



UNIVERSITÉ SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH  
FACULTÉ DES SCIENCES DHAR EL MEHREZ FÉS



CENTRE D'ETUDES DOCTORALES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

# THÈSE DE DOCTORAT

Formation doctorale : Didactique des Sciences et Ingénierie Pédagogique(DSIP)  
Discipline : Didactique de la Géologie

Présentée par

**CHMANTI-HOUARI Imane**

Intitulée :

**Enseignement/apprentissage de la géologie face aux  
obstacles de mobilisation d'espace et du temps : cas des  
fossiles, de la fossilisation et des gisements fossilifères.**

Soutenue le 23/ 02/ 2019 à la Faculté des Sciences Dhar El Mehrez, Fés.  
Devant le jury composé de :

<b>Nom et prénom</b>	<b>Etablissement</b>	
Pr. ELACHQAR Abdelrhani	Faculté des sciences Dhar El Mehraz, Fés	<b>Président</b>
Pr. OUDRHIRI HASSANI Mohammed	Faculté des sciences Dhar El Mehraz, Fés	<b>Directeur de thèse</b>
Pr. LACHKHEM Hassane	Faculté des sciences Dhar El Mehraz, Fés	<b>Co Directeur</b>
Pr. BOUSHABA Abdellah	Faculté des sciences Dhar El Mehraz, Fés	<b>Rapporteur</b>
Pr. EL MAHI Mohammed	École Normale Supérieure de l'Enseignement Technique, Rabat	<b>Rapporteur</b>
Pr. ZAHRAOUI Mohammed	Faculté des sciences Agdal, Rabat	<b>Rapporteur</b>
Pr. KADDARI Fatiha	Faculté des sciences Dhar El Mehraz, Fés	<b>Examineur</b>

Année 2019

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail à mes filles Dania et Nouha, à mon mari, à mes parents et à toutes les personnes qui m'ont soutenue pour l'aboutissement à ce projet.*

# *Remerciements*

Ce travail a été effectué au sein du laboratoire de didactique, d'innovation pédagogique et curriculaire (LADIPEC), de la Faculté des Sciences Dhar El Mehraz, Fés. Je remercie vivement Madame la directrice et professeure KADDARI Fatiha, de m'avoir acceptée dans son laboratoire et d'être parmi les membres du jury de ma thèse. Je tiens à remercier par la même occasion tous les professeurs et doctorants de LADIPEC.

Mes remerciements s'adressent surtout à mon encadrant de recherche, Monsieur le professeur OUDRHIRI HASSANI Mohammed, d'avoir dirigé cette thèse sans jamais ménager son temps, de me faire profiter de ses compétences pour m'orienter et de m'encourager tout au long de ce projet et plus particulièrement durant les moments difficiles. Merci pour son aide et son esprit critique. Ce travail a pu se faire aussi grâce à lui. Je lui porte un profond respect. Merci pour tout.

Mes sincères remerciements et ma profonde reconnaissance au professeur LACHHEM Hassane d'avoir accepté la co-direction de cette thèse, de ses conseils et de ses remarques pertinentes.

Je remercie vivement Monsieur le professeur ELACHQAR Abdelrhani, vice doyen chargé des affaires pédagogiques, d'avoir accepté de présider le jury de cette thèse.

Je remercie tout particulièrement Monsieur le professeur BOUSHABA Abdellah, de la Faculté des sciences Dhar El Mehraz, Fés, Monsieur le professeur EL MAHI Mohammed, de l'École Normale Supérieure de l'Enseignement Technique, Rabat et Monsieur le professeur ZAHRAOUI Mohammed, de la Faculté des sciences Agdal, Rabat, qui ont accepté de juger ce travail et d'en être les rapporteurs.

Je remercie également les professeurs de la formation doctorale DSIP, dont leurs enseignements ont constitué un socle de compétences pour la réalisation de ce projet.

Merci à Monsieur SABOUNI Abdsamad et Monsieur MOTIE Monir pour leurs aides et leurs disponibilités pour la réalisation de l'aspect technique de la thèse. Je dois remercier le directeur de l'académie de Fés-Méknés, le directeur et tous les professeurs et les professeurs stagiaires du CRMEF de Fès. Je remercie également les professeurs d'enseignement secondaire et universitaires, ainsi que tous les apprenants (lycéens, étudiants) pour leurs participations aux investigations de mon travail, sans eux ce travail serait resté purement théorique. Enfin, un très grand merci à ma famille et à mes amis, pour toute leur aide et leur soutien moral.

Un merci spécial à mon mari, à ma sœur, à mon frère et à mes parents. Ils ont eu un rôle plus important qu'ils ne le pensent pour l'achèvement de cette thèse.

Je ne saurais oublier de remercier toutes les personnes qui m'ont patiemment aidée, encouragée et soutenue tout au long de la réalisation de cette thèse.



## Résumé

L'objectif de ce travail est l'étude des difficultés éprouvées par les apprenants (lycéens, étudiants de la filière STU et les futurs enseignants) dans l'explication des phénomènes géologiques pour le cas des concepts fossile, fossilisation et gisement fossilifère. Des suggestions de remédiation sont proposées afin d'améliorer la qualité de l'enseignement/apprentissage des Sciences de la Terre.

L'accomplissement de ce travail s'appuie sur les résultats d'une étude basée sur des questionnaires élaborés par le biais de la Technique du Groupe Nominal (TGN) et des entretiens avec les enseignants stagiaires.

Cette recherche a permis d'identifier un certain nombre d'obstacles pour la mobilisation du temps et d'espace. Ces obstacles éprouvés par les étudiants de la filière STU et les enseignants stagiaires, vis-à-vis des concepts ciblés, ne diffèrent pas significativement de ceux ressentis par les lycéens. En effet, en identifiant les fossiles, ces enquêtés survalorisent le facteur temps au détriment du facteur espace. En ce qui concerne la reconstitution du déroulement spatio-temporel des processus de la fossilisation, nous avons relevé que les répondants ignorent la contingence des processus de la fossilisation et retracent ce phénomène selon des modèles qui ne rapprochent pas le modèle de référence. Pour le concept de gisement fossilifère, la majorité des futurs enseignants l'ignore totalement. Les étudiants de la filière STU connaissent bien ce concept, mais, ils sont incapables de reconstituer son histoire évolutive (dans le *temps* et dans *l'espace*). Afin de dépasser ces entraves, la plupart de ces enquêtés a approuvé l'intégration des TIC comme outil de soutien pour l'acte d'enseignement-apprentissage des STU. En répondant aux besoins de ces apprenants et futurs enseignants, nous avons élaboré un didacticiel "*Fossilis*", interactif qui se centre essentiellement sur l'introduction de la notion d'évolution dans le temps et dans l'espace dans le cas des concepts de fossile et de la fossilisation.

**Mots-clés :** *didactique de la géologie, enseignement /apprentissage, fossile, temps/espace, Didacticiel STU, TIC.*

## Abstract

The aim of this work is the study of the difficulties experienced by the learners (high school students of “Science of the Earth and the Universe” stream and future teachers) in an attempt to explain the geological phenomenon in relation to the case of fossil concept; fossilization and fossiliferous deposit. In this regard, remediation suggestions are proposed to ameliorate the teaching/ learning quality of Science of the Earth.

The accomplishment of this work relied on the study results based on elaborated questionnaires via the Nominal Group Technique and interviews with teacher-trainees.

This research has allowed identifying certain numbers of obstacles for the mobilization of time and space. The obstacles confronted by the STU learners and the teacher-trainees, towards the targeted concepts, do not significantly differ from those experienced high school students. In fact, by identifying the fossils, these respondents overestimate the time factor at the expense of the space factor. With regard to the reconstitution of the progress of spatio-temporal process fossilization, we identified that the respondents ignore the contingency of the fossilization process and retrace this phenomenon to models that do not match closely the reference model. Concerning the fossiliferous deposits concepts, the majority of future teachers totally ignore it. STU learners are familiar with this concept but they remain unable to reconstruct its evolutionary history (in time and space). To overcome these hindrances, most of these respondents approved the integration of ICT as tool of support for the act of teaching /training of the STU. In response to the learners and future teachers’ needs, we have developed an interactive “*fossilis*” tutorial that mainly focuses on introducing the concept of evolution in time and space in the case of fossil and fossil concepts.

**Keywords:** Didactics of the geology, teaching/learning, fossils, time/space, tutorial, STU, ICT.

# Sommaire

Résumé .....	
Abstract.....	
Sommaire	
Introduction générale .....	1

## Chapitre 1 : Contexte de recherche

Introduction.....	6
A. Concepts temps et espace en relation avec les concepts fossile et fossilisation. ....	6
I. Épistémologie des concepts temps et espace en géologie .....	6
1. Les sciences de la Terre entre pôle historique et pôle fonctionnaliste .....	6
2. Obstacles épistémologiques liés aux concepts temps et espace .....	7
3. Mobilisation des facteurs temps et espace lors de l'apprentissage de quelques phénomènes géologiques.....	11
II. Évolution du concept fossile .....	14
1. Définition du mot fossile.....	14
2. Le concept fossile et controverses scientifiques.....	15
3. Obstacles historiques du concept fossile .....	17
B. État des lieux de l'enseignement des Sciences de la Terre au Maroc.....	21
I. L'enseignement des Sciences de la Terre dans les programmes secondaires marocains .....	22
1. Les programmes .....	22
2. Place de l'enseignement de la biologie et celui de la géologie au cycle de l'enseignement secondaire collégial et qualifiant .....	24
3. Rapport des élèves et des enseignants avec les ST.....	25
4. Contraintes et difficultés d'enseignement des ST au secondaire .....	25
II. L'enseignement-apprentissage des ST à l'université marocaine. ....	27
1. La filière STU dans les cursus universitaires marocains (système LMD) .....	28
2. Contraintes d'enseignement de la géologie au cycle supérieure marocain .....	31
Conclusion .....	31

## Chapitre 2 : Technologies d'Information et de Communication(TIC), nouvelles pédagogies, nouveaux paradigmes

Introduction.....	33
I. Généralités sur les TIC .....	33
1. Définitions .....	33
2. Les ressources numériques .....	33
II. Intégration des TIC dans l'enseignement .....	37

1. L'impact d'usage des TIC sur l'acte d'enseignement-apprentissage .....	37
2. Les contraintes d'intégration des TIC .....	39
<b>III. Les TIC dans le système éducatif marocain. ....</b>	<b>40</b>
<b>IV. Impact des TIC dans les établissements de l'enseignement supérieur marocain. ....</b>	<b>43</b>
<b>V. Les TIC pour l'enseignement de la géologie .....</b>	<b>43</b>
1. La géologie ; discipline de terrain .....	43
2. Statut de l'image dans l'enseignement de la géologie.....	45
3. Les apports des TIC pour l'enseignement de la géologie.....	46
<b>Conclusion .....</b>	<b>47</b>

### Chapitre 3 : méthodologie de recherche

<b>Introduction.....</b>	<b>49</b>
<b>I. Problématique et question de recherche .....</b>	<b>49</b>
<b>II. Méthodologie .....</b>	<b>51</b>
1. Échantillon et méthode d'échantillonnage .....	51
2. Outils de collecte des données.....	54

### Chapitre 4 : Étude de mobilisation des facteurs temps et espace sur le concept fossile et ses dérivés, par les lycéens

<b>Introduction.....</b>	<b>62</b>
<b>A. Application de la technique de groupe nominale (TGN), pour les concepts, "fossile" et "fossilisation " .....</b>	<b>62</b>
<b>I. TGN de la question nominale 1 : « Citez une liste de mots en relation avec le mot fossile. »</b>	<b>63</b>
<b>II. TGN de la question nominale 2 : « Les obstacles qui bloquent votre compréhension des mécanismes liés au phénomène de la fossilisation sont ? ».....</b>	<b>64</b>
<b>B. Résultats de l'enquête par questionnaire .....</b>	<b>65</b>
<b>I. Concept fossile : Comment les lycéens définissent-ils l'objet fossile ? .....</b>	<b>65</b>
1. Les critères d'identification de l'objet fossile .....	65
2. Les caractéristiques de l'objet fossile.....	70
3. La relation fossile-encaissant .....	81
4. L'intérêt des fossiles.....	88
<b>II. La fossilisation .....</b>	<b>92</b>
1. Les modes de fossilisation.....	92
2. Les processus de fossilisation.....	94
<b>III. Obstacles et suggestions de remédiation.....</b>	<b>103</b>
1. Question 15 et analyse des réponses .....	103
2. Question 16 et analyse des réponses .....	105
<b>Conclusion .....</b>	<b>106</b>



**Chapitre 5 : Étude de mobilisation des facteurs temps et espacesur le concept fossile et ses dérivés, par les étudiants**

<b>Introduction.....</b>	<b>110</b>
<b>A. Application de la technique de groupe nominale (TGN), pour les concepts, "fossile" et des dérivés .....</b>	<b>110</b>
<b>I. TGN de la question nominale 1 : « Citez une liste de mots en relation avec le mot fossile. »</b>	<b>110</b>
<b>II. TGN de la question nominale 2 : « Les obstacles qui bloquent votre compréhension des mécanismes liés à la formation des gisements fossilifères sont :» .....</b>	<b>112</b>
<b>B. Résultats de l'enquête par questionnaire.....</b>	<b>114</b>
<b>I. Concept fossile : Comment les étudiants définissent-ils l'objet fossile ?.....</b>	<b>114</b>
1. Les critères d'identification de l'objet fossile .....	115
2. Les caractéristiques de l'objet fossile.....	118
3. La relation fossile-encaissant .....	128
4. L'intérêt des fossiles.....	132
<b>II. La fossilisation .....</b>	<b>137</b>
1. Les modes de fossilisation.....	137
2. Les processus de la fossilisation.....	138
<b>III. Les concentrations fossilifères .....</b>	<b>149</b>
1. Question 15 et analyse des réponses .....	149
2. Question 16 et analyse des réponses .....	152
3. Question 17 et analyse des réponses .....	154
4. Question 18 et analyse des réponses .....	156
<b>IV. Obstacles et suggestions de remédiation.....</b>	<b>157</b>
1. Question 19 et analyse des réponses .....	157
2. Question 20 et analyse des réponses .....	159
<b>Conclusion .....</b>	<b>160</b>

**Chapitre 6 : Étude de mobilisation des facteurs temps et espace sur le concept fossile et ses dérivés, par les enseignants stagiaires**

<b>Introduction.....</b>	<b>165</b>
<b>A. Résultats de l'enquête par questionnaire.....</b>	<b>166</b>
<b>I. Concept fossile : Comment les enseignants stagiaires définissent-ils l'objet fossile ?</b>	<b>166</b>
1. Les critères d'identification de l'objet fossile .....	166
2. Les caractéristiques de l'objet fossile.....	170
3. La relation fossile-encaissant .....	179
4. L'intérêt des fossiles.....	183
<b>II. La fossilisation .....</b>	<b>188</b>
1. Les modes de la fossilisation.....	188
2. Les processus de la fossilisation.....	189
<b>III. Les concentrations fossilifères .....</b>	<b>198</b>
1. Question 15 et analyse des réponses .....	199

2. Question 16 et analyse des réponses .....	201
<b>IV. Obstacles et suggestions de remédiation.....</b>	<b>203</b>
1. Question 17 et analyse des réponses .....	203
2. Question 18 et analyse des réponses .....	204
<b>Conclusion .....</b>	<b>206</b>

**Chapitre 7 : Élaboration d'un didacticiel : "*Fossilis*" sur le concept fossile et ses dérivés**

<b>Introduction.....</b>	<b>210</b>
<b>I. Cadre du projet .....</b>	<b>210</b>
1. Dispositif d'enseignement .....	210
2. Le didacticiel .....	211
<b>II. Contexte et justificatifs du choix du didacticiel « <i>Fossilis</i> ».....</b>	<b>217</b>
1. Objectifs pédagogiques .....	218
2. Population cible.....	218
<b>III. Étapes du processus d'élaboration du didacticiel.....</b>	<b>218</b>
1. Phase d'analyse préalable.....	218
2. Phase de conception .....	219
3. Phase de réalisation .....	231
<b>Conclusion .....</b>	<b>232</b>

**Conclusion générale**

1. Obstacles à l'identification du fossile.....	236
2. Obstacles à l'assimilation du déroulement du phénomène de la fossilisation.....	237
3. Obstacles à l'assimilation des processus de la formation d'un gisement fossilifère.....	240
4. Élaboration du didacticiel " <i>Fossilis</i> " .....	241
5. Obstacles et suggestions .....	242

**Bibliographie .....**244

**Annexes .....**i

<b>Annexe 1 : Test de la Technique de Groupe Nominale (TGN) soumis aux lycéens.....</b>	<b>i</b>
<b>Annexe 2 : Test de la Technique de Groupe Nominale (TGN) soumis aux étudiants .....</b>	<b>ii</b>
<b>Annexe 3 : Questionnaire sur les concepts fossile et fossilisation.....</b>	<b>iii</b>
<b>Annexe 4 : Questionnaire sur les gisements fossilifères .....</b>	<b>ix</b>

## Liste des Tableaux

<b>Tableau 1</b> : Nature du temps, obstacles épistémologiques et courants de pensée Boughanmi (2009).....	9
<b>Tableau 2</b> : Les types d'actualisme mobilisés par les élèves selon la nature du temps correspondant (Orange Ravachol, 2003 ; Boughanmi, 2009).....	10
<b>Tableau 3</b> : Conceptions des élèves, face aux explications des savants, au fonctionnement du "double tapis roulant océanique (Orange, 2003) .....	12
<b>Tableau 4</b> : Synthèse des théories d'interprétation d'origine des fossiles (d'après Gouanelle, et Schneeberger, (1995) ; Crépin-Obert (2010)).....	16
<b>Tableau 5</b> : Obstacles historiques, liés au concept fossile, repérés chez les élèves de CM1, CM2 et 4 <sup>ème</sup> année de collège (Crépin-Obert, 2010).....	19
<b>Tableau 6</b> : Caractéristiques des échantillons choisis et conditions d'exécution des TGN des questionnaires et des entretiens.....	53
<b>Tableau 7</b> : Classement des énoncés de la TGN pour la question nominale 1 .....	63
<b>Tableau 8</b> : Classement des énoncés de la TGN pour la question nominale 2 .....	64
<b>Tableau 9</b> : Grille d'analyse des réponses par catégories de la question 1 .....	68
<b>Tableau 10</b> : Nombres de citations enregistrés, par catégorie de la question 2 .....	69
<b>Tableau 11</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 3 .....	71
<b>Tableau 12</b> : Nombres enregistrés par catégorie de la question 3 .....	72
<b>Tableau 13</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 4 .....	73
<b>Tableau 14</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 5 .....	75
<b>Tableau 15</b> : Grille d'analyse des explications pour oui ou pour non de la question 5, liées à la taille des organismes.....	76
<b>Tableau 16</b> : Grille d'analyse des explications pour oui ou pour non de la question 5, liées au milieu de fossilisation. ....	77
<b>Tableau 17</b> : Résultats de test de dépendance Chi2 des modalités de la question 5.....	78
<b>Tableau 18</b> : Grille d'analyse de contenu des réponses à la question 6.....	82
<b>Tableau 19</b> : Nombres de citations par catégorie de la question 6 .....	83
<b>Tableau 20</b> : Nombres enregistré pour <i>oui</i> ou pour <i>non</i> à la question 7 .....	85
<b>Tableau 21</b> : Grille d'analyse de contenu des explications des réponses de la question 7 .....	86
<b>Tableau 22</b> : Pourcentage des paramètres temps et espace mobilisés pour expliquer la réponse de la question 7 .....	88
<b>Tableau 23</b> : Nombres enregistrés par catégorie de la question 8 .....	89
<b>Tableau 24</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 9 .....	90
<b>Tableau 25</b> : Nombres de citations par catégories à la question 9.....	92
<b>Tableau 26</b> : Résultats d'identification du mode de fossilisation (Question 10).....	93
<b>Tableau 27</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 11 .....	94
<b>Tableau 28</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 12 .....	96

<b>Tableau 29</b> : Résultats de test de dépendance Chi2, des modalités représentant le temps et l'espace, de la question 12 .....	96
<b>Tableau 30</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 13 .....	100
<b>Tableau 31</b> : Nombre de réponses, classés par catégorie de la question 13 .....	101
<b>Tableau 32</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 14 .....	102
<b>Tableau 33</b> : Nombre de citations par catégories de la question 15 .....	104
<b>Tableau 34</b> : Nombre enregistrés pour chaque suggestion proposée de la question 16.....	105
<b>Tableau 35</b> : Typologie d'obstacles détectés chez les lycéens, à propos des concepts, fossile et fossilisation. ....	107
<b>Tableau 36</b> : Classement des énoncés de la TGN pour la question nominale 1 .....	111
<b>Tableau 37</b> : Classement des énoncés de la TGN pour la question nominale 2 .....	112
<b>Tableau 38</b> : Nombre d'étudiants de la FSDM et de la FST, participants à l'enquête par questionnaire. ....	114
<b>Tableau 39</b> : Grille d'analyse des réponses par catégorie de la question 1 .....	115
<b>Tableau 40</b> : Nombres de citations enregistrés à la question 2.....	118
<b>Tableau 41</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 3 .....	119
<b>Tableau 42</b> : Nombres de enregistrés par catégories de la question 3 .....	120
<b>Tableau 43</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 4 .....	121
<b>Tableau 44</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 5 .....	122
<b>Tableau 45</b> : Grille d'analyse des explications de la question 5, liée à la taille des organismes. ....	124
<b>Tableau 46</b> : Grille d'analyse des explications de la question 5, liée aux milieux de fossilisation. ....	125
<b>Tableau 47</b> : Résultats de test de dépendance Chi2 des modalités de la question 5.....	126
<b>Tableau 48</b> : Nombres enregistrés pour <i>oui</i> ou pour <i>non</i> , de la question 6 .....	129
<b>Tableau 49</b> : Grille d'analyse de contenu des explications des réponses à la question 6 .....	130
<b>Tableau 50</b> : Pourcentage des paramètres temps et espace mobilisés pour expliquer la réponse de la question 6 .....	132
<b>Tableau 51</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 7 .....	133
<b>Tableau 52</b> : Nombre de citations par catégorie de la question 7 .....	134
<b>Tableau 53</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 8 .....	135
<b>Tableau 54</b> : Nombres de citations par catégorie de la question 8 .....	136
<b>Tableau 55</b> : Résultats d'identification des modes de la fossilisation de la question 9 .....	138
<b>Tableau 56</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 10 .....	139
<b>Tableau 57</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 11 .....	141
<b>Tableau 58</b> : Résultats de test de dépendance Chi2, des modalités représentant le temps et l'espace, de la question 11 .....	142
<b>Tableau 59</b> : Nombres enregistré pour chaque proposition de la question 12.....	143
<b>Tableau 60</b> : Nombres de citations des propositions, classé par catégories de la question 12 .....	144

<b>Tableau 61</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 13 .....	145
<b>Tableau 62</b> : Nombres de réponses par <i>oui</i> ou par <i>non</i> à la question 14 .....	147
<b>Tableau 63</b> : Nombre de réponses avec explications par catégorie de la question 14. ....	148
<b>Tableau 64</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 15 .....	150
<b>Tableau 65</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 16 .....	153
<b>Tableau 66</b> : Nombre enregistré pour chaque proposition de la question 17 .....	155
<b>Tableau 67</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 18 .....	156
<b>Tableau 68</b> : Nombres de citations par catégorie de la question 19 .....	158
<b>Tableau 69</b> : Nombres de citations pour chaque suggestion proposée de la question 20.....	159
<b>Tableau 70</b> : Typologie d'obstacles détectés chez les étudiants, à propos du concept fossile et ses dérivés. ....	162
<b>Tableau 71</b> : Grille d'analyse des réponses par catégorie, de la question 1 .....	168
<b>Tableau 72</b> : Nombres de citations des réponses à la question 2.....	169
<b>Tableau 73</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 3 .....	171
<b>Tableau 74</b> : Nombres enregistrés par catégorie de la question 3 .....	171
<b>Tableau 75</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 4 .....	172
<b>Tableau 76</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 5 .....	174
<b>Tableau 77</b> : Grille d'analyse des explications pour oui ou pour non de la question 5, liées à la taille des organismes. ....	175
<b>Tableau 78</b> : Grille d'analyse des explications de la question 5, liées aux milieux de la fossilisation. ....	176
<b>Tableau 79</b> : Résultats de test de dépendance Chi2 des modalités de la question 5 .....	177
<b>Tableau 80</b> : Nombres enregistrés pour " <i>oui</i> " ou pour " <i>non</i> " à la question 6.....	180
<b>Tableau 81</b> : Grille d'analyse de contenu des explications des réponses par " <i>non pas toujours</i> " à la question 6 .....	181
<b>Tableau 82</b> : Pourcentages des paramètres temps et espace mobilisés pour expliquer la réponse de la question 6 .....	183
<b>Tableau 83</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 7 .....	184
<b>Tableau 84</b> : Nombres enregistrés par catégorie de la question 7 .....	185
<b>Tableau 85</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 8 .....	186
<b>Tableau 86</b> : Nombres de citations par catégorie à la question 8 .....	187
<b>Tableau 87</b> : Résultats d'identification des modes de la fossilisation (Question 9) .....	188
<b>Tableau 88</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 10 .....	190
<b>Tableau 89</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 11 .....	191
<b>Tableau 90</b> : Résultats de test de dépendance Chi2, des modalités représentant le temps et l'espace, de la question 11 .....	192
<b>Tableau 91</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 12 .....	193
<b>Tableau 92</b> : Nombres de réponses, classés par catégorie de la Question 12 .....	194
<b>Tableau 93</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition à la question 13 .....	195
<b>Tableau 94</b> : Nombres de réponses par <i>oui</i> ou par <i>non</i> à la question 14 .....	197

<b>Tableau 95</b> : Nombres de réponses avec explications par catégorie de la question 14 .....	197
<b>Tableau 96</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 15 .....	200
<b>Tableau 97</b> : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 16 .....	202
<b>Tableau 98</b> : Nombres de citations par catégorie de la question 17 .....	204
<b>Tableau 99</b> : Nombres enregistrés pour chaque suggestion proposée de la question 18 .....	205
<b>Tableau 100</b> : Typologie d'obstacles détectés chez les enseignants stagiaires à propos du concept fossile et ses dérivés. ....	207
<b>Tableau 101</b> : Principaux composants d'un didacticiel .....	212

## Liste des Figures

<b>Figure.1</b> : Dérive, accrétion et sédimentation océaniques (Orange Ravachol, 2003).....	12
<b>Figure. 2</b> : Volumes horaires des Sciences de la Terre (ST) et des Sciences de la Vie (SV) au collège.....	25
<b>Figure. 3</b> : Volumes horaires des Sciences de la Terre (ST) et des Sciences de la Vie (SV) au secondaire qualifiant.....	25
<b>Figure.4</b> : Organigramme de l'architecture de la filière Licence fondamentale en STU.....	30
<b>Figure.5</b> : Modèle 1, premier cas «le temps linéaire ».....	97
<b>Figure.6</b> : Modèle 1, deuxième cas « le temps cyclique ».....	98
<b>Figure.7</b> : Modèle 2, premier cas « temps cyclique ».....	98
<b>Figure.8</b> : Modèle 2, deuxième cas : « temps linéaire ».....	99
<b>Figure.9</b> : Schéma pédagogique du didacticiel « Fossilis ».....	220
<b>Figure.10</b> : L'accueil du didacticiel.....	221
<b>Figure.11</b> : Ecran-page 1.....	222
<b>Figure.12</b> : Activités du module 1.....	223
<b>Figure.13</b> : Exemple 1 d'une séquence d'animation des étapes de la fossilisation : l'enfouissement rapide.....	224
<b>Figure.14</b> : Exemple 2 d'une séquence d'animation des étapes de la fossilisation : l'enfouissement lent.....	225
<b>Figure.15</b> : Exemple 3 d'une séquence d'animation des étapes de la fossilisation : l'épigénie.....	225
<b>Figure.16</b> : Exemple 4 d'une séquence d'animation des étapes de la fossilisation : moulages interne et externe.....	226
<b>Figure.17</b> : Exemple 5 d'une séquence d'animation des étapes de la fossilisation : schéma récapitulatif des différents modes de la fossilisation.....	226
<b>Figure.18</b> : Activité 1, module 3.....	227
<b>Figure.19</b> : Activité 2, module 3.....	227
<b>Figure.20</b> : Activité 3, module 3.....	228
<b>Figure.21</b> : Exemple des questions à choix multiples (exercice 2, module 1).....	229
<b>Figure.22</b> : Exemple des questions directes (exercice 1, module 1).....	229
<b>Figure.23</b> : Exemple du lien hypertexte, fiche signalétique de fossile (cas du Trilobite).....	230
<b>Figure.24</b> : Exemple du lien hypertexte, glossaire (cas du mot ichnofossile).....	231

## Liste des abréviations

- **AREF** : Académie Régionale de l'Éducation et de la Formation
- **AJOG** : Atelier Java d'Optique Géométrique
- **CRMEF** : Centre Régional des Métiers d'Études et de Formation
- **COSEF** : Commission Spéciale d'Étude et de Formation
- **CNEF** : Charte Nationale d'Étude et de Formation
- **CM<sub>1</sub>** : Cours Moyen<sub>1</sub>
- **CM<sub>2</sub>** : Cours Moyen<sub>2</sub>
- **CPGE** : Classes Préparatoires aux Grandes Écoles D'ingénieurs
- **CSEFRS** : Conseil Supérieur de l'Éducation, de la Formation et de la Recherche Scientifique
- **CVM** : Campus Virtuel Marocain
- **EAO** : Enseignement Assisté par Ordinateur
- **FSDM** : Faculté des Sciences Dhar El Mahraz
- **FST** : Facultés des Sciences et des Techniques.
- **LMD** : Licence/Master/ Doctorat.
- **NTIC** : Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication.
- **PHP** : Personal Home Page
- **PME** : Petites et Moyennes Entreprises.
- **SIG** : Système d'Information Géographique
- **STU** : filière des Sciences de la Terre et l'Univers.
- **SV** : Filière des Sciences de la Vie.
- **SVT** : Science de la Vie et de la Terre.
- **S (1,2, 3, 4, 5 où 6)** : Semestre (1,2, 3, 4, 5 où 6)
- **SVTU** : Sciences de la Vie, de la Terre et de l'Univers.
- **SR** : Sans Réponses
- **TI** : Techniques d'Information
- **TIC** : Techniques d'Information et Communication.
- **TICE** : Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation.
- **TP** : Travaux Pratiques.
- **UNESCO** : Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture.
- **TGN** : Technique du Groupe Nominal
- **TC** : Tronc Commun
- **UNICIEL** : Université des Sciences En Ligne
- **1ère BAC** : Première Année Baccalauréat
- **2D** ; Deux Dimensions.
- **3D** : Trois Dimensions



# **Introduction générale**

Dans un pays en développement comme le Maroc, la question de l'enseignement a fait l'objet d'une réflexion importante. De louables efforts ont été entrepris par l'État dans le domaine de l'éducation en général et l'enseignement supérieur en particulier. En 1999, la Commission Spéciale d'Éducation et de Formation (COSEF), qui avait pour mission l'élaboration d'un projet de réforme de l'école et de l'université marocaines, a abouti à la proposition d'un document intitulé la Charte Nationale d'Éducation et de Formation (CNEF). Ce chantier a été programmé pour la première décennie du 21<sup>ème</sup> siècle. La réforme qui en a découlé s'articule sur l'approche par compétence comme levier d'amélioration des actes d'enseignement-apprentissage. Ainsi, elle avait pour objectif de placer l'apprenant au centre de la réflexion et de l'action (Article 6 de la CNEF) et de privilégier au sein de l'école une approche fondée sur un apprentissage actif et ouvert sur son environnement (Articles 9 et 10).

Au sein de cette réforme, un nouveau système est donc adopté pour l'Enseignement Supérieur. Il correspond à une architecture sous l'appellation "LMD" (Licence /Master/ Doctorat). Cette nouvelle architecture désignée est composée de trois stades de formation dont chacun conduit à un diplôme : la Licence pour un cycle de formation de trois ans après le baccalauréat ; le diplôme de Master pour 2 ans après le niveau Licence et le diplôme de Doctorat pour 3 ans au moins après le Master.

La filière des Sciences de la Terre et l'Univers « STU » fait partie évidemment de cette nouvelle architecture. Cette discipline scientifique est dispensée dans toutes les facultés des sciences au Maroc. Nous relevons que les résultats de recherches pour cette discipline, menées en didactique et pédagogie (Lamarti et al, 2009 et nous-même, 2016) ont souligné de grandes disparités existantes entre les objectifs visés pour l'enseignement de la géologie et leurs mises en œuvre sur le plan pratique. D'une part, des contraintes sont rencontrées d'ordre pédagogique, linguistique, d'encadrement des sorties sur le terrain et des travaux pratiques, d'adaptation du volume horaire aux programmes etc. D'autre part, des difficultés particulières à la géologie qui est jugée couramment, par les apprenants comme discipline compliquée dont l'apprentissage est difficilement accessible. Il est admis que, le temps et l'espace constituent deux paramètres fondamentaux pour l'acquisition des phénomènes géologiques. Ainsi, les difficultés de conception et d'utilisation de ces deux paramètres sont évoquées dans diverses études en

didactique de la géologie (Skibine 1995 ; Savaton ,1998 ; Orange, 2003 ; Boughanmi, 2009) en tant qu'obstacles qui entravent la compréhension de ses phénomènes.

Notre étude s'inscrit dans le cadre des recherches d'amélioration de l'enseignement/apprentissage des STU. Nous avons fixé comme objectifs d'étudier les difficultés rencontrées par des apprenants (lycéens et étudiants) et les futurs enseignants pour l'explication de quelques phénomènes géologiques : cas des concepts fossile, fossilisation et gisements fossilifères. Aussi, nous proposons des suggestions de soutien.

L'aboutissement d'un tel projet d'amélioration de processus d'apprentissage d'une discipline est présenté d'abord par la mise en place d'un cadre théorique. Ainsi, **la première partie** de ce travail précise les outils théoriques et la démarche méthodologique choisie. Cette partie se constitue de trois chapitres : **Le premier** est consacré, tout d'abord, aux difficultés de mobilisation des facteurs temps et espace lors de l'apprentissage des phénomènes géologiques, puis aux obstacles épistémologiques liés à l'assimilation du concept fossile. Ensuite, il met le point sur l'état de lieu de l'enseignement des Sciences de la Terre (ST) dans l'enseignement marocain. **Le deuxième chapitre** prendra en considération la question d'intégration des TICs dans l'enseignement supérieur (Cas d'enseignement-apprentissage de sciences de la Terre et de l'Univers (STU)). **Le troisième chapitre** traite la problématique et les questions de recherche, ainsi que la méthodologie sur laquelle repose notre travail de recherche. Il présentera la population cible, les échantillons choisis et les instruments de recueil des données (Technique de Groupe Nominal, questionnaires, entretiens).

**La deuxième partie** est consacrée à la partie expérimentale. Elle se compose de trois chapitres pour l'analyse des données et un chapitre pour un didacticiel. **Le premier chapitre** illustrera une analyse des données issues des TGN/questionnaires appliqués aux lycéens. **Le deuxième chapitre** exposera une analyse des données issues des TGN/questionnaires soumis aux étudiants de la filière STU. **Le troisième chapitre** s'intéressera à l'analyse des résultats issus des entretiens et des questionnaires proposés aux futurs enseignants du Centre Régional des Métiers d'Études et de Formation. **Le dernier chapitre** de cette partie concerne l'élaboration de notre dispositif innovant : le didacticiel "*Fossilis*". Il présentera les fondements

théoriques, les étapes du projet, une description de ses constituants pour envisager finalement, une étape de son expérimentation et de son évaluation comme perspectives.

Nous parachevons notre thèse par une conclusion générale dans laquelle nous rappellerons les résultats et suggérons des propositions pour l'amélioration de l'enseignement/apprentissage de la géologie. Á la fin de ce document, les **annexes** rassemblent les outils d'investigations utilisés dans cette étude (la description de la TGN, le déroulement des entretiens et les questionnaires élaborés) et une copie du CD-ROM du dispositif proposé comme outil de soutien (le didacticiel "*Fossilis*").

# **Chapitre 1 : Contexte de recherche**

## **Introduction**

Notre recherche porte sur l'identification des difficultés de mobilisation des facteurs temps et espace lors de l'étude des concepts fossiles, fossilisation et gisements fossilifères chez les élèves et les étudiants marocains. Nous avons estimé indispensable avant d'aborder les résultats obtenus de donner une revue de littérature sur ce sujet. Nous donnons d'abord, un aperçu sur les difficultés de mobilisation des facteurs espace et temps lors de l'apprentissage de quelques phénomènes géologiques. Ensuite, nous mettons le point sur des obstacles épistémologiques liés à l'assimilation du concept fossile. Enfin, nous présentons une description de l'état de lieu de l'enseignement des Sciences de la Terre (ST) dans l'enseignement marocain au lycée et à l'université.

### **A. Concepts temps et espace en relation avec les concepts fossile et fossilisation.**

#### **I. Épistémologie des concepts temps et espace en géologie**

Depuis son émergence au siècle dernier par les travaux de Piaget, puis Bachelard, la didactique s'est peu intéressée aux problèmes géologiques et à son enseignement. Les premiers travaux traitant les difficultés d'enseignement de la géologie datent de l'année 1995 (ASTER, 1995), où la revue ASTER a consacré deux numéros à la didactique de la géologie (Orange et Orange, 1995 ; Monchamp et Sauvageot-Skibine, 1995 ; Gouanelle et Schneeberger, 1995 ; Goix, 1995 ; Savaton, 1995). Ci-après, nous relatons une revue de littérature qui renferme quelques travaux intéressants pour cette discipline.

##### **1. Les sciences de la Terre entre pôle historique et pôle fonctionnaliste**

Les sciences de la Terre sont des disciplines fonctionnalistes ou dynamiques qui expliquent le fonctionnement de notre planète et de ses parties, tandis que la géologie historique reconstitue l'évolution de cet objet depuis sa formation (Gohau, 1997). A cette mesure, le géologue est un enquêteur qui, à partir des indices relevés, des observations de terrain, de l'expérimentation et analyses en laboratoire et de la modélisation, arrive à reconstituer l'histoire de la terre (Sanchez et Devallois, 2004). Ces deux pôles s'articulent dans l'actualisme (Gohau,

1987) qui transforme les problèmes historiques en problèmes fonctionnalistes. Car ce faisant, on déplace simplement à différents moments du passé un fonctionnement actuel (Orange, 2003). Ces sciences mettent en jeu des systèmes naturels complexes (le système Terre, le système océan, la biosphère...), "beaucoup plus complexes que les expériences de laboratoire de physique et de chimie" écrit Thomas (2002, cité par Orange, 2003). Par conséquent, la résolution de ces problèmes exige la maîtrise de plusieurs disciplines (biologie, physique, chimie, mathématiques) ainsi que la mobilisation de plusieurs facettes du temps.

Cependant, des travaux en didactique des sciences ont prouvé que les apprenants évoquent des difficultés à trancher entre ces deux pôles de la géologie. Effectivement, Gohau (1997), a souligné : « ...mais il reste des interrogations sur le sens d'une frontière entre ces deux champs ». À son tour, Boughanmi, (2009), en étudiant les obstacles épistémologiques liés à l'appréhension du temps géologique, chez les lycéens tunisiens, a affirmé que les principaux obstacles épistémologiques historiques qui peuvent réapparaître dans les explications des apprenants des différents phénomènes sont rattachés aux difficultés de la prise en compte du temps. En effet, en géologie historique et fonctionnaliste selon Orange Ravachol(1997), la complexité réside dans la diversité des figures du temps que l'apprenant est censé d'en mobiliser (temps long, temps humain, la possibilité de la reproduction des phénomènes géologiques et la durée réel). D'une part, les problèmes de la géologie fonctionnaliste s'expliquent dans le cadre du « *temps humain* », tels que les processus mis en jeu dans le cycle de formation d'une roche sédimentaire, alors que ceux de la géologie historique (la dérive des continents, l'orogénèse...) nécessitent un « *temps long* » (des millions d'années). De ce fait, « *La distinction entre problème fonctionnaliste et problème historique renvoie bien à une certaine prise en compte du temps qui est plus compliquée qu'on pourrait le penser à priori* » écrit Orange Ravachol, (2003). Ces auteurs ajoutent que même la durée des phénomènes géologiques, instantanés, ne suffit pas pour trancher entre ces deux pôles : « *La durée de certains phénomènes comparée à l'instantanéité d'autres n'est peut-être pas un critère discriminant* ».

## **2. Obstacles épistémologiques liés aux concepts temps et espace**

La géologie est une discipline jugée, couramment, ardue et pleine de paradoxes. Elle se focalise sur la reconstitution du passé de la Terre grâce au principe d'actualisme. Elle nous offre

un regard élargi à double dimension spatio-temporelle sur l'histoire de la vie et de la Terre. Cependant, elle se caractérise par *un polymorphe dans son rapport au temps*. (Crépin-Obert, 2010). De plus, c'est la science du « *hasard ou contingence* » (Gould, 1991). En effet, la pensée « *déterministe* » (contrairement à la pensée « *probabiliste* ») constitue un obstacle principal à l'assimilation des phénomènes géologiques. Donc, pour bien assimiler ces phénomènes, il faut absolument accepter « *le hasard des mécanismes et comprendre la contingence* » d'une histoire irréversible des vivants (Triquet et Orange, 2007). Allègre (1983) affirme à cet égard que l'interprétation des phénomènes géologiques se fait à la fois dans une dimension spatiale et une dimension temporelle. En fait, le concept « *temps* » est étroitement lié au concept « *espace* », c'est dans cette dimension spatio-temporelle que les phénomènes géologiques devraient être expliqués (Boughanmi, 2009).

Les travaux que nous venons de citer ont prouvé que la conception ainsi que l'acquisition des concepts géologiques ne sont pas si faciles pour les apprenants. Ces derniers ont dévoilé divers types d'obstacles épistémologiques (Bachelard, 1967), à l'origine des difficultés d'acquisition des concepts géologiques chez les apprenants. Ces obstacles épistémologiques sont liés généralement aux problèmes de mobilisation d'échelle spatio-temporelle (Monchamp et Sauvageot-Skibine, 1995 ; Gohau, 1995 ; Ravachol-Orange, 2003 ; Boughanmi, 2004, 2009). Nous citons à titre d'exemples l'obstacle du fixisme où les élèves imaginent d'une manière statique des phénomènes dynamiques (Monchamp et Sauvageot-Skibine, 1995), aussi le catastrophisme, où les élèves attribuent au séisme le caractère d'un événement catastrophique, se produisant dans un temps court (quelques secondes) tout en niant son histoire géologique et automatiquement l'immensité du temps qu'exige son fonctionnement (Boughanmi, 2009).

Boughanmi (2009) a résumé les différents obstacles épistémologiques, reportés sur le tableau 1, qui pourraient réapparaître chez les apprenants pour chaque courant de pensée tout en les reliant à la nature du temps.



**Tableau 1 : Nature du temps, obstacles épistémologiques et courants de pensée  
Boughanmi (2009)**

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

Aussi, les difficultés d'utilisation des facteurs temps et espace, en sciences de la Terre, ont constitué une vraie préoccupation des travaux en didactique des sciences. Orange (2003), en analysant des explications des élèves lycéens, sur quelques problèmes géologiques (la reconstitution du passé d'un océan, l'évolution de la zone d'une dorsale, les ophiolites, l'origine de la vie) a souligné que ces apprenants n'utilisent pas le temps de la même manière que les scientifiques. Effectivement, ils privilégient spontanément un actualisme de premier niveau (actualisme d'analogie) et la « mise en histoire » ; ce qui constitue des obstacles à la construction d'un actualisme de deuxième niveau caractérisé par la mise en jeu d'un temps long producteur de phénomènes. Nous avons résumé dans le tableau 2 ci-dessous les différents types d'actualisme mobilisés par les apprenants et cités dans les travaux d'Orange Ravachol (2003) et Boughanmi (2009).

**Tableau 2 : Les types d'actualisme mobilisés par les élèves selon la nature du temps correspondant (Orange Ravachol, 2003 ; Boughanmi, 2009)**

<b>Types d'actualisme mobilisé</b>	<b>Explications</b>	<b>Type de temps utilisé</b>
<b>L'actualisme de premier niveau (actualisme d'analogie)</b>	référer la trace de phénomènes ou d'évènements passés à une trace actuelle	l'apprenant nie carrément le temps
<b>L'actualisme de deuxième niveau</b>	consiste à référer la trace d'évènements ou de phénomènes passés aux traces d'un phénomène actuel qui n'en sont pas l'exact équivalent.	l'apprenant adopte une explication historique qui se ramène à un problème fonctionnaliste exigeant du <b><u>temps long</u></b>
<b>le catastrophisme</b>	met en jeu <u>une causalité "extraordinaire"</u> (Cause gigantesque, effet)	se débarrasse du <u>temps long</u> et mobilise <u>le temps humain</u>

Par ailleurs, Savaton (1995) s'est centré sur les obstacles liés à l'étude de la carte géologique. Cet auteur souligne qu'à travers un apprentissage plus profond de la carte, on peut développer un ensemble de compétences bien au-delà de la carte elle-même. La carte géologique est un de ces objets-outils permettant l'acquisition, autant de savoirs spécialisés que de savoir-faire plus généraux (la mise en situation de levés de terrains peut aider l'élève à concevoir la notion d'espace-temps et construire l'histoire d'un territoire). Cependant, ce travail lui a permis de mettre en relief, chez ses élèves, un ensemble d'obstacles lié essentiellement à la mobilisation de temps et d'espace. Pour l'élève, la géologie se restreint dans la détermination de la nature des roches au terrain. Par conséquent, il ne considère pas la carte comme outil de reconstitution historique. De plus, la dimension spatiale n'est pas matérialisée : « *les quatre dimensions(x, y, z, t) de la carte sont très mal perçues* ». Aussi, la notion d'espace reste floue en termes de la perception et la distinction des différents plans géologiques : (la surface, le sol, le sous-sol). Cet auteur explique ces défaillances par une survalorisation psychologique de l'observation directe : « *il faut voir pour savoir... l'espace qui n'est pas vu est difficile à interpréter* ».

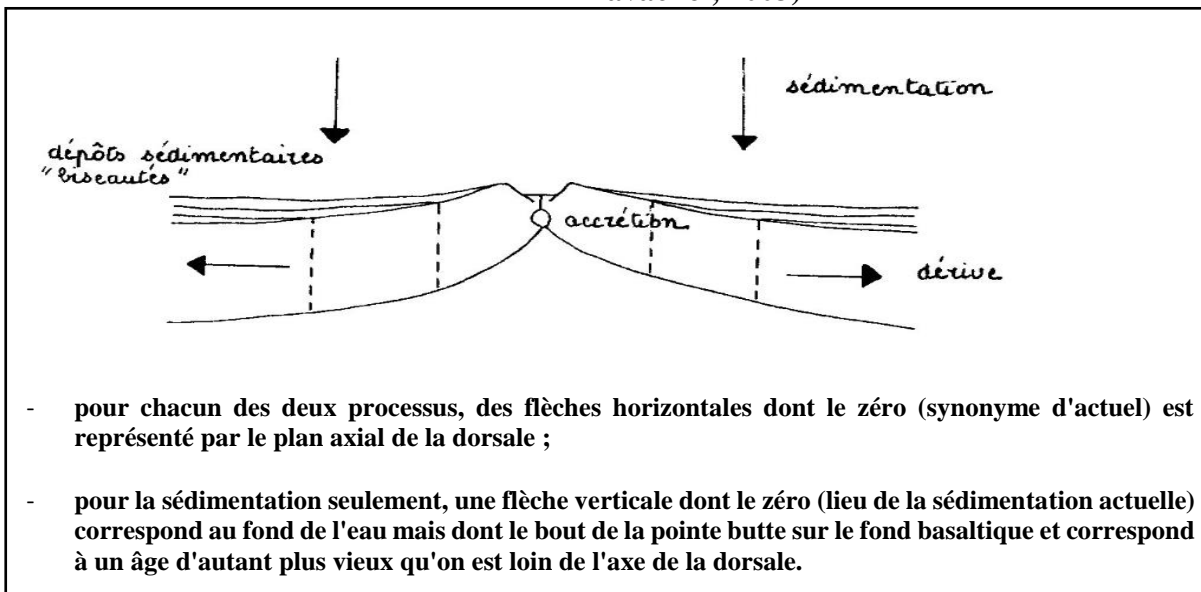
### **3. Mobilisation des facteurs temps et espace lors de l'apprentissage de quelques phénomènes géologiques**

La théorie de la tectonique des plaques constitue un modèle de la mécanique terrestre qui a un pouvoir unificateur des grands phénomènes géologiques (Le Pichon, 1984). Néanmoins, plusieurs travaux affirment que les apprenants ne conçoivent pas l'intérêt de ce modèle. Monchamp et Sauvageot-Skibine (1995) ont montré que les concepts « temps » et « espace » sont toujours requis grâce à la théorie globale. Toutefois, ces concepts sont difficiles à faire naître et utiliser par l'apprenant. Ces auteurs renvoient les difficultés d'assimilation de la théorie de la tectonique des plaques par les élèves du primaire et du secondaire aux différences d'échelles et aux concepts difficiles impliqués : temps, espace et viscosité.

De même, Orange Ravachol (2003) a souligné que les lycéens français évoquent des difficultés quant à la mobilisation de l'espace et du temps lors de l'explication du phénomène de l'extension du fond océanique qui est à l'origine de la tectonique des plaques. En effet, l'accrétion et la sédimentation constituent deux processus instantanés, mais ils ne se produisent

pas exactement dans la même direction spatiale. Ils nous permettent de construire deux sortes de flèches du temps (Figure .1).

**Figure.1 : Dérive, accrétion et sédimentation océaniques (Orange Ravachol, 2003)**



Dans le même travail, Orange Ravachol (2003), a fait une comparaison entre les conceptions des élèves et les explications des chercheurs au sujet du fonctionnement du "double tapis roulant océanique". Cette didacticienne a constaté qu'il y a un grand écart entre les deux explications, dû au fait que les élèves modélisent ce phénomène hors du cadre spatio-temporel, de la théorie de la dérive des continents. Nous avons regroupé ces conceptions dans le tableau 3 ci-dessous :

**Tableau 3 : Conceptions des élèves, face aux explications des chercheurs, pour le fonctionnement du "double tapis roulant océanique (Orange, 2003)**

Conceptions des élèves	Explications des chercheurs
Les plaques au niveau de la dorsale sont poussées	Les plaques sont tirées
Interférences du volcanisme aérien	Différence entre volcanisme aérien et volcanisme de la dorsale
La dorsale est immuable	La dorsale est stable structurellement mais dynamique de point de vue fonctionnement

L'étude des cas relatifs aux ophiolites lui a permis de montrer encore une fois que les élèves ont des difficultés à concevoir ce phénomène dans le cadre de la tectonique et à construire la nécessité du temps long. Souvent les élèves s'en sortent en contournant ces difficultés par le recours fréquent à l'actualisme d'analogie et au catastrophisme de premier niveau (explication en dehors du cadre de la tectonique des plaques). Il s'agit d'une réduction de l'explication historique à une forme d'explication simple : la "mise en histoire" (succession des phénomènes analogues) « (Orange Ravachol, 2003)

Pour sa part, Boughanmi (2009) a constaté que les explications catastrophistes et fixistes évoquées par les apprenants tunisiens, à propos des phénomènes géologiques impliqués dans la tectonique des plaques tels que les séismes, le volcanisme et l'orogénèse, empêchent leurs conceptions de l'immensité du temps mis en jeu. Dans le même sens, un questionnaire portant sur l'âge et le mécanisme de la formation des chaînes de montagnes a été proposé par Gohau (1995) et les résultats ressortis ont montré que les élèves questionnés, attribuent l'orogénèse à un phénomène unique dans une histoire linéaire non répétitive dans le temps et n'ayant aucun lien avec la théorie de la tectonique des plaques.

Crépin-Obert (2010) a démontré aussi que ses élèves n'arrivent pas à établir la relation entre l'histoire des êtres vivants et la mobilité des plaques terrestres, ainsi que la filiation entre les êtres vivants passés et actuels aquatiques et terrestres au cours des temps géologiques. Ces difficultés sont dues, selon Crépin-Obert, à deux types d'obstacles : penser au temps long ; penser à la complexité, à savoir la nécessité de mobiliser différentes échelles d'étude dans l'espace et dans le temps lors de la reconstitution de l'histoire des êtres vivants.

En outre, le volcanisme est un phénomène géologique qui semble être relativement accessible à l'observation directe, grâce aux médias et ses manifestations peuvent être étudiées à l'échelle Humaine dans le temps et dans l'espace. Cependant, Laperrière-Tacussel (1995) a remarqué que l'assimilation des processus à l'origine de ce phénomène est problématique pour les élèves français au primaire. En effet, les éruptions volcaniques constituent des manifestations de courte durée à l'échelle Humaine, mais résultent en réalité d'un ensemble de phénomènes de longue durée à l'échelle du temps géologique. En fait, les élèves trouvent des difficultés à raccorder des échelles de temps totalement différentes.

Par ailleurs, les crises biologiques sont des discontinuités majeures à l'échelle planétaire dans l'échelle du temps géologique qui séparent des périodes de plus grande stabilité. Par exemple, parmi les grandes coupures référencées dans l'échelle stratigraphique internationale, la crise biologique dite du Crétacé/Tertiaire a entraîné la disparition d'une quantité massive d'organismes, notamment tous les dinosaures, de nombreux invertébrés marins ainsi que des végétaux. Cette extinction globale et relativement brutale qui a affecté l'ensemble de la planète s'est produite sur une courte période de temps à l'échelle géologique. Les résultats des études de Boughanmi (2009) ont, cependant, démontré que les lycéens tunisiens comprennent la brutalité de cette extinction comme une période courte à l'échelle Humaine car ils l'assimilent à des catastrophes naturelles actuelles telles qu'un séisme ou un tsunami qui ne se déroulent que sur de très courtes durées. Or, il a fallu au moins quelques millions d'années pour qu'une telle extinction se produise. Cet auteur affirme que l'influence du catastrophisme actuel sur les explications des élèves constitue un obstacle à leur conception de l'immensité du temps géologique.

Pour la question d'évolution ou l'histoire des êtres vivants sur terre, Gould (1991), l'a décrit comme : « *un ensemble d'évènements extraordinairement improbables, parfaitement logiques en rétrospective et susceptibles d'être rigoureusement expliqués, mais absolument impossibles à prédire et tout à fait non reproductibles* ». La reconstitution de cette histoire irréversible est jumelée de divers types d'obstacles en rapport, essentiellement, à la pluralité des registres du temps à mobiliser (Gould, 1990). Les élèves se trouvent dans l'irrésolution de choisir entre l'utilisation d'un temps sagittal (par exemple : la flèche du temps construite par les faunes différentes conservées dans une colonne stratigraphique) ou un temps cyclique qui peut être mobilisé par le phénomène régulier de la fossilisation et les cinq crises évènementielles d'extinction identifiées au cours du temps.

## **II. Évolution du concept fossile**

### **1. Définition du mot fossile**

Étymologiquement, le mot fossile vient du latin *fossilis* et désigne tout ce qui est tiré de la terre, aussi bien les roches et les minerais que les animaux pétrifiés. Progressivement, ce terme

ne s'est pas appliqué seulement aux restes d'êtres vivants (Gouanelle et Schneeberger, 1995). Si on considère la définition de l'encyclopédie des fossiles (Denizot, 1987), ceux-ci constituent tous les organismes dont des parties ont été conservées par fossilisation mais aussi les traces ou ichnofossiles qu'ils ont laissés de leurs corps, de leurs déplacements et de leurs activités.

D'Archiac ((1864), a défini le mot fossile par « *les corps organisés ou toutes les traces reconnaissables de corps organisés rencontrés dans les couches de la terre* ». Selon les termes de Buffon et Leclerc (1778), le fossile est une « *espèce perdue* » ou « *détruite* ». Autrement dit, Buffon et Leclerc par leur définition de la nature du fossile, en tant qu'« *espèce perdue* » ou « *détruite* », a contribué à l'émergence et l'acceptation du concept fossile et annonce la véritable naissance de la science paléontologie. La définition la plus répandue actuellement, dans la communauté paléontologique est celle de Foucault et Raoult (2005) « *reste, trace ou moulage naturel d'organisme conservé dans des sédiments* ».

## **2. Le concept fossile et controverses scientifiques**

Actuellement, l'idée que les fossiles, et généralement les environnements passés reflétant l'Histoire de la terre, est facilement admise (Goodfriend et Gould, 1996). Cependant, la construction du concept fossile a fait l'objet d'une controverse scientifique depuis longtemps. Les fossiles sont remarqués depuis l'Antiquité (le poète et philosophe Xénophane, l'historien Hérodote ou le géographe Strabon, Aristote). Or, l'interprétation correcte de leurs origines et de leurs natures a été jalonnée par divers conceptions erronées. Pendant, 1<sup>er</sup> siècle après J.-C, le naturaliste romain Pline l'Ancien considérait les dents de requin comme des « langues pétrifiées » tombées du ciel lors des éclipses de Lune. L'idée d'Aristote que les fossiles façonnés directement dans la boue à partir d'une « force formatrice», « mystérieuse », fit référence, pendant deux milles ans. Bouillet (1986), a explicité que l'interprétation erronée de l'origine des fossiles n'est qu'un obstacle de confusion entre les êtres animés et ceux inanimés.

Plusieurs travaux de recherches historiques ont relaté les courants d'idées multiples sur la naissance du concept de fossile, de l'antiquité jusqu'au début du XIX<sup>ème</sup> siècle. Nous avons synthétisé l'historique des obstacles essentiels liés au concept fossile sur le tableau 4, cités dans les études de Gouanelle, et Schneeberger (1995) et Crépin-Obert (2010).

**Tableau 4 : Synthèse des théories d'interprétation d'origine des fossiles (d'après Gouanelle, et Schneeberger, (1995) ; Crépin-Obert (2010))**

<b>Modèles explicatifs et auteurs partisans</b>	<b>Théories</b>	<b>Obstacles</b>
Ristoro d'Arezzo au XIII <sup>ème</sup> siècle ; Descartes, XVIII <sup>ème</sup> siècle	<b><i>L'explication diluvienne</i></b> les fossiles comme vestiges de l'invasion des eaux	Obstacle pour comprendre la formation des roches sédimentaires  Obstacle d'immensité du temps géologique
Début du XVI <sup>ème</sup> siècle en plein âge des Lumières Langius en 1708 Elie Bertrand en 1752	<b><i>La thèse de la génération spontanée</i></b>  les fossiles sont des formations minérales spontanées	Obstacle de distinction entre les êtres vivants les roches  Obstacle d'immensité du temps géologique
Dès le VII <sup>ème</sup> , Thaïes et Anaxlmandre Léonard de Vinci et Bernard Palissy XVI <sup>ème</sup> siècle Voltaire et Guettard au siècle des Lumières	<b><i>L'explication par l'ancien séjour naturel de la mer</i></b>  Les fossiles comme témoins de déplacement de la mer	Obstacle d'admission de déplacement des mères  Obstacle d'admission de l'origine organique des fossiles  Obstacle d'immensité du temps géologique

Par ailleurs, les ouvrages de Gohau (1990) et d'Ellenberger (1988) ont cité des exemples d'interprétations des fossiles souvent contradictoires et coexistants : ce sont des animaux qui ont vécu dans le passé et qu'une vertu minéralisante a changé en pierre (d'après Avicenne). Les nummulites étaient considérées comme les restes pétrifiés de la nourriture des ouvriers qui ont construit les pyramides d'Égypte, sur lesquelles on observe ces fossiles. Bernard Palissy a avancé l'idée que les fossiles sont des espèces perdues parce qu'elles sont trop pêchées. D'autres, comme les coquilles sont disséminées sur la Terre au moment du Déluge ou encore, ce sont les reflets d'antiques insuccès du Créateur (ou même des créations de Satan).



Aussi, les fossiles en tant qu'objet ont été remarqués depuis l'antiquité. Cependant, ils étaient tardivement admis et par la suite ils ont constitué une science paléontologique séparée de la minéralogie. Ceci grâce à l'établissement des premiers principes de la géologie moderne. En effet, Georges-Louis Leclerc de Buffon (Buffon et Leclerc ,1778), a ouvert la voie de la création de la paléontologie en démontrant que la Terre avait une longue histoire. Lamarck en 1801, a énoncé la première définition du terme fossile : « *Je donne le nom de fossile aux dépouilles des corps vivants, altérés par leur long séjour dans la terre ou sous les eaux, mais dont la forme et l'organisation sont encore reconnaissables* ». Le père de la géologie moderne, George Cuvier (1830), a inventé la paléontologie et l'anatomie comparée qu'il a mise au point lors de la découverte du Mosasaurus. C'est celui qui a décrit les restes d'animaux disparus avec la méthode de l'anatomie comparée qui a fait entrer les espèces fossiles dans la classification zoologique et a reconstitué les faunes du passé. Darwin (2013), a publié, ses interprétations sur son livre « *L'origine des espèces* ». La théorie de l'évolution, énoncée dans cet ouvrage a bouleversé les idées reçues en sciences biologiques, notamment en paléontologie, zoologie et biogéographie. Cette théorie a permis de mieux comprendre les découvertes des paléontologues.

### **3. Obstacles historiques du concept fossile**

Les fossiles sont des marqueurs précis de temps sur une échelle stratigraphique par chronologie relative ; ce sont aussi des indicateurs de faciès des paléo environnements ; et enfin, ils constituent des témoins en faveur de la théorie synthétique de l'évolution des espèces (Crépin-Obert, 2010).

Plusieurs travaux en didactique des sciences de la terre ont abordé les diverses difficultés rencontrées par les élèves lors de la construction du concept fossile. Astolfi et Peterfalvi (1993 : par Laperrière-Tacussel, 2002) ont souligné que les concepts de fossile et de la fossilisation constituent le noyau convergent de plusieurs obstacles épistémologiques liés à la construction des concepts de temps, d'espace et de transformation de la matière. En particulier, Crépin-Obert, (2010) a démontré, que l'explication d'origine des fossiles se heurte fréquemment, chez les élèves, à l'obstacle d'artificialisme. Ces élèves pensent que les fossiles ont été taillés par l'Homme dans le passé et donc qu'ils ne peuvent pas provenir d'êtres vivants qui se seraient fossilisés. Gouanelle et Schneeberger (1995), ainsi que Laperrière-Tacussel (2002) ont montré

aussi, que les élèves français au primaire considèrent les fossiles comme des constructions humaines en raison d'un obstacle artificialiste. De ce fait, Allain (1995), qualifie cet obstacle comme psychogénétique, puisqu'il est lié au développement intellectuel des élèves et ne concerne qu'une tranche d'âge bien définie (se manifeste généralement chez les élèves du primaire).

Ces chercheurs ont aussi signalé la forte présence des conceptions fixistes ; pour ces enfants la roche encaissante est immuable et préexiste, l'organisme s'imprimant en surface, ou y rentrant en force, ou par l'effet de la durée. À ces difficultés s'ajoutent celles liées à la perception des durées et de la chronologie.

De nos jours, on accepte que le fossile se forme en même temps que sa roche encaissante par le fait que les parties fossilisables d'un organisme ont été enfouies dans le sédiment qui s'est transformé progressivement en roche. Cependant, les élèves éprouvent des difficultés à imaginer cette simultanéité entre les phénomènes : fossilisation et sédimentation. Ceci est lié, selon Sauvageot- Skibine (1995) à un obstacle de conception de la préexistence de la roche par rapport au fossile.

Dans sa thèse de doctorat, Crépin-Obert (2010) a détecté chez des élèves de CM1, CM2, et 4ème année de collège, trois grands types d'obstacles polymorphes (à plusieurs facettes) : *l'artificialisme, l'animisme et l'analogisme*. Dans le même travail, il a repéré les obstacles historiques liés au concept fossile en rapport avec le temps, cité dans les travaux de d'Ellenberger (1988 et 1994), de Gohau (1990), de Buffetaut (1998) et de Bouillet et Gaudant (2000). Ces obstacles sont donnés dans le tableau 5 ci-dessous :

**Tableau 5 : Obstacles historiques, liés au concept fossile, repérés chez les élèves de CM1, CM2 et 4<sup>ème</sup> année de collège (crépin-Obert, 2010)**

<b>Obstacles</b>	<b>Exemples de formulation d'élèves de Cycle3 (9-11ans)</b>	<b>Objectifs-obstacles</b>
Obstacle1 : Vision fixiste a <b>temporelle</b> ou <b>temps historique</b>	<i>Absence de références temporelles</i> Ou (1) <i>«Il faut quelque fois plusieurs siècles pour qu'un animal se</i>	Prendre conscience d'un temps long géologique, de sa durée et prendre des repères sur une échelle des temps géologiques stratigraphiques
Obstacle2 : <b>Le temps, facteur causal suffisant</b>	(1) <i>«La carcasse d'un animal mort qui Devient une pierre avec le temps»</i>	Dépasser la magie du facteur temps et Envisager une pluralité de paramètres (temps, pression, circulation d'eaux salines dans les sédiments)
Obstacle3 : Vision fixiste, <b>prégnance de l'état actuel</b>	(2) <i>«le squelette ou la coquille s'incruste dans une pierre (dans l'eau ou à l'air libre)»</i>	Concevoir une transformation de la Matière et une contemporanéité des fossiles et de la roche encaissante
Obstacle4 : Singulariser un <b>événement unique</b> ou un phénomène isolé dans le temps et l'espace	-Durcissement : (1) <i>«c'est la coquille d'un animal prise dans la terre qui a durci. Il est resté la trace de la coquille ou des os»</i> -Dessèchement :(4) <i>«Il se fait enfouir par la chaleur, son corps se fait recouvrir et ça prend la forme de l'animal» ou «un animal qui a laissé sa coquille au soleil et la coquille s'est fossilisé»</i> -Écrasement :(2) <i>«Un fossile est un animal préhistorique qui est coincé entre deux pierres, donc on peut voir sa</i>	Généraliser un évènement reproductible et Un processus par : -une pluralité de phénomènes -une succession de phénomènes actifs organisés dans le temps -une concomitance/simultanéité/synergie de phénomènes

<p>Obstacle5 <b>Une catastrophe naturelle</b></p>	<p>(4)-Éruption volcanique : «C'est des fois de la lave sur des animaux ou des hommes, des arbres, qui a refroidi»</p> <p>(4)-séisme : « un animal ou un végétal meurt sur une pierre, puis par les années le corps s'est compressé avec</p>	<p>Envisager des causes actuelles et un processus long</p>
<p>Obstacle6 : <b>métamorphose</b></p>	<p>(4) «L'ammonite est un escargot»</p>	<p>Passer à une vision populationniste de l'espèce qui évolue par rapport à la stabilité d'un individu ; disparition et apparition d'espèces ; parenté entre groupes</p>
<p>Obstacle7 : Le fossile est prioritairement un animal : une frontière est établie entre le vivant animal et le non vivant végétal</p>	<p>Citations de fossiles le plus souvent d'animaux :(4) «bête morte, escargot, coquillages, os de dinosaures, insecte, oursin»</p>	<p>Concevoir l'unité du monde vivant qui Peut se fossiliser, animal comme végétal et humain</p>
<p>Obstacle 8 : Le phénoménisme, la contiguïté du fossile et de la roche assimile le Fossile à la matière minérale, sans avoir pour origine un organisme</p>	<p>(1) « Le calcaire, c'est lui qui fait les fossiles »</p>	<p>Structurer une frontière entre le monde minéral et le monde vivant organique parmi le monde naturel et relier un fossile à un organisme vivant</p>
<p>Obstacle9 : l'artificialisme</p>	<p>(1) « pierre taillée ; caillou taillé par nos ancêtres ; c'est sculpté, gravé ou moulé par quelqu'un »</p>	<p>Structurer une frontière entre le monde naturel et le monde technique, prendre des repères temporels entre les temps géologiques, préhistoriques et historiques</p>
<p>Obstacle 10 : l'anthropomorphisme ou animisme</p>	<p>(4) « L'animal (fossile) s'est caché dans la pierre »</p>	<p>Différencier le vivant de l'inanimé en dissociant les comportements animaux des caractéristiques humaines ou en évacuant l'intentionnalité dans le processus naturel de fossilisation</p>

À propos d'évolution des espèces, ce même auteur (Crépin-Obert, 2002), a mis en évidence divers types d'obstacles : la non maîtrise de la variable temporelle, des notions d'ancêtres et d'espèces, la polysémie du mot évolution, la confusion entre le cycle de vie d'un être vivant et évolution. Dans le même sujet, Lecoindre (2002) a expliqué l'attitude fixiste des élèves (obstacles de l'immuabilité des espèces), par la non perception de la lenteur relative des phénomènes mis en jeu dans l'évolution ou dans la création de nouvelles espèces par hybridation. Finalement, Triquet et Orange (2007), ont souligné l'obstacle d'accepter le hasard des mécanismes et comprendre la contingence d'une histoire irréversible des vivants.

## **Conclusion**

Cette étude bibliographique montre que la problématique d'acquisition des concepts géologiques demeure un champ fertile à la recherche didactique. Pour notre part, les études marocaines traitant les difficultés d'assimilation des concepts géologiques sont très rares, en l'occurrence celles liées à la mobilisation des facteurs temps et espace. Pour cette raison, nous nous sommes intéressés à ces deux facteurs clés, lors d'assimilation des concepts : fossile, fossilisation et gisements fossilifères.

## **B. État des lieux de l'enseignement des Sciences de la Terre au Maroc**

Actuellement, le système éducatif marocain (Premier rapport du Conseil supérieur de l'Enseignement, 2008) se compose de trois cycles. Le cycle fondamental qui englobe l'enseignement préscolaire et primaire, le cycle secondaire renfermant le secondaire collégial et qualifiant et le cycle supérieur universitaire. En septembre 2003, l'État a instauré une nouvelle réforme universitaire. Dans cette nouvelle réforme, le cycle supérieur est structuré selon l'architecture européenne, dite LMD (Licence, Master, Doctorat) ou système modulaire et semestriel, défini en 1999 à Bologne.

Les facultés des sciences sont une partie importante du cycle supérieur universitaire. Ce sont des établissements à accès ouvert et accueillent chaque année des dizaines de milliers de nouveaux bacheliers dans les disciplines scientifiques (mathématiques, physique, chimie, informatique, biologie et géologie). Le choix d'inscription de ces nouveaux étudiants est libre

dans les différentes filières et se fait d'une façon très inégale. Dans ce qui suit, nous relatons en particuliers, l'état des lieux de l'enseignement des Sciences de la Terre dans les cycles secondaire et supérieur marocains.

## **I. L'enseignement des Sciences de la Terre dans les programmes secondaires marocains**

### **1. Les programmes**

Dans les programmes secondaires marocains, l'enseignement de la géologie ou Sciences de la Terre (ST) est une composante fondamentale des programmes des Sciences de la Vie et de la Terre (SVT).

Au collège, l'enseignement de la géologie est limité à la première et à la deuxième année. En première année, pour les élèves de 12 à 13 ans, les cours de géologie portent sur la géodynamique externe : genèse et classification des roches sédimentaires, notions de fossile et fossilisation et initiation à la notion d'échelle bio-stratigraphique. En deuxième année, ces cours se focalisent sur la géodynamique interne : la dérive des continents, la notion de plaques lithosphériques, le volcanisme, les séismes et les différents types des chaînes de montagne dans leur contexte tectonique ainsi que la mise en évidence de la structure interne de la terre à partir des études sismiques. Nous remarquons, dans les programmes collégiaux, la quasi-absence d'un chapitre traitant l'explication de différentes étapes de la fossilisation. Ces programmes ne donnent qu'une simple définition de la fossilisation sans aucune indication des processus mis en jeu et leur évolution dans le temps et dans l'espace.

Au secondaire qualifiant, les chapitres consacrés à la géologie se répartissent sur les deux dernières années composant ce cycle : la première année baccalauréat (1<sup>re</sup> BAC) et la deuxième année baccalauréat (2<sup>e</sup> BAC). Ces cours de géologie comprennent : En 1<sup>re</sup> année BAC, la reconstitution de l'histoire géologique des paléo-environnements (notion de biozone, notions de fossiles de faciès et de fossiles stratigraphiques et intérêt des fossiles pour la construction de l'échelle bio-stratigraphique). En 2<sup>e</sup> année BAC, élèves de 17 à 18 ans, les programmes portent sur l'étude de la formation des chaînes des montagnes dans leurs contextes tectoniques (Chmanti-Houari et al, 2017). Encore une fois, on constate l'absence de consignes dans le

programme pour mentionner la nécessité d'enseigner les processus mis en jeu dans la fossilisation et leur évolution spatio-temporelle.

Ainsi, le concept fossile est présent, comme concept clé, dans les programmes au secondaire collégial et qualifiant. Cependant, les orientations pédagogiques concernées (du cycle secondaire) négligent la partie de la reconstitution des processus mis en jeu dans la fossilisation et leur évolution spatio-temporelle. Comment l'élève peut-il assimiler le concept fossile sans concevoir/imaginer l'histoire de sa formation ? Comment peut-on l'aider à se positionner dans l'espace et le temps géologique et assimiler les intérêts spatio-temporels des fossiles sans reconstituer la progression bidimensionnelle de ce phénomène ? En effet, la fossilisation, c'est-à-dire la transformation d'un organisme mort en fossile, est un phénomène qui se réalise en plusieurs étapes se succédant dans le temps et dans l'espace : mort et dépôt de l'organisme, surplace ou après transport ; ensevelissement du cadavre ; dissolution des parties molles et enfin minéralisation ou formation de moules internes ou externes selon les propriétés chimiques des parties dures et du sédiment encaissant.

L'enseignement secondaire qualifiant constitue une phase intermédiaire entre l'enseignement collégial et supérieur. Lors de cette phase, l'élève doit acquérir un certain nombre de compétences scientifiques et techniques qui lui permettent de s'orienter dans l'enseignement supérieur. L'enseignement de la géologie au cycle secondaire (collégial et qualifiant) offre à l'apprenant divers types de compétences, dont les plus intéressantes pour notre étude sont :

- ✚ La maîtrise de la démarche expérimentale et l'analyse contrôlée au laboratoire ;
- ✚ L'observation sur le terrain et la modélisation des phénomènes géologiques ;
- ✚ Le positionnement des phénomènes géologiques dans le temps et dans l'espace.

**Remarque :**

Suite à la politique d'arabisation adoptée par l'État, depuis les années 80, l'enseignement des disciplines scientifiques dans l'enseignement public primaire et secondaire est dispensé en langue arabe. Par contre aux universités, l'enseignement de ces disciplines se fait en langue

française. Ce passage de l'enseignement de la discipline en arabe vers son enseignement en français constitue un obstacle linguistique pour l'acquisition des concepts scientifiques (Sefrioui, 2004 ; Berdouzi, 2000).

## **2. Place de l'enseignement de la biologie et celui de la géologie au cycle de l'enseignement secondaire collégial et qualifiant**

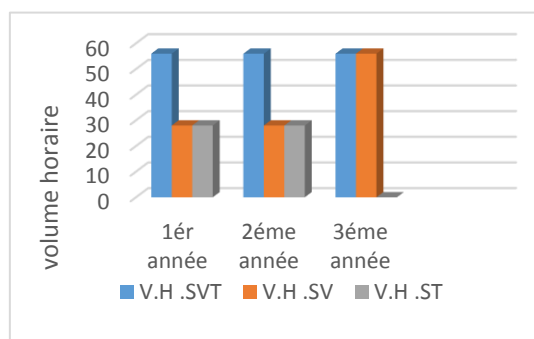
Au secondaire, les sciences de la Terre constituent toujours une discipline conjointe à celle des sciences de la vie. Ces deux parties sont nommées depuis les années 90 les Sciences de la Vie et de la Terre (SVT). Les élèves des filières scientifiques et techniques industrielles reçoivent un enseignement des sciences de la Vie et de la Terre entre deux et six heures par semaine selon les filières. Les élèves des filières littéraires ont une séance de deux heures hebdomadaires pendant les deux années qui précèdent la classe terminale (Tronc commun lettres, première année lettre et sciences humaines).

Or, la comparaison du volume horaire (Figure 2 et 3) entre l'enseignement de la biologie et de la géologie au cycle de l'enseignement secondaire collégial et qualifiant, mentionné dans le document officiel relatif aux orientations pédagogiques des sciences de la vie et de la terre (Direction des curricula, 2007), montre une disparité concernant le temps alloué à ces deux disciplines.

Cette simple comparaison de volumes horaires montre que le cursus scolaire secondaire marocain en SVT se centre essentiellement sur la biologie. Ainsi, le volume horaire imparti aux Sciences de la Vie est nettement plus important que celui consacré aux Sciences de la Terre. Ce volume horaire réduit n'est certainement pas sans affecter négativement l'attrait de cette discipline auprès des élèves et même pour quelques enseignants. D'autre part, il est à noter que c'est le même enseignant qui assure les cours de la biologie et de la géologie. De plus, en raison du volume horaire restreint et du programme que nous estimons relativement long, plusieurs enseignants des SVT se trouvent contraints d'annuler les sorties géologiques ainsi que certaines séances de travaux pratiques, pourtant essentiels pour l'assimilation et la compréhension de la géologie (Chmanti-Houari et al, 2016 ; 2017).

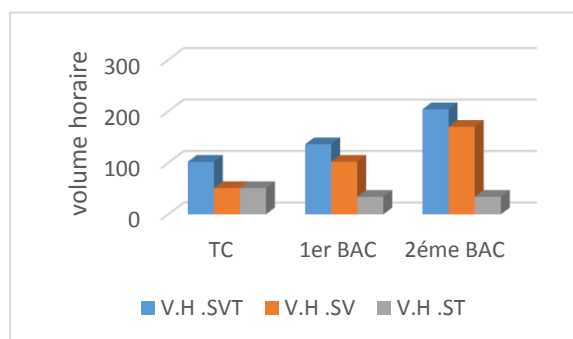


**Figure. 2 : Volumes horaires des Sciences de la Terre (ST) et des Sciences de la Vie (SV) au collège.**



	1 <sup>er</sup> année	2 <sup>ème</sup> année	3 <sup>ème</sup> année
V.H.SVT	56	56	56
V.H.SV	28	28	56
V.H.ST	28	28	0
% ST/SVT	50%	50%	0%

**Figure. 3 : Volumes horaires des Sciences de la Terre (ST) et des Sciences de la Vie (SV) au secondaire qualifiant**



	TC	1 <sup>er</sup> BAC	2 <sup>ème</sup> BAC
V.H.SVT	102	136	204
V.H.SV	51	102	170
V.H.ST	51	34	34
% ST/SVT	50%	25%	16,70%

### 3. Rapport des élèves et des enseignants avec les ST

Plusieurs recherches à l'échelle internationale, se centrant sur l'enseignement-apprentissage des ST, ont mentionné que cette discipline est non aimable (Chalak et El Hage, 2011 ; Boughanmi, 2009 ; Orange, 2003), aussi bien pour les élèves que pour les enseignants. Les travaux marocains, traitant la même thématique, ont soutenu ce constat. En effet, nous avons montré que la majorité des lycéens, ont éprouvé une certaine réticence envers l'apprentissage de la géologie. A leurs avis, c'est une discipline très compliquée et non accessible. De même, Rassou et al. (2017), confirment que les élèves sont très peu impliqués dans les cours de la géologie alors qu'ils s'intéressent davantage au cours de la biologie.

### 4. Contraintes et difficultés d'enseignement des ST au secondaire

L'enseignement de la géologie au secondaire marocain est jalonné par une diversité de difficultés et de contraintes de pratiques en classe (Lakhloufi, 2014). Les recherches didactiques menées dans ce cadre ont montré que les contraintes et les difficultés ne concernent pas seulement les élèves mais aussi leurs enseignants (Rassou et al ,2017).

Dans ce contexte, des chercheurs marocains se sont penchés sur la détection des difficultés relatives à l'enseignement-apprentissage de la géologie au secondaire qualifiant. Rassou et al. (2017) ont montré que 86,2% des enseignants des SVT ne font pas de sorties de terrain même si la nature des cours enseignés en géologie exige l'organisation de ces sorties. Ces enseignants expliquent ce manque de pratiques de terrain par le nombre élevé des élèves, l'éloignement des sites et des terrains géologiques, etc. Sanchez et al. (2004), ont signalé la présence de lacunes en connaissances géologiques, pour les enseignants licenciés en biologie. Ces derniers avouent qu'ils ne sont pas capables d'organiser un travail d'investigation scientifique sur le terrain. Dans ce sens, Rassou et al. (2017) ont recommandé l'organisation des sorties géologiques en présence des accompagnateurs et animateurs géologues spécialisés.

Certainement, la géologie est une discipline de terrain par excellence. Les sorties géologiques de terrain sont des situations réelles où l'apprenant se met « *en contact direct avec l'environnement naturel ou culturel, avec des acteurs dans leur milieu de travail, avec des œuvres originales* », écrit Clair et Gauthier (2001). La sortie est aussi bénéfique pour l'interaction en classe, du fait qu'elle permet le renforcement des relations humaines entre élève et professeur (Dalle et Scandolera, 2000). Par conséquent, l'annulation de ce type de situation pourra, sans doute, influencer négativement l'acte d'enseignement-apprentissage de cette discipline (Lacoste, 2001 ; Turki, 2012).

Par ailleurs, les activités expérimentales ou travaux pratiques (TP) constituent évidemment un support essentiel de l'enseignement des disciplines scientifiques. Ils constituent le cadre de l'apprentissage de la démarche expérimentale. Lors de l'apprentissage de cette démarche, l'élève, en manipulant et cherchant, se rend de plus en plus motivé (Vialle, 1999). Néanmoins, des études ont souligné le taux faible du recours à l'expérimentation en classe de géologie. (Kaid Rassou et al, 2017 ; Sayad et al, 2014). Toutefois, la maîtrise de la démarche d'expérimentation est une finalité principale d'enseignement secondaire (Direction des curricula, Orientations pédagogiques des SVT, 2007). Même des expériences réalisées en classe, en nombre limité, sont jugées non assimilées par les élèves. Ces derniers se plaignent de la dominance du rôle de l'enseignant dans la réalisation des manipulations. Les professeurs, argumentent cette tendance vers l'enseignement théorique par l'acquisition limitée ou

l'indisponibilité de matériel de laboratoire (Salamé, 1991), ou un programme trop long (Sayad et al, 2014).

## **II. L'enseignement-apprentissage des ST à l'université marocaine.**

La réforme de l'enseignement supérieur au Maroc s'est mise à jour selon les systèmes éducatifs des pays européens (Bourgeoini et Khattabi ,2007). Introduite selon la loi 01-00, la nouvelle réforme met l'apprenant au centre de l'action enseignement-apprentissage, en consolidant son autoformation et construisant ses compétences dans son cadre socioculturel. Ceci se fait en renforçant l'autonomie pédagogique, administrative et financière de l'Université. La nouvelle architecture pédagogique (LMD), organise le système d'enseignement universitaire en un ensemble de filières. Chaque filière pour une spécialité donnée est constituée d'un ensemble de modules répartis en semestres. Chaque module renferme un ensemble d'activités pédagogiques dans un domaine précis.

Parmi les objectifs fixés par le Conseil supérieur de l'Éducation, de la Formation et de la Recherche scientifique (CSEFRS) vision stratégique de la réforme de l'enseignement (2015-2030) :

- ✚ Développer l'utilisation des TIC dans l'enseignement ♣ Renforcer la formation et alléger la formation en pressentie ;
- ✚ Faciliter l'accès aux services et ressources numériques pour les étudiants, les enseignants et le personnel administratif ;
- ✚ Généraliser la couverture Wifi dans les établissements d'enseignement supérieur et les cités universitaires ;
- ✚ Promouvoir et développer la formation et l'encadrement à distance
- ✚ Modernisation de l'Enseignement Supérieur ;
- ✚ Répondre aux besoins du monde socio-économique.

## **1. La filière STU dans les cursus universitaires marocains (système LMD)**

La filière STU est ouverte aux titulaires d'un baccalauréat scientifique (Sciences expérimentales, Sciences Mathématiques) ou tout diplôme reconnu équivalent et répondant aux critères d'admission définis par les Universités (Cahier de charge de la filière STU).

Durant les trois années de cette formation pour la licence, les modules de bases sont structurés comme suit (Figure.4) :

En première année, il y a dans le socle tronc commun de la filière STU deux modules parmi huit modules de base : module de géologie générale du semestre 1, module de la géodynamique externe et de la géodynamique interne du semestre 2. Ces modules visent à mettre en évidence l'aspect dynamique de la terre et à faire apprendre aux étudiants la relation entre cette dynamique et les principaux phénomènes géologiques externes et internes.

En deuxième année ou socle disciplinaire (semestres 3 et 4), les étudiants de la filière STU détiennent l'essentiel des bases nécessaires pour la compréhension des mécanismes du fonctionnement ainsi que l'historique de la terre, en termes :

- ✚ d'initiation aux différentes techniques d'analyse des matériaux (tectonique analytique ; pétrographie sédimentaire ; chimie appliquée à la géologie ; pétrologie métamorphique).
- ✚ d'initiation aux techniques du travail sur le terrain (cartographie, échantillonnage, repérage et prise de mesures).
- ✚ de sensibilisation à l'usage des techniques d'information et de communication et des logiciels communément utilisés en sciences de la terre (statistiques ; géo-informatique).

En troisième année, le socle fin de parcours (semestres 5 et 6) englobe 6 modules de spécialité ou professionnalisant en plus d'un stage comptant pour 2 modules. Durant le semestre 6, des spécialités sont à choisir par l'étudiant comme ressources minérales, Géologie de l'environnement,...

Les étudiants licenciés en STU, acquièrent les compétences nécessaires à la compréhension des grands processus régissant la formation et l'évolution des matériaux terrestres.

Selon le cahier des charges de la filière STU, des facultés des sciences, les enseignements dispensés ont pour objectifs que les étudiants doivent :

- ✦ Être aptes à mobiliser les connaissances fondamentales acquises durant la formation ;
- ✦ Maîtriser les méthodes et les outils pour identifier et résoudre les problèmes ;
- ✦ Savoir collecter, traiter et interpréter les données ;
- ✦ Être en mesure de rédiger un document de synthèse ;
- ✦ Savoir présenter oralement, au moyen des outils de bureautique, les résultats d'une recherche (bibliographique, travaux expérimentaux, stage de terrain...).

Les étudiants sont peu intéressés par cette filière et s'orientent plus vers d'autres filières notamment les SVI. L'étude statistique sur les étudiants de première année de la faculté des sciences Dhar El Mehrez de Fès, pendant les dernières années, montre bien une diminution du nombre des étudiants inscrits en STU de 2005 à 2011 (Chmanti-Houari et al, 2015). Les étudiants relient leurs réticences envers cette discipline à des difficultés d'ordre pédagogique (difficultés des concepts géologiques, discipline de terrain, manque de travaux pratiques, etc.), ainsi qu'à une méconnaissance des différents domaines d'application et les embauches de cette discipline.

Figure.4 : Organigramme de l'architecture de la filière Licence fondamentale en STU

<i>Filière Licence fondamentale SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS (STU)</i>							
S1	Biologie Cellulaire	Embryologie-Histologie	Géologie générale	Mathématiques	Physique I	Chimie Générale	Langue et Terminologie I
S2	Biologie des organismes animaux	Biologie des organismes végétaux	Géodynamique externe	Géodynamique interne	Physique II	Chimie Organique	Langue et Terminologie II
S3	Tectonique analytique	Tectonique globale	Pétrologie magmatique	Pétrologie métamorphique	Physique appliquée à la géologie	Statistiques	
S4	Pétrographie sédimentaire	Sédimentologie	Paléontologie	Stratigraphie	Géoinformatique	Chimie appliquée à la géologie	
S5	Géologie du Maroc 1	Géologie du Maroc 2	Métallogénie	Hydrogéologie	Géophysique	Géochimie	
<b>BOUQEUT OPTIONNEL 1 : RESSOURCES MINERALES</b>							
S6	Gîtologie et prospection minière	Substances utiles	Géochimie appliquée	<i>Dynamique de la lithosphère et transfert de la matière</i>	Projet tutoré	Projet tutoré	
<b>BOUQEUT OPTIONNEL 2 : GEOLOGIE DE L'ENVIRONNEMENT</b>							
S6	Sols et altérites	Climatologie et géomorphologie	Géorisques	Levés géologiques et traitement de données	Projet tutoré	Projet tutoré	

## **2. Contraintes d'enseignement de la géologie au cycle supérieure marocain**

Rares sont les recherches qui se sont intéressées aux difficultés que rencontrent les étudiants en géologie (Chmanti et al, 2015 ; 2016 ; Lamarti et al, 2009 ; Ghaloudi et al 2006). Ces travaux rapportent tout de même, que, dans nos universités, les sorties sur le terrain ne sont pas toujours programmées en raison de gestion administrative, de manque de moyens logistiques,... Ghaloudi et al. (2006), ont souligné que l'apprentissage dans la Filière STU s'affronte à de multiples difficultés. En termes de problèmes langagiers (Chakib et al, 2013), on relève l'absence des outils didactiques d'enseignement- apprentissages et des difficultés d'encadrement des sorties de terrain (Lamarti et al, 2009). Aussi, nous constatons que les étudiants marocains sont très peu impliqués dans les sciences de la Terre à cause des difficultés d'assimilation de cette discipline. De plus, les apprenants pensent que la géologie est une discipline plutôt masculine et ses débouchés sont limités. Les enseignants de géologie renvoient cette problématique aux difficultés de la matière qui est une discipline de terrain, aux programmes peu adaptés à l'attente des étudiants et au marché d'emploi qui n'est pas bien structuré et réglementé.

## **Conclusion**

Les travaux antérieurs, montrent une situation angoissante d'enseignement-apprentissage de la géologie. Cet état critique, ainsi que la rareté des travaux pédagogiques et didactiques concernant cette problématique, nous ont interpellé sur les conditions d'apprentissage de cette discipline. Nous pensons aussi que les programmes dans l'enseignement secondaire ont un effet non encourageant par la suite sur l'orientation et la spécialisation dans l'enseignement universitaire.

Étant conscient que la majorité des difficultés d'assimilation des concepts géologiques se rapportent en grande partie à la mobilisation des facteurs temps et espace, nous nous sommes penchés sur l'évaluation de la capacité des apprenants (lycéens ; étudiants et enseignants stagiaires) pour appréhender ces facteurs. Pour atteindre nos objectifs, nous avons choisi d'étudier la conception et le degré d'assimilation des notions de fossile, de la fossilisation et des mécanismes de la formation des gisements fossilifères auprès des apprenants cités ci-dessus.

**Chapitre 2 : Technologies d'Information et de  
Communication(TIC), nouvelles pédagogies, nouveaux  
paradigmes**



## **Introduction**

Au début des années 2000, l'essor des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) dans l'enseignement supérieur a créé une dynamique dans l'université qui a commencé à changer et profiter progressivement des apports inédits que fournissent les technologies numériques. Cependant, la question d'efficacité d'intégration de ces technologies dans les pratiques d'enseignement constitue jusqu'à maintenant un champ de discussion fertile au sein de la communauté scientifique. Le présent chapitre entreprend de mettre le point sur l'état des lieux de l'intégration du numérique dans l'enseignement des Sciences, ainsi que les effets d'usage, les contraintes, les succès et les échecs de cette intégration, en l'occurrence, la question d'efficacité dans les pratiques d'enseignement des Sciences de la Terre.

### **I. Généralités sur les TIC**

#### **1. Définitions**

Les technologies de l'information et de la communication (TIC) renvoient à un ensemble de technologies fondées sur l'informatique, la microélectronique, les télécommunications (notamment les réseaux), le multimédia et l'audiovisuel qui, lorsqu'elles sont combinées et interconnectées, permettent de rechercher, de stocker, de traiter et de transmettre des informations sous forme de données de divers types (texte, son, image fixe, vidéo, etc.), et permettent l'interactivité entre des personnes et des machines (Basque, 2005). Par conséquent, les TIC permettent aux étudiants et aux professeurs non seulement de présenter et de prendre connaissance d'informations sous divers formats médiatiques, mais également d'en rechercher, d'en produire, d'en communiquer, d'en analyser et d'en transformer. (Basque, 2005). Pour Bruce et Levin (1997), les TIC sont des médias d'apprentissage avant tout parce qu'elles ont une fonction de médiation, c'est-à-dire qu'elles constituent des moyens de mettre en relation des personnes, des objets et des idées.

#### **2. Les ressources numériques**

Ces dernières années, la révolution des nouvelles technologies a envahi notre vie, plus particulièrement, le domaine éducatif par l'émergence des TICE (Technologies de l'Information

et de la Communication appliquées à l'Enseignement). L'intégration des TIC dans l'action d'enseignement-apprentissage exige un changement des approches d'apprentissage, notamment par les outils de construction des savoirs adaptés aux nouvelles situations intégrant les TIC. Les ressources numériques correspondent donc à un nouveau type de ressources documentaires exploitées dans l'enseignement. Elles constituent l'ensemble des services en ligne, des logiciels de gestion, d'édition et de communication (portails, logiciels outils, plates-formes de formation, moteurs de recherche, applications éducatives, portfolios). Il s'agit aussi des données (statistiques, géographiques, sociologiques, démographiques, etc.), des informations (articles de journaux, émissions de télévision, séquences audio, etc.) et des œuvres numérisées (documents de références générales, œuvres littéraires, artistiques ou éducatives, etc.). Celles-ci deviennent utiles à l'enseignant ou à l'apprenant dans le cadre d'une activité d'enseignement/apprentissage utilisant les TIC pour une activité ou un projet présenté dans le cadre d'un scénario pédagogique (Bibeau, 2005). Pour Koper, (2003) :

*« toute ressource numérique, reproductible et adressable, utilisée pour réaliser des activités d'apprentissage ou d'encadrement de l'apprentissage et rendue accessible à d'autres pour leur utilisation ».*

La révolution des TIC a mis en relief de nouveaux besoins en termes de pédagogie, de conditions et d'outils d'apprentissage et de formation. L'une des réponses à ces besoins est l'utilisation des médias. Un média est un outil, un support de diffusion d'information qui sert de médiateur entre le monde réel et la pensée d'un être humain (Denis, 2003). De même, Legendre (1993) l'a définie comme :

*«moyens basés sur la technologie, permettant de diffuser et de conserver des informations ainsi que de développer des attitudes, de susciter une rétroaction et de favoriser l'expression».*

Leclercq et Denis (1999) appellent Multimédia une situation qui combine plus de deux canaux. C'est l'association de techniques informatiques, audiovisuelles et parfois de télécommunications permettant d'exploiter de manière interactive des données numériques.

L'émergence des TIC dans le domaine éducatif a impliqué la mise sur réseau en continu de nouvelles connaissances à transmettre. La qualité de médiatisation de ces connaissances a évolué de plus en plus grâce aux potentialités des nouveaux systèmes fortement interactifs, tels l'hypertexte et l'hypermédia. En effet, ils ont permis aux apprenants d'accéder rapidement à une

masse presque infinie d'informations diversifiées et actualisées. Ils leurs offrent aussi l'accès à plusieurs canaux de communication (texte ; image ; son ; images fixes ou animées ou vidéos).

Le système d'hypertexte a été inventé pour la première fois par l'Américain Vannevar Bush en 1945, puis développé par Ted Nelson en 1970 pour offrir les possibilités de l'échange et de l'interactivité.

Les systèmes hypertextes (liens textuelles) ont évolué vers des systèmes hypermédias. Ils correspondent aux systèmes de navigation qui peuvent relier en plus des textes, des graphiques, des animations, des vidéos... Ils permettent aux utilisateurs de se connecter à partir d'une page d'origine à d'autres pages. La toile (internet) est le meilleur exemple.

Dans ce sens, les hypermédias peuvent être des aides didactiques, non seulement d'acquisition, mais aussi de construction des savoirs tout au long de la vie. Denise (2003) souligne que l'hypermédia est un outil intellectuel « *pour penser avec* », que l'apprenant exploite selon ces besoins. En effet, il réalise des tâches, telles que l'exploration, l'approvisionnement, l'expérimentation et la réactivité.

Dans le même sens, Moreira (1991) a mis en évidence les bénéfices de coopération entre la didactique et l'hypermédia dans le cadre des situations de résolution de problème.

Les hypermédias ont prouvé leur pertinence dans l'apprentissage. Ceci est marqué par l'intérêt qu'a apporté la communauté scientifique à l'innovation dans ce domaine. Dans ce contexte, plusieurs auteurs ont souligné la nécessité du développement des didacticiels et des environnements d'apprentissage adaptés et efficaces (Caelen, 2004 ; Tricot et al, 2003). L'intérêt du développement des logiciels pédagogiques (didacticiels, simulations, etc.) s'est révélé dans les manifestations internationales. On cite à titre d'exemple la thématique du premier colloque de l'OTAN qui a évoqué clairement cette première préoccupation qui est toujours actuelle : "Designing Hypermedia for Learning" (Jonassen et Mandl, 1990).

Par ailleurs, parmi les recherches intéressantes qui se sont focalisées sur les théories d'apprentissage avec les hypermédias, on cite les travaux de Don Norman dans le champ de la connaissance, de l'apprentissage et de l'interface homme-machine. Cet auteur a évoqué en 1973

la théorie des schémas et des réseaux structuraux. Il énonce que l'enseignant est un tuteur qui doit avoir une bonne représentation de la matière à enseigner, qui doit être capable de modéliser la structure de cette matière de manière à convenir aux modes de représentation de la connaissance des apprenants, et doit posséder un scénario pédagogique « *stratégies d'enseignement* » (Norman, 1973). Ensuite, il a énoncé sa théorie d'apprentissage par toile (web) qui se résume en trois étapes : accrétion, restructuration et réajustement (Norman, 1987, Jonassen et Mandl, 1990). Norman éprouve un grand intérêt au design de l'interface d'un hypermédia qui doit être standard et significatif. L'interface est le lieu où l'apprenant effectue un apprentissage. Néanmoins, cette tâche est habituellement une quête d'information, une résolution de problème (Norman, 1987). Dans la théorie de Norman, l'enseignement par hypermédias (à titre d'exemple, les didacticiels) doit être conçu par des spécialistes qui maîtrisent le contenu et/ou le problème scientifique et capables de le structurer selon un scénario pédagogique qui permet d'atteindre les objectifs pédagogiques prévus et enfin, le réajuster à tout moment selon les besoins des apprenants.

Dans ce contexte, des études se sont intéressées à la classification des logiciels éducatifs. Selon Guéraud et al. (2004), la classification de ces outils se base sur la logique d'apprentissage proposée par les logiciels pédagogiques conçus. Deux approches ont été distinguées :

- ✚ l'approche *transmission de connaissances* ;
- ✚ l'approche *découverte / construction de connaissances* ;

Cet auteur a signalé aussi que ces différents types de logiciels peuvent être utilisés d'une façon complémentaire.

L'élaboration d'un logiciel éducatif (hyper-document , didacticiel , simulation) s'inscrit dans le cadre de ce que l'on peut considérer comme une variante de la recherche-action, à savoir « recherche-développement » (Guichon, 2006). Ce type de recherche se centre sur l'amélioration des pratiques d'enseignement-apprentissage à travers la création des outils ou des nouvelles applications (Manuel de Frascati, 2002). Les didacticiels appelés tutoriels, exercices, simulateurs ou jeux offrent à un individu une portion de matière et l'élève suit le déroulement prévu par le programme de l'ordinateur (Linard, 1990). Comme toute recherche-développement, l'élaboration d'un logiciel éducatif se fait en plusieurs étapes qui ne sont pas

forcément linéaires. On peut toujours rectifier, amplifier ou aménager ce qui a été prévu antérieurement. Dans son œuvre « Guide pratique de l'E.A.O », Lefevre (1984) a distingué dans le processus de production trois phases : la conception, la réalisation et enfin le suivi qui est une étape de l'évaluation du produit.

Enfin, malgré son apport bénéfique pour l'éducation, les produits numériques ont également des inconvénients qui se manifestent dans la désorientation et la surcharge cognitive (Rhéaume, 1993). D'une part, la facilité d'accès à une infinité d'information dans un temps très court qui dépasse la capacité de mémorisation humaine (Miller, 1956), ce qui entraîne à court terme la surcharge cognitive. De ce fait, pour se libérer, le cerveau humain tend à déverser (oublier) une quantité d'information « avalanche d'informations ». D'autre part, la possibilité de navigation, en passant d'un nœud à un autre, peut entraîner une désorientation. Il risque de troubler l'apprenant qui sera incapable de se situer dans le système « Où suis-je ? », de se disperser en oubliant l'objectif éducatif ciblé « Pourquoi suis-je là ? », ou la tâche à accomplir, « Que dois-je faire ? ». (Rhéaume, 1993).

## **II. Intégration des TIC dans l'enseignement**

### **1. L'impact d'usage des TIC sur l'acte d'enseignement-apprentissage**

Plusieurs recherches ont signalé que l'usage des TIC a un impact positif sur l'acte enseignement/apprentissage. En effet, son intégration dans l'espace éducatif permet d'améliorer l'efficacité de l'école pour la prise en charge des élèves, la continuité du temps d'apprentissage dans et hors classe, ainsi qu'au niveau du lien d'échange et de relations pédagogiques à distance (e-Educ, 2008). En tant qu'outils de médiation, les TIC peuvent aussi faciliter la communication et les échanges d'informations au sein de la classe. De plus, ils peuvent servir comme outil de suivi et de régulation des apprentissages sans cependant alourdir la tâche de l'enseignant (Scallon, 1988) et peuvent augmenter la motivation des étudiants (Marr, 2000). Il s'agit d'un nouveau style d'évaluation formative : l'évaluation formatrice (Durand, 2007). C'est une innovation par les TIC qui engage l'élève dans un apprentissage actif (Tardif, 2006), au cours duquel l'élève peut s'autoévaluer et assurer lui-même la régulation de ses apprentissages. Des auteurs, comme Norman (1991), Pea (1985) et Perkins (1985) considèrent que les outils TIC ou

médias d'apprentissage peuvent amplifier ou encore réorganiser le fonctionnement mental de l'homme.

A son tour, Endrizzi (2008) a signalé que l'internet ne constitue pas seulement un environnement d'apprendre à distance mais il facilite la co-construction des savoirs. C'est une nouvelle culture d'apprentissage favorisée par les médias sociaux qui permettent la création et le partage de contenus en ligne (Attwell, 2010). L'avènement de ces médias sociaux n'a pas changé la nature du savoir mais il a changé notre rapport et notre perception du savoir. On assiste à l'émergence d'un nouveau relativisme (Bouchard, 2011).

Astolphi et al. (1977), ont sélectionné les TIC comme moyen didactique élaboré pour assurer l'aisance d'apprentissage.

Ito et al. (2009) ont décrit l'efficacité des expériences numériques. Ces dernières stimulent l'auto-apprentissage en favorisant une démarche exploratoire autonome par rapport aux apprentissages formels. C'est un moyen pédagogique qui peut soutenir l'apprenant à franchir les traditionnelles barrières liées au statut et à l'autorité. A son tour, Bibeau (2007), en étudiant les conditions agissant sur la réussite de l'intégration des TIC en éducation, de façon générale, a conclu que les TIC améliorent la motivation des élèves et permettent le développement des opérations cognitives d'ordre supérieur. Ensuite, Depover, et al. (2007) pensent que les TIC est un outil puissant qui peut agir positivement sur l'environnement d'apprentissage, les échanges en classe et créer de nouvelles approches pédagogiques.

Par ailleurs, les effets d'intégration des TIC dans l'enseignement secondaire marocain ont constitué une préoccupation de quelques chercheurs dans divers disciplines. Le travail d'Ouazzani (2016) qui a traité les difficultés conceptuelles dans l'optique géométrique a montré quelques effets positifs de remédiation avec des étudiants à l'aide d'un Atelier d'optique géométrique Java (PAR À-COUPS). La recherche menée par Droui (2015) qui s'est centrée sur la même problématique en physique a montré qu'un apprentissage actif basé sur la simulation et ExAO approuve une meilleure compréhension des lois de Newton. Dans son travail sur l'intégration des TIC dans l'enseignement des mathématiques, Oudrhiri (2016) a relaté que le numérique permet de proposer des activités qui facilitent la pratique des démarches

fondamentales des mathématiques (l'expérimentation, l'observation, la conjecture, la déduction, la démonstration, l'organisation et la traduction de données sous diverses représentations graphiques). Le numérique peut aussi renouveler cette discipline, parce qu'il évite la présentation linéaire et permet de mettre en œuvre des situations plus riches et moins exigeantes au niveau du temps. Quant à l'enseignement des SVT, El Madhi et al. (2014) estiment : « *que les TIC représentent une solution, d'une part pour rendre l'élève plus attentif et sérieux en recevant des informations scientifiques et donc s'engage dans le processus d'apprentissage. D'autre part, les professeurs déclarent qu'ils deviennent des animateurs dans la présentation de la leçon* ».

## **2. Les contraintes d'intégration des TIC**

Plusieurs auteurs (Depover et Strebelle, 1997 ; Baron et Bruillard, 2006 ; Coen et Schumacher, 2006), ont souligné que le succès de l'intégration des TIC est conditionné par le contexte, le projet et le degré de collaboration de différents acteurs : enseignants, apprenants et administrateurs.

Dans ce cadre, l'instauration d'une telle nouvelle orientation exige une stratégie claire d'implantation et de changement sur divers plans, et donc faire face à plusieurs contraintes. Karsenti et Gauthier (2006), ont distingué entre deux grandes catégories d'obstacles qui entravent l'intégration des TIC dans l'enseignement : les facteurs externes (liés à l'école, à la société, etc.) et les facteurs internes (liés à l'enseignant ou à l'enseignement). Le rapport de l'institut international de planification de l'éducation (Pelgrum, et Law, UNESCO, 2004) a classé les contraintes d'intégration des TIC en trois volets :

- ✚ *Les infrastructures des TIC ;*
- ✚ *Le développement professionnel ;*
- ✚ *Évolution des structures et leadership.*

A ce titre, malgré la forte volonté qu'a montrée l'État marocain quant à l'intégration des TIC, il convient de signaler que leur intégration réelle dans l'enseignement est très limitée. Ceci est prouvé par des recherches qui se sont intéressées sur la situation d'usage des TIC dans l'enseignement marocain. El Ouidadi (2012), Maouni (2014), El Madhi (2014), Benfares

(2016), se sont basés sur des enquêtes menées auprès des professeurs des Sciences de la vie et de la Terre (SVT) pour mettre en évidence les facteurs déterminants dans l'intégration des TIC dans l'enseignement secondaire marocain. Les résultats obtenus ont mis l'accent sur divers contraintes touchant à l'intégration des TIC. En effet, une formation des enseignants dans les TIC ne semble pas être suffisante pour qu'un enseignant soit capable d'intégrer ces nouvelles technologies dans ces pratiques en classe. Alors que l'enquête de Bidari (2017) a mis en évidence que les enseignants des SVT au Maroc utilisent les TIC, sans adopter, cependant, un scénario pédagogique. Cet auteur a souligné que l'instauration des TIC dans nos classes doit être jumelée d'une pédagogie basée sur la résolution de problème et un scénario pédagogique approprié, pour surmonter les difficultés de gestion d'une classe intégrant les TIC, l'enseignement devrait nécessairement être accompagné d'une formation institutionnelle qui vise le développement des compétences techno-pédagogiques, (pédagogies d'intégration des TIC en classe). De plus, Biaz, et al. (2009) ont insisté aussi sur l'importance de la formation pédagogique des enseignants à l'utilisation optimale des TIC pour l'amélioration de la qualité de l'enseignement. Les recherches citées ci-dessus révèlent aussi que les efforts fournis par l'État pour équiper les établissements publics n'ont pas été suffisantes. En effet, le manque ou l'insuffisance d'infrastructures (matériel informatique et ressources numériques adaptées) et les difficultés de leur maintenance persistent et ralentissent la stratégie d'implantation des TIC dans nos classes. Finalement, Mastafi (2014) a ajouté la contrainte de résistance au changement culturel, comme facteurs importants, freinant la réussite de l'intégration des TIC dans le système éducatif marocain. En fait, certains enseignants montrent une résistance vis-à-vis de l'adoption de nouvelles méthodes faisant appel aux TIC dans la pratique enseignante en s'attachant aux méthodes traditionnelles.

### **III. Les TIC dans le système éducatif marocain.**

L'application des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans le processus enseignement-apprentissage est au centre des préoccupations du ministère de l'Éducation nationale au Maroc depuis 1999, dans la Charte nationale d'Éducation et de Formation, (Levier 10 ; articles 119, 120,121).



Le discours du Roi du Maroc (du 23 avril 2001) sur "le Maroc dans la société mondiale d'informations et la connaissance", a insisté sur l'intégration des TIC dans l'école marocaine afin d'améliorer sa performance et suivre le développement du monde numérique. Ces Hautes Orientations se sont concrétisées à travers une stratégie nationale d'implantation de ces technologies par l'État qui a planifié et développé un ensemble de programmes et actions : le programme d'urgence (2009-2012), le réseau « MARWAN », le Campus Virtuel Marocain (CVM), GENIE (2005).... Cette stratégie de généralisation des TIC dans l'enseignement marocain s'articule autour de trois axes complémentaires et indissociables : les infrastructures ; la formation des enseignants et le développement de contenus (Ahaji, et al, 2008).

Ces programmes de généralisation des TIC dans le secteur éducatif visent la lutte contre l'échec scolaire et l'insertion du Maroc dans les sociétés de l'information. Ainsi, des innovations pédagogiques privilégiant l'autonomie et la responsabilité de l'élève dans le processus d'apprentissage sont nécessaires pour développer des compétences comme l'aptitude à communiquer, à résoudre des problèmes et à travailler en équipe via diverses techniques de communication synchrone et asynchrone (Pelgrum, et Law, UNESCO, 2004).

Finalement, l'informatique support des TIC s'insère dans de nombreux processus d'apprentissage et n'ont pas toujours les résultats attendus. La décision d'instauration de cette nouvelle orientation d'enseignement ne constitue pas une fin en soi, mais un outil potentiel susceptible d'aider les établissements d'enseignement à améliorer leurs performances. Cependant, le succès de cette instauration exige une stratégie claire d'implantation et de changement sur divers plans (Institutions, écoles, enseignants, apprenants), et donc faire face à plusieurs contraintes.

#### **IV. Impact des TIC dans les établissements de l'enseignement supérieur marocain.**

Bien que ce troisième millénaire ait été marqué par la révolution fulgurante des TIC à l'échelle internationale, les recherches liées à la problématique d'intégration des TIC, dans les établissements de l'enseignement supérieur marocain, sont à développer davantage.

En physique, Bouchaïb et Benjelloun (2011) ont mené une expérimentation des ressources relatives au module d'électrostatique du site à accès libre de l'Université des Sciences en Ligne (UNISCIEL), auprès des étudiants de la première année des classes préparatoires aux grandes écoles d'ingénieurs (CPGE). Cette étude a mis en évidence des difficultés d'appréhension de concepts de l'électrostatique. Les chercheurs ont montré que l'intégration de ces ressources en situation d'auto-apprentissage tutorée favorise un apprentissage efficace pour ces étudiants. Toutefois, ils ont souligné qu'une séance d'enseignement complétée par l'UNISCIEL ne sera pratique et efficace que pour les petits groupes. En effet, une séance avec un grand nombre d'étudiants, alourdi la tâche de l'enseignant animateur qui doit assurer à la fois l'aide technique et conceptuelle aux étudiants et suivre la progression de l'apprentissage du groupe. Dans leurs expérimentations d'un atelier "java" d'optique géométrique (AJOG), auprès des étudiants de deuxième année universitaire section physique-chimie au Maroc, Benjelloun et al. (2003) ont révélé que les étudiants ciblés ne conceptualisent pas correctement la formation de l'image d'un point par un miroir.

On peut citer aussi le travail de Zerhane et al. (2002) qui ont élaboré puis expérimenté un hypermédia traitant des aspects fondamentaux et pratiques de l'immunologie « IMMUNOLOGIE ». L'usage de ce logiciel a facilité la progression des étudiants en formation initiale et des enseignants de SVT en formation continue. Pour surmonter un ensemble de problèmes lors de la formation initiale des enseignants stagiaires des sciences de la vie et de la terre du Centre Régional des Métiers d'Éducation et de Formation (CRMEF) de Fès-Meknès, Nafidi et al. (2017) ont conçu puis évalué un outil hypermédia. Les résultats obtenus ont prouvé que l'intégration de cet outil dans la formation des enseignants stagiaires a contribué à leur motivation pour intégrer les TIC dans leurs classes auprès des élèves.

L'enseignement des Sciences de la Terre souffre vraisemblablement d'un manque de ressources numériques compatibles au contexte marocain. Étant conscients de cette problématique, Lamarti et al. (2009), ont conçu le didacticiel Géo-terrain. Ce didacticiel est sous forme d'un livre « hypermédia » permettant l'apprentissage et l'autoformation sur quelques sorties de terrain en géologie par des établissements universitaires du Maroc (Casablanca, Meknès, Fès). L'évaluation de cet outil a démontré qu'il a facilité la compréhension ainsi que l'acquisition de certains concepts abstraits en sciences de la Terre. Dans la même optique,

Chakib et al. (2013) ont proposé, comme solution alternative aux difficultés linguistiques que rencontrent les étudiants de la filière des sciences de la Terre et de l'univers à la Faculté des Sciences Ben M'Sik, l'intégration d'un didacticiel de traduction Français-Arabe « LexiGloss ». Cet outil, comporte les définitions et les explications des termes géologiques en français facile puis sa traduction en arabe. Le test du didacticiel montre que les étudiants et les enseignants sont satisfaits de l'utilisation de ce support.

Les mathématiciens, Aboussaouira et Chehab (2008), ont expérimenté un didacticiel d'auto-apprentissage « Mediamtic », auprès de 580 étudiants de la première année de la faculté de médecine de Casablanca. Cette étude a prouvé l'intérêt du logiciel. Effectivement, les étudiants ont pu atteindre la majorité des objectifs prévus et le taux de réussite de l'examen final a été significativement amélioré.

L'expérience d'enseignement à distance est l'objet de l'étude de Berrada et Chraïbi (2010). Ils ont comparé entre deux dispositifs d'enseignement à distance, menés dans deux types d'enseignement universitaires marocains (écoles d'ingénieurs et facultés des sciences). Cette comparaison a montré que l'intégration progressive et dynamique d'un environnement d'apprentissage peut faciliter l'acte d'enseignement apprentissage et réduire le taux d'échec et d'abandon.

D'autre part, Kaddouri (2012), a signalé que certains enseignants sont réservés à l'usage des TIC, en déclarant que ceci porterait atteinte au statut de l'enseignant universitaire, et que la médiatisation de l'acte pédagogique pourrait affecter négativement la dimension relationnelle humaine fondant l'acte pédagogique.

Cet aperçu sur l'impact d'intégration des TIC dans l'enseignement supérieur montre la possibilité du renforcement de l'efficacité pédagogique et didactique.

## **V. Les TIC pour l'enseignement de la géologie**

### **1. La géologie ; discipline de terrain**

La géologie est une discipline de terrain qui nécessite le passage d'une approche théorique à une approche pratique (Orange, 1999). Cet acte pédagogique s'entrave des difficultés qui

compliquent davantage la tâche de l'enseignant et de l'apprenant. Celles-ci sont liées à la discipline et portant particulièrement sur les facteurs temps et espace. Les difficultés de positionnement dans le temps et dans l'espace, lors de l'imagination des phénomènes géologiques, les difficultés à s'orienter dans l'espace, à passer des représentations bidimensionnelles (carte géologique, photo aérienne, profile topographique, coupe géologique) à des représentations tridimensionnelles (imagination de l'affleurement ; couches géologiques du sous-sol) ou à changer de référentiel d'observation (passage d'observation de la roche à l'œil nu à l'observation d'une lame mince). Aussi, l'impossibilité de reproduire quelques phénomènes par l'expérimentation, puisque la vitesse de leurs réalisations, les rend inaccessibles à l'observation (par exemple : l'orogénèse ; l'accrétion des océans ; la fossilisation ; la diagenèse...) (Gohau, 1990).

En revanche, pour enseigner les Sciences de la Terre, différents outils pédagogiques (livres, films, échantillons de roches ou de fossiles, images, lames minces de roches, expériences diverses...) sont utilisés par les professeurs. Certainement, ces outils constituent une aide précieuse qui contribue à atteindre les objectifs tracés. Mais, les sorties pédagogiques sur le terrain en géologie restent l'approche la plus appropriée pour impliquer les élèves dans le champ pratique et réel d'un géologue. Ces élèves se mettent ainsi dans une nouvelle situation d'apprentissage où ils sont appelés à résoudre un problème scientifique à travers des tâches et des activités de terrain. Ainsi, ce nouveau contexte d'apprentissage aide les apprenants à dépasser certaines difficultés pour atteindre les objectifs préalablement établis par l'enseignant. Pour Lacoste(2001) : « *Le terrain constitue une situation pédagogique de choix offrant aux apprenants la possibilité de remettre en cause leurs conceptions, et de construire une problématique proche de leurs besoins et de leurs préoccupations.* ».

L'apprenant acquiert sur le terrain des compétences d'observation, d'expérimentation et d'interprétation des résultats. Il est amené à observer les paysages et les affleurements, les échantillons de roches ou de fossiles, puis de les décrire à l'œil nu et/ou à la loupe, à étudier quelques propriétés des roches (à travers de simples expériences tests : test du verre rayé, action à l'acide, perméabilité, cohérence, solubilité...). En observant le réel, en manipulant et en explorant l'apprentissage de cette discipline devient alors plus motivant pour les apprenants.

Or, la réalité d'enseignement de la discipline géologie montre l'insuffisance d'outils et/ou le choix de démarches pédagogiques limitées, ce qui rend le rôle de l'enseignant et de l'apprenant de plus en plus délicat. En effet, les recherches menées dans ce contexte ont montré que, dans nos établissements (universités, lycées, collèges), les séances de la géologie se réduisent, dans la plupart du temps, à des cours magistraux et rarement à des travaux pratiques. Les sorties sur le terrain ne sont pas toujours programmées en raison de diverses contraintes (Lamarti, et al, 2009 ; Chmanti-houari et al, 2015 ; 2016). En plus, le manque de moyens et de salles adaptées à l'enseignement de la géologie, par les TIC, (salle multimédia) constitue un facteur limitant, de l'efficacité de ses technologies. Millet, (2000), affirme que : « *Dans un concept de classe non-adapté, il est normal que les NTIC apportent peu aux élèves* ».

Par ailleurs, la motivation des apprenants envers les TIC est un atout principal et donc l'enseignant doit profiter dans le bon sens. Il ne faut pas se concentrer sur les TIC eux même comme moyen de motivation plus qu'un moyen de construction de savoir : « *L'attrait est un atout que nous devons exploiter sans en abuser. En effet, placer l'intérêt de l'utilisation des NTIC sur l'attraction des élèves pour cette technologie conduit certainement à l'échec. À partir d'un certain moment, les élèves ne considèrent plus l'ordinateur comme original, innovant, nouveau. Par conséquent, les NTIC doivent être un apport de qualité dans le travail sur les notions des sciences de la vie et de la terre. On prendra donc soin de ne pas utiliser les NTIC comme un intérêt seul.* » Millet, (2000).

## **2. Statut de l'image dans l'enseignement de la géologie**

Peraya (1995), a souligné que l'image possède un pouvoir de « *conviction* » et de « *désignation* » et suppose qu'elle est capable de faciliter les apprentissages.

À son tour, Clément (1996), la définit comme « *signe iconique* » qui correspond à une interprétation scientifique du monde sous forme de codes et d'icônes à connaître pour pouvoir lire et comprendre l'image.

Ainsi, l'image est omniprésente dans toute séance de géologie (sortie sur le terrain, travaux pratiques, cour magistral). Allain (1995) signale à ce propos : « *Les images ne sont pas d'emblée des instruments de connaissance. Elles ne le deviennent que si on met en place des*

*activités didactiques appropriées. Il s'agit de créer des situations que G. Mottet nomme "situations-images"».*

Dans le même sens, cet auteur explique que l'image n'est plus une simple illustration ; bien au contraire, elle peut constituer un moyen de construction des connaissances à partir de l'analyse de l'image existante (photo d'une faille, photo d'un rift médio-océanique, vidéo d'une éruption volcanique, etc.). C'est à partir de la production de nouvelles images (schémas explicatifs) que se construit activement la connaissance. Simonson et al. (1987), signalent que les séquences des images animées sont très efficaces pour entraîner des changements d'attitude chez l'étudiant à condition qu'elles soient de très bonne qualité et reflètent, le plus possible, la réalité du phénomène représenté (Cossette, 1983). Elles devraient notamment servir à « raconter » des histoires qui permettent à l'utilisateur d'être présent là où il ne le serait pas normalement (Ward, 1992).

### **3. Les apports des TIC pour l'enseignement de la géologie**

Les technologies de l'information et de la communication (TIC) offrent de larges possibilités pour améliorer la pratique éducative. Les enseignants de géologie peuvent y recourir soit pour présenter ou introduire une activité pédagogique (PowerPoint ; vidéo ; image ; documentaire), soit pour l'illustrer (image ; photo aérienne ; carte numérique ; tableau ; graphe), pour expliquer un fait ou un processus (simulation ; vidéo ; expérience interactive). De plus, ils les exploitent dans la recherche et l'organisation de l'information, l'utilisation d'un exerciceur le travail collaboratif ou la modélisation. Nous citons ci-dessous quelques apports des TIC en faveur de l'enseignement –apprentissage de la géologie.

En termes de modélisation par exemple dans l'espace et le temps, les TIC peuvent aider les apprenants à assimiler le dynamisme des phénomènes géologiques inaccessibles ou lents. Les animations Flash peuvent faciliter et illustrer parfaitement les cours et les travaux pratiques en géologie. Avec ces outils, il est possible de représenter l'évolution des phénomènes géologiques dans le temps et dans l'espace. Ainsi, la formation des chaînes de montagne Atlasiques qui s'est passée depuis des millions d'années au cours de l'ère secondaire et tertiaire, peut se présenter dans une séquence d'animation Flash de quelques secondes (Maouni, 2014).

Dans sa recherche « Didacticiels pour les Sciences-Naturelles », Orange(1987), a distingué entre deux catégories de didacticiels : les leçons et les exercices programmés d'une part et les logiciels de simulation d'autre part. Cet auteur s'est appuyé sur l'efficacité des logiciels de simulation dans l'enseignement des disciplines biologie et géologie.

En termes de modélisation dans l'espace, l'apprenant géologue, peut profiter des opportunités de la révolution de la cartographie numérique. En faisant appel au Système d'Information Géographique (SIG), il peut réaliser rapidement (d'où le terme de cartographie automatique) des documents cartographiques en choisissant la discrétisation et la symbolisation, tout en ajoutant des informations quantitatives (statistiques) ou qualitatives stockées dans des bases de données. Il peut profiter aussi de la composante « analyse spatiale » qui lui permet de mener une recherche sur la carte numérique et ce en croisant des données graphiques et alphanumériques contenues dans la base de données (par exemple : quelles sont les zones vertes situées à moins de 30 km de Fès ?).

## **Conclusion**

Selon les auteurs cités ci-dessus l'utilisation des TIC a un impact positif sur les pratiques pédagogiques de la géologie. Cela dépend, bien entendu, de la façon dont on exploite les potentialités de ces technologies qui devront être un atout majeur pour favoriser la réussite des apprenants-géologues. Ces outils doivent accompagner, compléter et perfectionner l'apprentissage sur le terrain ou pour les travaux pratiques. Seulement ils ne devraient en aucun cas remplacer cet apprentissage en présentiel.

## **Chapitre 3 : Méthodologie de recherche**



## Introduction

Dans le but de traiter notre sujet de recherche, nous avons suivi une méthodologie appropriée. Celle-ci nous a permis de recueillir des données afin de répondre à notre question générale. Cette étude constitue tout d'abord un diagnostic sur l'apprentissage de concepts à travers lesquels nous avons cherché à :

- ✚ détecter les obstacles épistémologiques liés à l'apprentissage des concepts espace-temps par l'évaluation des prérequis de la formation des gisements fossilifères ;
- ✚ envisager une stratégie innovante qui pourrait contribuer au dépassement des obstacles liées à l'utilisation des concepts espace-temps dans le cas de la formation des gisements fossilifères ;
- ✚ recueillir des indices permettant de porter des jugements objectifs sur la formation des enseignants stagiaires ;
- ✚ suggérer des recommandations en vue d'améliorer l'apprentissage de cette partie du programme au niveau du lycée et de l'université.

### I. Problématique et question de recherche

Les concepteurs des programmes du secondaire marocains s'inspirent des fondements de base de la pédagogie par compétence. Cependant la partie théorique est prépondérante. En effet, ces concepteurs tiennent peu compte des pratiques concrètes des enseignants et des apprenants. Bien que les Sciences de la Terre soient une discipline de base dans l'enseignement secondaire et universitaire, elles se heurtent à divers aspects de difficultés. En effet, l'enseignement théorique et traditionnel ne répond plus aux exigences d'enseignement-apprentissage de cette discipline fondée sur les sorties sur le terrain, l'expérimentation et l'esprit d'analyse. C'est une science multi-faces, diachronique retraçant l'évolution des phénomènes dans le temps (Taillefer, 1979) historique et fonctionnaliste (Gohau, 1987 et Orange, 2003), reconstituant l'histoire et le fonctionnement de notre planète.

Généralement, il est admis que l'acquisition des phénomènes géologiques est ardue. Parmi les principales difficultés de cette acquisition, celles relatives à la perception du temps et d'espace. Bien que ces deux paramètres clés s'acquièrent progressivement avec le développement physique de l'être Humain (Piaget, 1946 ; Bachelet, 1996), les recherches en

didactique de la géologie (Gohau, 1995 ; Fabre et Orange, 1997 ; Savaton, 1998) ont montré qu'ils constituent de robustes obstacles à la compréhension des phénomènes géologiques.

Ces constats s'appuient sur l'analyse des travaux antérieurs qui nous ont permis de construire une idée sur l'état des lieux de l'enseignement de la discipline, géologie dans le contexte national et international (Chapitre 1). Partant de ces constats, nous avons adopté comme objectif général d'étudier la mobilisation d'espace et de temps par les lycéens, les étudiants et les enseignants stagiaires de la CRMEF dans le cas des concepts : fossile, fossilisation et gisements fossilifères. Pourquoi, donc le choix de ces concepts ?

Les fossiles sont des marqueurs précis de temps et d'espace. Le concept fossile ainsi que les processus mis en jeu dans sa formation (la fossilisation) constituent un carrefour d'obstacles entrecroisés liés à la construction des concepts de temps et d'espace (Laperrière-Tacussel, 2002). En effet, la fossilisation est un phénomène éventuel et complexe dont la reconstitution du déroulement de ces processus dans le temps et dans l'espace est couramment entravée par divers types d'obstacles (Gouanelle et Schneeberger, 1995). À la lumière de ces travaux, nous avons jugé intéressant de vérifier :

*« Est-ce que les difficultés d'utilisation du temps et d'espace constituent des obstacles à l'acquisition des concepts : fossile, fossilisation et mécanismes de formation des gisements fossilifères, par les apprenants et les futurs enseignants. »*

Pour mener cette étude, nous cherchons à répondre aux questions suivantes :

- ✚ comment les élèves, les lycéens et les enseignants stagiaires mobilisent-ils l'espace et le temps lors de l'étude de ces concepts ?**
- ✚ quels sont les difficultés et les obstacles épistémologiques qui entravent la mobilisation d'espace et de temps lors de l'étude de ces concepts pour chaque catégorie d'apprenants ?**
- ✚ est-ce que les enseignants stagiaires ont des obstacles épistémologiques liés à l'utilisation d'espace et de temps, semblables à ceux des étudiants et des lycéens ?**

## **II. Méthodologie**

De nombreux travaux en didactique des sciences ont mis l'accent sur l'importance de l'étude des conceptions des étudiants (Astolfi et Peterfalvi, 1993 ; Peterfalvi, 1997) pour l'appréhension des savoirs scientifiques.

Les résultats de recherche sur la compréhension de la géologie en général par les élèves indiquent que certaines idées erronées sur le monde géologique sont communes aux élèves qui peuvent être issus de milieux socioculturels différents et de niveaux d'enseignement et d'âges variés. Ceci nous amène à poser notre question générale : est-ce que les étudiants et les professeurs stagiaires ont les difficultés conceptuelles semblables que les élèves les plus jeunes (lycéens), vis-à-vis des mécanismes de formation des gisements fossilifères ?

Pour étudier les conceptions des élèves, des étudiants et des professeurs stagiaires, nous nous sommes basés sur des enquêtes par des questionnaires qui nous ont permis de dévoiler les difficultés d'apprentissage de cette partie du programme de géologie.

Nous avons établi les thèmes du questionnaire à la lumière des résultats de la technique TGN (Technique de Groupe Nominal) que nous décrivons ci-après (p 55).

### **1. Échantillon et méthode d'échantillonnage**

#### **1.1 Méthode d'échantillonnage**

La procédure suivie est celle de l'échantillonnage aléatoire. Pour que les résultats observés lors de notre étude soient validés à la population étudiée, l'échantillon choisi doit être représentatif de cette dernière, il doit refléter fidèlement sa composition et sa complexité (tous les membres de la population ont la même chance de figurer dans l'échantillon).

#### **1.2 Populations cible**

Notre population appartient à trois types d'institutions différentes :

- 138 lycéens de première année baccalauréat, option sciences expérimentales, appartenant à deux établissements du secondaire qualifiant, de secteur public (lycée

Moulay Rachid et Lycée Omo Ayman), de l'Académie Régionale de l'éducation et de la formation (AREF) Fès Boulmen ;

- 185 étudiants de la filière STU (de niveaux licence et master Géosciences des Ressources Minérales), appartenant à deux facultés des sciences (FSDM ; FST) de Fès ;
- 30 enseignants stagiaires du Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de la Formation de Fès (CRMEF).

Le tableau ci-dessous (Tableau 6) indique les caractéristiques des échantillons choisis au hasard de différents établissements ainsi que les conditions d'exécution des TGN, des questionnaires et des entretiens.

**Tableau 6 : Caractéristiques des échantillons choisis et conditions d'exécution des TGN des questionnaires et des entretiens.**

<i><b>Échantillon</b></i>	<i><b>Lycéens</b></i>	<i><b>Étudiants</b></i>	<i><b>Enseignants stagiaires</b></i>
<i><b>Caractéristiques</b></i>	- Niveau : première année baccalauréat  - Séries : SVT, PC	-Semestres S4, S6, licence et master  - filière STU	Enseignants stagiaires du cycle secondaire collégial et qualifiant
<i><b>Établissement</b></i>	- Lycée Moulay Rachid (Fès)  - Lycée Omo Ayman (Fès)	Université Sidi Mohamed Ben Abdallah, : - Faculté des Sciences Dhar El Mehrez (FSDM) ; - Faculté des sciences et Techniques (FST).	Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de Formation de Fès (CRMEF)
<i><b>Période du test de la TGN ou de l'entretien</b></i>	La TGN : le 03/02/14	La TGN : le 15/02/15	L'entretien oral : le 24/05/2016
<i><b>Période de l'expérimentation</b></i>	Du 15/02/14 au 15/03/14	FST : du 15/05/2016 au 22/06/2016  FSDM : du 17/03/2015 au 22/04/2015	Du 24/05/2016 au 26/06/2016
<i><b>Durée allouée à la TGN</b></i>	1 h 30 min (10 min consacrées à la réponse à chaque question nominale)		
<i><b>Taux de retour des questionnaires</b></i>	100% (lycéens) ; 86% (étudiants) ; 90%(enseignants stagiaires)		

## 2. Outils de collecte des données

Les instruments de mesure et de cueillette des données utilisées lors de notre enquête s'inscrivent dans une démarche mixte : quantitative et qualitative.

- La démarche quantitative se base sur l'analyse des données quantifiables (étude statistique). Dans notre étude, le dépouillement et l'analyse des données quantifiables sont réalisés à l'aide d'un logiciel de traitement de données statistiques.
- la démarche qualitative se base sur l'analyse du contenu des données recueillies : les mots, les textes, les chiffres et les mesures. Pour l'analyse fine de contenu des transcriptions des réponses aux questions ouvertes et semi-ouvertes, nous avons eu recours à *la méthode d'analyse de contenu*.

La combinaison de ces deux méthodes (quantitative et qualitative) constitue un besoin et non pas un choix. Parce qu'elles nous assurent d'avoir un travail fiable. Le diagnostic et la détection des obstacles demandent une étude descriptive et interprétative, d'une part, des chiffres et des mesures (données quantifiables) et d'autre part, des transcriptions des répondants aux questions ouvertes ou semi-ouvertes.

En vue de répondre aux questions et hypothèses de notre étude : nous avons adopté une enquête effectuée en deux étapes :

- ✚ la technique du groupe nominal (TGN) ;
- ✚ l'enquête par des questionnaires élaborés sur la base de la TGN.

### 2.1 Technique du groupe nominal

#### a. Description de la technique

La technique de groupe nominal a été créée par Andrée Delbecq et Andrew Van de Ven (Van de Ven et Delbecq, 1972). C'est le fruit des études psychologiques de fonctionnement de petit groupe (10 à 15 participants).

La TGN a démontré son efficacité dans des domaines aussi diversifiés que les sciences sociales et la gestion administrative. Ses principaux avantages consistent à permettre à chacun des membres d'un groupe de discussion de s'exprimer librement sur le sujet, d'intervenir dans

le débat autant que les autres participants ,de faire valoir, par vote secret son opinion personnelle sur les idées émises tout en évitant les problèmes habituels reliés aux groupes de discussion (Delbecq, Van de Ven et Gustafon, 1975).

### ***b. Les étapes de la TGN***

On peut distinguer quatre phases principales :

#### La rédaction de la question de départ : la question nominale

Il faut rappeler tout d'abord que selon Grenier et Lagarde (2000), la question nominale qui sera présentée au groupe doit être précise, très claire, univoque, et doit faire surgir des réponses de même niveau. Elle doit absolument être validée auprès des personnes possédant les mêmes caractéristiques que celles qui seront invitées à participer. Cette validation permettra de s'assurer que la question fera naître des informations pertinentes, qu'il n'y a qu'une façon de comprendre la question et qu'elle permet des réponses précises.

#### La préparation matérielle des lieux

Pour favoriser un espace d'échange et de motivation de tous les participants, cette technique demande une préparation d'une salle de TGN :

On a choisi une salle assez grande pour accueillir les participants en groupes de quinze membres, où les tables sont organisées sous forme de U, avec un tableau à l'extrémité ouverte du U.

En plus de la préparation du matériel dont on a besoin : un papier et un crayon pour chaque participant, un feutre pour le marquage et un tableau

#### Le lancement de l'opération (l'accueil)

Il constitue la première rencontre avec le groupe en leur souhaitant la bienvenue, les remercier d'avoir accepté la participation. Aussi, les motiver en expliquant l'importance de la tâche du groupe et leur rappeler l'objectif du travail en mettant en valeur l'importance de leur contribution à l'aboutissement de la tâche.

#### L'application de la technique selon six étapes :

- ✓ La production individuelle d'éléments de réponse à la question. Pour réaliser cette étape, le leader doit :

- Présenter la question ou le problème au groupe sous une forme écrite.
- Lire la question au groupe.
- Diriger le groupe en vue d'écrire les idées dans des phrases brèves ou des déclarations.
- Demander au groupe de travailler en silence et de manière indépendante.

Ensuite, pendant 10 minutes, les participants doivent répondre individuellement à la question nominale.

✓ Cueillette en plénière et à la ronde des productions individuelles.

En tour de table, chaque membre de groupe énonce ses réponses. Ces dernières sont écrites sur le tableau par l'animateur qui demande la clarification d'une idée ambiguë et très générale pour qu'elle soit claire et univoque pour tout le groupe.

✓ La clarification des réponses

L'animateur clarifie davantage les énoncés, élimine les énoncés très généraux et répétés. Puis, il relit à haute voix les énoncés qui font le résultat de l'opération.

✓ Le vote préliminaire

Chaque participant donne une pondération (note) aux énoncés écrits sur le tableau, allant de 9 pour son premier choix jusqu'à 1 pour son dernier choix en les classant par ordre décroissant.

✓ Discussion du vote préliminaire

Une brève discussion a lieu après que le groupe découvre les notes de l'ensemble des membres. Cette discussion se concentre sur les idées les plus notées lors du vote préliminaire.

✓ Le vote final

Dans cette étape un nouveau (dernier) vote a lieu. Ce vote final permettra d'élire les énoncés majoritairement favorisés.

## **2.2 Questionnaires**

Pour notre étude, nous avons élaboré deux questionnaires différents : le premier a été destiné aux lycéens de la première année baccalauréat et le deuxième a été pour les étudiants de la filière STU de la faculté des sciences et aux enseignants stagiaires de la CRMEF.



Ces questionnaires incluent des questions à réponses ouvertes, à réponses fermées ou semi fermées ou à choix multiples. Ils ont été utilisés pour recueillir des données qualitatives et quantitatives. Ces enquêtes nous ont permis de révéler les obstacles épistémologiques bloquant l'utilisation adéquate des paramètres espace-temps dans la reconstitution de l'histoire de la genèse des gisements fossilifères.

#### ***a. Les étapes d'élaboration***

L'élaboration de cet outil est comme suit :

- ❖ L'élaboration de la première version des questionnaires sur la base des résultats de TGN ;
- ❖ La validation : par un pré-test sur un échantillon de 15 lycéens et 10 étudiants choisis au hasard. Cette étape nous a permis d'apporter des réajustements nécessaires aux questionnaires, après s'être assuré que les questions sont bien comprises ;
- ❖ La passation des questionnaires (voir tableau 6) ;
- ❖ Le dépouillement et l'analyse des données recueillies : les réponses obtenues sont analysées en premier lieu, grâce à un logiciel de traitement de données des enquêtes, ceci après la saisie des questionnaires récupérés. Nous avons utilisé ce type de logiciel pour les statistiques descriptives afin d'aboutir à des éléments d'interprétation. Quant aux réponses aux questions ouvertes et semi-ouvertes, nous avons procédé à *la méthode d'analyse de contenu (Analyse de contenu catégorielle)*.

#### ***b. Description du questionnaire***

##### *Questionnaire destiné aux lycéens*

Ce questionnaire a été rédigé en français puis traduit en arabe et distribué (langue d'enseignement pour les lycéens). Il est composé de quatre parties :

- Partie 1- Informations générales sur le répondant : comprend des questions permettant de recueillir des informations générales sur le répondant telles que l'établissement, le niveau d'étude actuel, la discipline et l'option ;

- Partie 2- Concept de fossile : vise à connaître les représentations que les apprenants se font de l'objet fossile en termes d'identification, caractéristiques et relation aux paramètres espace-temps ;
- Partie 3- La fossilisation : consiste à rapprocher les représentations des lycéens vis-à-vis du phénomène de la fossilisation, en termes de dimension spatio-temporelle ;
- Partie 4- Obstacles et suggestions : elle constitue un espace qui permet aux interrogés de nous faire part de leurs difficultés, ainsi que leurs suggestions à propos des moyens possibles pour les surmonter.

✚ *Questionnaire destiné aux étudiants et aux enseignants stagiaires*

Il se compose des quatre parties comme celui destinés aux lycéens avec une cinquième partie qui vise à déceler les difficultés qui entravent leurs compréhensions des mécanismes de formation des gisements fossilifères, notamment ceux liés à l'évolution spatio-temporelle.

**c. La méthode d'analyse de contenu**

Le processus d'analyse des données comprend le résumé des données et l'interprétation de leur signification.

Il existe plusieurs démarches d'analyse, nous avons choisi celle qui est la plus connue et dite la méthode d'analyse de contenu. Elle consiste à regrouper en catégories ou en thèmes tous les énoncés qui se rejoignent par le sens. Berelson (1952), son fondateur, la définit comme « *une technique de recherche pour la description objective, systématique et quantitative du contenu manifeste de la communication* ».

Selon Landry (1992), l'analyse qualitative de contenu « met l'accent sur les nuances qui existent dans les ressemblances et les différences qui ressortent des catégories analytiques ». L'analyse de contenu est appropriée pour analyser les textes (Landry, 1992).

Mayer et Ouellet (1991), attestent que l'analyse qualitative de contenu est pertinente pour des petits échantillons constituant une représentation intéressante de la réalité. Elle ne vise donc pas la généralisation, mais interprète plutôt les transcriptions étudiées afin de faire ressortir et de décrire ses particularités (Landry, 1992).

### Les phases principales de l'analyse de contenu qualitatif

La réalisation de l'analyse de contenu comprend trois grands volets : la pré-analyse, l'exploitation proprement dite des documents et la formulation des conclusions. (Bardin, 1989) :

- ❖ **Pré-analyse** : Comprend le choix des documents à analyser ou la détermination du format de « contenant » désiré, c'est aussi la phase de formulation des hypothèses. On n'est cependant pas tenu de le faire (Bardin, 1989) ;
- ❖ **Exploitation des documents** : L'exploitation des documents se réalise en général à partir de deux types de lecture des documents. L'analyse horizontale, aussi appelée synchronique et transversale, embrasse tout le texte et comprend toutes les opérations de décompte des éléments. L'analyse verticale, aussi désignée comme diachronique, consiste à consigner les impressions subjectives de l'analyste à l'égard des éléments observés (Bardin, 1989) ;
- ❖ **Conclusions** : Le troisième volet de l'analyse de contenu est l'interprétation finale ou conclusion. C'est le moment de situer les résultats obtenus en rapport avec les résultats recherchés par l'étude. C'est un temps de consolidation et d'application théorique.

Dans notre étude, l'analyse de contenu doit nous permettre, en premier temps, d'identifier les conceptions pour la compréhension des processus de formation des gisements fossilifères chez nos apprenants. Elle permet, ensuite, la catégorisation des échantillons selon les types des conceptions détectés. Pour atteindre nos buts, on a choisi la méthode d'analyse de contenu de type "*catégorielle*".

L'analyse catégorielle est la forme classique de l'analyse de contenu. Elle est réalisée à partir d'une grille, dite *grille d'analyse catégorielle*, qui permet de balayer le texte et de repérer les répétitions fréquentielles thématiques. Elle englobe la totalité d'un texte pour le passer au crible du dénombrement et de la classification de thèmes ou d'items significatifs. On effectue d'abord un décompte par fréquence de présence (ou d'absence) d'unités définies. On découpe ensuite le texte en unités puis on classe ces unités en catégories selon des regroupements analogiques. Les catégories permettent la classification de ce que l'on désigne sous le nom d'éléments constitutifs du message (Bardin, 1989).

Les étapes de catégorisation selon le modèle de (L'Écuyer, 1990)

- 1) Regroupements préliminaires des énoncés selon leur appartenance à l'une ou l'autre des catégories de la grille existante et éventuellement en catégories préliminaires nouvelles ;
- 2) Élimination des catégories redondantes pour créer des catégories distinctives ;
- 3) Identification définitive et définition des catégories de *la grille d'analyse* ;
- 4) Classification finale de tous les énoncés à partir de la grille d'analyse.

*d. Le test chi-deux*

L'utilisation d'un test chi-deux nous permettra de vérifier la dépendance ou l'indépendance entre deux caractères, mobilisés par les enquêtés, pour approfondir l'analyse de leurs réponses. Par exemple, on peut examiner si les enquêtés établissent un lien entre le type de milieu de la fossilisation (marin/terrestre) et la taille de l'organisme.

Le test du Chi-deux est une comparaison entre : les effectifs réels (**Obs**) : ceux que l'on observe dans l'enquête et les effectifs théoriques(**X<sub>2</sub>**) : ceux que l'on aurait dû obtenir s'il n'y a aucune relation entre les deux variables.

L'hypothèse du teste est la suivante :

**H<sub>0</sub>** : la distribution de fréquence du caractère étudié est identique pour les différentes populations comparées.

**C** : nombre de colonnes,

**L** : nombre de lignes

**Nombre entre parenthèses** : effectif théorique **X<sub>2</sub>**

**Obs** : est comparée avec la valeur seuil, **X<sub>2</sub>**

**Th** : lue sur la table **X<sub>2</sub>** pour (l-1) (c-1) **ddl** et pour un risque d'erreur  $\alpha$ .

\*Si  $X_2 \text{ obs.} > X_2 \text{ Th}$ , l'hypothèse **H<sub>0</sub>** est rejetée au risque d'erreur  $\alpha$  : les différents échantillons sont extraits de populations ayant des distributions différentes du caractère étudié.

\*Si  $X_2 \text{ obs.} < X_2 \text{ Th}$ , l'hypothèse **H<sub>0</sub>** est acceptée : les différents échantillons sont extraits de populations ayant la même distribution du caractère étudié.

**Chapitre 4 : Étude de mobilisation des facteurs temps et espace sur le concept fossile et ses dérivés, par les lycéens**

## **Introduction**

De nombreux travaux en didactique des sciences ont mis l'accent sur l'importance des conceptions des étudiants (Astolfi et Peterfalvi, 1993 ; Peterfalvi, 1997). En effet, la persistance de ces fausses conceptions conduit au non compréhension des savoirs de références (scientifiques).

Dans ce domaine aussi, plusieurs travaux en didactique des sciences (Sauvageot- Skibine, 1995, 2009 ; Savaton, 1998 ; Lamarti et al, 2009) ont souligné les difficultés des apprenants quant à la perception et à la mobilisation des paramètres temps et espace lors de l'apprentissage des phénomènes géologiques (chapitre 1).

À la lumière de ces références et dans le cadre de notre sujet de recherche, nous avons étudié si nos lycéens éprouvent les mêmes types de difficultés, à travers l'apprentissage du concept de fossile et ses dérivés.

Pour ce faire, on s'est basé sur une enquête par questionnaire qui nous a permis de dévoiler des obstacles pour les concepts cités ci-dessus. Les thèmes du questionnaire se sont établis à la suite aux résultats de la technique TGN (Technique de Groupe Nominale) donnés précédemment (Chapitre 3).

### **A. Application de la technique de groupe nominale (TGN), pour les concepts, "fossile" et "fossilisation "**

Les résultats que nous présentons ici ont été obtenus au cours de l'année universitaire 2014/2015 auprès d'un groupe de 15 élèves appartenant au lycée Omo Ayman à Fès, choisi au hasard. Nous leur avons posé, dans la première séance d'une durée une heure, la question nominale 1 : « *Citez une liste de mots en relation de sens avec le terme fossile* ». (Annexe 1) La deuxième question nominale « *Les obstacles qui bloquent votre compréhension des mécanismes liés au phénomène de la fossilisation sont ?* ». (Annexe 1) est posé après une semaine, au même groupe et dans les mêmes conditions.

## I. TGN de la question nominale 1 : « Citez une liste de mots en relation avec le mot fossile. »

Les réponses à cette question sont classées par ordre d'importance décroissant (Tableau 7).

**Tableau 7 : Classement des énoncés de la TGN pour la question nominale 1**

Réponses	Poids	Ordre	Nombre de citations
Fossiles stratigraphiques	104	01	13
Fossiles de faciès	97	02	12
Trilobite, Ammonite, nummulites	76	03	11
Restes et débris d'animaux anciens	72	04	08
Traces de déplacement des dinosaures, tracs d'activités d'organismes vivants	69	05	07
Organismes microscopiques	64	06	06
Formés grâce à la nature	39	07	04
Se forment dans les roches sédimentaires	37	08	04
Organismes marins	35	09	05
Eau	34	10	04
Archéologie	31	11	03
Paléogéographie	28	12	03
Apparaissent grâce à l'érosion	23	13	03

Nous avons réparti ces réponses en quatre catégories :

- **Catégorie 1** : dans cette catégorie figurent les réponses (30 citations, soit 38 % du nombre total de citations) faisant allusion à l'origine du fossile (*restes et débris d'animaux anciens, organismes microscopiques, traces de déplacement de dinosaures, traces d'activités d'organismes vivants*) et à son milieu de vie (*organismes marins, l'eau*) ;
- **Catégorie 2** : celle-ci regroupe les réponses (27 citations, soit 34.2 % du nombre total de citations) renvoyant à l'intérêt des fossiles en tant qu'indicateurs spatio-temporels (*fossiles de faciès, fossiles stratigraphiques, paléogéographie*) ;
- **Catégorie 3** : nous trouvons ici des réponses (11 citations, soit 13.9 % du nombre total de citations) faisant allusion aux conditions de la fossilisation (*les fossiles se forment grâce à la nature ou se trouvent dans les couches sédimentaires*) ;

- **Catégorie 4** : elle englobe des réponses (11 citations, soit 13.9 % du nombre total de citations) rappelant des exemples de fossiles déjà confrontés dans le cours ou évoqués dans les médias (*dinosaures ; trilobites ; ammonites ; nummulites ; dents de requins*).

## II. TGN de la question nominale 2 : « Les obstacles qui bloquent votre compréhension des mécanismes liés au phénomène de la fossilisation sont ? »

L'analyse du tableau 8, dévoile un ensemble d'obstacles que les élèves ont matérialisé par les réponses classées par ordre décroissant de poids.

**Tableau 8 : Classement des énoncés de la TGN pour la question nominale 2**

Réponses	Poids	Ordre	Nombres de citations
La géologie en général est une science très difficile	99	01	14
Le manque de travaux pratiques	86	02	12
Difficulté de distinguer s'il s'agit d'un organisme fossile ou non	77	03	06
Difficulté d'imaginer comment se forment les fossiles	76	04	10
Les illustrations des cours sont des images de fossiles et non de vrais fossiles à toucher et à observer	74	05	06
Le manque de sorties de terrain	67	06	10
Absence de motivations pédagogiques	63	07	05
Les termes paléontologiques sont très difficiles	51	08	09
La fossilisation est un phénomène qu'on ne peut pas observer directement dans la nature	49	09	05
Les cours sont trop chargés et le temps alloué est limité	38	10	08
Les méthodes d'enseignement sont dépassées (tableau, manuel scolaire)	37	11	05
Pas de communications mutuelles dans la classe	31	12	04
Les explications sont superficielles	27	13	03

Les réponses peuvent être catégorisées comme suit :

- **Catégorie 1 « obstacles d'ordre pédagogique »** : elle regroupe les réponses avec les poids et les pourcentages les plus élevés (63 citations, soit 58.9 % du nombre total de citations). Il s'agit des difficultés liées aux méthodes pédagogiques adoptées en classe (*cours illustrés par des images et non pas de vrais fossiles, pas de motivation, manque de travaux pratiques,*



*manque de sorties de terrain, méthodes d'enseignement dépassées, pas d'expériences en classe*) ;

- **Catégorie 2 « obstacles liés à la discipline "géologie" »** : elle réunit des réponses avec un poids et un pourcentage relativement importants (23 citations, soit 21.5 % du nombre total de citations) et qui considèrent que la géologie est en général une *discipline* compliquée, difficile et souvent incompréhensible (*les termes paléontologiques sont très difficiles, la géologie en général est une science très difficile*) ;
- **Catégorie 3 « obstacles liés au concept "fossile" »** : elle englobe des réponses avec un poids et un pourcentage presque aussi importants que ceux de la catégorie 2 (21 citations, soit 19.6 % du nombre total de citations). Ils renvoient aux difficultés de l'identification des fossiles (*difficulté de distinguer s'il s'agit d'un organisme fossile ou non*) et du déroulement du phénomène de la fossilisation (*difficulté d'imaginer comment se forment les fossiles, la fossilisation est un phénomène qu'on ne peut pas observer directement dans la nature*).

Nous constatons que les difficultés exprimées par les lycéens sont liées d'une part aux méthodes pédagogiques adoptées en classe et à la nature de la géologie en tant que discipline ardue et d'autre part, à l'assimilation des notions de "fossile" et de "fossilisation". Ceci nous a guidés à l'élaboration d'un questionnaire pour la suite de notre enquête.

## **B. Résultats de l'enquête par questionnaire**

### **I. Concept fossile : Comment les lycéens définissent-ils l'objet fossile ?**

Dans ce chapitre, nous cherchons de connaître à partir de l'analyse des questions ci-dessous les représentations que nos apprenants se font de l'objet fossile et de ses caractéristiques.

#### **1. Les critères d'identification de l'objet fossile**

##### **1.1 Question 1 et analyse des réponses**

###### **a. Question 1**

Celle-ci est composée d'une définition et des exemples :

➤ **Qu'est-ce qu'un fossile ?**

.....  
➤ **Indiquez parmi la liste suivante les objets que vous considérez comme fossiles. Expliquez.**

Objet	Oui	Expliquez
Tronc d'arbre silicifié		
Moulage externe d'oursin		
Coquille d'ammonite		
Valves d'huîtres actuelles		
Moulage interne de Trilobite		
Bactéries conservées dans les cristaux de sel		
Traces de déplacements de dinosaures		
Travertin		
Traces de terriers		

***b. Analyse des réponses à la question 1***

Le traitement est réalisé par la technique d'analyse des grilles de contenu élaborées à partir des réponses des apprenants. Pour ce, nous avons réparti les réponses des apprenants en quatre catégories :

**Remarque :** le nombre total de citations est la somme de toutes les réponses de toutes les enquêtés.

➤ ***Catégorie 1 concerne les réponses évoquant l'origine du « fossile »***

La majorité des élèves (55,3%), définit un fossile en se basant sur sa nature (animal, végétal ou minéral) avec une prédominance de la nature animale (50%) en déclarant que les fossiles sont des restes d'animaux ou ce sont des animaux disparus. Nous pensons que cela s'explique par l'influence des illustrations et des exemples des fossiles présentés dans les cours et par les médias. En effet, les cours de paléontologie au secondaire sont illustrés essentiellement par des exemples de fossiles animaux et rarement végétaux ou minéraux. De plus, les médias présentent généralement plus de documents pour ce genre de fossiles (dinosaures, coquilles) au détriment des autres fossiles de nature végétale.

Dans cette même catégorie, d'autres élèves (13.7%) ont évoqué les modes de fossilisation pour identifier un fossile par : *empreintes, traces de déplacement des dinosaures, moulage, trous,*

*terriers ou traces d'activités d'animaux*. Cependant 3.5% d'entre eux assimilent les fossiles à des roches comme origine minérale. Nous pensons que ces conceptions sont le résultat du raisonnement par couple notionnel (Laperrière-Tacussel, 2002), où deux termes sont associés, l'un appelant l'autre. Pour ces apprenants, tout ce qui est dur est une roche comme le moulage externe d'oursin est un fossile *parce que c'est une roche sédimentaire* ou le tronc d'arbre silicifié est un fossile *parce qu'il est induré*.

Enfin, certains élèves (3.2%) renvoient à une origine artificielle en affirmant que *les fossiles sont sculptés par l'Homme* ;

➤ **Catégorie 2 réservée pour les réponses évoquant les phénomènes impliqués**

Celle-ci englobe deux types de réponses (17.6 %) :

- ✓ Celles qui mobilisent les processus de fossilisation ou de sédimentation par *enfouissement, érosion, dégradation de la matière organique, conservation des parties dures ou transport* avec 14.6 %. On note que ces apprenants considèrent qu'un fossile résulte d'un seul phénomène ? : soit la sédimentation, soit l'enfouissement, soit la dégradation de la matière organique et la conservation des parties dures. Ceci dénote la méconnaissance de la succession des différentes étapes de la fossilisation dans le temps, ou encore leur succession dans l'espace par le *transport des organismes qui se fossilisent en dehors de leurs milieux de vie*. On note aussi une confusion chez certains élèves entre les processus de la sédimentation et ceux de la fossilisation par des expressions telles que *les fossiles (ils) résultent de la sédimentation, (les fossiles) se forment à cause de la sédimentation, ou (les fossiles) sont des restes d'êtres vivants formés sous l'effet de la sédimentation* ;
- ✓ Celles (3%) qui considèrent des processus généralistes ou basé sur des convictions religieuses par l'influence de la nature et la volonté de Dieu : *on peut expliquer l'existence des fossiles au sein des roches par les conditions naturelles ; Dieu facilite tous ces phénomènes ; les fossiles sont des restes d'organismes qui ont subi un ensemble de processus naturels*. Ce type de réponse représente 3%. Ceci s'explique par la difficulté d'imagination des phénomènes non constatés (non vécus) ;

➤ **Catégorie 3 regroupe les réponses évoquant le facteur temps seulement**

Elle regroupe des réponses (4.7 %) avec différentes facettes du facteur temps :

- ✓ **ancienneté des fossiles** en faisant allusion à l'échelle temporelle, c'est au cours du temps géologique que les fossiles peuvent se former au sein des roches, tout organisme peut se transformer au cours du temps géologique en un fossile, ou sans faire allusion à l'échelle temporelle par des organismes anciens ou des organismes qui ont vécu dans le passé ;
- ✓ **outils de datation relative** : les fossiles servent à la datation des roches sédimentaires ou peuvent nous renseigner sur l'âge des roches ;
- ✓ **temps comme seul facteur à l'origine de la formation des fossiles** par grâce au temps.

➤ **Catégorie 4 regroupe les réponses évoquant le facteur espace seulement.**

En effet une minorité d'apprenants avec 2 % a mobilisé des conceptions renvoyant à l'espace soit :

- ✓ **en termes de localisation des fossiles** en disant que les fossiles sont des objets qui se trouvent dans le sous-sol, à l'intérieur des strates, dans les roches, dans les bassins sédimentaires ou dans le milieu marin ;
- ✓ **en termes de transport (changement de milieu)** par les fossiles se transportent d'un milieu à un autre, puis ils se sédimentent.

Le nombre de citations et le pourcentage des réponses par catégorie sont regroupés sur le tableau 9 ci-dessous :

**Tableau 9 : Grille d'analyse des réponses par catégories de la question 1**

<b>Catégories</b>	<b>Nombres de citations sur 1487</b>	<b>Fréquences</b>
<b>Catégorie 1</b>	1125	75,7%
<b>Catégorie 2</b>	262	17,6%
<b>Catégorie 3</b>	70	4,7%
<b>Catégorie 4</b>	30	2%
<b>Total</b>	<b>296</b>	<b>100%</b>

Enfin, nous constatons que ces lycéens éprouvent un ensemble d'obstacles vis-à-vis de l'identification et/ou de la définition d'un "fossile". La majorité (70%) d'entre eux attribue aux fossiles une origine animale sans noter la possibilité d'une autre origine. D'autres, leurs attribuent une origine minérale (3.5%) ou les considèrent comme artificiels (3.2%). Certains sujets (17.6%) ont donné des réponses mobilisant soit des processus de fossilisation et/ou de sédimentation, soit des interprétations (explications) généralistes.

À noter que les élèves qui ont mobilisé les facteurs "temps" et "espace" constituent seulement une minorité (6.7%).

## 1.2 Question 2 et analyse des réponses

### a. Question 2

C'est une question ouverte qui vise à mettre en relief les critères que les apprenants mobilisent pour distinguer les fossiles.

➤ **Quels sont les grands types de fossiles ?**

.....

### b. Analyse des réponses à la question 2

Nous avons remarqué qu'une partie considérable des apprenants (22,6%) n'a pas répondu à cette question.

Le traitement des résultats nous a permis de classer les réponses en trois catégories selon une grille d'analyse (Tableau 10) :

- **Catégorie 1** : regroupe les réponses (48,60%) mobilisant l'intérêt des fossiles : *fossiles stratigraphiques* (critère temporel) et *fossiles de faciès* (critère spatial) ;
- **Catégorie 2** : englobe les réponses (29,10%) mobilisant le paléo- environnement des fossiles (critère spatio-temporel) : « *des fossiles marins anciens / des fossiles aquatiques* » ; « *des fossiles terrestres / aériens* » ;
- **Catégorie 3** : sélectionne les réponses (22,30%) mobilisant les modes de la fossilisation (*empreintes, moule interne, moule externe, trace de locomotion, terriers*).

**Tableau 10 : Nombres de citations enregistrés, par catégorie de la question 2**

Catégories	Nombre de citations	Fréquences
<b>Catégorie 1</b>	85	48,60%
<b>Catégorie 2</b>	51	29,10%
<b>Catégorie 3</b>	39	22,30%
<b>Total</b>	<b>175</b>	<b>100%</b>

Les résultats obtenus semblent montrer que les apprenants distinguent les fossiles en se basant sur trois critères principaux : leurs intérêts (critère spatio-temporel), leurs paléo-environnement (critère spatio-temporel) et leurs modes de la fossilisation. Nous remarquons

donc qu'une grande partie des apprenants (70,9 %) mobilise en même temps dans leurs leur classification *le facteur espace* et *le facteur temps*. Cependant dans leurs définitions (la question 1) ces deux facteurs sont rarement mobilisables ensemble.

## 2. Les caractéristiques de l'objet fossile

Cette partie contient deux questions fermées dont l'objectif principal est de révéler les conceptions mobilisées par les apprenants lors de l'identification et la caractérisation des fossiles.

### 2.1 Question 3 et analyse des réponses

#### a. Question 3

<p>➤ <b>Est-ce qu'un fossile se caractérise par ?</b></p> <p>a) la forme <input type="checkbox"/></p> <p>b) la taille <input type="checkbox"/></p> <p>c) la couleur <input type="checkbox"/></p> <p>d) les dimensions <input type="checkbox"/></p> <p>e) la symétrie <input type="checkbox"/></p> <p>f) les caractères génétiques (ADN) <input type="checkbox"/></p> <p>g) les ressemblances avec les espèces actuelles <input type="checkbox"/></p> <p>h) la nature minéralogique du test <input type="checkbox"/></p>
---

#### b. Analyse des réponses à la question 3

Bien que ces notions (Travaux pratiques d'identification des fossiles) ne figurent ni au programme du lycée ni au programme du collège, les résultats obtenus (Tableau 11) montrent la quasi-totalité des élèves qui répondent à cette question (98,3% du nombre total des citations). Est-ce que ceci peut témoigner d'une vraie connaissance des caractères d'identification d'un fossile ?

**Tableau 11 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 3**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences
La forme	95	22,80%
La nature minéralogique du test	60	14,40%
La taille	55	13,20%
Les ressemblances avec les espèces actuelles	54	12,90%
Les dimensions	51	12,20%
Les caractères génétiques (ADN)	49	11,80%
La couleur	29	7%
La symétrie	24	5,80%
<b>Total</b>	<b>417</b>	<b>100%</b>

Nous avons distingué entre deux catégories (Tableau 12) :

- **Catégorie 1** : Elle regroupe les propositions (54%) appartenant aux caractères biométriques (caractères spatiaux) d'identification d'un fossile (*la forme ; la symétrie ; les dimensions ; la taille*). Le caractère « *forme* » est survalorisé par rapport aux autres caractères (22,80%). Nous imaginons que ce choix est logique car les schémas mentaux de l'apprenant traitent spontanément les objets comme des ensembles structurés (formes) et considèrent difficilement des détails géométriques (Georges Thinès, « Gestaltisme », 1980) (*la taille, les dimensions, la symétrie*) ;
- **Catégorie 2** : Elle correspond aux propositions (46%) qui n'ont aucune relation avec les caractères biométriques. L'explication du choix de certaines propositions ne nous semble pas évidente :
  - ✓ *la nature minéralogique* du test (14,40%) : Le choix de ce critère d'identification avec un tel pourcentage était inattendu, du fait que ce dernier est un critère d'identification microscopique non cité dans les cours et rarement évoqué par les médias. Une explication possible est que les apprenants ont recours aux méthodes d'identification des roches sédimentaires en faisant appel à la nature minéralogique. Cette fois-ci, nous supposons l'obstacle du raisonnement par analogie : tout ce qui est dur est une roche.

- ✓ *les ressemblances avec les espèces actuelles (12,90%)* est un choix plus au moins logique si les apprenants se réfèrent aux théories de l'évolution et au principe d'actualisme.
- ✓ *les caractères génétiques ou l'ADN avec 11,80%*, est un choix qui peut être dû au hasard ou c'est l'influence médiatique sur l'information génétique (ADN) dans quelques documentaires télévisés, certaines revues scientifiques et même des films, ou peut-être les élèves font un lien entre l'origine des fossiles en tant qu'êtres vivants et l'ADN.

Finalement, une minorité (7%) d'apprenants a sélectionné la couleur comme critère d'identification.

**Tableau 12 : Nombres enregistrés par catégorie de la question 3**

<b>Catégories</b>	<b>Nombres enregistrés</b>	<b>Fréquences</b>
<b>Catégorie 1</b>	225	54%
<b>Catégorie 2</b>	192	46%
<b>Total</b>	<b>417</b>	<b>100%</b>

## 2. 2 Question 4 et analyse de ses réponses

### a. Question 4

➤ **Est-ce que la taille des fossiles peut être :**

a) millimétrique à pluri centimétrique

b) millimétrique à infra millimétrique

c) métrique

d) de toute dimension

### b. Analyse des réponses à la question 4

Plus que la moitié des élèves (53 ,60%) pensent que la taille des fossiles peut être de toute dimension. Nous expliquons la dominance de ces conceptions dans les explications des élèves est due aux diversités des exemples cités dans les médias. Aussi, 23,80% attribuent aux fossiles des tailles millimétriques à pluri centimétriques. C'est l'influence des cours récemment enseignés qui se focalisent surtout sur des fossiles marins de petite taille (les couches des



phosphates du Maroc). Le reste 22,50 % se répartit en deux groupes d'élèves : soit pour des tailles métriques ou des tailles millimétriques à infra millimétriques.

**Tableau 13 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 4**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences
De toute dimension	81	53,60%
Millimétrique à pluri-centimétrique	36	23,80%
Millimétrique à infra-millimétrique	18	11,90%
Métrique	16	10,60%
<b>Total</b>	<b>151</b>	<b>100%</b>

Ces résultats montrent qu'une bonne partie des élèves (46,40 %) éprouve une résistance à la diversification des tailles des fossiles. Cette résistance est peut-être la résultante de deux obstacles :

- ✓ **obstacle d'ordre spatio-temporel** : l'apprenant assimile la relation fossile encaissant dans l'espace à un scénario d'inclusion et non plus à la succession spatio-temporelle d'un ensemble de processus de la fossilisation. Par conséquent, ces apprenants considèrent que le volume (ou la taille) de l'incluse (le fossile) doit être forcément inférieur à la taille de l'encaissant : pour qu'un fossile s'intègre à l'intérieur d'une roches, il doit être de petite taille voire microscopique. Ce type de conceptions est détecté aussi au niveau de quelques justifications des apprenants citées dans les réponses à la question 1. En effet, dans leurs justifications, ils ont mentionné que les fossiles sont des êtres vivants de petites tailles ou microscopiques : en affirmant que *les fossiles sont des organismes microscopiques* » ou « *ce sont des restes d'organismes de petites tailles inclus dans les roches* » ;
- ✓ **obstacle d'analogie** : pour l'élève, tous les fossiles ont des tailles approximativement voisines appartenant à une marge de dimension fixe analogue à l'exemple de fossile qu'il a déjà connu ou vu. Ceci est confirmé par les exemples de fossiles cités par les élèves dans la première question.

Enfin, nous constatons que les lycéens questionnés montrent des difficultés de mobilisation des facteurs temps et espace : puisqu'ils sont incapables de concevoir la

simultanéité entre le fossile et son encaissant (*facteur temps*) et n'arrivent pas à imaginer la succession spatio-temporelle des processus de la fossilisation dans son espace réel (le bassin sédimentaire). En effet, l'élève perçoit ce phénomène dans un *espace* restreint limité dans son champ visuel (à l'échelle de l'affleurement ou de la roche encaissante). Par conséquent, il mobilise inconsciemment une comparaison entre la taille de fossile et son encaissant actuel, illustré par les photos du manuel scolaire et non à l'échelle du bassin sédimentaire (le paléo-environnement).

### 2.3 Question 5 et analyse des réponses

#### a. Question 5

Cette question concerne la taille et le milieu de conservation des fossiles.

➤ **Quelles sont les caractéristiques des organismes les mieux préservés (fossilisés) :**

**a) de petites tailles**

Oui  Non

Expliquez : .....

**b) de grandes tailles**

Oui  Non

Expliquez : .....

**c) des organismes marins**

Oui  Non

Expliquez : .....

**d) des organismes aériens**

Oui  Non

Expliquez : .....

#### b. Analyse des réponses à la question 5

Quant à la distribution spatiale des organismes les plus postulants à la fossilisation et leur taille, nous cherchons à savoir : Est-ce que ces deux paramètres spatiaux (le milieu de la fossilisation et la taille des organismes fossilisés) sont vraiment dépendants chez les lycéens ?

#### **Résultats des réponses à la question 5**

Le tableau 14 ci-dessous représente les résultats obtenus :

**Tableau 14 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 5**

<b>Propositions</b>	<b>Nombres enregistrés</b>	<b>Fréquences</b>	<b>Nombres de réponses justifiés</b>
Des organismes marins	85	34,4%	34
De petites tailles	83	33,6%	28
De grandes tailles	40	16,2%	35
Des organismes aériens	39	15,8%	26
<b>Total</b>	<b>262</b>	<b>100%</b>	<b>123</b>

La majorité des élèves a choisi le milieu marin comme espace favorable à la fossilisation (34,4%) au détriment du milieu aérien et pense que les organismes de petites tailles (33,6%) ont plus de chance à se fossiliser par rapport aux organismes de grandes tailles.

#### **Grilles d'analyse des explications pour la question 5**

Un pourcentage de 52,5% (63 élèves sur 120) a expliqué ses réponses. L'analyse des explications données a été réalisée à l'aide des deux grilles d'analyse de contenu (Tableau 15 et 16) dont chacune explicite les justifications de choix de chaque paramètre spatial (taille et milieu de vie).

L'analyse du contenu des réponses à la question 5 montre que 47,5 % des répondants n'ont pas pu justifier leurs réponses. Cela pourrait témoigner de leur méconnaissance des paramètres spatiaux qui sont les conditions de la fossilisation.

Tableau 15 : Grille d'analyse des explications pour oui ou pour non de la question 5, liées à la taille des organismes.

		Pour "oui"		Pour "non"	
Explications	TOTAL	24	03		
	Ne laissent que leurs débris (dents, os)	07	00		
	Longue durée de vie	03	00		
	Leur taille bloque leur pénétration dans les roches	02	00		
	Facilement transportable	00	03		
	Nécessitent plus d'espace	12	00		
	TOTAL	11	25		
	Soluble dans l'eau	00	02		
	Justification par un exemple	04	02		
	Durée de vie courte	00	06		
	Se sédimentent facilement grâce à leurs poids	02	00		
Difficile à dégrader	00	02			
Laissent des traces visibles	04	00			
Pénètrent facilement dans les roches	01	06			
Nécessitent moins d'espace (s'enfouissent facilement)	00	07			
Grande taille					
Petite taille					

**Tableau 16 : Grille d'analyse des explications pour oui ou pour non de la question 5, liées au milieu de fossilisation.**

Pour "oui"		Pour "non"	
<b>Explications</b>	<b>Total</b>	<b>05</b>	<b>17</b>
	Temps de la fossilisation très long	00	03
	Les organismes sont facilement dégradables (exposés à l'érosion)	00	14
	Le dynamisme d'eau bloque la sédimentation et l'enfouissement des organismes	03	00
	Le dynamisme d'eau dégrade les organismes	02	00
	<b>Total</b>	<b>29</b>	<b>09</b>
	Temps de la fossilisation court	01	00
	Citations d'un exemple de fossile	03	02
	La majorité des fossiles cités dans nos cours était d'origine (marin /continental)	06	02
	L'eau facilite la fossilisation	07	00
Milieu calme, vaste et favorise un enfouissement rapide	12	05	
<b>Explications</b>	<b>Milieu marin</b>	<b>Milieu marin</b>	<b>Milieu aérien</b>

### Relation entre la taille et le milieu de la fossilisation : Q5 x Q5.

Pour mieux cerner les conceptions des apprenants concernant la dépendance entre ces deux paramètres spatiaux (la taille des organismes fossiles et leurs milieux de fossilisation), on a fait appel au croisement des résultats des questions 8 et 9 à l'aide de test de Chi2 (voir plus de détails dans chapitre 3). Le tableau 17 ci-après représente les résultats obtenus.

**Tableau 17 : Résultats de croisement des modalités de la question 5 (test de dépendance Chi2)**

Q5	Q5	De petites tailles	De grandes tailles
Organismes marins		59,11 (62)	28,89 (26)
Organismes aériens		28,89 (26)	14,11 (17)

Les valeurs du tableau sont les nombres de citations de chaque couple de modalités.

H<sup>0</sup> : « Les paramètres taille et milieu de vie sont indépendant pour les élèves ».

H<sup>1</sup> : « Les paramètres taille et milieu de vie sont dépendant pour les élèves ».

Nombre entre parenthèse : effectif théorique

Nombre sans parenthèse : effectif réel

X<sup>2</sup>thé = 3,84, l'intervalle de confiance à 95 %, ddl = 1, P-valeur = 0,25

X<sup>2</sup>cal = 1,31

Ces résultats montrent que le X<sup>2</sup>cal est inférieure à X<sup>2</sup>thé et P-valeur est supérieure à 0,05.

Le test (chi2) montre l'indépendance entre les deux paramètres spatiaux (taille et milieu de vie).

Le test d'indépendance (chi2) montre bien qu'il s'agit d'une indépendance entre les deux paramètres spatiaux (taille et milieu de vie). Ces résultats sont intéressants, du moment que la majorité des apprenants pense à la diversification des tailles des organismes fossiles que ce soit dans le milieu marin ou aérien. Les questions qui se posent ici sont :

***Pourquoi imaginent-ils que les organismes de petites tailles sont les mieux préservés ?***

***Pourquoi les élèves ont-ils la conception que le milieu marin est plus propice à la fossilisation ?***

***c. Discussion***

Les justifications de la priorité donnée par nos apprenants à la taille et au milieu de vie des organismes fossiles ont dévoilé un ensemble de conceptions qui trouve ses origines dans les difficultés de perception des facteurs *temps* et *espace* :

- Obstacles de perception *du facteur temps* :
  - ✓ Difficultés d'assimilation de la simultanéité entre la formation de la roche encaissante et l'organisme fossile. En effet, ces apprenants (13 apprenants) croient à *l'antériorité* de la roche par rapport à l'organisme fossile : ils attestent que les organismes de petites tailles ont plus de chance à trouver un espace d'accueil à l'intérieur de l'encaissant en "pénétrant", en "s' introduisant" dans *la roche préexistante* : « *ils nécessitent moins d'espace dans la roche indurée ou ils pénètrent facilement dans les roches ;* » ;
  - ✓ Difficultés d'estimation de la durée : ces élèves (09 élèves) relient la possibilité ou non de la fossilisation à la durée de vie et à la taille de l'organisme fossile. Contrairement aux organismes de petites tailles, ils pensent que celles de grandes tailles sont rarement fossilisées à cause de leur longue durée de vie. Ces apprenants font ici une correspondance entre la taille et la durée de vie (grande taille = longue durée de vie), par conséquent, ils conditionnent la fossilisation par la durée de vie courte.
- Obstacles de perception du facteur *espace*.
  - ✓ La perception des facteurs physico-chimiques du milieu, dont on note ici la priorité donnée à l'eau en tant que facteur déterminant et suffisant dans la fossilisation. Ainsi, une bonne partie des élèves (24 élèves) survalorise le milieu marin par rapport au milieu aérien. Elle donne une grande importance à l'influence de l'eau, et ne fait pas intervenir la contribution des autres facteurs physico-chimiques et écologiques du milieu. En effet, cet agent est conçu soit comme un agent facilitateur par exemple : « *l'eau facilite la fossilisation, milieu calme* » soit comme agent destructeur : « *les courants d'eau dégradent les organismes fossiles ; le dynamisme d'eau bloque l'enfouissement et la sédimentation ; les organismes de petite taille sont solubles dans l'eau* ». Notons que l'eau peut jouer les deux rôles ;

- ✓ La perception du milieu aérien comme espace destructif : 14 élèves portent un jugement négatif sur l'influence des agents externes du milieu aérien. Ils sont sélectionnés comme facteurs destructeurs des organismes fossiles. Ce jugement négatif éclipe leurs rôles dans le cycle des roches sédimentaires et de la fossilisation. En conséquence, le milieu aérien est conçu par ces élèves comme défavorable à la préservation des organismes fossiles : « *au milieu aérien, les organismes sont facilement dégradables par ce qu'ils sont exposés à l'érosion* » ;
  - ✓ La fossilisation in situ : trois élèves croient que les organismes doivent se fossiliser dans leurs biotopes et attestent que les organismes allochtones de petites tailles sont rarement fossilisés car « *ils peuvent subir un transport* » ;
  - ✓ La confusion entre poids (masse) et taille (volume) : deux apprenants croient que les organismes de grande taille ont plus de chance à se fossiliser. Ils ont des poids lourds et donc se sédimentent facilement ; tout ce qui est de grande taille est lourd. Ce type de conception est dû à la méconnaissance des grandeurs physiques telles que la densité : « *se sédimentent facilement grâce à leurs poids* ».
- **Autres obstacles**
- ✓ La méconnaissance des différents modes de fossilisation : sept apprenants sous-estiment les débris fossiles : ils affirment que les organismes de grande taille sont les moins fossilisés car ils ne laissent que leurs débris : (*dents, os*), cet argument dévoile une méconnaissance des différents modes de fossilisation ;
  - ✓ La justification par un prototype : dans ce cas, les élèves se basent dans leurs justifications sur des exemples d'organismes cités dans les cours ou par les médias. Ce type de justificatifs est remarqué dans les deux grilles d'analyse de contenu de la question 5 (6 élèves notés dans la grille correspondante à la taille, et 5 élèves pour celle correspondante au milieu) : *les dinosaures ; les dents de requin ; les ammonites, les trilobites ; les foraminifères*. Les apprenants généralisent la qualification à la fossilisation à un groupe d'organismes en se basant sur un exemple (prototype).



#### ***d. Conclusion***

L'analyse des justifications spontanées des lycéens montre clairement que ces derniers sont conscients que la possibilité de la fossilisation d'un organisme est conditionnée par des facteurs *d'espace* ; l'influence des conditions physicochimiques du milieu (dynamisme, solubilité, agent externe). Pour ces élèves, la taille des fossiles s'avère un paramètre prioritaire à la sélection d'un organisme à la fossilisation alors qu'elle ne constitue pas vraiment un paramètre déterminant.

Par ailleurs, la majorité de nos lycéens ne sont pas capables à concevoir l'histoire évolutive de la fossilisation dans le *temps* ; ils résistent à la contemporanéité entre fossile et encaissant hôte. Ils ne connaissent ni les différentes étapes de la fossilisation ni leurs successions temporelles.

L'assimilation du phénomène de la fossilisation par les lycéens se heurte donc à un ensemble d'obstacles liés directement à la mobilisation des facteurs *temps* et *espace*.

### **3. La relation fossile-encaissant**

Cette partie a pour objectif principal l'évaluation de la conception des élèves sur les différentes étapes du phénomène de la *fossilisation*, en particulier *la relation fossile-encaissant*.

#### **3.1 Question 6 et analyse de ses réponses**

##### ***a. Question 6***

Il s'agit d'une question ouverte dont les résultats des réponses ont été analysés puis catégorisés à l'aide d'une grille d'analyse de contenu (Tableau 18) :

➤ **Comment un fossile peut-il se retrouver dans une roche ?**  
.....

##### ***b. Analyse des réponses à la question 3***

On note, en premier lieu, qu'une partie considérable des apprenants (26.4 %) n'a pas donné de réponse à cette question (Tableau 18). Ces résultats sont déjà constatés dans la TGN, où 19.6% des lycéens éprouvent des difficultés d'imagination des processus mis en jeu dans la fossilisation (mort et dépôt des organismes, enfouissement *in situ* ou après transport, diagenèse).

Ceci peut s'expliquer par la non assimilation des différentes étapes de la fossilisation qui, pourtant, font partie du programme du secondaire collégial.

**Tableau 18 : Grille d'analyse de contenu des réponses à la question 6**

Réponses	Nombre de citations	Fréquences
Par sédimentation	45	31%
Grâce aux conditions naturelles	42	29%
Après l'érosion	25	17,20%
Le facteur temps	18	12,40%
Au cours de l'enfouissement	9	6,20%
S'abrite ou entre dans les roches	6	4,10%
<b>Total</b>	<b>145</b>	<b>100%</b>

Les réponses de 73.6 % des élèves à cette question sont réparties en 4 catégories (Tableau 19) :

➤ **Catégorie 1** : regroupe les réponses (46,20%) évoquant « *les conditions naturelles* » sans, toutefois, préciser comment un fossile peut se retrouver dans une roche.

Certaines réponses (17.20 %) rappellent en particulier le facteur érosion : « *je peux expliquer l'existence d'un fossile au sein de la roche par sa dégradation sous l'effet des facteurs climatiques, les fossiles apparaissent après l'érosion, à cause de l'érosion* ». Ces réponses ne font donc à aucune allusion aux différentes étapes de la fossilisation. Ceci témoigne soit d'une méconnaissance totale des principales étapes de la fossilisation qui se déroulent dans le temps et dans l'espace, soit que ces apprenants nient toute l'histoire anté-érosion (toutes les autres étapes de la fossilisation) et n'attribuent alors pas les fossiles à des restes d'organismes ayant vécu pendant une période précédente avant de subir toutes les étapes de la fossilisation ;

➤ **Catégorie 2** : rassemble les réponses rappelant seulement certains processus de la fossilisation (37.20 %), en l'occurrence, la sédimentation et / ou l'enfouissement : « *à cause de la sédimentation, les organismes s'enfouissent au sein des sédiments après leur mort* » ;

➤ **Catégorie 3** : réunit les réponses (12,40%) mobilisant le facteur temps :

- ✓ en faisant allusion à quelques étapes de la fossilisation et leur succession dans le temps mais sans préciser l'échelle temporelle : « *depuis longtemps, des organismes, après leur mort, se sont enfouis au sein des sédiments, puis ils ont subi des transformations, et enfin le tout se transforme en roches* » ;

- ✓ en mobilisant "l'échelle Humaine" en tant qu'échelle de temps mais sans préciser les processus de la fossilisation : « *après plusieurs générations, les fossiles animaux et végétaux se forment dans les roches ; il faut des siècles pour qu'un fossile se forme dans une roche* » ;
  - ✓ en considérant le facteur temps suffisant pour l'incorporation des fossiles dans les roches, sans préciser ni l'échelle temporelle ni les étapes de la fossilisation : « *grâce au temps* ».
- **Catégorie 4** : regroupe une minorité de réponses (4,10%) qui considère que les fossiles sont des animaux qui se sont fossilisés en "entrant", en "se cachant" ou en "s'abritant" dans les roches préexistantes. Cette catégorie suppose la non-contemporanéité entre fossile et roche encaissante. « *les animaux s'abritent dans les trous des roches, après leur mort, ils s'emprisonnent dedans ; les organismes entrent et se sédimentent dans les roches* ». Ce type de réponse témoigne d'une méconnaissance totale des différentes étapes de la fossilisation et de leur déroulement dans le temps et dans l'espace.

**Tableau 19 : Nombres de citations par catégorie de la question 6**

<b>Catégories</b>	<b>Nombres de citations</b>	<b>Fréquences</b>
<b>Catégorie 1</b>	67	46,20%
<b>Catégorie 2</b>	54	37,20%
<b>Catégorie 3</b>	18	12,40%
<b>Catégorie 4</b>	6	4,10%
<b>Total</b>	<b>145</b>	<b>100%</b>

Ces différents résultats montrent que le point commun entre la quasi-totalité des réponses est l'ambiguïté dans la conception de la contemporanéité entre fossile et encaissant ainsi que dans l'imagination ou l'appréciation de l'évolution spatio-temporelle des processus de la fossilisation. En effet, les réponses évoquant ces phénomènes peuvent être réparties en deux types :

- ✓ des réponses ne faisant aucune allusion au facteur "temps" (ni échelle, ni succession temporelle des phénomènes indiqués) et qui se limitent à l'érosion ou à des phénomènes naturels non précisés, ou à certains processus liés à la fossilisation (sédimentation et /ou enfouissement) ;

- ✓ des réponses faisant allusion à quelques étapes de la fossilisation en citant quelques facettes de temps :
  - succession dans le temps des étapes de la fossilisation sans précision de l'échelle ;
  - échelle temporelle indiquée mais sans faire allusion à la succession dans le temps des différentes étapes de la fossilisation ;
  - le temps est un facteur suffisant pour la fossilisation.

Enfin, on note la quasi-absence des réponses (3 %) évoquant le facteur " *espace* ".

### 3.2 Question 7 et analyses de ses réponses

#### a. Question 7

C'est une question semi-fermée contenant deux parties.

➤ **Est-ce que les roches sédimentaires contiennent toujours des fossiles ?**

Oui  Non

**Expliquez :** .....

#### b. Analyse des réponses à la question 7

Selon les réponses par *oui* ou par *non* (Tableau 20), nous avons analysé leurs explications à l'aide d'une grille d'analyse de contenu (Tableau 21).

#### **Nombre de réponses par oui ou par non**

Les résultats obtenus (Tableau 20) montrent bien que la majorité des apprenants (55,6%) souligne que les roches sédimentaires ne contiennent pas toujours des fossiles. Alors que 30,4 % d'entre eux trouvent que les roches sédimentaires doivent toujours contenir des fossiles. Quels sont leurs justificatifs ?

**Tableau 20 : Nombres enregistré pour *oui* ou pour *non* à la question 7**

<b>Réponses</b>	<b>Nombres enregistrés</b>	<b>Fréquences</b>	<b>Nombres de réponses justifiés</b>
<b>Non</b>	75	64,70%	29
<b>Oui</b>	41	35,30%	32
<b>Total</b>	<b>116</b>	<b>100%</b>	<b>61</b>

 **Grille d'analyse des justificatifs des élèves**

Une bonne partie des lycéens (55 élève, soit 47% du nombre total des répondants) n'a pas pu justifier ses réponses. Le tableau 21 ci-dessous montre les résultats d'analyses des justificatifs évoqués (61 élèves, soit 53 % du nombre total des répondants).

Tableau 21 : Grille d'analyse de contenu des explications des réponses de la question 7

Justification de "non pas toujours"			Justification de "oui toujours"		TOTAL	61	100%			
Catégorie 1	Catégorie 2		Catégorie 1	Catégorie 2						
Roche azoïque (ni temps, ni espace)	Conditions défavorable à la fossilisation (espace et/ou temps)	Milieux de sédimentation dépourvue de vie (espace et/ou temps)	Association obligatoire entre roche sédimentaire et fossile (ni temps, ni espace)	Pour dater la roche (temps)				14	9,80%	28

Selon la grille ci-dessus (Tableau 21), les justificatifs des réponses par "*non pas toujours*" peuvent se répartir en deux catégories :

- **Catégorie 1** : regroupe les justificatifs (23%) par l'existence de roches dépourvues de fossiles (roches azoïques) sans faire allusion ni au facteur *temps*, ni au facteur *espace* : « nous savons qu'il existe des roches azoïques » ; « on peut trouver des roches sans fossiles » ;
- **Catégorie 2** : regroupe les justifications mobilisant le facteur *espace et /ou* le facteur *temps* (23,80%), en citant des indications sur le paléo-environnement. Dans cette catégorie, nous distinguons entre deux types de justifications :
  - ✓ Justifications par les mauvaises conditions de la fossilisation (9,8%) (**facteur espace**) sans faire allusion au **facteur temps** (4,3%) : « dans certains cas, les fossiles peuvent se détruire totalement à cause de l'érosion » ; « il existe des milieux défavorables à la prolifération des organismes vivants ». Ou en faisant allusion d'une façon indirecte au facteur *temps* (4,3%) : « si le facteur de transport était fort, il peut détruire les fossiles » ; « selon les conditions climatiques régnantes dans le milieu de sédimentation ancien ».
  - ✓ Justifications par l'absence originelle de vie dans le milieu de sédimentation (14%) (**facteur espace**), soit en mobilisant le **facteur temps** (9%) : « Il se peut que les organismes vivants n'existaient pas dans une période déterminée comme le Précambrien » ; « les roches ne peuvent contenir des fossiles que si elles ont été sédimentées dans un milieu riche en organismes animaux ou végétaux ». Ou sans mobiliser le **facteur temps** (5%) : « la sédimentation peut se produire dans un milieu sans organismes vivants » ; « les fossiles peuvent disparaître à cause des conditions climatiques ».

Les justifications des réponses par "*oui toujours*" se répartissent aussi en deux catégories :

- **Catégorie 1** : sélectionne les réponses (45,50%) justifiées par une association obligatoire entre les roches sédimentaires et les fossiles sans aucun argument scientifique : « toutes les roches sédimentaires doivent contenir des fossiles » ; « c'est une caractéristique des roches

*sédimentaires* » ; « *pourquoi t'ont ces appelle roches sédimentaires, s'elles ne contiennent pas des fossiles ?* » ;

- **Catégorie 2** : englobe les réponses (6,50%) justifiées par une relation d'intérêt. Ces élèves survalorisent l'intérêt des fossiles en tant qu'indicateurs temporels : « *sans les fossiles, on ne peut pas dater les roches sédimentaires* » ; « *pour savoir le milieu et l'ère de la formation de la roche* » ; « *pour dater la roche* ». En conséquence, la datation des roches rend l'existence des fossiles nécessaire voir obligatoire.

**Tableau 22 : Pourcentage des paramètres temps et espace mobilisés pour expliquer la réponse de la question 7**

<b>Paramètres mobilisés</b>	<b>temps et espace</b>	<b>et seulement l'espace</b>	<b>seulement le temps</b>	<b>ni temps ni espace</b>
<b>Pourcentage</b>	<b>16,20%</b>	<b>9,30%</b>	<b>6,50%</b>	<b>68,50%</b>

En conclusion, les résultats d'analyse des réponses aux questions 6 et 7 montrent que nos lycéens ne sont pas capables de retracer l'évolution des différentes étapes de la fossilisation dans le temps et dans l'espace. Ces constats se traduisent dans leurs réponses en termes de :

- ✓ méconnaissance partielle et parfois totale des différents processus mis en jeu dans la fossilisation ;
- ✓ difficultés de mobilisation des facteurs temps et espace. Ces difficultés sont clairement relevées dans leurs justificatifs de la question 4. La majorité de ces lycéens, (Tableau 22) ne mobilise ni le temps ni l'espace dans leurs réponses (68,50% du nombre totale des répondants). Alors que ceux qui mobilisent les deux facteurs ensemble ne dépassent pas 16,20%. Le reste englobe les élèves mobilisant soit seulement l'espace (9,30%), soit seulement le temps (6,50%).

#### **4. L'intérêt des fossiles**

Cette partie est composée de deux questions fermées. Elle vise la détection des conceptions des apprenants sur l'intérêt des fossiles.

##### **4.1 Question 8 et analyse de ses réponses**

###### **a. Question 8**



L'objectif de la question est de révéler l'intérêt des fossiles comme indicateurs spatio-temporels (fossiles de faciès et / ou fossiles stratigraphiques).

➤ <b>Quels sont à votre avis les intérêts des fossiles ?</b>	
a) la reconstitution du paléo-environnement	<input type="checkbox"/>
b) la reconstitution de la paléogéographie	<input type="checkbox"/>
c) la reconstitution des étapes de l'évolution de la vie sur terre	<input type="checkbox"/>
d) la datation des roches	<input type="checkbox"/>
e) la détermination de la structure interne de la terre	<input type="checkbox"/>
f) les corrélations des séries sédimentaires éloignées géographiquement	<input type="checkbox"/>
g) la structuration et le découpage de l'échelle du temps géologique	<input type="checkbox"/>
h) la reconstitution de l'histoire tectonique d'une région	<input type="checkbox"/>

**b. Analyse des réponses à la question 8**

Nous avons réparti les réponses à cette question en trois catégories (Tableau 17) :

- **Catégorie 2** : sélectionne les propositions (48,90%) renvoyant aux fossiles comme indicateurs temporels seulement : (*datation des roches, structuration et découpage de l'échelle du temps géologique, reconstitution des étapes de l'évolution de la vie sur terre*) ;
- **Catégorie 1** : regroupe les propositions (24,90%) renvoyant aux deux types d'intérêt, temporel et spatial ;
- **Catégorie 3** : correspond aux propositions (22,30%) considérant les fossiles comme indicateurs spatiaux seulement (*la reconstitution du paléo-environnement ; la reconstitution de la paléogéographie*).

Sept élèves parmi 135 n'ont pas répondu, alors que 16,30% (Autres) ont coché la réponse fautive (*la détermination de la structure interne de la terre*) (Tableau 23)

**Tableau 23 : Nombres enregistrés par catégorie de la question 8**

Catégories	Nombres enregistrés	Fréquences
<b>Catégorie 1</b>	279	48,90%
<b>Catégorie 2</b>	142	24,90%
<b>Catégorie 3</b>	127	22,30%
<b>Total</b>	<b>548</b>	<b>100%</b>

Les réponses montrent un niveau plus au moins satisfaisant de connaissance sur intérêts des fossiles et vont dans le sens de celles obtenues par la TGN, où 34,2 % des lycéens ont évoqué les intérêts des fossiles en terme de fossiles de faciès et / ou fossiles stratigraphiques.

Cependant, les résultats obtenus montrent que presque la moitié des répondants (49.5 %) sous-estime l'intérêt à la fois temporel et spatial des fossiles et leur attribue seulement un intérêt temporel (28.3%), ou seulement un intérêt spatial (21.2%). Ceci peut bloquer la reconstruction d'un modèle explicatif clair de l'évolution des mécanismes de la fossilisation dans le temps et dans l'espace.

## 4.2 Question 9 et analyse de ses réponses

### a. Question 9

Celle-ci vise à mettre en relief les conceptions des apprenants vis-à-vis des fossiles de faciès en tant qu'indicateurs spatiaux.

➤ <b>Est-ce que les fossiles de faciès sont de bons indicateurs de :</b>	
a) paléoclimat	<input type="checkbox"/>
a) variation de la salinité des eaux	<input type="checkbox"/>
b) variation de la température	<input type="checkbox"/>
c) oxydation	<input type="checkbox"/>
d) hydrodynamisme du milieu	<input type="checkbox"/>
e) transformations métamorphiques des roches	<input type="checkbox"/>

### b. Analyse des réponses à la question 6

Le tableau 24 représente la répartition des pourcentages alloués à chaque proposition :

**Tableau 24 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 9**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences
Paléoclimat	95	30,30%
Hydrodynamisme du milieu	64	20,40%
Variation de la température	34	20,10%
Oxydation	33	10,80%
Variation de la salinité des eaux	25	10,50%
Transformations métamorphiques des roches	19	8,00%
<b>Total</b>	<b>314</b>	<b>100%</b>

En premier lieu, nous remarquons que les propositions « *paléoclimat* » et « *hydrodynamisme du milieu* » sont les plus cités. En deuxième lieu, les pourcentages accordés à chaque intérêt ne dépassent pas 30,30%. Ceci révèle un niveau de connaissances plus au moins faible vis-à-vis des intérêts spatiaux des fossiles. Finalement, on note qu'une minorité (8%), considère les fossiles de faciès comme indicateurs des transformations métamorphiques et que cette information n'est pas enseignée au lycée.

Nous avons classé les résultats obtenus en trois catégories (Tableau 25) :

- **Catégorie 1** : Elle renferme les élèves qui ont cité seulement les propositions (33,70%) constituant des paramètres physico-chimiques, microscopiques, tels que : « *oxydation ; variation de la salinité des eaux ; variation de la température* » ;
- **Catégorie 2** : Elle inclut les élèves qui ont cité seulement les propositions (24,30%) représentant des phénomènes macroscopiques et dotés des pourcentages les plus élevés : « *paléoclimat ; hydrodynamisme du milieu* ». Ces derniers constituent généralement des phénomènes dont les effets sont facilement détectés à l'œil nu (des effets concrets) ;
- **Catégorie 3** : Elle concerne les élèves (21%) qui ont sélectionné en même temps les deux types de propositions de la catégorie 1 et 2 et dotées des pourcentages les moins élevés. Cette classe d'élèves mobilise à la fois les paramètres spatiaux à grande échelle (macroscopique) et à petite échelle (microscopique).

**Remarque** : on a pu calculer les pourcentages des élèves appartenant à chaque catégorie, en ayant recours au croisement de leurs citations.

### ***c. Discussion***

Nous remarquons qu'une minorité (21%) des élèves est capable de mobiliser les différentes échelles d'*espace* (macroscopique et microscopique), alors que la majorité éprouve des difficultés d'assimiler la dualité macroscopique-microscopique (observable-abstrait).

En effet, l'application du principe d'actualisme exige la corrélation entre les différentes échelles d'*espace* et de temps. En revanche, cette difficulté d'assimilation des liaisons entre les

différentes échelles d'espace peut vraiment paralyser la capacité de l'apprenant à retracer l'évolution spatio-temporelle d'un paléo-environnement.

**Tableau 25 : Nombres de citations par catégories à la question 9**

<b>Catégories</b>	<b>Nombres de citations sur 1058</b>	<b>Fréquences</b>
<b>Catégorie 1</b>	<b>357</b>	<b>33,70%</b>
<b>Catégorie 2</b>	<b>257</b>	<b>23,30%</b>
<b>Catégorie 3</b>	<b>222</b>	<b>21%</b>

## **II. La fossilisation**

Afin de rapprocher les représentations des lycéens vis-à-vis de la fossilisation en termes de dimension spatio-temporelle, on s'est basé sur des questions de trois types ; fermées, à choix multiples et ouvertes.

Par la suite, nous analysons leurs connaissances des modes et des processus de la fossilisation.

### **1. Les modes de fossilisation**

#### **✚ Question 10 et analyse de ses réponses**

##### *a. Question 10*

➤ **En se basant sur la planche 2(Annexe 2), il s'agit de quel mode de la fossilisation ?**

- ✓ Moule interne : .....
- ✓ Moule externe : .....
- ✓ Coquille épigénisée : .....

##### *b. Analyse des réponses à la question 10*

Le tableau ci-dessous (Tableau 26) montre que la moitié (50,40%) des apprenants n'a pas répondu pour identifier un mode de fossilisation. Les moulages sont identifiés par 53,73% des élèves (36 élèves), et seulement 26,86% (18 élèves) ont identifié les trois modes de fossilisation. Enfin, une minorité (19,41%) n'a identifié que le troisième mode de fossilisation (l'épigénisation).

**Tableau 26 : Résultats d'identification du mode de fossilisation (Question 10)**

<b>Propositions</b>	<b>Nombres enregistrés</b>	<b>Fréquences</b>
les moulages (internes et externes)	36	53,73%
les trois modes de fossilisation	18	26,86%
l'épigénisation	13	19,41%
<b>Total</b>	<b>67</b>	<b>100%</b>

Les répondants ont évoqué des difficultés qui peuvent être catégorisées comme suit :

- **Catégorie 1** ; difficultés de vision spatiale (53,73%) : en effet, la majorité de ces élèves (37,32%) confond le moule interne et le moule externe. Les autres (16,41%) identifient l'un des moulages sans préciser l'autre (interne ou externe) ;
- **Catégorie 2** ; difficultés d'ordre spatio-temporel : en effet, seulement 19,41% des élèves ont pu identifier l'épigénisation. Ce phénomène résulte des réactions physico-chimiques se déroulant dans des échelles d'espace difficilement accessibles pour l'imagination de l'élève (échelle microscopique). De plus, ces apprenants sont incapables de mener un feed-back dans le temps (*extrapolation temporelle*) pour imaginer la substitution du minéral original (minéral ancien) de la coquille par un autre minéral (le minéral actuelle).

**Remarque :** L'épigénisation est un mode de fossilisation résultant des réactions physico-chimiques affectant la partie dure de l'organisme au cours de la fossilisation. Il correspond à la substitution d'un minéral par un autre sans changement de volume. Par exemple, le carbonate calcique ( $\text{CaCO}_3$ ) est parfois remplacé par du sulfate de fer ( $\text{FeSO}_4$ ) par exemple : une ammonite pyriteuse.

L'importance des non-réponses à cette question peut être expliquée par :

La méconnaissance totale des modes de fossilisation du fait que les programmes ne prévoient pas des séances de travaux pratiques d'identification de ceci. A noter que les programmes des SVT au lycée n'intègrent ni l'explication des étapes de la fossilisation ni ses modes. En effet, les élèves ont des cours sur les différents types de fossilisation (les modes de fossilisation) sans la partie pratique.

## 2. Les processus de fossilisation

### 2.1 Question 11 et analyse des réponses

#### a. Question 11

<b>➤ Quels sont les processus de la fossilisation ?</b>	
a) la compaction	<input type="checkbox"/>
b) la décomposition de la matière organique	<input type="checkbox"/>
c) la diagenèse	<input type="checkbox"/>
d) l'enfouissement	<input type="checkbox"/>
e) la dissolution	<input type="checkbox"/>
f) les déformations morphologiques	<input type="checkbox"/>
g) le transport et le remaniement	<input type="checkbox"/>
h) la sédimentation	<input type="checkbox"/>
i) les transformations génétiques	<input type="checkbox"/>

#### b. Analyse des réponses à la question 11

Le tableau ci-dessous (Tableau 27) présente les résultats des réponses obtenus :

**Tableau 27 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 11**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences
La sédimentation	83	17,30%
Le transport et le remaniement	77	16,10%
La diagenèse	61	12,70%
La décomposition de la matière organique	57	11,90%
L'enfouissement	56	11,70%
La compaction	53	11,10%
Les déformations morphologiques	36	7,50%
La dissolution	28	5,8%
Les transformations génétiques	28	5,8%
<b>Totale</b>	<b>479</b>	<b>100%</b>

Pour nos lycéens, les processus liés directement à la formation des roches sédimentaires sont cités, en premier lieu, comme processus essentiels dans la fossilisation (*sédimentation*,

*diagenèse, dissolution*). Puis, ils citent les autres processus mis en jeu directement dans la fossilisation (*décomposition de la matière organique, compaction et enfouissement*).

Ces résultats montrent bien que la majorité des apprenants détectent la plupart des processus mis en jeu dans la fossilisation et qui ne font pas, pourtant, partie du programme du secondaire (cours et travaux pratiques).

On note que le chiffre de sans réponses est relativement faible ; 3,6 % de l'ensemble des citations.

En conclusion, nous constatons que ces apprenants n'assimilent pas l'histoire évolutive de la fossilisation dans *l'espace* et dans *le temps*, mais ils ne font qu'une simple analogie à l'évolution spatio-temporelle de la roche encaissante telle qu'elle a été reçue au secondaire collégial.

## 2.2 Question 12 et analyse de ses réponses

### a. Question 12

Nous avons interrogé les apprenants sur l'évolution spatiale et temporelle des processus de fossilisation.

➤ **Est-ce que les processus de la fossilisation peuvent être :**

- |   |                          |
|---|--------------------------|
| a) synchrones (en même temps)                               | <input type="checkbox"/> |
| b) successifs   | <input type="checkbox"/> |
| c) répétés  | <input type="checkbox"/> |
| d) réalisés en une seule fois                               | <input type="checkbox"/> |
| e) réalisés sous un seul niveau de la série sédimentaire    | <input type="checkbox"/> |
| f) réalisés sous plusieurs niveaux de la série sédimentaire | <input type="checkbox"/> |

### b. Analyse des réponses à la question 12

Le tableau ci-dessous représente les résultats des réponses portant sur cette évolution. D'après ce tableau 28. Les réponses obtenues montrent :

Pour l'évolution temporelle : une bonne partie 28,20% a évoqué une succession temporelle des processus de la fossilisation (un raisonnement linéaire causal) alors que 20,40% ont cité la probabilité de la répétition des processus dans le temps. Le reste, 17,60% trouve que ces processus peuvent être synchrones ou réalisés en une seule fois.

Pour l'évolution spatiale : la majorité des élèves 27,30% imagine que les processus de fossilisation se déroulent sous plusieurs niveaux de la série sédimentaire. Seulement, 6,50% soulignent que ces processus peuvent se réaliser sous un seul niveau de la série sédimentaire.

**Tableau 28 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 12**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences
Successifs	69	28,20%
Réalisés sous plusieurs niveaux de la série sédimentaire	67	27,30%
Répétés	50	20,40%
Synchrones (en même temps)	23	9,40%
Réalisés en une seule fois	20	8,20%
Réalisés sous un seul niveau de la série sédimentaire	16	6,50%
<b>Total</b>	<b>245</b>	<b>100%</b>

On note que 10,7% de l'ensemble des élèves (28 élèves) n'ont pas répondu. Afin de mieux cerner les représentations des apprenants vis-à-vis de l'évolution spatio-temporelle des processus de la fossilisation, nous avons croisé les réponses sur les modalités temporelles avec celles spatiales de la question 12.

**✚ Résultats de croisement des réponses sur les modalités temporelles avec celles des modalités spatiales de la question 12**

**Tableau 29 : Résultats de test de dépendance Chi<sup>2</sup>, des modalités représentant le temps et l'espace, de la question 12**

Q12	Synchrones (en même temps)	Successifs	Répétés	Réalisés en une seule fois
Réalisés sous un seul niveau de la série sédimentaire	5,83 (8)	12,39 (9)	10,69 (9)	5,10 (8)
Réalisés sous plusieurs niveaux de la série sédimentaire	18,17 (16)	36,61 (42)	33,31 (35)	15,90 (13)

Les valeurs du tableau (29) sont les nombres de citations de chaque couple de modalités.

H<sup>0</sup> : « Les paramètres temps et espace sont indépendants ».



H<sup>1</sup> : « Les paramètres temps et espace sont dépendants ».

Nombre entre parenthèse : effectif théorique

Nombre sans parenthèse : effectif réel

X<sup>2</sup>thé = 7,81, l'intervalle de confiance à 95 %, ddl = 3, P-valeur = 0,18.

X<sup>2</sup>cal = 4,82

D'après ces résultats, le X<sup>2</sup>cal est inférieure à X<sup>2</sup>thé et P-valeur est supérieure à 0,05.

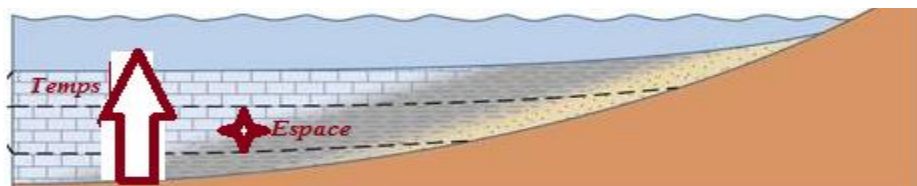
Le test de dépendance (chi2) montre l'indépendance des paramètres spatio-temporels dans les représentations de nos élèves, ils mobilisent donc, ces deux paramètres séparément.

### c. Discussion

Ces résultats nous ont permis de répartir les réponses reçues en deux catégories :

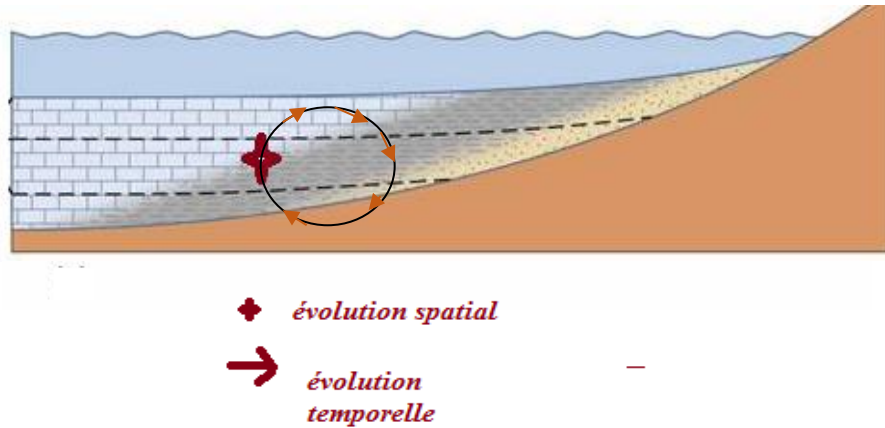
- **Catégorie 1** : regroupe les élèves adoptant le modèle 1 selon lequel les processus de la fossilisation sont localisés dans un seul niveau de la série sédimentaire. En retraçant l'évolution temporelle, ces élèves se répartissent en deux groupes : Le premier groupe (9,6%), pense que tous les scénarios de l'évolution temporelle sont possibles (succession, synchronisation, réalisation en une seule fois). Néanmoins, ils ne se répètent pas dans le temps : « *le temps linéaire* » (Figure.5). Le deuxième groupe, (4,4 %) postule la répétition des processus dans le temps « *temps cyclique* » (Figure.6) ;

Figure.5 : Modèle 1, premier cas « temps linéaire »



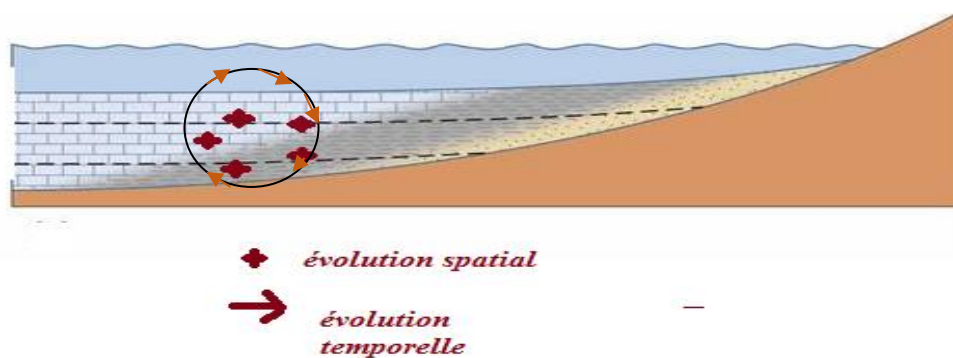
✦ évolution spatial  
→ évolution temporelle

**Figure.6 : Modèle 1, deuxième cas « temps cyclique »**

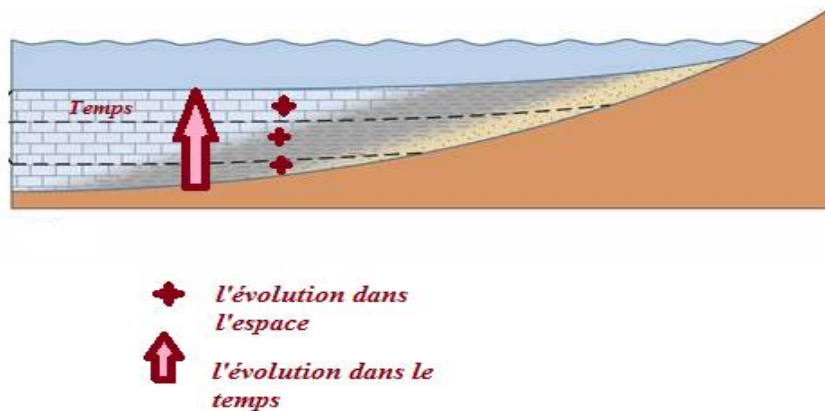


- **Catégorie 2** : renferme les apprenants retraçant le scénario de la fossilisation selon le modèle 2 : dans lequel les processus de la fossilisation se succèdent dans l'espace (s'effectuent dans plusieurs niveaux de la série sédimentaire). Nous trouvons dans ce cas aussi un premier groupe d'élèves adoptant l'évolution répétitive des processus dans le temps « temps *cyclique* » (Figure.7), et un deuxième groupe pense que ces processus sont non répétitifs dans le temps « *temps linéaire* » (Figure.8).

**Figure.7 : Modèle 2, premier cas « temps cyclique »**



**Figure. 8 : Modèle 2, deuxième cas : « temps linéaire »**



Enfin, les réponses de nos élèves relèvent des modèles qui ne rapprochent pas le modèle de référence de la fossilisation. En effet, ce modèle retrace l'évolution des processus de la fossilisation et de la sédimentation simultanément dans un cadre bidimensionnel (dans l'espace et dans le temps), à l'échelle du bassin sédimentaire et selon des conditions exceptionnelles, rarement répétitives dans le temps alors que les modèles adoptés par nos élèves schématisent l'évolution dans le temps (sous forme d'une évolution, cyclique ou linéaire) indépendamment de l'évolution dans l'espace (à l'échelle des strates indurées). Pourtant, ces deux paramètres sont inséparables pour tout phénomène géologique.

Ce type de difficulté de mobilisation des facteurs temps et espace est la résultante d' :

- ✓ **obstacles d'assimilation du principe d'actualisme** : les apprenants ne parviennent pas à mener un feed-back dans le temps géologique. Ils imaginent les processus de fossilisation à l'échelle de la roche encaissante, actuelle, induré. Toutefois, il est indispensable qu'ils retournent dans la flèche du temps, à l'époque de la sédimentation de la roche encaissante et à l'échelle du bassin sédimentaire (paléo-environnement) ;
- ✓ **obstacles de la résistance à la contemporanéité fossilisation-sédimentation** : les élèves imaginent que l'histoire évolutive de la roche encaissante est indépendante de l'histoire évolutive de la fossilisation, alors que ces deux phénomènes sont contemporains.

Nous constatons que la majorité des apprenants est incapable de retracer l'évolution des processus de la fossilisation selon un modèle bidimensionnel (dans le temps et dans l'espace).

## 2.3 Question 13 et analyse de ses réponses

### a. Question 13

L'objectif de cette question est de cerner les intervalles de temps mobilisés par les élèves lors de la conception des processus de la fossilisation.

➤ **À votre avis, quelle est la durée nécessaire à la fossilisation d'un organisme ?**

a) de quelques heures

b) de quelques années

c) pour des siècles

d) pour des milliers d'années

e) pour des millions d'années

f) pour des milliards d'années

g) variable selon les cas et les conditions

### b. Analyse des réponses à la question 13

Les résultats obtenus, indiqués sur le tableau 30, nous ont permis de les catégoriser et les mentionner sur le tableau 31 :

**Tableau 30 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 13**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences
Variable selon les cas et les conditions	64	29,40%
Des siècles	41	18,80%
Des milliers d'années	39	17,90%
Des millions d'années	35	16,10%
Des milliards d'années	26	11,90%
De quelques heures à quelques années	13	6%
<b>Total</b>	<b>218</b>	<b>100%</b>

- **Catégorie 1** : regroupe les apprenants (40,8%) qui mobilisent « *le temps à l'échelle Humaine* » les courtes durées : quelques heures à quelques années, des siècles, des milliers d'années ;
- **Catégorie 2** : regroupe les apprenants (29,8%) qui survalorisent les longues durées : des millions d'années, des milliards d'années « *le temps à l'échelle géologique* » ;
- **Catégorie 3** : renferme les apprenants (29,4%) qui attestent que la durée des processus de la fossilisation est variable selon les cas et les conditions régnants dans le milieu de fossilisation.

**Tableau 31 : Nombre de réponses, classés par catégorie de la question 13**

Propositions	Nombre de réponses	Fréquences
Catégorie 1	89	40,80%
Catégorie 2	65	29,80%
Catégorie 3	64	29,40%
<b>Total</b>	<b>218</b>	<b>100%</b>

L'analyse des résultats montre clairement que nos élèves estiment la durée de la fossilisation dans des intervalles de temps très différents. Le type de temps mobilisé par chaque catégorie trouve ses origines dans les conceptions et les registres explicatifs de l'élève : « La nature du temps chez les élèves dépend de leurs conceptions et de leurs registres explicatifs » (Boughanmi, 2009). En effet, cet auteur souligne que les apprenants mobilisant le temps relativement court « *le temps à l'échelle Humaine* » travaille dans des registres explicatifs qui renvoient à :

- l'anthropomorphisme : Ils estiment des durées des phénomènes dans le cadre du temps humain ; l'histoire humaine qui date des siècles à des milliers d'années ;
- l'effet psychique : Ils n'arrivent pas à accepter l'immensité du temps géologique ;
- la conception artificielle : l'estimation des durées des phénomènes géologiques par rapport aux durées des phénomènes artificiels relativement courtes.

Le temps long ou « *le temps à l'échelle géologique* » apparaît dans les processus géologiques ou biologiques lorsque les élèves travaillent dans les registres explicatifs tectonique, évolutionniste ou gradualiste ». En d'autres termes, ces élèves sont incapables de limiter la durée des processus de la fossilisation dans cette immense chronologie géologique « *l'échelle du temps géologique* ». Par conséquent, ils estiment la durée des processus de la fossilisation en équivalence à la durée des phénomènes tectoniques et évolutionnistes majeurs, ce qui n'est pas toujours valide, notamment dans le cas de la fossilisation.

Par ailleurs, les élèves mobilisant les temps courts éprouvent des difficultés à imaginer les longues durées. Bernard Guy (2002), renvoie ce type de difficulté à l'obstacle des longues durées : « *on ne peut accéder aux longues durées en empilant du temps humaine. C'est une autre façon de dire que le temps géologique dépasse l'imagination* ».

Enfin, nous déduisons que la majorité des élèves n'arrive pas à estimer la durée de la fossilisation. En effet, seulement 29,40% sont conscients de la spécificité de ce phénomène géologique et affirment que la durée de ce phénomène est variable selon les cas et les conditions régnantes dans le milieu de fossilisation.

## 2. 4 Question 14 et analyse des réponses

### a. Question 14

Le but de cette question est de savoir les échelles d'espaces mobilisées par nos lycéens en retraçant l'évolution des processus de la fossilisation.

➤ **Les processus de fossilisation peuvent se produire sous quelle épaisseur ?**

- a) quelques centimètres de sédiments
- b) quelques mètres de sédiments
- c) quelques dizaines de mètres de sédiments
- d) quelques centaines de mètres de sédiments
- e) quelques kilomètres de sédiments

### b. Analyse des réponses à la question 14

Les résultats obtenus figurent dans le tableau ci-dessous (Tableau 32).

**Tableau 32 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 14**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences
Quelques centimètres à quelques mètres de sédiments	98	49,20%
Quelques dizaines de mètres à quelques centaines de mètres de sédiments	65	32,70%
Quelques kilomètres de sédiments	36	18,10%
<b>Total</b>	<b>199</b>	<b>100%</b>

La majorité des répondants (81,90%) mobilise des profondeurs de sédiments centimétriques à métrique, et d'autres (18,10%) convergent vers l'échelle kilométrique.

De plus, la saisie des réponses à cette question nous a permis de déterminer un taux élevé de réponses contradictoires pour les mêmes élèves : plus de 40 élèves ont sélectionné en même temps des épaisseurs kilométriques et centimétriques à métrique. Ceci peut être expliqué soit par un choix au hasard ou par la méconnaissance des profondeurs favorables à la fossilisation. L'immensité des écarts des deux grandeurs spatiales mobilisées traduit une interrogation sur la connaissance des élèves des épaisseurs des couches du sous-sol qualifié d'espace de fossilisation. Excepté le concept de « *strate* », le programme scolaire du secondaire lycéen ne donne aucun indice sur les échelles spatiales de ce phénomène.

Le sous-sol est un inconnu imaginé par l'esprit humain comme caché. Par conséquent, les élèves trouvent des difficultés à extrapoler les grandeurs spatiales en profondeurs. Donc, nous pensons que le recours à la redécouverte des phénomènes géologiques dans un cadre spatio-temporel peut faciliter l'imagination de ces derniers.

On peut noter que les élèves n'hésitent pas seulement quant à l'immensité de temps mais aussi en ce qui concerne l'immensité de l'espace, notamment les profondeurs constituant des espaces énigmatiques.

### **III. Obstacles et suggestions de remédiation**

#### **1. Question 15 et analyse des réponses**

##### **1.1 Question 15**

Dans cette question, nos lycéens sont appelés à indiquer les notions qui peuvent constituer des obstacles à la compréhension des mécanismes de la fossilisation.

➤ **Quels sont à votre avis, ce qui entrave votre compréhension des mécanismes de la fossilisation ?**

- a) l'identification des fossiles
  - b) la relation fossilisation-sédimentation
  - c) l'échelle du temps géologique
  - d) l'imagination des phénomènes de fossilisation dans l'espace et dans le temps
  - e) la complexité des phénomènes microscopiques de fossilisation (diagenèse, substitution minéralogique...)
  - f) la complexité des termes paléontologiques
  - g) les méthodes d'enseignement
  - h) le manque de sorties sur le terrain
  - i) **Autres ; expliquez :**
- .....

## 1.2 Analyse des réponses à la question 15

Les résultats obtenus montrent que l'assimilation du phénomène de la fossilisation par nos lycéens se heurte aux différents types des obstacles (Tableau 33) :

- **Catégorie 1** : renferme les élèves (45,80%) qui ont cité des difficultés de nature pédagogique : *méthodes de l'enseignement, manque de sorties sur le terrain, le manque des travaux pratiques, complexité des termes paléontologiques...* ;
- **Catégorie 2** : regroupe les apprenants (31,40%) qui ont pensé aux difficultés d'assimilation des processus liés au phénomène de la fossilisation : *identification des fossiles, relation fossilisation-sédimentation, complexité des phénomènes microscopiques de fossilisation (diagenèse, substitution minéralogique)* ;
- **Catégorie 3** : englobe le groupe des élèves (22,80%) qui a déclaré des difficultés pour la mobilisation des facteurs temps et espace : *échelle du temps géologique, imagination des phénomènes de fossilisation dans l'espace et dans le temps.*

**Tableau 33 : Nombre de citations par catégories de la question 15**

Propositions	Nombres de citations	Fréquences
<b>Catégorie 1</b>	273	45,80%
<b>Catégorie 2</b>	187	31,40%
<b>Catégorie 3</b>	136	22,80%
<b>Total</b>	<b>596</b>	<b>100%</b>



Nous remarquons que les résultats obtenus épousent les résultats du TGN. En effet, les élèves éprouvent des difficultés de nature pédagogique et aussi des difficultés pour l'assimilation des processus liées au phénomène de la fossilisation.

## 2. Question 16 et analyse des réponses

### 2.1 Question 16

Les élèves ont choisi des suggestions pour surmonter leurs difficultés relatives à la compréhension des processus de la fossilisation.

➤ <b>Quelles sont vos suggestions pour surmonter les difficultés rencontrées ?</b>		
a) faire plus de sorties de terrain		
b) disposer des documents audiovisuels reconstituant les phénomènes étudiés		<input type="checkbox"/>
c) consacrer plus de temps aux travaux pratiques de paléontologie		<input type="checkbox"/>
d) faire participer l'élève à l'élaboration de certaines parties du cours (à partir des recherches personnelles, des exposés, etc.).		<input type="checkbox"/>
e) utiliser les technologies de l'information et de la communication NTIC (power-point, accès internet, hyper-navigation, animation 3D, images etc.).....		<input type="checkbox"/>
f) <b><u>autres ; expliquez :</u></b>		<input type="checkbox"/>
.....		

### 2.2 Analyse des réponses à la question 16

Le tableau ci-dessous (Tableau 34) rassemble les réponses obtenues.

**Tableau 34 : Nombre enregistrés pour chaque suggestion proposée de la question 16**

Propositions	Nombre enregistrés	Fréquences
Faire plus de sorties sur le terrain	102	26,80%
Disposer des documents audiovisuels reconstituant les phénomènes étudiés	85	22,40%
Utiliser les technologies de l'information et de la communication NTIC	80	21,10%
Consacrer plus de temps aux travaux pratiques de paléontologie	61	16,10%
Faire participer l'étudiant à l'élaboration de certaines parties des cours	52	13,70%
<b>Total</b>	<b>380</b>	<b>100%</b>

D'après les suggestions choisies, nous constatons que nos élèves sont conscients que la sortie sur le terrain et les travaux pratiques sont les moyens prioritaires pour la compréhension de tout phénomène géologique (42,90%). Mais, ces priorités ne sont pas toujours accessibles vu les différents types de contraintes (volume horaire non adapté au programme ; contraintes administratives ; contraintes logistiques...). Pour surmonter ce type d'obstacle, nos élèves suggèrent le recours aux moyens audiovisuels (22,40%) et les TICE (21,10%). Ils pensent que ces outils peuvent les aider pour améliorer leurs apprentissages. Enfin, un groupe d'élèves (13,70%) insiste sur l'autoformation.

## **Conclusion**

L'examen des résultats obtenus met en évidence une corrélation entre l'apport de la TGN et celui du questionnaire. Cette corrélation confirme l'existence, chez nos apprenants, des difficultés de nature pédagogique et d'autres sont liées directement à la mobilisation des facteurs temps et espace pour l'assimilation des processus de la fossilisation. Le tableau ci-dessous (Tableau 35) récapitule les principaux types de difficultés soulevés.

L'analyse de ces difficultés révèle la nécessité d'introduire des mesures d'accompagnement et d'aide didactique : organiser des sorties sur le terrain ; consacrer un volume horaire pour les travaux pratiques de la géologie au secondaire ; introduire les NTIC en terme d'hypermédia, de documents audiovisuels, des didacticiels ; guide de terrain, etc.).

**Tableau 35 : Typologie d'obstacles détectés chez les lycéens, à propos des concepts, fossile et fossilisation.**

<b>Concepts</b> <b>Type d'obstacles</b>	<b>Fossile</b>	<b>Fossilisation</b>
<b>"Origine du fossile :</b>	identification du fossile grâce à son origine (animale/végétale)	<hr/>
<b>Conception du "temps"</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• le temps et l'espace sont, rarement, utilisés simultanément ;</li> <li>• survalorisation du facteur temps au préjudice du facteur espace ;</li> <li>• le temps n'est évoqué qu'en termes d'ancienneté des fossiles sans précision d'échelle temporelle ; ou comme outils de datation relative seulement ;</li> <li>• l'espace est rarement interpellé.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• explications vastes sans indiquer aucun processus de la fossilisation, ni son déroulement dans le temps ou dans l'espace ;</li> <li>• explications de la fossilisation par une simple relation d'intérêt (datation, reconstitution de paléo-environnement) ;</li> <li>• explications signalant la succession temporelle sans préciser l'échelle de temps ;</li> <li>• explications ignorant totalement les étapes du phénomène mais mobilisant l'échelle Humaine ou l'échelle du temps géologique.</li> </ul>
<b>Conception d'"espace"</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• sous-estimation de l'espace par rapport au temps ;</li> <li>• une hésitation vis-à-vis l'immensité de l'espace géologique ;</li> <li>• difficultés à mener une extrapolation dans le sous-sol ;</li> </ul> incapacité de corréliser entre les différentes échelles d'espace.
<b>D'analogie</b>	tous les fossiles sont analogues à un prototype déjà rencontré.	<hr/>

<b>D'actualisme</b> (obstacles de conception du "temps" et d'"espace ")	_____	<ul style="list-style-type: none"> <li>• difficultés de mener un feed-back dans la flèche du temps ;</li> <li>• l'évolution dans le temps est imaginée séparément à l'évolution dans l'espace ;</li> <li>• résistance à la contemporanéité fossilisation/sédimentation ;</li> </ul>
<b>De contingence</b>	_____	<ul style="list-style-type: none"> <li>• difficultés de la compréhension des interactions organismes/ encaissants ;</li> <li>• résistance à admettre l'effet du hasard.</li> </ul>
<b>Linguistique</b>	_____	conception négative envers quelques processus tels que la dégradation ou destruction.
<b>D'artificialisme</b>	Les fossiles sont sculptés par l'Homme	_____
<b>De méconnaissance</b>	critères d'identification d'un fossile ;	<ul style="list-style-type: none"> <li>• différents modes de fossilisation ;</li> <li>• processus mis en jeu dans la fossilisation ;</li> </ul>

**Chapitre 5 : Étude de mobilisation des facteurs temps et espace sur le concept fossile et ses dérivés, par les étudiants**

## Introduction

Le présent chapitre s'intéresse à l'étude de la perception et de la mobilisation des paramètres *temps* et *espace* lors de l'apprentissage des phénomènes géologiques chez les étudiants inscrits aux semestres S5/S6 de Licence et Master de la filière des Sciences de la Terre et l'Univers (STU). Cette étude porte sur le concept fossile et ses dérivés.

La méthodologie adoptée s'articule autour d'une enquête par questionnaire qui nous a permis de dévoiler les difficultés rencontrés pour l'apprentissage des concepts ci-dessus. Les thèmes du questionnaire sont établis à la lumière des résultats de la Technique du Groupe Nominale (TGN).

### **A. Application de la technique de groupe nominale (TGN), pour le concept "fossile" et ses dérivés**

Les résultats que nous présentons ici ont été obtenus au cours de l'année universitaire 2015/2016 auprès d'un groupe de 15 étudiants inscrits aux semestres S5/S6 de Licence et Master de la filière des Sciences de la Terre et l'Univers, choisi au hasard. Nous leur avons posé, dans la première séance d'une durée d'une heure, la question nominale 1 : « *Citez une liste de mots en relation avec le terme fossile* ». (Annexe 3)

Après une semaine, nous avons rassemblé le même groupe dans la même salle et dans les mêmes conditions, d'une façon générale. Nous avons posé la deuxième question nominale « *Les obstacles qui bloquent votre compréhension des mécanismes liés à la formation des gisements fossilifères sont :* ». (Annexe 3)

### **I. TGN de la question nominale 1 : « Citez une liste de mots en relation avec le mot fossile. »**

Les énoncés que les élèves ont proposé à la question nominale 1 sont classés par ordre d'importance décroissant dans le tableau 36 ci-dessous :

**Tableau 36 : Classement des énoncés de la TGN pour la question nominale 1**

Réponses	Poids	Ordre	Nombres de citations
Accumulations de fossiles	39	1	5
Thanatocénose	36	2	5
Effondrement de terrain, Hécatombe	32	3	4
Biotope	29	4	4
De bons indicateurs de paléo-environnements	24	5	3
Biocénose	23	6	4
Peuvent subir des transformations (dissolution ; compaction)	20	7	5
Ichnofossiles	17	8	3
Se forment dans les roches sédimentaires	16	9	2
Epigénie	15	10	3
Moulages externe et interne	14	11	3
Indicateurs de l'âge des roches	9	12	1
Peuvent être remobilisés	7	13	1

La méthode du calcul du poids total des citations et des fréquences est explicitée dans le chapitre méthodologie (chapitre 3).

Les réponses obtenues sont réparties en quatre catégories :

- **Catégorie 1 :** Cette catégorie rassemble les réponses (127 citations, soit 45,20% du nombre total de citations) faisant allusion aux gisements fossilifères (*Accumulations de fossiles, Thanatocénose, Biocénose, Biotope*) ;
- **Catégorie 2 :** Dans cette catégorie nous avons regroupé les réponses (75 citations, soit 26,69% du nombre total de citations) évoquant des conditions de la fossilisation (*Effondrement de terrain, Hécatombe, Peuvent subir des transformations, Dissolution, Compaction, Se forment dans les roches sédimentaires, Peuvent être remobilisés*) ;
- **Catégorie 3 :** Elle englobe les réponses (46 citations, soit 16,37% du nombre total de citations) rappelant les modes de fossilisation (*Ichnofossiles, Epigénie, Moulages externe et interne*) ;
- **Catégorie 4 :** Elle renferme les réponses (33 citations, soit 11,74% du nombre total de citations) citant l'intérêt des fossiles, en tant qu'indicateur spatio-temporel (*Indicateurs de l'âge des roches, De bons indicateurs de paléo-environnement*).

## II. TGN de la question nominale 2 : « Les obstacles qui bloquent votre compréhension des mécanismes liés à la formation des gisements fossilifères sont :»

Les obstacles qui bloquent la compréhension des mécanismes de formations des gisements fossilifères, chez les étudiants, sont matérialisés par des énoncés en termes de poids ou notes qu'ils ont donnés à chaque proposition au cours du vote lors de la technique TGN (Tableau 37).

**Tableau 37 : Classement des énoncés de la TGN pour la question nominale 2**

Réponses	Poids	Ordre	Nombre de citations
Rareté des sorties sur le terrain	40	1	5
Difficulté d'assimilation des mécanismes de formation des gisements fossilifères	34	2	4
Manque de communication entre étudiants et professeurs	33	3	4
Impossibilité de suivre l'évolution spatio-temporelle de la formation d'un gisement fossilifère	31	4	4
Termes paléontologiques très compliqués	23	5	3
Rareté des gisements fossilifères bien préservés pour effectuer des études sur le terrain	22	6	3
Insuffisance du volume horaire alloué aux travaux pratiques de paléontologie	21	7	3
Difficulté de concevoir un gisement fossilifère dans les couches sédimentaires (sa situation, sa forme...)	18	8	3
Programme trop chargé et basé principalement sur des cours magistraux	14	9	2
Manque de ressources multimédia (vidéo, film documentaire, animation), qui peuvent simplifier la compréhension des mécanismes de formation des gisements fossilifères	13	10	2
Insuffisance du matériel pédagogique, notamment celui réservé aux sorties sur le terrain (marteaux, loupes, etc.)	12	11	2

Les difficultés évoquées par nos étudiants peuvent être catégorisées comme suit :

- **Catégorie 1 « obstacles d'ordre pédagogique »** : Elle regroupe les réponses avec les poids et les pourcentages les plus élevés (134 citations, soit 51% du nombre total de citations). Il



s'agit des difficultés liées aux méthodes pédagogiques adoptées en classe (*Rareté des sorties sur le terrain ; Manque de communication entre étudiants et professeurs ; Insuffisance du volume horaire alloué aux travaux pratiques de paléontologie ; Programme trop chargé et basé principalement sur des cours magistraux ; Manque de ressources multimédia qui peuvent aider la compréhension des mécanismes de formation des gisements fossilifères ; Insuffisance du matériel pédagogique, notamment celui réservé aux sorties sur le terrain*) ;

➤ **Catégorie 2 : « obstacles liés au concept "de gisement fossilifère" »** : Elle englobe des réponses avec un poids et un pourcentage aussi important (104 citations, soit 40 % du nombre total de citations). Ils renvoient aux difficultés d'assimilation de l'évolution des mécanismes de formation des gisements fossilifères, notamment dans un cadre spatio-temporel (*Difficulté de compréhension des mécanismes de formation des gisements fossilifères ; Impossibilité de suivre l'évolution spatio-temporelle de la formation d'un gisement fossilifère ; Rareté des gisements fossilifères bien préservés pour effectuer des études sur le terrain ; Difficulté de concevoir un gisement fossilifère dans les couches sédimentaires (sa situation, sa forme...)*).

Des réponses (23 citations, soit 9 % du nombre total de citations), en relation avec les termes de la paléontologie (*Termes paléontologiques très compliqués*) sont aussi mentionnées.

## **Conclusion**

D'après ces résultats, nous déduisons que nos apprenants éprouvent des difficultés d'une part, d'ordre pédagogique liées, aux méthodes d'enseignement adoptées, d'autre part à la nature de la géologie en tant que discipline ardue pour l'appréhension des concepts de "fossile" de "fossilisation" et des "mécanismes de formation des gisements fossilifères". En effet, ils jugent les méthodes d'enseignement inadaptées à la géologie, en tant que discipline de terrain. L'apprentissage de la géologie en classe sans excursions de terrain et moins de travaux pratiques ne permet donc pas le développement des compétences visées, et rend ces concepts inaccessibles. En particulier, les apprenants avouent leur incapacité à retracer la progression spatio-temporelle des mécanismes de formation des gisements fossilifères. Ces résultats nous ont guidés dans l'assortiment des thématiques de notre questionnaire, pour la suite de notre investigation.

## B. Résultats de l'enquête par questionnaire

Les résultats de la TGN, soumis aux étudiants de filière STU de la FSDM, nous ont guidés dans l'élaboration de notre questionnaire. Cette enquête par questionnaire est composée de vingt questions de type fermées ; semi-fermées et ouvertes. Notre population est composée de 185 étudiants, inscrits en Licence et Master (Tableau 38), de la filière STU, appartenant à deux facultés des sciences (FSDM ; FST) de Fès.

**Tableau 38 : Nombre d'étudiants de la FSDM et de la FST, participants à l'enquête par questionnaire.**

Établissements	Nombres d'étudiants	Pourcentages
FST	94	51%
FSDM	91	49%
<b>Total</b>	185	100%

Pour le choix de notre échantillon, nous avons adopté l'échantillonnage aléatoire simple. En effet, notre population correspond à une sous-population de l'ensemble des étudiants de la filière STU des universités marocaines. Cette sous-population disponible peut remplir les conditions d'une population aléatoire. Il existe une relation entre notre sous-population et la totalité de la population du Maroc. En effet, elle est valide puisque ces deux ensembles d'étudiants ont subi la même formation avec les mêmes moyens didactiques et pédagogiques et de conditions socio-culturelles similaires.

### I. Concept fossile : Comment les étudiants définissent-ils l'objet fossile ?

Cette partie du questionnaire vise la détection des représentations que les étudiants se font de l'objet fossile. En fait, nous essayons de répondre à la question suivante : *Est-ce que les étudiants, de niveaux Licence et Master, de la filière STU se heurtent aux mêmes types de difficultés que les lycéens ?*

## 1. Les critères d'identification de l'objet fossile

### 1.1 Question 1 et analyse des réponses

#### a. Question 1

Elle est composée d'une définition et des exemples :

✚ Qu'est-ce qu'un fossile ?		
.....		
➤ Indiquez parmi la liste suivante les objets que vous considérez comme fossiles. Expliquez.		
Objet	Oui	Expliquez
Tronc d'arbre silicifié		
Moulage externe d'oursin		
Coquille d'ammonite		
Valves d'huîtres actuelles		
Moulage interne de Trilobite		
Bactéries conservées dans les cristaux de sel		
Traces de déplacements de dinosaures		
Travertin		
Traces de terriers		

#### b. Analyse des réponses à la question 1

Pour le traitement des réponses, nous avons procédé par la technique d'analyse de contenu. Cette technique nous a permis d'élaborer des grilles d'analyse construites sur la base des critères d'identification des fossiles cités par les étudiants.

**Remarque :** le nombre total de citations est la somme de toutes les réponses de tous les enquêtés.

En se référant aux résultats obtenus, nous avons réparti les réponses des étudiants en quatre catégories (Tableau 39) :

**Tableau 39 : Grille d'analyse des réponses par catégorie de la question 1**

Catégories	Nombres de citations sur 1900	Fréquences
<b>Catégorie 1</b>	1140	60%
<b>Catégorie 2</b>	414	21,80%
<b>Catégorie 3</b>	239	12,60%
<b>Catégorie 4</b>	85	4,50%

➤ **Catégorie 1 : réponses évoquant l'origine du « fossile »**

Dans cette catégorie, nous avons regroupé les réponses (60%) qui ont défini ou identifié les fossiles grâce à leurs origines. En effet, une bonne partie (28,2%) a mobilisé les modes de fossilisation pour identifier un fossile (*empreintes, débris, traces de déplacement, moulage, trous, terriers, os, dents, traces d'activités d'animaux*). D'autres étudiants (26,3%) ont évoqué sa nature (*animal/végétal*), avec une survalorisation de la nature animale (19,3%) : « *ce sont des animaux ; des insectes ; des poissons.* », aux dépens de la nature végétale (4,5%) : « *empreintes des fougères ; restes de plante ; ...* ». Finalement, certains étudiants (7%) ont cité des exemples de microfossile : « *foraminifères ; radiolaires ; ostracodes* », se sont des exemples fréquentés, généralement, dans les travaux pratiques de micropaléontologie ;

➤ **Catégorie 2 : réponses évoquant le facteur temps seulement**

Elle renferme des réponses (21,8 %) qui mobilisent différentes facettes du facteur temps :

✓ **ancienneté des fossiles** : en faisant allusion à l'échelle temporelle : *ce sont des restes d'êtres vivants qui « se sont vécus pendant une période géologique déterminée ; se sont vécus pendant la période de dépôt de la roche qui les renferme ; caractérise une période du temps géologique donnée »,* ou sans faire allusion à l'échelle temporelle « *organismes anciens ; se sont vécus dans le passé ; se sont vécus depuis longtemps* » ;

✓ **outils de datation relative** : « *ils constituent des registres temporelles ; utilisés pour connaître la chronologie des couches sédimentaires ; ils ont un rôle très important dans la datation des événements géologiques se produisant dans les séries sédimentaires.*».

➤ **Catégorie 3 : réponses mobilisant les processus de fossilisation ou de sédimentation**

Celle-ci englobe les réponses (12,6 %) mobilisant les processus de fossilisation et/ou la sédimentation : « *mort ; enfouissement, dépôt, érosion, dégradation de la matière organique, conservation des parties dures, transport* ».

Il est remarquable que les répondants ne citent qu'un seul ou parfois quelques processus impliqués dans la fossilisation. De plus, ils n'évoquent aucunement leur succession ni dans le temps et ni dans l'espace. Malgré leur formation, il s'est révélé que nos étudiants éprouvent une méconnaissance de la succession des différentes étapes de la fossilisation dans le temps, ou encore leur succession dans l'espace.

➤ **Catégorie 4 : réponses évoquant le facteur espace seulement**

Une minorité (4,5 %, seulement huit étudiants) a mobilisé des conceptions renvoyant à l'espace soit :

- ✓ **en termes de localisation des fossiles** : « les fossiles sont des restes ou empreintes d'organismes : enregistrés dans les couches ; enterrés dans les sédiments ; caractérisants un environnement ancien donné. » ;
- ✓ **en termes de transport (changement de milieu)** : « les cadavres peuvent être entraînés par les eaux ; les restes d'un organisme mort peuvent être remobilisés de leur biotope originale à un autre milieu ; les coquilles allochtones. ».

Finalement, nous constatons que nos étudiants éprouvent un ensemble d'obstacles vis-à-vis de l'identification ou de la définition d'un "fossile". La majorité (60 %) d'entre eux identifie les fossiles grâce à leurs origines, avec une survalorisation de l'origine animale aux dépens de l'origine végétale. Ceux mobilisant les facteurs "temps" et "espace" constituent 26,3%, avec une sous-estimation du facteur espace. Les réponses mobilisant les processus de fossilisation ou de sédimentation (12,6%), ont révélé que ces étudiants sont conscients de la contemporanéité de la sédimentation et de la fossilisation et valorisent l'intérêt spatial des fossiles. Cependant, ils éprouvent une méconnaissance de la succession des différentes étapes de la fossilisation dans le temps, ou encore leur succession dans l'espace.

## 1.2 Question 2 et analyse de ses réponses

### a. Question 2

Elle se focalise sur la détection des critères mobilisés, par nos étudiants, lors de la discrimination des fossiles.

➤ **Quels sont les grands types de fossiles ?**

.....

### b. Analyse des réponses à la question 2

Ces résultats ont été analysés grâce à une grille d'analyse de contenu (Tableau 40).

**Tableau 40 : Nombres de citations enregistrés à la question 2**

Réponses	Nombres de citations	Fréquences
Intérêt des fossiles	123	53,50%
Leur paléo- environnement	55	23,90%
Les modes de fossilisation	28	12,50%
Origine des fossiles	24	10,40%
<b>Total</b>	<b>230</b>	<b>100%</b>

Les réponses ont montré que nos étudiants mobilisent divers types de critères de distinction des fossiles. Nous les avons catégorisés comme suit :

- **Catégorie 1** : englobe la majorité des répondants (65,70%), mobilisant les facteurs temps et espace. Ainsi, 53,50% des étudiants citent l'intérêt des fossiles : *fossiles stratigraphiques* (critère temporel) et *fossiles de faciès* (critère spatial). Et 23,90% ont évoqué le paléo-environnement des fossiles (critère spatio-temporel) : « *des fossiles marins anciens / des fossiles continentaux anciens* » ;
- **Catégorie 2** : renferme les réponses (12,50%) mobilisant le mode de fossilisation (*empreintes, moules internes, moules externes, traces de déplacement, restes d'organismes, traces de nutrition, terriers*) ;
- **Catégorie 3** : sélectionne les réponses (10,40%) mobilisant l'origine des fossiles (*animale, végétale*).

À noter qu'une bonne partie des étudiants (21,2%) n'a pas répondu à cette question.

Pour distinguer entre les fossiles, la majorité des répondants (65,70%) a mobilisé les critères espace et temps (l'intérêt des fossiles et leur paléo-environnement). Aussi, 17,2% ont souligné soit le critère mode de fossilisation (12,50%) soit le critère origine des fossiles (10,40%).

## **2. Les caractéristiques de l'objet fossile**

### **2.1 Question 3 et analyse des réponses**

#### **a. Question 3**

Les deux questions de cette partie, visent le diagnostic des conceptions mobilisées par les étudiants sur les caractéristiques des fossiles.

➤ <b>Est-ce qu'un fossile se caractérise par ?</b>		
a) la forme		<input type="checkbox"/>
b) la taille		<input type="checkbox"/>
c) la couleur		<input type="checkbox"/>
d) les dimensions		<input type="checkbox"/>
e) la symétrie		<input type="checkbox"/>
f) les stries d'accroissement		<input type="checkbox"/>
g) les caractères génétiques (ADN)		<input type="checkbox"/>
h) les ressemblances avec les espèces actuelles		<input type="checkbox"/>
i) la nature minéralogique du test		<input type="checkbox"/>

**b. Analyse des réponses à la question 3**

Les résultats obtenus (Tableau 41) montrent un pourcentage élevé des répondants à cette question (97% du nombre total des citations). Est-ce que cela peut témoigner que nos étudiants connaissent parfaitement les caractères d'identification d'un fossile ?

À noter que les travaux pratiques de paléontologie, notamment ceux d'identification des fossiles, fait partie du programme d'enseignement des étudiants des niveaux de S3 à S6.

**Tableau 41 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 3**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences
La forme	138	19,70%
La taille	130	18,60%
Les dimensions	84	12,00%
La symétrie	81	11,60%
Les ressemblances avec les espèces actuelles	78	11,20%
Les stries d'accroissement	60	8,60%
La nature minéralogique du test	58	8,30%
La couleur	36	5,20%
Les caractères génétiques (ADN)	34	4,90%
<b>Total</b>	<b>699</b>	<b>100%</b>

Nous remarquons que les fréquences allouées aux propositions données ne dépassent pas 19,7%. Ceci qui dénote un faible niveau de connaissances des critères d'identification des fossiles.

Nous avons subdivisé les résultats obtenus en deux catégories principales (Tableau 42) :

- **Catégorie 1** : inclut les propositions (70,50%) qui appartiennent aux caractères biométriques (caractères spatiaux) d'identification d'un fossile (*la forme ; la taille ; la symétrie ; les dimensions ; les stries d'accroissement*). La dominance des citations faisant allusion à ce type de caractères, rappelle les choix des lycéens pour la même question ;
- Catégorie 2** : englobe les propositions (29,50%) qui n'ont aucun lien avec les caractères biométriques et dotées des pourcentages les plus faibles. Nous pensons que le choix de ces caractères, même s'ils sont minoritaires, soit le fruit de la formation acquise. En effet, *la nature minéralogique* du test (8,30%) et *les ressemblances avec les espèces actuelles* (11,20%) parmi les critères d'identification des fossiles dispensés à nos étudiants, lors des séances des travaux pratiques et dans les cours magistraux (à travers des illustrations données). Autres (10%) ont sélectionné la couleur et les caractères génétiques (ADN).

**Tableau 42 : Nombres de enregistrés par catégories de la question 3**

Catégories	Nombres enregistrés	Fréquences
<b>Catégorie 1</b>	493	70,50%
<b>Catégorie 2</b>	206	29,50%
<b>Total</b>	<b>699</b>	<b>100%</b>

Enfin nous déduisons que les étudiants de la filière STU, malgré leur formation (travaux pratiques et cours) ne connaissent pas tous les critères d'identification des fossiles. En effet, les fréquences des critères les plus cités (*forme et taille*) ne dépassent pas 19,70%. De plus, ils survalorisent les critères biométriques (Catégorie 1) au détriment des autres critères (Catégorie 2).

## 2. 2 Question 4 et analyse des réponses

### a. Question 4



➤ **Est-ce que la taille des fossiles peut être :**

- a) millimétrique à pluri-centimétrique
- b) millimétrique à infra millimétrique
- c) métrique
- d) de toute dimension

**b. Analyse des réponses à la question 4**

Les résultats ci-dessous (Tableau 43) révèlent que presque la moitié (49,20%) de nos étudiants affirme la diversification des tailles des fossiles « *de toute dimension* », alors que l'autre partie d'étudiant (50,80%) pense que les fossiles peuvent être soit de petites tailles (33,10%) : « *millimétrique à pluri centimétrique ; millimétrique à infra millimétrique* », soit de grandes tailles (17,80%) : « *métrique* ».

**Tableau 43 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 4**

<b>Propositions</b>	<b>Nombres enregistrés</b>	<b>Fréquences</b>
De toute dimension	116	49,20%
Millimétrique à pluri-centimétrique	57	24,20%
Métrique	42	17,80%
Millimétrique à infra-millimétrique	21	8,9%
<b>Total</b>	<b>236</b>	<b>100%</b>

Malgré la diversification des échantillons des fossiles présentés lors des séances des travaux pratiques et pendant les cours, une partie considérable des répondants (49,20%) ne différencie pas correctement les tailles des fossiles. Cette ignorance peut être due à la méconnaissance ou la non maîtrise des différentes étapes de la fossilisation, en l'occurrence leurs successions dans le *temps* et dans *l'espace*.

Nous déduisons que la non assimilation ou la méconnaissance des différentes étapes de la fossilisation, ou encore les difficultés de mobilisation des facteurs *temps* et *espace*, peuvent entraver la capacité des étudiants de concevoir l'histoire évolutive de la fossilisation et d'imaginer leur succession *spatio-temporelle*.

## 2.3 Question 5 et analyse des réponses

### a. Question 5

➤ **Quelles sont les caractéristiques des organismes les mieux préservés (fossilisés) :**

a) *de petites tailles*

Oui  Non

Expliquez : .....

b) *de grandes tailles*

Oui  Non

Expliquez : .....

c) *des organismes marins*

Oui  Non

Expliquez : .....

d) *des organismes aériens*

Oui  Non

Expliquez : .....

### b. Analyse des réponses à la question 5

#### ✚ Résultats des réponses à la question 5

Le but de cette question est de vérifier si les étudiants établissent un lien entre la distribution spatiale des organismes, les plus postulants à la fossilisation, et leurs tailles. Le tableau 44 ci-dessous représente les résultats obtenus :

**Tableau 44 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 5**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences	Nombres de réponses justifiés
Des organismes marins	119	39,90%	41
De petites tailles	87	29,20%	52
De grandes tailles	60	20,10%	57
Des organismes aériens	32	10,70%	52
<b>Total</b>	<b>298</b>	<b>100%</b>	<b>202</b>

La majorité d'étudiants a postulé le milieu marin comme espace favorable à la fossilisation (39,90%), au détriment du milieu aérien (10,70%). D'autre part, ils pensent que les organismes de petites tailles ont plus de chance à se fossiliser par rapport aux organismes de grandes tailles. Ces résultats (Tableau 44), nous ont permis de subdiviser les conceptions des étudiants en :

**Remarque :** 70 élèves parmi 185 ont expliqué leurs réponses, dont le total relevé est de 202 ; chaque répondant peut donner plus qu'une explication pour la même réponse.

Les questions qui se posent ici sont :

***Pourquoi les étudiants pensent que les organismes de petites tailles sont les mieux préservés ?  
Pourquoi ont-ils la conception que le milieu marin est plus propice à la fossilisation ?***

#### **Grilles d'analyse des explications de la question 5**

Le traitement des réponses à cette question révèle que seulement 70 élèves sur 185 ont pu justifier leurs réponses. Ces résultats pourraient témoigner de la méconnaissance totale ou partielle des paramètres spatiaux liés à la fossilisation : les conditions de la fossilisation et les paramètres des milieux de fossilisation.

L'analyse des explications données est réalisée à l'aide de deux grilles d'analyse de contenu (Tableau 45 et 46), dont chacune explicite les justifications de choix de chaque paramètre spatial (la taille et le milieu de vie).

Tableau 45 : Grille d'analyse des explications de la question 5, liée à la taille des organismes.

		Pour "oui"		Pour "non"	
Explications	TOTAL	52	10		
	Selon les conditions du milieu	02	01		
	Longue durée de fossilisation	11	00		
	Facilement dégradable	21	06		
	Nécessitent plus d'espace (difficilement enfouies)	18	03		
	TOTAL	05	42		
	Selon les conditions du milieu	02	01		
	Courte période de fossilisation	00	07		
	Difficile à dégrader	03	15		
	Nécessitent moins d'espace (s'enfouissent facilement ; rapidement dans les sédiments)	00	19		
	Grandes tailles	Petites tailles			

Tableau 46 : Grille d'analyse des explications de la question 5, liée aux milieux de fossilisation

		Pour "oui"		Pour "non"	
	<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>29</b>		
	Moins d'apport sédimentaire	00	06		
	Milieu défavorable à la fossilisation (exposition directe aux agents destructeurs : oxydation ; érosion, dégradation biologique ; hydrodynamisme d'eau)	10	23		
	<b>TOTAL</b>	<b>31</b>	<b>02</b>		
	Selon mode de vie des organismes	05	00		
	apport sédimentaire plus important	07	02		
	Milieu favorable à la fossilisation (moins d'oxydation ; d'érosion, de dégradation biologique)	18	00		
<b>Explications</b>		<b>Milieu marin</b>	<b>Milieu aérien</b>		

*Est-ce que ces deux paramètres spatiaux (le milieu de fossilisation et la taille des organismes fossiles) sont dépendants chez les lycéens ?*

**Relation taille et milieu de fossilisation : Q5 x Q5.**

Pour mieux cerner les conceptions des étudiants concernant la dépendance entre ces deux paramètres spatiaux (la taille des organismes fossiles et le milieu de fossilisation), on a fait un croisement des modalités (propositions) de la question 5 à l'aide de test de Chi2 (voir plus de détails dans chapitre 3). Le tableau ci-dessous (Tableau 47) représente les résultats obtenus.

**Tableau 47 : Résultats de test de dépendance Chi2, des modalités représentant la taille et le milieu de vie, de la question 5.**

<b>Q5</b>	<b>Q5</b>	<b>De petites tailles</b>	<b>De grandes tailles</b>
<b>Des organismes marins</b>		71,34 (77)	55,66 (50)
<b>Des organismes aériens</b>		19,66 (14)	5,34 (21)

Les résultats du test sont comme suit :

Les valeurs du tableau sont les nombres de citations de chaque couple de modalités.

$H^0$  : « Les paramètres taille et milieu de vie sont indépendants ».

$H^1$  : « Les paramètres taille et milieu de vie sont dépendants ».

Nombre entre parenthèse : effectif théorique

Nombre sans parenthèse : effectif réel

$X^2_{thé} = 3,84$ , l'intervalle de confiance à 95 %, ddl = 1, P-valeur = 0,024

$X^2_{cal} = 4,74$

D'après ces résultats, le  $X^2_{cal}$  est supérieur à  $X^2_{thé}$  et P-valeur est inférieure à 0,05.

Le test (chi2) montre la dépendance entre les deux paramètres spatiaux (taille et milieu de vie).

Ces résultats sont inquiétants, du fait qu'une majorité de nos étudiants pense que la taille d'un organisme fossilisé dépend de son milieu de vie. En effet, la majorité pense que les organismes fossilisés d'origine marins sont de petites tailles (77 citations). Par contre, les organismes fossilisés d'origine terrestre sont de grandes tailles (21 citations).

### *c. Discussion*

Les justifications des étudiants ont dévoilé un ensemble de conceptions qui traduisent des difficultés de perception des facteurs *temps* et *espace* :

#### *Obstacle de perception du facteur temps :*

- la durée de la fossilisation dépend de la taille de l'organisme : ces étudiants pensent que la durée de la fossilisation dépend de la taille de l'organisme. Plus l'organisme est grand plus la durée de la fossilisation augmente, chose qui peut bloquer leur préservation. Contrairement aux organismes de petites tailles, ces étudiants trouvent que celles de grandes tailles sont rarement fossilisées à cause de la durée nécessaire à leur conservation. Par conséquent, ils conditionnent la fossilisation par la durée en négligeant tous les autres facteurs environnementaux (la vitesse d'enfouissement, le type des sédiments, le mode de vie de l'organisme, l'oxydation, la stabilité du milieu de sédimentation, etc.).
- la durée d'enfouissement = la durée de la fossilisation : une partie considérable (37 étudiants) évoque une survalorisation de l'étape d'enfouissement dans la préservation de l'organisme. En effet, ces derniers délimitent la durée de tout le phénomène de la fossilisation dans la durée de l'étape enfouissement, en négligeant l'intervalle de temps de toutes les autres étapes (la mort de l'organisme ; la dégradation de sa matière organique ; les transformations diagénétiques, la possibilité de transport).

#### *Obstacles de perception de l'espace.*

- La survalorisation du milieu marin : la majorité des répondants (31) trouve que le milieu marin est plus propice à la fossilisation. Par contre, ils conçoivent le milieu aérien comme milieu défavorable à ce phénomène. Il est caractérisé par l'abondance d'agents destructeurs des organismes (érosion, oxydation, biodégradation) où l'apport sédimentaire est généralement insuffisant. De cette façon, ils délimitent souvent la fossilisation dans le milieu marin. Ce type de conceptions démontre bien que ces apprenants ne sont pas conscients vraiment que la fossilisation est un phénomène très complexe et difficile à se réaliser. Il ne dépend pas d'un milieu bien déterminé, mais de

plusieurs facteurs environnementaux régnants au moment de la fossilisation. Les milieux marin et aérien sont exceptionnellement favorables à la fossilisation.

- Difficultés d'estimation des paramètres environnementaux : la majorité (28 étudiants) se sont centrés sur les agents destructeurs d'organismes sans évoquer les conditions du milieu contribuant à la réalisation de la fossilisation. En effet, seulement quelques étudiants ont relevé l'importance de la quantité d'apport sédimentaire (7 étudiants), et le mode de vie de l'organisme (5 étudiants). Aucun répondant n'a pensé à d'autres paramètres tels que la nature des sédiments, la vitesse d'enfouissement, l'effet des réactions physico-chimiques de la diagenèse ; ...

### Conclusion

Tous ces résultats dénotent que les étudiants de la filière STU éprouvent des difficultés de mobilisation des facteurs *temps* et *espace* pour comprendre le phénomène de la fossilisation. Par conséquent, rares sont les apprenants qui peuvent concevoir un modèle clair des différentes étapes de la fossilisation, ainsi que leurs successions dans le temps et dans l'espace.

### 3. La relation fossile-encaissant

L'objectif principal de cette partie est de vérifier si les étudiants retiennent (ou non) les mêmes difficultés depuis le lycée ; celles d'imagination des différentes étapes du phénomène de la *fossilisation* et en particulier *la relation fossile-encaissant*.

Nous rappelons que (Chapitre 4) la majorité des élèves trouve des difficultés à retracer une évolution spatio-temporelle de phénomène de la fossilisation.

#### Question 6 et analyse de ses réponses

##### a. Question 6

- **Est-ce que les roches sédimentaires contiennent toujours des fossiles ?**

Oui

Non

**Expliquez** : .....

##### b. Analyse des réponses à la question 6



Les réponses de cette question ont été analysées en deux étapes. Tout d'abord, nous avons calculé les pourcentages des répondants par *oui* ou par *non* (Tableau 48), ensuite, nous avons analysé leurs explications à l'aide d'une grille d'analyse de contenu (Tableau 49) :

#### **Nombre de réponses par oui ou par non**

Nous remarquons que les résultats (Tableau 48) obtenus sont comparables à ceux des lycéens (chapitre 4.). En effet, la moitié des étudiants (50%) pense que les roches sédimentaires ne contiennent pas toujours des fossiles (réponses par « *non* »). Tandis que 38% estiment que ces roches doivent toujours contenir des fossiles (réponses par « *oui* »). Quelles sont donc leurs explications ?

**Tableau 48 : Nombres enregistrés pour oui ou pour non, de la question 6**

Réponses	Nombres enregistrés	Fréquences
<b>Non</b>	91	50%
<b>Oui</b>	72	38%
<b>Aucune</b>	22	12%
<b>Total</b>	<b>185</b>	<b>100%</b>

#### **Grille d'analyse des explications des élèves**

Malgré le nombre élevé des répondants à cette question, 34 % (63 étudiants) seulement ont argumenté leurs réponses. Les justificatifs évoqués sont analysés comme suit (Tableau 49) :

**Tableau 49 : Grille d'analyse de contenu des explications des réponses à la question 6**

Justification de "non pas toujours"			Justification de "oui toujours"		TOTAL	63	100%					
Catégorie 1	Catégorie 2		Catégorie 1	Catégorie 2								
Roches azoïques (ni temps, ni espace)	Conditions défavorables à la fossilisation (espace et/ou temps)	Milieux de sédimentations dépourvus de vie (espace et/ou temps)	Association obligatoire entre roches sédimentaires et fossiles (ni temps, ni espace)	Pour dater les roches (temps seulement)				15	08	09	03	23,80%

Selon la grille ci-dessus, les explications des réponses par "**non pas toujours**" peuvent se répartir en deux catégories :

- **Catégorie 1** : rassemble les explications (23,80%) par l'existence de roches dépourvues de fossiles (roches azoïques) sans faire allusion ni au facteur **temps**, ni au facteur **espace** : « *parmi les roches sédimentaires, on trouve des roches azoïques ; « par ce qu'on a des séries sédimentaires azoïques* » ;
- **Catégorie 2** : regroupe les explications mobilisant le facteur **espace et /ou** le facteur **temps** (57,14%), en citant des indications sur le paléo-environnement. Dans cette catégorie, nous distinguons entre deux groupes de justifications :
  - ✓ Justifications par les mauvaises conditions de fossilisation (44,44%) (**facteur espace**) sans faire allusion au **facteur temps** (11,11%) : « *sous l'effet des courants ou des vagues, certaines fossiles peuvent se détruire totalement* » ; « *ou dessous de la limite CCD, les tests calcaires se dissolvent, donc ils n'ont plus de chance à se fossiliser* » ; « *selon le milieu de sédimentation ; les conditions de la fossilisation sont exceptionnelles* ». Ou en faisant allusion d'une façon indirecte au **facteur temps** (33,33%) : « *dans le cas paléo-environnement instable, la fossilisation est presque impossible* » ; « *les facteurs du milieu de dépôt anciens, peuvent bloquer la fossilisation* » ; « *il y avait des milieux défavorables à la fossilisation* ».
  - ✓ Justifications par l'absence originelle de vie dans le milieu de sédimentation (12,70%) (**facteur espace**), soit en mobilisant le **facteur temps** (4,80%) : « *il y avait des biotopes dépourvus de vie* » ; « *au cours des temps géologiques, il y avait des périodes où la vie est non enregistrée* ». Ou sans mobiliser le **facteur temps** (7,90%) : « *la sédimentation peut se produire dans un milieu sans organismes vivants* » ; « *si les organismes morts se sont enfouis dans des sédiments grossiers, ils peuvent être facilement biodégradés, par les micro-organismes* » ; « *la fossilisation ne peut plus se produire dans un environnement dépourvu de faune ou de flore* ».

Les explications des réponses par "**oui toujours**" se répartissent aussi en deux catégories :

- **Catégorie 1** : renferme les réponses (14,28%) justifiées par une association obligatoire entre les roches sédimentaires et les fossiles sans aucun argument scientifique : « *les roches magmatiques et métamorphiques ne conservent pas les fossiles, seules les roches sédimentaires qui peuvent les conserver* » ; « *quand on parle de roches sédimentaires, automatiquement on parle de fossiles* » ; « *on ne peut pas trouver de roches sédimentaires sans fossiles* » ;
- **Catégorie 2** : englobe les réponses (4,80%) justifiées par une relation d'intérêt, notamment l'intérêt des fossiles en tant qu'indicateurs temporels : « *les fossiles, sont des outils pour dater les roches sédimentaires* » ; « *ils servent à dater les roches* ». En conséquence, la datation des roches rend l'existence des fossiles nécessaire.

**Tableau 50 : Pourcentage des paramètres temps et espace mobilisés pour expliquer la réponse de la question 6**

Paramètres mobilisés	temps et espace	espace seulement	temps seulement	ni temps ni espace
Pourcentages	38,13%	19,01%	4,80%	38%

#### 4. L'intérêt des fossiles

Dans cette partie, nous traitons les réponses aux deux questions fermées 7 ; et 8. L'objectif ici est de mettre en évidence les conceptions des étudiants sur l'intérêt des fossiles comme indicateurs spatio-temporels (fossiles de faciès et / ou fossiles stratigraphiques). *Comment imaginent-ils cette relation d'intérêt ?*

##### 4.1 Question 7 et analyse des réponses

###### a. Question 7

Cette première question mesure le degré d'estimation, chez nos étudiants sur l'intérêt des fossiles comme indicateurs spatio-temporels (fossiles de faciès et / ou fossiles stratigraphiques).

➤ **Quels sont à votre avis les intérêts des fossiles ?**

- a) la reconstitution du paléo-environnement
- b) la reconstitution de la paléogéographie
- c) la reconstitution des étapes de l'évolution de la vie sur terre
- d) la datation des roches
- e) la détermination de la structure interne de la terre
- f) les corrélations des séries sédimentaires éloignées géographiquement
- g) la structuration et le découpage de l'échelle du temps géologique
- h) la reconstitution de l'histoire tectonique d'une région

**b. Analyse des réponses à la question 7**

Les résultats sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 51 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 7**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences
La datation des roches	133	20,70%
La structuration et le découpage de l'échelle du temps géologique	99	15,40%
La reconstitution de la paléogéographie	96	15%
La reconstitution du paléo-environnement	91	14,2%
La reconstitution des étapes de l'évolution de la vie sur terre	86	13,40%
Les corrélations des séries sédimentaires éloignées géographiquement	82	12,50%
La reconstitution de l'histoire tectonique d'une région	42	6,60%
La détermination de la structure interne de la terre	12	1,90%
<b>Total</b>	<b>641</b>	<b>100%</b>

Les réponses sont réparties en trois catégories (Tableau 52) :

- **Catégorie 1** : sélectionne les propositions (47,7 %) renvoyant aux fossiles comme indicateurs temporels seulement : (*la datation des roches ; la structuration et le découpage de l'échelle du temps géologique ; la reconstitution des étapes de l'évolution de la vie sur terre*) ;

- **Catégorie 2** : correspond aux propositions (29.8 %) considérant les fossiles comme indicateurs spatiaux seulement (*la reconstitution du paléo-environnement ; la reconstitution de la paléogéographie*) ;
- **Catégorie 3** : regroupe les propositions (20 %) renvoyant aux deux types d'intérêt, temporel et spatial.

Les réponses non catégorisées se répartissent entre 0,7 % des non répondants et 1,7 % des étudiants qui ont coché la réponse fautive (*la détermination de la structure interne de la terre*).

**Tableau 52 : Nombre de citations par catégorie de la question 7**

<b>Catégories</b>	<b>Nombres enregistrés</b>	<b>Fréquences</b>
<b>Catégorie 1</b>	318	49,60%
<b>Catégorie 2</b>	187	29,20%
<b>Catégorie 3</b>	124	19,30%
<b>Autres</b>	12	1,90%
<b>Total</b>	<b>641</b>	<b>100%</b>

Les résultats ci-dessus révèlent que la majorité des répondants connaît bien les intérêts des fossiles, ce qui n'était pas évident dans les résultats de la TGN, où seulement 11,74% des citations ont évoqué les intérêts des fossiles, en termes de fossiles de faciès et / ou fossiles stratigraphiques.

Toutefois, ces résultats montrent que la quasi-totalité de nos étudiants (environ 80 %) sous-estime l'intérêt à la fois temporel et spatial des fossiles. En effet, elle leur attribue dans la majorité des réponses seulement d'un intérêt temporel (49,60%), et non comme un intérêt seulement spatial (29.20%). Ce résultat pour l'intérêt à la fois temporel et spatial, peut-il entraver la reconstruction de l'histoire évolutive des mécanismes de formation des gisements fossilifères ?

## **4.2 Question 8 et analyse des réponses**

### **a. Question 8**

Celle-ci a pour objectif la mise en relief des conceptions des apprenants vis à vis des fossiles de faciès en tant qu'indicateurs spatiaux.

➤ **Est-ce que les fossiles de faciès sont de bons indicateurs de :**

a) bathymétrie

b) paléoclimat

c) variation de la salinité des eaux

d) variation de la température

e) oxydation

f) hydrodynamisme du milieu

g) transformations métamorphiques des roches

**b. Analyse des réponses de la question 8**

Le tableau ci-dessous représente le nombre enregistré pour chaque proposition (Tableau 53).

Tout d’abord, nous remarquons que la quasi-totalité (94,9%) des étudiants a répondu à cette question. Ce pourcentage élevé reflète-t-il un bon niveau de connaissances des étudiants, des utilités des fossiles de faciès ?

**Tableau 53 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 8**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences
de bathymétrie (variation de la profondeur)	103	23%
du paléoclimat	78	17,50%
de variation de la salinité des eaux	74	16,50%
de variation de la température	73	16,30%
des transformations métamorphiques des roches	41	9,17%
d’hydrodynamisme du milieu	39	8,80%
d’oxydation	39	8,80%
<b>Total</b>	<b>447</b>	<b>100%</b>

Pour traiter les réponses obtenues, nous avons fait un croisement des citations cochées par nos étudiants. Ce traitement nous a permis de distinguer entre trois catégories de réponses (Tableau 54°), pour un total de 1831 citations ; un même étudiant peut citer (ou choisir) plusieurs propositions en même temps.

**Tableau 54 : Nombres de citations par catégorie de la question 8**

Catégories	Nombres de citations sur 1831	Fréquences
<b>Catégorie 1</b>	633	35%
<b>Catégorie 2</b>	477	26%
<b>Catégorie 3</b>	343	18%

- **Catégorie 1** : Elle englobe les étudiants qui ont cité seulement les propositions (35 %) représentant des phénomènes constituant des paramètres physico-chimiques, microscopiques : « *variation de la salinité des eaux, variation de la température des eaux, oxydation, transformations métamorphiques des roches* ». Ces derniers constituent généralement des phénomènes dont les effets sont difficilement détectés à l'œil nu (des effets abstraits) ;
- **Catégorie 2** : Elle renferme les étudiants qui ont cité seulement les propositions (26 %) constituant généralement des phénomènes macroscopiques, dont les effets sont facilement détectés à l'œil nu (des effets concrets) : « *paléoclimat ; hydrodynamisme du milieu ; bathymétrie* » ;
- **Catégorie 3** : Elle est constituée des étudiants (18 %) qui ont sélectionné en même temps les deux types de propositions de la catégorie 1 et 2 et dotée de pourcentage moins élevés. Cette classe d'étudiants mobilise à la fois les paramètres spatiaux à grande échelle (macroscopique) et à petite échelle (microscopique).

### **c. Discussion**

Les étudiants des niveaux licence et master, doivent être capables d'appliquer le principe d'actualisme. Pour ce fait, ils sont appelés à corréliser entre différentes échelles de temps et d'espace. Cependant, comme déjà signalé chez les lycéens, nos étudiants éprouvent aussi des difficultés d'assimilation des liaisons entre les différentes échelles d'espace (observable-abstrait). En effet, seulement 18 % de ces derniers, ont mobilisé, en même temps, les différentes échelles d'espace (macroscopique et microscopique). Ce type de difficulté, entravera sans doute leurs capacités à reconstituer l'évolution spatio-temporelle d'un gisement fossilifère.



## II. La fossilisation

À partir des questions ci-dessous, nous estimons diagnostiquer les difficultés de nos étudiants, à comprendre l'évolution des différentes étapes de la fossilisation dans le temps et dans l'espace.

### 1. Les modes de fossilisation

Parmi les compétences visées dans les séances des travaux pratiques, en cycle Licence de la filière STU, on trouve l'identification des différents modes de fossilisation (travaux pratiques de paléontologie et micropaléontologie), les techniques d'observation microscopiques en géologique.

#### Question 9 et analyse des réponses

##### *a. Question 9*

Cette question entreprend l'évaluation de la capacité des étudiants à discerner les différents modes de fossilisation.

- **En se basant sur la planche 2 (Annexe 4), il s'agit de quel mode de fossilisation :**
- ✓ Moule interne :.....
  - ✓ Moule externe :.....
  - ✓ Coquille épigénisée :.....

##### *b. Analyse des réponses à la question 9*

Les résultats ci-dessous (Tableau 55) révèlent que presque la moitié (49,40%) des étudiants n'a pu identifier le mode de fossilisation. Presque de la moitié des répondants (60,30%) a pu identifier les moulages. Seulement 21,40% ont pu identifier les trois modes de fossilisation. Enfin, le troisième mode de fossilisation (l'épigénisation) n'a été identifié que par 18,30%.

**Tableau .55 : Résultats d'identification des modes de la fossilisation de la question 9**

<b>Propositions</b>	<b>Nombres enregistrés</b>	<b>Fréquences</b>
<b>Les moulages (internes et externes)</b>	79	60,30%
<b>Les trois modes de fossilisation</b>	28	21,40%
<b>L'épigénisation</b>	24	18,30%
<b>Total</b>	<b>131</b>	<b>100%</b>

Nous constatons que les étudiants éprouvent tous des difficultés dans l'identification de ces différents modes de fossilisation. Celles-ci sont évoquées comme suit :

- **Catégorie 1** : difficultés de vision spatiale (60,30%). En effet, la majorité de ces enquêtés (41,30%) identifie l'un des moulages sans préciser l'autre (interne ou externe), aussi 19% confondent entre le moule interne et le moule externe ;
- **Catégorie 2** : des difficultés d'ordre spatio-temporel. En effet, seulement 18,30% des étudiants ont pu identifier l'épigénisation. Ce phénomène résulte des réactions physico-chimiques se déroulant dans des échelles d'espace difficilement accessibles à l'œil nu. Même avec des observations microscopiques, ces apprenants sont incapables de concevoir le processus d'épigénisation. Ils ne peuvent pas avoir un feed-back dans le temps (*extrapolation temporelle*) pour imaginer la substitution du minéral original (minéral ancien) de la coquille par un autre minéral (le minéral actuel).

Ces résultats confirment ceux des questions précédentes (5 et 6) : la méconnaissance des modes de fossilisation ainsi que l'évolution spatio-temporelle des processus mis en jeu dans leur formation.

## **2. Les processus de la fossilisation**

### **2.1 Question 10 et analyse des réponses**

#### *a. Question 10*

➤ **Quels sont les processus de la fossilisation ?**

- a) la compaction
- b) la décomposition de la matière organique
- c) la diagenèse
- d) l'enfouissement
- e) la dissolution
- f) les déformations morphologiques
- g) le transport et le remaniement
- h) la sédimentation
- i) les transformations génétiques

**b. Analyse des réponses à la question 10**

Les résultats obtenus (Tableau 56) montrent un pourcentage élevé des répondants à cette question (93,7% du nombre total des citations).

**Tableau 56 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 10**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences
La sédimentation	101	18,90%
L'enfouissement	84	15,80%
La compaction	81	15,20%
La diagenèse	80	15%
La décomposition de la matière organique	55	10,3%
La dissolution	50	9,40%
Le transport et le remaniement	49	9,20%
Les déformations morphologiques	20	3,80%
Les transformations génétiques	13	2,40%
<b>Total</b>	<b>497</b>	<b>100%</b>

En premier lieu, nous remarquons que les processus « *sédimentation ; enfouissement ; compaction et diagenèse* » sont les plus cités. En deuxième lieu, ces étudiants citent les autres processus mis en jeu directement dans la fossilisation « *décomposition de la matière organique ; dissolution ; transport et remaniement ; déformations morphologiques* ».

À noter que, les pourcentages accordés à chaque processus ne dépassent pas 18,90%, ceci révèle un niveau de connaissance plus au moins modeste de ces processus.

Ces résultats révèlent un niveau de connaissances insuffisant des étudiants, pour tous les processus mis en jeu dans la fossilisation ; pourtant, faisant partie du programme de leur formation en cycle Licence, de la filière STU (cours et travaux pratiques). Ces apprenants sont donc incapables de maîtriser, tous les processus de la fossilisation. Alors, comment peuvent-ils être aptes à retracer une histoire évolutive du phénomène de la fossilisation dans le temps et dans l'espace ?

Enfin, nous constatons que la méconnaissance de la plupart des processus de la fossilisation constitue un vrai obstacle à l'assimilation de l'évolution de ce phénomène dans le temps et dans l'espace. De ce fait, l'objectif de la question suivante (Question 11) est de savoir comment ces enquêtés retracent cette évolution spatio-temporelle.

## 2.2 Question 11 et analyse des réponses

### a. Question 11

Comment les étudiants expliquent l'évolution spatiale et temporelle des processus de la fossilisation ?

➤ **Est-ce que les processus de la fossilisation peuvent être :**

- a) synchrones (en même temps)
- b) successifs
- c) répétés
- d) réalisés en une seule fois
- e) réalisés sous un seul niveau de la série sédimentaire
- f) réalisés sous plusieurs niveaux de la série sédimentaire

### b. Analyse des réponses à la question 11

Les résultats des réponses portant sur cette évolution figurent dans le tableau57 :

**Tableau 57 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 11**

<b>Propositions</b>	<b>Nombres enregistrés</b>	<b>Fréquences</b>
successifs	103	30,70%
réalisés sous plusieurs niveaux de la série sédimentaire	70	20,90%
réalisés en une seule fois	48	14,30%
synchrones (en même temps)	43	12,80%
répétés	40	11,90%
réalisés sous un seul niveau de la série sédimentaire	31	9,30%
<b>Total</b>	<b>335</b>	<b>100%</b>

8,1% des enquêtés n'ont pas répondu. Les réponses obtenues se répartissent comme suit :

- Pour *l'évolution temporelle* : 30,70% des étudiants ont évoqué une succession temporelle des processus de la fossilisation (un raisonnement linéaire causal), alors que 27,20% trouvent que ces processus peuvent être synchrones ou réalisés en une seule fois. Les autres, 11,90% ont cité la probabilité de la répétition des processus dans le temps ;
- Pour *l'évolution spatiale* : la majorité des étudiants 20,90% explique que les processus de la fossilisation se déroulent sous plusieurs niveaux de la série sédimentaire, alors que 9,30% soulignent que ces processus peuvent se réaliser sous un seul niveau de la série sédimentaire.

Pour mieux comprendre les conceptions des étudiants, portant sur de l'évolution spatio-temporelle des processus de la fossilisation, on a croisé les modalités temporelles avec celles spatiales de cette question.

***c. Résultats de croisement des réponses sur les modalités temporelles avec celles des modalités spatiales de la question 11***

Le tableau ci-dessous représente les résultats obtenus.

**Tableau 58 : Résultats de test de dépendance Chi2, des modalités représentant le temps et l'espace, de la question 11**

<b>Q11</b>	<b>Q11</b>	<b>Synchrone</b>	<b>Successifs</b>	<b>Répétés</b>	<b>Réalisés en une seule fois</b>
<b>Réalisés sous un seul niveau de la série sédimentaire</b>		12,87 (17)	22,61 (16)	9,74 (10)	10,78 (13)
<b>Réalisés sous plusieurs niveaux de la série sédimentaire</b>		24,13 (20)	42,39 (49)	18,26 (18)	20,22 (18)

Les valeurs du tableau sont les nombres de citations de chaque couple de modalités.

$H^0$  : « Les paramètres temps et espace sont indépendants ».

$H^1$  : « Les paramètres temps et espace sont dépendants ».

Nombre entre parenthèse : effectif théorique

Nombre sans parenthèse : effectif réel

$X^2_{thé} = 7,81$ , l'intervalle de confiance à 95 %, ddl = 3, P-valeur = 0,12.

$X^2_{cal} = 5,70$

D'après ces résultats, le  $X^2_{cal}$  est inférieure à  $X^2_{thé}$  et P-valeur est supérieure à 0,05.

Le test de dépendance (chi2) montre bien l'indépendance des paramètres spatio-temporels, dans les représentations de nos étudiants. En effet, ils mobilisent ces deux paramètres séparément. Seulement trois ou quatre d'entre eux (le pourcentage de variance expliquée : 3,15%), mobilisent les deux paramètres en même temps.

Nous déduisons que la majorité des étudiants est incapable de retracer l'évolution des processus de la fossilisation selon un modèle bidimensionnel (dans le *temps* et dans *l'espace*).

## **2.3 Question 12 et analyse de ses réponses**

### **a. Question 12**

Quel sont les intervalles de temps mobilisés par nos étudiants lors de leur conception des processus de la fossilisation ?

➤ **À votre avis, quelle est la durée nécessaire à la fossilisation d'un organisme ?**

- a) de quelques heures
- b) de quelques années
- c) pour des siècles
- d) pour des milliers d'années
- e) pour des millions d'années
- f) pour des milliards d'années
- g) variable selon les cas et les conditions

**b. Analyse des réponses à la question 12**

Grâce aux résultats obtenus sur le tableau 59, nous avons pu catégoriser les réponses des étudiants comme suit sur le tableau 60 :

**Tableau 59 : Nombres enregistré pour chaque proposition de la question 12**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences
Variable selon les cas et les conditions	71	23,10%
Des millions d'années	68	22,10
Des siècles	52	16,90%
Des milliers d'années	50	16,30%
Des milliards d'années	36	11,70%
Quelques années	17	5,50%
Quelques heures	13	4,20%
<b>Total</b>	<b>307</b>	<b>100%</b>

- **Catégorie 1** : regroupe les étudiants (43 %) ont choisi « *le temps à l'échelle Humaine* » les courtes durées : quelques heures à quelques années, des siècles, des milliers d'années ;
- **Catégorie 2** : regroupe les étudiants (33,90%) qui ont mobilisé les longues durées : des millions d'années ; des milliards d'années « *le temps à l'échelle géologique* » ;
- **Catégorie 3** : renferme les étudiants (23,10%) qui ont souligné que la durée des processus de la fossilisation est variable selon les cas et les conditions régnants dans le milieu de la fossilisation.

À remarquer que 7,30% des étudiants n'ont pas donné de réponses.

**Tableau 60 : Nombres de citations des propositions, classé par catégories de la question 12**

<b>Catégories</b>	<b>Nombres de citations</b>	<b>Fréquences</b>
<b>Catégorie 1</b>	132	43%
<b>Catégorie 2</b>	104	33,90%
<b>Catégorie 3</b>	71	23,10%
<b>Total</b>	<b>307</b>	<b>100%</b>

*c. Discussion*

Le traitement des résultats ci-dessus a mis en relief divers types d'intervalles de temps, mobilisés par les étudiants, pour la durée de la fossilisation. Ces intervalles de temps dépendent selon Boughanmi (2010) des conceptions et des registres explicatifs de l'apprenant. Cet auteur affirme que les apprenants mobilisant le temps relativement court, « *le temps à l'échelle Humaine* », travaille dans des registres explicatifs renvoyant à l'anthropomorphisme ; l'effet psychique ; la conception artificielle (Chapitre 1). Dans le même sens, Bernard Guy (2002), a évoqué « l'obstacle des longues durées : « *on ne peut accéder aux longues durées en empilant du temps humain. C'est une autre façon de dire que le temps géologique dépasse l'imagination* ». En d'autres termes, les étudiants mobilisant les temps courts (dans notre cas 43%), ont des difficultés à imaginer les longues durées.

Boughanmi (2010), ajoute que l'intervalle de temps « *le temps à l'échelle géologique* » surgit, surtout, dans les processus géologiques ou biologiques lorsque les apprenants travaillent dans les registres explicatifs : tectonique, évolutionniste ou gradualiste. Dans notre cas, il paraît clairement que les étudiants (33,90%), mobilisant ce type de temps, pensent que la durée des processus de la fossilisation est équivalente à la durée des phénomènes tectoniques et évolutionnistes majeurs, ce qui n'est pas toujours valide, notamment, dans le cas de la fossilisation.

Enfin, lors de l'estimation de la durée de la fossilisation, nous remarquons que la majorité d'étudiants a éprouvé presque les mêmes types de difficultés détectés chez les lycéens (chapitre 4).



## 2.4 Question 13 et analyse des réponses

### a. Question 13

La fossilisation est un phénomène se déroulant dans le temps et dans l'espace. Quelles sont donc les échelles d'espaces mobilisées, par nos étudiants, en retraçant cette évolution ?

➤ **Les processus de fossilisation peuvent se produire sous quelle épaisseur ?**

a) quelques centimètres de sédiments

b) quelques mètres de sédiments

c) quelques dizaines de mètres de sédiments

d) quelques centaines de mètres de sédiments

e) quelques kilomètres de sédiments

### b. Analyse des résultats à la question 13

Les résultats obtenus figurent dans le tableau ci-dessous (Tableau 61).

**Tableau 61 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 13**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences
Quelques centimètres à quelques mètres de sédiments	130	53,10%
Quelques dizaines de mètres à quelques centaines de mètres de sédiments	81	33,10%
Quelques kilomètres de sédiments	34	13,90%
<b>Total</b>	<b>245</b>	<b>100%</b>

Les résultats ci-dessus montrent que la majorité des répondants (86,10%) conçoivent le déroulement de la fossilisation dans des profondeurs de sédiments centimétriques à métriques, alors que le reste (13,90%) mobilise l'échelle kilométrique. Cette convergence vers des échelles centimétriques à métriques peut être expliquée par :

- ✚ l'hésitation, non seulement à l'immensité de temps mentionné ci-dessus (Question 11) mais aussi à l'immensité de l'espace.
- ✚ la méconnaissance des profondeurs favorables à la fossilisation. En effet, la saisie des réponses à cette question nous a permis de déterminer un taux de réponses contradictoire pour les mêmes étudiants 47 étudiants (7,5% de l'ensemble des réponses), ont sélectionné

en même temps des épaisseurs kilométriques, et centimétriques à métriques. L'immensité d'écart des deux grandeurs spatiales mobilisées traduit une interrogation sur la connaissance des étudiants des épaisseurs des couches du sous-sol qualifié d'espace de fossilisation.

La formation en cycle Licence, de la filière STU, planifie une variété de situations permettant à l'étudiant de développer ses capacités pour la vision dans l'espace, particulièrement, l'extrapolation des grandeurs spatiales en profondeurs (l'étude des forages ; la détermination des anomalies physiques telles que les failles, les réservoirs de pétroles, les gisements miniers, les zones sismiques, l'étude des constituants du sol, les principes de la cartographie, la tectonique analytique...). Malgré les objectifs de la formation, il paraît que nos étudiants n'arrivent pas à mener une extrapolation dans le sous-sol et par conséquent, à estimer les grandeurs spatiales en profondeurs du déroulement des processus de la fossilisation.

Par la suite, nous suggérons que pour faciliter l'assimilation de ce phénomène, il ne suffit pas de développer les capacités de la vision spatiale seulement, il faudrait avoir le recours à sa redécouverte dans le temps et dans l'espace. Cette redécouverte, met en relief toutes les variables spatio-temporelles (type de sédiment, profondeurs, températures, pression, oxydation, acidité du milieu, hydrodynamisme, vitesse d'enfouissement...), régnant dans le paléo environnement, et déterminant la possibilité de la réalisation ou non de la fossilisation.

## 2.5 Question 14 et analyse des réponses

La question ci-dessous a comme objectif de savoir si nos futurs géologues connaissent l'intérêt des fossiles de faciès (indicateurs d'espace).

### a. Question 14

➤ **Est-ce que les caractères morphologiques des fossiles de faciès sont le résultat d'une adaptation à un biotope bien déterminé ?**

Oui  Non

Expliquez : .....

### ***b. Analyse des réponses à la question 14***

Les recherches en paléontologie ont montré que les caractères morphologiques des fossiles ont une relation étroite avec de nombreux facteurs biotopiques : agitation, oxygénation, température, salinité des eaux, granulométrie des fonds.... À titre d'exemple, les Mollusques Bivalves constituent d'excellents indicateurs écologiques (fossiles de faciès). En effet, les espèces épibiontes présentent des coquilles morphologiquement adaptées à l'agitation du milieu en développant des coquilles plus épaisses et/ou des modes de fixation très solides, comme la cimentation d'une valve (Moore, 1969). De plus, les études éco-biologiques des Bivalves actuels a permis d'établir, par exemple, l'influence de la salinité des eaux sur la morphologie de la coquille (la dessalure comme la sur-salinité entraîne une diminution de taille avec allongement et moindre épaisseur), de la température (petite taille et moindre coloration dans les eaux froides), de l'agitation (coquille plus épaisse, muscles adducteurs et charnière plus forte en milieu agité) (Babin, 1966). Grâce au principe d'actualisme, les paléontologues peuvent reconstituer les conditions du paléo-environnement. Cela se fait en établissant des relations de dépendance entre la morphologie des coquilles et les conditions de l'habitat.

Les résultats ci-dessous (Tableau 62) révèlent que la majorité des répondants (79,70%, pour oui) connaît l'intérêt spatial des fossiles de faciès. Elle éprouve le lien entre la morphologie des fossiles et les paramètres du paléo-environnement, alors que seulement 20,30%, des répondants ignorent cette relation de dépendance. Aussi, on note un pourcentage très élevé des non réponses (30,3%).

**Tableau 62 : Nombres de réponses par *oui* ou par *non* à la question 14**

<b>Réponses</b>	<b>Nombres de citations</b>	<b>Fréquences</b>
<b>Oui</b>	98	79,70%
<b>Non</b>	25	20,30%
<b>Total</b>	<b>123</b>	<b>100%</b>

Cependant, le fait d'éprouver cette relation d'intérêt ne signifie pas forcément que ces étudiants sont capables de reconstituer le modèle d'un paléo-environnement dans un cadre spatio-temporel. En effet, ils doivent être aptes à mener un feed-back dans le temps, en traduisant les caractères morphologiques des fossiles de faciès comme indicateurs des conditions du paléo-

biotope (le facteur espace). Pour rapprocher les conceptions de ces étudiants, nous avons analysé leurs justificatifs en se basant sur une grille d'analyse de contenu (Tableau 63).

### c. Discussion

Nous remarquons que seulement 45,52% de l'ensemble des répondants ont pu justifier leurs réponses. Les catégories des justificatifs figurent dans la grille ci-dessous (Tableau 63) :

- **Catégorie 1** : 25 étudiants ont expliqué la relation de dépendance entre la morphologie des fossiles de faciès et les conditions du paléo-environnement par une simple relation d'intérêt : « *les fossiles de faciès peuvent constituer des indices de changement de climat* » ; « *les fossiles de faciès sont liés à un milieu particulier* ».
- **Catégorie 2** : 12 étudiants ont éprouvé la relation de dépendance entre la morphologie des fossiles de faciès et les conditions du paléo-environnement, par la citation des exemples des paramètres du milieu : « *certains organismes marins, développent des coquilles de grandes tailles pour se protéger contre les organismes carnivores* » ; « *il y a des organismes très sensibles au changement de la température* » ;
- **Catégorie 3** : 19 étudiants ignorent cette relation de dépendance entre la morphologie des fossiles de faciès et les conditions du paléo-environnement. Ils justifient leurs choix par le transport ou la dégradation des organismes : « *les fossiles peuvent être remaniés et ne représenteront plus leurs milieux de dépôt* » ; « *le transport peut dégrader ou changer la morphologie des coquilles* ».

**Tableau 63 : Nombre de réponses avec explications par catégorie de la question 14.**

Catégories	Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3	Total
Nombre de réponses avec explications	25	12	19	56

### d. Conclusion

D'après ces résultats, nous constatons que la majorité de nos étudiants ne sont pas capables d'exploiter les caractères morphologiques des fossiles de faciès. En effet, ils ont des difficultés à corréler entre la morphologie d'un fossile et les conditions de son paléo-biotope. Cette corrélation nécessite l'application du principe d'actualisme. Ils ont des difficultés à retourner

dans la flèche du *temps* et appliquer les conditions régnantes dans les biotopes actuels sur les paléo-biotopes des fossiles.

### III. Les concentrations fossilifères

Parmi les principaux objectifs de formation de la filière STU (Licence et Master) est que les étudiants soient capables de reconstituer les environnements de dépôt et d'estimer la biodiversité passée. Pour ce faire, ils doivent comprendre l'histoire complexe de la genèse des assemblages de fossiles et des mécanismes perturbants leurs préservations (processus taphonomiques).

À partir des questions posées dans cette partie, nous cherchons à savoir comment les étudiants mobilisent les facteurs *temps* et *espace*, en particulier, dans les communautés d'origines (la biodiversité passée) à partir des assemblages de restes squelettiques (des assemblages de fossiles), par l'identification des processus responsables de leurs formations et la reconstitution de leurs histoires évolutives.

#### 1. Question 15 et analyse de ses réponses

##### 1.1 Question 15

Nous cherchons, d'une part si nos étudiants connaissent les actions des processus taphonomiques sur les concentrations d'organismes morts, et d'autre part, comment ils mobilisent les facteurs *temps* et *espace* lors de la reconstitution de ces processus ?

➤ **Est-ce que les transformations post-mortem (que subissent les concentrations d'organismes morts) peuvent modifier :**

- a) l'âge de leurs constituants (organismes fossiles)
- b) la forme géométrique de ses constituants
- c) la forme géométrique de la concentration en général
- d) la composition minéralogique de ses constituants
- e) leur situation spatiale
- f) leur situation temporelle
- g) leur situation spatio-temporelle

## 1.2 Analyse des réponses à la question 15

**Remarque :** afin de vérifier le degré de connaissances des étudiants concernant les actions des processus taphonomiques sur les concentrations d'organismes morts, nous avons introduit des propositions fausses (l'âge de leurs constituants, leur situation temporelle (dans le temps). Et 15% n'ont pas répondu.

**Tableau 64 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 15**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences
La forme géométrique de ses constituants	76	25,10%
Leur situation spatiale (dans l'espace)	62	20,50%
La forme géométrique de la concentration en général	45	14,90%
La composition minéralogique de ces constituants	41	13,50%
Leur situation spatio-temporelle	30	9,90%
L'âge de leurs constituants (organismes fossiles)	29	9,60%
Leur situation temporelle (dans le temps)	20	6,60%
<b>Total</b>	<b>303</b>	<b>100%</b>

Les résultats obtenus (Tableau 64) montrent que la majorité des répondants a pu identifier les actions des processus taphonomiques sur les concentrations d'organismes morts (83,50% du nombre total des citations). Nous notons que 16,50% du nombre total des citations ont choisi des propositions fausses.

Pour savoir comment ces étudiants mobilisent les facteurs temps et espace lors de la reconstitution de ces processus nous avons catégorisé les réponses obtenues en trois catégories :

- **Catégorie 1 :** regroupe presque la moitié des étudiants (60,40%), qui a choisi des propositions mobilisant le facteur espace. Ce groupe souligne que les processus post-mortem (processus taphonomiques) peuvent agir sur les caractéristiques spatiales du gisement fossilifère ; soit, en modifiant la forme géométrique de ce gisement et même des organismes constituants, ou en changeant sa répartition spatiale originelle. En effet, les assemblages morts (Thanatocénoses) peuvent subir une ou plusieurs déplacements (transport) de leur environnement originel (biotope), à un autre environnement d'accueil. On parle d'un mélange spatial d'environnement (Cadée, 1994 ; Zuschin et al, 2003) ;

- **Catégorie 2** : renferme les étudiants (23,10%) qui ont souligné que les processus taphonomiques peuvent changer la situation spatio-temporelle d'un assemblage mort et leur composition minéralogique. Effectivement, l'étude taphonomique de ces assemblages nous permet de retracer la succession dans le temps des changements écologiques (paramètres d'espace) des environnements pour une localité donnée. Les indices des altérations taphonomiques (physico-chimiques ; biologiques et sédimentologiques) qui ont subi les assemblages morts peuvent être considérés comme des registres fidèles d'environnements passés ;
- **Catégorie 3** : rassemble les étudiants (16,50%) qui ont choisi les propositions fausses et qui pensent que les processus taphonomiques peuvent modifier la répartition temporelle des organismes morts.

Nous constatons que la majorité (60,40%) de nos étudiants connaît les transformations post-mortem que peuvent subir les assemblages d'organismes morts. Cependant, elle survalorise son évolution spatiale et sous-estime celle spatio-temporelle. Seulement une minorité de ces étudiants (23,10%) conçoit l'histoire d'un gisement dans un cadre spatio-temporel.

Cette partie fait appel au principe d'actualisme et retourne en arriéré dans la flèche du temps, en se servant des indices des altérations taphonomiques (indices d'espace), pour modéliser l'évolution des changements qu'a subi le paléo-environnement (facteur espace) au cours du temps géologique.

Dans ce sujet, de nombreux auteurs montrent qu'une analyse correcte des assemblages de fossiles en intégrant tous les indices sédimentologiques, paléoécologiques et taphonomiques permet de faire de très bonnes interprétations paléo-environnementales et de retracer l'histoire de ces environnements dans le temps et dans l'espace (Johnson, 1965 ; Stanton et Nelson, 1980 ; Powell and Stanton, 1985 ; Fürsich et Flessa, 1987 ; Kidwell, 2001, 2002, 2002 ; Kowalewski et al, 2003). Dans notre cas, la plupart des étudiants est consciente des effets des facteurs écologiques sur les constituants d'un gisement fossilifère. Néanmoins, ces apprenants interprètent ces indices d'espace en indépendance du facteur temps. Cette interprétation hors du cadre spatio- temporel constituera une difficulté majeure dans la conception de l'histoire évolutive d'un gisement fossilifère et, par conséquent, de l'histoire évolutive d'un paléo-environnement donné.

## 2. Question 16 et analyse des réponses

### 2.1 Question 16

La description des concentrations fossiles constitue une étape primordiale dans la reconstitution des facteurs qui sont à l'origine de leurs formations et qui déterminent l'environnement dans lequel ils se sont produits (Kidwel et al, 1986 ; Kidwel et holland, 1991). Parmi les critères de cette description on trouve la discrimination de leur géométrie. Pour concevoir comment se présente une concentration fossilifère au sein d'une série sédimentaire, l'étudiant doit avoir une bonne vision dans l'espace.

La présente question entreprend le diagnostic de cette capacité.

➤ **Les concentrations fossilifères au sein d'une série sédimentaire peuvent se présenter sous quelle forme ?**

- a) concentrations minces en deux dimensions (2D) implantées à la surface du sédiment
- b) concentrations tridimensionnelles (3D) avec répartition à l'intérieur d'une seule strate
- c) concentrations tridimensionnelles (3D) avec répartition à l'intérieur de plusieurs strates
- d) concentrations planes (unidimensionnelles)
- e) concentrations à géométrie indéfinie

### 2.2 Analyse des réponses à la question 16

Les résultats ci-dessous (Tableau 65) montrent un pourcentage inquiétant des non répondants à cette question (28% du nombre total des citations). Du temps que, 24,5% des répondants pensent que les concentrations fossiles se répartissent au sein des sédiments d'une façon aléatoire (concentrations à géométrie indéfinie). Ceux qui ont choisi des géométries définies (concentrations planes ; concentrations minces en deux dimensions (2D) ; concentrations tridimensionnelles (3D)) constituent 47,6% du nombre total des citations.



**Tableau 65 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 16**

<b>Propositions</b>	<b>Nombres enregistrés</b>	<b>Fréquences</b>
Concentrations à géométrie indéfinie	59	34,10%
Concentrations tridimensionnelles (3D) avec répartition à l'intérieur de plusieurs strates	34	19,65%
Concentrations tridimensionnelles (3D) avec répartition à l'intérieur d'une seule strate	28	16,18%
Concentrations planes (unidimensionnelles)	27	15,60%
Concentrations minces en deux dimensions (2D) implantées à la surface du sédiment	25	14,50%
<b>Total</b>	<b>173</b>	<b>100%</b>

On a catégorisé les réponses ci-dessus comme suit :

- **Catégorie 1** : rassemble des étudiants (49,70%) qui n'ont pas une vision claire de la géométrie des concentrations fossilifères dans l'espace. En effet, 34,10% soulignent que les concentrations fossiles se distribuent au sein des sédiments d'une façon aléatoire (concentrations à géométrie indéfinie), et 15,60% imaginent la disposition des concentrations fossiles dans l'espace comme des concentrations planes (unidimensionnelles), ce qui dénote une incapacité de la vision dans l'espace ;
- **Catégorie 2** : regroupe les étudiants (50,30%) qui ont une vision correcte de la disposition des concentrations fossiles dans l'espace. Ce groupe a souligné que ces concentrations peuvent se mettre dans les sédiments sous forme d'assemblages minces en deux dimensions (2D) ou tridimensionnelles (3D).

Enfin, l'analyse des résultats révèle que seulement 50,30% des étudiants, ont une conception claire des différentes possibilités de la disposition des concentrations fossilifères au sein des sédiments. Cependant, presque les deux tiers éprouvent des difficultés à imaginer cette disposition dans l'espace, dont 49,70% n'ont pas une vision claire de la géométrie des concentrations fossilifères dans l'espace et 28 % n'ont fourni aucune réponse.

### 3. Question 17 et analyse des réponses

#### 3.1 Question 17

L'analyse des différents modes de préservation des concentrations fossilifères (taphofaciés) consiste à décrire et à classer ces concentrations du point de vue génétique (les facteurs qui sont à l'origine de leur formation) et à reconstituer l'environnement dans lequel elles se sont produites (Kidwel et al, 1986 ; Kidwel et hollande, 1991). Ces taphofaciés reflètent des processus taphonomiques spécifiques et donc peuvent nous renseigner sur les conditions régnantes dans leurs paléo-environnements de dépôt (évolution dans *l'espace*) et permettent aussi l'évaluation du temps enregistré par ces assemblages (répartition dans *le temps*) (Speyer et Brett 1988).

Dans ce sens que nos étudiants connaissent les critères descriptifs des différents modes de préservation des concentrations fossilifères, et par conséquent, est-ce qu'ils comprennent leur signification spatio-temporelle ?

➤ **La reconstitution de l'histoire post-mortem d'une concentration fossilifère se base sur :**

- |  |                          |
|--|--------------------------|
| a) l'orientation des coquilles par rapport à la stratification           | <input type="checkbox"/> |
| b) l'agencement des coquilles  | <input type="checkbox"/> |
| c) le volume des coquilles   | <input type="checkbox"/> |
| d) l'interaction biologique  | <input type="checkbox"/> |
| e) l'âge des bioclastes (débris de fossiles)                             | <input type="checkbox"/> |
| f) l'origine des bioclastes (allochtones ou autochtones)                 | <input type="checkbox"/> |
| g) les types d'espèces constituant la concentration (faune et /ou flore) | <input type="checkbox"/> |
| h) l'histoire tectonique de la région                                    | <input type="checkbox"/> |
| i) les figures et les structures sédimentaires                           | <input type="checkbox"/> |
| j) la taille des fossiles (microfossiles ou macro-fossiles)              | <input type="checkbox"/> |

#### 3.2 Analyse des résultats des réponses à la question 17

Les résultats ci-dessous (Tableau 66) révèlent qu'une partie considérable (22 %) des étudiants ignore les critères d'analyse des taphofaciés ; elle n'a choisi aucune proposition suggérée. La proposition la plus citée (21,26%) est « l'âge des bioclastes (débris de fossiles) », ce qui reflète une survalorisation du *facteur temps*. Pour le reste des propositions, on note un

faible niveau de connaissances. Les pourcentages des autres citations ne dépassent pas 10% : « les figures et les structures sédimentaires ; l'orientation des coquilles par rapport à la stratification ; les types d'espèces constituant la concentration (faune et /ou flore) ».

**Tableau 66 : Nombre enregistré pour chaque proposition de la question 17**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences
L'âge des bioclastes (débris de fossiles)	74	21,26%
Les figures et les structures sédimentaires	45	12,93%
L'orientation des coquilles par rapport à la stratification	44	12,64%
Les types d'espèces constituant la concentration (faune et /ou flore)	41	11,78%
La taille des fossiles (microfossiles ou macro-fossiles)	31	8,90%
L'origine des bioclastes (allochtones ou autochtones)	29	8,33%
L'interaction biologique	27	7,75%
Le volume des coquilles	21	6,03%
L'agencement des coquilles	19	5,45%
L'histoire tectonique de la région	17	4,88%
<b>Total</b>	<b>348</b>	<b>100%</b>

Nous constatons que nos étudiants ont un faible niveau de connaissances des critères d'analyses des taphofaciés. De plus, ils survalorisent *la répartition temporelle* des fossiles au détriment des autres critères, notamment, ceux qualifiés comme *indicateurs spatiales* (indices des fluctuations des conditions d'environnement de dépôts) : les figures et les structures sédimentaires ; la taille des fossiles ; l'origine des bioclastes ; l'interaction biologique ; l'orientation, le volume et l'agencement des bioclastes. Ces difficultés constitueront, sans doute, des obstacles à la reconstitution de l'histoire évolutive dans le temps et dans l'espace du paléo-environnement de dépôt d'une concentration fossile.

## 4. Question 18 et analyse des réponses

### 4.1 Question 18

Les concentrations fossilifères sont de bons indicateurs des variations de la bathymétrie et du taux de sédimentation. En effet, l'identification et l'interprétation de la variation des gradients de leur préservation (variation des taphofaciés) impliquent une reconstitution des changements des paramètres d'environnement de dépôts, en particulier, la reconstitution des variations du niveau marin pendant une période donnée.

Nos étudiants sont-ils capables de corréliser entre les caractéristiques taphonomiques des concentrations fossilifères (indices spatiaux) et la reconstitution des conditions mises en jeu dans leur formation ?

➤ **La localisation paléogéographique (milieu continental, littoral, plate-forme, talus, bassin ...) d'une concentration fossilifère repose sur :**

- a) la nature lithologique des sédiments
- b) l'âge des bioclastes
- c) le taux de sédimentation
- d) la bathymétrie
- e) les types des fossiles coexistants

### 4.2 Analyse des réponses à la question 18

Les résultats obtenus figurent dans le Tableau ci-après (Tableau 67) :

**Tableau 67 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 18**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences
La bathymétrie	47	30,51%
La nature lithologique des sédiments	33	21,42%
Le taux de sédimentation	32	20,77%
Les types des fossiles coexistant	26	16,88%
L'âge des bioclastes	16	10,38%
<b>Total</b>	<b>154</b>	<b>100%</b>

Ces résultats montrent un pourcentage élevé (43,2%) des non réponses. Les réponses obtenues se caractérisent par des citations avec des pourcentages généralement modestes (30,51% au maximum). La proposition la plus citée (30,51%) est la bathymétrie (variation de la profondeur de la tranche d'eau). Ces résultats montrent un faible niveau de connaissances des principales conditions environnementales (*paramètres d'espace*) qui peuvent gérer la genèse des concentrations fossilifères (la bathymétrie ; le taux de sédimentation ; la nature lithologique des sédiments...).

Il paraît évident que nos étudiants sont incapables de reconstituer les changements des conditions d'un paléo-environnement, plus précisément, la reconstitution des fluctuations du niveau marin dans une localité pendant une période donnée. En effet, leur méconnaissance de principales conditions de la genèse d'une concentration fossilifère, représente un obstacle à l'interprétation des caractéristiques taphonomiques de ces concentrations. Ils ne possèdent pas les outils pour appliquer le principe d'actualisme (retour dans *le temps*) et de corrélérer entre les caractéristiques taphonomiques enregistrés dans les assemblages fossiles avec les conditions de leurs formations.

## **IV. Obstacles et suggestions de remédiation**

### **1. Question 19 et analyse des réponses**

#### **1.1 Question 19**

Les résultats de cette question, nous ont permis de détecter de nombreuses difficultés ressenties par les étudiants de la filière STU, concernant l'assimilation des processus de la formation des gisements fossilifères, en l'occurrence, pour la mobilisation des facteurs temps et espace.

➤ **Quels sont à votre avis, ce qui entrave votre compréhension des mécanismes liés à la formation des gisements fossilifères ?**

a) l'identification des fossiles

b) la relation fossilisation-sédimentation

c) l'échelle du temps géologique

d) l'imagination des phénomènes de fossilisation dans l'espace et dans le temps

e) la complexité des phénomènes microscopiques de fossilisation (diagenèse, substitution minéralogique...)

f) la complexité des termes paléontologiques

g) les méthodes de l'enseignement

h) le manque de sorties sur le terrain

i) **Autres ; expliquez :**

.....

**1.2 Analyse des réponses à la question 19**

Nous avons catégorisé les réponses des étudiants comme suit (Tableau 68) :

- **Catégorie 1** : elle représente 45,80% des réponses qui relèvent des difficultés de mobilisation des facteurs temps et espace. En effet, ces étudiants ont souligné qu'ils ne peuvent pas imaginer le phénomène de fossilisation dans le temps et dans l'espace, plus précisément, les phénomènes microscopiques de la fossilisation et la relation fossilisation-sédimentation. De plus, ils ont indiqué des difficultés d'assimilation de l'échelle de temps géologique ;
- **Catégorie 2** : elle regroupe 38% des réponses recueillies que nous avons qualifiées de type pédagogique telles que le manque de sortie sur le terrain, l'absence ou l'insuffisance de séances de travaux pratiques, la complexité des termes paléontologiques ...;
- **Catégorie 3** : elle englobe 16,23% de l'ensemble des réponses en relation avec des difficultés d'identification des fossiles.

**Tableau 68 : Nombres de citations par catégorie de la question 19**

Catégories	Nombres de citations	Fréquences
<b>Catégorie 1</b>	285	45,80%
<b>Catégorie 2</b>	236	38%
<b>Catégorie 3</b>	101	16,23%
<b>Total</b>	<b>622</b>	<b>100%</b>

Les résultats de cette question ont montré que les étudiants de la filière STU reconnaissent de nombreuses difficultés quant à l'assimilation des processus de la formation des gisements fossilifères. Particulièrement, celles difficultés de mobilisation des facteurs temps et espace auxquelles s'ajoutent d'autres que nous avons qualifiées de type pédagogique.

## 2. Question 20 et analyse des réponses

### 2.1 Question 20

➤ <b>Quelles sont vos suggestions pour surmonter les difficultés rencontrées ?</b>	
a) faire plus de sorties de terrain	<input type="checkbox"/>
b) disposer des documents audiovisuels reconstituant les phénomènes étudiés	<input type="checkbox"/>
c) consacrer plus de temps aux travaux pratiques de paléontologie	<input type="checkbox"/>
d) fair participer l'étudiant à l'élaboration de certaines parties des cours (à partir des recherches personnelles, des exposés, ...).	<input type="checkbox"/>
e) utiliser les nouvelles technologies de l'information et de la communication NTIC (PowerPoint, accès internet, l'hyper-navigation, animation 3D, images .etc).	<input type="checkbox"/>
f) <b><u>autres, expliquez :</u></b>	<input type="checkbox"/>

### 2.2 Analyse des réponses à la question 20

Pour pallier leurs difficultés, les étudiants ont choisi quelques suggestions proposées. Le tableau ci-dessous (Tableau 69) explicite les résultats obtenus.

**Tableau 69 : Nombres de citations pour chaque suggestion proposée de la question 20**

Propositions	Nombres de citations	Fréquences
Intégration des TICE (utiliser les nouvelles technologies de l'information et de la communication NTIC ; disposer des documents audiovisuels reconstituant les phénomènes étudiés)	163	34,46%
faire plus de sorties sur le terrain	126	26,63%
consacrer plus de temps aux travaux pratiques de paléontologie	106	22,41%
fair participer l'étudiant à l'élaboration de certaines parties des cours	62	13,10%
autoformation	16	3,38%
<b>Total</b>	<b>473</b>	<b>100%</b>

Pour les propositions suggérées, il est clair que les étudiants sont conscients de l'importance des sorties sur le terrain et des travaux pratiques pour comprendre les processus de formation des gisements fossilifères. Dans ce contexte, 26,63% des étudiants ont proposé la programmation des sorties sur le terrain, alors que 22,41% sont plutôt favorables pour l'augmentation du volume horaire consacré aux travaux pratiques de la paléontologie. Une minorité (3,38%) a souligné l'importance de l'autoformation. En effet, ils déclarent qu'un étudiant en licence, doit avoir l'esprit de recherche.

Cependant, les recherches menées dans ce domaine (Lamarti et al, 2009) et les difficultés signalées par notre population ont démontré que dans nos universités, les sorties sur le terrain ne sont pas toujours programmées pour diverses raisons. Pour pallier ces lacunes pédagogiques, une partie considérable des étudiants questionnés (34,46%) a proposé les TICE comme une alternatif de soutien pour comprendre ce phénomène géologique. Ce taux d'étudiants ayant montré un intérêt profond pour les TICE, nous a incités à la conception et au développement d'un didacticiel innovant, permettant d'aider à l'assimilation du phénomène de la formation des gisements fossilifères. Il est évident que cet outil technologique ne peut pas remplir tout l'acte pédagogique des travaux pratiques et des sorties sur le terrain qui sont, toutefois, indispensables pour la compréhension de tout phénomène géologique.

## **Conclusion**

Nous rappelons que notre étude s'est intéressée aux dérivés du concept fossile (fossile ; fossilisation ; gisements fossilifères).

Les résultats du questionnaire appuient ceux obtenus par la TGN. Ceux-ci nous permettent de distinguer chez ces apprenants des difficultés de nature pédagogique (manque de sortie sur le terrain, volume horaire insuffisant des TP. etc.) et d'autres, celles de la mobilisation du temps et d'espace à l'apprentissage de la géologie.

Aussi bien que les lycéens, les étudiants de la filière STU ont approuvé que la mobilisation des facteurs temps et espace représente l'un des principaux obstacles à l'acquisition de ces concepts géologiques.

Finalement, nos outils d'investigation nous ont permis de montrer que l'enseignement des sciences de la terre dans les établissements universitaires marocains s'affronte à de nombreuses



difficultés. Pour surmonter ces dernières, un taux élevé d'étudiants a proposé les TIC, comme soutien pédagogique. Ceci nous a incités à la conception et au développement d'un didacticiel innovant (Chapitre 6), permettant de faciliter l'acquisition des concepts de fossile et de fossilisation. Sur le tableau 70 ci-dessous, nous résumons les différents types d'obstacles décelés chez cette catégorie d'enquêtés.

**Tableau 70 : Typologie d'obstacles détectés chez les étudiants, à propos du concept fossile et ses dérivés. Tableau 1**

Concepts Type d'obstacles	Fossile	Fossilisation	Gisement fossilifère
<b>"Origine du fossile" :</b>	identification du fossile grâce à son origine (animale/végétale)	_____	_____
<b>De conception du "temps"</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• le temps et l'espace sont, rarement, utilisés simultanément ;</li> <li>• survalorisation du facteur temps au préjudice du facteur espace ;</li> <li>• le temps n'est évoqué qu'en termes d'ancienneté des fossiles sans, précision d'échelle temporelle ; ou comme outils de datation relative seulement ;</li> <li>• l'espace est rarement interpellé.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• explications vastes sans, indiquer ni le processus de la fossilisation, ni son déroulement dans le temps ou dans l'espace ;</li> <li>• explications par une simple relation d'intérêt (datation, reconstitution de paléo-environnement) ;</li> <li>• explications signalant la succession temporelle sans préciser l'échelle de temps</li> <li>• explications ignorant totalement les étapes du phénomène mais mobilisant <i>l'échelle Humaine</i> ou <i>l'échelle du temps géologique</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• survalorisation de la répartition temporelle des fossiles au détriment des autres critères spatiaux.</li> </ul>
<b>De conception d'"espace"</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• sous-estimation de l'espace par rapport au temps ;</li> <li>• une hésitation à l'immensité de l'espace géologique ;</li> <li>• difficultés à mener une extrapolation dans le sous-sol ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• des difficultés à imaginer la disposition du gisement dans l'espace (plane ; 2D ; 3D) ;</li> <li>• méconnaissance des critères environnementaux</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>incapacité de corréler entre les différentes échelles d'espace.</li> </ul>	gérant la formation d'un gisement.
<b>Obstacle d'analogie</b>	tous les fossiles sont analogues à un prototype déjà rencontré.	_____	_____
<b>D'actualisme (conception du "temps" et d'"espace")</b>	_____	<ul style="list-style-type: none"> <li>difficultés de mener un feed-back dans la flèche du temps ;</li> <li>l'évolution dans le temps est imaginée séparément à l'évolution dans l'espace ;</li> <li>résistance à la contemporanéité fossilisation/sédimentation ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>reconstitution de l'histoire de formation du gisement hors du cadre spatio-temporel ;</li> <li>interprétation des indices d'espace en indépendance du temps.</li> </ul>
<b>De contingence</b>	_____	<ul style="list-style-type: none"> <li>difficultés de la compréhension des interactions organismes/encaissants ;</li> <li>résistance à l'effet du hasard.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>difficultés de la compréhension des interactions organismes/encaissants ;</li> <li>résistance à l'effet du hasard.</li> </ul>
<b>Linguistique</b>	_____	conception négatif envers quelques processus telle que la dégradation ou la destruction.	_____
<b>De méconnaissance</b>	méconnaissance des critères d'identification d'un fossile ;	méconnaissance des : <ul style="list-style-type: none"> <li>différents modes de fossilisation ;</li> <li>processus mis en jeu dans la fossilisation ;</li> </ul>	méconnaissance des principaux paramètres d'espace contrôlant la genèse de ces concentrations

**Chapitre 6 : Étude de mobilisation des facteurs  
temps et espace sur le concept fossile et ses dérivés,  
par les enseignants stagiaires**

## Introduction

Le présent chapitre, s'intéresse au diagnostic des difficultés des enseignants stagiaires, de la discipline Sciences de la Vie et de la Terre (SVT), quant à la perception et à la mobilisation des paramètres *temps* et *espace*, lors de l'enseignement des phénomènes géologiques, en particulier, ceux liées au concept fossile et ses dérivés.

Afin de dévoiler leurs difficultés, vis-à-vis du concept fossile et ses dérivés, nous nous sommes basés sur une enquête menée par questionnaire. Pour les thèmes de l'étude nous leurs avons soumis, les mêmes questionnaires fournies aux étudiants de la filière STU, avec une légère modification. Cette modification a été la suite d'un bref entretien général (durée de moins de 5 min pour chaque enseignant stagiaire), et a porté essentiellement sur le type de licence obtenue et quelques connaissances acquises en géologie, notamment liées au concept fossile. L'entretien a montré que la majorité des enseignants stagiaires sont des licenciés en biologie (22 futurs enseignants) ; qui ont souligné qu'ils ont quelques difficultés en géologie. Ils déclarent leur ignorance, presque totale des mécanismes liés à la formation des gisements fossilifères.

Pourtant, ces futurs enseignants sont sensés avoir un bon niveau en biologie et en géologie. En effet, ce sont des diplômés en la matière qu'ils enseigneront au secondaire collégial ou qualifiant. Donc, ils devront être aptes à transposer et modéliser tout phénomène géologique dans son cadre spatio-temporel, notamment le déroulement de la fossilisation et la reconstitution de l'histoire évolutive d'un gisement fossilifère. Ces thématiques font partie des programmes d'enseignement (concepts de fossile et ses dérivés, reconstitution de l'histoire évolutif des gisements du phosphate et du charbon, au Maroc).

## **A. Résultats de l'enquête par questionnaire**

Cette enquête est composée de dix-huit questions, de type fermées, semi-fermées et ouvertes. Notre population est composée de 30 enseignants stagiaires du Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de la Formation de Fès (CRMEF).

Notre échantillon remplit les conditions d'un échantillonnage aléatoire simple. En effet il correspond à une sous-population de l'ensemble des enseignants stagiaires de la discipline SVT, des centres de formations marocains. Cette sous-population disponible correspond à une population aléatoire. Ainsi, elle est valide car il existe une relation entre notre sous-population et la totalité de la population du Maroc. En effet, ces deux ensembles d'enseignants stagiaires subissent la même formation, avec les mêmes moyens didactiques et pédagogiques et de conditions socio-culturelles similaires.

### **I. Concept fossile : Comment les enseignants stagiaires définissent-ils l'objet fossile ?**

Cette partie du questionnaire, vise la détection des représentations que les enseignants stagiaires se font de l'objet fossile. En fait, nous essayons de répondre à la question suivante : *Est-ce que les enseignants stagiaires de la discipline SVT rencontrent les mêmes types de difficultés que les étudiants de la filière STU ?*

#### **1. Les critères d'identification de l'objet fossile**

##### **1.1 Question 1 et analyse de ses réponses**

###### *a. Question 1*

Elle est composée d'une définition et des exemples :

➤ **Qu'est-ce qu'un fossile ?**

.....  
 ➤ **Indiquez parmi la liste suivante les objets que vous considérez comme fossiles. Expliquez.**

Objets	Oui	Non	Expliquez
Tronc d'arbre silicifié			
Moulage externe d'oursin			
Coquille d'ammonite			
Valves d'huîtres actuelles			
Moulage interne de Trilobite			
Bactéries conservées dans les cristaux de sel			
Traces de déplacements de dinosaures			
Travertin			
Traces de terriers			

**b. Analyse des réponses à la question 1**

Les critères d'identification des fossiles, cités dans les réponses des enseignants stagiaires, ont été catégorisés à l'aide d'une grille d'analyse de contenu (Tableau 71). À partir des réponses et des explications données, nous avons relevé un nombre total de citations de 369 dont plusieurs sont communes par les enquêtés.

**Remarque :** le nombre total de citations est la somme de toutes les réponses de toutes les enquêtés.

Nous avons pu, donc, distinguer entre quatre catégories principales :

➤ **Catégorie 1 : réponses évoquant l'origine du « fossile »**

Les réponses de cette catégorie rassemblent la majorité de citations (65,6%), qui ont identifié les fossiles grâce à leurs origines. La plupart d'entre eux, ont évoqué la nature du fossile (45,5%), en survalorisant la nature animale (31,5%) : « *ce sont des débris animaux ; un animal conservé dans les roches ; Ammonite ; Trilobite ; ...* », au détriment de la nature végétale (14%) : « *reste d'un organisme végétal ; empreintes de fougères ; ...* ». D'autres répondants (11,7%), ont mobilisé les modes de la fossilisation pour identifier un fossile (*empreintes, débris ; traces de déplacement, moulage ; os ; dents ; traces de pattes des dinosaures*). Des

exemples de microfossiles ont été cités par 8,4% des enseignants stagiaires : « *des microorganismes tels que les grains de pollens et les foraminifères* » ;

➤ **Catégorie 2 : réponses évoquant le facteur temps seulement**

Elle englobe des réponses (24,5 %) qui mobilisent différentes facettes du facteur temps :

✓ **ancienneté des fossiles** : en faisant allusion à l'échelle temporelle : *ce sont des restes d'êtres vivants qui « ont vécu pendant une période géologique déterminée ; ont vécu pendant des périodes de temps différents ; vivaient dans un temps géologique donné », ou sans faire allusion à l'échelle temporelle « êtres vivants ayant vécu autrefois ; ont vécu dans le passé ; des anciens êtres vivants » ;*

✓ **outils de datation relative** : « *un fossile est le reste d'un animal ou végétal, conservé dans une roche et servant dans la datation ; ce sont des indicateurs temporelles ; peuvent nous informer sur l'histoire ou le temps de la formation d'un milieu ; ils nous ont permis de savoir l'âge de la terre et des anciens êtres vivants* ».

➤ **Catégorie 3 : réponses mobilisant les processus de la fossilisation ou de la sédimentation**

Cette troisième catégorie regroupe les réponses (9,6%) mobilisant les processus de la fossilisation et/ou la sédimentation : « *mort ; enfouissement ; dépôt ; érosion ; dégradation de la matière organique ; conservation des parties dures* ». Néanmoins, ces réponses ne soulignent qu'un seule ou quelques processus impliqués dans la fossilisation, sans évoquer leurs successions dans le temps ou encore dans l'espace.

➤ **Catégorie 4 : réponses évoquant le facteur espace seulement**

Une citation (0,3 %) fait référence au facteur espace : « *ce sont des indicateurs spatiaux ; ils peuvent nous renseigner sur les conditions d'un paléo-environnement* ».

**Tableau 71 : Grille d'analyse des réponses par catégorie, de la question 1**

Catégories	Nombres de citations sur 369	Fréquences
<b>Catégorie 1</b>	<b>242</b>	<b>65,6%</b>
<b>Catégorie 2</b>	<b>91</b>	<b>24,5%</b>
<b>Catégorie 3</b>	<b>35</b>	<b>9,60%</b>
<b>Catégorie 4</b>	<b>01</b>	<b>0,30%</b>



Nous déduisons que les enseignants stagiaires et les étudiants de la filière STU éprouvent, presque les mêmes types d'obstacles vis-à-vis de l'identification d'un "fossile". La majorité (65,6%) d'entre eux identifie les fossiles grâce à leurs origines, avec une survalorisation de l'origine animale, aux dépens de l'origine végétale. Ceux mobilisant les facteurs "*temps*" et "*espace*" constituent 24,5%, avec une sous-estimation importante, du facteur espace. Pour la mobilisation des processus de la fossilisation ou de sédimentation (9,6%), ces futurs enseignants ne connaissent pas parfaitement, les différentes étapes de la fossilisation, ou encore leurs successions dans le temps ou dans l'espace.

## 1.2 Question 2 et analyse de ses réponses

### a. Question 2

Elle concerne les critères mobilisés, lors de la discrimination des fossiles.

➤ **Quels sont les grands types de fossiles ?**

.....

### b. Analyse des réponses à la question 2

Les réponses ont été réparties dans une grille d'analyse de contenu (Tableau 72).

**Tableau 72 : Nombres de citations des réponses à la question 2**

Réponses	Nombres de citations	Fréquences
Intérêt des fossiles	31	65,9 %
Modes de la fossilisation	10	21,3 %
Origine des fossiles	4	8,5 %
Leur paléo- environnement	2	4,3%
<b>Total</b>	<b>47</b>	<b>100%</b>

Nous remarquons que la majorité de futurs enseignants, distingue entre les fossiles, grâce à leurs intérêts (65,9%). Les réponses obtenues ont été catégorisées comme suit :

- **Catégorie 1** : regroupe la majorité des répondants, (70,2%), mobilisant les facteurs temps et espace. En effet, 65,9%, citent l'intérêt des fossiles : *fossiles stratigraphiques* (critère temporel) et *fossiles de faciès* (critère spatial), et 4,3% ont évoqué le paléo-

environnement des fossiles (critère spatio-temporel) : « *des fossiles marins anciens / des fossiles continentaux anciens* » ;

- **Catégorie 2** : renferme les réponses (21,3%) mobilisant les différents modes de la fossilisation (*empreintes, moule interne, moule externe, traces de déplacement, restes d'organismes, traces de nutrition, terriers*) ;
- **Catégorie 3** : sélectionne les réponses (8,5%) mobilisant l'origine des fossiles (*animale, végétale*).

Une bonne partie des interrogés (30%) n'a pas répondu à cette question.

En discriminant les fossiles, la majorité des futurs enseignants, (70,2 %) a mobilisé les critères *espace* et *temps* (l'intérêt des fossiles et leur paléo-environnement), et 21,3% ont évoqué le critère de modes de la fossilisation. Seulement, une minorité (8,5%) a mobilisé le critère origine des fossiles.

## 2. Les caractéristiques de l'objet fossile

Les deux questions de cette partie, visent le diagnostic des conceptions des enseignants stagiaires, sur les caractéristiques des fossiles.

### 2.1 Question 3 et analyse de ses réponses

#### a. Question 3

➤ **Est-ce qu'un fossile se caractérise par ?**

- |   |                          |
|---|--------------------------|
| a) la forme                                     | <input type="checkbox"/> |
| b) la taille                                    | <input type="checkbox"/> |
| c) la couleur                                   | <input type="checkbox"/> |
| d) les dimensions                               | <input type="checkbox"/> |
| e) la symétrie                                  | <input type="checkbox"/> |
| f) les stries d'accroissement                   | <input type="checkbox"/> |
| g) les caractères génétiques (ADN)              | <input type="checkbox"/> |
| h) les ressemblances avec les espèces actuelles | <input type="checkbox"/> |
| i) la nature minéralogique du test              | <input type="checkbox"/> |

#### b. Analyse des réponses à la question 3

Tout d'abord, on note le pourcentage élevé des répondants à cette question (76,7%) et 23,3% des non répondants.

**Tableau 73 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 3**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences
La forme	20	16,7%
La taille	19	15,8%
Les ressemblances avec les espèces actuelles	17	14,2%
La nature minéralogique du test	15	12,5%
La symétrie	12	10%
Les stries d'accroissement	12	10%
Les dimensions	11	9,2%
Les caractères génétiques (ADN)	7	5,8%
La couleur	7	5,8%
<b>Total</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>

Les fréquences allouées aux propositions ne dépassent pas 16,7% au maximum (Tableau 73). Ces résultats sont subdivisés en deux catégories (Tableau 74) :

- **Catégorie 1** : renferme les propositions (61,7%) appartenant aux caractères biométriques (caractères spatiaux) de caractérisation d'un fossile (*forme ; taille ; symétrie ; dimensions ; stries d'accroissement*). La dominance des citations faisant allusion à ce type de caractères, rappelle les choix des lycéens et des étudiants, pour la même question ;
- **Catégorie 2** : inclus les propositions (38,3%) qui n'ont aucun lien avec les caractères biométriques (*la nature minéralogique du test ; les ressemblances avec les espèces actuelles ; les caractères génétiques ; la couleur*)

**Tableau 74 : Nombres enregistrés par catégorie de la question 3**

Catégories	Nombres enregistrés	Fréquences
<b>Catégorie 1</b>	74	61,7%
<b>Catégorie 2</b>	46	38,3%
<b>Total</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>

Enfin, nous constatons que ces futurs enseignants n'ont retenu, que partiellement les caractéristiques des fossiles, acquises lors de leur formation universitaire. En effet, les fréquences des critères les plus cités (*forme et taille*) ne dépassent pas 16,7%. De plus, ils

survalorisent les critères biométriques (Catégorie 1) au détriment des autres critères (Catégorie 2).

Aussi bien que les étudiants de la filière STU, les enseignants stagiaires éprouvent un faible niveau de connaissance, des critères d'identification des fossiles.

## 2. 2 Question 4 et analyse de ses réponses

### a. Question 4

Caractérisation des fossiles par la taille.

➤ **Est-ce que la taille des fossiles peut être :**

a) millimétrique à pluri centimétrique

b) millimétrique à infra millimétrique

c) métrique

d) de toute dimension

### b. Analyse des réponses à la question 4

Les résultats ci-dessous (Tableau 75) reflètent que la majorité (59,5%) des répondants a opté pour la diversification des tailles des fossiles « *de toute dimension* ».

Les autres ont attribué, soit les petites tailles (29,7%) : « *millimétrique à pluri centimétrique ; millimétrique à infra millimétrique* », soit les grandes tailles (10,8%) : « *métrique* ».

**Tableau 75 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 4**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences
De toute dimension	22	59,5%
Millimétrique à infra-millimétrique	6	16,2%
Millimétrique à pluri-centimétrique	5	13,5%
Métrique	4	10,8%
<b>Total</b>	<b>37</b>	<b>100%</b>

Ainsi, nous déduisons que la plupart des futurs enseignants (59,5%) affirme la diversification des tailles des fossiles. Toutefois, un pourcentage important (40,5%) de ce public, résiste à cette diversification. Ceci est la résultante de plusieurs attribues, les enseignants stagiaires licenciés déclarent, qu'ils n'ont jamais eu une formation satisfaisante en géologie. Par conséquent, ils ne connaissent ou ne maîtrisent pas les différentes étapes de la fossilisation, en

particulier, leur succession dans le *temps* et dans *l'espace*. Par méconnaissance, ces futurs enseignants pensent que la fossilisation est conditionnée par la taille de l'organisme, et non par la réalisation des circonstances (processus) indispensables à la fossilisation.

Remarque : *Si l'enseignant stagiaire ne maîtrise pas les différents processus mis en jeu dans la fossilisation ainsi que leur évolution dans le temps et dans l'espace, peut-il les concevoir et les enseigner correctement à ses apprenants ?*

## 2.3 Question 5 et analyse de ses réponses

### a. Question 5

Celle-ci concerne la taille et le milieu de préservation des fossiles.

➤ <b>Quelles sont les caractéristiques des organismes les mieux préservés (fossilisés) :</b>	
<b>a) de petites tailles</b>	
Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Expliquez : .....	
<b>b) de grandes tailles</b>	
Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Expliquez : .....	
<b>c) des organismes marins</b>	
Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Expliquez : .....	
<b>d) des organismes aériens</b>	
Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Expliquez : .....	

### b. Analyse des réponses à la question 5

#### ✚ Résultats des réponses à la question 5

Les résultats de la question 5, figurent dans le tableau ci-dessous (Tableau 76). Ceux-ci, nous ont permis de savoir, si nos enquêtés établissent un lien entre la distribution spatiale des organismes, les plus postulants à la fossilisation, et leur taille.

**Tableau 76 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 5**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences	Nombres de réponses justifiées
De petites tailles	18	39,1 %	11
Des organismes marins	13	28,3 %	08
De grandes tailles	9	19,6 %	10
Des organismes aériens	6	13%	04
<b>Total</b>	<b>46</b>	<b>100%</b>	<b>33</b>

La majorité (39,1 %) des répondants souligne que les organismes de petites tailles ont plus de chance à se fossiliser, par rapport aux organismes de grande taille (19,6%). Tandis que, 28,3%, pensent que le milieu marin est l'environnement le plus propice à la fossilisation au détriment du milieu aérien (13%).

**Remarque :** 9 enseignants parmi 30 ont expliqué leurs réponses, dont le total relevé est 33 ; chaque répondant peut donner plus qu'une explication pour la même réponse.

*Est-ce que ces deux paramètres spatiaux (le milieu de la fossilisation et la taille des organismes fossiles) sont dépendants chez les enseignants stagiaires ?*

#### **Grilles d'analyse des explications de la question 5**

Le traitement des transcriptions des enseignants stagiaires a montré que, seulement 9 d'entre eux, ont justifié leurs choix. Ceci nous renseigne, sur le degré de connaissances faible des paramètres spatiaux liés à la fossilisation (les conditions de la fossilisation et les paramètres des milieux de la fossilisation).

L'analyse des justifications données a été réalisée à l'aide de deux grilles d'analyse de contenu (Tableau 77 et 78), dont chacune explicite les justifications de choix de chaque paramètre spatial (taille et milieu de vie).

**Tableau 77 : Grille d'analyse des explications pour oui ou pour non de la question 5, liées à la taille des organismes.**

		Pour "oui"		Pour "non"	
	<b>TOTAL</b>	<b>08</b>	<b>03</b>		
	Possibilité de transport	<b>00</b>	<b>01</b>		
	Facilement dégradables ; se déforment facilement	<b>06</b>	<b>02</b>		
	Nécessitent plus d'espace (difficilement enfouies)	<b>02</b>	<b>00</b>		
	<b>TOTAL</b>	<b>02</b>	<b>08</b>		
	Exemple de fossiles	<b>01</b>	<b>01</b>		
	Difficile à se dégrader ; conservent leur forme ; laissent leurs empreintes	<b>01</b>	<b>05</b>		
	Nécessitent moins d'espace (s'enfouissent facilement ; rapidement dans les sédiments)	<b>00</b>	<b>02</b>		
<b>Explications</b>	<b>Grandes tailles</b>		<b>Petites tailles</b>		





### **Relation taille et milieu de la fossilisation : Q5 x Q5.**

Le croisement des modalités (propositions) de la question 5 à l'aide de test de Chi2, nous a permis d'évaluer le degré de dépendance des deux paramètres spatiaux : la taille des organismes fossiles et le milieu de la fossilisation, chez les enseignants stagiaires. Le tableau ci-dessous (Tableau 79) représente les résultats obtenus.

**Tableau 79 : Résultats de test de dépendance Chi2 des modalités de la question 5**

Q5	Q5	De petites tailles	De grandes tailles
Des organismes marins		16,68(19)	11,32(9)
Des Organismes aériens		11,32 (9)	7,68(10)

Les valeurs du tableau sont les nombres de citations de chaque couple de modalités.

$H^0$  : « Les paramètres taille et milieu de vie sont indépendants ».

$H^1$  : « Les paramètres taille et milieu de vie sont dépendants ».

Nombre entre parenthèse : effectif théorique

Nombre sans parenthèse : effectif réel

$X^2_{thé} = 3,84$ , l'intervalle de confiance à 95 %, ddl = 1, P-valeur = 0,16

$X^2_{cal} = 1,97$

D'après ces résultats, le  $X^2_{cal}$  est inférieur à  $X^2_{thé}$  et P-valeur est supérieure à 0,05.

Le test (chi2) montre l'indépendance entre les deux paramètres spatiaux (taille et milieu de vie).

Ces résultats sont positifs, du fait que la quasi-totalité des futurs enseignants confirme la diversification des tailles des organismes fossiles dans les milieux marins ou aériens.

***Remarque : Pourquoi affirment-ils que le milieu marin est plus propice à la fossilisation et que les organismes de petites tailles sont les mieux préservés ?***

#### ***c. Discussion***

En premier lieu, on note très peu de justifications des enseignants. Ils ont mis en relief des difficultés de perception des facteurs ***temps*** et ***espace*** :

➤ Obstacles de perception *du facteur temps* :

La durée d'enfouissement = la durée de la fossilisation : 4 enseignants parmi 9 pensent que la réalisation de la fossilisation est l'équivalence de l'étape d'enfouissement. En effet, ils délimitent la durée de tout le phénomène de la fossilisation, dans la durée de l'étape enfouissement ; ils négligent ainsi le temps de toutes les autres étapes (la mort de l'organisme ; la dégradation de sa matière organique ; les transformations diagénitiques, la possibilité de transport).

➤ Obstacles de perception de *l'espace*.

✚ La taille du fossile = le facteur le plus déterminant dans la fossilisation : 11 citations (à partir des transcriptions de 6 enseignants stagiaires), concernent la taille de l'organisme, en le considérant comme un facteur déterminant dans la fossilisation. Les organismes de grandes tailles sont les moins préservés, difficilement recouverts par les sédiments, par conséquent, ils sont les plus détruits. Par contre, ceux de petites tailles, sont facilement recouverts par les sédiments et ils sont les moins détruits.

✚ La survalorisation du milieu marin : 5 enseignants parmi 9, pensent que le milieu marin est plus favorable à la fossilisation. Par contre, ils conçoivent le milieu aérien comme milieu défavorable à ce phénomène. Ils l'estiment comme milieu destructeur où l'érosion, l'oxydation et l'hydrodynamisme sont les plus abondants et l'apport sédimentaire est généralement insuffisant.

Ces conceptions, sont la preuve de la méconnaissance de ces enseignants des conditions de la fossilisation. En effet, ils ignorent que la réalisation de ce phénomène ne dépend pas d'un milieu bien déterminé, mais des facteurs environnementaux régnants au moment de la fossilisation. Le milieu marin, comme celui aérien sont exceptionnellement favorables à la fossilisation.

✚ difficultés d'estimation des paramètres environnementaux : Trois enseignants ont évoqué l'importance de la quantité d'apport sédimentaire. Aucun répondant, n'a souligné d'autres paramètres tel que : la nature des sédiments, la vitesse d'enfouissement ; l'effet des réactions physico-chimiques de la diagenèse ; ...

### Autres :

- ✚ une sous-estimation des débris d'organismes : 6 enseignants parmi 9 pensent que les organismes de grandes tailles sont les moins préservés, car on ne trouve que leurs débris (os ; dents...). Ils pensent que les restes d'organismes n'ont pas la même valeur que le fossile entier. Alors que ces restes peuvent servir, aussi bien, que le fossile entier, pour dater ou encore reconstituer un paléo-environnement. C'est une méconnaissance des différents modes de la fossilisation.
- ✚ La justification par un prototype : deux enseignants ont justifié leurs choix par des exemples d'organismes fossilisés : « *les mammoths* » et « *les dinosaures* ». Ils généralisent la qualification à la fossilisation par des exemples d'organismes ou de prototype.

#### **d. Conclusion**

Les résultats ci-dessus, ont dévoilé la méconnaissance de la majorité des enseignants stagiaires, de l'évolution de la fossilisation dans le temps et dans l'espace. Ceci est prouvé, par des difficultés de mobilisation des facteurs *temps* et *espace* dans leurs explications. Ces difficultés leur constitueront, certainement des obstacles, pour l'assimilation ainsi que pour la construction des concepts liées au phénomène de la fossilisation dans leurs futures classes avec les élèves.

### **3. La relation fossile-encaissant**

Le traitement des réponses des étudiants (Chapitre 5), a montré qu'ils ne sont pas aptes de concevoir l'histoire évolutive de la fossilisation et expliquer sa succession spatio-temporelle. Nous nous interrogeons si les futurs enseignants, présentent ces mêmes types de difficultés.

## ✚ Question 6 et analyse des réponses

### a. Question 6

➤ Est-ce que les roches sédimentaires contiennent toujours des fossiles ?		
Oui	<input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Expliquez : .....		

### b. Analyse des réponses à la question 6

Nous avons calculé les pourcentages des répondants par *oui* ou par *non* (Tableau 80), puis, nous avons analysé leurs explications à l'aide d'une grille d'analyse de contenu (Tableau 81).

#### ✚ Nombre de réponses par oui ou par non

La majorité des enseignants stagiaires (70%) a répondu que les roches sédimentaires ne contiennent pas toujours des fossiles (réponses par « *non* »), tandis que, 16,7 % (Tableau 80) ont répondu par l'affirmatif (réponses par « *oui* »). Quelles sont alors leurs explications ?

**Tableau 80 : Nombres enregistrés pour "oui" ou pour "non" à la question 6**

Réponses	Nombres enregistrés	Fréquences
<b>Non</b>	21	70 %
<b>Oui</b>	5	16,7 %
<b>Aucune</b>	4	13,3 %
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>100%</b>

#### ✚ Grille d'analyse des justificatifs des enseignants stagiaires

La première remarque est que seulement quelques répondants par « *non* » qui ont justifié leurs réponses (14 enseignants sur 21). Ces justificatifs, ont été rassemblés et traités grâce à la grille ci-dessous (Tableau 81).

Tableau 81 : Grille d'analyse de contenu des explications des réponses par "non pas toujours " à la question 6

Justifications de "non pas toujours"				
Catégorie 1		Catégorie 2		
Conditions défavorables à la fossilisation (espace et/ou temps)	Milieux de sédimentation dépourvus de vie (espace et/ou temps)	Réponses erronées (ni espace ni temps)	Roches azoïques (ni temps, ni espace)	
04	04	01	05	
28,6 %	28,6 %	7,1%	35,7 %	
				TOTAL
				14
				100%

Selon cette grille, les justificatifs des réponses par "**non pas toujours**" peuvent se répartir en deux catégories :

➤ **Catégorie 1** : englobe les justifications mobilisant le facteur **espace et /ou** le facteur **temps** (57,2%), en citant quelques indications sur le paléo-environnement. Nous distinguons ici deux groupes de justifications :

✓ Justifications par les mauvaises conditions de la fossilisation (28,6%) (**facteur espace**) sans faire allusion au **facteur temps** (13,5%) : « *les êtres vivants se dégradent sous l'effet des facteurs environnementaux* » ; « *selon les conditions physico-chimiques régnants lors de la fossilisation* » ; « *Il se peut qu'il y manque des conditions favorables à la fossilisation* ». Ou en faisant allusion d'une façon indirecte au **facteur temps** (15,1%) : « *par exemple un paléo-environnement marin trop agité, est défavorable à la fossilisation* » ;

✓ Justifications par l'absence originelle de vie dans le milieu de sédimentation (28,6 %) (**facteur espace**), avec mobilisation du **facteur temps** (7,1%) : « *les milieux de sédimentation n'étaient pas toujours favorables à la prolifération de la vie ancienne* ». Ou sans mobiliser le **facteur temps** (7,1%) : « *la fossilisation s'est produite dans un environnement dépourvu de vie* ». D'autres justifications, ont évoqué **le temps géologique** (14,4%), sans donner aucune indication au paléo-environnement (**facteur espace**) : « *le temps géologique, renferme des périodes où la vie est carrément absente* » ; « *le précambrien est une période connue par l'absence de la vie sur terre* ».

➤ **Catégorie 2** : renferme deux sortes de justificatifs, qui ne font allusion ni au facteur **temps**, ni au facteur **espace** (42,8%) :

✓ Justifications (35,7%) : par l'existence de roches dépourvues de fossiles (roches azoïques) : « *comme le cas des strates azoïques, qui ne renferment pas de fossiles* » ; « *parfois, il peut y avoir des roches sédimentaires sans fossiles* » ; « *il existe des formations azoïques* » ; « *comme les roches azoïques* » ;

- ✓ Justifications (7,1%) : des conceptions erronées : « *les roches sédimentaires se forment à partir des roches volcaniques et métamorphiques, qui ne contiennent jamais de fossiles* », ce type de justificatif dénote d'une méconnaissance totale du déroulement du phénomène de la fossilisation.

**Tableau 82 : Pourcentages des paramètres temps et espace mobilisés pour expliquer la réponse de la question 6**

<b>Paramètres mobilisés</b>	<b>temps et espace</b>	<b>espace seulement</b>	<b>temps seulement</b>	<b>ni temps ni espace</b>
<b>Pourcentages</b>	<b>28,6% (04)</b>	<b>21,4% (03)</b>	<b>14,3% (02)</b>	<b>42,8% (06)</b>

Finalement, nous constatons que seulement 28,6% (4 enseignants stagiaires parmi 14) qui mobilisent à la fois le temps et l'espace, en justifiant la relation fossile- encaissant (Tableau 82). Aussi, les enseignants stagiaires ont montré donc qu'ils ont des difficultés à expliquer le déroulement de la fossilisation dans le temps et dans l'espace.

#### **4. L'intérêt des fossiles**

L'objet de cette partie est de connaître les conceptions des enseignants stagiaires sur l'intérêt des fossiles comme indicateurs spatio-temporels (fossiles de faciès et / ou fossiles stratigraphiques). *Comment conçoivent-ils cette relation d'intérêt ?*

##### **4.1 Question 7 et analyse de ses réponses**

###### *a. Question 7*

Les réponses, de cette question nous permettrons de connaître le degré des enquêtés, sur l'intérêt des fossiles comme indicateurs spatio-temporels (fossiles de faciès et / ou fossiles stratigraphiques).

➤ **Quels sont à votre avis les intérêts des fossiles ?**

- a) la reconstitution du paléo-environnement
- b) la reconstitution de la paléogéographie
- c) la reconstitution des étapes de l'évolution de la vie sur terre
- d) la datation des roches
- e) la détermination de la structure interne de la terre
- f) les corrélations des séries sédimentaires éloignées géographiquement
- g) la structuration et le découpage de l'échelle du temps géologique
- h) la reconstitution de l'histoire tectonique d'une région

**b. Analyse des réponses à la question 7**

Nous avons rassemblé les résultats obtenus dans le tableau ci-dessous (Tableau 83)

**Tableau 83 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 7**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences
La datation des roches	25	17,4%
Les corrélations des séries sédimentaires éloignées géographiquement	25	17,4%
La reconstitution des étapes de l'évolution de la vie sur terre	22	15,3%
La reconstitution du paléo-environnement	22	15,3%
La reconstitution de la paléogéographie	21	14,6%
La structuration et le découpage de l'échelle du temps géologique	19	13,2%
La reconstitution de l'histoire tectonique d'une région	9	6,3%
La détermination de la structure interne de la terre	1	0,7%
<b>Total</b>	<b>144</b>	<b>100%</b>

Nous avons distingué trois catégories (Tableau 84) :

- **Catégorie 1** : sélectionne les propositions (45,8%) renvoyant aux fossiles comme indicateurs temporels seulement : (*datation des roches ; structuration et découpage de l'échelle du temps géologique ; reconstitution des étapes de l'évolution de la vie sur terre*) ;



- **Catégorie 2** : correspond aux propositions (29,9%) considérant les fossiles comme indicateurs spatiaux seulement (*reconstitution du paléo-environnement ; reconstitution de la paléogéographie*) ;
- **Catégorie 3** : regroupe les propositions (23,6%) renvoyant aux deux types d'intérêt, temporel et spatial.

Quatre enquêtés parmi 30 n'ont pas répondu, alors qu'un des répondants (Autres) a coché la réponse fautive (*la détermination de la structure interne de la terre*). (Tableau 83)

**Tableau 84 : Nombres enregistrés par catégorie de la question 7**

<b>Catégories</b>	<b>Nombres enregistrés</b>	<b>Fréquences</b>
<b>Catégorie 1</b>	66	45,8%
<b>Catégorie 2</b>	43	29,9%
<b>Catégorie 3</b>	34	23,6%
<b>Autres</b>	1	0,7%
<b>Total</b>	<b>144</b>	<b>100%</b>

Les résultats ci-dessus montrent que la grande partie de futurs enseignants (environ 75,7%) sous-estime l'intérêt à la fois temporel et spatial des fossiles. En effet, la majorité des réponses leur accorde soit un intérêt temporel (45,8%), ou soit un intérêt spatial (29,9%). Cette sous-estimation de l'intérêt à la fois temporel et spatial, pourrait bloquer leur reconstruction d'histoire évolutive des mécanismes de formation des gisements fossilifères dans le temps et dans l'espace.

## **4.2 Question 8 et analyse de ses réponses**

### **a. Question 8**

Cette question cible la détection des conceptions que se font les élèves- professeurs vis à vis des fossiles de faciès (en tant qu'indicateurs spatiaux).

➤ **Est-ce que les fossiles de faciès sont de bons indicateurs de :**

a) paléoclimat

b) variation de la salinité des eaux

c) variation de la température

d) oxydation

e) hydrodynamisme du milieu

f) transformations métamorphiques des roches

g) bathymétrie

**b. Analyse des réponses de la question 8**

Les réponses figurent dans le tableau ci-dessous (Tableau 85).

Au préalable, nous notons un pourcentage élevé des répondants à cette question (63,3%). Nous avons obtenu 61 réponses, dont chacune est considéré comme une citation.

**Tableau 85 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 8**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences
Bathymétrie (variation de la profondeur)	14	22,9%
Variation de la salinité des eaux	11	18%
Oxydation	11	18%
Hydrodynamisme du milieu	11	18%
Variation de la température	9	14,7%
Transformations métamorphiques des roches	4	6,5%
Paléoclimat	1	1,6%
<b>Total</b>	<b>61</b>	<b>100%</b>

Afin de distinguer entre les citations appartenant aux mêmes catégories, nous les avons croisés. Dans ce croisement, nous avons obtenus un totale de 195 citations subdivisées en trois catégories (Tableau 86) :

- **Catégorie 1 :** elle regroupe les enseignants stagiaires qui ont coché seulement les propositions (98 citations, soit 39,7%, du nombre total de citations) représentant des phénomènes constituant des paramètres physico-chimiques ou microscopiques : « *variation de la salinité des eaux ; variation de la température des eaux ; oxydation ; transformations métamorphiques des roches* ». Ces derniers constituent généralement des phénomènes dont les effets sont difficilement détectés à l'œil nu (des effets abstraits) ;

- **Catégorie 2** : elle est constituée des enseignants (52 citations, soit 21,1%, du nombre total de citations) qui ont sélectionné en même temps les deux types de propositions de la catégorie 1 et 3. Cette classe d'enseignants stagiaires mobilise à la fois les paramètres spatiaux à grande échelle (macroscopique) et à petite échelle (microscopique) ;
- **Catégorie 3** : elle rassemble les enseignants stagiaires qui ont coché seulement les propositions (45 citations, soit 18,2%, du nombre total de citations), dotées des pourcentages les moins élevés. Les propositions cochées par ce groupe de futurs enseignants, sont généralement des phénomènes macroscopiques, dont les effets sont facilement détectés à l'œil nu (des effets concrets) : « *hydrodynamisme du milieu ; bathymétrie, paléoclimat* ».

Nous remarquons que 36,6% n'ont coché aucune proposition.

### **c. Discussion**

Les futurs enseignants sont sensés maîtriser le contenu scientifique de la discipline, pour ensuite le transposer (passage du savoir-savant au savoir enseigner), et le construire en classe avec leurs élèves. Cependant, le traitement de leurs réponses montre qu'ils éprouvent des difficultés à corréler entre différentes échelles d'espace (observable-abstrait). En effet, le croisement de leurs choix révèle que, seulement, 21,1 %, ont donné des réponses correctes en mobilisant en même temps, les différentes échelles d'espace (macroscopique et microscopique). Ces difficultés pourront paralyser leurs capacités à reconstituer l'évolution spatio-temporelle d'un gisement fossilifère. Par conséquent, ceci entravera leurs capacités pour la faire comprendre à leurs apprenants.

**Tableau 86 : Nombres de citations par catégorie à la question 8**

<b>Catégories</b>	<b>Nombres de citations sur 195</b>	<b>Fréquences</b>
<b>Catégorie 1</b>	<b>98</b>	<b>39,7%</b>
<b>Catégorie 2</b>	<b>52</b>	<b>21,1%</b>
<b>Catégorie 3</b>	<b>45</b>	<b>18,2%</b>

## II. La fossilisation

### 1. Les modes de la fossilisation

La question suivante permet de connaître les conceptions des futurs enseignants, vis-à-vis de l'évolution des différentes étapes de la fossilisation dans le temps et dans l'espace.

#### Question 9 et analyse des réponses

##### a) Question 9

➤ En se basant sur la planche 2(Annexe 4), il s'agit de quel mode de la fossilisation ?

- ✓ Moule interne :.....
- ✓ Moule externe.....
- ✓ Coquille épigénisée :.....

##### b) Analyse des réponses à la question 9

La majorité des enseignants stagiaires (70%) n'a identifié aucun mode de la fossilisation. Parmi les répondants, les trois modes de la fossilisation sont signalées par, 36,40%, et 36,40% aussi pour l'épigénisation. 27,30% (trois répondants) ont identifié les moulages (Tableau 87).

**Tableau 87 : Résultats d'identification des modes de la fossilisation (Question 9)**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences
<b>L'épigénisation</b>	4	36,40%
<b>Les trois modes de la fossilisation</b>	4	36,40%
<b>Les moulages (internes et externes)</b>	3	27,30%
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>100%</b>

Nous constatons, que même les enseignants stagiaires présentent des difficultés dans l'identification des différents modes de la fossilisation. Ces difficultés sont mentionnées dans leurs réponses comme :

- **Catégorie 1** : ceux d'ordre spatio-temporel. En effet, seulement 36,40% des répondants ont identifié l'épigénisation. Ce phénomène résulte des réactions physico-chimiques se déroulant dans des échelles d'espace difficilement accessibles à l'œil nu. Même s'ils ont pratiqué des observations microscopiques, lors de leur cursus universitaire, ces futurs enseignants sont incapables de concevoir le processus d'épigénisation. Ils sont incapables de mener un feed-back dans le temps (*extrapolation temporelle*) pour imaginer la substitution du minéral original de la coquille (minéral ancien), par un autre minéral de remplacement (minéral plus récent).
- **Catégorie 2** : ceux de vision spatiale (27,30%) ; 18,30%, de ces répondants identifient l'un des moulages sans préciser l'autre (interne ou externe). Les autres (9%) amalgament entre le moule interne et le moule externe.

Les résultats ci-dessus vérifient notre hypothèse, citée dans les questions précédentes (questions 5 et 6) pour la méconnaissance totale des modes de la fossilisation, ainsi que l'évolution spatio-temporelle des processus mis en jeu dans leur formation. En effet, la majorité de futurs enseignants n'a identifié aucun mode de la fossilisation.

## 2. Les processus de la fossilisation

### 2.1 Question 10 et analyse de ses réponses

#### a) Question 10

➤ **Quels sont les processus de la fossilisation ?**

- |   |                          |
|---|--------------------------|
| a) la compaction                            | <input type="checkbox"/> |
| b) la décomposition de la matière organique | <input type="checkbox"/> |
| c) la diagenèse                             | <input type="checkbox"/> |
| d) l'enfouissement                          | <input type="checkbox"/> |
| e) la dissolution                           | <input type="checkbox"/> |
| f) les déformations morphologiques          | <input type="checkbox"/> |
| g) le transport et le remaniement           | <input type="checkbox"/> |
| h) la sédimentation                         | <input type="checkbox"/> |
| i) les transformations génétiques           | <input type="checkbox"/> |

**b) Analyse des réponses à la question 10**

Nous avons eu un pourcentage de 70% de répondants.

**Tableau 88 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 10**

<b>Propositions</b>	<b>Nombres enregistrés</b>	<b>Fréquences</b>
L'enfouissement	19	24,30%
La sédimentation	16	20,50%
La diagenèse	13	16,60%
La compaction	11	14,10%
La décomposition de la matière organique	7	9,00%
La dissolution	5	6,40%
Le transport et le remaniement	3	3,80%
Les déformations morphologiques	3	3,80%
Les transformations génétiques	1	1,30%
<b>Total</b>	<b>78</b>	<b>100%</b>

D'après les résultats ci-dessus, les processus de la fossilisation les plus cités sont : « *enfouissement ; sédimentation ; diagenèse et compaction* ». Les autres processus « *décomposition de la matière organique ; dissolution ; transport et remaniement ; déformations morphologiques* » sont cités avec des pourcentages plus au moins faibles (au plus 9%).

Ces résultats dénotent d'un niveau de connaissances insuffisant, des futurs enseignants, de tous les processus mis en jeu dans la fossilisation. Les pourcentages alloués à chaque proposition (processus) ne dépassent pas 24,30% de l'ensemble des réponses, alors que ces processus sont dans la formation en cycle License, de la filière STU. Ces futurs enseignants, ne maîtrisent donc pas tous les processus de la fossilisation.

Enfin, ces résultats appuient l'hypothèse que ces futurs enseignants ne connaissent pas suffisamment, tous les processus de la fossilisation. Ce type de difficultés, constitue un arbuste obstacle à l'assimilation de l'évolution de ce phénomène dans le temps et dans l'espace.

## 2. 2 Question 11 et analyse de ses réponses

### a) Question 11

Le traitement des résultats antérieures (Question 9 et Question 10), a montré que nos enquêtés ont des difficultés à identifier les différents modes de la fossilisation, ainsi que la maîtrise de la plupart des processus mis en jeu dans ce phénomène. La présente question, vérifie leur conception de l'évolution spatiale et temporelle de ces processus ?

➤ **Est-ce que les processus de la fossilisation peuvent être :**

- a) synchrones (en même temps)
- b) successifs
- c) répétés
- d) réalisés en une seule fois
- e) réalisés sous un seul niveau de la série sédimentaire
- f) réalisés sous plusieurs niveaux de la série sédimentaire

### b) Analyse des réponses à la question 11

33,30% des enquêtés, n'ont pas répondu.

Le tableau ci-dessous (Tableau 89) rassemble les résultats récoltés et répartis comme suit :

**Tableau 89 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 11**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences
Successifs	15	27,80%
Réalisés sous plusieurs niveaux de la série sédimentaire	12	22,20%
Réalisés sous un seul niveau de la série sédimentaire	9	16,70%
Répétés	8	14,80%
Synchrones (en même temps)	6	11,10%
Réalisés en une seule fois	4	7,40%
<b>Total</b>	<b>54</b>	<b>100%</b>

- Pour *l'évolution temporelle* : une bonne partie (27,80%) a évoqué une succession temporelle des processus de la fossilisation (un raisonnement linéaire causal), et 18,50% ont imaginé

que ses processus sont synchrones ou réalisés en une seule fois. La répétition, dans le temps, est choisie par 14,80%;

- Pour *l'évolution spatiale* : 22,20% ont répondu que les processus de la fossilisation se déroulent sous plusieurs niveaux de la série sédimentaire, et 16,70% pensent qu'ils se réalisent sous un seul niveau de la série sédimentaire.

Pour mieux éclaircir ces conceptions, on a croisé les réponses sur les modalités temporelles avec celles spatiales, de la question 11.

**c) Résultats de croisement des réponses sur les modalités temporelles avec celles des modalités spatiales de la question 11**

Le tableau (90) ci-dessous représente les résultats obtenus.

**Tableau 90 : Résultats de test de dépendance Chi2, des modalités représentant le temps et l'espace, de la question 11**

Q11	Synchrones	Successifs	Répétés	Réalisés en une seule fois
Réalisés sous un seul niveau de la série sédimentaire	5,97 (6)	10,31 (9)	8,14 (7)	7,59 (10)
Réalisés sous plusieurs niveaux de la série sédimentaire	5,03 (5)	8,69 (10)	6,86 (8)	6,41(4)

Les valeurs du tableau sont les nombres de citations de chaque couple de modalités.

H<sup>0</sup> : « Les paramètres temps et espace sont indépendants ».

H<sup>1</sup> : « Les paramètres temps et espace sont dépendants ».

Nombre entre parenthèse : effectif théorique

Nombre sans parenthèse : effectif réel

X<sup>2</sup>thé = 7,81, l'intervalle de confiance à 95 %, ddl = 3, P-valeur = 0,49.

X<sup>2</sup>cal = 2,37

D'après ces résultats, le X<sup>2</sup>cal est inférieure à X<sup>2</sup>thé et P-valeur est supérieure à 0,05.



Ce test de dépendance (chi2), montre bien l'indépendance des paramètres spatio-temporels, dans les représentations de nos futurs enseignants. En effet, ils mobilisent ses deux paramètres séparément.

Dans l'ensemble, nous déduisons que la majorité de ces enseignants stagiaires conçoivent l'évolution des processus de la fossilisation hors du cadre spatio-temporel (modèle bidimensionnel : *temps* et *espace*).

## 2.3 Question 12 et analyse de ses réponses

### a) Question 12

Quel sont les intervalles de temps mobilisés par les futurs enseignants, lors de la conception des processus de la fossilisation ?

➤ À votre avis, quelle est la durée nécessaire à la fossilisation d'un organisme ?	
a) de quelques heures	<input type="checkbox"/>
b) de quelques années	<input type="checkbox"/>
c) pour des siècles	<input type="checkbox"/>
d) pour des milliers d'années	<input type="checkbox"/>
e) pour des millions d'années	<input type="checkbox"/>
f) pour des milliards d'années	<input type="checkbox"/>
g) variable selon les cas et les conditions	<input type="checkbox"/>

### b) Analyse des réponses à la question 12

Les résultats ci-dessous (Tableau 91), représentent les réponses des enseignants stagiaires.

**Tableau 91 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 12**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences
Variable selon les cas et les conditions	18	38,30%
Pour des millions d'années	9	19,20%
Pour des milliers d'années	8	17,00%
Pour des milliards d'années	4	8,50%
Pour des siècles	4	8,50%
De quelques années	3	6,40%
De quelques heures	1	2,10%
<b>Total</b>	<b>47</b>	<b>100%</b>

Huit enseignants stagiaires (26,7%) n'ont pas répondu à la question 12.

Nous avons classé les réponses obtenues en trois catégories (Tableau 92) :

- **Catégorie 1** : renferme les enseignants stagiaires (38,30%) qui soulignent que la durée des processus de la fossilisation est variable selon les cas et les conditions régnantes dans le milieu de la fossilisation ;
- **Catégorie 2** : englobe les enseignants stagiaires (34%) qui survalorisent « *le temps à l'échelle Humaine* », les courtes durées : *quelques heures à quelques années ; des siècles ; des milliers d'années ;*
- **Catégorie 3** : regroupe les enseignants stagiaires (27,7 %) qui mobilisent les longues durées : des millions d'années ; des milliards d'années « *le temps à l'échelle géologique* ».

**Tableau 92 : Nombres de réponses, classés par catégorie de la question 12**

<b>Propositions</b>	<b>Nombres de réponses</b>	<b>Fréquences</b>
<b>Catégorie 1</b>	18	38,30%
<b>Catégorie 2</b>	16	34,00%
<b>Catégorie 3</b>	13	27,70%
<b>Total</b>	<b>47</b>	<b>100%</b>

### **c) Discussion**

Seulement 38,30% des enseignants stagiaires ont souligné que la durée de la fossilisation est variable selon les cas et les conditions régnantes dans le paléo-environnement. Les autres se répartissent pour des intervalles de courtes durées « temps à l'échelle Humaine » ou de longues durées « le temps à l'échelle géologique ».

Ces réponses montrent que les enseignants stagiaires, éprouvent presque les mêmes types de difficultés détectés chez les étudiants de la filière STU et les lycéens.

Ces résultats sont dans le même sens avec les travaux de Guy (2002) et Boughanmi (2010), se centrant sur les difficultés d'utilisation du temps dans les phénomènes géologiques et biologiques. En effet, Guy (2002) a mis en évidence « l'obstacle des longues durées : « *on ne peut accéder aux longues durées en empilant du temps humain. C'est une autre façon de dire que le temps géologique dépasse l'imagination* ». Du temps que, Boughanmi (2010) a renvoyé

les difficultés de mobilisation du temps aux registres explicatifs de l'apprenant (« le temps à l'échelle Humaine » ; « le temps à l'échelle géologique ») (Chapitre 1).

## 2.4 Question 13 et analyse des réponses

### a) Question 13

Comme une bonne partie des enseignants stagiaires ne pense pas à la mobilisation du temps, lors de la reconstitution de l'évolution de la fossilisation, nous avons estimé indispensable d'examiner leur mobilisation de l'espace sur cette même reconstitution.

➤ <b>Les processus de la fossilisation peuvent se produire sous quelle épaisseur ?</b>	
a) quelques centimètres de sédiments	<input type="checkbox"/>
b) quelques mètres de sédiments	<input type="checkbox"/>
c) quelques dizaines de mètres de sédiments	<input type="checkbox"/>
d) quelques centaines de mètres de sédiments	<input type="checkbox"/>
e) quelques kilomètres de sédiments	<input type="checkbox"/>

### b) Analyse des réponses à la question 13

Le tableau 93 ci-dessous récapitule les réponses obtenues.

**Tableau 93 : Nombres enregistrés pour chaque proposition à la question 13**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences
quelques dizaines de mètres à quelques centaines de mètres de sédiments	26	55,3%
quelques centimètres à quelques mètres de sédiments	17	36,2%
quelques kilomètres de sédiments	4	8,5%
<b>Total</b>	<b>47</b>	<b>100%</b>

Mises à part les réponses manquantes à cette question (40%), nous relevons que, 91,5%, des enseignants stagiaires répondants s'inscrivent dans le déroulement de la fossilisation, dans des profondeurs de sédiments centimétriques à métrique, et une minorité (8,5%), la conçoit dans des échelles kilométriques.

Il nous semble que ces répondants hésitent, non seulement, à l'immensité du temps mais aussi à l'immensité de l'espace.

Ceci peut être expliqué, d'une part, par la méconnaissance des profondeurs favorables à la fossilisation, qui peuvent être variables selon les cas et les conditions de la fossilisation (type d'organisme ; type de sédiment ; vitesse d'enfouissement...). En effet, les résultats des questions précédentes ont montré qu'une majorité considérable des enseignants ne maîtrise pas les processus mis en jeu dans la fossilisation. Comment peuvent-ils estimer, donc, les échelles de temps et d'espace pour son évolution ? D'autre part, un grand nombre des répondants (22 enseignants parmi 30) déclarent qu'ils sont des licenciés en biologie et qu'ils n'ont eu aucune formation sur le phénomène de la fossilisation, depuis le Lycée.

Ainsi, il s'agit donc de non formation en géologie, qui posera par la suite, un handicap aux futurs enseignants, licenciés en biologie.

Nous estimons, alors qu'une formation supplémentaire s'avère nécessaire en géologie pour les enseignants stagiaires, pour faciliter leur assimilation des phénomènes géologiques programmés au secondaire. Cette formation, doit se focaliser sur le développement des capacités de la vision spatiale (à travers des sorties sur le terrain, l'étude de cartes géologiques ; études microscopiques des lames...), et la redécouverte des phénomènes géologiques notamment, la fossilisation, dans son cadre spatio-temporel.

## **2. 5 Question 14 et analyse des réponses**

### ***a) Question 14***

Elle a comme objectif de savoir si les futurs enseignants, connaissent l'intérêt des fossiles de faciès (indicateurs d'espace).

Les caractères morphologiques des fossiles constituent des indices des facteurs physicochimiques et même biologiques du paléo-environnement ((Moore 1969 ; Babin, 1966)). En se basant sur ces indices et grâce au principe d'actualisme, les paléontologues peuvent reconstituer les conditions du paléo-environnement. En établissant des relations de dépendance entre la morphologie des coquilles et les conditions de l'habitat ; est-ce que les enseignants stagiaires sont conscients de cette relation de dépendance ?

➤ **Est-ce que les caractères morphologiques des fossiles de faciès sont le résultat d'une adaptation à un biotope bien déterminé ?**

Oui  Non

Expliquez : .....

**b) Analyse des réponses à la question 14**

Les résultats ci-dessous (Tableau 94) montrent que la moitié des futurs enseignants n'a pas répondu à cette question (50,0%). Aussi, parmi les répondants, 86,70%, confirment le lien entre la morphologie des fossiles et les paramètres du paléo-environnement (réponse par oui), et 13,30% ne connaissent pas cette relation de dépendance.

**Tableau 94 : Nombres de réponses par oui ou par non à la question 14**

Réponses	Nombres de réponses	Fréquences
oui	13	86,70%
non	2	13,30%
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>

Ceci signifie-il que les répondants par oui soient capables de reconstituer le modèle d'un paléo-environnement, dans un cadre spatio-temporel ? Sont-ils aptes à mener un feed-back dans le temps, en traduisant les caractères morphologiques des fossiles de faciès comme indicateurs des conditions du paléo-biotope (le facteur espace) ? L'analyse de leurs explications nous conduit à la discussion ci-après (Tableau 94).

**c) Discussion**

Seulement, 9 futurs enseignants parmi 30 ont argumenté leurs réponses. Les catégories des explications figurent dans la grille ci-dessous (Tableau 94) :

**Tableau 95 : Nombres de réponses avec explications par catégorie de la question 14**

Catégories	Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3	Total
<b>Nombres de réponses avec explications</b>	04	03	02	<b>09</b>

- **Catégorie 1** : rassemble les explications de quatre enseignants répondant par oui. Ils appuient la relation de dépendance entre la morphologie des fossiles de faciès et les conditions du paléo-environnement, par la citation des exemples d'influence des paramètres du milieu : « *les fossiles aériens et les fossiles marins ont des caractéristiques physiologiques différentes* » ; « *la majorité des fossiles marins possèdent des coquilles, comme outils de protection* » ; « *chaque organisme s'adapte à son milieu de vie* » ; « *le milieu agit sur la forme des organismes* » ;
- **Catégorie 2** : inclus trois enseignants répondant par oui, qui ont expliqué la relation de dépendance entre la morphologie des fossiles de faciès et les conditions du paléo-environnement, par une simple relation d'intérêt : « *les fossiles de faciès caractérisent un milieu sédimentaire particulier* » ; « *ce sont des indicateurs du milieu* » ;
- **Catégorie 3** : deux futurs enseignants ont ignoré (réponses par, non) cette relation de dépendance. Ils justifient leurs choix par les transformations génétiques : « *la forme d'un organisme dépend essentiellement de son information génétique* » ; « *la morphologie des organismes change grâce aux transformations génétiques* ». Pourtant, les transformations génétiques, qui sont à l'origine de l'évolution des espèces, peuvent être influencées par les changements des conditions du milieu.

#### **d) Conclusion**

En conclusion, nous constatons que la majorité de nos futurs enseignants n'arrive pas à corréler entre la morphologie d'un fossile et les conditions de son paléo-biotope. Cette corrélation nécessite l'application du principe d'actualisme, qu'une grande partie de nos enquêtés ne le connaît pas (particulièrement les biologistes). Ce principe d'actualisme permet de retourner dans la flèche du **temps**, et appliquer les conditions régnantes dans les biotopes actuelles sur les paléo-biotopes des fossiles.

### **III. Les concentrations fossilifères**

Seulement huit enseignants ont participé aux questions proposées à cette partie. Ils ont mentionné, dans la partie généralité du questionnaire, qu'ils suivent en même temps des études en cycle Master de la discipline géologie.

Les non répondants, (22 enseignants stagiaires) ont souligné qu'ils sont diplômés en biologie, et qu'ils n'ont eu aucune formation sur les gisements fossilifères. Or, ils sont préparés et sensés enseigner la reconstitution de l'histoire évolutif des gisements fossilifères dans le temps et dans l'espace : gisements des phosphates ; gisements du charbon.

Les réponses des questions de cette partie vont nous permettre de savoir comment les répondants mobilisent les facteurs *temps* et *espace*, en exploitant les indices de la biodiversité passée, pour identifier puis retracer l'évolution des processus responsables de leur genèse ?

## 1. Question 15 et analyse des réponses

C'est pour savoir s'ils connaissent les actions des processus taphonomiques sur les concentrations d'organismes morts.

### 1.1 Question 15

➤ **Est-ce que les transformations post-mortem (que subissent les concentrations d'organismes morts) peuvent modifier :**

- a) l'âge de leurs constituants (organismes fossiles)
- b) la forme géométrique de ces constituants
- c) la forme géométrique de la concentration en général
- d) la composition minéralogique de ces constituants
- e) leur situation spatiale
- f) leur situation temporelle
- g) leur situation spatio-temporelle

### 1.2 Analyse des réponses à la question 15

Cette question évalue le degré de connaissance des enseignants stagiaires des processus taphonomiques pouvant modifier les caractéristiques spatio-temporelles d'un gisement fossilifère.

**Tableau 96 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 15**

Propositions	Nombres enregistrés	Fréquences
la forme géométrique de la concentration en général	5	20,80%
la composition minéralogique de ces constituants	5	20,80%
la forme géométrique de ces constituants	4	16,7%
l'âge de leurs constituants (organismes fossiles)	3	12,5%
leur situation spatiale	3	12,5%
leur situation spatio-temporelle	3	12,5%
leur situation temporelle	1	4,2%
<b>Total</b>	<b>24</b>	<b>100%</b>

**Remarque :** les propositions fausses insérées sont l'âge de leurs constituants (organismes fossiles) et leur situation temporelle.

Le tableau ci-dessus (Tableau 96) montre que 83,30% des réponses sont des propositions correctes, et 16,7% sont fausses.

Afin de cerner, comment ces répondants mobilisent les facteurs temps et espace lors de la reconstitution des processus taphonomiques, nous avons catégorisé leurs réponses en deux :

- **Catégorie 1 :** regroupe les propositions mobilisant le facteur espace (70,9%). Ils approuvent que les processus postes-mortem (processus taphonomiques) agissent sur les caractéristiques spatiales du gisement fossilifère, soit en modifiant la forme géométrique de ce gisement et même des organismes constituants, ou soit en changeant sa répartition spatiale originelle.
- **Catégorie 2 :** trois réponses (12,5%) ont souligné que les processus taphonomiques peuvent changer la situation spatio-temporelle d'un assemblage mort. Surement, les traces laissées par ces processus, constituent des indices puissants de la reconstitution spatio-temporelle d'un environnement ancien.

Or, une seule citation (4,2%) a souligné, que les processus taphonomiques peuvent modifier la répartition temporelle des organismes morts.

En résumé, les résultats de cette question laissent penser qu'une grande partie des futurs enseignants (73,30% des non réponses) ignorent totalement les processus taphonomiques, qui



modifient les caractéristiques spatio-temporelles d'un gisement fossilifère. En outre, les réponses données certifient qu'ils interprètent ces indices d'espace (traces des processus taphonomiques) en indépendance du facteur temps (leur évolution dans le temps). Seul trois citations qui ont mis l'accent sur l'effet des processus taphonomiques sur la situation spatio-temporelle d'un assemblage mort. La méconnaissance, ainsi que l'interprétation hors du cadre spatio-temporel, des indices taphonomiques, constituera sans doute, des obstacles majeurs dans la conception de l'histoire évolutive d'un gisement fossilifère et par conséquent, de l'histoire évolutive d'un paléo-environnement donné.

## 2. Question 16 et analyse des réponses

### 2.1 Question 16

Kidwel et hollandaise (1991) ont insisté sur l'importance de la description des concentrations fossiles. C'est une phase primordial pour reconstituer les facteurs à l'origine de leur formation et à déterminer l'environnement sédimentaire dans lequel elles se sont produites. La question 16 se centre sur l'évaluation de la capacité de vision dans l'espace, chez ces futurs enseignants, par l'intermédiaire des concentrations fossilifères.

➤ **Les concentrations fossilifères au sein d'une série sédimentaire peuvent se présenter sous quelle forme ?**

- a) concentrations minces en deux dimensions (2D) implantées à la surface du sédiment
- b) concentrations tridimensionnelles (3D) avec répartition à l'intérieur d'une seule strate
- c) concentrations tridimensionnelles (3D) avec répartition à l'intérieur de plusieurs strates
- d) concentrations planes (unidimensionnelles)
- e) concentrations à géométrie indéfinie

### 2.2 Analyse des réponses à la question 16

Le tableau suivant (Tableau 97) rassemble les résultats obtenus. Les répondants se répartissent entre ceux qui ont choisi des géométries définies, 37,5%, et ceux qui ont opté pour des géométries indéfinies (62,5%).

**Tableau 97 : Nombres enregistrés pour chaque proposition de la question 16**

<b>Propositions</b>	<b>Nombres enregistrés</b>	<b>Fréquences</b>
Concentrations à géométrie indéfinie	7	43,80%
Concentrations tridimensionnelles (3D) avec répartition à l'intérieur d'une seule strate	3	18,70%
Concentrations planes (unidimensionnelles)	3	18,70%
Concentrations minces en deux dimensions (2D) implantées à la surface du sédiment	2	12,50%
Concentrations tridimensionnelles (3D) avec répartition à l'intérieur de plusieurs strates	1	6,3%
<b>Total</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>

Deux classes de réponses ont été retirées comme suit :

- **Catégorie 1** : rassemble des enseignants (62,50%) qui n'ont pas une vision claire de la géométrie des concentrations fossilifères dans l'espace. 43,80%, d'entre eux imaginent que les concentrations fossiles se distribuent au sein des sédiments d'une façon aléatoire (concentrations à géométrie indéfinie), et 18,70% conçoivent la disposition des concentrations fossiles dans l'espace comme des concentrations planes (unidimensionnelles), ce qui dénote d'une incapacité de la vision dans l'espace;
- **Catégorie 2** : regroupe les futurs enseignants (37,50%) qui ont une vision claire de la disposition des concentrations fossilifères dans l'espace. Ce groupe a souligné que ces concentrations peuvent se mettre dans les sédiments sous forme des assemblages minces, en deux dimensions (2D) ou tridimensionnelles (3D).

Ainsi, 62,50% montrent qu'ils n'ont aucune vision spatiale, et 37,50% ont cette capacité de vision dans l'espace.

Nous constatons que la majorité des enseignants stagiaires éprouvent donc des difficultés à imaginer la disposition des gisements fossilifères dans l'espace.

## IV. Obstacles et suggestions de remédiation

### 1. Question 17 et analyse de ses réponses

#### 1.1 Question 17

Elle concerne l'assimilation des processus de la formation des gisements fossilifères, particulièrement la mobilisation des facteurs *temps* et *espace* chez les futurs enseignants, de la discipline (SVT).

➤ **Quels sont à votre avis, ce qui entrave votre compréhension des mécanismes liés à la formation des gisements fossilifères ?**

- a) l'identification des fossiles
- b) la relation fossilisation-sédimentation
- c) l'échelle du temps géologique
- d) l'imagination des phénomènes de la fossilisation dans l'espace et dans le temps
- e) la complexité des phénomènes microscopiques de la fossilisation (diagenèse, substitution minéralogique...)
- f) la complexité des termes paléontologiques
- g) les méthodes de l'enseignement
- h) le manque de sorties sur le terrain
- i) **Autres ; expliquez :**

.....

#### 1.2 Analyse des réponses à la question 17

Les réponses données et transcrites dans la réplique explication, ont été catégorisées comme suit (Tableau 98) :

- ✓ **Catégorie 1** : Elle rassemble la majorité des citations (55%) qui s'accordent aux difficultés de mobilisation des facteurs temps et espace. Cette majorité a déclaré qu'elle n'arrive pas à imaginer le phénomène de la fossilisation dans le temps et dans l'espace, en l'occurrence, les phénomènes microscopiques de la fossilisation et la relation fossilisation-sédimentation. Aussi les difficultés d'assimilation de l'échelle du temps géologique ont été signalées.
- ✓ **Catégorie 2** : Elle regroupe 37,5% de l'ensemble des citations recueillies. Ce sont à priori des difficultés d'ordre pédagogique : une formation de base insuffisante en géologie, le

manque de sortie sur le terrain, l'absence ou l'insuffisance de séances de travaux pratiques, quelques méthodes d'enseignement non adaptées et la complexité des termes paléontologiques ;

- ✓ **Catégorie 3** : elle représente 7,5 % de l'ensemble des citations qui ont évoqué des difficultés d'identification des fossiles.

**Tableau 98 : Nombres de citations par catégorie de la question 17**

Propositions	Nombres de citations	Fréquences
<b>Catégorie 1</b>	66	55,0%
<b>Catégorie 2</b>	45	37,5%
<b>Catégorie 3</b>	9	7,5 %
<b>Total</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>

Nous venons donc de mettre en évidence, deux grands types de difficultés évoquées par les enseignants stagiaires qui sont l'assimilation des processus de la formation des gisements fossilifères par les difficultés de mobilisation des facteurs *temps* et *espace*, et d'autres que nous avons qualifiées de type pédagogique.

## 2. Question 18 et analyse des réponses

### 2.1 Question 18

➤ **Quelles sont vos suggestions pour surmonter les difficultés rencontrées ?**

- a) programmer des sorties sur le terrain, lors de la formation dans les CRMEF
- b) l'intégration des TICE (utiliser les nouvelles technologies de l'information et de la communication NTIC ; disposer des documents audiovisuels reconstituant les phénomènes étudiés)
- c) programmer des travaux pratiques de paléontologie ; de cartographie ; Notamment, pour les diplômés en biologie
- d) faire participer l'enseignant stagiaire à l'élaboration de certaines exposées, concernant les disciplines non acquises (exemple de la géologie).
- e) autoformation
- f) **autres ; expliquez :**

## 2.2 Analyse des réponses à la question 18

Comme suggestions pour dépasser leurs difficultés, les futurs enseignants ont sélectionné les propositions dans le tableau ci-dessous (Tableau 99). Celles-ci sont classées selon leurs poids.

**Tableau 99 : Nombres enregistrés pour chaque suggestion proposée de la question 18**

<b>Propositions</b>	<b>Nombres enregistrés</b>	<b>Fréquences</b>
Une formation de base, dans les CRMEF, concernant les disciplines : géologie ; biologie.	<b>35</b>	<b>33,7%</b>
L'intégration des TICE (utiliser les nouvelles technologies de l'information et de la communication NTIC ; disposer des documents audiovisuels reconstituant les phénomènes étudiés)	<b>23</b>	<b>22,1%</b>
Programmer des sorties sur le terrain, lors de la formation dans les CRMEF	<b>18</b>	<b>17,3%</b>
Programmer des travaux pratiques de paléontologie ; de cartographie... ; notamment, pour les diplômés en biologie	<b>16</b>	<b>15,40%</b>
Faire participer l'enseignant stagiaire à l'élaboration de certains exposés, concernant les disciplines non acquises (exemple de la géologie)	<b>7</b>	<b>6,70%</b>
Autoformation	<b>5</b>	<b>4,80%</b>
<b>Total</b>	<b>104</b>	<b>100%</b>

L'analyse des propositions suggérées (Tableau 99), montre que les futurs enseignants demandent en majorité le renforcement de la formation de base (33,70%), dans les CRMEF, concernant les disciplines de géologie et de biologie. Dans notre cas 22 parmi 30 sont des biologistes et affirment qu'ils éprouvent des difficultés à assimiler les phénomènes géologiques. Aussi, ils sont pour les sorties sur le terrain (17,30%) et les travaux pratiques (15,40%) qui restent parmi les meilleurs actes pédagogiques pour comprendre tout phénomène géologique. Ils pensent aussi à l'amélioration des connaissances disciplinaires, à travers, leur participation dans l'élaboration de quelques cours (6,70%) et l'autoformation (4,80%).

Les futurs enseignants sont donc conscients que les sorties sur le terrain et les travaux pratiques ne semble pas constituer une priorité dans la formation dans les CRMEF. Face à cette

situation, 22,10% d'entre eux ont suggéré l'intégration des TICE comme soutien pédagogique, qui pourra aider pour la compréhension des phénomènes géologiques.

## **Conclusion**

Les résultats du questionnaire et de la TGN, soumis à ces enquêtés, ont mis en relief tout d'abord des difficultés de nature pédagogique (manque de formation spécialisée en disciplines géologie ou biologie ; manque de sortie sur le terrain, des TP, programme inadapté .etc.).

Les analyses des difficultés et des suggestions de tous nos enquêtés (lycéens ; étudiants de la filière STU et enseignants stagiaires), ont mis en évidence, un profond besoin, pour l'intégration des TICE, dans l'enseignement de la géologie. Ce besoin était notre motivation pour la conception et le développement d'un dispositif innovant, permettant d'aider à l'assimilation du concept fossile et ses dérivés (Chapitre 7).

En guise de conclusion, notre étude a montré que les futurs enseignants éprouvent, aussi, diverses sortes de difficultés vis-à-vis des concepts accordés à la notion de fossiles (fossile ; fossilisation et gisements fossilifères). Particulièrement la mobilisation des facteurs temps et espace sont parmi les principaux obstacles à l'acquisition des concepts géologiques.

Le tableau 100 ci-dessous résume les obstacles détectés chez les futurs enseignants pour la mobilisation des facteurs temps et espace lors de l'étude du concept fossile et ses dérivés.

**Tableau 100 : Typologie d'obstacles détectés chez les enseignants stagiaires à propos du concept fossile et ses dérivés.**

Concepts Type d'obstacles	Fossile	Fossilisation	Gisement fossilifère
<b>"Origine du fossile :</b>	les fossiles s'identifient grâce à leur origine (animale/végétale)	_____	_____
<b>De conception du "temps"</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• le temps et l'espace sont, rarement, utilisés simultanément ;</li> <li>• survalorisation du facteur temps au préjudice du facteur espace ;</li> <li>• le temps n'est évoqué qu'en : terme d'ancienneté des fossiles sans précision d'échelle temporelle ; ou comme outils de datation relative seulement ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• explications vastes sans indiquer aucun processus de la fossilisation, ni son déroulement dans le temps ou dans l'espace ;</li> <li>• explications par une simple relation d'intérêt (datation, reconstitution de paléo-environnement) ;</li> <li>• explications signalant la succession temporelle sans préciser l'échelle de temps</li> <li>• explications ignorants totalement les étapes du phénomène mais mobilisant <i>l'échelle Humaine</i> ou <i>l'échelle du temps géologique</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• survalorisation de la répartition temporelle des fossiles au détriment des autres critères spatiaux.</li> </ul>
<b>De conception d'"espace"</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• l'espace est rarement interpellé.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sous-estimation de l'espace par rapport au temps ;</li> <li>• une hésitation à l'immensité de l'espace géologique ;</li> <li>• difficultés à mener une extrapolation dans le sous-sol ;</li> <li>incapacité de corréler entre les différentes échelles d'espace.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• difficultés à imaginer la disposition du gisement dans l'espace (plane ; 2D ; 3D) ;</li> </ul>

<b>D'analogie</b>	tous les fossiles sont analogues à un prototype déjà rencontré.	_____	_____
<b>D'actualisme (obstacle de conception du "temps" et d'"espace ")</b>	_____	<ul style="list-style-type: none"> <li>• difficultés de mener un feed-back dans la flèche du temps ;</li> <li>• l'évolution dans le temps est imaginée séparément à l'évolution dans l'espace ;</li> <li>• résistance à la contemporanéité fossilisation/sédimentation ;</li> </ul>	_____
<b>De contingence</b>	_____	<ul style="list-style-type: none"> <li>• difficultés de la compréhension des interactions organismes/ encaissants ;</li> <li>• résistance à l'effet du hasard.</li> </ul>	_____
<b>Linguistique</b>	_____	conception négatif envers quelques processus tels que l'érosion, l'effet dégradant des eaux. etc.	_____
<b>De méconnaissance</b>	des critères d'identification d'un fossile ;	des : <ul style="list-style-type: none"> <li>• différents modes de la fossilisation ;</li> <li>• processus mis en jeu dans la fossilisation ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• quasi-totale, chez la plupart des sujets, du concept de gisements fossilifères.</li> </ul>



**Chapitre 7 : Élaboration d'un didacticiel : "*Fossilis*" sur le  
concept fossile et ses dérivés**

## **Introduction**

Ce chapitre décrit les étapes nécessaires pour la réalisation d'un didacticiel "*Fossilis*". L'idée du développement d'un tel dispositif est conçue à partir des résultats d'une enquête par questionnaire. Cette enquête est menée auprès des étudiants de la filière STU de notre faculté des sciences Dhar El Mahraz et la faculté des Sciences et Technique de Fès, Maroc L'objectif général de ce dispositif d'enseignement, comme support pédagogique multimédia est de permettre de faciliter la compréhension des étudiants du concept fossile et ses dérivés. C'est un logiciel interactif, orienté vers les étudiants de la filière des Sciences de la Terre et de l'Univers (STU). (Chapitre 5).

### **I. Cadre du projet**

Grace à ses qualités de motivation, répétiteur infatigable, automate doté d'une grande capacité de mémorisation et de stockage, un dispositif multimédia peut apporter une forte poussée pour l'enseignement, dans la formation universitaire.

Dans cette optique, il nous a semblé nécessaire de débiter ce chapitre (consacré aux étapes d'élaboration du didacticiel) par des généralités (définition du concept dispositif, du mot didacticiel, les différentes étapes de son élaboration et ses caractéristiques), pour ensuite donner une présentation détaillée de ce didacticiel, de ses constituants, des activités d'apprentissage qu'il propose, des étapes de la conception et de la réalisation pour terminer par les perspectives pour son évaluation.

#### **1. Dispositif d'enseignement**

Les TIC ont apporté des transformations inédites, en faveur des modes ordinaires d'acquisition et de constructions des connaissances, dans la formation supérieure universitaire. Ces transformations rendent inévitable un changement des conceptions et des pratiques d'enseignement ; en l'occurrence, la nécessité de nouveaux dispositifs de formation. Dans le cadre de notre projet nous définissons tout d'abord le concept dispositif.

Le terme dispositif, est issu du champ de la technique, il désigne la : « *manière dont sont disposés les pièces, les organes d'un appareil ; le mécanisme lui-même* » ; et d'une façon

générale : « *ensemble de moyens disposés conformément à un plan* », comme il a été défini dans le dictionnaire Robert (Rey et Rey-Debove, 2009). Le concept de dispositif n'a été réellement défini dans le champ des sciences de l'éducation et dans celui de la formation qu'à partir des années 70, et relève, comme l'indique Poitou (1998), de l'émergence et « *de l'apparition de nouveaux médiateurs du savoir, voire des formes nouvelles de savoir fondées sur des médiateurs* ». De même, Peraya (1999) considère : « *qu'un dispositif consiste en une organisation de moyens au service d'une stratégie, d'une action finalisée, planifiée visant à l'obtention d'un résultat* ». Dans le champ de l'ingénierie de la formation, le concept dispositif est défini par Sensevy et al. (2005) comme un ensemble de moyens humains et matériels mis en œuvre afin d'atteindre un objectif, ou comme outil pour faciliter un processus d'apprentissage (Blandin, 2002). Les travaux de Jacquinet-Delaunay et Montoyer (1999), rappellent les fonctions symboliques, psychologiques, cognitives et relationnelles inscrites dans tout dispositif. Dans sa définition, Linard (1998) confirme qu'un dispositif ne peut avoir un sens que s'il est vécu et expérimenté par le sujet (l'acteur).

## **2. Le didacticiel**

### **2.1 Définition**

Le mot didacticiel regroupe les deux termes : didactique et logiciel. Le Nouveau Petit Robert de la langue française (2009), a défini le didacticiel comme « *un logiciel à fonction pédagogique* ». Alors que le dictionnaire de l'informatique, le définit comme : « *un néologisme (terme nouveau) d'origine québécoise désignant l'ensemble des programmes qui constituent les différentes phases d'un système d'enseignement assisté par ordinateur dans un domaine précis de connaissances* ».

Pour Demaizière et al. (1992), il constitue un programme interactif destiné à l'apprentissage des savoirs : « *un produit qui propose un échange entre la machine et l'utilisateur à des fins d'apprentissage* ». En didactique des langues, Naymark (1999) a défini le didacticiel comme un CD ROM qui : « *incorpore tout un cours de langue ou seulement des exercices complémentaires à ce cours et diffère peu, en règle générale, du manuel traditionnel* »

Finalement, le didacticiel se caractérise par l'*autodidaxie* et l'*autonomie*. En effet, l'apprenant peut travailler seul en dehors de tout cadre éducatif, ou encore, bénéficier de ce dispositif, dans le cadre d'un cours officiel, comme soutien scolaire.

## 2. 2 Constituants des didacticiels

Les constituants et les activités proposées, par un didacticiel, varient selon leurs contenus formels (discipline ; population cible,...). Le tableau (101) ci-dessous présente les principaux composants :

**Tableau 101 : Principaux composants d'un didacticiel**

Constituants	Leurs fonctions	Exemples
<b>Supports</b>	activités principales des didacticiels	<ul style="list-style-type: none"> <li>- films vidéo authentiques (films, documentaires, reportages...);</li> <li>- vidéos fabriqués (images virtuelles);</li> <li>- photos, images fixes et bandes dessinées.</li> </ul>
<b>Aides et données</b>	Activités secondaires permettant la compréhension des activités principales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- données écrites (par exemple un mot lié à une explication par un lien hypertexte ; glossaires ;</li> <li>- données sonores ou visuelles (images fixes, ...).</li> </ul>
<b>Exercices</b>	Activités d'auto-évaluation et/ou de construction des concepts ciblés	<ul style="list-style-type: none"> <li>- QCM ;</li> <li>- Questions de réponses : vrais / faux</li> <li>- Classer les étapes d'un phénomène ;</li> <li>- analyser un diagramme ;</li> <li>- Identifier un objet (par exemple une roche) ;</li> <li>- Orienter un schéma ;</li> <li>- Etc.</li> </ul>
<b>Tâches</b>	Ce qui est demandé à l'apprenant. : c'est la part la plus communicative et interactive.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cocher la bonne réponse ;</li> <li>- Analyser ;</li> <li>- Déduire ;</li> <li>- Définir ;</li> <li>- Observer ;</li> <li>- Etc.</li> </ul>
<b>Fonctionnalités du programme</b>	C'est ce qui permet à l'apprenant de naviguer à travers le programme et d'effectuer certaines manipulations	<ul style="list-style-type: none"> <li>- naviguer grâce aux hypertextes ;</li> <li>- passer d'une activité à l'autre ;</li> <li>- cocher une réponse ;</li> <li>- contrôler les étapes d'une expérience assistée par ordinateur ;</li> <li>- Etc.</li> </ul>

## 2. 3 Phases d'élaboration d'un didacticiel

Comme toute recherche- développement, l'élaboration d'un dispositif pédagogique (didacticiel) est une opération complexe, qui passe par plusieurs stades. Ces étapes ne sont pas forcément linéaires, on peut toujours, rectifier, amplifier ou aménager, ce qui a été prévu antérieurement. Son succès s'articule sur la coopération de toute une équipe de spécialistes (didacticiens, informaticiens, scénaristes, graphistes,...).

Dans son article « élaboration de didacticiels étapes, problèmes, difficultés », Fiszer, (1985) rappelle qu'il est indispensable de discerner entre les phases d'élaboration d'un didacticiel et ceux d'élaboration d'un programme informatique. Le même auteur explique que l'élaboration d'un programme informatique fait partie des étapes de l'élaboration d'un programme pédagogique (didacticiel) : « *Le travail de programmation informatique s'intègre dans le travail de programmation pédagogique* ». Selon les propos de Lefevre (1984), le processus de production d'un logiciel éducatif, peut être divisé en quatre phases principales : l'analyse préalable, la conception, la réalisation et enfin le suivi qui est une étape de l'évaluation du produit.

### *a. Analyse préalable*

C'est l'étape d'étude de faisabilité. Dans cette phase, il faut répondre aux questions suivantes :

#### **✚ Quels objectifs pédagogiques à aboutir à travers ce didacticiel ?**

Avant de choisir le contenu du didacticiel, il faut spécifier ce que l'acteur sera capable de faire à l'issue de l'utilisation du didacticiel. La rédaction de ces objectifs, constitue, par la suite, la base de la construction des activités, ainsi que le contenu proposé ;

#### **✚ Quel contenu pédagogique à choisir ?**

Le contenu disciplinaire, est déterminé à travers les objectifs pédagogiques, préalablement définis. Il doit être clair et bien défini. Généralement il est construit, en collaboration entre des spécialistes de la discipline et des didacticiens ;

### **+ Quelle stratégie pédagogique ?**

C'est l'opération de la liaison entre le contenu pédagogique, le public cible et l'action d'apprentissage. Il s'agit du choix des d'activités et des exercices favorisant la meilleure transmission et / ou construction du contenu à un public précis ;

### **+ Pour qui ?**

Il faut bien déterminer les caractéristiques de la population cible. On prendra en considération l'âge, le niveau scolaire, la nature des études en cours (en groupe ou en autoformation), les connaissances probables et les prés-requis. Il faut prévoir aussi, les difficultés d'apprentissage, les besoins, les degrés de dépendances à l'enseignant ; les milieux socio-culturelles... ;

### **+ Pour quel intérêt ?**

Il est indispensable d'éclaircir la motivation du développement du didacticiel. On le compare aux didacticiels déjà existants, et en abordant les problèmes didactiques. Il s'agit de montrer les particularités, l'analogie et les différences ;

### **+ Sur quel support physique ?**

C'est le choix du matériel et des techniques de diffusion qui seront utilisés par l'apprenant : CD ROM ; SCORM (Sharable Content Object Reference Model) ; Navigateur web....

## ***b. Phase de conception***

La conception est la phase la plus délicate de tout le processus du développement d'un didacticiel. C'est le moment de la « scénarisation » ou « la transposition didactique », le passage du savoir savant au savoir à enseigner. L'objectif de cette phase est d'instaurer les modes de communication (d'interaction) entre l'apprenant et l'ordinateur. Il s'agit de définir le contenu : sa segmentation selon les objectifs visés ; sa progression ; les activités à proposer ; la stratégie d'évaluation adoptée (type d'exercices par exemple), etc. Il faut aussi tenir compte des critères ergonomiques du contenu : les affichages au niveau de l'interface, les liens hypertextes et le défilement des pages, le choix de police et de caractères, les couleurs, les graphismes,

l'animation..., sans négliger l'importance de la détermination des techniques de navigation dans le programme : savoir se situer, entrer et sortir....

### **c. Phase de réalisation**

C'est la phase de la mise en œuvre du didacticiel. En effet, le scénario pédagogique préalablement conçu, se développera en programme informatique. Celui-ci sera codé selon un langage de programmation approprié.

### **d. Phase d'évaluation**

L'évaluation d'un didacticiel est une phase primordiale. On ne peut nullement, introduire une ressource multimédia dans les pratiques pédagogiques, sans évaluer et mesurer sa facilité d'usage. Cette évaluation s'articule sur trois critères : l'utilité, l'utilisabilité et l'acceptabilité.

#### **L'utilité**

L'utilité d'un didacticiel se mesure par ce qu'il a apporté comme plus, pour permettre à l'utilisateur d'atteindre les objectifs visés. Selon les travaux de Bétancourt (2007) « *L'utilité d'un dispositif d'interaction homme/machine est liée à l'adéquation entre ce que permet de faire le système et l'objectif de la tâche* ».

Quant à Tricot (2003), c'est « *la possibilité qu'a l'utilisateur d'atteindre ses objectifs au moyen du système* » et « *l'adéquation entre un objectif défini et l'apprentissage effectif* ». L'utilité donc d'un dispositif d'enseignement est déterminée par l'objectif pour lequel il est conçu.

#### **L'utilisabilité**

Tricot et Tricot (2000) constatent que l'utilisabilité est le synonyme de « qualité générale d'un système d'information ». Tricot et ses collaborateurs (2000, 2003) ont défini l'utilisabilité comme étant la possibilité d'utilisation d'un dispositif et sa maniabilité. Pour les modèles de Shackel (1991) et Nielsen (1993) (cité par Deconde, 2009), l'utilisabilité ne s'y appréhende pas en soi, mais par la mesure de trois dimensions :

**Efficacité** : C'est l'exactitude et le degré d'achèvement avec lesquels les utilisateurs vont accomplir les buts et sous-buts fixés. Elle mesure l'utilisabilité sous l'angle du produit de l'interaction. L'exactitude renvoie à la qualité du résultat (le nombre d'erreurs), tandis que

l'achèvement relève de la quantité produite en fonction des objectifs. Elle peut aussi être mesurée en pourcentage de buts accomplis ou pourcentage d'utilisateurs ayant accompli avec succès la tâche qui leur était assignée.

**Efficienc**e : Il s'agit des ressources engagées en regard de l'exactitude et du degré d'achèvement avec lesquels les utilisateurs accomplissent leurs tâches. Ces ressources se traduisent aussi bien en tant qu'effort humain, temps passé, et coûts engendrés.

**Satisfaction** : C'est le confort et les attitudes relatives à l'usage. Elle envisage des échelles d'évaluation subjective associées à des techniques d'enquêtes et d'observations sur le terrain pour attester de l'usage effectif. Il est également évoqué la possibilité de relever des commentaires pendant l'interaction, les postures et comportements, ou bien encore d'évaluer l'acceptabilité de la charge de travail induite.

On peut conclure, que l'évaluation de l'utilisabilité se fait à travers la mesure des critères ergonomiques du didacticiel. On mesure la facilité d'utilisation du dispositif. Est-ce que la stratégie pédagogique choisie (l'organisation du contenu, sa segmentation) et les techniques (affichage, navigation), adoptées sont adéquates et satisfaisantes pour l'utilisateur ? La fréquente méthode d'évaluation d'utilisabilité est le test de « banc d'essai utilisateurs », il est cité par Senach (1990) dans son travail « Évaluation ergonomique des interfaces Homme/Machine. ». Il consiste de mettre les apprenants dans des situations réalistes d'utilisation du dispositif. Les résultats de ce test doivent être analysés par des didacticiens, afin de prévoir des modifications ultérieures.

### L'acceptabilité

Selon les travaux de Tricot et al. (2000, 2003) L'acceptabilité correspond à l'intention d'usage suscitée par un dispositif. C'est le fait de savoir si le dispositif peut être utilisé dans le contexte réel. Il s'agit d'évaluer l'impact du dispositif sur l'utilisateur, l'environnement institutionnel (école ; université ; centre de formation), et même la société dans sa globalité (les enjeux économiques par exemple).

### Les méthodes d'évaluation

- La mesure des critères précédemment cités pourra s'effectuer de différentes manières
- les tests : des prés et post tests ;



- l'observation : qui peut être directe (par un expert qui observe l'utilisateur et le questionne), ou indirecte (faire des enregistrements vidéo qui seront analysés plus tard) ;
- les entretiens avec un échantillon d'utilisateurs, les aspects de l'utilisation du didacticiel ;
- les grilles d'analyse ou d'évaluation : l'élaboration d'une grille d'évaluation est la méthode la plus efficace, son élaboration demande beaucoup de temps et d'expériences.

## **II. Contexte et justificatifs du choix du didacticiel « *Fossilis* »**

Depuis les trois dernières décennies, les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) ont bouleversé le monde éducatif, par leur capacité à capter et stimuler l'attention de l'apprenant. Ces nouvelles technologies rendent l'étudiant plus au moins autonome dans les pratiques pédagogiques grâce aux modalités interactives d'accès à l'information et au savoir par les différentes ressources multimédia. Dans ce contexte, plusieurs auteurs ont souligné la nécessité de développement de didacticiels et des environnements d'apprentissage adaptés et efficaces (Caelen, 2004 ; Tricot et al, 2003).

Notre étude s'inscrit dans le cadre de ce que l'on peut considérer comme une variante de la recherche-action, à savoir « recherche-développement » (Guichon, 2006). Ce type de recherche se centre sur l'amélioration des pratiques d'enseignement-apprentissage, à travers la création des outils ou des nouvelles applications (Manuel de Frascati, 2002). Dans ce cadre, notre projet entreprend le développement d'un instrument adapté pour nos étudiants puisqu'il est conçu en tenant compte de leurs difficultés et pourra être utilisable comme support pédagogique. En effet, il s'agit d'un logiciel interactif, orienté vers les étudiants de la filière des Sciences de la Terre et de l'Univers (STU) et aidera à l'assimilation des connaissances des étudiants pour la notion de fossile ; la notion de gisement fossilifère ; le déroulement du phénomène de la fossilisation dans le *temps* et dans l'*espace* puis l'auto-évaluation.

Nous rappelons que l'idée du développement d'un tel dispositif d'enseignement est conçue à partir des résultats d'une enquête par questionnaire (chapitre 5), menée auprès des

étudiants de la filière STU de notre faculté des sciences Dhar El Mahraz de Fès, Maroc. Cet outil d'investigation nous a permis de détecter les principales difficultés exprimées ainsi que les suggestions des étudiants concernés. En effet, un pourcentage de 35% d'entre eux a souhaité l'intégration des TIC comme solution alternative pour atténuer leurs difficultés.

## 1. Objectifs pédagogiques

Les objectifs de cet outil est que l'étudiant :

- ✚ acquière facilement les connaissances portant sur la notion de fossile ; la notion de gisement fossilifère ; le déroulement du phénomène de la fossilisation dans le *temps* et dans l'*espace* ;
- ✚ assimile l'évolution *spatio-temporel* des différentes étapes de la formation d'un gisement fossilifère ;
- ✚ devient capable de reconstituer l'évolution spatio-temporelle d'un paléo-environnement ;
- ✚ soit capable de juger objectivement son niveau de connaissances ; c'est à dire s'autoévaluer.

## 2. Population cible

Le public cible est composé, principalement, des étudiants de la filière STU des facultés des sciences, de niveau S4, S6 et Master. Cependant les modules 1 et 2 de notre dispositif, peuvent intéresser aussi, les étudiants de première année des facultés (semestres S1 et S2), option SVT (Sciences de la Vie et de la Terre).

# III. Étapes du processus d'élaboration du didacticiel

## 1. Phase d'analyse préalable

Une des premières motivations pour le choix du contenu de notre didacticiel réside dans la non disponibilité ou la non-adaptabilité des logiciels existants dans les ressources pédagogiques, pour les besoins de notre population. En effet, la production des ressources multimédia exige de tenir compte du système éducatif, du milieu socioculturelle et économique de la population cible. Dans notre cas, les logiciels existants (sur internet : Érasme ; BrainPoP-fossile ; le fossile d'ammonite ; etc.) et traitants les concepts de fossile et de la fossilisation se concentrent essentiellement sur la modélisation vulgarisée du phénomène de la fossilisation, sous forme de simulations, schématisant les principales phases de la fossilisation, sans

cependant, introduire d'une façon pertinente la notion d'évolution dans le temps et dans l'espace. Pourtant, ces facteurs constituent deux paramètres clés pour la compréhension des concepts de fossile et de la fossilisation.

## **2. Phase de conception**

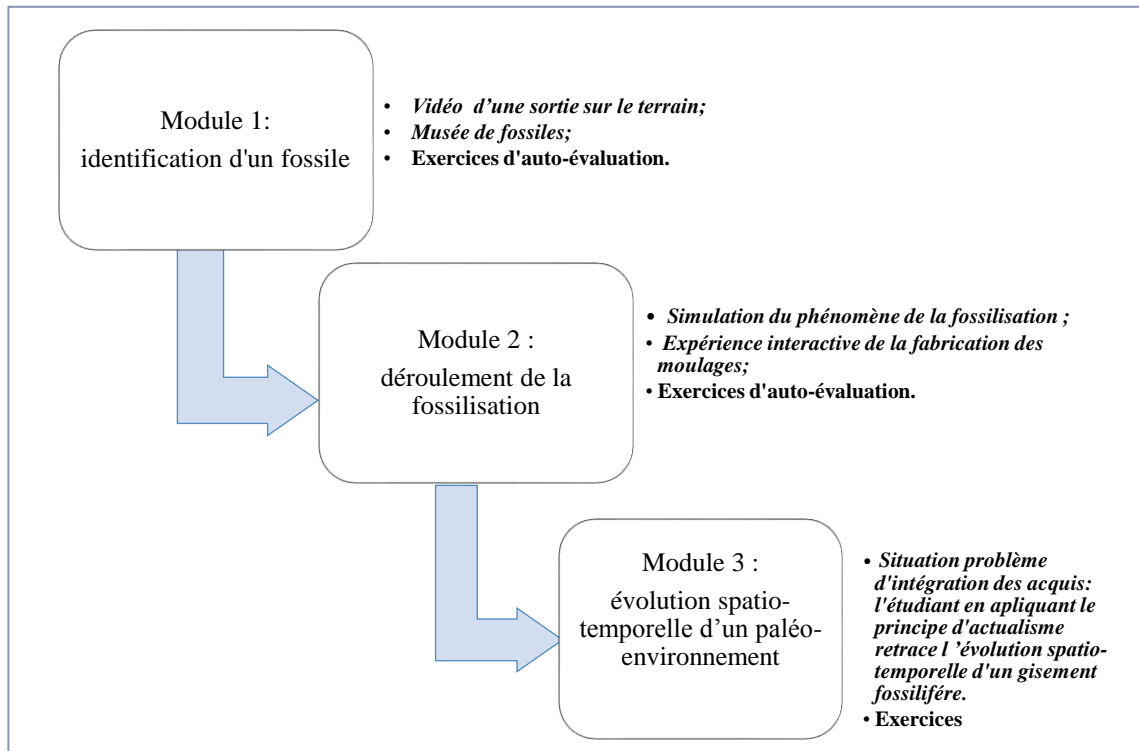
La phase de conception correspond à la structuration didactique du contenu du didacticiel et la scénarisation pédagogique des activités. C'est le travail de transformation du « savoir savant » en « savoir à enseigner ». Dans le cas de notre didacticiel "*Fossilis*", cette phase est effectuée avec la collaboration de professeurs spécialistes en la matière que nous remercions vivement.

Par ailleurs, dans l'éventail des approches d'enseignement et d'apprentissage citées dans la littérature, la question est quel est le modèle à privilégier ? Nous avons adopté l'approche constructiviste. Elle est issue des travaux du biologiste suisse Piaget (1977). Pour cet auteur, l'acte d'apprentissage n'est pas une démarche passive. L'apprenant doit être activement impliqué au problème qu'il doit résoudre pour en apprendre les mécanismes nécessaires à sa résolution. En ce qui nous concerne, le choix de cette approche est un de nos objectifs, il rendra l'étudiant capable de construire ses propres connaissances et de s'autoévaluer. Ceci à travers un ensemble d'activités, qui lui permettront de développer la capacité de mobiliser les facteurs temps et espace, afin d'être apte à résoudre la situation problème proposée : reconstitution de l'évolution spatio-temporelle d'un paléo-environnement.

### **2. 1 Architecture pédagogique du contenu**

Nous avons structuré le contenu de notre didacticiel, de la façon suivante (Figure 9) :

**Figure.9 : Schéma pédagogique du didacticiel « Fossilis ».**



**a. L'accueil**

Qui permet l'accès à l'application. Cet accès exige une authentification et un mot de passe pour l'utilisateur qui est de deux types (Figure.10) :

- l'administrateur est un enseignant ou tuteur gère (ajoute ou supprime) les comptes des étudiants pour leur donner le droit d'accès, après leur inscription sur une base de données ;
- l'étudiant doit renseigner le nom d'utilisateur et le mot de passe qui lui sont fournis par l'administrateur.

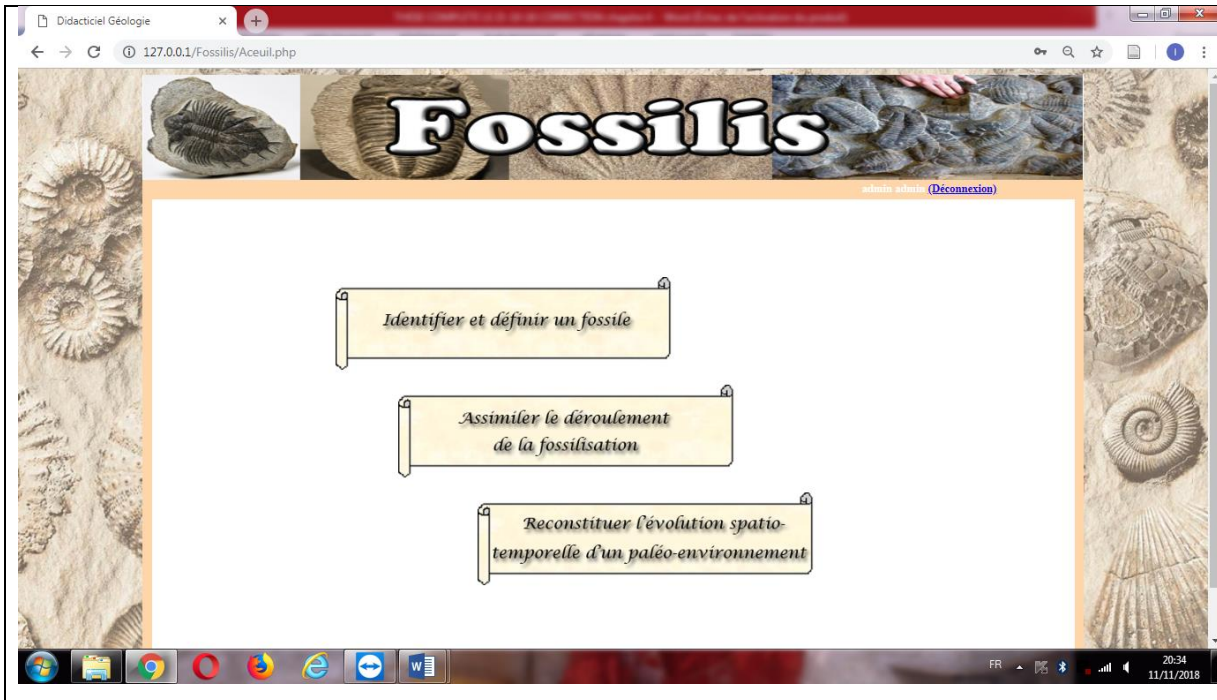
**Figure.10 : L'accueil du didacticiel.**



***b. L'écran-page 1***

Après connexion, sur l'écran-page1, les étudiants ont accès à trois modules d'apprentissage, sous forme d'icônes pour identifier et définir un fossile, assimiler le déroulement de la fossilisation puis reconstituer l'évolution spatio-temporelle d'un paléo-environnement (Figure.11). L'utilisateur ne peut pas choisir directement l'icône qui l'intéresse, il doit passer, par un simple clic, obligatoirement au premier module pour accéder ensuite au deuxième puis au troisième. Nous avons choisi cette stratégie pour garantir la progression d'intégration des acquis et pour éviter que l'étudiant se disperse dans les diverses activités proposées.

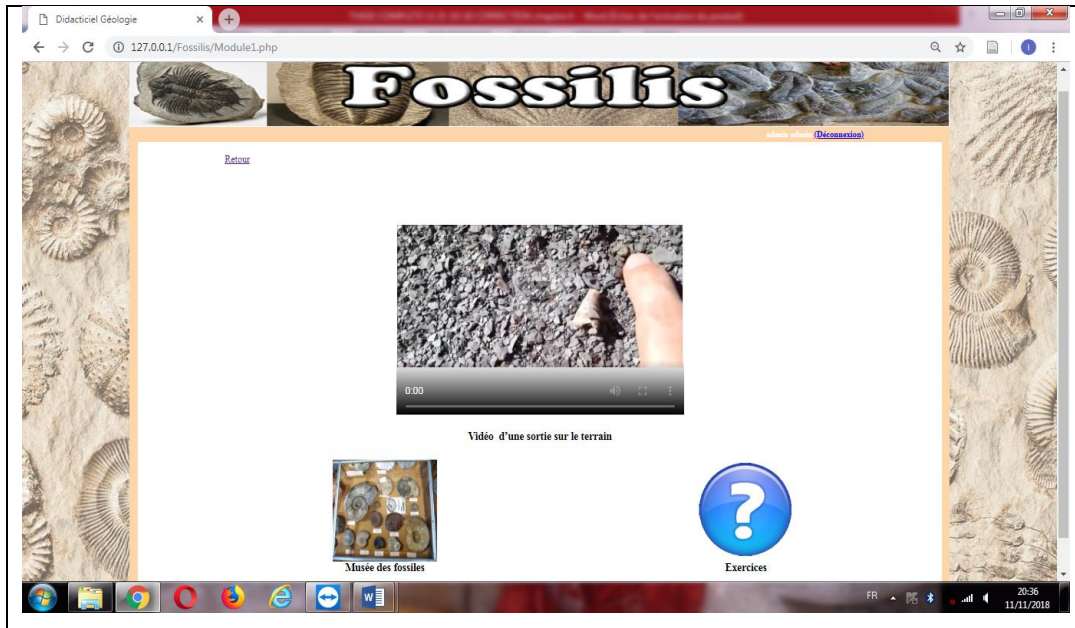
**Figure.11 : Ecran-page 1**



**c. Le module 1**

C'est la première séquence pédagogique où nous avons proposé à l'étudiant, une vidéo d'une sortie sur le terrain (Figure.12). Celle-ci lui montre l'expérience d'un paléontologue, pour l'identification des fossiles ainsi que leurs dispositions spatiales dans les strates et les méthodes d'extraction des échantillons de fossiles. La deuxième activité, correspond à un musée de fossiles, dans lequel, l'utilisateur confronte une collection diversifiée de fossiles. Cette séquence, s'achève par deux exercices interactifs. Dans le premier exercice, il est amené à choisir parmi une liste de propositions celles qui correspondent à des fossiles, en déterminant leurs caractéristiques (origine, mode de la fossilisation, intérêt). Dans le deuxième exercice, l'étudiant donne la définition d'un fossile (définition ouverte).

**Figure.12 : Activités du module 1**



**d. Le module 2 :**

Dans ce module, nous avons proposé à l'étudiant deux simulations permettant de mieux assimiler le déroulement de la fossilisation dans cette séquence pédagogique :

➤ **La simulation du moulage**

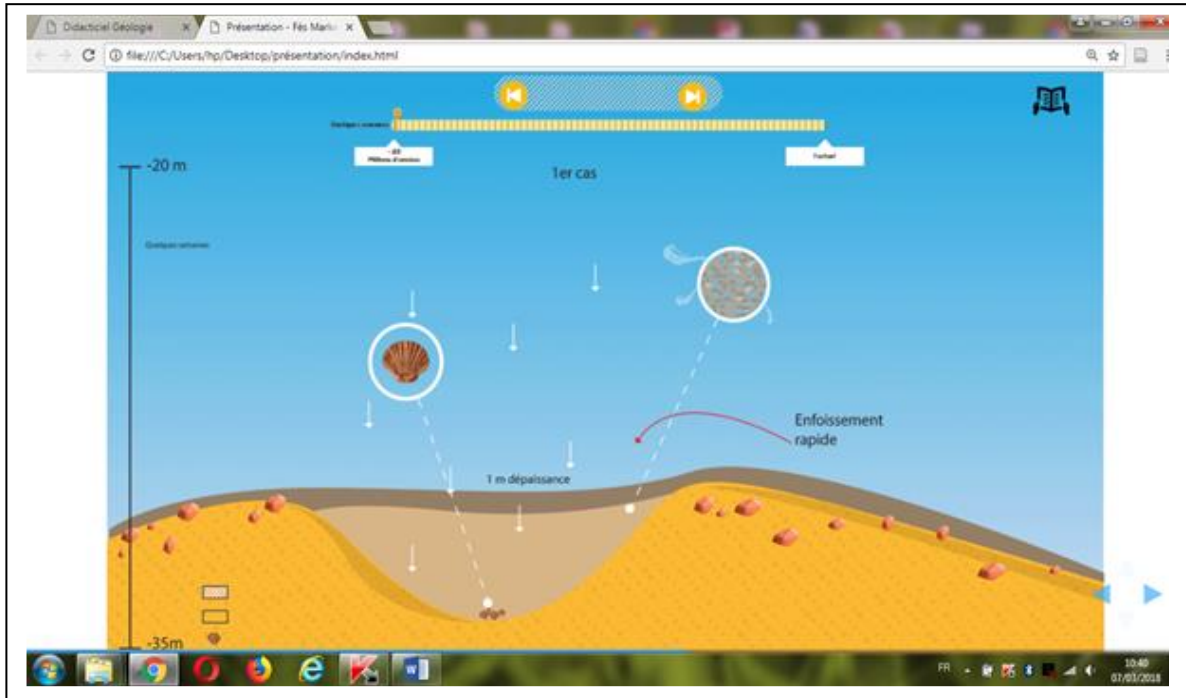
Dans cette première simulation, l'étudiant consulte, d'une façon animée, toutes les étapes de la fabrication des moulages internes et externes d'un fossile. Cette simulation constitue l'un des objectifs de notre projet. On la développera, par la suite, en une expérience interactive, où l'étudiant pourra réagir et fabriquer les moulages sur ordinateur.

➤ **La simulation du phénomène de la fossilisation**

Elle représente une animation retraçant l'évolution des différentes étapes de la fossilisation dans un cadre spatio-temporel. L'évolution dans le temps est schématisée par la représentation des durées des processus de la fossilisation sur l'échelle des temps géologiques (Figures.13, 14, 15, 16, 17). Pour l'espace, une échelle de références figure dans le cas de la variation de la bathymétrie ; l'épaisseur des sédiments accumulés et enfin le diamètre d'organisme fossilisé.

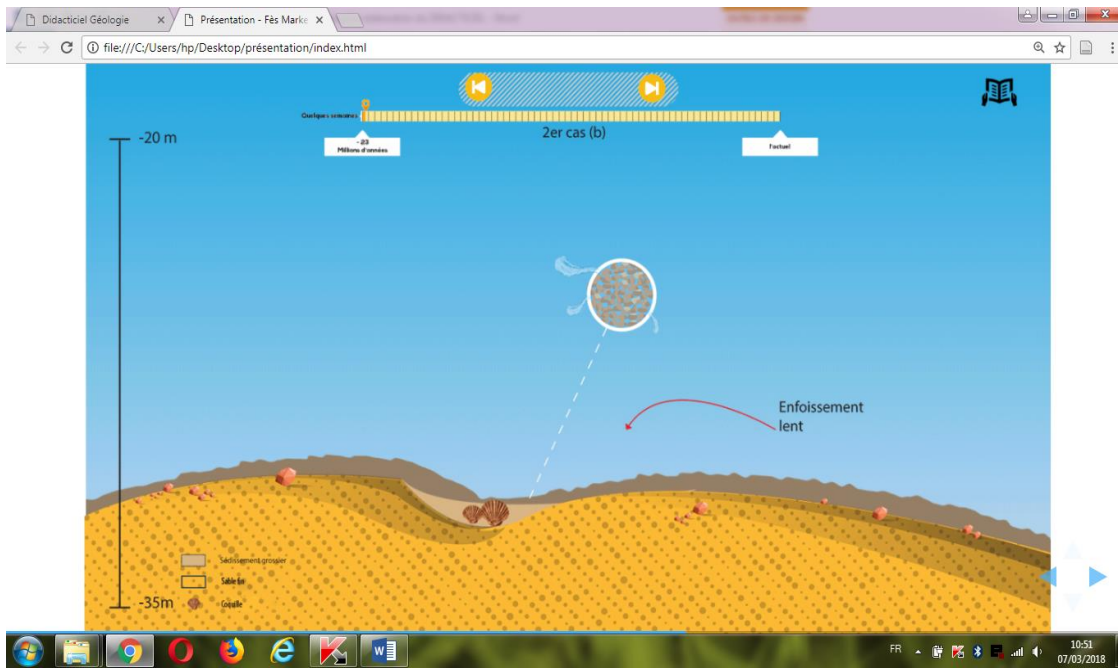
Il s'agit d'une simulation qui modélise le phénomène de la fossilisation dans son cadre de référence (contexte scientifique), loin de toute vulgarisation non scientifique. L'aboutissement au produit final nous a demandé un grand effort, et particulièrement en terme de documentation ; de scénarisation pédagogique et ensuite de programmation.

**Figure.13 : Exemple 1 d'une séquence d'animation des étapes de la fossilisation : l'enfouissement rapide**

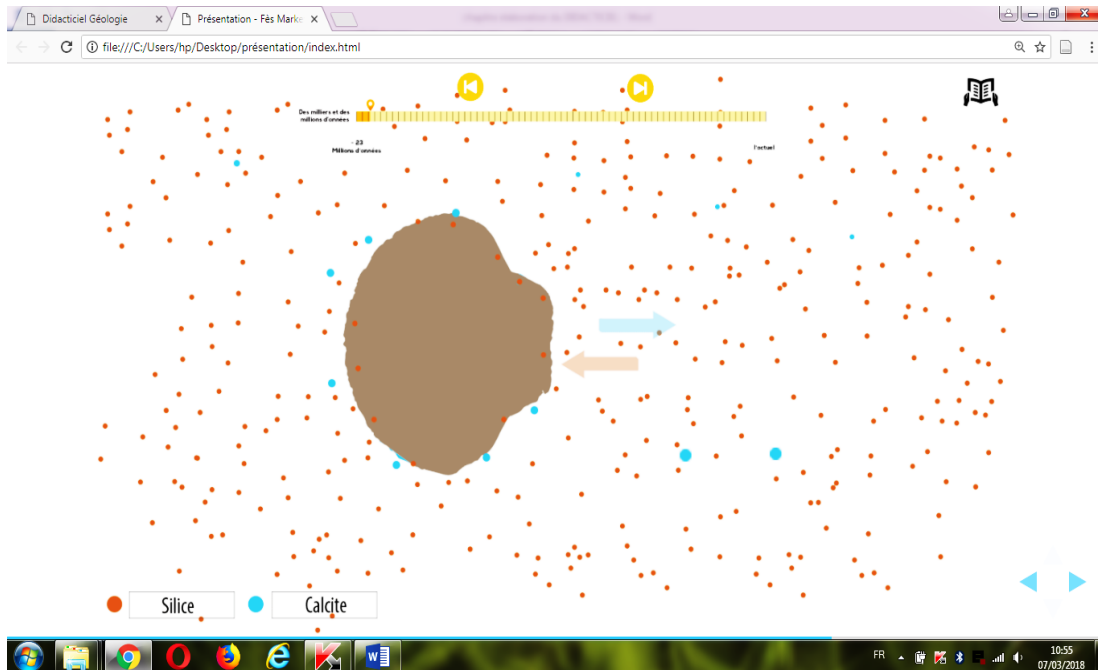




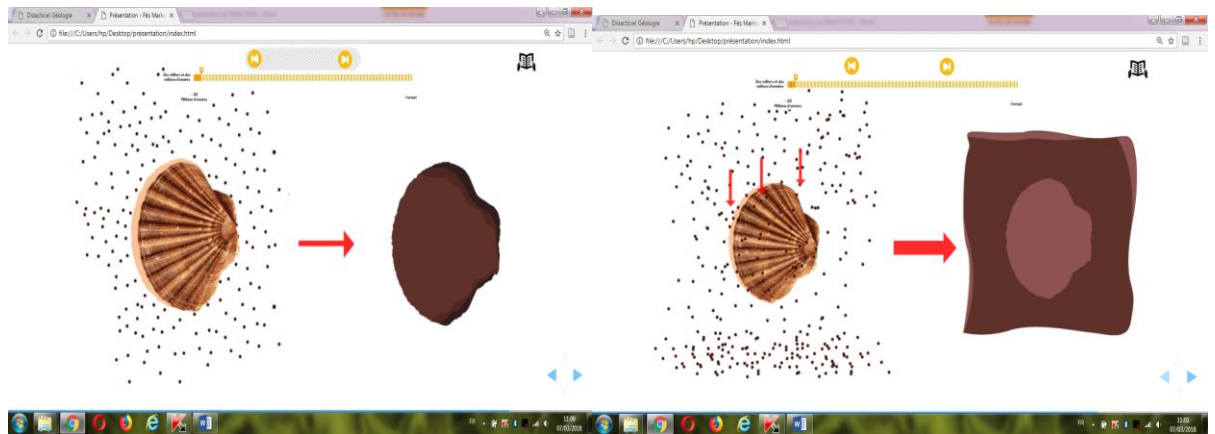
**Figure.14 : Exemple 2 d'une séquence d'animation des étapes de la fossilisation : l'enfouissement lent**



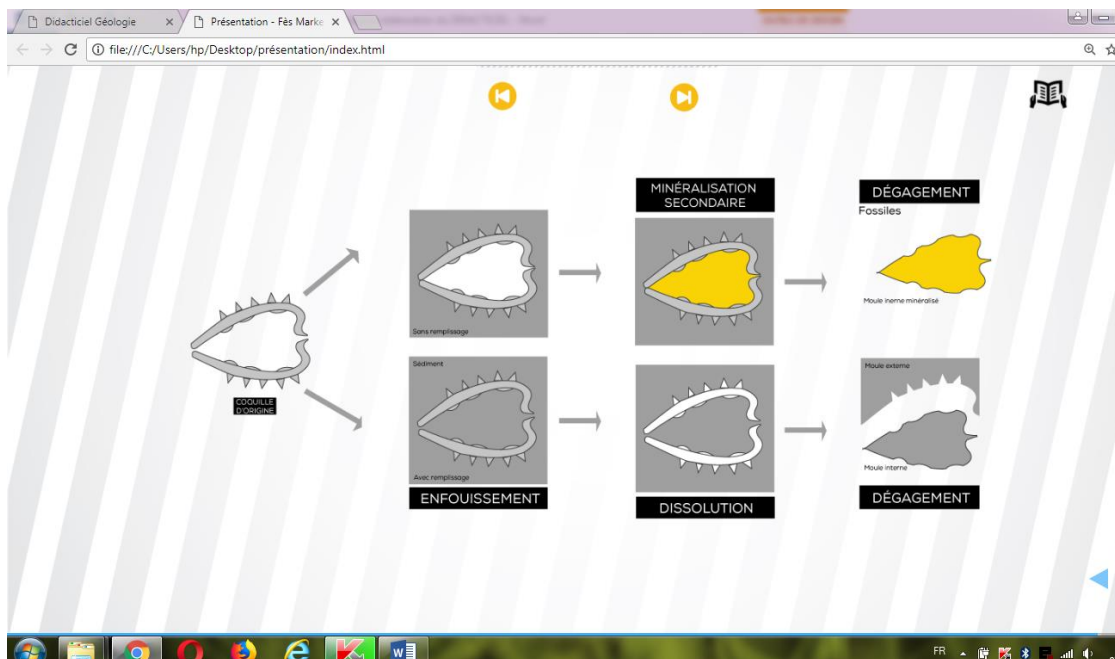
**Figure.15 : Exemple 3 d'une séquence d'animation des étapes de la fossilisation : l'épigénie**



**Figure.16 : Exemple 4 d'une séquence d'animation des étapes de la fossilisation : moulages interne et externe.**



**Figure.17 : Exemple 5 d'une séquence d'animation des étapes de la fossilisation : schéma récapitulatif des différents modes de la fossilisation.**



A la fin du module 2, l'étudiant évalue d'une façon autonome, ces acquis grâce à un exercice de questions fermées à choix multiples.

**e. Le module 3 :**

Cette séquence pédagogique correspond à une situation problème d'intégration des acquis. Elle comporte trois activités (Figure.18, 19, 20). À partir d'un énoncé, l'étudiant doit se baser sur le principe d'actualisme et des documents proposés (carte géologique ; log bio-

stratigraphique ; photos d'échantillons d'Ostréidés et autres (Figure.20) pour résoudre la problématique, qui est de reconstituer l'évolution spatio-temporelle d'un gisement fossilifère ; plus particulièrement, les gisements des Ostréidés de la région d'El Menzel (Sefrou).

**Figure.18 : Activité 1, module 3**

**Exercice**

En se basant sur les documents proposés déterminez le milieu de vie passé des fossiles (Paléo-environnement) cités dans le tableau suivant :

Fossile	Milieu et mode de vie ancien (Paléo-environnement)

**Figure.19 : Activité 2, module 3**

**Fig.4: Distribution paléogéographique de Crassostra gryphoide**

**Questions:**

En se basant successivement sur les figures 1, 2, 3 et 4 :

**Question 1:** Où se situent les gisements à Ostréidés ?

**Question 2:** Quels sont les faciès caractéristiques de la série de la colline de Tagrart?

**Figure.20 : Activité 3, module 3**

- une disarticulation moyenne;
- une fragmentation faible;
- une préservation faible;
- une faiblesse bio-érosion.

**Question 6 :** Selon la description donnée aux concentrations à Ostréidés déterminez les taphofacies correspondant à chaque concentration ?  
**Question 7 :** reconnaitre les variations des paramètres environnementaux: hydroclimat, taux de sédimentation, hydrodynamisme  
**Question 8 :** Retracer la variation du niveau marin.

	Les taphofacies	Les paramètres environnementaux	Variation du niveau marin	
			Une transgression	Une régression
[Stratigraphic column diagram]	[Orange box]	[Orange box]	[Diagram: + / -]	[Diagram: + / -]
[Stratigraphic column diagram]	[Orange box]	[Orange box]	[Diagram: + / -]	[Diagram: + / -]
[Stratigraphic column diagram]	[Orange box]	[Orange box]	[Diagram: + / -]	[Diagram: + / -]

Répondre

**Remarque :** nous n'avons pas pu achever toutes les activités conçues pour ce module, elles sont planifiées comme perspectives de ce projet.

Par ailleurs, pour chaque module, l'étudiant peut consulter des éléments de cours interactifs sous forme de textes, d'images ou de supports médias (vidéos et simulations). Il peut aussi évaluer ses connaissances, à la fin de chaque module, à l'aide des exercices interactifs qui sont de deux types :

- des questions à choix multiples (Figure.21 ; Figure.22) pour lesquelles les réponses de l'étudiant sont comparées à une base de données. La correction automatique est prévue ;
- des questions directes pour lesquelles l'étudiant propose sa réponse, la correction automatique est effectuée à la base de mots-clés stockés dans la base de données (Figure.22).

Figure.21 : Exemple des questions à choix multiples (exercice 2, module 1)

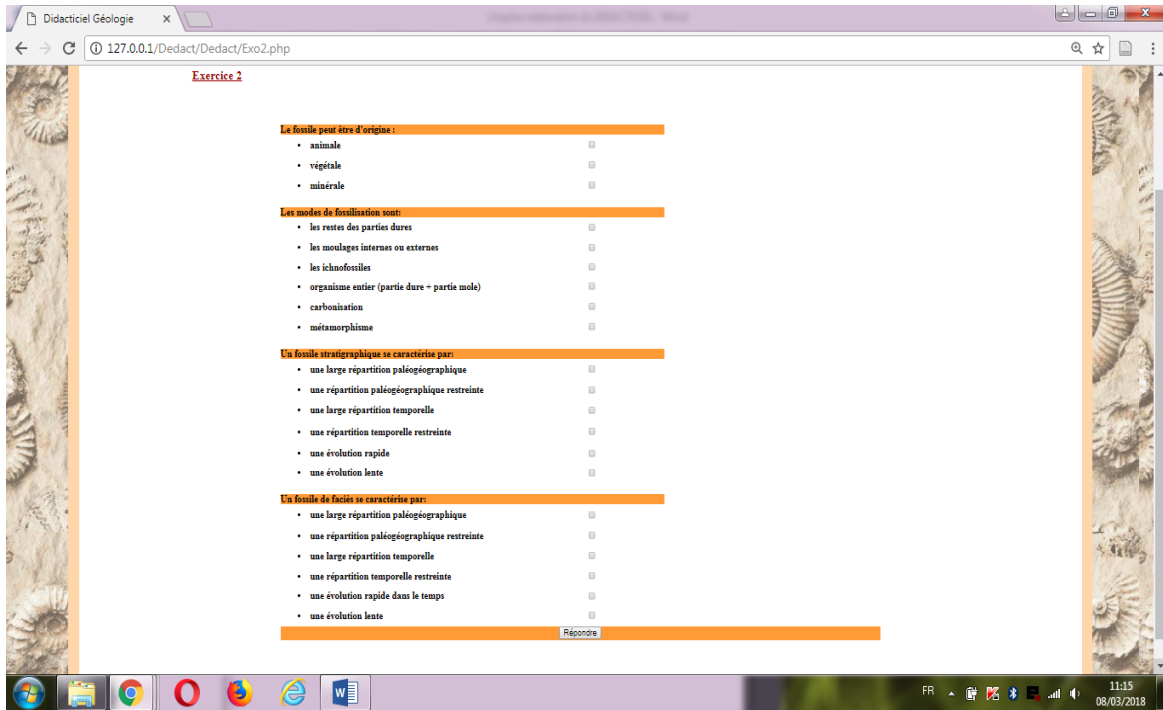


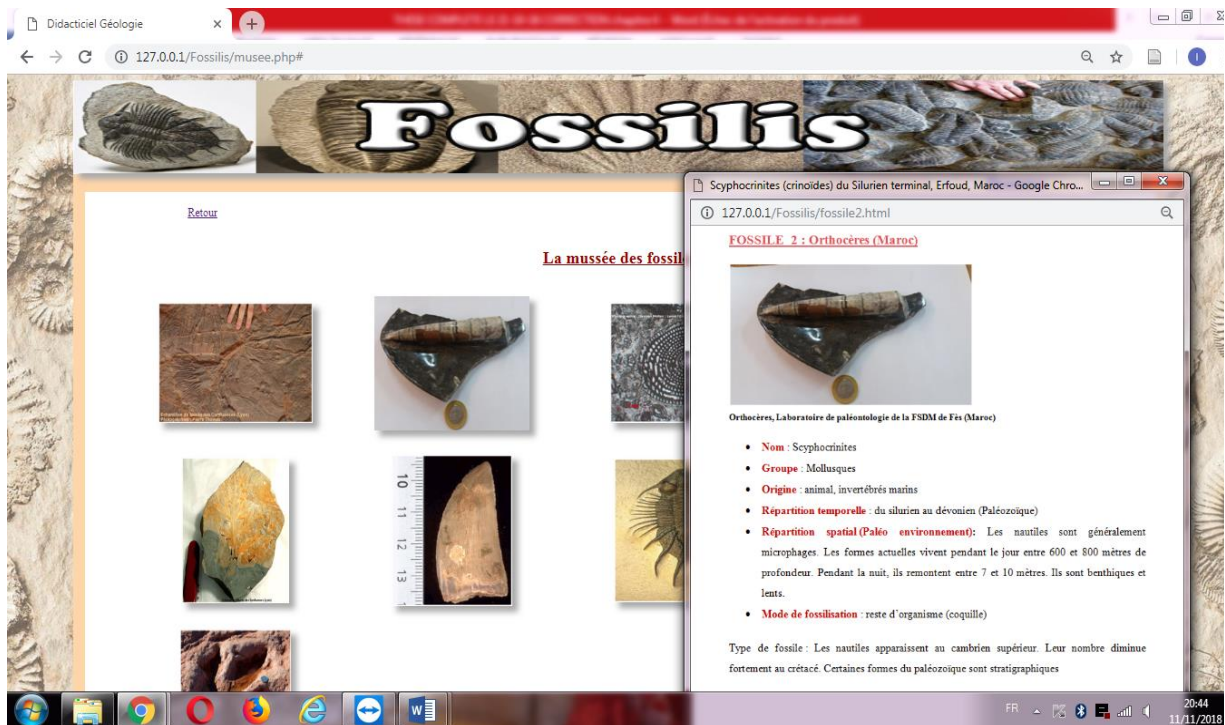
Figure.22 : Exemple des questions directes (exercice 1, module 1)



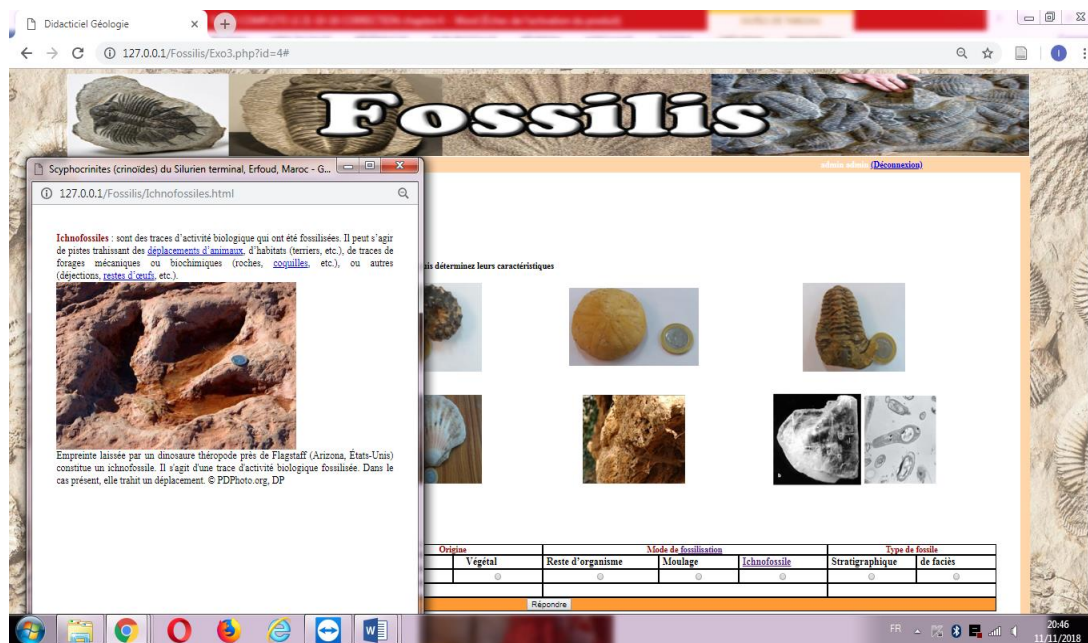


Enfin, notre didacticiel offre aux étudiants la possibilité d'accéder, via des liens hypertextes, à des fiches signalétiques de fossiles (Figure.23), tout au long du processus d'apprentissage. Ces fiches, englobent l'origine du fossile (animale ou végétale), sa classification systématique, sa répartition spatio-temporelle, son mode de la fossilisation (reste d'organisme, moulage, ichnofossile) et enfin son intérêt (fossile de faciès ou fossile stratigraphique). Aussi, nous avons mis, sous forme d'un lien hypertexte, un glossaire (Figure. 24) explicitant les mots plus ou moins difficiles de la discipline paléontologie.

**Figure.23 : Exemple du lien hypertexte, fiche signalétique de fossile (cas du Trilobite)**



**Figure.24 : Exemple du lien hypertexte, glossaire (cas du mot ichnofossile)**



### 3. Phase de réalisation

Après avoir défini nos objectifs, élaboré la structuration didactique du contenu scientifique et la scénarisation pédagogique des activités, nous avons procédé au logiciel PHP, comme outil de programmation pour transformer en langage informatique le scénario pédagogique préalablement construit. Le langage PHP (Personal Home Page) est un ensemble de logiciels auteurs conçu pour aider à la création d'application web qui peut être déployée sur un réseau intranet d'un établissement d'enseignement. C'est une technologie gratuite et open source, considérée comme le leader mondial pour la création des sites internet, dont un grand nombre de sites web célèbres, comme Facebook, Wikipédia, Yahoo, etc. Grâce à cette technologie, l'accessibilité à notre plateforme est très facile, elle n'exige aucune installation spécifique sur l'ordinateur, il suffit d'avoir un navigateur web (Internet explorer, Google Chrome, etc.). Elle est compatible à tous les systèmes d'exploitation tels que : Windows, Linux et Mac OS, aussi elle peut être utilisée sur des terminaux mobiles (Tablette, iPad, Smartphone, etc.). Ce système de logiciels auteurs nous a, en effet, donné accès à quatre caractéristiques essentielles :

- l'interactivité, où l'étudiant peut toujours accéder à des liens hypertextuels et hypermédias (images, vidéos, simulations) ;
- la diversité des canaux d'apprentissage, où l'étudiant a la possibilité d'acquérir des connaissances, selon ses besoins, via différents canaux : textes, images, vidéos et simulations ;
- la possibilité d'une auto-évaluation, l'étudiant peut toujours accéder à ses réponses grâce à une fiche de réponses renouvelable, sous format PDF, élaborée par le logiciel, afin de les analyser tout au long du processus d'apprentissage et d'avoir un feedback pour les rectifier d'une façon autonome ;
- le système administrateur qui permet à l'enseignant de suivre le parcours de l'apprenant.

## **Conclusion**

Ce chapitre décrit, les principales étapes que nous avons effectivement développées (conception, scénarisation et réalisation) du didacticiel, "*Fossilis*", destiné aux étudiants de la filière STU. Cet outil constituera un soutien pédagogique, pour mieux comprendre le concept fossile et le déroulement du processus de la fossilisation dans un cadre spatio-temporelle. L'élaboration d'un tel dispositif d'enseignement-apprentissage a été faite à la suite d'une demande des apprenants sur des questionnaires qui est une analyse préalable (Chapitre 5).

Notre outil d'investigation, déployé sur les étudiants de la filière STU de la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz de Fés , Maroc, nous a permis de relever les difficultés qu'éprouvent ces derniers lors de l'apprentissage de concepts géologiques; en particulier, la mobilisation des facteurs temps et espace. Ces difficultés se traduisent par leur incapacité d'expliquer le déroulement du phénomène de la fossilisation dans un cadre spatio-temporel, ainsi que pour assimiler l'échelle du temps géologique. Aussi, ces apprenants ont montré des difficultés que nous avons qualifiées de type pédagogique comme le manque de sortie sur le terrain, l'absence ou l'insuffisance de séances de travaux pratiques ou des méthodes d'enseignement qui ne sont pas toujours adaptées. Pour pallier à ces difficultés, nos étudiants ont suggéré l'intégration des TIC comme un moyen pédagogique alternatif, pour les aider à comprendre les concepts de géologie ; d'où s'est émergée l'idée du développement de notre didacticiel.



Les facteurs temps et espace constituent deux paramètres clés pour la compréhension des concepts géologiques. De ce fait, notre didacticiel se centre essentiellement sur l'introduction, chez les étudiants, de la notion d'évolution dans le temps et dans l'espace, en l'occurrence, le cas des concepts de fossile, de gisement fossilifère et de la fossilisation. Ceci, à travers l'assimilation et par la suite l'application du principe d'actualisme. Pour atteindre cet objectif primordial, on a conçu un contenu pédagogique basé sur divers types de ressources scientifiques et de canaux d'apprentissage tels des éléments de cours interactifs sous forme de textes, d'images ou de supports médias. Enfin, ce dispositif innovant offre aux étudiants la possibilité d'une auto-évaluation. Ils peuvent, pour cela accéder à leurs réponses grâce à une fiche renouvelable, sous format PDF.

En guise de perspectives, le travail que nous avons reporté dans ce chapitre constitue une partie de notre projet. Nous nous sommes fixés, dans un premier temps, sur la conception et la réalisation du didacticiel pour envisager, par la suite une approche d'évaluation. Cette dernière partie rendra le didacticiel plus performant, afin de mieux répondre aux besoins des étudiants. Il serait aussi intéressant de développer d'autres didacticiels pour l'enseignement de la géologie pour rendre cette discipline plus attirante pour les jeunes étudiants.

## **Discussion et conclusion générale**

Notre recherche s'inscrit dans la perspective de contribution à l'amélioration de l'acte d'enseignement-apprentissage des Sciences de la Terre.

Notre revus de littérature à révéler que la géologie suscite des réticences chez les apprenants de différents niveaux (lycéens ; étudiants), au lycée et à l'université pour divers raisons. Aussi, les cours de cette discipline, ne sont pas toujours bien perçus par ces apprenants, à cause de divers types de difficultés ; particulièrement, celles faisant intervenir les paramètres d'espace et de temps. Face à cette situation, nous avons entamé ce travail afin d'identifier les difficultés, relatifs à l'assimilation par les apprenants et les futurs enseignants, pour les paramètres de temps et d'espace en géologie, à travers l'étude du concept de fossile et ses dérivés.

La méthodologie que nous avons adoptée est basée sur la technique de groupe nominal, des entretiens et des enquêtes afin d'élaborer des questionnaires à traiter par la suite. Cette investigation est menée auprès de trois types d'échantillons : lycéens, étudiants de la filière STU et enseignants stagiaires du Centre Régional des Métiers d'Études et de Formation

Les résultats obtenus nous ont permis de déceler quelques obstacles et difficultés rencontrés par nos participants, lors de l'apprentissage du concept de fossile et ses dérivés pour mobiliser les facteurs temps et espace.

La TGN a montré que les lycéens et les étudiants de la filière STU, trouvent que l'étude en géologie est ardue, à cause particulièrement des difficultés pour l'identification des fossiles et le déroulement des processus mis en jeu lors de leurs formations. Ils justifient cela, d'une part, par la discipline elle-même jugée quelques fois incompréhensible et complexe et d'autre part, par le manque voire même l'absence de certaines activités pédagogiques, en particulier les sorties sur le terrain et les travaux pratiques.

Les entretiens menés auprès de futurs enseignants du CRMEF, ont montré que 22 futurs enseignants parmi 30, ayant participé à cette enquête, sont des licenciés en biologie. Ces enquêtés ont souligné qu'ils ont des difficultés dans l'assimilation des concepts géologiques. Ils déclarent leurs méconnaissances totales des mécanismes liés à la formation des gisements

fossilifères, alors qu'ils ont dû étudier ces notions à l'université. Ces difficultés et justificatifs nous ont guidés dans l'élaboration des questionnaires soumis par la suite.

Les résultats montrent nettement que les difficultés ressentis, vis-à-vis de l'assimilation des concepts géologiques, ciblés, se manifestent, sous différents aspects de mobilisation des facteurs temps et espace. L'obstacle d'oubli ou bien de méconnaissance de savoir déjà dispensé surgit, couramment, dans les réponses et les explications des participants.

## **1. Obstacles à l'identification du fossile**

### **1.1 "Origine du fossile"**

La décelation de l'origine du fossile est le premier obstacle pour son identification. Nos résultats montrent nettement qu'un grand nombre de réponses des élèves, des étudiants de la filière STU ou encore des futurs enseignants, met en relief presque, les mêmes types d'obstacles vis-à-vis de l'identification d'un "fossile". En effet, ils identifient les fossiles grâce à leurs origines (animale/végétale), avec une survalorisation de l'origine animale et aussi, l'obstacle d'artificialisme, qui a surgie, aussi chez des lycéens. Ces derniers déclarent que les fossiles sont sculptés par l'Homme.

### **1.2 Conception du "temps" et d'"espace"**

Les réponses traitées ont permis, davantage, l'émergence des difficultés de mobilisation des facteurs temps et espace, comme obstacles majeurs à l'assimilation du concept fossile. Généralement, les facteurs "temps" et "espace" sont, rarement, mobilisés simultanément, sauf dans les réponses relatives aux intérêts des fossiles (en terme de fossiles de faciès et / ou fossiles stratigraphiques), où figurent une bonne partie de répondants qui insiste sur leurs intérêts spatio-temporels. En outre, la minorité des réponses faisant intervenir ces deux facteurs, survalorise le facteur temps au préjudice du facteur espace. Le temps est interpellé dans les prescriptions des répondants selon diverses facettes en termes d'ancienneté des fossiles sans cependant, préciser l'échelle temporelle ; en citant les fossiles en tant qu'outils de datation relative seulement.

La sous-estimation du facteur espace est très significative, pour toutes les catégories des enquêtés. Très rares sont les réponses faisant intervenir ce facteur et ne rappellent que la localisation spatiale des fossiles ou la possibilité de leur transport.

### **1.3 L'analogie**

Une partie importante des répondants reste clouée au prototype de fossile qu'elle a déjà étudié. De ce fait, elle pense que tous les fossiles ont des tailles appartenant à une marge de dimensions analogue à celle de l'exemple qu'elle a déjà rencontré.

## **2. Obstacles à l'assimilation du déroulement du phénomène de la fossilisation**

La fossilisation est un phénomène complexe, non reproductible et contingent.

### **2.1 La conception du "temps"**

Fréquemment, les explications données au phénomène de la fossilisation sont ambiguës ou incomplètes et se répartissent entre celles qui ne font allusion ni au facteur temps ni au facteur espace. Il s'agit, des descriptions vagues et parfois non scientifiques. Particulièrement les lycéens pensent que la fossilisation est semblable à certains phénomènes géologiques tels la sédimentation, l'érosion, l'enfouissement ou la conservation des parties dures. D'autres n'évoquent aucun processus de la fossilisation, ou son déroulement dans le temps. En outre, ils peuvent expliquer la fossilisation par une simple relation d'intérêt, qui rend l'existence des fossiles nécessaires, sans aucune explication scientifique.

Cependant les explications introduisant le facteur temps d'une manière indirecte ou imprécise, sont de trois types : celles signalant la succession temporelle de quelques étapes de la fossilisation sans préciser l'échelle de temps ; celles ignorant totalement ces étapes mais mobilisant *l'échelle Humaine* ou *l'échelle du temps géologique* et finalement, celles considérant le temps comme la seule variable à l'origine des fossiles. Ces conceptions couvrent des difficultés qu'ont nos enquêtés à estimer les intervalles du temps nécessaires pour le déroulement de la fossilisation. Soit ils convergent totalement vers des intervalles à *l'échelle Humaine*, soit vers des intervalles à *l'échelle du temps géologique*. Toutefois, la durée

d'évolution de ce phénomène est indéterminée et ouverte à toutes les possibilités, selon les circonstances régnantes dans le paléo-environnement.

## **2. 2 La conception d'"espace"**

Les réponses liées au déroulement de la fossilisation se caractérisent souvent par une sous-estimation du paramètre espace par rapport à celui du temps.

À signaler que les étudiants du cycle licence de la filière STU, subissent un programme de formation qui vise, à partir de différentes situations d'enseignement-apprentissage, le développement des capacités de la vision dans l'espace. Cependant, la majorité de ces étudiants, ainsi que les lycéens et les futurs enseignants éprouvent une hésitation à l'immensité de l'espace géologique, notamment le non aperçu (couches géologiques du sous-sol, comme exemple). Ils ont aussi, des difficultés à mener une extrapolation dans le sous-sol. Par conséquent, estimer les grandeurs spatiales en profondeur du déroulement des processus de la fossilisation, à l'échelle des couches ; des séries sédimentaires..., s'avère n'est pas clairs. De plus, ils montrent souvent, des difficultés à corréliser entre les différentes échelles d'espace (observables/non-observables ; microscopiques/macrosopiques). Il paraît donc clairement que ces enquêtés se limitent dans leurs conceptions à l'échelle de la roche indurée, à l'état actuel, renfermant le fossile. À cause de toutes ces remarques sur la mobilisation de l'espace (et du temps), nos enquêtés semblent être inaptes d'appliquer le principe d'actualisme.

## **2. 3 L'actualisme (conception du "temps" et d'"espace "simultanément)**

En ce qui concerne, la description de la reconstitution du déroulement spatio-temporelle des processus de la fossilisation, les répondants retracent des modèles qui ne rapprochent pas le modèle de référence de la fossilisation. Les modèles adoptés par nos enquêtés montrent qu'ils conçoivent l'évolution dans le temps (sous forme cyclique ou linéaire) séparément à l'évolution dans l'espace (échelle des strates indurées). Pourtant, ces deux paramètres sont inséparables pour tout phénomène géologique. Le modèle de référence reconstitue l'évolution des processus de la fossilisation et de la sédimentation simultanément, selon une évolution bidimensionnel (dans l'espace et dans le temps), à l'échelle du bassin sédimentaire et selon des conditions exceptionnels, rarement répétitives dans le temps.

Ces sujets n'arrivent donc pas à retourner en arrière dans la flèche du temps, pour imaginer le déroulement des processus de la fossilisation pendant la sédimentation de la roche hôte et à l'échelle du bassin sédimentaire (paléo-environnement), c'est l'obstacle d'abstraction du principe d'actualisme. Cet obstacle les achemine vers la résistance à la contemporanéité fossilisation/sédimentation. Ainsi, ils retracent ces processus indépendamment. Ils imaginent que l'histoire évolutive de la roche encaissante est indépendante de l'histoire évolutive de la fossilisation, pourtant ces deux phénomènes sont contemporains.

Enfin, les descriptions du déroulement du phénomène de la fossilisation, données ont confirmé notre hypothèse de recherche : les difficultés de conception du temps et d'espace constituent les principaux obstacles à la compréhension et à la description de la reconstitution de la fossilisation. En effet, ils sont incapables de concevoir ces processus, qui nécessitent un temps long par rapport à l'échelle Humaine, non constatés à l'œil nu, difficilement expérimentés et se déroulent dans des sites paléogéographiques différents.

## **2. 4 La contingence**

Selon les transcriptions des enquêtés, l'obstacle de contingence a été déduit à travers deux sortes de difficultés. D'une part, celle de la compréhension des interactions organismes/encaissants (tout type de réaction physico-chimique, biologique...), tel l'exemple d'épigénisation, qui constitue un mode de la fossilisation résultant des réactions d'échange des éléments chimiques entre les restes d'un organisme mort et son encaissant (les sédiments). La majorité des répondants n'a pas réussi à expliquer ce mode de la fossilisation. En effet, malgré leurs formations, rares sont ceux qui ont interpellé l'effet du type des sédiments (grossiers, fins...), ou d'autres variantes du paléo environnement (bathymétrie, température, acidité, oxydation...), sur la fossilisation d'un organisme, et d'autre part, d'admettre l'effet du hasard. La plupart de ces sujets, pense que la conservation de tout organisme, se déroule selon un scénario bien déterminé, alors que ce processus est éventuel, et peut se produire selon plusieurs scénarios probables. Ils imaginent qu'un organisme peut se conserver dans son milieu de vie, comme si par exemple, un cadavre transporté n'aura jamais la chance de se préserver, alors que la fossilisation ne s'accorde pas à un milieu mais à des circonstances spéciales ; c'est la contingence.

## **2.5 La "langue"**

Les explications des interrogés qui défavorisent le milieu terrestre à la fossilisation proviennent de la dominance de l'érosion et/ ou de l'oxydation. Ces derniers agents sont désignés comme facteurs destructifs à tout moment. L'apparition d'un tel type d'évocations, en absence d'autres arguments scientifiques, ne peut exprimer vraisemblablement qu'un esprit de négativité d'origine linguistique. Il s'agit alors d'un obstacle linguistique similaire de celui cité par Boughanmi (2010) ; pour ces apprenants toute dégradation vraisemblable ou destruction est négatif.

Entravé par divers types d'obstacles, le point commun entre les trois groupes d'enquêtés est l'incapacité à décrire la reconstitution de ce phénomène de la fossilisation dans son cadre spatio-temporel, ainsi que d'admettre la contemporanéité entre le fossile et son encaissant.

## **3. Obstacles à l'assimilation des processus de la formation d'un gisement fossilifère**

Cette partie du questionnaire a été soumise, uniquement, aux étudiants de la filière STU et aux enseignants stagiaires.

### **3.1 L'actualisme (obstacle de conception du "temps" et d'"espace ")**

La reconstitution de l'histoire évolutive d'un gisement fossilifère s'articule sur la capacité d'application du principe d'actualisme. Les étudiants connaissent bien les effets des facteurs écologiques sur les constituants du gisement fossilifère (les transformations post-mortem). Néanmoins, ils interprètent ces indices d'espace en indépendance du temps. Ceci montre qu'ils éprouvent un faible niveau de connaissances des critères d'analyse des taphofaciés. Ils survalorisent la répartition temporelle des fossiles au détriment des autres critères, notamment, ceux qualifiés comme indicateurs spatiales (indices des fluctuations des conditions d'environnement de dépôts).

### **3.2 La conception d'"espace "**

La conception "espace" se montre problématique chez les étudiants. D'une part la majorité d'entre eux révèle un faible niveau de connaissances des principales conditions



environnementales (paramètres d'espace) qui peuvent gérer la genèse des concentrations fossilifères (bathymétrie ; taux de sédimentation ; nature lithologique des sédiments...). D'autre part, les deux tiers de ces étudiants, éprouvent des difficultés à imaginer cette disposition dans l'espace (plane ; bi ou tridimensionnel).

Les étudiants de la filière STU ont montré clairement à travers leurs réponses sur le concept du gisement fossilifère, qu'ils sont inaptes à reconstituer son histoire évolutive, dans le temps et dans l'espace. Cette incapacité est accordée, essentiellement, aux obstacles de mobilisation du temps et d'espace.

À partir de leurs réponses, éprouvent qu'une majorité des futurs enseignants ne possède aucune idée ni sur le concept de gisement fossilifère ni sur sa disposition spatial. Même les rares répondants montrent des difficultés dans la capacité de vision dans l'espace. Comment peuvent-ils alors enseigner un concept qu'ils ne savent pas à leurs apprenants ?

Nous signalons que seulement, 8 enseignants parmi 30 qui ont répondu, uniquement, aux questions liées aux modifications post-mortem qui modifient les caractéristiques spatio-temporelles d'un gisement fossilifère et sa disposition dans l'espace.

#### **4. Élaboration du didacticiel "*Fossilis*"**

Le développement du didacticiel, "*Fossilis*" est une contribution pour l'amélioration d'enseignement de la géologie. Il est destiné aux étudiants de la filière STU. Cet outil constituera un soutien pédagogique, pour mieux comprendre les concepts de fossile et le déroulement du processus de la fossilisation dans un cadre spatio-temporelle. Ce didacticiel interactif se centre essentiellement sur l'introduction, de la notion d'évolution dans le temps et dans l'espace, pour le cas des concepts de fossile et de la fossilisation, à travers l'assimilation et par la suite l'application du principe d'actualisme. Pour atteindre cet objectif primordial, on a conçu un contenu pédagogique basé sur divers types de ressources scientifiques et de canaux d'apprentissage tels des éléments de cours interactifs sous forme de textes, des simulations, des images ou des supports médias. Enfin, ce dispositif innovant offre aux étudiants la possibilité d'une auto-évaluation.

## 5. Obstacles et suggestions

Dans la partie obstacles et suggestions, la majorité de nos enquêtés (lycéens ; étudiants de la filière STU et enseignants stagiaires), a déclaré que la conception du temps et d'espace constitue un obstacle à leur appréhension des concepts géologiques ciblés dans cette investigation. De même, ces apprenants sont conscients de leurs lacunes de formation et les considèrent comme obstacles pédagogiques de cette discipline en générale. Ceci est dû à la rareté ou quelques fois le manque de sorties sur le terrain, l'absence ou l'insuffisance de séances de travaux pratiques, des méthodes d'enseignement à actualiser,...

Nous avons constaté que le volume horaire alloué à la géologie est inadapté aux chapitres dispensés. Cette contrainte oblige, dans la plupart du temps, les enseignants à annuler les sorties géologiques ainsi que certaines séances de travaux pratiques, pourtant essentiels pour l'assimilation et la compréhension de la géologie.

Les futurs enseignants souhaitent, une formation spéciale dans les CRMEF, en géologie et biologie. Comme, la majorité d'entre eux (dans notre cas 22 parmi 30) est biologiste déclare avoir des difficultés à assimiler les phénomènes géologiques.

Enfin, l'analyse des difficultés et des suggestions de tous nos enquêtés (lycéens ; étudiants de la filière STU et enseignants stagiaires) a révélé, un profond besoin à l'intégration des TICE, dans l'enseignement de la géologie. Ce besoin était l'une de nos motivations pour concevoir et développer un dispositif innovant, permettant surtout, d'aider à l'assimilation du phénomène de la fossilisation.

Notre recherche s'est intéressée aux obstacles de conception du temps et d'espace dans le cas des concepts : fossile, fossilisation et gisement fossilifère. Ce travail, de recherche scientifique mérite d'être poursuivi pour d'autres concepts géologiques.

Le dispositif innové (didacticiel "*Fossilis*") n'est qu'une partie de notre projet. Nous nous sommes fixés, dans un premier temps, sur sa conception et sa réalisation pour envisager, par la suite des approches d'amélioration et d'évaluation. Ces dernières parties rendront le didacticiel encore plus performant, afin de répondre aux besoins des étudiants. Notre didacticiel constitue donc une contribution de soutien pour l'amélioration de l'enseignement de la géologie à

l'université marocaine. Il nous semble intéressant d'élargir ce type d'outil pédagogique pour modéliser d'autres phénomènes géologiques.

Finalement, l'enseignant est un constituant basique du triangle pédagogique, toutefois les études se focalisant sur cet acteur sont insuffisantes. Notre étude nous permet de dire que la formation des enseignants montre une certaine défaillance. Un projet de recherche sur cette problématique serait d'importance primordiale pour l'enseignement de la géologie.

# Bibliographie

## A

- Adnet, S., Senut, B., Tortosa, T., Amiot, R., Claude, J., Clausen, S., et Muller, S. (2013). *Principes de paléontologie* : Dunod.
- Ahaji, K., El Hajjami, A., Ajana, L., El Mokri, A., et Chikhaoui, A. (2008). Analyse de l'effet d'intégration d'un logiciel d'optique géométrique sur l'apprentissage d'élèves de niveau baccalauréat sciences expérimentales. *EpiNet : revue électronique de l'EPI*, 101.
- Alain .R. (1992), *Dictionnaire historique de la langue française*. Paris, France :Le Robert.
- Allain, J.C. (1995). Un dispositif didactique utilisant des images pour faire évoluer les conceptions des élèves de dix ans sur les séismes. *Aster* , 21, 109-134
- Allègre, C. (1983). *L'écume de la terre*. Paris : Fayard.
- Attwell Graham (2010). « The Future Learning Environments ». In *IATEL 2009. Interdisciplinary approaches to technology-enhanced learning Conference*, Darmstadt.
- Aster, N° 22. (1996). Enseigner les sciences de la terre en tenant compte des représentations, *INRP*, 29, rue d'Ulm, 75230 Paris Cedex 05.
- Aster N° 22. (1996). Images et activités scientifiques, *INRP*, 29, rue d'Ulm, 75230 Paris Cedex 05.
- Aster N° 21 (1995). Enseignement de la géologie, *INRP*. 29, rue d'Ulm, 75230 Paris Cedex 05
- Astolfi, M., et Elbaz, J. (1977). *COVAL : a computer code for random variables combination and reliability evaluation : how to use* (No. EUR-5804). Euratom.
- Astolfi, J.-P. et Peterfalvi, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Recherches en didactique des sciences expérimentales, Aster*, 16, 103-141. DOI : 10.4267/2042/8578
- Astolfi, J.-P. et Peterfalvi, B. (1997). Stratégies de travail des obstacles : dispositifs et ressorts. *Aster*, 25, 193-216. DOI : [10.4267/2042/8685](https://doi.org/10.4267/2042/8685)

## B

- Babin, C. (1966). Les mollusques bivalves en tant qu'indicateurs écologiques. Application au Paléozoïque armoricain. *Proceedings of the 91ème Congrès des sociétés savantes*, 2, 327-331.
- Bachelard G. (1967). *La formation de l'esprit scientifique* (p. 14). Paris : Vrin.
- Bachelet, B. (1996). *Sur quelques figures du temps*. Paris : Vrin.
- Bardin, L. (1989) - *L'analyse de contenu*. Paris : Presses universitaires de France.
- Baron, G.-L et Bruillard, E. (2006). Usages en milieu scolaire : caractérisation, observation et évaluation. In Grandbastien, M., Labat, J.-M., (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain* (p. 269-284). Paris : Lavoisier.
- Basque, J. (2005). Une réflexion sur les fonctions attribuées aux TIC en enseignement universitaire. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire*, 2(1), 30-41.

- Benfaress, S., Zaki, M., et Alami, A. (2016). Analyse Multidimensionnelle Des Facteurs D'intégration Des Tice : Etude De Cas À Travers Le Programme Genie Marocain. *European Scientific Journal, ESJ*, 12(19), 164.
- Benjelloun, N., Alami, M. et Rebmann, G. (2003). Expérimentation d'un atelier java d'optique géométrique (AJOG) en situation de résolution de problème. *Le BUP*, 859(1), 1613-1621.
- Berdouzi, M. (2000) - *Rénover l'enseignement. De la charte aux actes*. Rabat : Renouveau.
- Berelson, B. (1952). *Content analysis in communication research*. New York, NY, US : Free Press.
- Berlin, H.R., (1993). Les Hypertextes et les Hypermédias, *Revue Educa Technologie*, 1(2).
- Bétrancourt, M. (2007). Chapitre 4. L'ergonomie des TICE : quelles recherches pour quels usages sur le terrain ? In *Transformation des regards sur la recherche en technologie de l'éducation* (p. 77-89). De Boeck Supérieur.
- Biaz, A., Bennamara, A., Khyati, A., et Talbi, M. (2009). Intégration des technologies de l'information et de la communication dans le travail enseignant, état des lieux et perspectives. *EpiNet : revue électronique de l'EPI*, 120.
- Bibeau, R. (2005). Les TIC à l'école : proposition de taxonomie et analyse des obstacles à leur intégration. *Revue de l'EPI*.
- Bibeau, R. (2007). Les technologies de l'information et de la communication peuvent contribuer à améliorer les résultats scolaires des élèves. *Revue de l'EPI*, 94.
- Bidari, A., Madrane, M., Zerhane, R., Janati-Idrissi, R., Laafou, M., et Benjaber, M. (2017). Pour une intégration réussie des TIC dans l'enseignement marocain. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 20(4), 1132.
- Bouchaib, A., et Benjelloun, N. (2011). Impacts des TIC sur l'enseignement et l'apprentissage des conceptions relatives au champ électrostatique en classes préparatoires aux grandes écoles d'ingénieurs (CPGE). *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire/International Journal of Technologies in Higher Education*, 8(3), 66-84.
- Bouchard, P. (2011). Network promises and their implications. *RUSC, Universities and Knowledge Society Journal*, 8(1), 288-302.
- 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 2eme année secondaire* (Mémoire DEA). ISEFC de Tunis et IUFM de Nantes.
- Boughanmi, Y. (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* (Thèse de doctorat). Université de Bourgogne et Université de Tunis, Bourgogne, France.
- Bouillet, G. (1986). De la génération équivoque des pierres et des fossiles d'après les textes anciens (grecs, latins et chinois). *Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie*, 2 (tome 4), 33-46.
- Bouillet G. et Gaudant J. (2000). La genèse et l'interprétation des «fossiles» dans la science classique : de la Renaissance aux Lumières. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 171(5), 587- 601.

- Bourgeoini, Y et Khattabi, A. (2007). *Le système LMD, défaillances et contraintes d'une nouvelle réforme Pédagogique*. Actes du colloque « place de l'évaluation dans la stratégie de développement du système éducatif. Bilan préliminaire, évaluation et perspective de la mise en œuvre de la réforme LMD volet L ». Faculté des Sciences Ben M'Sik, Casablanca, Maroc.
- Blandin, B. (2002). Les mondes sociaux de la formation. *Education Permanente, Les TIC au service des nouveaux dispositifs de formation*, 152, 199-211.
- Bruce, B. C., et Levin, J. A. (1997). Educational technology: Media for inquiry, communication, construction, and expression. *Journal of educational computing research*, 17(1), 79-102.
- Buffon G. et Leclerc de. L. (1778). *Histoire naturelle, générale et particulière. Supplément V, Des Époques de la Nature*. Imprimerie Royale, Paris, viii + 615 p. + xxviii.
- Bush, V. (1945). As we may think. *Atlantic Monthly*, 76(1), 101-108.
- Buffetaut, É. (1998). *Histoire de la paléontologie*. Paris : P.U.F.

## C

- Caelen, J. (2004). *Le consommateur au cœur de l'innovation*. Paris : Éditions du CNRS.
- Cadée G.C., (1994). *Eider, shelduck, and other predators, the main producers of shell fragments in the Wadden Sea: Palaeoecological implications*, *Palaeontology*, 37(1), 181-202.
- Chalak, H. et El Hage, F. (2011). L'enseignement des sciences de la Terre au Liban : enjeux, obstacles et orientations professionnelles. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 3, 209-240.
- Charte nationale de l'éducation et de formation (1999). Les articles n° 119 et n° 121 du levier 10. Maroc.
- Chmanti-Houari, I., Oudrhiri Hassani M. et, Lachkhem, H. (2015). *Causes de la réticence des étudiants marocains vis-à-vis de la géologie ; Cas de la faculté des sciences Dhar El Mehrez de Fès*. Actes de la 1<sup>er</sup> Édition du Workshop International sur les Approches Pédagogiques et E-Learning. 26-25 novembre 2015. Fès. Maroc.
- Chmanti-Houari, I., Oudrhiri Hassani M. et, Lachkhem, H. et, Sayad A. (2016). Causes de la réticence des étudiants marocains vis-à-vis de la géologie ; Cas de la faculté des sciences Dhar El Mehrez de Fès. *European Scientific Journal, ESJ*, 12(1), 220-226
- Chmanti-Houari, I., Hassani, M. O., et Lachkhem, H. (2017). Les Difficultés Des Apprenants Marocains À Mobiliser Les Facteurs Temps Et Espace En Géologie : Cas Des Fossiles. *European Scientific Journal, ESJ*, 13(13), 303-322
- Chmanti-Houari, I., Hassani, M. O., (2017). Development of a "Fossilis" tutorial on the concepts of fossils and fossilization. *New Trends and Issues Proceedings on Humanities and Social Sciences*, 4(1), 544-550.
- Claire, S., et Gauthier, D. (2001). *Les sorties éducatives*. IUFM de l'Académie de Montpellier.
- Cléments, D. H., et Mc Millen, S. (1996). Rethinking "concrete" manipulatives. *Teaching children mathematics*, 2(5), 270-279.
- Coen, P-F et Schumacher, J. (2006). Construction d'un outil pour évaluer le degré d'intégration des TIC dans l'enseignement. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire*, 7-17.

- Cossette, C. (1983). *Les images démaquillées, approche scientifique de la communication par l'image (2e éd.)*. Québec, Canada : Riguil International.
- Crépin-Obert, P. (2002). Des conceptions initiales aux systèmes explicatifs des élèves de l'école primaire sur l'origine des espèces. *Grand*, 70, 101-123.
- Crépin-Obert, P., (2010). Idées et raisons sur les coquilles fossiles : étude épistémologique comparée entre une situation de débat à l'école primaire et une controverse historique », *RDST*, 1, 93-120.
- Crépin-Obert, P. (2011). Raison ou obstacle en histoire de la paléontologie et en classe de collège : analogie ou analogisme ? *RDST.*, (3), 21-54.
- Cuvier, G. (1830). *Discours sur les révolutions de la surface du globe : et sur les changements qu'elles ont produits dans le règne animal*. E. D'Ocagne, Paris : Imprimerie de A. Belin, pp 233.

## D

- Dalle, H et Scandolera, M (2000). *Sorties scolaires : un outil pour les apprentissages* (Mémoire professionnel). IUFM de Montpellier.
- D'Archiac, A. (1864). *Introduction à l'étude de la paléontologie stratigraphique : Cours professé au Muséum d'histoire naturelle*. I. F. Savy.
- Darwin, C. (2013). *L'Origine des espèces. Texte intégral de la première édition de 1859*. Le Seuil.
- Deconde, G. (2009). *Étude itérative des liens entre utilisabilité et acceptabilité d'un dispositif de saisie et de reconnaissance de l'écriture manuscrite*. Psychologie. Université Rennes 2 ; Université Européenne de Bretagne, Français.
- Delbecq, A. L., et Van de Ven, A. H. Gustafson, DH (1975). *Group techniques for program planning: A guide to nominal group and Delphi processes*. NJ : Scott foresman and company 8.
- Demaizière, F et Dubuisson, C. (1992). *De L'ÉAO aux NTF. Utiliser L'ordinateur pour la Formation* (P 13). Paris : Ophrys.
- Denizot, G. (1987). *Atlas des fossiles 3*. SNEB
- Depover, C. et Strebelle, A. (1997). *Un modèle et une stratégie d'intervention en matière d'intégration des TIC dans le processus éducatif*. In Pochon, L.-O., Blanchet, A., (dir.), *L'ordinateur à l'école : de l'introduction à l'intégration* Neuchâtel, Institut de recherche et de documentation pédagogique (IRDP). 73-98.
- Depover, C., Karsenti, T., & Komis, V. (2007). *Enseigner avec les technologies : favoriser les apprentissages, développer des compétences*. PUQ.
- Direction des curricula et de la vie scolaire, Secrétariat d'État chargé d'enseignement scolaire, Ministère de l'enseignement supérieur, de la formation des cadres et de la recherche scientifique, (2007). *Orientations pédagogiques et programmes d'enseignement des SVT au secondaire qualifiant*, pp 86.
- Droui, M. El Hajjami, A. Benali Amjoud, A. et Ahaji, K. (2015). Exploration des conceptions naïves à propos de la force et du mouvement chez des lycéens marocains. *RADISMA*, Numéro 11.

## E

- Ellenberger, F. (1988). *Histoire de la géologie. Tome 1*. Paris : Technique et Documentation-Lavoisier.
- Ellenberger, F. (1994). *Histoire de la géologie. Tome 2*. Paris : Technique et Documentation-Lavoisier.
- El Hassan El Hassouny, Fatiha Kaddari, Abdelrhani Elachqar, Anouar Alami (2012). Diagnostique des obstacles en optique géométrique par la TGN et le questionnaire. Le Bup n° 945, Vol, 106-juin. Teaching/learning mechanics in high school with the help of dynamic software. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 116, 4617-4621.
- El Madhi, Y., Chiahou, B., Belghyti, D., El Kharrim, K., et El Halouani, H. (2014). Les contraintes liées à l'intégration du TIC dans l'enseignement des sciences de la vie et de la terre au Maroc. *European Scientific Journal, ESJ*, 10(34).
- Endrizzi, L. (2008). « Wikipédia : « Un nouveau modèle éditorial ? ». In Schopfel Joaquim (dir). *La publication scientifique : Analyses et perspectives* (p 171-202). Paris. Hermès.
- El Ouidadi, O., Lakdim, A., Essafi, K., & Sendide, K. (2012). Etude de l'impact de l'utilisation d'une plate-forme en ligne pour la régulation des apprentissages et l'accompagnement des élèves en SVT : Cas des lycées de la ville de Fès (Maroc). *EpiNet* (144)

## F

- Fabre, M., et Orange, C. (1997). Construction des problèmes et franchissements d'obstacles. *Aster*, 24, " Obstacles : travail didactique".
- Foucault, A. et J.-F. Raoult. (2005). *Dictionnaire de Géologie 6*. « UniverSciences ». Paris : Dunod, (1e édition 1980), 382 pages.
- Fürsich, Franz et Flessa, Karl. (1987). Taphonomy of Tidal Flat Molluscs in the Northern Gulf of California: Paleoenvironmental Analysis despite the Perils of Preservation. *PALAIOS*. 2. (543). Doi : 10.2307/3514492.

## G

- Galiana D. (1999). « Les pratiques expérimentales dans les manuels scolaires des lycées (1850-1996) ». Institut National de Recherche Pédagogique, Paris, *In Aster*, (28).
- Ghalloudi J., Benbouziane A., Akrim H., Janati-Idrissi R., Talbi M., Elkouali M., Corsini M. « Apport didactique des outils hypermédias à l'apprentissage des concepts géologiques : Cas de la filière STU –Module Géologie- 1er et 2ème semestre », *Association EPI*, Novembre 2006.
- Gohau, G. (1987). Difficultés d'une pédagogie de la découverte dans l'enseignement des sciences. *ASTER*, 5, 49-70.
- Gohau G. (1990). *Une histoire de la Géologie*. Paris : Éditions La Découverte.
- Gohau, G. (1995). Traquer les obstacles épistémologiques à travers les lapsus d'élèves et d'écrivains. *ASTER*, 20, 21-41. Représentations et obstacles en géologie. INRP. 29. rue d'Ulm, 75230 Paris Cedex 05
- Gohau, G. (1997). Naissance de la méthode " actualiste " en géologie. . *De la géologie à son histoire* (p. 139-149). CTHS.



- Goix, H. (1995). Vous avez dit " cristal » ? Je pense " verre ". *ASTER*, 20, 105-137
- Gouanelle, C., et Schneeberger, P. (1995). Enseigner les fossiles à l'école élémentaire. *ASTER*, 21. 1995. Enseignement de la géologie, INRP, 29, rue d'Ulm, 75230 Paris Cedex 05
- Goodfriend, G. A., et Gould, S. J. (1996). Paleontology and chronology of two evolutionary transitions by hybridization in the Bahamian land snail *Cerion*. *Science*, 274(5294), 1894-1897.
- Gould, S-J. (1990). *Aux racines du temps*. Grasset et Fasquelle.
- Gould, S-J. (1991). *La vie est belle*. Paris : Editions du Seuil.
- Guéraud, V., Adam, J. M., Pernin, J. P., Calvary, G., et David, J. P. (2004). L'exploitation d'Objets Pédagogiques Interactifs à distance : le projet FORMID. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation (STICEF)*, 11. 46 pages.
- Guichon, N. (2006). *Langues et TICE. Méthodologie de conception multimédia*. Paris : ophrys.
- Guy, B. (2002). *Le temps géologique. Les longues durées de l'histoire de la terre*.

## I

- Ito, M., Baumer, S., Bittanti, M., Cody, R., Stephenson, B. H., Horst, H. A., et Perkel, D. (2009). *Hanging out, messing around, and geeking out : Kids living and learning with new media*. MIT press.

## J

- Jacquinot-Delaunay G. et Montoyer L, (1999) *Le Dispositif. Entre Usage et concept* (p.25) : Hermès.
- Johnson R.G., (1965), Pelecypod death assemblages in Tomales bay, California, *Journal of Paleontology*, 39(1), 80-85.
- Jonassen, D. H., et Grabinger, R. S. (1990). Problems and issues in designing hypertext/hypermedia for learning. In *Designing hypermedia for learning* (p. 3-25) : Springer,
- Jonassen, D. H., & Mandl, H. (1990). Designing Hypermedia for Learning. *NATI ASI*, 67. Séries. Series F : Computer and Systems Sciences.

## K

- Kaddouri, M., Bouamri, A et Toufik Azzimani, T. (2012) « Le non-usage des TIC en contexte universitaire : », *Recherches et éducations*, 6, 71-88.
- Rassou, K. K., Khiri, F., Benbrahim, M., Tamraoui, Y., Elberrani, H., & Anfour, M. (2017). Difficultés Relatives A L'enseignement-Apprentissage De La Géologie En Classes Secondaires Qualifiantes Cas De La Délégation d'Inzegane Ait Melloul. *European Scientific Journal, ESJ*, 13(18), 294.
- Karsenti, T., et Gauthier, C. (2006). Les TIC bouleversent-elles réellement le travail des enseignants. *Formation et profession*, 12(3), 2-4.

- Kidwell M.S., Fürsich F.T. and Aigner T., (1986), *Conceptual framework for analysis and classification of fossil concentrations*, *Palaios*, 1, 228-238.
- Kidwell, M.S., Fürsich, F.T. and Aigner, T., (1986), *Conceptual framework for analysis and classification of fossil concentrations*, *Palaios*, 1, 228-238.
- Kidwell, S. M., et Holland, S. M. (1991). Field description of coarse bioclastic fabrics. *Palaios*, 426-434.
- Kidwell S.M., (2001), Preservation in different ecological settings. In BRIGGS D.E.G., (ed.), *Palaeobiology II* (p.297-303). Oxford : Blackwell Science,
- Kidwell S.M., (2001), Preservation of species abundances. In marine death assemblages. *Science*, 294, 1091-1094.
- Kidwell S.M., (2002). Time-averaged molluscan death assemblages: Palimpsests of richness, snapshots of abundance. *Geology*, 30(9), 803-806.
- Kidwell S.M., (2002), Mesh-size effect on the ecological fidelity of death assemblages: a meta-analysis of molluscan live-dead studies, *Geobios*, Mémoire spécial, 24, 107-119.
- Koper, R. (2003). Combining re-usable learning, resources and services to pedagogical purposeful units of learning. In A. Littlejohn (Ed.), *Reusing Online Resources: A Sustainable Approach to eLearning* (p.46-59). London: Kogan.
- Kowalewski, M., Carroll M., Casazza L., Gupta N.S., Hannisdal B., Hendy A., Krause R.A.Jr., Labarbera M., Lazo D.G., Messina C., Puchalski S., Rothfus T.A., Sälgeback J., Stempien J., Terry R.C. and Tomasovych A., (2003). Quantitative fidelity of Brachiopod – Mollusk Assemblages from Modern Subtidal Environments of San Juan Islands, USA, *Journal of Taphonomy*, 1(1), 43-65.

## L

- Lacoste, C. (2001). *Influence des travaux de terrain sur les apprentissages en géologie*, (Thèse de Doctorat). Université de Limoges, pp 382.
- Lamarck de Monet j- b(1801). *Système des Animaux sans vertèbres*. Paris : Déterville.
- Lamarti, L., Ben Bouziane, A., Akrim, H., Idrissi, M. et Talbi, M., 2009. L'hypermédia géo-terrain : un outil pertinent au service des apprentissages en géologie de terrain. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire(RITPU)*, 6(1), 46-54.
- Landry, R. (1992). L'analyse de contenu. In Gauthier, B. (Éd.), *Recherche sociale. De la problématique à la collecte des données* (p. 337-359). Québec : Presses de l'Université du Québec.
- Laperrière-Tacussel, M., (2002). Essai de construction de situations pédagogiques sur le thème des fossiles. *Grand*, 69, 83-98.
- Laperrière-Tacussel, M., (1995). Le volcanisme, du cours moyen à L'IUFM. *Aster*, 20, 61-83
- Leclercq, D., et Denis, B. (1999). Méthodes de Formation et Psychologie de l'Apprentissage (4<sup>ème</sup> éd). Liège, Belgique.
- Lecointre, G. (Dir.) (2002). *Comprendre et enseigner la classification du vivant*. Paris : Belin
- L'Écuyer, R. (1990). *Méthodologie de l'analyse développementale de contenu : méthode GPS et concept de soi*. Québec : Presses universitaires du Québec.
- Lefèvre, J.M., (1984). *Guide pratique de l'E.A.O*. Cedic /Nathan.
- Legendre, R. (1993). *Dictionnaire actuel de l'éducation* (2<sup>ème</sup> éd). Montréal : Guérin-Eska.

- Le Pichon, X. (1984). La naissance de la tectonique des plaques. *La Recherche*, (153), 414-423.
- L'Hermitte, R. (1987). In Vygotski, Pensée et langage (P. 1985), Éditions Sociales. *L'information grammaticale*, 32(1), 44-46.
- Linard M. (1998). *L'écran des TIC, " dispositif " d'interaction et d'apprentissage : la conception des interfaces à la lumière des théories de l'action*. Actes du colloque "Dispositifs et médiation des savoirs", GReMS, GRAME. Département de Communication, Université Catholique de Louvain, Louvain-La-Neuve.
- Linard, M., (1990). *Des machines et des hommes*. Paris : Editions Universitaires.

## M

- Manuel de Frascati, 2002. *Méthode type proposée pour les enquêtes sur la recherche et le développement expérimental*. Paris : OCDE.
- Maouni, A., Minet, A., Khaddor, M., Madrane, M., et Moune, M. (2014). L'intégration des TIC dans l'enseignement des SVT au Maroc : réalité et attentes. *RADISMA* (10).
- Mayer, R. et Ouellet, F. (1991), *Méthodologie de recherche pour les intervenants sociaux*. Boucherville, Québec : Gaëtan Morin, p. 473-504
- Mastafi, M. (2014). Obstacles à l'intégration des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans le système éducatif marocain. *CARISM and IREC, University Panthéon Assas : Paris, 2*.
- Marr, P., M., 2000, Grouping students at the computer to enhance the study of British literature. *English Journal*, 90(2), 120-125.
- Miller, (1956). The magical number seven plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 81-97.
- Millet, J., De Ploeg, G., Nel, A., Rehault, P., et Rosenzweig, M. (2000). Cadre pédagogique et expérience de communication en SVT avec des chercheurs du muséum. *Revue de l'EPI*, 99, 137-158.
- Monchamp, A. et Sauvageot-Skibine, M. (1995). Du fixisme à la tectonique des plaques. Et pourtant elles bougent. *Recherches en didactique des sciences expérimentales, Aster*, 20, 3-20. Doi : 10.4267/2042/8925
- Moore R.C., (1969). *Treatise on Invertebrate Paleontology: Mollusca 6, Bivalvia*, The Geological society of America Inc and the University of Kansas, pp.489.
- Moreira, A. (1991). *Didactique et hypermédias en situation de résolution de problème : principes de constructions des didacticiels hypermédias*. Actes des premières journées scientifiques "Hypermédias et apprentissages", p. 24-25.

## N

- Nafidi, Y., Alami, A., Zaki, M., Afkar, H., & Elhassani, M. E. (2017). L'hypermédia Au Service De La Formation Initiale D'enseignants-Stagiaires (Cas Du CRMEF-Fès, Meknès). *European Scientific Journal, ESJ*, 13(16).
- Naymark, J ,1999. *Guide De Multimédia En Formation*. Paris : Retz. pp 368
- Nielsen, J. (1993). *Usability engineering*. Boston: Academic Press.

- Nelson, T.H. (1970). Getting it out of our system. In George Schechter, éditeur, *Information Retrieval: A Critical Review* (p. 191-210). Washington D.C: Thompson Books.
- Norman, D.A., (1973). *Cognitive organisation and Learning*. San Diego, Ca: Center for Human Information Processing.
- Norman, D.A., (1987). "Some Observations on Mental Models. In Baecker", R.M.et Buxton, A.A.S., éd. *Human-Computer Interaction*. San Mateo, Ca: Kaufmann.
- Norman, D. A. (1991). Cognitive artifacts. *Designing interaction: Psychology at the human-computer interface, 1*, 17-38.

## O

- Orange, C. (1987). Quels didacticiels pour l'enseignement des sciences naturelles ? *Bulletin de l'EPI (Enseignement Public et Informatique)*, 48, 84-89.
- Orange, C., et Orange, D. (1995). Géologie et Biologie : analyse de quelques liens épistémologiques et didactiques. *ASTER*, 21,27-49. Enseignement de la géologie, INRP, 29, rue d'Ulm, 75230, Paris Cedex 05
- Orange C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris : PUF
- Orange, C et Orange, D. (1999). Réel de terrain et réel de laboratoire et construction de problèmes en sciences de la Vie et de la Terre. *ASTER 28 : l'expérimental dans la classe*, INRP, Paris.
- Orange, D. (2003). *Utilisation du temps et explications en sciences de la Terre par les élèves de lycée : étude dans quelques problèmes géologiques* (Thèse de doctorat).Université de Nantes, France.
- Organisation Internationale de la Francophonie, O. (2004). Xe Conférence des chefs d'Etat et de gouvernement des pays ayant le français en partage. *Ouagadougou, Burkina Faso*, 26-27.
- Ouazzani Touhami, A., Benjelloun, N., Alami, M., et Aouni, H. (2016). Difficultés conceptuelles relatives à la construction d'une image virtuelle et impact d'un atelier java d'optique géométrique (AJOG) sur les productions des élèves. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, (14), 187-210.

## P

- Pea, R. D. (1985). Beyond amplification: Using the computer to reorganize mental functioning. *Educational psychologist*, 20(4), 167-182.
- Pelgrum, W. J. (2001). Obstacles to the integration of ICT in éducation : results from a worldwide educational assessment. *Computers and education*, 37(2), 163-178.
- Pelgrum, W. J., and Law, N. (2004). *Les TIC et l'éducation dans le monde : tendances, enjeux et perspectives*. UNESCO, Institut international de planification de l'éducation.
- Peraya, D. (1995). Distance Education and the WWW. *Education at a Distance*, 9(7), 20-23.
- Peraya, D. (1999). Médiation et médiatisation : le campus virtuel. *Hermès, La Revue*, (3), 153-167.
- Perkins, D. N. (1985). The fingertip effect: How information-processing technology shapes thinking. *Educational Researcher*, 14(7), 11-17.

- Peterfalvi, B. (1997). L'identification d'obstacles par les élèves. *Aster*, 1997, 24 : "Obstacles : travail didactique".
- Piaget J., (1946). *La formation du symbole chez l'enfant*. Neuchâtel, Delachaux et Niestlé.
- Piaget, J., (1977). *Mes idées*. Paris : Denoël/Gonthier.
- Poitou J.P. (1998, avril). *Dispositif: objet intellectuel, dispositif, formation dialogique homme-machine*. Actes du colloque "Dispositifs et médiation des savoirs", GReMS, GRAME, Département de Communication. Université Catholique de Louvain, Louvain-La-Neuve.
- Powell, E.N. and Stanton, R.J.Jr. (1985), *Estimating biomass and energy flow of molluscs in palaeocommunities*, *Palaeontology*, 28, p.1-35.

## R

- Rey, A. et Rey-Debove J. Le Robert (2009). *Le nouveau petit Robert : dictionnaire alphabétique de la langue française*, Paris : Le Robert.
- Rhéaume, (1993). Les Hypertextes et les Hypermédias, *Revue EducaTechnologie*, 1(2).
- Royaume du Maroc (1999). Commission Spéciale Éducation Formation. Charte nationale d'éducation et de formation (COSEF). Récupéré le 04 Avril 2011 de site : <http://cdrom.csef.ac.ma>.
- Royaume du Maroc, Rapport du conseil d'enseignement supérieur (2008). État et perspectives du système d'éducation et de formation, *Rapport analytique*, 1, 2,3 et 4.
- Rostand, J. (1939). *La vie et ses problèmes*. Flammarion.

## S

- Salamé, N., (1991) « Contribution de l'informatique au renouvellement des activités expérimentales dans l'enseignement de la biologie et de la géologie ». In *L'informatique et apprentissages* (p. 59-62). Paris : INRP.
- Sanchez E., P.M., Devallois D. (2004) « *L'enseignement des sciences de la Terre en classe de seconde : Pratiques de classe, difficultés, perspectives pour la formation* », Institut National de Recherche Pédagogique, Accès. Saint Fons Cedex
- Savaton, P. (1995). La carte géologique : représentations d'élèves de classe de Première scientifique. *Représentations et obstacles en géologie*, *ASTER*, 20, 139-164.
- Savaton, P. (1998). *La carte géologique dans l'enseignement secondaire. Bilan historique et didactique, réflexion et propositions d'apprentissage* (Thèse de doctorat). Université de Paris VII -Denis Diderot, Paris, France.
- Sauvageot-Skibine, M. (1995). Enseigner les sciences de la Terre en tenant compte des représentations. *ASTER*, 21, 3-8.
- Sayad, A., Boutkhil, L., Bouali, A et El Meskine, F. (2014). Obstacles à l'enseignement des Sciences de la Terre au secondaire collégial marocain (en arabe). *Arabian Journal of Earth Sciences*, 1(4), 1-15.
- Scallon G. (1988) : *L'évaluation formative des apprentissages*. Tome 2 : L'instrumentation. Québec : Les presses de l'Université Laval.

- Sefrioui, R. (2004). Pratiques d'enseignement-apprentissage au supérieur : approches globale des techniques d'expression et de communication et tutorat en contexte universitaire. *Revue Attadriss*, 2.
- Senach, B. (1990). *Evaluation ergonomique des interfaces homme-machine : une revue de la littérature* (Doctoral dissertation, INRIA).
- Sensevy, G., Kuster, Y., Hélyary, F., et Lameul, G. (2005). Le forum débat : un dispositif d'apprentissage collaboratif en formation initiale d'enseignants. *Distances et savoirs*, 3(3), 311-330.
- Shackel, B. (1991). Usability - context, framework, design and evaluation. In B. Shackel and B. Richardson (Eds.), *Human Factors for Informatics Usability* (p.21-38). Cambridge : Cambridge, University Press.
- Simonson, M. R., Aegerter, R., Berry, T., Kloock, T., et Stone, R. (1987). Four studies dealing with mediated persuasive messages, attitudes, and learning styles. *ECTJ*, 35(1), 31-41.
- Speyer, S. E., et Brett, C. E. (1988). Taphofacies models for epeiric sea environments: Middle Paleozoic examples. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 63(1-3), 225-262.
- Stanton Jr, R. J., & Nelson, P. C. (1980). Reconstruction of the trophic web in paleontology: community structure in the Stone City Formation (Middle Eocene, Texas). *Journal of Paleontology*, 118-135.

## T

- Taillefer, F. (1979). La Terre : Henri et Geneviève Termier, Histoire de la Terre. *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest. Sud-Ouest Européen*, 50(4), 607-609.
- Tardif, J. (2006). L'évaluation des compétences. *Documenter le parcours de développement*. Montréal : Chenelière Éducation.
- Thinès, G. (1980). *Phénoménologie et science du comportement* (94). Editions Mardaga.
- Thomas, P. (2002). Après la tectonique des plaques. *Pour la science*, (300), 88-91.
- Tricot, A., et Tricot, M. (2000). *Un cadre formel pour interpréter les liens entre utilisabilité et utilité des systèmes d'information (et généralisation à l'évaluation d'objets finalisés)*. Proceedings of the Ergo-IHM, Biarritz, France.
- Tricot, A., Plégat-Soutjis, F., Camps, J.-F., Amiel, A., Lutz, G. et Morcillo, A. (2003). Utilité, utilisabilité, acceptabilité : interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH. In C. Desmoulins (dir). *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain* (p. 391-402). Paris : ATIEF – INRP.
- Triquet, E. et Laperrière, M. (1999). Étudier les fossiles au musée. La spécificité des objets et du discours muséal comme point d'ancrage des apprentissages. L'école et ses partenaires scientifiques, *ASTER*, 29, 147-170. Doi : 10.4267/2042/8733
- Triquet, E., et Orange, D. (2007). Sciences et récits, des rapports problématiques. *Aster*, 44, 7-22.
- Turki Bin Abdullah, A. (2012). *La géologie dans les programmes du ministère de l'éducation et de la formation*. Association Saoudienne des Sciences de la Terre.

## V

- Vialle, B. (1999). L'ordinateur dans l'enseignement d'une science expérimentale : la biologie au lycée. *Revue de l'EPI (Enseignement Public et Informatique)*, 93, 199-210.
- Van de Ven, A. H., and Delbecq, A. L. (1972). The nominal group as a research instrument for exploratory health studies. *American journal of public health*, 62(3), 337-342.

## W

- Ward, (1992). Fifteen principles for designing more effective instructional hypermedia/multimedia products. *Educational Technology*, 32(12), 5-11

## Z

- Zuschin, M. et Oliver, P. G. (2003): *Bivalves and bivalve habitats in the northern Red Sea. The Northern Bay of Safaga (Red Sea, Egypt): an actiopalaontological approach. – VI. Bivalvia*, 304 pp. ; Wien (Naturhistorisches Museum).

## Webographie

- Aboussaouira, T. et Chehab, F. (2008). *Méthodes pédagogiques utilisées en auto apprentissage de biologie cellulaire*. Actes du 17èmes journées universitaires francophones de pédagogie des sciences de la santé de la CIDMEF. Lille, France. Récupéré de <http://www.canal-u.tv>
- Berrada Fathi, W. et Chraïbi, S. (2010, mai). Comparaison d'expériences d'insertion de dispositifs techno-pédagogiques dans le milieu universitaire marocain. Communication présentée au 26ème congrès international de l'Association internationale de pédagogie universitaire (AIPU), Rabat, Maroc. Récupéré le 13/06/2016 de <https://www.researchgate.net>
- Chakib, A., Zahour, G., Ghalloudi, J., Talbi, M et Radid, M. (2013). Obstacles linguistiques liés à l'apprentissage des Sciences de la terre au Supérieur. Élaboration d'un didacticiel de traduction des termes géologiques « Lexigloss ». *Revue EPI*, 152 Février 2013. Récupéré de <http://www.epi.asso.fr/revue/articles/a1303c.htm>.
- Denis, B. (2003). *Conception du cahier des charges d'un produit multimédia de formation ou d'information*. Chapitre 1.2 : Massmédiat, selfmédiat et intermédiat : des rôles différents pour l'apprenant. Notes de cours DES en Technologie de l'Éducation et de la Formation. Liège, Université de Liège. Récupéré le 12 /03/2015 de : <http://www.webct.ulg.ac.be/webct/urw/lc4130001.tp0/cobaltMainFrame.doweбct>
- Durand, G. (2007). *La scénarisation de l'évaluation des activités pédagogiques utilisant les environnements informatiques d'apprentissage humains* (Thèse de Doctorat). Université de Savoie (spécialité informatique), Version 1, 8 janvier 2007. Récupéré le 11 /08/2017 <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00123094>
- e-Éduc (2008). *Pour le développement du numérique à l'école, rapport de la mission e-Éduc, ministère de l'Éducation nationale*. Récupéré le 06 /08/2016 du

- [http://media.education.gouv.fr /file/2008/24/5/Pour\\_le\\_developpement\\_du\\_numerique\\_a\\_l\\_ecole\\_27245.pdf](http://media.education.gouv.fr/file/2008/24/5/Pour_le_developpement_du_numerique_a_l_ecole_27245.pdf)
- Fiszer, J., 1985. Élaboration de didacticiels : étapes, problèmes, difficultés. *Bulletin de l'EPI*, (39), 90-103. Récupéré de <<http://www.epi.asso.fr/revue/39som.htm#b39p090>>. <edutice-00000924>
- Grenier, et M. Lagarde, (2000). *La technique du groupe nominale (TGN), une méthode de cueillette des données à Connaître*. Actes du 12<sup>e</sup> colloque de l'Association pour la recherche au collégial, Collège de l'Outaouais Campus Félix-Leclerc, p : 26-27. Récupéré le 12 février 2013 de : <http://www.er.uqam.ca/nobel/r17165/RECHERCHE/COMMUNICATIONS/ARCActes2000.pdf>
- Guendon, J. L. (2011). *Excursion de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire (AFEQ) 21 au 23 juin 2011 : Paysages, travertins et paléoenvironnements quaternaires entre Provence et Alpes occidentales : livret-guide*. pp 73. Récupéré le 15/02/2015 de <https://hal.archives-ouvertes.fr/halshs-00612361/>
- Lakhoulfi A. (2014). *Pourquoi l'étude de la géologie n'a pas réussi au Maroc ? La semaine de la presse (Alousboua assahafi) 26 Mars*. Centre des Études et des Recherches de l'Évaluation, de l'Éducation et de la Formation. Récupéré le 15/02/2015 de <http://www.fsdmfes.ac.ma/Formations/LF/STU>
- Landry, P. (2009) Site à traces de pas de dinosaures sauropodes géants sur la commune de Plagne (01), Jura méridional. Compte rendu de la campagne de fouilles SDNO, printemps été 2009 (Documents SDNO, non publié) : pp. 18. Récupéré le 15/02/2016.
- Oudrhiri, M. (2016). De l'usage pédagogique du numérique dans l'enseignement des mathématiques au Maroc. Récupéré le 16/04/2017 de : <https://www.epi.asso.fr/revue/articles/a1605c.htm>.
- Zerhane, R., Janati-Idrissi, R., Khaldi, M., Blaghen, M. et Talbi, M. (2002). « Immuno-Logi : hypermédia pour l'enseignement et l'apprentissage de l'immunologie ». *EpiNet : revue électronique de l'EPI* (46). Récupéré le 03 / 04/2017 de <http://www.epi.asso.fr>
- Vreeland, R. H., Rosenzweig, W. D., et Powers, D. W. (2000). Isolation of a 250 million-year-old halotolerant bacterium from a primary salt crystal. *Nature*, 407(6806), 897. Récupéré le 15/05/2016 de <https://www.nature.com/articles/35038060>
- «Valves d'huîtres actuelles» [photos] : [https://www.flickr.com/photos/inra\\_dist/25671780306/](https://www.flickr.com/photos/inra_dist/25671780306/) Consulté le 23/05/2016
- « Traces de terriers» [photos], Laboratoire de Géologie de Lyon / ENS Lyon, sur le site : <http://planet-terre.ens-lyon.fr/image-de-la-semaine/Img533-2016-05-23.xml> .Consulté le 23 /05/2016.
- « Moulage interne de Trilobite » [photos], Laboratoire de Géologie de Lyon / ENS Lyon, sur le site : <http://planet-terre.ens-lyon.fr/image-de-la-semaine/Img533-2016-05-23.xml> .Consulté le 23/05/2016
- « Dissolution de la coquille et obtention de moulages » Consulté le 23/05/2016 de : <https://www.geopolis.fr/download/fossile-paleontologie-fossiles.pdf>



# Annexes

## Annexe 1 : Test de la Technique de Groupe Nominale (TGN) soumis aux lycéens

**1. La question nominale 1 : Citez une liste de mots ou d'expressions en relation avec le mot fossile.**

- i. ....
- ii. ....
- iii. ....
- iv. ....
- v. ....
- vi. ....
- vii. ....
- viii. ....

**2. la question nominale 2 : Les obstacles qui bloquent votre compréhension du phénomène de la fossilisation sont ?**

- i. ....
- ii. ....
- iii. ....
- iv. ....
- v. ....
- vi. ....
- vii. ....
- viii. ....

## **Annexe 2 : Test de la Technique de Groupe Nominale (TGN) soumis aux étudiants**

**1. La question nominale 1 : Citez une liste de mots ou d'expressions en relation avec le mot fossile.**

- i. ....  
.....
- ii. ....  
.....
- iii. ....  
.....
- iv. ....  
.....
- v. ....  
.....
- vi. ....  
.....
- vii. ....  
.....
- viii. ....  
.....

**2. la question nominale 2 : Les obstacles qui bloquent votre compréhension des mécanismes liés à la formation des gisements fossilifères sont ?**

- i. ....  
.....
- ii. ....  
.....
- iii. ....  
.....
- iv. ....  
.....
- v. ....  
.....
- vi. ....  
.....
- vii. ....  
.....
- viii. ....  
.....

## Annexe 3 : Questionnaire sur les concepts fossile et fossilisation

Le questionnaire ci-dessous est destiné aux lycéens de 1ère année baccalauréat, option sciences de la vie et de la terre.

Le but de ce travail est la mise en évidence des obstacles épistémologiques liés à l'apprentissage des concepts de la formation des gisements fossilifères.

En répondant à ce questionnaire vous contribuez à l'aboutissement de ce travail .merci pour votre participation

### INFORMATIONS GÉNÉRALES SUR LE RÉPONDANT

Lorsque qu'un choix de réponses vous est proposé, cochez la ou les réponses qui vous paraissent appropriées.

Lycée : .....Discipline : .....

### LE CONCEPT DE FOSSILE

#### 1. Qu'est-ce qu'un fossile ?

.....  
.....

➤ Indiquez parmi la liste suivante les objets que vous considérez comme fossiles en mettant le signe (x) dans la case oui. Essayer de justifier vos réponses.

L'objet		Oui	Explication
Tronc d'arbre silicifié	Photo 1		
Moulage externe d'oursin	Photo 2		
Coquille d'ammonite	Photo 3		
Valves d'huîtres actuelles	Photo 4		
Moulage interne de Trilobite	Photo 5		
Bactéries conservées dans les cristaux de sel	Photo 6		
Traces de déplacements de dinosaures	Photo 7		
Travertin	Photo 8		
Traces de terriers	Photo 9		

#### 2. Quels sont les grands types de fossiles ?

.....

#### 3. Est-ce qu'un fossile se caractérise par ?

- a) la forme
- b) la taille
- c) les stries d'accroissement
- d) la couleur
- e) les dimensions
- f) la symétrie

- g) les caractères génétiques (ADN)
- h) les ressemblances avec les espèces actuelles
- i) la nature minéralogique du test

**4. Est-ce que la taille des fossiles peut être ?**

- a) millimétrique à pluri centimétrique
- b) millimétrique à infra millimétrique
- c) métrique
- d) de toute dimension

**5. Quelles sont les caractéristiques des organismes les mieux préservés (fossilisés)?**

*a) de petite taille*

Oui .....  ..... Non.....  ...

Explicitez : .....

*b) de grande taille*

Oui .....  ..... Non.....  ...

Explicitez: .....

*c) des organismes marins*

Oui .....  ..... Non.....  ...

Explicitez : .....

*d) des organismes aériens*

Oui .....  ..... Non.....  ...

Explicitez : .....

**6. Comment un fossile peut-il se retrouver dans une roche ?**

.....  
 .....

**7. Est-ce que les roches sédimentaires contiennent toujours des fossiles ?**

Oui  Non

Explicitez : .....

**8. Quels sont à votre avis les intérêts des fossiles ?**

- a) la reconstitution du paléo-environnement
- b) la reconstitution de la paléogéographie
- c) la reconstitution des étapes de l'évolution de la vie sur terre
- d) la datation des roches
- e) la détermination de la structure interne de la terre
- f) les corrélations des séries sédimentaires éloignées géographiquement
- g) la structuration et le découpage de l'échelle du temps géologique

- h) la reconstitution de l'histoire tectonique d'une région

**9. Les fossiles de faciès sont de bons indicateurs de (ou des) :**

- a) bathymétrie (variation de la profondeur)   
b) variation de la salinité des eaux   
c) variation de la température   
d) oxydation   
e) hydrodynamisme du milieu   
f) transformations métamorphiques des roches

**LA FOSSILISATION**

**10. En se basant sur la planche II, il s'agit de quel mode de la fossilisation ?**

- ✓ Moule interne : .....  
✓ Moule externe : .....  
✓ Coquille épigénisée : .....

**11. Quels sont les processus de la fossilisation ?**

- a) la compaction   
b) la décomposition de la matière organique   
c) la diagenèse   
d) l'enfouissement   
e) la dissolution   
f) les déformations morphologiques   
g) le transport et le remaniement   
h) la sédimentation   
i) les transformations génétiques

**12. Est-ce que les processus de la fossilisation peuvent être :**

- a) synchrones (en même temps)   
b) successifs   
c) répétés   
d) réalisés en une seule fois   
e) réalisés sous un seul niveau de la série sédimentaire   
f) réalisés sous plusieurs niveaux de la série sédimentaire

**13. À votre avis, quelle est la durée nécessaire à la fossilisation d'un organisme ?**

- a) quelques heures   
b) quelques années   
c) des siècles   
d) des milliers d'années   
e) des millions d'années   
f) des milliards d'années   
g) variable selon les cas et les conditions

**14. Les processus de la fossilisation peuvent se produire sous quelle épaisseur ?**

- a) quelques centimètres de sédiments
- b) quelques mètres de sédiments
- c) quelques dizaines de mètres de sédiments
- d) quelques centaines de mètres de sédiments
- e) quelques kilomètres de sédiments

**15. Quels sont à votre avis, ce qui entrave votre compréhension des mécanismes de la formation des gisements fossilifères ?**

- a) l'identification des fossiles
- b) la relation fossilisation-sédimentation
- c) l'échelle du temps géologique
- d) l'imagination des phénomènes de la fossilisation dans l'espace et dans le temps
- e) la complexité des phénomènes microscopiques de la fossilisation (diagenèse, substitution minéralogique...)
- f) la complexité des termes paléontologiques
- g) les méthodes de l'enseignement
- h) le manque de sorties sur le terrain
- i) **Autres ; expliquez :**

.....  
.....

**16. Quelles sont vos suggestions pour surmonter les difficultés rencontrées :**

- a) faire plus de sorties de terrain
- b) disposer des documents audiovisuels reconstituant les phénomènes étudiés
- c) consacrer plus de temps aux travaux pratiques de paléontologie
- d) faire participer l'étudiant à l'élaboration de certaines parties des cours (à partir des recherches personnelles, des exposés, etc.).
- e) utiliser les nouvelles technologies de l'information et de la communication NTIC (power-point, accès internet, l'hyper-navigation, animation 3D, images etc. ....).
- f) **autres ; expliquez :**

.....  
.....

## Planche I



Photographie : Maxime Henriquet

Tronc d'arbre silicifié  
Laboratoire de Géologie de Lyon / ENS Lyon

**Photo 1**



Moulage externe d'Oursin  
(Fedan, 2017)

Barre d'échelle : 1 cm

**Photo 2**



Coquille d'Ammonite  
(Fedan, 2017)

Barre d'échelle : 1 cm

**Photo 3**



Valves d'huitres actuelles (www.flickr.com)

**Photo 4**



Photographie : Pierre Thomas

Moulage interne de Trilobite (4 cm de longueur)  
Laboratoire de Géologie de Lyon / ENS Lyon

**Photo 5**



Bactérie) dans l'inclusion (3x3x1mm) située sous le (i), dans les cristaux de sel (Vreeland et al, 2000)

**Photo 6**



Empreinte de déplacement de dinosaures  
(Landry, 2009)

**Photo 7**



Travertin (Guendon, 2011)

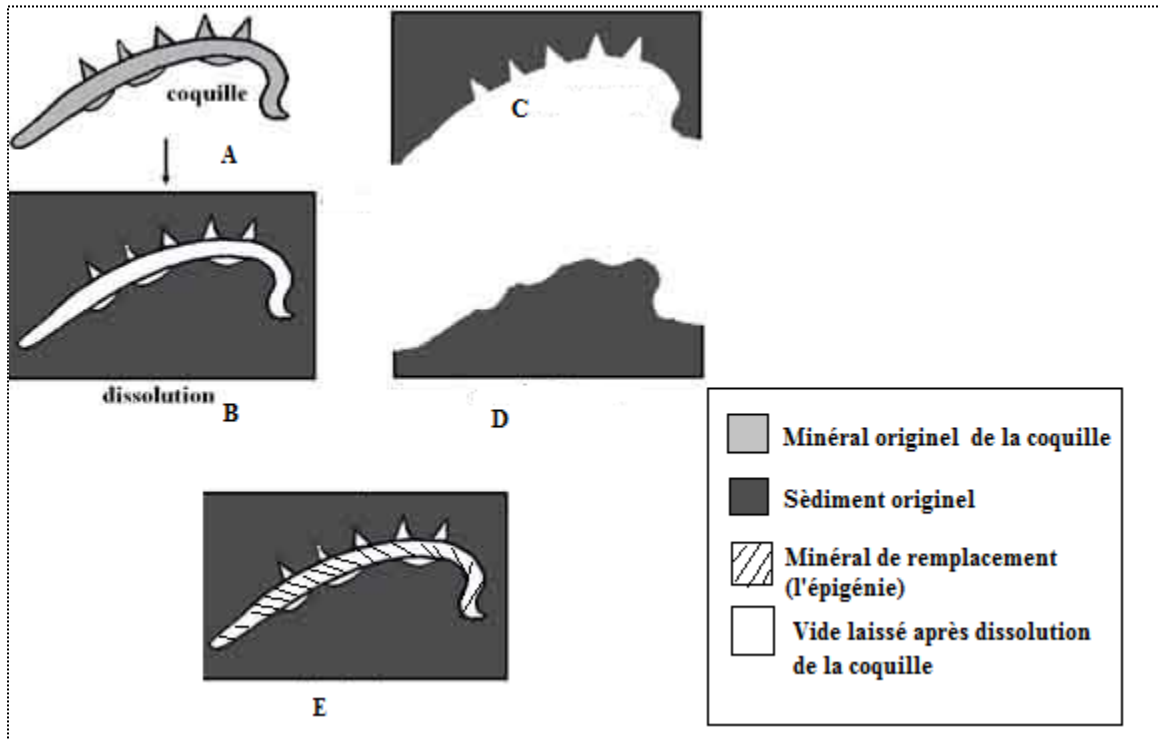
**Photo 8**



Traces de terriers  
Laboratoire de Géologie de Lyon / ENS Lyon

**Photo 9**

## Planche II



<https://www.geopolis.fr/download/fossile-paleontologie-fossiles.pdf>



## Annexe 4 : Questionnaire sur les gisements fossilifères

Le questionnaire ci-dessous est destiné aux étudiants de la filière STU (semestre S4, S6 et Master) de la faculté des sciences DHAR EL MEHREZ FES ainsi qu'aux enseignants stagiaires du centre régional des métiers de l'éducation et de la formation de Fès (CRMEF).

Le but de ce travail est la mise en évidence des obstacles épistémologiques liés à la compréhension des mécanismes de formation des gisements fossilifères.

En répondant à ce questionnaire vous contribuerez à l'aboutissement de ce travail de recherche.

Merci pour votre participation.

Lorsqu'un choix de réponses vous est proposé, cochez la ou les réponses qui vous paraissent appropriées.

### INFORMATIONS GÉNÉRALES SUR L'ÉTUDIANT (LE RÉPONDANT)

Étudiant de la filière STU : S4  S6  Master   
Enseignant stagiaire :

### LE CONCEPT DE FOSSILE

#### 1. Qu'est-ce qu'un fossile ?

➤ Indiquez parmi la liste suivante les objets que vous considérez comme fossiles en mettant le signe (x) dans la case oui. Essayer de justifier vos réponses.

L'objet		Oui	Explication
Tronc d'arbre silicifié	Photo 1		
Moulage externe d'oursin	Photo 2		
Coquille d'ammonite	Photo 3		
Valves d'huîtres actuelles	Photo 4		
Moulage interne de Trilobite	Photo 5		
Bactéries conservées dans les cristaux de sel	Photo 6		
Traces de déplacements de dinosaures	Photo 7		
Travertin	Photo 8		
Traces de terriers	Photo 9		

#### 2. Quels sont les grands types de fossiles ?

**3. Est-ce qu'un fossile se caractérise par ?**

- a) la forme
- b) la taille
- c) les stries d'accroissement
- d) la couleur
- e) les dimensions
- f) la symétrie
- g) les caractères génétiques (ADN)
- h) les ressemblances avec les espèces actuelles
- i) la nature minéralogique du test

**4. Est-ce que la taille des fossiles peut être ?**

- a) millimétrique à pluri centimétrique
- b) millimétrique à infra millimétrique
- c) métrique
- d) de toute dimension

**5. Quelles sont les caractéristiques des organismes les mieux préservés (fossilisés)?**

*a) de petite taille*

Oui .....  ..... Non.....  ...

Expliquez :.....

*b) de grande taille*

Oui .....  ..... Non.....  ...

Expliquez:.....

*c) des organismes marins*

Oui .....  ..... Non.....  ...

Expliquez :.....

*d) des organismes aériens*

Oui .....  ..... Non.....  ...

Expliquez :.....

**6. Est-ce que les roches sédimentaires contiennent toujours des fossiles ?**

Oui  Non

**Expliquez :**.....  
.....

**7. Quels sont à votre avis les intérêts des fossiles ?**

- a) la reconstitution du paléo-environnement
- b) la reconstitution de la paléogéographie
- c) la reconstitution des étapes de l'évolution de la vie sur terre
- d) la datation des roches
- e) la détermination de la structure interne de la terre
- f) les corrélations des séries sédimentaires éloignées géographiquement
- g) la structuration et le découpage de l'échelle du temps géologique
- h) la reconstitution de l'histoire tectonique d'une région

**8. Les fossiles de faciès sont de bons indicateurs de (ou des) :**

- a) bathymétrie (variation de la profondeur)
- b) variation de la salinité des eaux
- c) variation de la température
- d) oxydation
- e) hydrodynamisme du milieu
- f) transformations métamorphiques des roches

**LA FOSSILISATION**

**9. En se basant sur la planche II, il s'agit de quel mode de la fossilisation ?**

- ✓ Moule interne : .....
- ✓ Moule externe : .....
- ✓ Coquille épigénisée : .....

**10. Quels sont les processus de la fossilisation ?**

- a) la compaction
- b) la décomposition de la matière organique
- c) la diagenèse
- d) l'enfouissement
- e) la dissolution
- f) les déformations morphologiques
- g) le transport et le remaniement
- h) la sédimentation
- i) les transformations génétiques

**11. Est-ce que les processus de la fossilisation peuvent être :**

- a) synchrones (en même temps)
- b) successifs
- c) répétés
- d) réalisés en une seule fois
- e) réalisés sous un seul niveau de la série sédimentaire
- f) réalisés sous plusieurs niveaux de la série sédimentaire

**12. À votre avis, quelle est la durée nécessaire à la fossilisation d'un organisme ?**

- a) quelques heures
- b) quelques années
- c) des siècles
- d) des milliers d'années
- e) des millions d'années
- f) des milliards d'années
- g) variable selon les cas et les conditions

**13. Les processus de la fossilisation peuvent se produire sous quelle épaisseur ?**

- a) quelques centimètres de sédiments
- b) quelques mètres de sédiments
- c) quelques dizaines de mètres de sédiments
- d) quelques centaines de mètres de sédiments
- e) quelques kilomètres de sédiments

**14. Est-ce que les caractères morphologiques des fossiles de faciès sont le résultat d'une adaptation à un biotope bien déterminé ?**

Oui    Non   

Expliquez : .....

.....

## LES CONCENTRATIONS FOSSILIFÈRES

**15. Les transformations que subissent les concentrations d'organismes morts (transformations post-mortem) peuvent modifier :**

- a) l'âge de leurs constituants (organismes fossiles)
- b) la forme géométrique de ces constituants
- c) la forme géométrique de la concentration en général
- d) la composition minéralogique de ces constituants
- e) leur situation spatiale (dans l'espace)
- f) leur situation temporelle (dans le temps)
- g) leur situation spatio-temporelle

**16. Les concentrations fossilifères au sein d'une série sédimentaire peuvent se présenter sous forme de :**

- a) concentrations minces en deux dimensions (2D) implantées à la surface du sédiment
- b) concentrations tridimensionnelles (3D) avec répartition à l'intérieur d'une seule strate
- c) concentrations tridimensionnelles (3D) avec répartition à l'intérieur de plusieurs strates
- d) concentrations planes (unidimensionnelles)
- e) concentrations à géométrie indéfinie

**17. La reconstitution de l'histoire post-mortem d'une concentration fossilifère se base sur :**

- a) l'orientation des coquilles par rapport à la stratification
- b) l'agencement des coquilles
- c) le volume des coquilles
- d) l'interaction biologique
- e) l'âge des bioclastes (débris de fossiles)
- f) l'origine des bioclastes (allochtones ou autochtones)
- g) les types d'espèces constituant la concentration (faune et /ou flore)
- h) l'histoire tectonique de la région
- i) les figures et les structures sédimentaires
- j) la taille des fossiles (microfossiles ou macro-fossiles)

**18. La localisation paléogéographique (milieu continental, littoral, plate-forme, talus, bassin, etc.) d'une concentration fossilifère repose sur :**

- a) la nature lithologique des sédiments
- b) l'âge des bioclastes
- c) le taux de sédimentation
- d) la bathymétrie
- e) les types des fossiles coexistants

**19. Quels sont à votre avis, ce qui entrave votre compréhension des mécanismes de la formation des gisements fossilifères ?**

- a) l'identification des fossiles
- b) la relation fossilisation-sédimentation
- c) l'échelle du temps géologique
- d) l'imagination des phénomènes de la fossilisation dans l'espace et dans le temps
- e) la complexité des phénomènes microscopiques de la fossilisation (diagenèse, substitution minéralogique...)
- f) la complexité des termes paléontologiques
- g) les méthodes de l'enseignement
- h) le manque de sorties sur le terrain
- i) **Autres ; expliquez :**

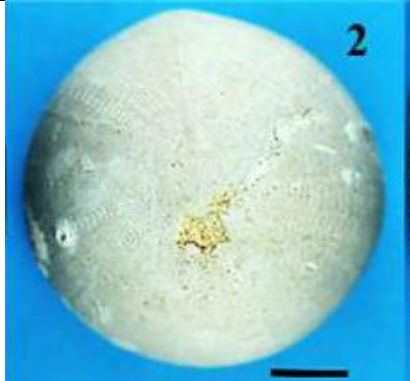
.....  
**20. Quels sont vos suggestions pour surmonter les difficultés rencontrées :**

- a) faire plus de sorties de terrain
  - b) disposer des documents audiovisuels reconstituant les phénomènes étudiés
  - c) consacrer plus de temps aux travaux pratiques de paléontologie
  - d) faire participer l'étudiant à l'élaboration de certaines parties des cours (à partir des recherches personnelles, des exposés, etc.)
  - e) utiliser les nouvelles technologies de l'information et de la communication NTIC (power-point, accès internet, l'hyper-navigation, animation 3D, images etc.)
  - g) **autres ; expliquez :**
- .....

**Planche I**



Tronc d'arbre silicifié  
Laboratoire de Géologie de Lyon / ENS Lyon  
**Photo 1**



Moulage externe d'Oursin  
(Fedan, 2017)  
Barre d'échelle : 1 cm  
**Photo 2**



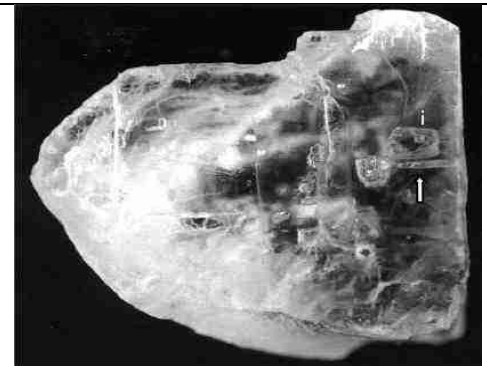
Coquille d'Ammonite  
(Fedan, 2017)  
Barre d'échelle : 1 cm  
**Photo 3**



Valves d'huitres actuelles (www.flickr.com)  
**Photo 4**



Moulage interne de Trilobite (4 cm de longueur)  
Laboratoire de Géologie de Lyon / ENS Lyon  
**Photo 5**



Bactérie dans l'inclusion (3x3x1mm) située sous le (i), dans les cristaux de sel (Vreeland et al, 2000)  
**Photo 6**



Empreinte de déplacement de dinosaures  
(Landry ,2009)

**Photo 7**



Travertin (Guendon, 2011)

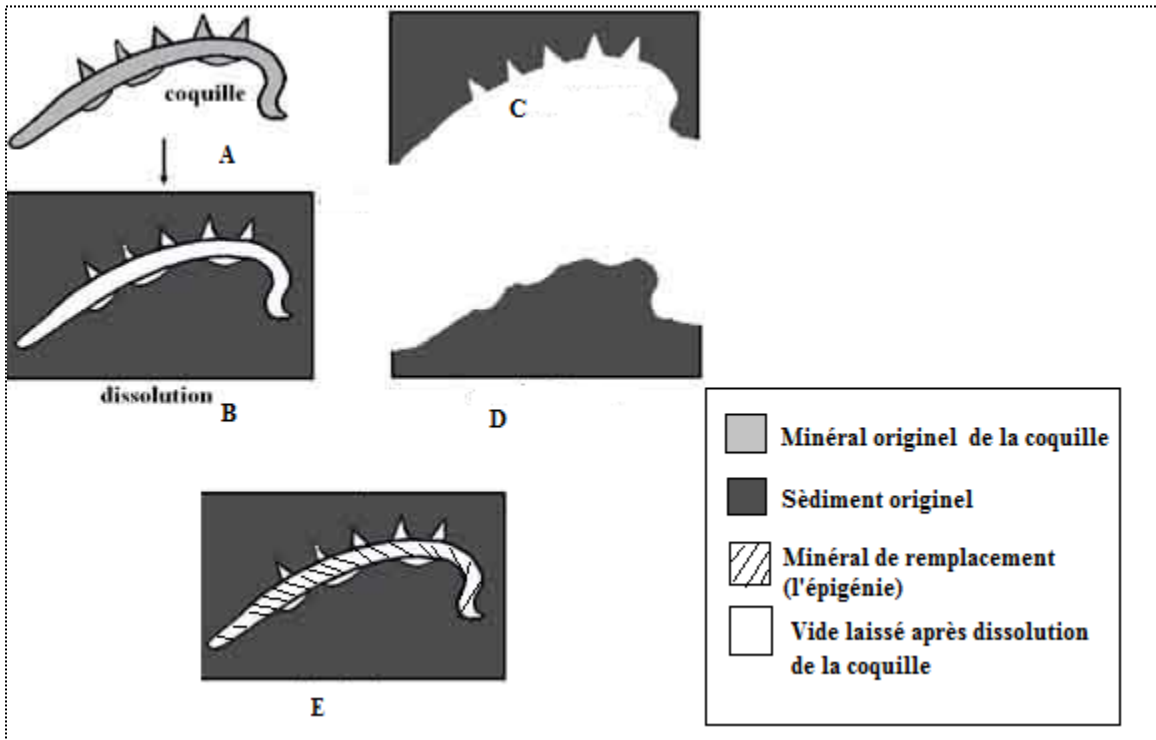
**Photo 8**



Traces de terriers  
Laboratoire de Géologie de Lyon / ENS Lyon

**Photo 9**

## Planche II



<https://www.geopolis.fr/download/fossile-paleontologie-fossiles.pdf>