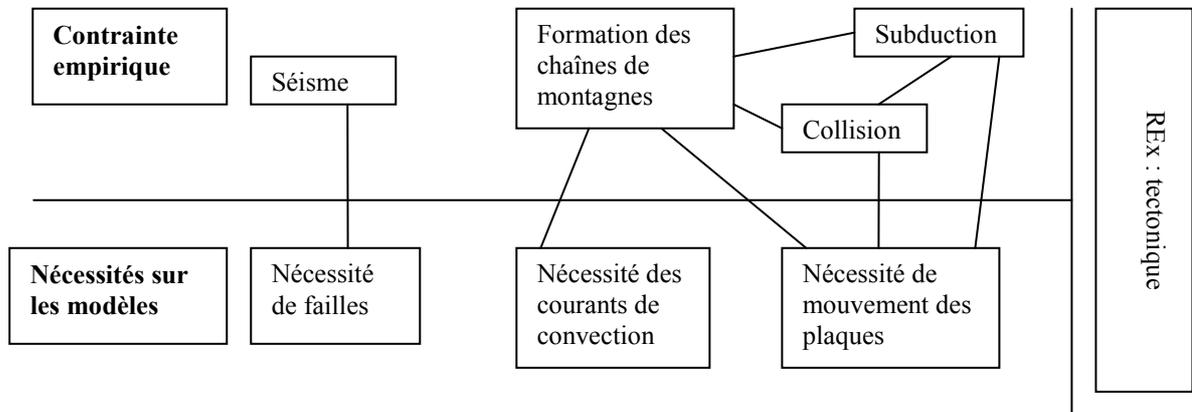


Figure 20 : espace de contrainte des étudiants sur la relation orogénèse-séisme

Il semble que la majorité des futurs enseignants sont inscrit dans un cadre explicatif tectonique. A part le séisme qui se déroule en temps court, les autres phénomènes géologiques se déroulent dans un temps long.

2.5. Conclusion

Le texte d'Avicenne a secoué la pensée des étudiants. Lors du premier atelier les étudiants ont mobilisé leurs conceptions sans donner une importance au temps géologique. Dans cet atelier,

certaines explications renvoient à l'essentialisme et à l'accidentalisme. En avançant dans le débat, les étudiants ont basculé vers un cadre tectonique pour expliquer les séismes et la formation des chaînes de montagnes. L'évaluation du texte d'Avicenne n'était qu'une phase transitoire durant laquelle ils étaient influencés par ces explications. Par exemple Nadia (39) voit qu'il a parlé de plusieurs phénomènes mais il n'a pas bien expliqué les concepts scientifiquement. Il lui manque la mise en relation entre séisme et volcanisme selon Maher (40). C'est grâce au débat que les étudiants ont dépassé l'étape de la simple lecture à une lecture critique. Nous présentons dans le tableau suivant quelques passages du débat.

Tableau 73 : quelques critiques du texte d'Avicenne

36	Enseignante	Si on récapitule, Avicenne a parlé de quelques phénomènes géologiques; mais qu'est ce qui manque
37	Nadia	la précision (sourire)
38	Ridha	exactement sur les causes des séismes
39	Nadia	il a tous évoqué mais il n'a pas défini tous
40	Maher	Il a parlé des séismes sans aucune relation avec le volcanisme
41	Enseignante	Vous lui est reprocher le manque de détails, donc et pour l'orogénèse?
42	Nadia	Il n'a pas parlé des conséquences, en plus, il fallait définir l'orogénèse et puis détailler les autres phénomènes qui l'accompagnent tels que séismes et volcans
43	Enseignante	d'accord, si vous voulez bien, revenons au premier atelier, rappelez moi les phénomènes que vous avez identifiés?
44	Maher	Séismes, failles, déplacement des plaques
45	Ridha	ouverture de la dorsale (rift), formation des volcans

Même si la majorité des étudiants mettent en relation les séismes et les chaînes de montagnes, nous ne sommes pas sûre qu'il sont conscient de l'importance du temps géologique dans le déroulement des processus géologiques. Quels sont les obstacles des futurs enseignants à gérer ce temps à grande échelle comme outil de mesure en biologie et en géologie ? Ceci fait l'objet du troisième atelier.

3. Analyse de l'atelier n°3

Comme nous l'avons mentionné dans le chapitre 4 (paragraphe 7.3), nous analysons les tableaux en identifiant les difficultés des étudiants à mettre en relation les différents composantes. Nous étudions donc l'usage du temps, comme outil de mesure et de couplage biologie-géologie, par les étudiants.

3. 1. Obstacles épistémologiques liés au temps

La mise en relation du temps avec la vie, la terre, l'être vivant et l'échelle géologique nous a permis de regrouper dans le schémas suivant quelques obstacles épistémologiques des

étudiants. Les étudiants mobilisent-ils des conceptions qui tiennent compte de la durée significative du temps ? Pourraient-ils concevoir que les processus des phénomènes géologiques, se déroulent dans un laps de temps relativement long ?

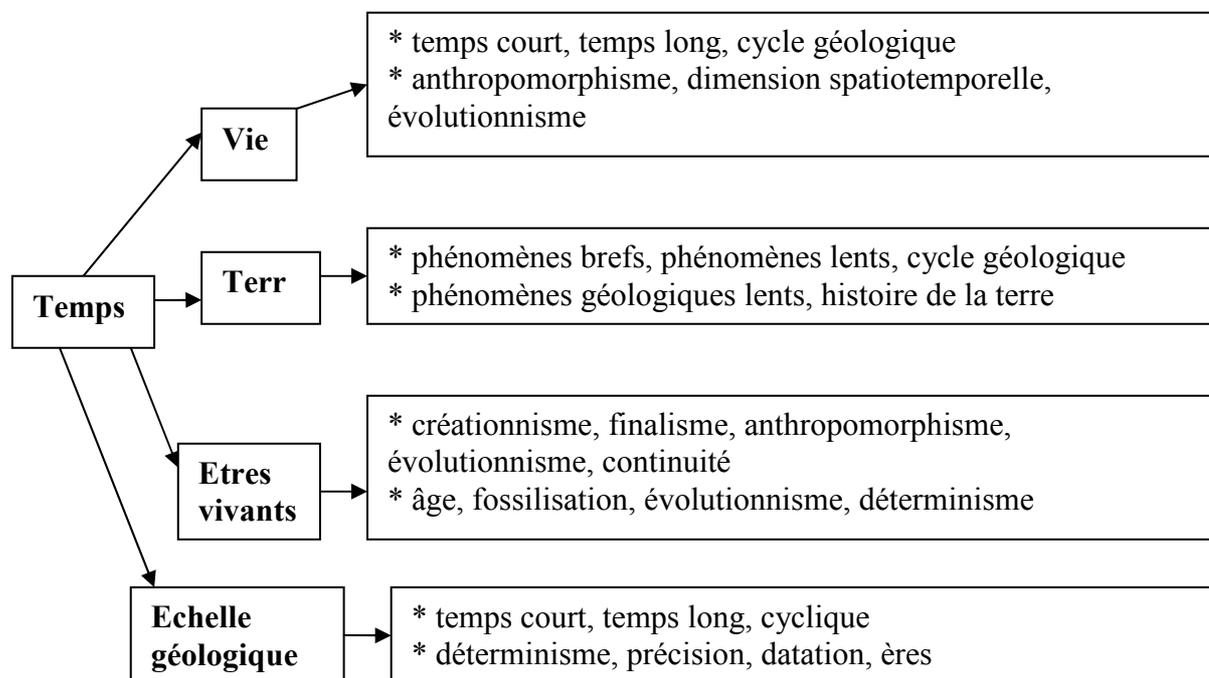


Figure 21 : obstacles liés au temps

Une réaction chimique ou enzymatique ne prend qu'un temps relativement court alors que l'évolution des êtres vivants s'inscrit dans un processus évolutif relativement longs (des millions voire des milliards d'années). Il paraît que les étudiants pensent à la vie de l'être humain. Dans la réponse d'E3 (voir tableau1, annexe 13), la vie commence par la naissance et finit par la mort. Le destin des êtres vivants est conditionné par la dualité naissance-décès. Ceci renvoie au temps à l'échelle humaine, au finalisme, et à l'anthropocentrisme. Ces derniers sont des obstacles à la compréhension du temps géologique. Pour des questions sur l'origine de la vie, nous ne sommes pas sûrs que le temps long ou court permet rendre la vie possible. Généralement, les étudiants renvoie l'origine de la vie à la création pourtant qu'ils sont adhérents au évolutionnisme. A ce niveau se mêlent la religion et la science. Les étudiants sont évolutionnistes et créationnistes. Certains étudiants dépasse la vision du temps à l'échelle humain (âge, naissance, décès...) à une conception du temps long qui n'est pas mentionné mais qui apparaît dans les processus des phénomènes biologiques évoqués telle que l'évolution des êtres vivants sur terre.

La conception d'un temps long apparaît dans la réponse d'E3 (tableau2, annexe13) qui voit que les périodes lentes rendent possibles certains phénomènes géologiques. Certains étudiants

ont évoqué l'évolution de la terre au cours du temps (E1, tableau2, annexe13). Cette explication montre que la majorité des étudiants adhèrent au courant évolutionniste actuel. E10 voit que la relation entre le temps et la terre c'est l'évolution mais il n'avance pas d'explication. Dans une explication simple mettant en jeu une cause (le temps) qui entraîne un effet (influe la terre) s'incarne les réponses d'E4, E7. E8 fait exception en parlant des rythmes géologiques qui peuvent avoir lieu dans un temps très long.

La relation du temps avec les êtres vivants permet d'identifier le type du courant de pensée (voir figure ci-dessus) auquel l'étudiant adhère. Cependant, nous remarquons que les réponses des étudiants sont majoritairement incluses dans le courant évolutionniste ou déterministe. Le temps se résume en deux formes : âge des êtres vivants et évolution du système terre. L'âge et le mode de vie (E1, E5, E17, tableau 3, annexe 13) renvoient à un temps à l'échelle humaine qui ne dépasse pas des dizaines d'années. La fossilisation et l'évolution des êtres vivants renvoient à temps long qui se compte en millions ou milliards d'années. Nous avons rencontré, tout au long du 4^{ème} chapitre, cette oscillation entre un temps relativement court et un temps long. En quoi peut-elle échapper à l'appréhension ? Il paraît que « vie » et « vivant » renvoient les étudiants à penser dans un cadre anthropomorphique ne dépassant pas la vie des êtres humains. L'anthropomorphisme semble faire obstacle à l'appréhension du temps géologique en limitant la vie à quelques dizaines d'années.

Le temps est un concept alors que l'échelle géologique est un construit de terrain traduit en échelle au laboratoire. Cette dernière regroupe des Eres, des Etages et des phénomènes ou évènements considérés comme marqueurs de grands changements qui ont touché la planète terre. Ce temps est compris par certains étudiants comme un moyen de reconstruction (E10, tableau 4, annexe 3). On distingue deux phases : la phase où l'échelle géologique n'a pas été encore construite ou le temps était un outil de reconstruction et une phase où l'échelle géologique nous permet de déterminer, relativement, la date d'un phénomène ou évènement géologique. L'échelle géologique construite dans un cadre théorique géologique est importée vers le registre empirique de certains étudiants. Elle est même vue comme un ensemble de divisions temporelles. La reconstruction de l'histoire d'un phénomène géologique nécessite l'utilisation de l'échelle afin de le situer dans le temps. Certains phénomènes se reproduisent d'une façon rythmée ou cycliques d'autres sont uniques comme l'origine de la vie.

La mise en relation du temps avec la vie ou la terre montre que le temps à l'échelle humaine ne fait pas uniquement un obstacle à concevoir le temps géologique mais aussi contribuent à développer d'autres obstacles à l'acquisition des connaissances scientifiques ; anthropomorphisme, créationnisme, déterminisme et finalisme. Les étudiants qui ont évoqué

le temps à grande échelle adhèrent aussi à l'évolutionnisme.

Tableau 74 : temps et registres explicatifs des étudiants

Temps à l'échelle humaine	Temps à grande échelle
Anthropomorphisme, créationnisme	Evolutionnisme
Finalisme, déterminisme	

3.2. Obstacles épistémologiques liés aux séisme et tsunami

Nous avons déjà montré que le catastrophisme actuel règne dans les explications des élèves et des étudiants pour les séismes et tsunami. La mise en relation du séisme ou tsunami avec la vie, la terre, les êtres vivants ou l'échelle géologique permet aux étudiants d'évoquer la transformation de l'énergie, la prédiction ou la durée d'un événement. Quel type de pensée les étudiants mobilisent quant à activité sismique ?

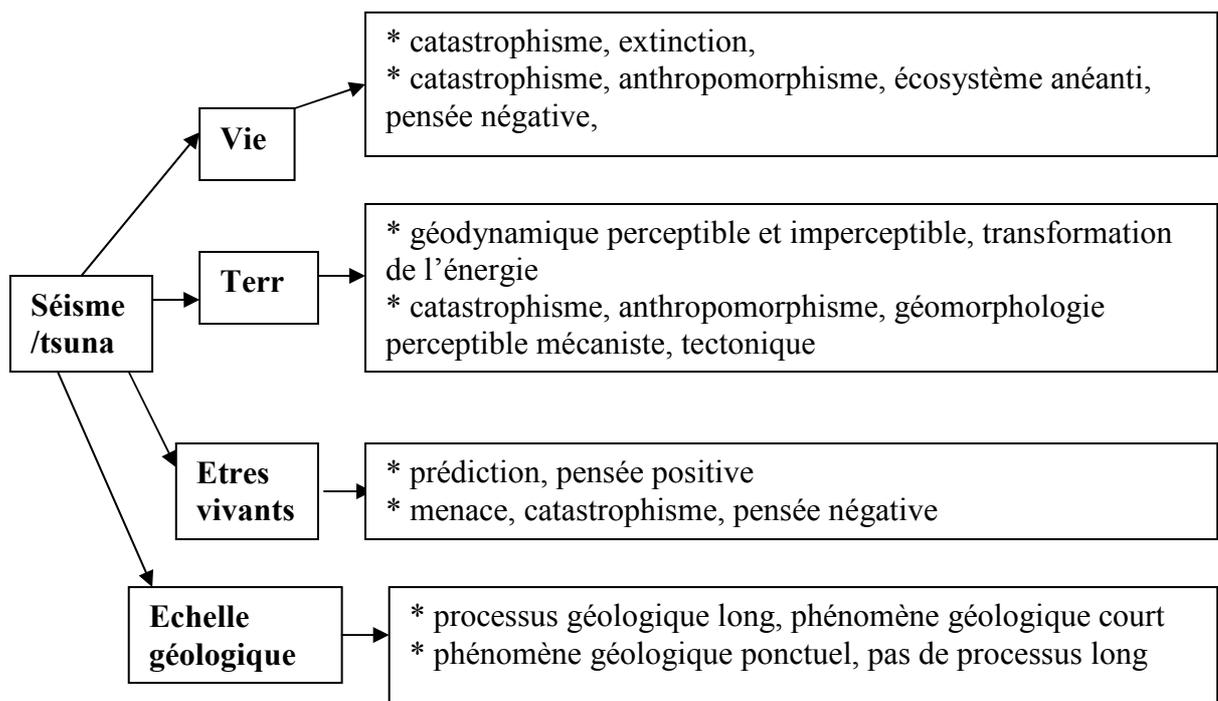


Figure 22 : obstacles liées aux séisme et tsunami

La majorité des réponses renvoient au catastrophisme ; la mort, le danger et la catastrophe. Nous avons évoqué dans notre cadre théorique le recours au catastrophisme à la fin du siècle dernier. Ceci a développé chez les apprenants une pensée négative en sciences de la terre, comme l'affirme Rumelhard. En fait, les étudiants ne retiennent que l'effet négatif du séisme (E4, tableau 5, annexe13), il est expliqué comme néfaste pour l'être humain et non comme dégagement d'énergie accumulée au fil du temps. Nous retrouvons encore

l'anthropomorphisme chez les étudiants. Serait-il un nœud d'obstacles dans cette analyse ? En fait selon les étudiants c'est la vie de l'homme qui est en danger (E1, E2, E10, E15, tableau 5, annexe 13). Certains étudiants mettent en la vie et les conséquences du tsunami mais n'évoquent pas explicitement une extinction due à la catastrophe. La destruction des écosystèmes au sein de la biosphère » et « l'anéantie des abris de la vie » renvoient à une extinction qui pourrait être brutale rend la vie courte selon E17 (Tableau5, annexe 13). Ceci certains étudiants de percevoir la continuité de la vie, même si parfois certaines catastrophes semblent mettre fin à l'évolution incessante du système terre-vie. L'anthropomorphisme pousserait les étudiants à mobiliser une conception du temps à l'échelle humaine.

La transformation d'énergie n'a pas été évoquée par tous les étudiants. En plus de l'explication qui renvoie au catastrophisme, certains concepts renvoient à la géomorphologie. Ils évoquent la destruction du sol, le changement de la structure de la terre, la déformation de la surface. Ceci renvoie aussi à une explication mécaniste développée dans un autre domaine d'étude la terre, celui de la géophysique. La majorité des réponses évoque la déformation de la surface et du sol et aussi la structure du globe terrestre. Il s'agit d'un contexte géomorphologique ne relevant pas de la géodynamique interne mais qui prend du temps en millions d'années. E3 et E8 (tableau 6, annexe 13) ont mobilisé une explication qui renvoie à la théorie de la tectonique des plaques, tsunami et séisme sont dus aux mouvements des plaques. Les processus tectoniques ne sont possibles que dans un temps relativement long. Il semble que les étudiants gardent plus en mémoire ce qui est perceptible c'est-à-dire ce que nous observons directement dans une région affectée par un séisme et du coup nous oublions que tout événement ou phénomène avait par le passé une histoire permettant sa manifestation. Le catastrophisme actuel dû à une activité sismique renforce aussi la conception d'un temps court à l'échelle humaine.

Quant à la prédiction et contrairement à l'anthropomorphisme remarqué précédemment, les étudiants ont tous pensé au danger qui peut affecter l'ensemble des êtres vivants. Il semble que le concept « vie » renvoie automatiquement à une vision anthropomorphique alors qu'un séisme renvoie à une explication catastrophiste renforçant la pensée chez nos futurs enseignants, le mot « danger » a été repris plusieurs fois dans leurs réponses. Les étudiants ont insisté sur le fait qu'un séisme se reproduit plusieurs fois au cours du temps géologique mais ils n'ont pas mobilisé des conceptions scientifiques qui renvoient au processus du phénomène géologique très long qui précède le déclenchement d'un séisme.

Le catastrophisme actuel mobilisé par les étudiants renforce chez la pensée négative à propos de l'activité sismique. L'anthropomorphisme ou le catastrophisme sont des obstacles à

concevoir le temps géologique. Les explications tectoniques et celles qui renvoient à la géomorphologie sont en relation avec le temps à grande échelle.

Tableau 75 : temps et registre explicatif des étudiants

Temps à l'échelle humaine	Temps à grande échelle
Catastrophisme Pensée négative Anthropomorphisme	Tectonique Géomorphologie

3.3. Obstacles liés à la datation

En géologie, la datation est obtenue en effectuant des mesures sur plusieurs minéraux de la même roche. Le choix du couple d'isotopes pour calculer un âge dépend de l'âge présumé et de la nature de la roche. En biologie, les traces d'une vie évoluant servent de repères et l'âge des fossiles est déterminé de la même façon que celle d'une roche. Soit la figure suivante de la mise en relation de la datation avec la vie et la terre.

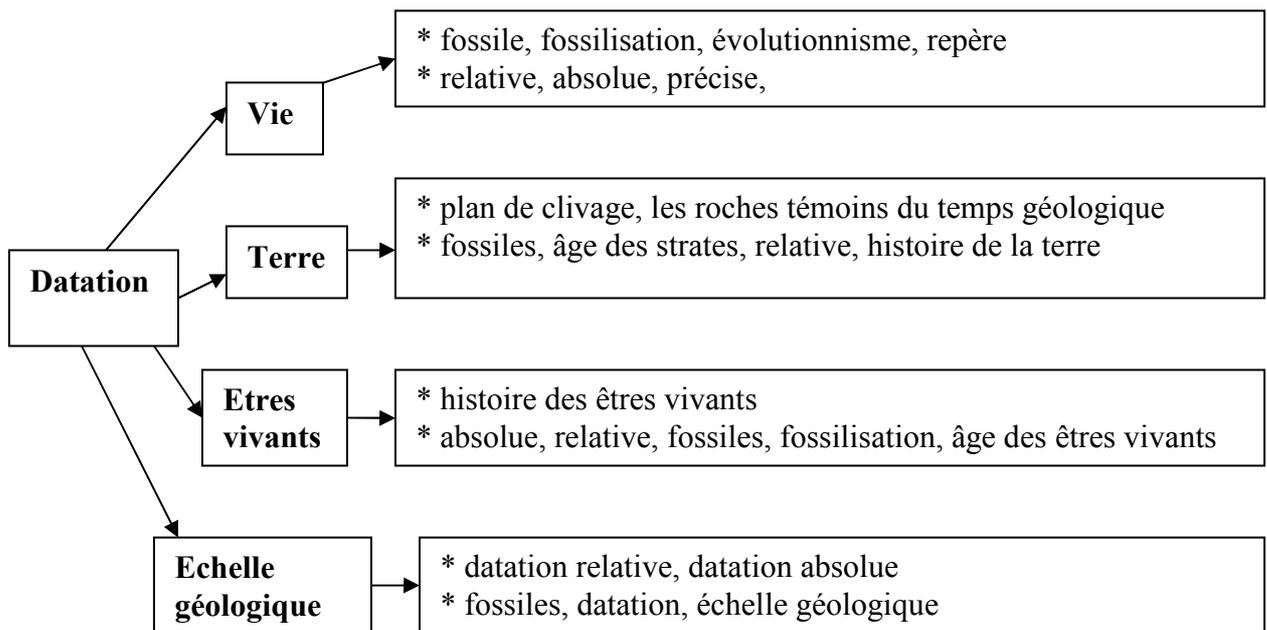


Figure 23 : obstacles liées à la datation

La datation absolue nous permet de connaître l'apparition de la vie sur terre selon E8 et E3. L'origine de la vie est un phénomène qui a soulevé plusieurs questions dont la date de son émergence qui est estimé à -3,8 millions d'années par certains étudiants. Aucun étudiant n'a évoqué la fossilisation et son rôle dans la datation de tous les phénomènes. La fossilisation sert de repère pour la détermination des différents âges et ères. E1 a évoqué la paléontologie, science qui oscille entre deux pôles : science historique et science expérimentale mais il n'a

pas approfondit l'explication. Piégé dans l'anthropomorphisme, E6 parle d'une datation limitée, nous estimons qu'il pense à la vie courte des êtres vivants.

L'âge des êtres vivants renvoie à un temps court, certains étudiants pensent à la durée de vie de l'être humain. Ils adhèrent au registre explicatif anthropomorphique. L'âge des strates est une sorte de modélisation du temps long et qui renvoie à un cadre explicatif tectonique alors que l'origine de la vie est une autre dimension temporelle à grande échelle qui renvoie à l'évolutionnisme.

Tableau 76 : modélisation du temps

Temps à l'échelle humaine	Temps à grande échelle
Âges des êtres vivants	Âge des strates géologiques / Tectonique
Anthropomorphisme	L'origine de la vie / Evolutionnisme

3.4. Obstacles épistémologiques liés à la convergence

Il est évident de mettre en relation la convergence et la terre par contre cette relation avec la vie ou les êtres vivants. Nous présentons dans la figure suivante les difficultés des étudiants.

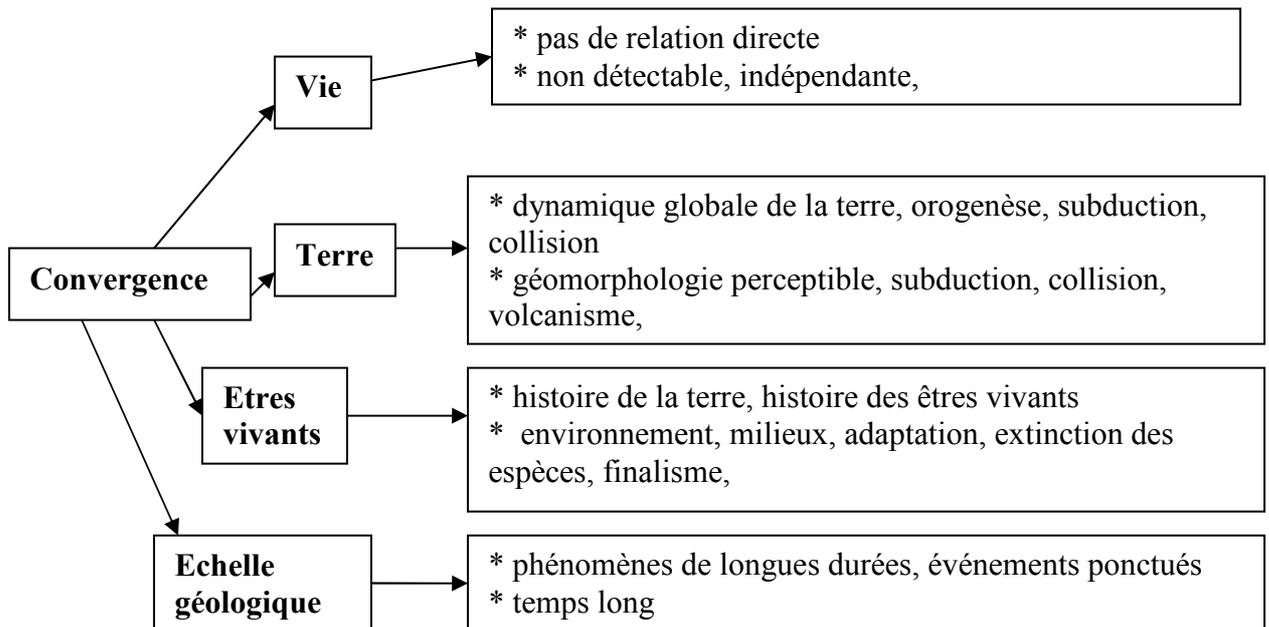


Figure 24 : obstacles liés à la convergence

La relation entre la convergence et la vie n'est pas immédiate et pourtant certains futurs enseignants ont avancé quelques réponses. Certains étudiants voient que cette relation n'est pas visible. D'autres futurs enseignants pensent que la convergence et la vie sont deux phénomènes indépendants mais la convergence pourrait avoir des conséquences sur la vie.

Nous retrouvons aussi l'idée du destin de l'être vivant dans la réponse d'E6 (tableau 13, annexe 13) qui renvoie à la mort de l'être humain. L'anthropomorphisme surgit aussi dans cette mise en relation.

La majorité des étudiants mobilisent les résultats du phénomène de la convergence dans un cadre explicatif tectonique. La subduction et la collision peuvent donner naissance à des chaînes de montagnes. Dans un contexte globale, E 3 et E8 (tableau 14, annexe 13) ont évoqué l'aspect dynamique de la planète terre qui est en relation directe avec la convergence des plaques. Certains étudiants se sont intéressés à la géomorphologie du globe terrestre. Ils sont parvenus au fait que la topographie de la terre dépend de la convergence.

Pour la première fois nous trouvons dans ce tableau une réponse évoquant l'espace géographique de la répartition des êtres vivants dans la planète à travers l'exemple des fossiles existant dans les deux continents africain et américain. L'étudiant pense que cette répartition dépend aussi des phénomènes géologiques tels que la convergence. Les relations avancées par la majorité des étudiants renvoient à l'écologie ou aux crises biologiques affectant le globe terrestre. Les phénomènes géologiques contribuent à la disparition des êtres vivants et la libération des niches écologiques et donc donne plus de chance à l'apparition de nouvelles espèces.

Toutefois l'étudiant E6 (tableau 16, annexe 13) mobilise une conception finaliste, "converge vers une fin". Nous lui avons demandé de participer au débat mais il n'a pu assister. E3 et E8 (tableau 16, annexe 13) ont évoqué l'immensité du temps sur lequel la convergence pourrait s'écouler. La subduction ou la collision se déroule sur des millions d'années.

A une échelle de temps court les explications des étudiants sont en relation avec le finalisme ou l'anthropomorphisme. Certaines explications renvoient à un cadre environnemental telle que l'adaptation, le milieu...etc. A l'échelle de temps long, les étudiants mobilisent des explications qui renvoient à la tectonique, à la géomorphologie ou à l'extinction des espèces. Cette dernière s'explique dans le cadre de l'évolution.

Tableau 77 : registres explicatifs des étudiants

Temps à l'échelle humaine	Temps à grande échelle
Finalisme	Tectonique
Anthropomorphisme	Géomorphologie
Environnement	Crise biologique / évolutionnisme

3.5. Obstacles épistémologiques liés au couplage biologie-géologie

Nous étudions ici les difficultés liées au couplage entre des composantes biologiques et géologiques.

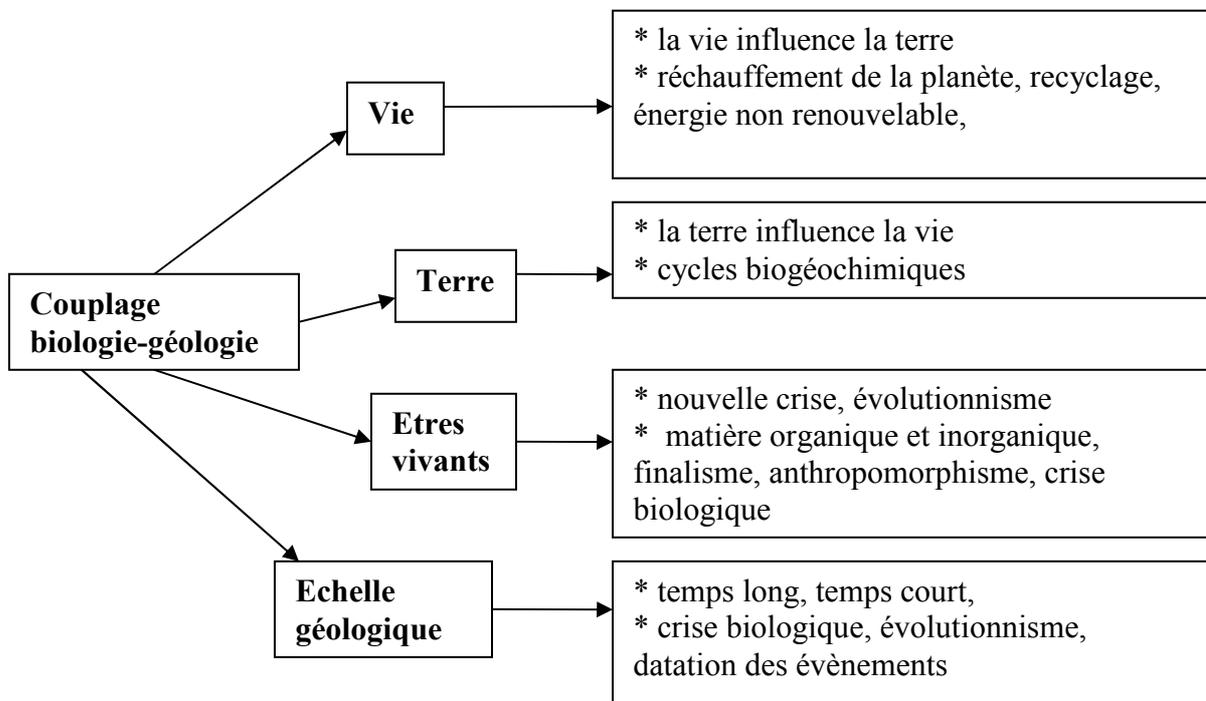


Figure 25 : obstacles liés au couplage biologie-géologie

Nous remarquons que le couplage biologie-géologie renvoie, principalement, à des problèmes environnementaux (E1, tableau 17, annexe 13) : effet de serre, réchauffement climatique recyclage. L'éducation à l'environnement est un carrefour interdisciplinaire entre biologie, géologie, chimie...etc. La chimie organique et inorganique et les cycles biogéochimiques ou géochimiques sont la base de l'étude du recyclage. Le concept de recyclage pourrait faire l'objet d'autres travaux didactiques. L'énergie non renouvelable évoqué par E5 (tableau 17, annexe 13) est problème actuel que le monde entier fait face et essaye de trouver des solutions. Les éléments minéraux constituent le monde inerte et le monde vivant comme l'affirme E8 sur les cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote. Un seul futur enseignant pense que la disparition des êtres vivants est un évènement dû à une crise biologique et des variations géologiques du système terre. Ceci renvoie à l'évolutionnisme et au temps long. Certains enseignants parlent de l'origine de la matière organique issue des êtres vivants. Le destin des êtres vivants qui renvoie au finalisme est toujours maintenu par certains étudiants. Il s'agit comme nous l'avons signalé précédemment, d'une conception anthropomorphique. Une réaction chimique prend quelques secondes alors que le recyclage ou le changement climatique peut s'étendre sur un temps relativement long. Le temps à l'échelle humaine surgit

toujours dans les réponses des futurs enseignants et fait obstacle. Certains étudiants évoquent des conceptions qui renvoient au finalisme et à l'anthropomorphisme. D'autres sont impliqués, comme les scientifiques actuels, dans le courant évolutionniste.

Tableau 78 : obstacles et registres explicatifs des étudiants

Temps à l'échelle humaine	Temps à grande échelle
Finalisme	Crise biologique / évolutionnisme
Anthropomorphisme	Réaction géochimique
Réaction biochimique	Problèmes environnementaux/recyclage
Problèmes environnementaux	changement

3.6. Conclusion

Nous retenons dans ce qui suit les registres explicatifs dans lesquels se placent les étudiants.

Tableau 79 : nature du temps et obstacles épistémologiques chez les étudiants

Temps à l'échelle humaine	Temps à grande échelle
Anthropomorphisme	Tectonique
Catastrophisme actuel	Evolutionnisme
Pensée négative	Géomorphologie
Finalisme	Environnement
Créationnisme	
Environnement	

La mise en relation de concepts scientifiques en biologie ou en géologie est intimement liée à l'anthropomorphisme qui nous emble ici un nœud d'obstacles. Toutes les explications sont en relation directe avec l'être humain. La pensée négative identifiée chez certains futurs enseignants est en lien directe avec l'effet catastrophique du séisme ou du tsunami qui a causé selon des dégâts, des décès...etc. Le destin de la vie des êtres humains est divin, donc la vie qui est une création du Dieu converge vers une fin, si on n'emprunte une réponse de certains étudiants. Le finalisme et l'anthropomorphisme ou le créationnisme renvoie à un temps court à l'échelle humaine.

Lorsque les étudiants se placent dans un cadre explicatif qui renvoie à la théorie de la tectonique des plaques, de la théorie de l'évolution ou à la géomorphologie, ils inscrivent dans un laps de temps relativement long vu que les processus d'un phénomène géologique ou de l'évolution se déroulent sur des millions d'années.

Les problèmes environnementaux renvoient aux deux types de temps. Lorsque les étudiants

évoquent par exemple les réactions biochimiques ou géochimiques qui sont relativement courtes dans le temps, ils sont bien inscrits dans un temps à l'échelle humaine. Par contre, s'ils évoquent le recyclage ou les changements climatiques, ils sont plutôt inscrits dans un temps à grande échelle.

Le temps dans lequel s'inscrit l'étudiant dépend de son registre explicatif. Cependant certains étudiants ont un registre explicatif mixte ; par exemple un étudiant peut adhérer à l'évolutionnisme et à l'anthropomorphisme. Cette mixité peut faire obstacle à la compréhension du concept temps si l'étudiant ne gère pas le temps selon chaque registre. L'anthropomorphisme est un nœud d'obstacles mobilisant chez l'étudiant un temps à l'échelle humaine fera obstacle à l'acquisition du temps en millions d'années.

Comment se construit le concept du temps face aux difficultés liés au registre explicatif dans lequel travaille l'apprenant ?

4. Construction du temps géologique par les futurs enseignants au cours du débat

Les difficultés liées à la datation (paragraphe 3.3) ont montré l'anthropomorphisme fait obstacle à l'acquisition du temps à grande échelle. Alors pour les étudiants qui adhèrent à l'évolutionnisme le temps géologique est relativement long. Nous analysons un extrait du débat sur la datation.

Tableau 80 : Extrait du débat sur la datation

60	Mouna	Je ne vois pas la relation entre phénomène et le temps parce que le temps change
61	Enseignante	Oui
62	Ridha	si, il y a évolution de la vie sur terre, mais ça prend du temps
63	Mouna	comment t'as su?
64	Ridha	Je prends par exemple la relation être vivant et datation: les fossiles servent d'indices pour la datation
66	Hanène	Si la vie et la terre sont en étroite relation, mais le problème est avec les autres
67	Enseignant	c'est à dire, où est le problème?
68	Hanène	Nous utilisons les fossiles pour dater les couches géologiques; mais le tsunami c'est en 2004
74	Mohamed	En fait, la vie progresse il y a un changement dans la faune et la flore
75	Enseignante	Mais il y a disparition de certains êtres vivants, ce n'est plus une progression
76	Mohamed	oui, oui! Mais de toute façon ça change,
77	Hanène	la terre aussi change et évolue
78	Enseignante	évolue ; en fonction de quoi?
79	Hanène	Temps
82	Hanène	les fossiles nous donnent une idée sur un être très éloigné dans le temps

Lors du débat, l'enseignante a essayé d'orienter, sans influencer, le débat dans un sens où les futurs enseignants puissent se rendre compte de l'importance du temps géologique dans l'explication des phénomènes ou événements naturels. Mouna (60) ne voit pas la relation entre le temps et les différents phénomènes. Par contre Ridha (62, 64) pense à l'évolution des êtres qui change en fonction du temps. Il pense aussi que les fossiles datant depuis des millions d'années n'ont pas de relation avec le tsunami qui est un événement récent. Le changement de la faune et de la flore est une progression de la vie selon Mohamed (74). La majorité des étudiants s'inscrit dans un cadre explicatif évolutionniste qui renvoie au temps en millions d'années. Nous remarquons que des questions sur le temps commencent à déstabiliser les explications précédentes des étudiants. L'exemple des fossiles et l'extinction des êtres vivants avant de confronter leurs idées sur le temps long lui-même à travers certains processus de phénomènes géologiques et/ou biologiques.

4.1. La construction du temps géologique dans l'explication du séisme

Les obstacles à la mise en relation du temps avec les séismes étudiés précédemment sont principalement l'anthropomorphisme et le catastrophisme. Ces deux registres explicatifs renvoient à un temps court à l'échelle humaine. La construction de l'histoire d'un séisme au cours du débat est-elle indépendante de ces obstacles ?

Tableau 81 : Extrait du débat sur l'histoire d'un séisme

56	Nadia	ce n'est plus un danger, on aura des moyens de prévenir les gens
80	Nadia	ce n'est pas la même chose, l'orogénèse est du à la dynamique du globe, c'est loin dans le temps par contre un séisme c'est une menace qui se fait en quelques seconde
81	Ridha	c'est ça oui; un séisme déforme la structure de la terre et détruit les maisons rapidement
83	Maher	le tsunami, en 2004, a fait des milliers de morts, des gens sans abris, c'était une vraie catastrophe
84	Enseignante	attendez, d'abord comment s'est produit ce séisme
85	Mohamed	rapprochement des deux plaques asiatique et européenne
86	Hanène	Non, je crois non
87	Mouna	Non il est du à l'enfoncement de la plaque Indo-Australienne sous l'île de Sumatra, je me rappelle bien, j'ai vu ça dans un reportage à la télé
88	Enseignante	à quelle vitesse si tu te rappelles
89	Mouna	2 ou 3 cm/an je ne suis pas sûre
90	Hanène	Non 5 cm/an
91	Enseignante	oui c'est ça, donc avant que se séisme se déclenche il y a eu cette subduction, vous rendez compte en combien de temps fallait-il pour que ce séisme s'est produit?
92	Ridha	en 100 ans la subduction parcourt 500 cm, oh! C'est énorme, mais je ne savais pas combien exactement
93	Nadia	ça doit prendre des millions d'années
95	Nadia	d'autres phénomènes géologiques se produisent avant que le séisme aura lieu, la faille Skanès (Monastir) est active depuis plusieurs années ou mêmes siècles, par contre c'est dans les années soixante dix qu'un séisme s'est déclenché dans cette région
96	Maher	c'est la dynamique du globe terrestre
97	Enseignante	pourtant un séisme ne reste que quelques secondes comme l'a déjà mentionné Nadia au début
98	Nadia	oui je veux dire qu'un séisme quoi que ce soit à une histoire géologique
99	Maher	Mais, si on savait le moment du déclenchement on aurait pu sauver la vie de plusieurs personnes
100	Mouna	une histoire, t'es sûre
101	Hanène	Certainement, étant donné que la subduction prend plusieurs millions d'années; un séisme est une accumulation d'énergie due à cette subduction
102	Ridha	Mais le séisme est un événement court par contre la subduction est très lente, mais je partage l'idée de Maher d'éviter la catastrophe sismique
103	Enseignante	voyons ensemble la relation tsunami/ être vivant: vous parlez tous de danger comment on pourrait l'éviter?
104	Mohamed	les stations d'enregistrements des séismes peuvent nous donner une idée sur les séismes et comme ça on l'évite, on fait déplacer les gens dans des endroits stable
105	Enseignante	Vous parlez de la prédiction des séismes, c'est ça
106	Maher	on évite une catastrophe telle que celle de 2004 en Asie

L'image catastrophique que peut laisser un séisme est toujours présente dans l'esprit des étudiants. Selon eux, la détection des ondes sismiques (CM) permet de prévenir les gens du danger (CE). Le séisme est une menace de quelques secondes (Nadia, 80) alors que l'orogénèse se fait dans un temps long. Il s'agit de registres explicatifs mettant en relation l'anthropomorphisme et le catastrophisme. Le temps est court pour qu'un séisme se produise alors que la formation des chaînes de montagnes s'étend sur des millions d'années. Le temps commence à devenir une nécessité (CM) dans l'explication des phénomènes naturels proposés. Le séisme (CE) est dû à l'enfoncement de la plaque Indo-australienne sous l'île de Sumatra. L'un des étudiants a même fait le rapport temps-vitesse et s'est étonné du chiffre en cm de rapprochement des deux plaques. Une autre conception spatiotemporelle se construit. Nadia (95) s'est basée sur l'exemple de la faille de Skanès (Monastir, Tunisie) dont l'activité a commencé depuis plusieurs années ou des siècles et a déclenché un séisme (CE) dans les années soixante. Même si le temps n'est pas bien précis, Nadia tient compte du processus géologique provoquant les mouvements de cette faille (CM) ainsi que ses conséquences. Nadia confirme qu'un séisme a une histoire géologique, nous remarquons qu'elle est consciente de l'immensité du temps géologique. Cette machinerie temporelle d'un séisme a été confirmée par Hanène qui insiste sur le fait que la subduction prend plusieurs millions d'années. Il s'agit d'un registre explicatif tectonique. Nous rappelons que la construction de l'espace de contraintes peut soulever certaines discussions étant donné que nous n'avons pas assez d'arguments dans les explications mobilisées par les étudiants. Soit le figure suivante sur l'explication du séisme.

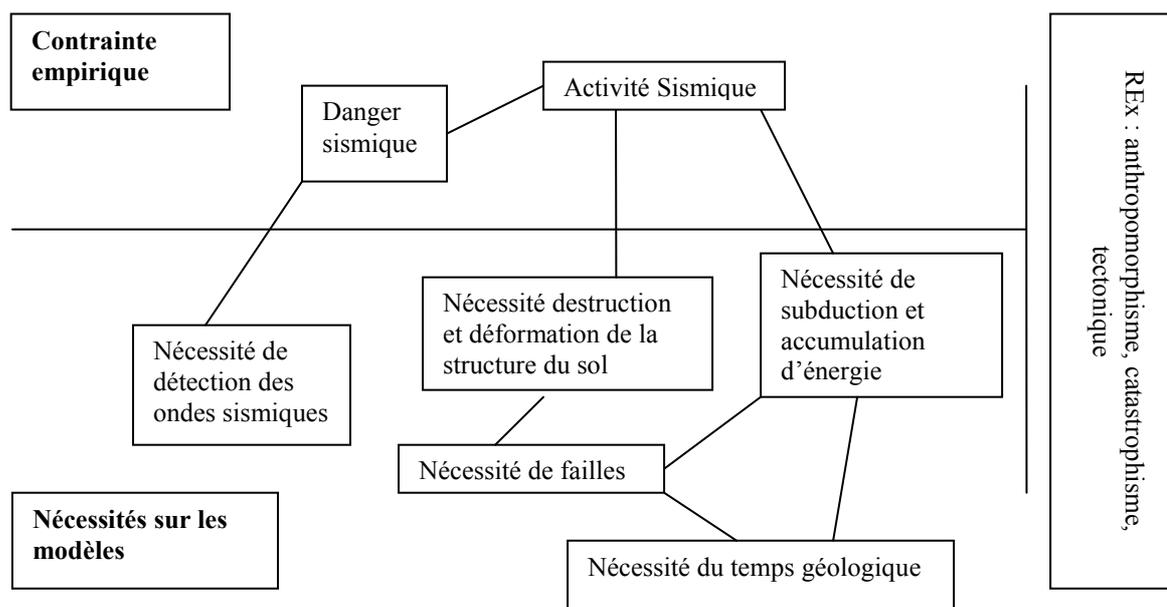


Figure 26 : espace de contraintes des étudiants sur l'histoire du séisme

4.2. Construction du temps géologique dans l'explication d'une crise biologique

Les étudiants ont mobilisés des explications qui renvoient aux deux thèses du débat : le gradualisme et le brutalisme. Le gradualisme renvoie à temps lent alors que le brutalisme renvoie à un temps court. L'analyse de l'atelier n°3 a montré que l'explication des crises biologiques se fait un cadre explicatif évolutionniste qui renvoie à un temps géologique à grande échelle. Dans quel registre explicatif et dans quel contexte temporel se fait l'explication de la crise biologique dans le débat ?

Tableau 82 : Extrait du débat l'extinction

112	Nadia	J'ai pensé à ça aussi: vie, terre, êtres vivants et d'un autre coté datation, le temps, échelle géologique
113	Ridha	C'est évident, le temps est la base de l'échelle géologique, mais
114	Enseignante	Mais quoi? Vous avez dit que la subduction est phénomène lent, comment ça? Avez-vous d'autres exemples?
115	Hanène	la vie des êtres vivants est menacée à long terme sous l'effet de réchauffement de la planète, ils vont disparaître mais il faut du temps
116	Mohamed	les événements change au cours de l'échelle
117	Maher	Mais il y a des changements brefs, l'extinction des dinosaures était très rapide
118	Enseignante	bref, c'est-à-dire
119	Maher	quelques jours, c'était une grande crise
120	Mohamed	Mais il y a d'autres hypothèses qui disent que l'extinction s'est étendue sur plusieurs années
121	Enseignante	plusieurs années
122	Mohamed	millions, millions d'années
123	Mouna	plusieurs espèces ont été disparues lors du tsunami de 2004, c'était rapide aussi, il y a aussi un changement au niveau de la carte de la région, c'était catastrophique

Le réchauffement de la planète (CM) va causer la disparition des êtres vivants (CE) (Hanène, 115). Selon Hanène l'extinction est graduelle (REx) et en relation directe avec l'effet de l'environnement et elle se fait sur un temps long. L'extinction est brutale (REx) selon Maher (117, 119) et elle ne dure que quelques jours. En fait, même si l'extinction était rapide, elle s'est étendue sur des milliers voire quelques de millions d'années. Selon Mouna le temps, nécessaire à la disparition des êtres vivants, peut être rapide, elle argumente son point de vue par l'extinction brève de certaines espèces lors du tsunami 2004 (CE). Le catastrophisme actuel dû en apparence à un phénomène sans histoire fait obstacle à comprendre l'extinction lors des crises biologiques dans contexte temporelle différent. Si les étudiants ont gardé cette dualité de registre explicatif brutalisme et gradualisme, ils ont essayé de transposer le catastrophisme actuel pour expliquer le catastrophisme historique qui renvoie par exemple au déluge ou à la crise Crétacé-Tertiaire. Le registre explicatif est mixte en fonction du temps, le

brutalisme coïncide avec le catastrophisme actuel alors le gradualisme renvoie au catastrophisme historique. Le problème environnemental est actuel que les étudiants mobilisent pour expliquer un phénomène éloigné dans le temps.

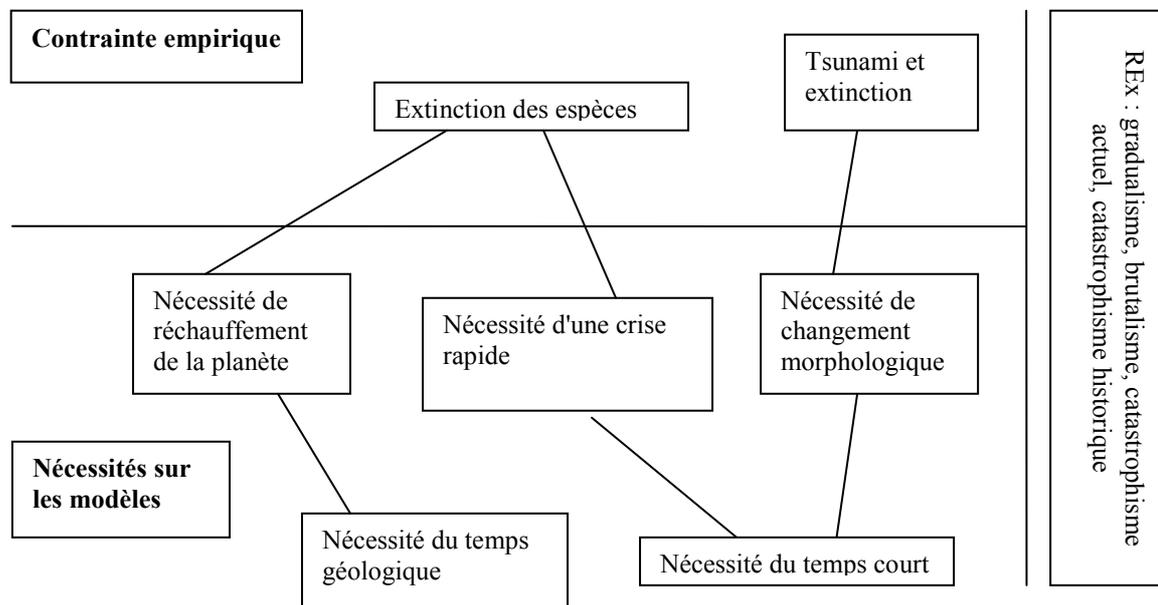


Figure 27 : espace de contraintes des étudiants sur l'extinction

4.3. Construction du temps géologique à travers l'explication de l'histoire des alpes

Nous avons choisis trois extraits du débat. Les deux premiers portent sur l'histoire des Alpes. Pour le troisième extrait, il s'agit d'une reprise de la question sur le concept qu'Avicenne n'a pas utilisé dans l'explication de la formation des chaînes de montagnes. Dans les ateliers précédents, certains étudiants ont expliqué l'orogénèse dans un cadre tectonique, mais tiennent-ils compte de l'immensité du temps ?

Tableau 83 : extrait (1) sur l'histoire des alpes

124	Enseignante	Revenons au premier atelier, vous avez posez les phénomènes géologiques identifiés sur une flèche en millions d'années, je vois les mots faille, volcanisme ...etc.
125	Hanène	non, moi j'ai pensé à l'ouverture de l'atlantique, fermeture de la Téthys, Gondwana et séparation de l'Afrique et l'Amérique de sud
126	Nadia	Oui tu as raison, moi j'ai fais ça dans le cas général : déplacement de plaques, volcanisme
127	Mouna	Moi aussi j'ai commis la même faute ; failles, mouvements des plaques
128	Hanène	Ce sont des phénomènes de tous temps, mais le schéma indique bien une période bien déterminée
129	Enseignante	Une période !
130	Hanène	Oui, il y a environ 150 MA quand l'ouverture de l'atlantique a eu lieu, ce qui est récent par rapport à l'âge de la terre 4,5 Milliards d'années

131	Ridha	J'aurais du penser à ça, la flèche que j'ai tracé commence à - 16 MA, c'est très récent
132	Mohamed	En fait avant, il y a environ 200 MA, les deux continents africain et américain, (pardon européen) forment ensemble le Gondwana commence à se séparer comme l'a dit Hanène il y a 150 MA
133	Hanène	Oui il y a environ 150 à 160 MA, c'est l'Atlantique Sud qui s'est ouvert et a poussé la plaque africaine créant ainsi une faille entre les deux continents
134	Enseignante	A mes connaissances deux failles transformantes
135	Nadia	Attendez ! je me retrouve, on a déjà vu ça avec M. Ben Ayed, c'est entre les deux failles transformantes que s'est formé l'océan alpin, l'atlantique nord n'est ouvert qu'environ, vers 100 MA

Les étudiants mobilisent des indices du temps géologique dans leurs explications. Ridha (131) regrette d'avoir commencé son échelle par -16 MA, il la voit très récente comme date. Mohamed précise qu'il y a 200 MA les deux continents (africain et européen) étaient soudés et ce n'est que vers 160 MA (130, 132, 33) que s'est ouvert l'Atlantique sud (133). Cette ouverture a créé une faille qui a poussé les deux continents dans deux sens opposés. L'enseignante est intervenue pour rappeler aux étudiants que c'était deux failles transformantes. Nadia (135) s'est basée sur le cours de son professeur pour valider le rappel et annonce que l'ouverture de l'Atlantique nord a eu lieu il y a 100 millions d'années. La discussion du processus géologique de l'ouverture l'Atlantique nord débouche sur l'histoire des Alpes (voir tableau suivant).

Tableau 84 : extrait (2) sur l'histoire des alpes

136	Enseignante	Bien, quelle est la conséquence de ce déplacement de plaques
137	Maher	Séparation de l'Afrique et de l'Amérique
138	Hanène	Oui, mais je me rappelle que la plaque africaine s'est coincé quelques part, donc elle a subit une rotation c'est la conséquence de l'ouverture de l'atlantique nord
139	Ridha	J'ai oublié tous ça (sourire)
140	Enseignante	Coincé, comment dites ça en géologie
141	Nadia	Chevauchement
142	Enseignante	Oui, oui et après
143	Mohamed	Le continent africain a chevauché le continent européen
144	Enseignante	Qu'est ce que ça donne
145	Hanène	Les Alpes madame, vous savez Madame j'ai pensé à ça au début
146	Enseignante	Oui très bien nous venons de retracer l'histoire des alpes en quelque sorte

Les deux failles transformantes (CM) ont provoqué la séparation de l'Afrique et de l'Amérique (CE). Hanène (138) rappelle que l'ouverture de l'Atlantique nord (CE) a eu lieu quand la plaque africaine s'est coincée (CM), il s'agit d'un chevauchement (CM) rajoute

Nadia (141). La discussion sur le temps s'est terminée par l'explication du chevauchement de la plaque africaine sur celle européenne, ceci a donné les Alpes (Hanène, 145). Nous remarquons combien de phénomènes géologiques étaient évoqués avant d'aboutir à une conclusion sur l'histoire des Alpes. Il s'agit d'un cadre tectonique global tenant compte de l'immensité du temps écoulé. Essayons de construire l'espace de contrainte des étudiants suite à l'analyse de ces deux extraits.

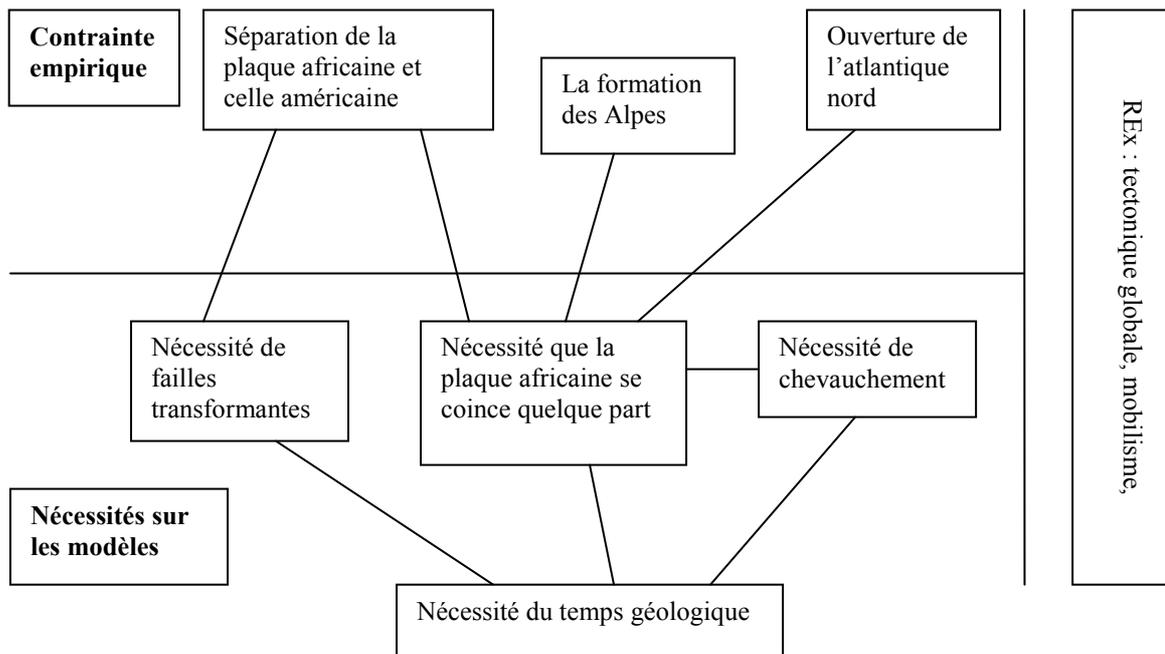


Figure 28 : espace de contraintes des étudiants sur l'histoire des Alpes

Pour faire le lien entre les ateliers et le débat, l'enseignante a posé la même question sur le concept scientifique qu'Avicenne n'a pas évoqué. Ridha renvoie son échelle récente une échelle en millions d'années. Ceci montre que certains étudiants prennent conscience de l'importance du temps écoulé dans l'explication des phénomènes naturels. Elle s'assure qu'il n'a pas parlé du temps, chaînon manquant de son explication de l'orogénèse.

Tableau 85 : extrait du débat sur le concept non évoqué par Avicenne

147	Enseignante	Revenons à Avicenne, est ce que vous vous rendez compte maintenant du concept clé que Avicenne n'a pas utilisé pour expliquer l'orogénèse
148	Enseignante	Il y a un moment, Ridha vous avez dit que ton échelle est récente, à quoi (cette échelle) pourrait elle vous empêcher de comprendre
149	Ridha	Oui Madame le temps lointain, en millions d'années
150	Nadia	Avicenne Madame n'a pas parlé du temps, je crois, je relis vite le texte
151	Enseignante	Quel temps, l'actuel
152	Nadia	Le temps à grande échelle est nécessaire pour expliquer l'histoire des Alpes par exemple

153	Enseignante	Merci Nadia et à vous tous, on doit évacuer la salle mais retenez que l'objectif de ce débat était de vous faire montrer l'utilité du temps historique dans l'explication de quelques phénomènes naturels
-----	-------------	---

Sa réponse est le temps à grande échelle. Les étudiants, n'ayant pas fait de l'histoire des sciences ou didactique des sciences, ne sont pas familiarisés avec le concept de « temps géologiques » parlent du temps à grande échelle. Nous considérons qu'à travers le débat les futurs enseignants ont pu construire ce concept et sont devenus aptes à le mobiliser quand nécessaire.

4.4. Et l'assertorique !

Jusqu'à présent nous avons essayé, et ce dans les trois chapitres, d'identifier des savoirs conditions (apodictique) à travers l'analyse des productions écrites (questionnaires, ateliers-débat, entretiens), de l'enregistrement d'une séance de classe et d'un débat. Tels que nous avons précisé dans notre cadre théorique (voir chapitre 1), nous ne considérons que les explications mobilisées par les élèves ou les futurs enseignants. Nous nous sommes intéressés aux réponses qui se rapportent à une explication scientifique.

Tableau 86 : des affirmations ou savoirs solutions

6	Nadia	la première
26	Ridha	L'ère tertiaire
51	Nadia	si je répons à la question horizontalement; je n'ai pas fait attention de mettre en relation deux à deux les phénomènes. C'est pourquoi j'ai répondu comme ça et après j'ai changé d'avis
53	Mouna	L'autre question; comment je pourrais l'éviter?
54	Nadia	par exemple il faut mettre des détecteurs d'ondes pour enregistrer les séismes et comme ça va être une autre réponse
58	Mouna	c'est difficile Mme
60	Mouna	je ne vois pas la relation entre phénomène et le temps parce que le temps change
65	Nadia	je n'arrive pas vraiment à concevoir toutes ses relations
69	Mouna	tu veux dire
70	Hanène	oui, c'est différent
71	Maher	tu as raison c'est très récent
73	Nadia	oui, mais j'ai déjà répondu à l'horizontale (sourire), mais je vois oui un peu
108	Nadia	oui je vois Madame
109	Hanène	le problème c'est que tous les phénomènes sont en relation ici, j'essaye de diviser ce tableau
111	Hanène	il y a des phénomènes géologiques, séismes, convergence, crise biologique en bas

Bien qu'il soit difficile de distinguer les savoirs solutions (assertorique) des savoirs conditions (apodictique), nous retrouvons dans le débat des affirmations extrêmement liées aux élaborations. En plus, les savoirs solutions sont parfois implicites. Ces moments de réflexion, nous les considérons une étape du fonctionnement de raisonnement de l'apprenant. On a regroupé dans le tableau suivant quelques interventions qui ne semblent pas être scientifique mais qui ont aidé les futurs enseignants à se poser des questions, à réorganiser leurs idées et à faire évoluer le débat. Notons que dans certaines interventions nous ne pouvons pas séparer les savoirs conditions des savoirs solutions.

4.5. Conclusion

Les espaces des contraintes en jeu sont une méthode de rendre compte de la construction du problème au cours un débat entre un groupe de futurs enseignants permettant de construire le concept du temps géologique. Les espaces de contraintes en jeu dans le débat présentent ce que l'on peut retenir dans les explications des apprenants comme relevant du fonctionnement de leurs raisonnements. Nous avons cherché à caractériser la construction du problème et à assimiler cette méthodologie d'analyse à la construction de nécessités. Nous avons rapproché la modélisation, qui est une mise en relation entre registre empirique et registre des modèles, à la problématisation, qui est une mise en tension entre ces registres. La construction du problème serait une mise en tension entre des éléments du registre empirique (les contraintes empiriques) et les éléments du registre des modèles (contraintes théoriques et nécessités sur le modèle).

L'attribution du statut de contraintes empiriques ou de nécessités aux interventions futurs enseignants n'est pas systématique. En fait, les éléments du registre des modèles n'ont pas automatiquement un caractère de nécessité. Certains éléments de ce registre sont des contraintes empiriques. Une crise est un construit empirique est, pour certains étudiants, une nécessité pour l'extinction des espèces. Nous rappelons qu'une contrainte est un « déjà-là » de l'activité du raisonnement alors que la nécessité est un construit nouveau. Dans l'exemple sur l'histoire du séisme le danger sismique n'était pas un concept scientifique cependant la détection du séisme est un élément du registre des modèles. L'extinction des espèces est une nécessité empirique suite à une crise alors que la crise est elle aussi une nécessité sur les modèles. De même la séparation des deux plaques africaine et américaine est une nécessité empirique pour la formation des Alpes alors que le blocage de la plaque africaine est une nécessité sur les modèles. Tout dépend du sens qu'on attribue au terme de nécessité. C'est pourquoi nous restons prudent sur les éléments constitutifs de chaque registre car certains

nécessités peuvent relever de l'assertorique et non de l'apodictique. L'explication du danger ou de la catastrophe n'accède pas à l'apodicticité. Un autre point qui mérite d'être signalé, le caractère implicite de certaines nécessités sur les modèles, enfin c'est qui lui attribue ce statut. Les explications avancées par les étudiants ne sont pas toujours explicites. Comme nous l'avons remarqué plus haut la distinction entre l'assertorique et l'apodictique reste une tâche difficile. Si nous revenons sur la définition du registre explicatif comme une caractéristique de la pensée de l'apprenant, il conviendrait de le considérer qu'il se dédouble en éléments qui relèvent de l'assertion et d'autres qui relèvent de l'apodicticité. Si nous travaillons dans un débat sur le fonctionnement de la double pensée (assertorique et apodictique) nous pouvons suivre la dynamique de l'évolution du débat. L'ancrage de cette proposition implique le recours à la pensée bachelardienne sur la double pensée et la surveillance intellectuel du soi.

5. Obstacles de mise en relation des phénomènes étudiés avec le vivant et la terre

Nous analysons d'abord les tableaux remplis avant le débat (voir annexe), ensuite nous analysons la discussion entre les binômes et enfin nous analysons les tableaux remplis après le débat. L'analyse des tableaux est définie plus haut, il s'agit d'une mise en relation les concepts scientifiques en question par les élèves.

Nous présentons dans la figure suivante les obstacles liés à la mise en relation du tsunami et ou du séisme avec le vivant, la terre et ou l'échelle géologique.

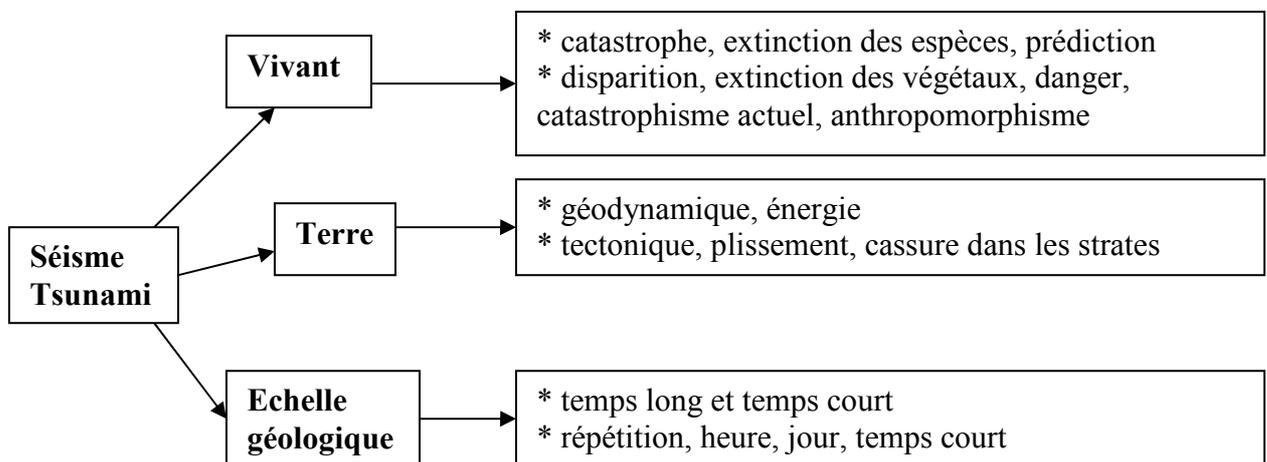


Figure 29 : obstacles liés aux tsunamis et séisme

Les notions de vie ou vivants mises en relation avec un séisme renvoient les élèves à mobiliser des concepts qui relèvent du catastrophisme actuel et de l'anthropomorphisme. la pensée négative du séisme figure toujours chez les élèves, une disparition est toujours négative. Les séismes sont expliqués aussi dans cadre tectonique mais on retrouve le mot

cassure des roches, ou des strates. Nous pensons qu'il y a un obstacle mythique qui est présent dans certaine histoire ou récit que la terre s'ouvre lors d'un séisme et avale les êtres vivants. Il semble qu'un séisme renvoie toujours à temps court, les élèves ne pense qu'au moment du déclenchement du séisme et au maximum à la propagation des ondes et la panique que subit la population. Cela prend une heure ou un jour, c'est le temps à l'échelle humaine qui les empêche de concevoir l'immensité du temps géologique.

Quels sont les obstacles liés à la formation des chaînes de montagnes ? Nous récapitulons dans la figure suivante les différents obstacles liés à la mise en relation de l'orogénèse avec la terre, la vie ou l'échelle géologique.

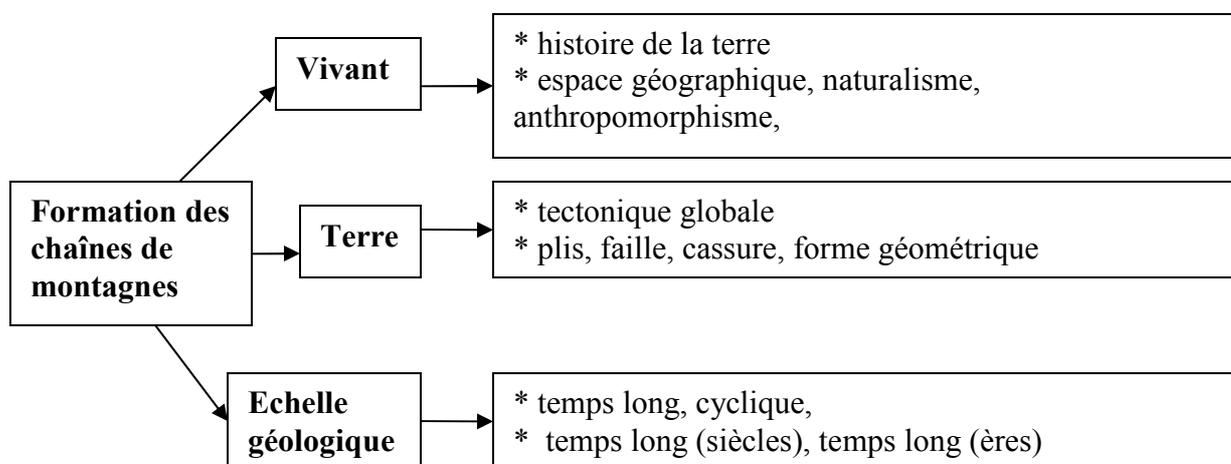


Figure 30 : Obstacles liés à la formation des chaînes de montagnes

Il semble que les élèves ont une pensée positive concernant les montagnes, d'une part parce qu'elle ne menace pas l'existence humaine et d'autre part parce qu'elles offrent un équilibre naturel. Nous mettons le doigt ici sur une pensée positive naturaliste lié à la vie humaine. Donc encore une autrefois, l'anthropomorphisme est en relation directe avec le naturalisme dans le cadre d'une pensée positive. L'espace géographique qu'occupent les montagnes ainsi que leur forme géométrique donne une valeur exceptionnelle aux montagnes dans la pensée des élèves. Cette attention semble mobiliser chez eux un souci d'avoir des explications de géométrie et l'étendu des montagnes au moins dans l'espace qui les entoure. Ce souci se traduit par un temps relativement long mais qui ne dépasse pas des siècles ou des ères. Serait-il pas un d'un obstacle psychologique de concevoir l'immensité du temps ?

Dans ce qui suit nous identifions les obstacles de la mise en relation du cris biologique avec le vivant, terre ou échelle géologique.

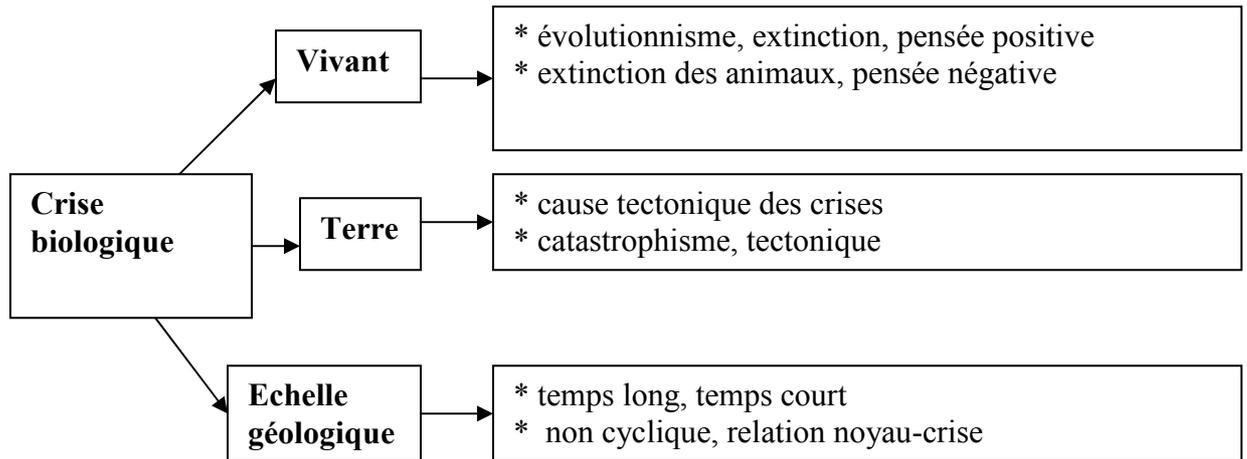


Figure 31 : Obstacles liés aux crises biologiques

Une crise biologique est une menace pour les êtres vivants et ne se voit pas par exemple comme une faveur à l'évolution. Les notions « disparition », « extinction », catastrophe et « crise » renvoient les élèves à une pensée négative de la crise biologique. Cependant, une crise peut avoir une cause tectonique mais nous voyons la relation entre le noyau de la terre et la crise. Pour les élèves, la crise n'est pas cyclique.

5.1. Conclusion

Nous discutons dans ce qui suit la relation entre les obstacles à concevoir le temps et les registres explicatifs des élèves.

Tableau 87 : obstacles et registres explicatifs des élèves

Temps à l'échelle humain	Temps à grande échelle
Catastrophisme actuel	Tectonique
Anthropomorphisme	Géomorphologie
Pensée négative	Pensée positive
Activité sismique	
Obstacle psychologique	
Obstacle mythique	
Naturalisme	

L'activité sismique se fait en un temps court et elle est relation avec plusieurs obstacles. Le catastrophisme actuel et l'anthropomorphisme sont relation avec l'être humain. Notant que l'explication des séismes se fait un cadre tectonique et de catastrophisme actuel. La destruction, la menace ou aussi l'extinction et les crises développe une pensée négative chez

les élèves. Toute disparition est négative. Les élèves ne dépassent pas les jours, les années ou les ères lorsqu'il mobilise un temps relativement long pour mettre en relation certains phénomènes. Il s'agit d'un obstacle psychologique à concevoir l'immensité du temps géologique. Il semble que la notion « cassure » renvoie à un obstacle d'origine sociale lié probablement à un mythe : obstacle mythique. Ce mythe est lié à un schéma d'une terre qui s'ouvre et avale tous lors d'un séisme. Cette question est à approfondir, nous n'avons pas travaillé dans notre cadre théorique. La nature et la géomorphologie des montagnes développe chez les élèves une pensée positive. L'origine tectonique des montagnes ainsi que leur forme géométrique dans un espace géographique, les amener à pousser le temps à une période relativement longue pour que les montagnes prennent la forme actuelle.

5.2. Problématisation du temps et interdisciplinarité : exemple de la crise biologique

Nous analysons dans ce qui suit la discussion scientifique qu'a menée notre collègue avec quatre élèves. Nous suivons le développement de leur raisonnement dans le but de construire l'espace de contrainte représentant les registres des élèves. Nous rappelons que nous restons toujours prudents sur les éléments constitutifs des différents registres. Nous regroupons dans la figure suivante les exemples de crises biologiques proposées par les élèves.

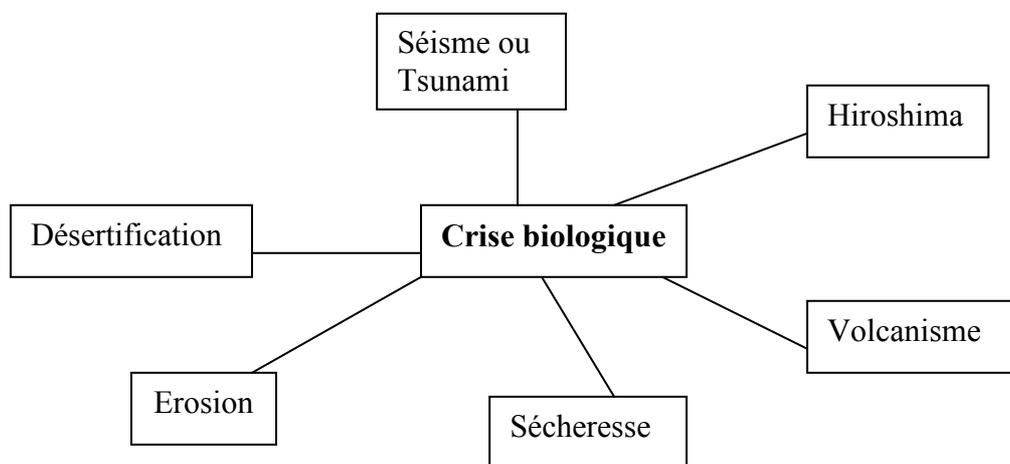


Figure 32 : exemples de crises biologiques par les élèves

Les exemples de crises biologiques mobilisés par les élèves sont de trois types. Des exemples qui sont la conséquence de la dynamique interne de la terre : activité sismique et ses conséquences et le volcanisme. Des exemples qui sont la conséquence des effets physiques (Température, forces éoliennes) sur la biosphère : la désertification, la sécheresse et l'érosion. Si les exemples précédents sont aussi causés en partie par l'exploitation humaine des ressources naturelles, l'exemple de Hiroshima est, malheureusement, totalement humain. Il

semble que la notion de crise évolue du point de vue linguistique, il est peut être important de mener des études ultérieures sur l'évolution conceptuelle en sciences pour comprendre leur utilité actuel chez les élèves. Nous essayons donc de reconstruire la problématisation de la crise biologique par les élèves dans un schéma globale. Est-il possible de problématiser le temps géologique à travers cet exemple ? Quel type d'obstacles surgit dans cette discussion ?

D'une part, nous remarquons que pour les élèves une crise est une phase négative puisque elle détruit et menace les êtres vivants. Le décès des êtres vivants (CM), l'arrêt de la respiration (CM), l'absence de la nourriture (CM) sont toutes des terminologies en relation directe avec la négativité de la crise. Il semble ici et à travers les analyses précédentes que nous sommes face à un obstacle linguistique lié à la notion « crise ». Et comme nous l'avons évoqué précédemment toute disparition est négative (REx) chez la plupart des apprenants. D'autre part, lorsque le tremblement de terre (CE) est considéré comme une crise (CE), il est considéré comme positif. Une positivité dotée d'erreur scientifique. Les élèves pensent que lors de la crise sismique fait inversé le sol et donc il sera renouvelé et aussi il leur semble que les sources d'eau passe à la surface de la terre (CM). Nous estimons que cette positivité est liée au souci de l'importance de l'eau et du sol pour l'être humain. Nous renvoyons ça aussi à un obstacle mythique. Les séismes ou les volcans sont due à des problèmes au niveau du sous-sol ou au niveau du noyau de la terre. Ne parlent-ils pas de géodynamique interne ?

La disparition de la nourriture (CM) est la principale cause de l'extinction des espèces est donc d'une crise biologique. Le manque de nourriture pousse les dinosaures herbivores à migrer. Cette migration qui est nécessaire pour leur survie les met devant un nouveau problème; le changement de climat (CM). Ce changement causera la mort des ces espèces, nourriture de dinosaures carnivores. Hiroshima dont la conséquence est de la pluie toxique provoque l'extinction des plantes, nourriture des animaux herbivores. Hiroshima est une crise artificielle (REx). Pour les élèves nourriture est un modèle explicatif de la disparition des herbivores et par conséquent l'extinction de carnivores. La sécheresse (CE) elle aussi est une crise et elle la conséquence nécessaire de l'exploitation de l'eau dans les espaces culturelles ou touristiques.

La crise biologique au futur, mais à tout moment selon les élèves, aura lieu à cause des problèmes environnementaux (CE). L'arrêt de la respiration (CM) causera l'extinction de des êtres humains. La vie de l'être humain est toujours prioritaire dans l'explication des élèves par rapport aux autres êtres vivants. L'obstacle anthropomorphique est toujours un noeud d'obstacles renvoyant aux différents obstacles.

Nous remarquons que les registres explicatifs sont multiples

Concernant le temps mobilisé il est différent selon les exemples de crises proposés par les élèves. Les séismes se déroulent en quelques heures, il s'agit d'un temps à l'échelle humaine car les élèves n'ont pas expliqué leur processus. Par contre les autres crises peuvent s'étendre sur un temps relativement long mais qui ne dépasse des siècles ou des ères. Leur appréhension du temps est limitée, nous estimons qu'il s'agit d'un obstacle psychologique de concevoir le temps. L'extinction à son tour est définie dans un seul cadre celui du gradualisme « *petit à petit* » selon eux. Autre remarque c'est que le fixisme réapparaît chez les élèves, aucune nouvelle espèce n'apparaît après une crise. Mise à part l'extinction des dinosaures qui renvoie à la crise Crétacée-Tertiaire, les autres exemples de crises sont des phénomènes récents dont Hiroshima, tsunami... etc.

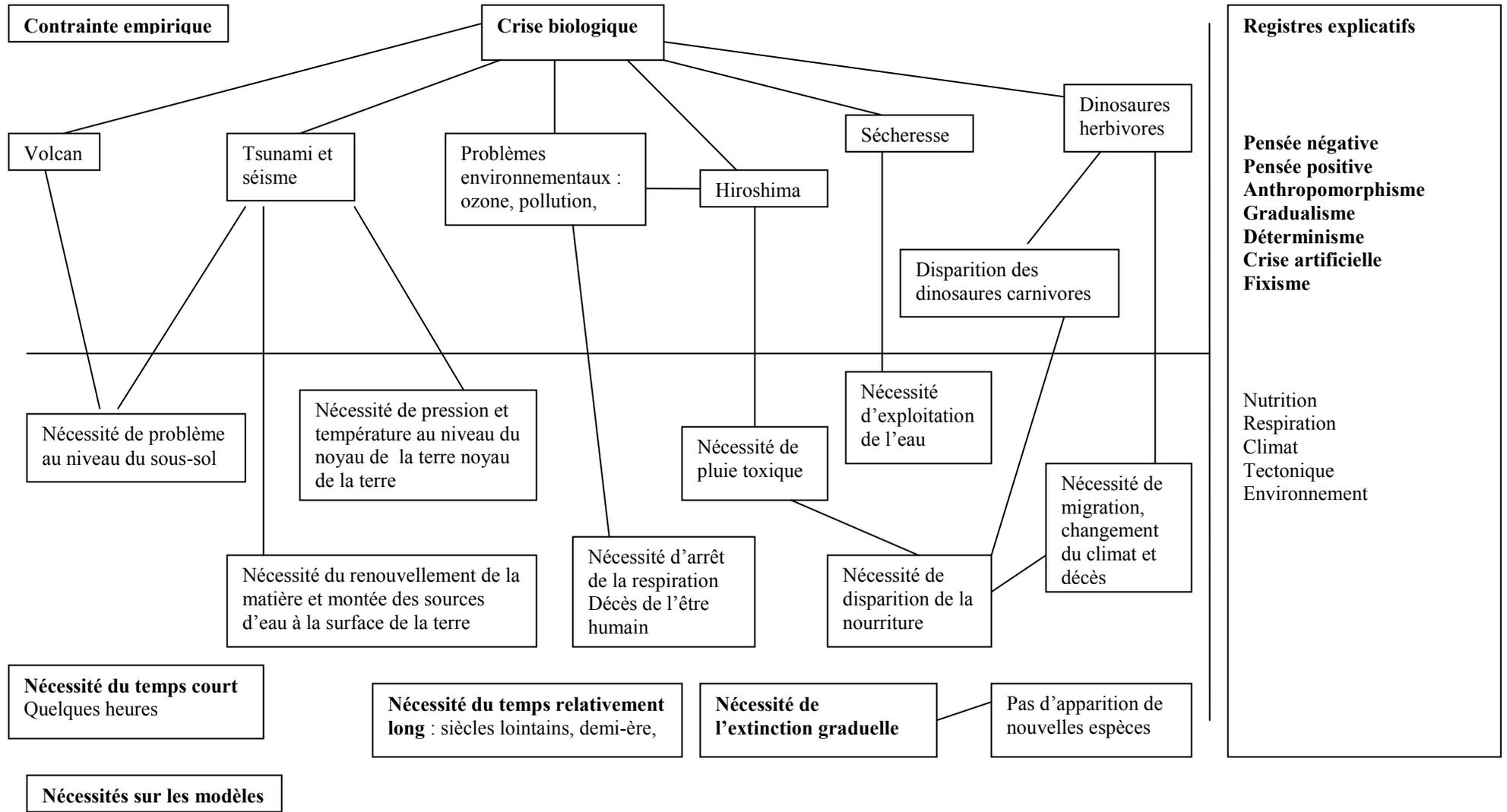


Figure 33 : problématisation de la crise biologique et du temps par les élèves dans un débat

5.3. Nature du temps mobilisé après le débat

Nous récapitulons dans la figure suivante la nature du temps mobilisé par les élèves suite à la mise en relation du temps géologique et les phénomènes étudiés.

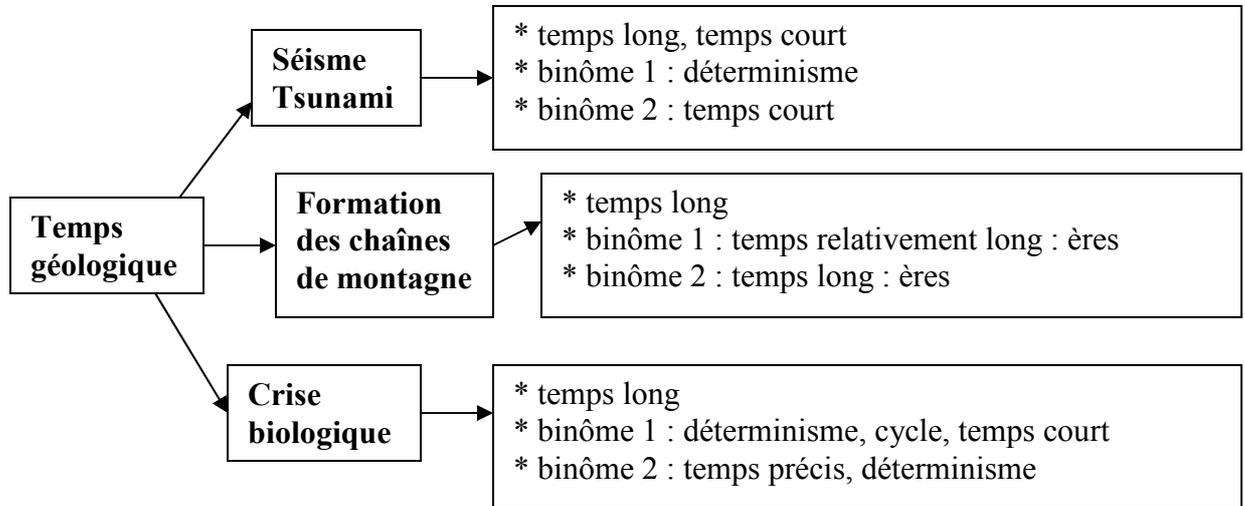


Figure 34 : nature du temps liée aux phénomènes étudiés

Le déterminisme apparaît dans les réponses du binôme 1 concernant la durée ou le temps des séismes et/ou les crises biologiques. Le déterminisme trouve son origine dans l'islam qui est considéré comme une religion hautement déterministe. Donc le temps et la durée de ses phénomènes sont probablement prédéterminés. Pour les deux binômes un séisme ou une crise biologique se déroulent dans un temps court. Ceci est expliqué par le fait que les exemples de crises mentionnés sus-dessus sont des phénomènes en relation directe avec l'être humain. L'anthropomorphisme reste un des plus résistants obstacles aux changements. Pour les chaînes de montagnes, le temps ne dépasse pas les ères. Quel type de relation entre le temps, le vivant et la terre ?

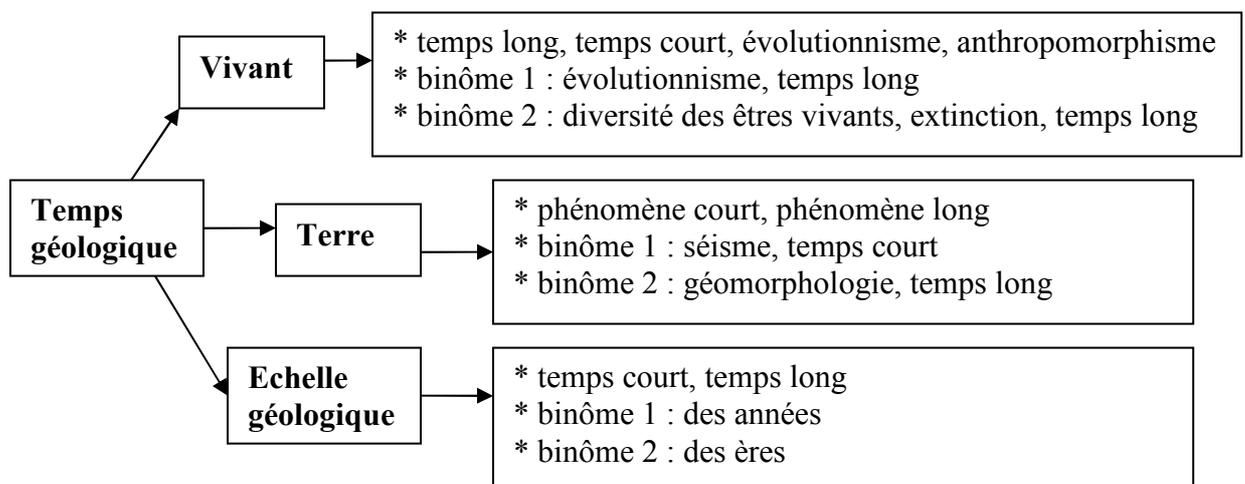


Figure 35 : nature du temps liée au vivant et à la terre

L'évolutionnisme lorsqu'il est présent dans les réponses des élèves favorise, dans la majorité des cas, la mobilisation d'un temps long. La diversité des êtres vivants ou l'extinction nécessite du temps à grande échelle selon les élèves. Le séisme est renvoyé, principalement, à un temps court, les élèves ne pensent qu'au moment du déclenchement du séisme et au maximum aux quelques heures de paniques qui précède l'événement. D'une façon générale, le temps ne dépasse pas des années voire des ères chez les élèves. Le binôme 2 définit le temps géologique « *c'est le temps de la formation de la terre et la continuité de la vie ; il est formé des ères* » (voir annexe 14). Il s'agit d'un obstacle psychologique de concevoir l'immensité du temps.

6. Conclusion

Nous résumons dans le tableau suivant les registres explicatifs mobilisé par les élèves selon nature du temps correspondantes

Tableau 88 : temps et registres explicatifs chez les élèves

Nature du temps	Registres explicatifs
Temps à l'échelle humaine	Catastrophisme actuel Anthropomorphisme Déterminisme Fixisme Crise artificielle Psychologique Mythique Environnement Naturalisme
Temps à grande échelle	Tectonique Géomorphologie Evolutionnisme Gradualisme

Nous remarquons que les registres des élèves sont variés, néanmoins ils ne diffèrent pas trop de ceux des futurs enseignants. L'anthropomorphisme renvoie à la vie de humaine et le catastrophisme aux dégâts des abris des êtres vivants surtout ceux de l'être humain. Le temps court est favorisé dans des les deux registres. Le fixisme et le déterminisme développent chez les élèves un obstacle religieux. Les élèves voient l'impossibilité de l'apparition des êtres vivants après une crise. Ils pensent aussi que les séismes ou les crises biologiques sont déterminé dans le temps. Nous avons identifié chez les élèves un obstacle mythique lié aux histoires des séismes qui disent que la terre s'ouvrent et avalent les êtres vivants. La majorité des exemples de crises évoqués par les élèves sont des phénomènes très récents et donc mettre la crise biologique du crétacé tertiaire dans leur échelle temporelle s'avère difficile. D'ailleurs

le maximum du temps évoqué par les élèves est l'équivalent d'une ère. Il s'agit bien d'un autre obstacle psychologique à concevoir l'immensité du temps. Les obstacles évoqués laissent l'élève bronché sur le temps à l'échelle humaine.

Les registres explicatifs permettant aux élèves de travailler dans un temps géologique sont la tectonique, l'évolutionnisme et la géomorphologie.

Du point de vue méthodologique, nous avons essayé de référer les explications des élèves ou des étudiants au registre empirique (ou contrainte empirique) et au registre des modèles (nécessités sur les modèles) ou à une articulation entre les deux. Cette attribution ne se fait en aucun cas d'une façon automatique et peut poser certains problèmes aux chercheurs. Nous restons prudent sur les éléments de chaque registre vu l'insuffisance d'arguments dans les réponses des apprenants. Nous rappelons qu'une « contrainte est un déjà-là convoqué dans un raisonnement actuel, alors qu'une nécessité serait un construit nouveau, sur la base d'un raisonnement » (Y. Lhoste et al. 2007). Les éléments du registre des modèles semblent être variés pour les étudiant et les élèves. Certains éléments de la contrainte empirique sont mobilisés comme des nécessités dans le registre des modèles. Le registre explicatif (REx) fait référence aux types d'explications avancés par les étudiants. L'explication des séismes, des chaînes des montagnes ou des crises biologique se fait dans des références explicatives différentes. Donc le temps géologique sur lequel nous avons mené notre étude dépend du registre explicatif de l'apprenant. Selon le cas l'apprenant travaille dans un temps court à l'échelle humaine ou dans un temps à grande échelle. L'utilisation des registres explicatifs des apprenants dans l'identification des obstacles épistémologiques à la problématisation du temps, montre l'utilité la méthodologie de construction du problème dans la recherche ou la formation.

Conclusion générale

Nous avons entamé ce projet dans un but d'identifier les obstacles à la problématisation du temps par les apprenants dans l'explication de quelques phénomènes naturels. Nous avons développé un cadre théorique interdisciplinaire nourri d'une réflexion épistémologique sur l'histoire des sciences de la vie et de la terre. Maintes méthodologies ont été menées, plusieurs obstacles à la problématisation du temps ont été identifiés. Quels bilans?

1. Le manuel scolaire favorise-t-il la problématisation du temps géologique ?

L'orientation des activités vers la participation et l'autonomie de l'élève est limitée dans le manuel. L'analyse montre que cette prise de conscience est limitée dans la mise en texte du savoir. Il serait intéressant que les apprenants agissent avec réflexion critique sur le contenu et problématisent leur propre savoir. Les activités sont dans la majorité des cas très centrées sur le contenu scientifique sans aucun lien socioculturel ou socioéconomique. L'essai des concepteurs de multiplier les activités scientifiques en excluant l'aspect socioconstructiviste de la science, n'engage pas les élèves dans une réflexion sur l'utilité de ce qu'ils acquièrent en dehors de la classe.

Le style informatif favorisé dans le manuel et les situations-problèmes qui se résument en de « bonnes questions » scientifiques favorisent une transmission du savoir sous forme de cumul de résultats. Les situations-problèmes proposés par les auteurs sont difficiles à résoudre vu le manque de connaissances chez les élèves et ne favoriseraient pas l'engagement de l'élève dans une problématisation. Une situation-problème devrait permettre le franchissement de certains obstacles sans qu'elle soit trop difficile sous peine d'abandon de l'apprentissage par l'apprenant. Elle pourrait être plus pertinente qu'elle aura du sens pour l'apprenant, notamment si elle est reliée à des situations de son monde ou société. L'essai de la construction de problème à travers l'explication d'un processus géologique de certains phénomènes naturels serait fructueux pour l'élève de concevoir l'utilité du temps géologique. Il serait intéressant que les auteurs du manuel de la 3^{ème} année Sc. Exp. tiennent compte, principalement, de la profonde interaction terre- êtres vivants, ignorée dans l'enseignement-apprentissage des deux disciplines biologiques et géologiques. Nous pensons essentiellement au concept du « temps géologique » à caractère interdisciplinaire.

2. Obstacles à la problématisation du temps géologique

Nous avons montré que les obstacles à l'appréhension du temps géologique dépendent essentiellement du registre explicatif mobilisé par l'apprenant.

L'anthropomorphisme, un nœud d'obstacles dû la survalorisation de la vie de l'être humain

Un nombre important des réponses des élèves ou des étudiants dans les différentes méthodes de recueil de données sont liés directement ou indirectement à l'être humain. Ils se rapportent, principalement, à la vie de l'être humain et sa relation avec tous autres phénomènes naturels. La vie d'un être humain commence par la création et finit par le décès. Il s'agit d'un double obstacle créationniste-finaliste, la vie converge vers une « fin ». Et même les apprenants qui adhèrent au courant évolutionniste relie l'évolution de la terre particulièrement à l'évolution de l'être humain. Les séismes et/ou le tsunami menace la vie de l'être humain, ils détruisent les maisons, ils causent la famine. Il s'agit d'un catastrophisme qui met en avant la vie humaine. Cette survalorisation de la vie de l'être humain développe chez les apprenants un nœud d'obstacle anthropomorphique dont la mobilisation met en jeu d'autres obstacles ; le finalisme, le créationnisme ou le catastrophisme. La durée de la vie humaine ou des activités quotidiennes de l'être humain se font dans laps de temps relativement court. Il semble que l'être humain est borné par son temps dans le temps et dans ce cas l'esprit humain ne peut gérer que quelques années voire un siècle proportionnellement à la longévité humaine. Il s'agit d'un obstacle psychologique de concevoir l'immensité du temps géologique. Un autre obstacle mythique en relation avec l'anthropomorphisme, certains élèves pensent que la terre s'ouvrent lors d'un séisme et avalent les êtres vivants et se ferment sur elle-même. Ceci est un mythe qu'on retrouve dans certaine explication historique raconté par nos ancêtres pour expliquer le tremblement de terre.

Le catastrophisme, un obstacle d'origine médiatique favorisant les aspects spectaculaires des évènements

L'explication des séismes et/ou des crises biologiques a montré que les apprenants mobilisent plus les schèmes qui renvoient au catastrophisme actuel. La destruction des maisons, les décès, la famine, les pertes économiques et humaines sont des images retenues de l'aspect spectaculaire des séismes diffusé par les médias. Certains évènements actuels tels que la bombe atomique frappant Hiroshima dans les années quarante, le tsunami, la sécheresse...etc., sont considéré comme des crises biologiques. La brutalité de ces

événements ainsi que leurs conséquences renvoient à un catastrophisme actuel. Dans un autre contexte de catastrophisme historique sans équivalent, l'extinction des dinosaures est brutale pour les apprenants qui favorisent l'hypothèse météoritique. Après des siècles de divorce des sciences et de religions, nous assistons encore à une résistance du catastrophisme. Le catastrophisme spectaculaire actuel mobilisé par les apprenants est différent du catastrophisme actuel des chercheurs qui met en jeu un temps long. Le catastrophisme historique est intimement lié aux textes religieux.

Quel que soit le type de catastrophisme (actuel spectaculaire ou historique), leurs explications trouvent leur origine dans les médias et le cinéma. L'interaction entre un savoir scientifique et un « savoir médiatique » est en jeu. L'analyse du savoir scientifique médiatisé est un objet d'étude pour la didactique des sciences. Les médias pourraient être analysés comme des sources de diffusion des connaissances. La « transposition médiatique » serait d'importance, vu l'interaction apprenant-médias, pour une réflexion sur le réaménagement de la transposition didactique dans laquelle naissent et se développent les problèmes et les questions de recherche. Dans un autre volet celui du temps, le catastrophisme actuel ne permet pas aux élèves de concevoir l'immensité du temps, un séisme ou un Hiroshima ne dure que quelques heures.

Un obstacle religieux à l'immensité du temps géologique

Cet obstacle apparaît dans plusieurs registres explicatifs des élèves ou des étudiants. L'évolution de l'univers est conçue comme un mouvement ascendant linéaire et destiné vers une fin. Les apprenants toujours dans un cadre explicatif anthropomorphique prennent l'exemple de la vie humaine comme exemple d'un « début » et un « fin ». Il s'agit d'un registre finaliste mobilisant un temps court. L'aspect évolutif des êtres vivants est marqué par certaines crises qui selon certains apprenants il reste inadmissible que certains êtres vivants apparaissent. Ce fixisme trouve son origine dans la majorité des textes sacrés et il est relié au créationnisme. C'est Dieu qui a créé tous et donc il est impossible que la nature remplace Dieu. A ce niveau apparaît un autre registre celui déterministe. Tous les événements sont prédéterminés et prennent lieu à un moment déjà fixé. Le finalisme, le créationnisme, le fixisme et/ou le déterminisme sont en relation principalement avec l'être humain. Ces registres mettent en jeu de l'anthropomorphisme et développent un obstacle religieux à la libération de l'esprit du temps à l'échelle humaine. Les événements et les phénomènes sont une volonté divine.

Un obstacle linguistique développant une pensée négative : toute disparition est négative

Tous les phénomènes néfastes qui touchent la planète sont compris comme des crises par certains élèves et futurs enseignants. Les exemples de sécheresse, Hiroshima, tsunami...etc. sont des crises puisque elles détruisent, les maisons, les écosystèmes, tuent des humains. Les activités sismiques ou les crises biologiques évoqués font disparaître des ressources humaines, des animaux, des plantes. Les séismes ne sont pas expliqués comme de résultats de la géodynamique terrestre se traduisant par la libération de l'énergie. La disparition d'une croûte terrestre ou océanique n'est pas comprise comme le contraire du renouvellement de la croûte océanique au niveau du rift. L'apparition de nouvelles espèces occupant les écosystèmes après une crise n'est pas pris en compte. La majorité des élèves voit les crises comme des phénomènes destructeurs des écosystèmes par exemple. Toute crise est l'équivalent d'une disparition. Ceci renvoie au catastrophisme et à une pensée négative de la science. Ces crises selon les étudiants sont bref et rapide dans le temps et ne prend quelques heures à quelques heures. La notion de « crise » semble être elle-même un obstacle linguistique favorisant le temps court.

Un obstacle didactique à la problématisation du temps : la tectonique des plaques n'est pas un modèle unificateur

Pour certains étudiants ou élèves, les causes du séisme et du tsunami qui renvoient à la tectonique sont minoritaires se résument généralement en « subduction » et « mouvement des plaques ». L'absence du concept de l'énergie sismique des réponses reflète la pensée dans un cadre non mobiliste. La formation des chaînes de montagnes n'est pas mise en relation avec l'activité volcanique. Les produits ophiolitiques ne sont pas le résultat d'une obduction conséquence d'une collision prolongée. L'explication de l'orogénèse dans un cadre non tectonique limite la compréhension des processus géologiques. Certains apprenant les considère un ensemble de superposition de roches les unes sur les autres. Il s'agit d'un obstacle lié à une conception artificielle de la construction des bâtiments. Nous ne retrouvons pas cet obstacle chez les futurs enseignants qui ont expliqué la formation de la chaîne alpine dans un cadre tectonique. Les explications des phénomènes naturels dans un cadre non tectonique empêchent les apprenants de concevoir leur processus qui nécessite un temps à grande échelle.

2. Registres explicatifs favorisant la problématisation du temps à grande échelle

Lorsque les étudiants se placent dans un cadre explicatif qui renvoie à la théorie de la tectonique des plaques, de la théorie de l'évolution ou à la géomorphologie, ils inscrivent dans un laps de temps relativement long vu que les processus d'un phénomène géologique ou de l'évolution se déroulent sur des millions d'années.

Le mobilisme

Lorsque les étudiants ou les élèves travaillent dans un registre mobiliste impliquant la théorie de la tectonique des plaques dans l'explication, ils mobilisent des dimensions temporelles relativement longs mais qui ne dépassent pas quelques siècles ou des ères. L'explication des chaînes alpines a été comprise dans une échelle de temps en millions d'années par les étudiants. L'explication du processus géologique des séismes ou de l'orogénèse les aide à mettre en question le temps. La tectonique des plaques semble être un modèle non pas uniquement unificateur des phénomènes géologiques mais aussi qui obligerait les apprenants à augmenter leur échelle temporelle et au-delà si on développe chez eux cette extension imaginaire de la lenteur des processus, par le biais de cette théorie mobiliste, nous développons chez eux la conscience de l'immensité du temps géologique

Le gradualisme, l'évolutionnisme, le naturalisme

Nous assistons à une double explication des extinctions majeures. L'extinction est soit brutale et globale dans l'espace géographique ou elle est graduelle et partielle. La brutalité est comprise par les élèves comme une période courte or au moins il fallait une dizaine de millions d'années pour que l'extinction totale de certaines espèces aura lieu. L'extinction graduelle prend plus de temps, elle est lente mais les apprenants non conscients de l'immensité du temps géologique, il la renvoie à une demi-ère ou quelques siècles. L'extinction partielle ou locale dépend par exemple du climat ou du degré d'adaptation des êtres vivants. Certaines élèves pensent que la nourriture manque peu à peu sur un temps relativement long et les animaux sont obligés de migrer et s'adapter au nouveau climat. La sélection se fait sur des siècles voir des années ou des ères. Ceux qui pensent au volcanisme comme cause de l'extinction, ils mobilisent un temps long mais qui ne dépasse pas des siècles Concernant une crise future, les apprenants penche pour l'instantanéité de l'évènement, ils pensent qu'à tout moment une crise aura lieu.

L'intérêt pour la nature sensibilise certains apprenants, ils pensent que la nature a pris du temps pour faire des montagnes qui seront au profit de l'être humain. Il s'agit d'un registre

naturaliste qui favorise un temps long.

3. Développer la problématisation par le débat et l'approche interdisciplinaire

Nous avons procédé par une interdisciplinarité pour mener le débat. Nous avons multiplié nos outils méthodologiques par des activités qui se rapportent à l'histoire des sciences, au contenu scientifique et à une démarche synthétique qui met en relation le maximum des composantes du système terre-vie. La construction du problème au cours d'un débat semble être un moyen didactique efficace pour aider les apprenants à dépasser certains obstacles et développer une autonomie de réflexion, voire gérer un concept aussi difficile, que le temps géologique même s'il est partiellement réussi ici.

L'utilité des questions de l'enseignant

Les raisons, pour lesquelles un enseignant pose des questions en classe, sont plurielles. Les questions sont conceptuelles, empiriques, pédagogiques, de valeurs ou des questions qui renvoient à des problèmes scientifiques. L'interaction entre les idées de l'enseignant et ceux des étudiants débouchent aussi sur des problèmes sociaux. Le problème de la construction d'un ouvrage hydraulique a une dimension sociale. Les questions de l'enseignant s'avèrent inutiles s'ils n'engagent pas les futurs enseignants dans un processus de questionnement donnant un sens à leur savoir. La problématisation peut avoir comme point de départ une question dont la reformulation aura comme résultat un problème scientifique de retombée sociale. L'identité professionnelle d'un enseignant devrait se caractériser par sa capacité de rendre l'apprenant capable de s'autocritiquer et à appliquer son savoir dans son univers social.

Utilité de l'histoire des sciences dans la problématisation du temps géologique dans le débat

L'utilité de l'histoire des sciences dans un débat tire profit du conflit scientifique, sociocognitif qui mène les apprenants à confronter leurs propres conceptions à des idées de qui date depuis l'écriture du texte. Nous avons remarqué qu'avant les débats sur le texte d'Avicenne, certaines explications des apprenants ont penché vers l'essentialisme d'Avicenne par exemple. Ceci nous a permis de comparer les obstacles rencontrés dans le texte à les leurs. Ceci a entraîné qu'aucun étudiant n'a évoqué le temps géologique, par exemple, comme concept manquant dans le texte d'Avicenne. Suite au débat, La comparaison de l'espace de contrainte d'Avicenne à celle des participants a montré que le registre explicatif des futurs enseignants sur l'orogénèse est devenu mobiliste tenant compte de la géomorphologie et la tectonique. Des étudiants et ont passé à une explication résolument

tectonique. Les étudiants ont mis en relation orogénèse et séisme en évoquant les courants de convection comme phénomène nécessaire au déplacement des plaques et dont le résultat sera l'un ou l'autre phénomène ou les deux ensembles.

Le couplage biologie-géologie et l'approche interdisciplinaire du temps

Les différentes méthodologies en jeu dans notre travail ; les questionnaires, les entretiens ou les ateliers-débats ont porté sur les trois phénomènes naturels étudiés simultanément, et pareil aussi durant le débat avec les apprenants. Cette approche interdisciplinaire nous a permis d'identifier plusieurs obstacles épistémologiques à la problématisation du temps. Cette problématisation du temps est en relation avec les registres explicatifs des apprenants qui sont très variés. Chaque registre explicatif renvoie à une nature du temps bien déterminée. L'anthropomorphisme, le finalisme, le catastrophisme actuel...etc. sont des registres qui renvoient à temps à l'échelle humaine. Le gradualisme, l'évolutionnisme et le mobilisme favorisent la construction du temps géologique. Un débat qui vise la construction d'un concept à visée interdisciplinaire est constructiviste. Il serait fructueux de repenser la formation des enseignants sur la problématisation des concepts interdisciplinaires.

Limites et approfondissements de recherches

Il est important de signaler l'intérêt et l'effort que nous avons porté à notre travail, cependant il nécessite toujours des perfectionnements. Des approfondissements à suivre dans le domaine de la biologie et de la géologie en tirant profit de leur interdisciplinarité me paraissent intéressants pour des réflexions futures. Nous nous limitons aux plus intéressantes.

Double pensée et registre explicatif

Dans le cadre théorique de la construction du problème, qui est le notre, il est important de revoir le registre explicatif comme le résultat d'une double pensée assertorique et apodictique du sujet en question. Si la problématisation permet de construire un savoir apodictique, il n'est aussi facile pour l'assertion qui relève de l'implicite. Ceci nécessite une réflexion sur les nécessités comme des éléments constitutifs des contraintes empiriques ou du registre des modèles. Le fonctionnement de raisonnement de l'apprenant dépend de plusieurs facteurs, notamment, les obstacles qui résistent aux changements. Un travail sur le dépassement d'un obstacle au terme d'un débat qui prend en charge la méthodologie de problématisation mérite des approfondissements. Un autre point intéressant c'est d'étudier les pratiques langagières dans un débat afin de réfléchir sur la pensée négative ou positive de l'apprenant. Les obstacles linguistiques à la problématisation d'un savoir sont un véritable champ de recherche.

La linguistique au recours de la signification scientifique

Certaines terminologies sont confuses chez les apprenants, un événement est toujours expliqué dans un temps court alors qu'un phénomène peut être dans un temps long. Aussi des terminologies temporelles traduites de la langue arabe et qu'on retrouve dans les romans, tels que « depuis longtemps », « après longtemps » sont mobilisés par certains apprenants. D'autres complications linguistiques liées à la notion de « crise ». Ne serait-il pas judicieux de mener des approfondissements sur cet obstacle linguistique dans un cadre scientifique de la signification, la sémantique.

Le manuel, utilité et usage

La présence du manuel et de son fonctionnement comme outil didactique pourrait être l'objet de travaux ultérieurs. Un croisement des pratiques des enseignants et l'usage réel du manuel par des élèves seraient d'importance. L'utilisation du manuel révèle les pratiques pédagogiques des professeurs, elle permet de se demander si le manuel, tel qu'il est conçu,

répond aux besoins. Si la très grande majorité des élèves disposent du manuel, nous ne savons pas grand-chose sur l'intermittence de son usage. Il est important de signaler aussi que la dimension socio-économique de la géologie soit quasi-absente dans les deux manuels étudiés. Le concept d'énergie n'est présent explicitement qu'une seule fois. Une réflexion sur la transposition du savoir et sa vulgarisation par les médias. Avec le développement des nouvelles technologies l'image numérique envahit le notre système éducatif, il serait intéressant d'approfondir l'interaction entre l'outil informatique et le manuel scolaire.

Le recyclage, l'énergie ou l'eau dans une approche didactique pluridisciplinaire

Nous avons remarqué la quasi-absence du concept d'énergie dans les manuels, et il apparaît exceptionnellement dans les réponses de des élèves ou des étudiants. En plus ce concept n'est pas uniquement géologique, il est biologique, physique...etc. une étude pluridisciplinaire permettrait d'identifier les difficultés didactique de l'enseignement-apprentissage de ce concept.

Le recyclage de la matière est un concept pluridisciplinaire vu qu'il est en relation avec plusieurs cycles naturels. Face aux problèmes environnementaux qui menacent notre nature, un travail sur le concept de recyclage et d'importance vu son utilité pour la sensibilité des citoyens et la protection de « crise » futur. Ce concept met aussi en œuvre plusieurs disciplines ; l'écologie, l'éducation à l'environnement, la géologie...etc. La mise en relation des deux concepts dans un projet didactique par des chercheurs semble être une piste intéressante.

L'eau est un problème actuel et futur, il fait l'objet de plusieurs programmes scolaires et constitue le carrefour de plusieurs disciplines. Avec les problèmes environnementaux actuels et le souci de l'épuisement de cette ressource naturelle par la sécheresse ou par son usage touristique surtout, un projet de recherche sur ce concept qui met en jeu l'histoire des sciences, la didactique serait d'importance pour l'éducation à l'environnement.

Plusieurs pistes, plusieurs choix.

Bibliographie

ABDELLI S. et ABROUGUI M. (2005). Mots et questionnements d'étudiants tunisiens relatifs à la reproduction et à la sexualité humaine. In Giordan, A., Martinand J.-L. & Raichvarg D., *Actes JIES XXVII, Chamonix, France*.

ABDELLI S. et al. (2007). Techniques d'analyse des images dans les manuels scolaires tunisiens traitant de la reproduction et de la sexualité humaine. Critical analysis of school text book. International meeting, Hammamet, Tunisia, 7-10 February 2007.

ABROUGUI M. et al. (2006). Présentation et exploitation de grille d'analyse des styles pédagogiques dans des manuels scolaires tunisiens, relativement à des contenus de Sciences de la vie et de la terre. AIPU, Tunisie.

ABROUGUI M. ABDELLI S. et al. (2007). Ecologie et éducation à l'environnement : les styles pédagogiques dans les manuels scolaires de quatre pays francophones. Critical analysis of school text book. International meeting, Hammamet, Tunisia, 7-10 February 2007.

ALLAIN J.-Ch. (1995). Séismes, éruptions volcaniques et intérieur de la terre : conceptions d'élèves de huit à dix ans. *Aster*, 1995, 20. pp. 43-60. Paris. INRP.

ALLEGRE C. (1983). *L'écume de la terre*. Paris : Fayard

APOSTEL L. et al. (1973). *L'explication dans les sciences*. Colloque de l'académie internationale de philosophie des sciences ; avec le concours du centre international d'épistémologie génétique. Genève, septembre 1970. Flammarion, Paris.

ASTOLFI J.-P. (1993a). Trois paradigmes pour les recherches en didactique. *Revue française de pédagogie*, 103, avril-mai-juin 1993. pp.5-18.

ASTOLFI J.-P. (1993b). Placer les élèves en situation-problème. *Probio- revue*, vol. 16, no 4, décembre 1993.

ASTOLFI J.-P. (2000). L'enseignement scientifique, composante d'une culture pour tous, in : Morian Hélène (dir.). *Pour une culture commune, de la maternelle à l'université*. Paris : Hachette.

ASTOLFI J.-P. (2005). Problèmes scientifiques et pratiques de formation. In Maulini Olivier & Montandon Cléopâtre (dir.). *Les formes de l'éducation : variété et variations*. Bruxelles : De Boeck, p. 65–82.

ASTOLFI J.-P. et al. (1997a). *Mots-clés de la didactique des sciences*. Paris : De Boeck Université. Collection Pratiques pédagogiques.

ASTOLFI J.-P. et al. (1997b). *Pratiques de formation en didactique des sciences*. Paris-Bruxelles.

- ASTOLFI J.-P. et DEMOUNEM R. (1997). *La didactique des sciences de la vie et de la terre*. Nathan.
- ASTOLFI J.-P. et PETERFALVI B. (1997). Stratégies de travail des obstacles : dispositifs et ressorts. *Aster*, 25.
- ATCHEKZAI M.S. (1974). *Un pionnier de l'observation scientifique*. Courrier de l'Unesco, juin 1974, p18 et 42.
- AUSBEL D. et al. (1978). *Psychologie de l'éducation: une vue cognitive*. 2^{ème} édition, New York, Werbel et Peck.
- BAALMANN W. FRERICH V. et ILLNER R. (1996). Educational reconstruction examples in the field of genetic and evolution. First conference Reseacher in didactic of biology EURODIB, Kiel, Germany.
- BACHELARD G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Vrin.
- BACHELARD G. (1947). *Le rationalisme appliqué*. Paris : PUF.
- BARDIN L. (1993). *L'analyse de contenu*. 7^{ème} édition, PUF, Le psychologue.
- BEAUDET G. et COQUE R. (1994). Reliefs et modelés des régions tropicales humides : mythes, faits et hypothèses. *Annales de Géographie*, 577, 227-254.
- BLY C. (1986). Using Social Work Techniques in Classroom Discussions. A talk given at the Second Annual Teachers and Writers Institute, sponsored by Dialogue Program of COMPAS, St. Paul, Minnesota, October 10-11, 1986.
- BOUGHANMI Y. (2004). Conceptions et registres mobilisés dans la modélisation en Sciences de la Terre : l'exemple de la tectonique des plaques par des élèves tunisiens de la 2^{ème} année secondaire. Mémoire DEA, ISEFC de Tunis et IUFM de Nantes.
- BOUGHANMI Y. (2006). Les élèves tunisiens face à un savoir largement médiatisé : cas de Tsunami ». 1^{ère} journées Tuniso-française de l'ATDSVT. Hammamet, Février 2006.
- BOUGHANMI Y. (2007a). Biological crisis in biology and geology textbook of the 3rd year experimental sciences. Critical analysis of school science textbooks. International meeting Tunisia, Hammamet, 7-10th February 2007.
- BOOUGHANMI Y. (2007b). Les registres de modélisation mobilisés par les lycéens tunisiens pour expliquer volcans. Ateliers Quartz. Nice, Mai 2007.
- BOUGHANMI Y. (2008). La construction du problème en sciences : un outil méthodologique didactique. In G. Chazal. (éd). *Valeurs des Sciences*. Dijon : EUD, 2008. (Collection Histoire et Philosophie des Sciences). pp 129-136.

- BOUGHANMI Y. et ORANGE D. (2005). Les conceptions des lycéens tunisiens sur la tectonique des plaques. Actes des quatrième journées scientifiques de l'ARDIST, Lyon 2005.
- BRUNER J. (1957). Going beyond the information given. In Bruner et al. (eds.), *Contemporary Approaches to Cognition*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1957.
- BUFFETAUT E. (1996). Tous les gros animaux disparaissent, la rareté des fossiles laisse place au débat. Plus pour longtemps ? *La Recherche*, n°293, décembre 1996, p 65.
- BUFFETAUT E. (2003). *La fin des dinosaures ; comment les grandes extinctions ont façonné le monde vivant*. Fyard, collection le temps des sciences.
- BUFFON De G.-L. (1744). *Histoire et théorie de la terre*. Montbard, le 3 octobre 1744. Document électronique, <http://gallica.bnf.fr/> . Ce document est extrait de la base de données textuelle Frantext réalisée par l'Institut National de la Langue Française (INaLF).
- BUFFON De G.-L. (1778). *Des époques de la nature*. Document électronique, <http://gallica.bnf.fr/>.
- CANGUILHEM G. (1992). *Postface*. Acte du colloque international pour le bicentenaire de la mort de Buffon. Dijon, Paris, Montbard, 14-22 juin 1988.
- CLAEYS Ph. (1996). Chicxculub, le cratère idéal, le chaînon manquant identifié dans le golfe du Mexique. *La Recherche*, n°293, décembre 1996, p 60.
- CLEMENT P. (1996). L'imagerie biomédicale : définition d'une typologie et proposition d'activités pédagogiques. *Aster*. n°22, p 87-126.
- CLEMENT P. et al. (1994). *Conceptions et connaissances*. Construction de situation pour favoriser la mise évidence des conceptions d'élèves en géologie. BERNE.
- CHAZAL G. (2005). Philosophie des sciences et pédagogie. In dir. *La philosophie saisie par l'éducation. Rêver l'égalité, penser la culture*. Tome 1, actes du colloque des 18 et 19 décembre 2003. CRDP, Bourgogne.
- CHEVELLARD Y. (1985). *La transposition didactique. Du savoir savant ou savoir enseigné*. Grenoble : La Pensée sauvage.
- COHEN C. (2002). Une passion nécessaire : l'histoire des sciences. *La recherche*, 356, Sep 2002, p 33.
- COLETTE G. et SCHNEEBERGER P. (1995). Enseigner les fossiles à l'école élémentaire. *Aster*, 21. pp.81-106.
- DELTAIL J. et al. (2003). Les difficultés conceptuelles sur le thème des séismes en classe de CM2. Acte de colloque, Nice, 2003.
- DENNIS P.-W. (1987). *The Art of Questioning*. Academic Connections.

<http://www.exploratorium.edu/IFI/resources/workshops/artofquestioning.html>

DEWEY J. (1962). L'intérêt et l'effort. In *L'école et l'enfant*. Neuchâtel, Delachaux et Niestlé. 6ème édition (1^{ère} éd. 1895).

DJEBBAR A. (2001). *Une histoire de la science arabe. Introduction à la connaissance du patrimoine scientifique des pays d'Islam*. Entretiens avec Jean Rosmorduc. Editions du Seuil.

DOUKHAN J.-C. et LEROUX H. (1996). La preuve du quartz, de l'hypothèse cosmique aux premières confirmations. *La Recherche*, n°293, décembre 1996, p 56.

ELLENBERGER F. (1978). Le dilemme des montagnes au 18^{ème} siècle : vers une réhabilitation des dilluvianistes ? *Revue d'histoire des sciences*. Tome 16, N°1- janvier 1978.

ELLENBERGER F. (1988). Les sciences de la terre avant Buffon : un bref coup d'œil historique. Dir. Jean Gayon. Acte du colloque international pour le bicentenaire de la mort de Buffon. Paris, Montbard, Dijon. 14-22 juin, 1988.

ELLENBERGER F. (1994-1998). *Histoire de la géologie*. Lavoisier. (1988, Tome I et 1994, Tome II).

ELLENBERGER F. et GOHAU G. (1981). A l'aurore de la stratigraphie paléontologique : Jean André De Luc, son influence sur Cuvier. *Revue histoire des sciences*, 34, pp217-257.

FABRE M. (1999). *Situations-problèmes et savoir scolaire*. Paris, PUF

FABRE M. (2001). *Gaston Bachelard ; la formation de l'homme moderne*. Hachette ; éducation.

FABRE M. (2005a). Gaston Bachelard et les questions vives de l'école d'aujourd'hui. In dir. *La philosophie saisie par l'éducation. Rêver l'égalité, penser la culture. Tome 1, actes du colloque des 18 et 19 décembre 2003*. CRDP, Bourgogne.

FABRE M. (2005b). Introduction. La problématisation: approches épistémologiques. *Les Sciences Benoît l'éducation ; pour l'ère nouvelle*, 38, 3, 7-10.

FABRE M. et ORANGE C. (1997). Construction des problèmes et fonctionnements d'obstacles. *Aster*, 24. pp.37-57.

GAUDOT J. (1984). Actualisme, antiprogressionnisme, catastrophisme et créationnisme dans l'œuvre d'Alcide d'Orbigny (1802-1857). *Revue histoire des sciences*, 1984.

GAYON J. (2005). De la biologie comme science historique. *Les temps modernes*, 60^{ème} année, mars-juin 2005, n°630-631, pp 55-67.

GOHAU G. (1987). *Une histoire de la géologie*. Paris. Editions La Découverte.

GOHAU G. (1990). *Les sciences de la terre aux XVII^{ème} et XVIII^{ème} siècle. Naissance de la géologie*. Paris : Editions Albin Michel.

GOHAU G. (1992). La théorie de la terre, de 1749. Acte du colloque international pour le

bicentenaire de la mort de Buffon. Dijon, Paris, Montbard, 14-22 juin 1988.

GOHAU G. (1995). Traquer les obstacles épistémologiques à travers les lapsus d'élèves et d'écrivains. *Représentations et obstacles en géologie, Aster 20*, INRP. pp.21-41.

GOHAU G. (2003). *Naissance de la géologie historique ; la terre, des « théories » à l'histoire*. Vuibert-Adapt. pp. 27-29

GOULD S.-J. (1990). *Aux racines du temps*. Editions Grasset et Fasquelle, pour la traduction française. p. 97.

GOULD S.-J. (1994). *Un hérisson dans la tempête. Essais sur des livres et des idées*. Grasset et Fasquelle, 1994, pour la traduction française.

GROSBOIS M., RICCO G. et SIROTA R. (1992). *Du laboratoire à la classe, le parcours du savoir. Etude de la transposition didactique du concept de la respiration*. Paris, ADAPT (SNES).

HURD De H. (1978). *BSCS Journal* Vol. 1, n° 1. In Rumelhard (1980). La génétique et ses représentations dans l'enseignement. Thèse de doctorat, Université Paris VII.

HALLAM A. (1976). Une révolution dans des sciences de la Terre: de la dérive des continents à la tectonique des plaques. Le Seuil, Paris.

IBN SINA. *Risalat al-ma'adin wa l-athar al-'ulwiya [Epitres sur les minerais et les phénomènes météorologiques]*. A. Sakri, In *Encyclopédie de la civilisation arabo-musulmane*, vol. I, p. 605-606.

INOUBLI M.-H. (2005). Séismes et tsunamis. Conférence organisée par l'amicale des Anciens Jeunes Science avec la collaboration de la cité des Sciences à Tunis. Février, 2005.

JEFFREYS H. (1924). *The Earth*. 1924, Cambridge, *University Press*. p 261.

KUHN T. (1962). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris. Flammarion.

LEAKY R. et LEWIN R. (1997). *La sixième extinction, évolution et catastrophes*. Flammarion, Paris, pour la traduction française.

LE PICHON X. (1984). La naissance de la tectonique des plaques. *La recherche*. 53, mars 1984. pp.414-423.

LE PICHON X. (2001). Annexe, In D. Orange (2003).

LE PICHON X. (2003). My conversion to plate tectonics. In Naomi Oreskes (Editor) with Homer Le Grand. *Plate tectonics, an insider's history of the modern theory of the earth*. Westview Press, a Member of the Perseus Books Group.

LHOSTE Y. (2006). La construction du concept de circulation sanguine en 3^e. Problématisation, argumentation et conceptualisation dans un débat scientifique. *Aster 42*, pp 79-108.

- LHOSTE Y. et al. (2007). Problématisation et construction de savoir en SVT : quelques questions théoriques et méthodologiques. *Symposium « Apprentissages, problématisations et savoirs »*. Actualité de la recherche en éducation et en formation, Strasbourg 2007.
- MAILLET De B. *Telliamed,...*, rééd. 1984, p. 221-225. Texte intégral In G. Gohau. 2003. p. 43-45.
- MARTINAND J.-L. et al. (1992). Présentation. In Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences. INRP/LIREST.
- MARTINAND J.-L. (1995). Introduction à la modélisation. In séminaire de didactique des disciplines technologiques 1994-1995. Association tour 123. pp. 7-19. INRP. Paris.
- MARTINAND J.-L. (1996). Introduction à la modélisation. Acte du séminaire de didactique des disciplines techniques. ENS Cachan.
- MARTINAND J.-L. (2000). Rapport au savoir et modélisation en sciences. In A. Chabchoub (dir.), Rapports aux savoirs et apprentissage des sciences. Actes du 5e colloque international de didactique et d'épistémologie des sciences, tome 1, Tunis, pp. 123-135.
- MAULINI O. (2005). *Questionner pour enseigner et pour apprendre. Le rapport au savoir dans la classe*. Paris : ESF.
- MAULINI O. (2006). Sous le savoir, le questionnement. Raisons d'apprendre et de continuer d'enseigner. Article pour le *Café pédagogique* 2001-2006.
- MONCHAMP A. et SAUVAGEOT-SKIBINE M. (1995). Du fixisme à la tectonique des plaques, et pourtant elles bougent. *Aster*, 20, pp. 3-20.
- MOTTET G. (1996). Les situations-images, une approche fonctionnelle de l'imagerie dans les apprentissages scientifiques à l'école élémentaire. *Aster* n°22, 1996. Images et activités scientifiques. INRP.
- MOTTET G. et al. (1995). *Des images pour apprendre les sciences : Volcans et tremblements de terre. Images descriptives, images explicatives*. Paris, INRP.
- MOUELHI L. (2007). L'enseignement de la neurobiologie dans les collèges et lycées en Tunisie et en France : analyse didactique des contenus des programmes, des documents d'accompagnement et des manuels scolaires. Thèse de doctorat de l'Université Claude Bernard, Lyon 1 et l'Université de Tunis.
- MOUELHI L. et CLEMENT P. (2004). La faible place des supports biologiques de la pensée dans les enseignements sur le corps humain en Tunisie et en France. Actes JIES (Journées internationales sur l'éducation scientifique).
- ORANGE C. (1995).
- ORANGE C. (1999). Les fonctions didactiques du débat scientifique dans la classe : faire

- évoluer les représentations ou construire des savoirs. Acte de l'ARDIST. Octobre 1999.
- ORANGE C. (2000). Investigations empiriques, construction de problèmes et savoirs scientifiques. In Larcher C., coord. (2000). *La pratique expérimentale dans la classe*. Paris, INRP.
- ORANGE C. (2002). Problèmes scientifiques et investigations expérimentales ; construction des problèmes explicatifs. Problème(s) et technologie. Séminaire de didactique des disciplines technologiques 2001-2002. Association Tour 123. 2002. ENS Cachan. P89.
- ORANGE C. (2005). Problématisation et conceptualisation en sciences et dans les apprentissages scientifiques », *Les Sciences de l'éducation - Pour l'ère nouvelle*, n°38, 3, pp. 69-93.
- ORANGE C. (2007). Spécificité de la problématisation scientifique : le travail d'abstraction et de généralisation. *Recherches en éducation*- n°3 mars 2007. www.cren-nantes.net
- ORANGE C. et ORANGE D. (1995). Géologie et biologie : Analyse de quelques liens épistémologiques et didactiques. *Aster*, 1995, 21. pp. 26-49.
- ORANGE D. (2003). Utilisations du temps et explications en sciences de la terre par les élèves de lycée : Etude dans quelques problèmes géologiques. Thèse doctorat de l'université de Nantes.
- ORANGE D. (2005). Le principe de l'actualisme, pierre d'achoppement des lycéens confrontés à des problèmes de géologie historique. Actes du colloque ARDIST, Lyon, 2005.
- ORANGE D. et BEORCHIA F. (2007). Principes structurants et savoirs en sciences de la vie et de la Terre. Actualité de la recherche en éducation et en formation. Congrès international, Strasbourg.
- PATE R.-T. et BREMER N.-H. (1967). Guiding learning through skilful questioning. *The Elementary School Journal*, 67, 417-22.
- PERRIER M.-F. (1997). L'évolution des images anatomiques dans les manuels de l'école élémentaire de la fin du XIXème siècle à nos jours. Mémoire de DEA (Lyon 1).
- POPPER K. (1973). *La logique de la découverte scientifique*. Paris : Payot (éd. originale : Londres, 1959).
- RICHARD J.-F. (1990). *Les activités mentales ; comprendre, raisonner, trouver des solutions*. Paris, Armand Colin, 1995, 1^{ère} ed.
- ROBIN E. (1996). Le verdict du spinelle, les derniers vestiges de la météorite elle-même ont été retrouvés. *La Recherche*, n°293, décembre 1996, p 58.
- ROCCHIA R. (1996). Naissance d'une théorie, d'une anomalie en iridium à la catastrophe cosmique. *La Recherche*, n°293, décembre 1996, p 53.

- ROGER J. (1973). La théorie de la terre au 18^{ème} siècle. *Revue d'histoire des sciences*, T 24, n°1, pp 23-48.
- ROGER J. (1995). *Pour une histoire des sciences à part entière : révolution et continuités dans l'histoire des sciences*. Edition, Albin Michel S. A., Paris.
- RUMELHARD G. (1986). *La génétique et ses représentations dans l'enseignement*. Berne, Peter Lang.
- RUMELHARD G. (1995). La fonction négative dans les sciences de la vie et de la terre. *Aster*, 21, pp. 9-25.
- RUMELHARD G. (1997a). Problématiser le vivant. Collectif, *La problématique d'une discipline à l'autre*. Paris : Adapt, 157-177.
- RUMELHARD G. (1997b). Travailler les obstacles pour assimiler les connaissances scientifiques, *Aster*. n°24, Paris, INRP.
- RUMELHARD G. (2005). Problématisation et concept de paradigme, approche épistémologique, psychologique, sociologique. *Aster* n°40, INRP pp.205-223.
- TERRE D. (1998). *Les dérives de l'argumentation scientifique*. PUF.
- TESTARD-VAILLANT P. (2000). Alfred Wegener, l'hérétique resté de glace. *La recherche*, 358, pp. 52-55.
- TIRARD S. (2005). L'histoire de la vie sans trace du passé. Histoire des origines de la vie, *vivant*
file:///C:/WINDOWS/Bureau/VIVANT%20editions/numero5/histoire_origine_viepdf.html
- TRIQUET E. et CLEMENT P. 1990. Confrontation d'imaginaires lors de la genèse d'une exposition scientifique. Giordan A., Martinand J.-L. et Raichvarg D. (éds.).*Actes des X^{Ues} MES* (pp. 93-100). Paris : DIRES-Université Paris 7.
- SINGLY De F. (1992). *L'enquête et ses méthodes : le questionnaire*. Editions Nathan, Paris.
- SMIT J. (1996). Un épisode tragique : « L'océan Folamur », la brutalité des extinctions marines suggère une réduction soudaine de la luminosité. *La Recherche*, n°293, décembre.
- SAUVAGEAOT-SKIBINE M. (1995). Enseigner les sciences de la terre en tenant compte des représentations. *Aster*, 21.
- SAVATON P. (1995). La carte géologique : représentations d'élèves de classe de première scientifique. *Aster*, 1995, 20.
- STENON N. (1669). *Prodrome d'une dissertation sur un solide naturellement contenu dans l'intérieur d'un solide*. p 30.
- STENON, *De Solido...*, planches 20-25 et N. Sténon, *De Solido...*1669. D'après L. Elie de Beaumont, « fragments géologiques tirés de Sténon, etc. ». Annales de sciences naturelles,

Tommes 25 et 26, 1832. (Dans GOHAU G. (2003). pp. 27-29).

VECCHI De G. et GIORDAN A. (1989). *L'enseignement scientifique : comment faire pour que « ça marche »*. Z'Editions, 1989. *Séminaire Recherche*.

VERRET M. (1975). *Le temps des études*. Librairie Honoré Champion, Paris, tome1.

WEGENER A. (1929). *La genèse des continents et des océans*. Christian Bourgeois. Editeur (1990).

WRAGG E.-C. (1993). *Primary teaching skills*. London: Routeledge

WRAGG E.-C. et BROWN G. (2001). *Questioning in the secondary school*. Routeledge, Falmer. New York & London.

Manuel scolaire des sciences naturelles de la 2^{ème} année secondaire

Manuel scolaire des sciences de la vie et de la terre de la 3^{ème} année sciences expérimentale