

N° d'ordre : 3722

THESE

En vue de l'obtention du : **DOCTORAT**

Centre de Recherche : Centre Eau, Ressources Naturelles, Environnement et Développement Durable

Structure de Recherche : Laboratoire Géosciences Eau et Environnement (LGEE)

Discipline : Sciences de la Terre

Spécialité : Géosciences et géopatrimoine

Présentée et soutenue le 17/12/2022 par :

Soukaina LAHMIDI

Caractérisation et valorisation du patrimoine géologique pour un développement durable de la région de Zagora (Anti-Atlas Central, Maroc)

JURY

Larbi BOUDAD	PES, Université Mohammed V, Faculté des Sciences - Rabat	Président/ Rapporteur
Mohamed ACHAB	PES, Université Mohammed V, Institut Scientifique - Rabat	Rapporteur
Said ETTAZARINI	PH, Centre Régional des Métiers de l'Education et de la Formation- Casablanca- Settat	Rapporteur
Lahssen BAIDDER	PES, Université Hassan II, Faculté des Sciences Ain Chock - Casablanca	Examineur
Mohamed HILALI	PES, Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences -Meknès	Examineur
Bouchra BOUGARIANE	PH, Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences et Techniques - Errachidia	Examinatrice
Abdelouahed LAGNAOUI	PA, Université Hassan I, Ecole Supérieure d'Education et de Formation - Berrechid	Invité
Mohamed SAADI	PH, Université Mohammed V, Faculté des Sciences - Rabat	Co-directeur de Thèse
Tarik BAHAI	PH, Université Mohammed V, Faculté des Sciences - Rabat	Directeur de Thèse

Année Universitaire : 2021/2022

Dédicaces

*A la mémoire de mon cher frère M'hammed,
Au grand homme qu'il était.
A la personne modeste et optimiste qu'il était.
Au frère et fils que notre temps n'a pas connu son semblable.
Le cœur pleure sa mort alors que la raison fête son repos éternel. Si seulement le cœur pouvait raisonner !*

*A mon père,
A ce père qui voyait sa réussite dans celle de ses enfants.
A ce père, ami, qui n'a jamais cessé de m'encourager à suivre mes ambitions.
A ce père qui a toujours accueilli mes peurs et mes faiblesses avec les bons conseils pour que je puisse les surmonter.
A ce père qui croit en moi et qui n'a jamais vu mes échecs comme déception mais plutôt comme un bon début pour des choses meilleures, ce qui m'a toujours poussé à me relever et à continuer.
A mon père chéri qui n'est pas comme les autres.*

*A ma mère
A cette mère qui n'a pas eu l'occasion d'étudier, chose qu'elle pensait l'a freiné mais qui lui a donné toutes les forces pour m'inculquer l'amour d'apprendre.
A cette mère analphabète qui m'a dicté mon premier devoir d'expression écrite en arabe tout en choisissant soigneusement les expressions formelles, alors que je pleurais mon impuissance à rédiger.
A cette mère qui m'a enseigné ce que c'est la douceur de la mère et l'amour de la famille.
A ma mère chérie que je n'ai jamais pu passer une nuit loin d'elle, pendant un bon moment de mon enfance.*

*A la mémoire de ma grand-mère « Mey Lalla »,
Mon grand exemple de la femme forte et combattante.
A la mémoire de ma grand-mère qui me racontait des histoires la nuit pour m'endormir malgré son état de santé.
A la mémoire de cette femme que je n'ai connu que vieille dame et que je ne peux imaginer que la jeune femme forte, travailleuse acharnée et généreuse qu'elle a été à travers le grand homme qu'elle a élevé.*

*A la mémoire de mon grand-père « Ba sidi »
A la mémoire de cet homme qui me prenait dans ses bras et me racontait des histoires loufoques pour me faire rire.
A la mémoire de mon grand-père, l'homme, à la fois, sage et marrant dont je me rappelle.*

*A ma belle-mère Fatima
A cette femme qui sait partager nos moments de joie et de tristesse.
A la femme sérieuse et honnête qu'elle est.
Mille merci pour tout ce que tu as fait et pour tout ce que tu fais pour nous.*

*A mes chères sœurs Fatima Ezzahra et Amina.
A leur amour.*

A mon amie Hanane, pour la jeune femme combattante qu'elle est et pour tous ses gestes bluffants avec moi.

*Aux membres de la famille El Khadir à M'hamid E Ghizlane.
Pour leur accueil chaleureux, générosité et aide pendant mes missions de terrain.*

Remerciements

Ce travail a été réalisé au Laboratoire de Géosciences, Eau et Environnement de la Faculté des Sciences de l'Université Mohammed V-Rabat, sous la direction du défunt Monsieur Driss FADLI, professeur d'enseignement supérieur à la Faculté des Sciences de Rabat et la co-direction du Monsieur Tarik Bahaj, professeur d'enseignement supérieur à la Faculté des Sciences de Rabat. Après le décès du feu Pr. Driss FADLI les travaux de cette thèse ont été déroulés sous la direction du Pr. Tarik Bahaj et la co-direction du Pr. Mohamed Saadi.

A la mémoire du feu **Pr. Driss Fadli**, mon premier Directeur de thèse. Mes remerciements infinis pour m'avoir initiée à travailler sur le sujet, pour sa gentillesse et sa générosité, pour son humeur pour m'avoir fait toujours sentie à l'aise dans sa présence. Merci pour l'exemple du grand chercheur qu'il nous a donné et la passion pour le projet de Bani-Geopark. Pour nos discussions si enrichissantes et ses conseils, pour ses énormes efforts et ses sacrifices pour mener à bien l'initiative du Bani-Geopark, je lui suis reconnaissante.

Je voudrais remercier grandement **Pr. Tarik Bahaj**, grâce à qui ce travail a vu le jour, pour avoir accepté modestement de reprendre la direction de ce travail après le décès du Pr. Driss Fadli. Je tiens à vous remercier pour vos orientations, votre compréhension, votre soutien et surtout pour la confiance que vous m'avez apportée tout au long de mes années de thèse.

Je tiens à remercier **Pr. Mohamed Saadi**, mon co-directeur de thèse pour sa sympathie et ses qualités scientifiques et humaines. Je vous remercie pour vos orientations, vos encouragements et pour votre disponibilité à chaque fois que j'en avais besoin.

Je tiens à présenter mes sincères remerciements au **Pr. Larbi Boudad**, professeur de l'enseignement supérieur à la faculté des sciences Université Mohammed V- Rabat, qui m'a fait l'honneur de présider le jury et de rapporter mon travail. Je vous remercie également pour vos remarques pour améliorer mon travail ainsi que pour vos encouragements.

J'adresse mes vifs remerciements au **Pr. Mohamed Ahab**, professeur de l'enseignement supérieur à l'Institut Scientifique Université Mohammed V- Rabat, pour l'intérêt qu'il a porté à ma recherche en acceptant de rapporter mon travail et de l'enrichir par ses remarques et propositions.

Je remercie grandement **Pr. Said Ettazarini**, professeur de l'enseignement supérieur au Centre Régional des Métiers de l'Education et de la Formation- Casablanca- Settat, pour avoir accepté de faire partie des membres de jury. Je le remercie pour l'intérêt qu'il a exprimé pour mon sujet de thèse à travers les discussions que l'on a pu avoir le jour de ma soutenance et bien avant en soulignant la bibliographie et, encore plus particulièrement, la géo-éducation.

Je remercie vivement **Pr. Lahssen Baidder**, professeur de l'enseignement supérieur à la faculté des sciences Ain Chock Université Hassan II- Casablanca. Je suis très heureuse de sa présence dans le jury en tant qu'examineur. Je le remercie pour ses remarques et pour le partage de ses différentes connaissances géologiques et culturelles de la région de Zagora. Merci également pour vos qualités humaines.

Un grand merci que je voudrais présenter au **Pr. Mohamed Hilali**, professeur de l'enseignement supérieur à la faculté des sciences Université Moulay Ismail- Meknès, pour avoir fait partie des membres de jury et pour ses remarques et plus particulièrement celles qui ont concerné l'hydrogéologie de la zone d'étude. Merci également pour vos encouragements.

Je pense au **Pr. Bouchra Bougariane**, professeur de l'enseignement supérieur à la faculté des sciences et Techniques Université Moulay Ismail- Errachidia, que je remercie pour l'intérêt qu'elle a donné à mon travail en acceptant de l'examiner et en l'enrichissant par ses commentaires. Comme je la remercie pour ses qualités humaines.

Je tiens aussi à remercier **Pr. Abdelouahed Lagnaoui**, professeur à l'Ecole Supérieure d'Education et de Formation de Berrechid, pour m'avoir accompagnée durant ma première mission de terrain et pour toute sorte d'aide qu'il m'avait apportée au cours de mes années de thèse.

J'adresse mes sincères remerciements aux Docteurs:

- A Younes Taha Arrad pour m'avoir guidée à faire mes premiers pas dans le domaine du patrimoine géologique et la géoconservation.
- A Ayoub El Adnani pour ses encouragements, son aide avec les cartes et les modules numériques de terrain. J'aimerais également le remercier pour m'avoir accompagnée à mes missions de terrain.
- A Ilyas Berrada pour son aide apportée à chaque fois que j'en avais besoin.
- A Manar Adnani pour ses encouragements et pour m'avoir dotée de la bibliographie concernant les dunes éoliennes de la zone d'étude.

Je tiens à remercier également Pr. Ibrahim Komoo, Professeur émérite à l'Université Kebangsaan Malaysia, pour ses informations et ses conseils constructifs concernant la création des géoparcs.

Je tiens à remercier mon amie Dianna Sy Mohamed et Dr. Azmil, du Langkawi Global Geopark, pour m'avoir aidé à participer au cours régional des géoparcs tenu à Langkawi. Je remercie plus particulièrement Dianna pour m'avoir accueillie chez elle pendant mon séjour à Langkawi.

Résumé

Zagora, au sud-est du Maroc, est un musée à l'air libre où on rencontre différents éléments à valeurs patrimoniales, de type culturel et naturel et une longue histoire humaine qui remonte au paléolithique. Ce patrimoine naturel compte une géodiversité héritée de la chaîne de l'Anti-Atlas et son évolution géomorphologique notamment au cours du Quaternaire. On parle de vastes terrains qui datent du Précambrien au Quaternaire. Parmi ceux-ci, on spécifie les terrains ordoviciens qui abritent des sites à reconnaissance internationale regardant leur valeur paléobiogéographique, justifiant ainsi d'importante valeur scientifique, géo-éducative et géotouristique. Toutefois, de plus du vandalisme enregistré affectant certains de ces sites, lesdites valeurs restent méconnues. Dans la perspective de mettre en valeur et communiquer ce géopatrimoine dans un cadre managérial qu'est un géoparc, il a été prévu de faire intégrer Zagora au projet du géoparc Bani du sud du Maroc. Pour ce faire, ce travail fournit un inventaire des géosites et sites à géodiversité potentiels tout en évaluant qualitativement et quantitativement leur valeurs scientifiques, éducatives et touristiques selon la méthode de Brilha (2016). Le résultat obtenu décrit la grande valeur scientifique des géosites retenus qui est en relation avec leurs rôles dans la compréhension de l'histoire de la Terre et l'évolution géomorphologique de la zone d'étude. En outre, il met l'accent sur le grand potentiel éducatif et touristique des sites. L'analyse quantitative liée à l'évaluation du degré de dégradation des sites à valeur a permis de dégager les sites à prioriser dans la future stratégie de géoconservation à mettre en œuvre dans le cadre du projet du géoparc.

Mots- clés: Géodiversité, Géopatrimoine, Géoconservation, Géotourisme, Géo-éducation Bani Geopark, Zagora.

Abstract

Zagora, south-east of Morocco, is an open-air museum where one can meet various elements of heritage value, cultural, natural and a long human history that goes back to the Palaeolithic Period. This natural heritage includes geodiversity inherited from the Anti-Atlas chain and its geomorphological evolution, particularly during the Quaternary. We are dealing with vast terrains dating from the Precambrian to the Quaternary Period. Among these, the Ordovician terrains are particularly highlighted as they host sites of internationally recognised regarding paleo-biogeographic value. Thus, they justify important scientific, geo-educational and geotourism values. However, in addition to the recorded vandalism that has affected some of these sites, these values remain unrecognised. In order to promote and communicate this geoheritage and geodiversity within the framework of a geopark, it was planned to include Zagora province into Bani Geopark Project of the south of Morocco. For this purpose, this research provides an inventory of potential geosites and geodiversity-sites assessing, qualitatively and quantitatively, their scientific, educational and tourism values, according to the criteria of Brilha's (2016) quantitative method. The obtained result describes the high scientific value of the selected geosites which is related to their contribution to the understanding of the Earth's history and the geomorphological evolution of the study area. Furthermore, it emphasises the high educational and tourism potential of the geosites and geodiversity-sites. The quantitative risk degradation degree assessment carried out has made it possible to decide on the priority of sites in the geoconservation strategy to be undertaken within the framework of the geopark project.

Key Words: Geodiversity, Geoheritage, Geoconservation, Geotourism, Geo-education, Bani Geopark, Zagora.

ملخص

إن المنطقة المحيطة بزاكورة في جنوب شرق المغرب متحف في الهواء الطلق، يعرض عناصر تراثية ذات خواص ثقافية وطبيعية ويسرد التاريخ البشري الممتد من العصر الحجري القديم، حيث إن الإرث الطبيعي يحمل تنوعا بيولوجيا ذو طابع صحراوي وتنوعا جيولوجيا يشكل امتدادا لسلسلة جبال الأطلس الصغير وتطورها الجيومورفولوجي على مدى العصر الرباعي. يتعلق الأمر بمقاطع جيولوجية كبيرة تكونت ما بين العصرين قبل الكمبري والرباعي، ولا تزال تشكل محور أبحاث علمية في ما يتعلق بالحفريات والرواسب والطبقات والجيومورفولوجيا والصخور والبنية الجيولوجية. وتتطرق هذه الرسالة بالخصوص لمقاطع تعود للعصر الأوردوفيشي، تضم مواقع ذات أهمية جيولوجية عالمية بالنظر إلى تكوينها البيولوجي والجيولوجي، ما يفسر أهميتها على مستوى الأبحاث والتكوين والسياحة الجيولوجية، رغم أنها لم تسلم من التخريب في ظل عدم الوعي بقيمتها. وفي هذا الإطار، ومن أجل التحسيس بأهميتها والتعريف بهذا الإرث الجيولوجي الغني في تنوعه في إطار مهيكّل، اختير إدراج إقليم زاكورة في مشروع المنتزه الجيولوجي جيوبارك جبل باني الواقع جنوب المغرب. ومن أجل ذلك، تقدم هذه الأطروحة مسحا للمواقع الجيولوجية الغنية في تنوعها، وتضع تقييما نوعيا وعدديا لأهميتها العلمية والتربوية والسياحية، وفق معايير بريليا (2016)، وتوضح بذلك بناءا على نتائجها القيمة العلمية العالية لهذه المواقع الجيولوجية وتفتح الباب أمام فهم تكوينها وتطورها الجيومورفولوجي. وبشكل عام، تبرز هذه الأطروحة المكتسبات التي يمكن أن تقدمها المواقع الجيولوجية والمقاطع الجيولوجية الغنية في تنوعها للدارسين وللعموم، عن طريق اقتراح مسارات تعليمية وسياحية تطور مفهوم السياحة الجيولوجية في المنطقة وتعزز المسارات الموجودة مع المساعدة في تغيير بعض السلوكيات، بشكل يساهم في تنمية اقتصادية عقلانية ومستدامة للجهة. وحيث أن المسح يشمل أيضا تقييم حالة المواقع ذات الأهمية فإن هذا العمل عمد إلى حصر المواقع المهددة لتكون ذات أولوية في برنامج الحماية الذي يتضمنه مشروع المنتزه الجيولوجي. وبحثا عن التعريف بالإرث الجيولوجي للمنطقة، فقد تبين أن الجمع بين مسار البحث ودراسة الآثار الأركيولوجية المحلية يساهم في كشف خبايا التنوع الجيولوجي وقيّمته من جهة، ومن جهة أخرى فإن استبيان العلاقة بين الموروث الثقافي والتنوع البيولوجي بالمنطقة -الذي يحظى بتدابير حمائية- وكذا التنوع الجيولوجي، يساهم بدوره بشكل أساسي في البرهنة على قيمة الموروث اللاإحيائي وبالتالي المساهمة في الحفاظ عليه.

الكلمات المفتاح: التنوع الجيولوجي، التراث الجيولوجي، الحفظ الجيولوجي، السياحة الجيولوجية، التعليم الجيولوجي، المنتزه الجيولوجي باني، زاكورة.

Table des matières

Dédicaces.....	i
Remerciements.....	ii
Résumé.....	iv
Abstract.....	v
ملخص.....	vi
Liste des abréviations.....	xii
Liste des tableaux.....	xii
Liste des figures	xiii
Introduction générale.....	1

Partie1 : GENERALITES, PROBLEMATIQUE ET METHODOLOGIE

Chapitre 1: Généralités

1. La géodiversité.....	11
2. La patrimonialisation et le géopatrimoine	12
2.1. Le processus de patrimonialisation.....	12
2.2. Le géopatrimoine	13
3. Le géotope, géosite, géomorphosite.....	13
3.1. Géotope et géosite	13
3.2. Typologie des géosites.....	14
4. Management de la géodiversité et du géopatrimoine.....	17
4.1. Identification et évaluation	17
4.2. Valorisation et promotion de la géodiversité et du géopatrimoine.....	20
4.3. Géoparcs	24
5. Le système d'information géographique et le géopatrimoine	32
5.1. Généralités	32
5.2. Utilisation du système d'information géographique en géopatrimoine.....	32

Chapitre 2: Problématique

1. Problématique.....	34
2. Objectifs	34
1. Introduction	36
2. Inventaire	36
2.1. Inventaire des géosites.....	38
2.2. Inventaire des sites à géodiversité	39
3. Evaluation	39
3.1. Evaluation quantitative de la valeur scientifique.....	40
3.1. Potentiel d'utilisation.....	42
4. Evaluation du risque de dégradation	42

5. Apport du système d'information géographique	46
5.1. Données Raster	47
5.2. Données Vecteur.....	47

Partie 2: CADRE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE

Chapitre 1: Cadre géographique

1. Situation géographique	50
2. Découpage administratif.....	50
3. Cadre climatique	51
4. Hydrologie et hydrogéologie.....	52
4.1. Eau de surface.....	52
4.2. Eau souterraine	55
5. Pédologie	56

Chapitre 2: Cadre géologique

1. Introduction	58
2. Cadre structural régional et paléogéographique.....	58
2.1. Phases Panafricaines	60
2.2. Phases pré-varisques.....	62
2.3. Orogenèse hercynienne.....	63
2.4. Mouvements post-hercyniens	63
3. Lithostratigraphie	64
3.2. Cambrien	65
3.3. Ordovicien	66
3.4. Silurien.....	73
3.5. Dévonien.....	74
3.6. Couverture cénozoïque	74

Chapitre 3: Cadre géomorphologique

1. Introduction	79
2. Aperçu de l'évolution du relief de la zone d'étude.....	79
3. Les unités géomorphologiques de la zone d'étude.....	80
3.1. Reliefs montagneux	80
3.2. La plaine des Feijas	81
3.3. Les regs.....	81
3.4. Les cônes alluviaux	81
3.5. Les terrasses alluviales	82
3.6. Oued Draa.....	82

3.7.	Les dunes éoliennes	83
3.8.	Caractéristiques et source des sédiments	88

Chapitre 4: Démographie et économie

1.	Introduction	93
2.	Démographie.....	93
3.	Infrastructure de base.....	93
3.1.	Réseau routier	93
3.2.	Transport.....	93
3.3.	Infrastructure sanitaire	94
4.	Ressources économiques	94
4.1.	Commerce.....	94
4.2.	Souks hebdomadaires	95
4.3.	Tourisme	95
4.4.	Agriculture.....	96

Partie 3: IDENTIFICATION ET EVALUATION QUANTITATIVE DES GEOSITES ET SITES A GEODIVERSITE

Chapitre 1: Identification et évaluation qualitative des géosites et sites à géodiversité potentiels

1.	Introduction	99
2.	Identification et inventaire	99
3.	Evaluation qualitative	102
3.1.	Géosites et sites à géodiversité d'Ordovicien inférieur	102
3.2.	Géosites et sites à géodiversité d'Ordovicien Moyen	105
3.3.	Géosites et sites à géodiversité d'Ordovicien Supérieur	112
3.4.	Géosites et sites à géodiversité du Quaternaire	119

Chapitre 2: Evaluation quantitative

1.	Introduction	129
2.	Evaluation quantitative de la valeur scientifique des géosites	129
2.1.	Représentativité	129
2.2.	Localité clé	131
2.3.	Connaissances scientifiques	131
2.4.	Intégrité.....	131
2.5.	Géodiversité.....	131
2.6.	Rareté.....	142
2.7.	Les limites d'utilisation	142
3.	Evaluation quantitative du potentiel d'utilisation des géosites et sites à géodiversité.....	142
3.1.	Critères communs	144

3.2.	Critères spécifiques à la géo-éducation	145
3.3.	Critère spécifiques au géotourisme.....	146

Chapitre 3: Risque de dégradation et management des géosites et sites à géodiversité

1.	Introduction	148
2.	La législation marocaine et la géoconservation	148
3.	Evaluation quantitative du risque de dégradation des géosites et sites à géodiversité.....	149
3.1.	Détérioration des éléments géologiques	149
3.2.	Proximité de zones et d'activités susceptibles de provoquer des dégradations.....	149
3.3.	Protection légale	150
3.4.	Accessibilité.....	151
3.5.	Densité de population	151
4.	Valorisation des géosites et sites à géodiversité inventoriés	151
4.1.	Géosites relatifs aux schistes de Fezouata	151
4.2.	Géosites relatifs à la formation de Zini	152
4.3.	Géosites et sites à géodiversité relatifs aux oasis	152
4.4.	Géosites relatifs aux ergs et regs	153
4.5.	Sites à géodiversité lithiques	153

Partie 4: INTEGRATION DE LA GEODIVERSITE ET DES AUTRES ASPECTS DU PATRIMOINE DE ZAGORA (ARCHEOLOGIQUE, BIOLOGIQUE ET CULTUREL)

Chapitre 1: Intégration du patrimoine géologique et archéologique pour la valorisation de la géodiversité au sein du Bani Geopark – cas du géosite de Foug Larjamme-

1.	Introduction	154
2.	La géoconservation au Maroc et le projet de Géoparc de Bani	155
3.	Cadre géologique et valeur scientifique géologique de Foug Larjamme	155
4.	Valeur historique de Foug Larjamme.....	156
5.	Valeur archéologique de Foug Larjamme	158
5.1.	Inventaire des éléments archéologiques	159
6.	Archéologie de Foug Larjamme et le vandalisme	162
7.	Connecter l'être humain au géopatrimoine par le biais du patrimoine archéologique	163
7.1.	L'enrichissement mutuel	165
7.2.	Contribution à la géoconservation via la géo-éducation	165
7.3.	Géotourisme.....	166

Chapitre 2: Intégration des composantes biotique, abiotique et culturelle dans le management du capital naturel de Zagora via le projet du Bani

1.	Introduction	168
2.	La biodiversité à Zagora et ses liens avec la culture et la géodiversité locales	169

2.1.	Faune	169
2.2.	Flore.....	173
2.3.	Liens entre la biodiversité et la géodiversité locales	176
2.4.	Position de la biodiversité dans la culture locale.....	177
3.	Parc national Iriqui	178
4.	Réserve de Biosphère UNESCO de Zagora	179
4.1.	Réserve de Biosphère UNESCO	179
4.2.	<i>Caractéristiques des Oasis de Zagora</i>	179
4.3.	La convergence de la géodiversité, la diversité culturelle et la biodiversité dans le paysage oasien du sud est marocain.....	181
5.	Intégration de la géodiversité dans les stratégies nationales de conservation à travers le projet de Bani Geopark	181
5.1.	L'approche holistique du projet de Bani Geopark.....	181
5.2.	Bani Geopark est un outil pour valoriser les valeurs historiques et culturelles des oasis	183
6.	La superposition du Bani Geopark, la Réserve de Biosphère UNESCO de Zagora et du parc national Iriqui	183
6.1.	Opportunités et risques	183
6.2.	La possibilité de réaliser une synergie et une situation gagnant-gagnant pour les trois territoires	184
6.3.	Atteindre des effets de synergie pour la géoconservation et le géotourisme.....	184
6.4.	La conservation et la promotion des oasis de Zagora est une conservation de son géopatrimoine et de sa géodiversité	185
 Chapitre 3: Exemples de géo-circuits pour la promotion de la géodiversité et le géopatrimoine de Zagora		
1.	Introduction	187
2.	Offres et circuits touristiques habituels conduits dans la zone d'étude	187
2.1.	Arrêts et randonnées au niveau des ergs et des oasis	188
2.2.	Les Ksours et Kasbahs.....	190
2.3.	Les festivals modernes et Moussems séculaires.....	191
3.	Proposition de géo-circuits	192
3.1.	Géo-circuit1 : Evolution de la plate-forme du Nord Gondwana au cours d'Ordovicien	192
3.1.5.	Arrêt 5	196
3.2.	Géo-circuit 2 à Foum Larjamme : Intégration de la géologie et de l'archéologie...	198
4.	Management des géosites et sites à géodiversité	207
Conclusions générales et perspectives.....		210
Références bibliographiques.....		212

Liste des abréviations

SIG	Système d'information géographique
VS	Valeur scientifique
PE	Potentiel éducatif
PT	Potentiel touristique
GSSP	Global Boundary Stratotype Sections and Points
ASSP	Auxiliary boundary Stratotype Section and Point
UISG	International Union of Geological Sciences
IMA	International Mineralogical Association
DEM	Modèle numérique de terrain de la zone d'étude

Liste des tableaux

Tableau 1: Typologie des géotopes (Reynard, 2004).....	15
Tableau 3: critères d'évaluation et de sélection des géosites (Brilha, 2016)	38
Tableau 4: Critère de sélection et d'évaluation des sites à géodiversité ayant une valeur éducative (Brilha, 2016)	38
Tableau 5: Critère de sélection et d'évaluation des sites à géodiversité ayant une valeur touristique (Brilha, 2016)	38
Tableau 6: Pondération des différents critères utilisés pour l'évaluation de la valeur scientifique des géosites (Brilha, 2016)	40
Tableau 7: Grille de notations utilisées pour l'évaluation quantitative de la valeur scientifique des géosites (Brilha, 2016)	41
Tableau 8: Pondérations des différents critères utilisés pour l'évaluation des utilisations éducatives et touristiques potentielles (Brilha, 2016)	43
Tableau 9: Grille de notations utilisées pour l'évaluation quantitative du potentiel éducatif et touristique des sites (critères communs) d'après Brilha, 2016.....	44
Tableau 10: Grille de notations utilisées pour l'évaluation quantitative du potentiel éducatif et touristique des sites (critères spécifiques) d'après Brilha, 2016.	45
Tableau 11: Pondérations des critères d'évaluation quantitative du risque de dégradation (Brilha, 2016).....	46
Tableau 12: Grille de notations utilisées pour l'évaluation quantitative du risque de dégradation des sites (Brilha, 2016)	47
Tableau 13: Découpage administratif de la zone d'étude (Direction Régionale de Drâa-Tafilalet, 2015).....	51
Tableau 14: Synthèse de l'évolution sédimentologique, lithologique et tectonique de la zone d'étude.....	78
Tableau 15: Superficie des champs de dunes dans la région du Coude Draa dans les années 1932, 1954, 1989, 1999/2006 (Dłużewski, 2003 ; 2008).....	84
Tableau 16: Répartition des souks par commune.....	95
Tableau 17: Superficies cultivées des palmeraies de la zone d'étude (Direction Provinciale de Zagora, 2008).	96
Tableau 18: Inventaire des géosites et sites à géodiversité sélectionnés.....	100
Tableau 19: Distribution chronologique des sites lithiques. Chronologie de l'industrie lithique au Maroc selon Biberson, 1966.....	127
Tableau 20: Evaluation quantitative de la valeur scientifique des géosites.	130
Tableau 21: Description et interprétation des structures de litage croisé.....	133
Tableau 22: Description des types d'instabilités naturelles des pentes au niveau du géosite de Fout Larjamme.	138
Tableau 23: Evaluation quantitative du potentiel éducatif des géosites et sites à géodiversité	143
Tableau 24: Evaluation quantitative du potentiel touristique des géosites et sites à géodiversité ..	143

Tableau 25: Evaluation quantitative du risque de dégradation des géosites et sites à géodiversité .	150
Tableau 27: Caractéristiques naturelles, culturelles et socio-économiques du cercle de Zagora en faveur de la création d'un géoparc.	209

Liste des figures

Fig. 1:Processus de patrimonialisation de la géodiversité (Modifié d'après Di Méo, 2008 ; Martin, 2013).	13
Fig. 2: Exemples de géosites au géoparc mondial de Lesvos en Grèce. A. Géosite structural : miroir de la faille Aghia Paraskevi qui est associée à l'histoire sismique de la région. B. Géosite volcanique : dôme de Pithari, créée par la pénétration du socle géologique par la montée du magma. C. Géosite hydrologique de Polychnitos : source d'eau chaude (87,6°C). D. Géosite fossilifère de Petrified Forest Sigri Park : tronc pétrifié bien conservé d'angiosperme. (Photos prises lors d'une visite du géoparc de Lesvos).	16
Fig. 3:Géomorphosite Kilim Karst Geoforest Park au géoparc mondial de Langkawi. Il s'agit des pics pointus en forme d'aiguille formés par l'érosion des calcaires sous l'action de la pluie. (Photo prise lors d'une visite du géoparc de Langkawi).	17
Fig. 4: Exemples de produits géo-touristiques pour promouvoir le patrimoine paléontologique au géoparc mondial UNESCO de Langkawi. A. Des mascottes sous forme de trilobites qui accueillent les visiteurs du Centre de découverte du géoparc de Langkawi à Kilim Geoforest. B. Des biscuits sous forme de trilobites vendus au même centre. C. Exemples de souvenirs conçus manuellement par des locaux à partir des coques de noix de coco. (Photos prises lors d'une visite du géoparc de Langkawi).	20
Fig. 5 : Exemples des activités de géoconservation au géoparc mondial de Lesvos. A. Protection d'un tronc d'arbre pétrifié pour le déplacer. B. Conservation in situ à Petrified Forest Sigri Park C. Conservation in situ tout près du musée d'histoire naturelle de Lesvos Petrified Forest. D. Utilisation des barrières pour protéger une source hydrothermale au géosite de Polychnitos. (Photos prises lors d'une visite du géoparc de Lesvos).	21
Fig. 6: Exemples d'activités géo-éducatives au musée d'histoire naturelle de Lesvos Petrified Forest. A. zone d'excavation, appelée Georama, où les enfants peuvent se familiariser avec la recherche scientifique en utilisant des outils et des équipements d'excavation pour dégager des fossiles de plantes, les nettoyer et les identifier. B. Simulateur de tremblement de terre entraîner et préparer le grand public au tremblement de terre qui guette l'île de Lesvos. (Photos prises lors d'une visite du géoparc de Lesvos)	22
Fig. 7: Exemples d'activités géo-touristiques au géoparc mondial UNESCO de Langkawi. A. Voyage en bateau à la découverte de Kilim Geoforest, l'observation et nourrissage des aigles, appelés localement Langkawi. B. L'une des entrées de la grotte Gua Kelwar équipée de panneau d'instructions visant à protéger le visiteur ainsi que l'environnement naturel. C. Pont suspendu avec des points d'observation au géosite de Machinchang Cambrian Geoforest Park D. Téléphérique au géosite de Machinchang Cambrian Geoforest Park. (Photos prises lors d'une visite du géoparc de Langkawi).	24
Fig. 8: A. Mangroves le long de rivière. Des racines aériennes au-dessus de l'eau pour nourrir ceux qui sont enterrés dans la boue privée d'air. B. Bateaux destinés à l'exploration des géosites et biosites de Kilim Karst Geoforest Park. (Photos prises lors d'une visite du géoparc de Langkawi).	25
Fig. 9: A-B-C. Exemples d'expositions des espèces animales locales au centre de recherche de Langkawi. C-D. Exemples des expositions des objets culturels au complexe artisanal de Langkawi. E. Apiculture gérée par des locaux au complexe artisanal de Langkawi. (Photos prises lors d'une visite du géoparc de Langkawi)	27
Fig. 10: A. Géosite de Tafoni : altération en nid d'abeille, des cavités sphériques de plusieurs dimensions aux parois lisses et concaves, créées par un vent intense sur les roches volcaniques. B. Orgues basaltiques de Pelopi formées suite au refroidissement rapide d'intrusions de lave dans des matériaux pyroclastiques tendres sur les flancs du volcan de Leptymnos sur l'île de Lesvos. C. Une des failles actives de Vatera. D. Sites historiques du Château de Molyvos. (Photos prises lors d'une visite du géoparc de Lesvos)	28

Fig. 11: A. Expositions des troncs d'arbres pétrifiés au musée d'histoire naturelle de la forêt pétrifiée de Lesvos. B. Des modèles et reconstitutions pour expliquer l'histoire géologique de la région de la mer Égée. C. Expositions d'anciens outils d'exaction et de stockage d'Ouzo à la distillerie de ce vin. D. Expositions d'anciens outils et emballages d'huile d'olive au musée d'huile d'olive à Agia Paraskevi. (Photos prises lors d'une visite du géoparc de Lesvos).	29
Fig. 12: Exemples de géopatrimoine de géoparc mondial de M'Goun. A. Géosite volcanique de Taghia. B. Géomorphosite des cascades d'Ouzoud. C. Géomorphosite du lac de Bine El Ouidane. D. Géosite paléontologique des pas de dinosaures de petits théropode. E. Squelette du dinosaure Atlasaurus. (Source : www.geoparc-mgoun.ma)	30
Fig. 13: A. Site archéologique des gravures rupestres de Tizi n'Tighis montrant des cavaliers avec lances et boucliers. B. Site architectural du grenier de Sidi Moussa Tabant. (Sources : www.geoparc-mgoun.ma)	30
Fig. 14: Musée d'Azilal. A. Architecture en coupoles du musée. B. Exemple d'expositions de géopatrimoine au musée. (Sources : www.geoparc-mgoun.ma)	31
Fig. 15: Situation géographique du projet de Bani Geopark (Berred et al., 2019a)	32
Fig. 16: Procédure d'évaluation modifiée d'après Brilha, 2016	37
Fig. 17: Organigramme de la création et la gestion de la base de données SIG.	48
Fig. 18: Mosaïquage des extraits des cartes géologiques (Zagora coude de Draa, Bou-Haiara Zegdou, Ouarzazate Alougoum et Saghro Dadés (1/200 000)).	49
Fig. 19: A. Situation géographique de la zone d'étude ; B. Découpage administratif de la région Draa-Tafilalet C. Découpage communal du cercle de Zagora (Direction Régionale de Drâa-Tafilalet, 2015).	50
Fig. 20: Réseau hydrographique du cercle de Zagora sur fond de modèle numérique de terrain	53
Fig. 21: A. Réseau de tout ruissellement drainant une surface de 10ha dans le cercle de Zagora. B. Réseau de ruissellement dans une zone à relief fort. C. Réseau de ruissellement dans une plaine. (élaboré à partir d'un module numérique de terrain de résolution de 30m. Sa modélisation a pris comme paramètre de tracé tous les écoulements qui drainent une surface supérieure à 10 ha.)	54
Fig. 22: A. Guelta au sud de Tagounite remplie d'eau au cours de fortes pluies (en 2018), cette stagnation d'eau est favorisée par l'effet de la plaine qui freine l'eau. B. Ruissellement concentré dans le lit d'Oued Draa à l'Est de M'Hamid El ghizlane durant les fortes pluies de l'année 2018...55	55
Fig. 23: Types de sols au niveau du cercle de Zagora (Direction Régionale de Drâa-Tafilalet, 2015).	57
Fig. 24: A. Situation géographique de la zone d'étude; B. Carte géologique de la zone d'étude (Compilation des données des cartes géologiques : Zagora coude de Draa, Bou-Haiara Zegdou, Ouarzazate Alougoum et Saghro Dadés (1/200000), Destombes et al., 1985, Robert-Charrue, 2006 et Clerc, 2012).	59
Fig. 25 : Découpage chronostratigraphique du Paléozoïque (Ogg et al., 2008) et des grands cycles orogéniques et principales phases orogéniques (Foucault et Raoult, 2001, Marante, 2008).	60
Fig. 26: Modèle de reconstruction géodynamique de la chaîne Anti-Atlasique pendant le cycle panafricain : Hypothèse de deux arcs (Admou et al., 2013, Soulaïmani et Hefferan, 2017; Soulaïmani et al., 2018).	61
Fig. 27: Paléogéographie de l'Ordovicien supérieur/Silurien inférieur illustrant la calotte glaciaire de l'Hirnantien (Ruban et al., 2007 ; Assine et Warren, 2021).	62
Fig. 28: Modèle évolutif du style structural de l'Anti-Atlas oriental et central (Bump, 2003 ; Robert-Charrue, 2006)	63
Fig. 29: Coupe géologique (C1) (Robert-Charrue, 2006)	64
Fig. 30: A. Subdivision stratigraphique de l'Anti-Atlas central (Michard et al., 2008). B. Subdivision stratigraphique de la Formation de Fezouata (Vidal, 1998 ; Destombes, 2006 ; Kröger et Lefebvre, 2012).	65
Fig. 31: Coupe (C2)- type des divers groupes et formations de l'Ordovicien dans l'Anti-Atlas central (Destombes, 2006).	66
Fig. 32: Affleurement de la Formation supérieure des Schistes de Fezouata au sud-est de l'anticlinal de Jbel Boudehir (G)	67
Fig. 33: Grès gris-noire de la Formation de Tachilla avec ; A-B. niveau oolithique ferrugineux, C. Structure cone-in-cone.	68

Fig. 34: Découpage lithostratigraphique de l'Ordovicien dans l'Anti-Atlas (Choubert, 1942). Découpage lithostratigraphique d'Ordovicien moyen à Zagora (Destombes, 1985, Marante, 2008)	69
Fig. 35: Affleurement des schistes de Ktaoua supérieure surmontés par le groupe du Deuxième Bani au col de Ben Selmane.	70
Fig. 36: Subdivision stratigraphique du groupe du Deuxième Bani à Foum Larjamme d'après Sutcliffe et al., 2001.	71
Fig. 37: Le contact discordant entre les grès de la formation inférieure et les conglomérats de la formation supérieure du Deuxième Bani.	72
Fig. 38: Stratigraphie de l'Ordovicien supérieur de Foum Larjamme, simplifiée à partir de Ravier et al. 2015 ; Clerc et al. 2013.	73
Fig. 39: Vue panoramique de la surface d'érosion glaciaire au sud de Zagora.	73
Fig. 40: Affleurement des schistes siluriens au niveau d'Oasis Oum Laalag.	74
Fig. 41: Schéma représentant les faciès du Quaternaire dans la vallée de Draa (Chamayou et al., 1977).....	76
Fig. 42: Modèle numérique de terrain de la zone d'étude.....	80
Fig. 43: Vue frontale de la cuesta du Premier Bani.	81
Fig. 44: Vues panoramiques au Nord –Oouest de M'hamid El Ghizlane. A. Vue panoramique d'étendu de reg, cônes alluviaux avec le versant sud de cuesta; B. vue panoramique des cônes alluviaux montrant leur surface convexe.	82
Fig. 45: Réseau hydrographique du cercle de Zagora avec répartition des sites archéologiques retenus dans le présent inventaire.....	83
Fig. 46: Vue panoramique d'Erg Chgaga.....	84
Fig. 47: Dune de type étoile à Erg Chgaga.	85
Fig. 48: Types de dunes majeures : A. Barkhane ; B : Barkhanoides ; C. Dunes linéaires ; D. Dunes étoile ; E. dunes Transverses ; F. Dunes de type parabole (modifiée d'après McKee, 1979 par Lancaster, 2013).	85
Fig. 49: Succession des dunes linéaires composées à Erg Mezouaria.	86
Fig. 50: Dune de type nebka.....	86
Fig. 51: Des dunes barkhanes à Erg Lihoudi.	87
Fig. 52: Dunes transverses à Erg Mezouaria.	88
Fig. 53: Composition minérale et lithologique des sédiments des formes dunaires de la région de Coude de Draa ; échantillons 1-14. (Barczuk et Dłużewski 2003 ; 2008).	89
Fig. 54: Composition minérale et lithologique des sédiments dunaires recueillis le long de la dune N° 8 (Barczuk et Dłużewski 2003 ; 2008).	90
Fig. 55: Carte d'infrastructure de base de la zone d'étude.	94
Fig. 56: Carte de répartition des géosites et sites à géodiversité.....	101
Fig. 57: Exemples des premiers spécimens de Fezouata exceptionnellement conservés découverts par Ben Moula : A. Géosite TIZ-PAL01. B. Arthropode marrellomorphe, appartenant probablement au genre Furca. C. Le plus ancien arthropode cheloniellidé. D. Spécimen subadulte de la plus ancienne limule (Lefebvre et al., 2016).....	103
Fig. 58: Corps-fossiles provenant des géosites TER-PAL02 et TEER-PAL03. A- B. Restes de trilobites avec des corps indistincts. C- D. Corps fossiles d'arthropodes. E. Fragments de graptolites. F-H. Divers fossiles de brachiopodes. I. Présence massive de gastéropodes. (Barre d'échelle = 1 cm).....	104
Fig. 59: Les deux cycles sédimentaires de l'Ordovicien inférieur et début d'Ordovicien moyen (D'après Marante in Gasquet et al., 2001)	105
Fig. 60 : Les éléments stratigraphiques de des géosites TER-STR02 et TER-STR03. A. Série condensée représentée par le point TER-STR02. B. Traces de coquilles de brachiopodes et des bryozoaires. C. Hard-ground représenté par le point TER-STR03. D. Reste d'un corps-fossile de trilobite. E. Reste de corps-fossile de graptolite.....	106
Fig. 61: A. Image (Google Earth 2022) du dôme de Tafena (TAF-STR01). B. Coupe NW-SE (BB') de l'anticlinal de Tafena.	107
Fig. 62: Faille inverse affectant le géosite TAF-STR01. A. Vue panoramique de la faille. B. Courbures des deux couches ductiles au contact de la faille. C. Schéma présentant les	

comportements cassant (couche1) et ductile (couches 2 et 3) des couches géologiques du géosite.	108
Fig. 63 : Vue de la face sud de Cuesta de Bani. A. Vue panoramique des buttes témoins de la cuesta de Bani depuis le point TAG-GEO03. B. Vue de dessus des buttes témoins sur World Imagery avec le réseau de ruissellement.	109
Fig. 64 : A. Vue panoramique de cuesta de Bani depuis le géosite TAG-GEO03. B. Schéma illustrant l'escarpement du Jbel Bani.	110
Fig. 65: Vue panoramique du site à géodiversité TER-GEO04.	111
Fig. 66: Site à géodiversité BNZ-GEO01. A. Vue panoramique du BNZ-GEO01. B. Architecture locale. C. Oued Draa traversant l'oasis de Beni Zouli.	112
Fig. 67: Schéma des relations entre les associations de faciès dans la formation supérieure du Deuxième Bani (Le Heron, 2007).	114
Fig. 68: Modèle de formation et de remplissage sédimentaire des vallées tunnel de Foug Larjamme. A : Migration latérale des chenaux à travers le temps pendant les réseaux de chenaux tressés en régime permanent. B : Crues épisodiques formant des chenaux individuels, 1, 2, 3, 4 événements de crues multiples. C : La vallée tunnel est remplie par un cône d'épandage subaquatique marginale de glace (Ravier et al. 2015).	115
Fig. 69: Diagramme synthétique représentant les principales caractéristique la vallée tunnel de Foug Larjamme et les processus impliqués dans sa formation, y compris son environnement de dépôt et sa relation avec la distribution géographique des flux de glace (Ravier et al. 2015).	116
Fig. 70: Grès bioturbé. A-E. terrier circulaire en forme d'entonnoir appartenant à Monocraterion ; B. Trace de repos de bivalves appartenant à Lockeia ; C. terrier horizontal Planolites préservé sur le plan de litage ; D. terrier horizontal indéterminé; F. Petites rides qui pourraient être des vestiges de tapis microbiens.	117
Fig. 71: Géosite TAG-GEO01; A. Vue panoramique du géosite ; B. Les différents éléments géomorphologiques du géosite ; C. Cônes alluviaux et dunes de sable fixées par la végétation d'Acacia D. Schéma des cônes alluviaux ; E. Vue d'intérieure de la palmeraie de Tagounite ; F. Transport éolien de sédiments sableux.	119
Fig. 72: A. Vue panoramique du géosite OUM-STR01 ; B. Vue de près de la discordance entre les dépôts péliques siluriens et les dépôts fluviatiles du Quaternaire.	120
Fig. 73: Géosite OUM-HYD02. A. Vue panoramique de l'Oasis Sacrée Oum Laalag. B. Cours d'eau de Oum Laalag.	122
Fig. 74: étendu du reg traversé par des affluents d'Oued Draa.	123
Fig. 75: A. Carte de la distribution des géosites géomorphologiques des ergs à M'hamid El Ghizlane. B. Image d'Erg central Mezouaria. C. Vue panoramique d'Erg central Mezouaria. D. Vue panoramique d'Erg central Chgaga. E. Des barkhanes à Erg Lihoudi. F. Vue panoramique de la face SE d'Erg Ezzehar. G. Image d'Erg central Ezzehar.	125
Fig. 76: A. Sable envahissant un hôtel. B. Sable envahissant la palmeraie de M'hamid El Ghizlane. C. Site à géodiversité. Utilisation des plantes locales pour bloquer l'avancement de sable au niveau de la route nationale qui mène à M'hamid El Ghizlane.	126
Fig. 77: Quelques outils archéologiques bifaces retrouvés au niveau du site à géodiversité BEN-LIT2.	128
Fig. 78: A. Rides de courant ; B. Grès affecté par un réseau de micro-failles ; C. Dépôts de grès conglomératique au-dessus de l'incision glaciaire ; D. Unité conglomératique sous-glaciaire.	132
Fig. 79: Types de stratifications à Foug Larjamme ; A-B. Grès à Hummocky cross-stratification (Hummocks et Swales de grande taille) ; C. Grès à litage croisé de la formation inférieure de Deuxième Bani. D. Grès à stratification parallèle de la formation supérieure de Deuxième Bani. E. Schéma de stratification parallèle.	134
Fig. 80 : A. Vue panoramique SE-NW de la vallée du tunnel de Foug Larjamme permettant de suivre la profondeur de l'incision glaciaire en suivant les cinq lits de grès latéralement étendus comme marqueurs ; 1, 2 : Schémas interprétatifs de la vue panoramique. B. Vue panoramique NW-SE du géosite.	136
Fig. 81: A. Grès stratifié fracturé par des familles de diaclases. B. Erosion en pelure d'oignon affectant les grès du géosite.	137

Fig. 82: A. Cuesta du dôme de Tafena. B. Diagramme illustrant le développement de cuesta au niveau d'une structure en dôme. C. Schéma de cuesta de TAF-STR01.	139
Fig. 83: A-B. Grès bioturbés renfermant des échinodermes (niveaux ferrugineux condensés associés à des processus de haute énergie liés à la dynamique des vagues de tempête). C. Grès avec des "hummocky cross-stratification" (des écoulements oscillatoires). D. Grès avec des stratifications parallèles. E. Grès avec des rides de courant.....	139
Fig. 84: Grès bioturbés par différents types de terriers.	142
Fig. 85 : Exemple du contenu fossilifère des géosites TER-PAL03 et BEN-PAL01 A. Corps-fossile de type Xiphosuran avec trace de queue. B. Corps-fossiles de type Lockeia ; C. Terriers de type Diplocraterion en forme U vertical avec dessin montrant les divers modes de conservation de cet ichnotaxon. D. Terriers de type Diplocraterion-Skolithos-Monocraterion. E. Terriers de type Rhizocorallium en forme de U horizontaux ou légèrement obliques avec des terriers de Skolithos-Monocraterion. F-G. Terriers verticaux de Skolithos. H. Terriers de type Lorenzina.	141
Fig. 86: Eléments de géodiversité de valeurs ichnologiques et sédimentologiques liés aux géosites TER-PAL03 et BEN-PAL01. A-B. Nodule au niveau des schistes de Fezouata. C-D. Structure 'cone in cone' de la formation Tachilla. E. Réseaux de terriers simples ramifiés de type Chondrites. F. Niveau d'oolithes ferrugineuses de la formation Tachilla. G. Niveau condensé ferrugineux de la formation Zini.	142
Fig. 87: Situation géographique du géosite au sud-est du Maroc (Carte géologique, des communes Tagounite et M'hamid El Ghizlane, simplifiée des données des cartes géologiques : Zagora coude de Draa, Bou-Haiara Zegdou, Ouarzazate Alougoum et Saghro Dadés (1/200,000)).	156
Fig. 88: A. Carte de distribution des oasis et des ergs au niveau du cercle de Zagora ; B. Distribution des éléments archéologiques dans l'archéo-géosite de Foum Larjamme.	157
Fig. 89: Les tumuli du géosite. A. Vue panoramique d'une partie de la nécropole de Foum Larjamme. B. Exemple de tumuli fouillés. C. Un tumulus en forme de monticule caractérisant la partie de Foum Tidri. D. Un tumulus en forme pyramide caractérisant la partie de Foum Larjamme.	160
Fig. 90: Gravures rupestres avec des lignes polies. A. Eléphant dépourvu de sa tête. B. Gazelle. C. Un bloc de grès avec différentes gravures rupestres. D. Figure ressemblant à un cheval.	161
Fig. 91 : Ruines de forteresses. A. Vue panoramique des forteresses construites avec le grès local, ce qui les rend difficiles à distinguer de la couche géologique sous-jacente. B-C. Vues panoramiques de près de la plus grande forteresse. D. Coupe montrant l'architecture des murs de la forteresse et le contact entre les vestiges de construction et les couches géologiques.....	162
Fig. 92 : Gravures rupestres sur des blocs de grès avec des lignes polies. A-B. Lignes imbriquées énigmatiques. C-D. Exemples de graffitis rupestres vandalisés à Foum Tidri.	163
Fig. 93: Schéma d'intégration du géopatrimoine et du patrimoine archéologique de l'archéo-géosite de Foum Larjamme (Lahmidi e al., 2022).	164
Fig. 94: A Corvus corax observé dans la zone dunaire Mezouaria; B Traquet à tête blanche observé à Foum Tidri ; C Tadorne de Belon observés près d'Oued Draa près de Foum Larjamme; D Courvite isabelle observée au sud de M'hamid El Ghizlane.....	170
Fig. 95: A. Uromastix acanthinurus sur les schistes de Ktaoua ; B. Gazelles dorcas rencontrées à Erg Lesmar.	172
Fig. 96: A. Vue panoramique de Calotropis procera entre les dunes à Mezouaria ; B. Tamarix aphylla au sud de M'hamid El Ghizlane; C. Acacia Raddiana à Foum Tidri au sud de Tagounite.	174
Fig. 97: A. Pennisetum dichotomum le long d'une seguia au sud de Tagounite ; B. Panicum turgidum; C. Citrullus colocynthis envahie par le sable; D. Fruit du Citrullus colocynthis; E. Zygophyllum gaetulum dans le lit d'Oued Draa.	175
Fig. 98: Femmes locales collectant des plantes pour en faire des médicaments traditionnels.....	178
Fig. 99: Carte du circuit touristique classiquement mené à travers les ergs et Oasis Oum Laalag au sud de Zagora.....	188
Fig. 100: A. Randonnées au dos de chameaux. B. Groupe de touristes pratiquant le Yoga à Erg Mezouaria. C. Une touriste pratiquant le Sandboarding à Erg Chgaga. D. Soirée musicale autour du feu dans un bivouac. E. Touristes accueillis par un nomade. F. Groupe de touristes grim pant Erg	

Mezouaria. G. Couscous présenté aux touristes dans un plat de poterie verte, une particularité de Tamegroute.....	189
Fig. 101: Arrêt de repos à l'oasis Sacrée d'Oum Laalag. A. Les chameliers donnent à boire aux chameaux. B. La source d'eau d'Oum Laalag d'où peut le touriste boire et se rafraîchir. C. Préparation de thé par le guide touristique pour la pause incontournable de thé de nomade.	189
Fig. 102: Management des déchets des bouteilles et bidons dans un bivouac à Erg Lesmar. A-B. Réutilisation des déchets dans la construction. C. Réutilisation des déchets dans la décoration.....	189
Fig. 103: Kasbah de M'hamid El Ghizlane. A. Vue panoramique. B. Ruelle à l'intérieur de la Kasbah. C. Architecture à l'intérieur d'une maison. D. Vue aérienne.	190
Fig. 104: Exemples des traditions locales évoquées lors du festival des nomades (photos de l'édition 2019). A. Groupe d'homme jouant à l'Ellaz, hockey nomade. B. Course au dos de chameaux. C. Folklore local, récitation de poèmes en Amazigh. D. Préparation de Mella, pain de sable.....	191
Fig. 105: Reconstitution paléogéographique d'Ordovicien inférieur (~480 Ma) (d'après Cocks et Torsvik, 2004).	193
Fig. 106: Carte du géo-circuit éducatif proposé à travers la série ordovicienne à Zagora.....	193
Fig. 107: Schéma des deux types de systèmes sédimentaires montrant la différence de par rapport au rivage. Dans le cas des systèmes de faible énergie, le flux sédimentaire dirigé vers le NNW est progressivement dévié vers l'Ouest par les courants géostrophiques qui balayent la plate-forme d'Est en Ouest. Dans les systèmes de haute énergie dominés par les tempêtes, les courants de tempête prennent le dessus sur les courants géostrophiques et le transport des particules sédimentaires s'effectue de façon perpendiculaire au rivage (D'après Marante, 2008).	195
Fig. 108: A. Le contact discordant entre les grès de la formation inférieure du Deuxième Bani et les conglomérats de sa formation supérieure. B. Dyke clastique tronquant les conglomérats à la base de la deuxième formation du deuxième Bani. C. Vue panoramique comprenant le Groupe Premier Bani qui se présente en cuesta et le Groupe de deuxième Bani avec un profil de base irrégulier et ondulé	197
Fig. 109: Exemples des éléments sédimentologiques et paléontologiques du géosite TIN-STR01 ; A-B-C. Exemples de brachiopodes et de crinoïdes d'Hirnantien ; D. Grès à grain fin avec série condensée ; E. Grès à liage entrecroisé de la formation supérieure de Deuxième Bani ; F. Grès à liage entrecroisé de la formation inférieure du deuxième Bani.....	198
Fig. 110: Carte du géo-circuit proposé à travers Fom Larjamme et ses environs (Lahmidi et al., 2022).....	199
Fig. 111: A. Vue panoramique de l'oasis de Tagounite, de la végétation et des reliefs du désert. B. Terrier horizontal en forme de U qui pourrait être comparé à Rhizocorallium. C. Terriers de type Taenidium horizontal et de type Skolithos subvertical qui semble circulaire dans le plan de litage.	200
Fig. 112 : A. Conglomérat ; B. Grès affecté par un réseau de micro-failles.	201
Fig. 113: A. Sentier conduisant aux vestiges des forteresses. B-C. Vues d'intérieur de la forteresse. D. Contact entre la construction et les couches géologiques. E. Grès à stratification parallèle à angle faible affecté par l'altération en pelure d'oignon ; F. Grès à stratification en mamelons et en creux.	201
Fig. 114: A. Accumulation des blocs chutés après leur détachement, en bas de la pente du géosite. B. Surface d'érosion glaciaire entre les formations du Groupe deuxième Bani.	202
Fig. 115: Familles de diaclases affectant la deuxième formation de Bani ont conduit au détachement de blocs.....	203
Fig. 116: A. Vue panoramique d'Oued Draa traversant la plaine de la végétation d'Accacia. B. Système d'irrigation artificiel à l'intérieur de l'oasis.....	203
Fig. 117: A-B. Exemples de blocs de grès à surface plate servant de support à l'art rupestre ; C. Ouverture d'un des tumuli ; D. Vue panoramique de la prochaine station.	204
Fig. 118: A. Vue panoramique des vestiges du Ksar submergés par le sable. B. Dunes de sable fixées par les racines des arbres.	205
Fig. 119: A. Acacia Raddiana. B. Vue panoramique de Fom Larjamme et Oued Draa.	206
Fig. 120: Vue panoramique d'Erg Lihoudi où figurent les tentes d'un bivouac.....	207

Introduction générale

Décrit comme étant le Paradis des géologues, le Maroc est reconnu à l'échelle internationale par sa richesse en termes de géodiversité. Celle-ci est liée à sa paléogéographie sur la bordure nord-ouest du craton ouest-africain et à son histoire géologique influencée par l'océan Rhéique, la Paléotéthys, la mer de Téthys et l'ouverture de l'océan Atlantique ainsi que les faunes fossiles associées qui en font une région clé pour comprendre la paléobiogéographie de la Terre pendant les périodes les plus critiques. Ce capital géologique, bien conservé, retrace la longue histoire de la Terre de l'Archéen au Quaternaire. Plus particulièrement au sud-est du pays où ce capital naturel est bien dégagé présentant ainsi de bonnes conditions d'affleurement, les différents événements structuraux, pétrographiques, sédimentologiques, stratigraphiques et paléontologiques qui caractérisent la géologie marocaine ont été mis en évidence.

En plein cœur du sud-est marocain, se trouve la province de Zagora faisant partie de la chaîne de l'Anti-Atlas. Cette chaîne de montagnes correspond à un anticlinal orienté ENE-WSW et étendu sur 700 kilomètres de l'océan Atlantique à l'ouest à Hamada El Guir à l'est. C'est une zone intéressante car elle a été affectée par de nombreux événements tectoniques et des processus récurrents de dépôt et d'érosion au cours des temps géologiques. Son évolution tectonique et structurale a été façonnée par les orogènes : Eburnienne, Panafricaine (Néoprotérozoïque), Pré-Varisque et Varisque (Paléozoïque) ([Ennih et Liégeois, 2001](#) ; [Gouiza et al., 2016](#)). Ces caractéristiques géologique et géographique sont derrière la richesse remarquable de Zagora en géodiversité, géopatrimoine et patrimoine culturel.

Plus précisément, le cercle de Zagora, territoire investigué, se situe au centre de la chaîne de l'Anti-Atlas. Ainsi, il est caractérisé par une série lithostratigraphique ordovicienne particulièrement, complète. Cette dernière a été sujette à de nombreuses et diverses recherches scientifiques, notamment, paléontologique, stratigraphique, sédimentologique et structurale, ce qui a abouti à décrire l'évolution de la vaste plateforme au Nord du supercontinent de Gondwana, au cours de l'Ordovicien. D'autre part, la zone abrite des localités clés témoignant les deux événements majeurs de cette période à savoir 'la grande biodiversification ordovicienne' et la glaciation fini-ordovicienne. La zone d'étude est également un carrefour d'éléments géomorphologiques dont l'évolution est liée aux événements d'élévation tertiaire, à l'intense activité érosive des périodes pluviales du Quaternaire et aux processus géomorphologiques actuels.

Compte tenu des recherches scientifiques menées dans la région et des investigations sur le terrain, Zagora est une zone subsaharienne, caractérisée par la prédominance des affleurements ordoviciens et quaternaires d'où ressortent plusieurs éléments de géodiversité et sites d'importantes valeurs scientifiques, éducatives et/ou touristiques.

Afin de valoriser et promouvoir ce géopatrimoine et cette géodiversité, il a été prévu d'étendre le territoire du projet de géoparc Bani pour couvrir la province de Zagora. Il s'agit d'un projet de géoparc adopté par l'Université Mohammed V, de Rabat, en collaboration avec les conseils provinciaux de Tata et Zagora avec l'ambition de devenir un géoparc mondial UNESCO.

En vue de préparer ce territoire pour intégrer le futur géoparc de Bani conformément aux exigences posées par l'UNESCO, un inventaire et une évaluation de géosites suivant une méthode a été établi.

Le présent travail présente le résultat de l'inventaire ainsi que l'évaluation qualitative des sites à intérêt, établis. Afin d'éliminer le maximum possible de la subjectivité de l'évaluation, une évaluation quantitative a été établie en utilisant la méthode de Brilha ([2016](#)). Cette dernière a permis d'abord de classer les sites sélectionnés en géosites et sites à géodiversité. Elle a

également permis une classification basée sur l'évaluation quantitative de la valeur scientifique des géosites et une classification de l'ensemble des sites selon leur potentiel géo-éducatif et géotouristique. L'utilisation de cette méthode n'a pas manqué d'évaluer l'état et le risque de dégradation des sites inventoriés. Cette dernière étape est primordiale dans la mesure où elle aide à identifier la priorité des sites à inclure dans la stratégie et les programmes de géoconservation.

L'emploi de la méthode quantitative de Brilha (2016) fait appel à l'utilisation de nombreux critères et données tels que l'occupation des sols. Pour pouvoir gérer et bien organiser toutes les données collectées, une base de donnée a été générée à l'aide des applications du système d'information géographique. Celle-ci a permis d'effectuer plusieurs tâches comme la numérisation des cartes géologiques, l'organisation des données à référence spatiale dans des dossiers (Shapefiles) au sein d'une base de données (Geodatabase) et la communication des données via des cartes.

Bien que la gestion du géopatrimoine soit l'axe principal d'un géoparc, l'approche holistique de ce concept explore et développe les liens entre ce patrimoine géologique et tous les autres aspects du patrimoine naturel, culturel et immatériel de la région. De tels liens sont une particularité de la géodiversité marocaine que discutent les derniers chapitres du présent travail à travers l'exemple des géosites où s'intègrent les composantes géologiques, biologiques, archéologiques, historiques et /ou culturelles.

Partie1
***GENERALITES, PROBLEMATIQUE
ET METHODOLOGIE***

Chapitre 1: Généralités

1. La géodiversité

Le terme de la géodiversité a été adopté depuis la convention de la biodiversité au Sommet de la Terre tenu à Rio de Janeiro en 1992 pour se référer à l'équivalent abiotique de la biodiversité. Il désigne la diversité des éléments géologiques (roches, minéraux, fossiles), géomorphologiques (morphologies de reliefs, processus) et pédologiques y compris leurs assemblages, relations, propriétés, interprétations et systèmes (Gray, 2004). La géodiversité est considérée comme un indicateur de la richesse abiotique et comme une composante individuelle du patrimoine naturel (Erikstad, 2013).

C'est une partie intégrante du capital naturel, et les relations qui la relient et l'Homme datent depuis son existence sur la Terre avec les populations préhistoriques, par exemple en utilisant les pierres comme des outils de travail (Prosser, 2019), et depuis ces relations ont été en évolution continue.

Dans la société, la position de la géodiversité est cruciale car elle fournit de nombreux services et biens indispensables. Ces avantages peuvent être résumés dans les trois aspects : ressources géologiques, topographie et processus physiques (Gray, 2019), qui sont directes (par exemple, les ressources minérales) et indirectes, résultant de l'influence des facteurs et processus géologiques, hydrologiques, géomorphologiques ou pédologiques sur la biodiversité et son support géologique (Gordon et al., 2012). Cependant, seules les relations directes peuvent être reconnues par le non-géoscientifique mais réduites dans l'exploitation minière. En revanche, ce que la géodiversité offre aux humains est bien plus important. Tout comme pour l'exploitation minière, les retombées de la géodiversité peuvent être obtenues par son exploitation effective à des fins scientifiques, éducatives et touristiques. D'où l'importance de populariser la géodiversité afin de la rendre familière et de la définir pour son rôle actif (Gordon et al., 2012). C'est là que les géoscientifiques interviennent en essayant de prouver ses avantages pour la société, en dehors de l'exploitation des carrières (Brilha, 2018).

D'un point de vue environnemental, et selon les strates géologiques, le phénomène du changement climatique s'est toujours répété au cours de l'histoire géologique de la Terre, mais ce qui caractérise le changement que nous vivons est l'influence anthropique qui est maintenant largement considéré comme la menace la plus grave pour l'environnement naturel dans les décennies et les siècles à venir (Prosser et al., 2010). Le changement climatique a des effets considérables sur les personnes, les lieux et la société et sur l'environnement naturel (Parry et al., 2007), ainsi les réactions de l'Homme au changement climatique auront un impact sur la conservation de la géodiversité, par exemple par le biais de projets d'ingénierie allant à l'encontre des processus naturels, de la gestion des ressources en eau empêchant les processus fluviaux ou des changements dans l'occupation de sol (Prosser et al., 2010).

Elle fournit et soutient les biens et services essentiels des écosystèmes et permet d'avoir un aperçu critique des processus dynamiques et des tendances à long terme (Gray et al., 2013).

En outre, l'intérêt croissant accordé à la diversité géologique se justifie également par les nouvelles formes de son implication dans les concepts de géotourisme et de géoparcs. Ces derniers considérant la géodiversité comme une composante fondamentale de l'environnement (Dowling, 2013) ils font évoluer ses avantages économiques tout en assurant le respect et la conservation de l'environnement (Dowling et Newsome, 2017).

2. La patrimonialisation et le géopatrimoine

2.1. Le processus de patrimonialisation

Le concept de patrimoine est fondé sur le principe de la transmission par descendance, soit individuellement de père en fils, soit collectivement d'une génération à l'autre. Il est donc, bien entendu, lié à l'idée d'héritage et de transmission trans-générationnelle temporelle de la valeur. Par défaut, le patrimoine désigne l'ensemble des biens ou valeurs, naturels ou artificiels, matériels ou immatériels, illimités dans le temps et dans l'espace, qu'ils soient héritiers des descendants et des ancêtres des générations précédentes ou qu'ils soient regroupés et conservés pour être transmis aux descendants des générations futures (Desvallees, 1998).

Au fil de temps, ce concept a connu une évolution effrénée pour intégrer des nouveaux domaines. Il a passé de la dimension privée centrée uniquement sur l'Homme à une dimension publique tenant compte de la vulnérabilité des milieux naturels. Ainsi, et après avoir porté attention aux êtres vivants, on s'est intéressé à la composante abiotique (Cayla, 2009). De ce fait la protection est devenue liée à la science, principalement les sciences naturelles sous leurs différentes formes, biologiques, écologiques, géologiques ... (Vaccaro et Beltran, 2010).

Cette diversification et accélération de la création de patrimoine est issue des crises sociales intenses, qu'elles soient politiques, idéologiques ou environnementales (Saddou, 2019). Dans les sociétés urbaines à croissance rapide, la nature sauvage est vite devenue une commodité rare et de plus en plus éloignée, ce qui a poussé les sociétés post-industrielles à tenter de la faire revenir par la restauration des écosystèmes (Barrett et White, 2001). Ainsi, on assiste à l'extension de la protection de tous les environnements qui se produit en même temps que l'accélération de la mondialisation (Appadurai, 1996 ; Hannerz, 1996 ; Igoe et Brockington, 2007 ; Pred et Watts, 1992).

Patrimonialiser un paysage national se concrétise par la nationalisation d'une partie de son espace et de ses ressources. Ce concept du patrimoine collectif peut être décrit comme une modernisation de la relation entre l'Etat, la société et l'environnement (Vaccaro et Beltran, 2010). Il renvoie à la conservation et la protection de l'environnement afin de le transmettre (Saddou, 2019). Il est la résultante de processus (Fig. 1) qui fait intervenir avant toute chose, la prise de conscience, ensuite les interventions d'acteurs pour inventorier et sélectionner les objets patrimoniaux, afin de les protéger et enfin les exposer et les valoriser (Di Méo, 2008 ; Bétard et al., 2017).

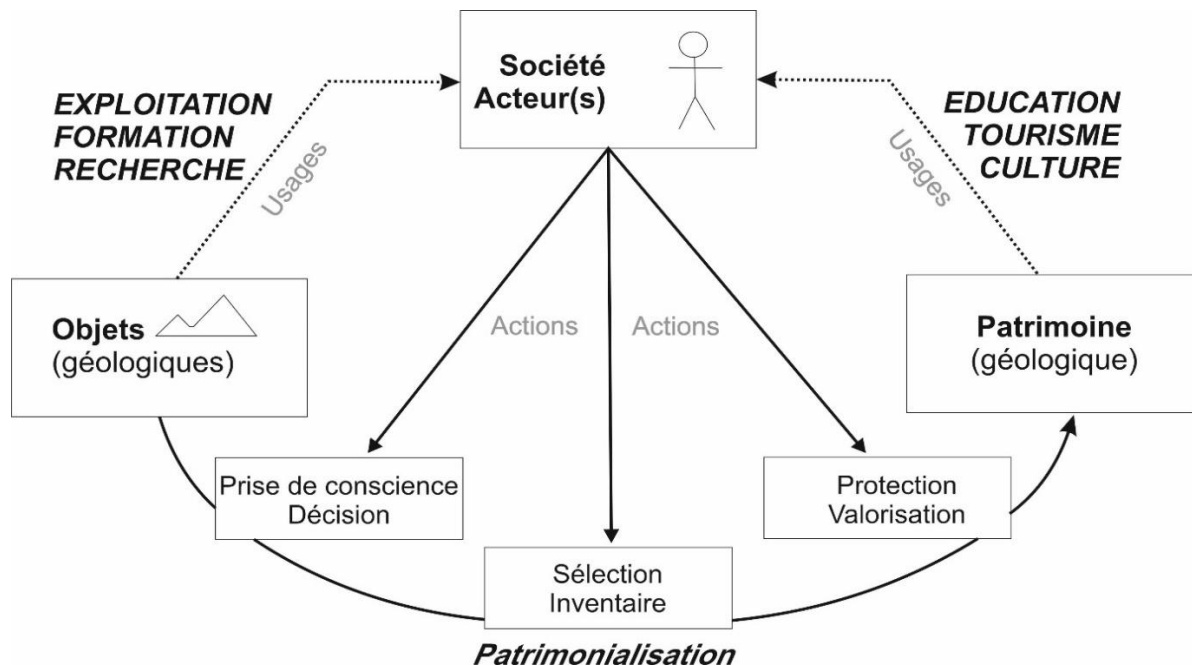


Fig. 1: Processus de patrimonialisation de la géodiversité (Modifié d'après [Di Méo, 2008](#) ; [Martin, 2013](#))

2.2. Le géopatrimoine

C'est un terme descriptif qui fait référence aux éléments de la géodiversité ayant une valeur géologique particulière méritant d'être sauvegardés au profit des générations actuelles et futures. Ces éléments peuvent être in situ (géosites) ou ex situ (collections de spécimens géologiques) avec une importance paléontologique, géomorphologique, minéralogique, pétrographique ou stratigraphique, entre autres. De la sorte, le géopatrimoine faisant part de la géodiversité, représente ses éléments significatifs selon des valeurs subjectives particulières ([Sharples 2002](#) ; [Gray, 2004](#)). Plus précisément, pour qu'un site ou un objet de géodiversité soit qualifié comme un géopatrimoine, il doit démontrer une valeur scientifique reconnue à l'échelle internationale et /ou nationale ([Brilha 2016](#) ; [2018](#)). Cette valeur scientifique est généralement déterminée à partir des critères prédéfinis mais qui diffèrent d'une méthode d'évaluation à une autre. Toutefois, il est possible de dégager trois grands axes de critères évaluateurs : la représentativité à illustrer un élément ou un processus géologique, la rareté de cet élément et son état de conservation.

L'intérêt accordé au patrimoine géologique est en évolution croissante, cela revient à l'éveil de la connaissance des services qu'il offre à la société. Par exemple, il présente un grand potentiel pour les études scientifiques, l'utilisation en tant que classes en plein air, l'amélioration de la compréhension de la science par le public, et d'un point de vue environnemental, il peut nous approvisionner des données sur les changements climatiques et environnementaux.

3. Le géotope, géosite, géomorphosite

3.1. Géotope et géosite

D'un terme linguistique, les deux vocables géotope et géosite sont interprétés et appliqués comme synonymes ([De Wever et al., 2006](#)). La différence entre les deux réside dans leurs provenances étymologiques différentes : géotope dérive du grec (*topos* : lieu) alors que géosite du latin (*situs* [adj.] : Placé, posé, situé et [nom] : position, situation), ([Reynard, 2005](#) ; [Reynard, 2009](#)). Bien que le premier terme soit en usage en Suisse, en Allemagne, en Autriche,

en Europe centrale et en règle générale dans la sphère germanophone, le deuxième est employé dans les pays anglophones et par les institutions internationales telles que l'UNESCO et l'UISG (Wiedenbein, 1994 ; Reynard, 2004, 2009 ; Giusti et Calvet, 2010).

Un géosite (géotope) supporte deux définitions défendues par différents auteurs. Une restrictive qui le considère en tant qu'objet géologique ou géomorphologique présentant une valeur scientifique importante pour la compréhension de l'histoire de la Terre, des espèces et du climat (Strasser et al., 1995 ; Grandgirard, 1997 ; 1999 ; Brilha, 2016), et un plus large considérant le géosite comme tout objet géologique ou géomorphologique présentant une certaine valeur, qu'elle soit scientifique, historico-culturelle, esthétique ou encore socio-économique (par exemple Strasser et al., 1995 ; Panizza et Piacente 1993 ; 2003).

Selon Reynard (2004), épargner l'une ou l'autre des définitions revient à l'objectif final de ce qui est envisagé de faire de ce site. Par conséquent, la définition restrictive est considérée dans le cas où on est en face de sélectionner des sites à importance géoscientifique, ou les protéger d'une destruction ou d'une dégradation dans un contexte d'aménagement de travaux de génie civil, ou de développement urbain. Alors que la définition large est privilégiée dans le cadre de la valorisation touristique afin de créer une synergie entre les patrimoines géologique/géomorphologique, écologique et culturel (Panizza et Piacente, 2003 ; Pralong, 2004, Reynard, 2004).

La définition retenue est celle présentée dans la méthode d'évaluation (Brilha, 2016) utilisée dans ce travail et qui considère un géosite (géopatrimoine in situ) comme étant une ou des occurrences in situ des éléments de géodiversité ayant une valeur scientifique, alors que les éléments de géodiversité in situ sans valeur scientifique particulière mais qui constituent néanmoins des ressources importantes pour l'éducation, le tourisme ou l'identité culturelle des communautés, sont dites site à géodiversité (geodiversity site).

3.2. Typologie des géosites

La typologie des géosites (Tableau 1, Figs. 2 et 3) varie selon la variance des disciplines des Sciences de la Terre (pétrographie, géologie structurale, sédimentologie, stratigraphie, minéralogie, paléontologie, géomorphologie, etc.).

On peut catégoriser les géomorphosites autant qu'un type de géosite portant une valeur géomorphologique (Ex : Fig. 3). Il s'agit des portions de la géosphère qui présentent une importance particulière pour la compréhension de l'histoire de la Terre. Ils sont délimités dans l'espace et d'un point de vue scientifique, se distinguent clairement de leur environnement (Reynard, 2009). Les géomorphosites sont multiples. Il peut en effet s'agir d'objets individualisés ou de systèmes plus vastes, des géomorphosites actifs qui permettent de visualiser les processus géomorphologiques en action (par exemple, les systèmes fluviaux) ou des géomorphosites passifs qui témoignent de processus passés ; dans ce cas, ils ont une valeur patrimoniale particulière en tant que mémoire de la Terre (évolution du paysage, histoire de la vie et variations climatiques) (Reynard, 2009).

Tableau 1: Typologie des géotopes (Reynard, 2004)

Type	Description
Structural	Surtout des objets géologiques de grande taille tels que plis, anticlinaux, synclinaux, chevauchements, failles, etc. L'érosion a taillé dans ces structures et façonné des sommets en pyramide, des arêtes ou des parois rocheuses.
Paléontologique	Affleurement rocheux contenant des fossiles et gisements de fossiles dans des terrains meubles, des milieux anaérobies (marais) ou la glace (permafrost). A une grande importance pour la reconstitution de l'histoire de la vie.
Sédimentologique	Site dans lequel les conditions typiques d'un milieu de sédimentation sont visibles (glaciaire, fluviatile, lacustre, éolien, etc.). Géotope actif, qui permet d'observer les processus sédimentaires en action (zones alluviales, sandurs, cônes torrentiels), ou passif (rôle d'archives).
Minéralogique, pétrographique et géochimique	Cette catégorie recouvre les gîtes minéralifères et métallifères, les localités-types de certaines pétrographies de roches et des lieux où ont été mesurés des indices géochimiques particuliers, ainsi que les roches présentant un intérêt particulier.
Stratigraphique	Affleurement présentant un profil type pour un âge géologique (stratotype), un faciès, une formation (succession stratigraphique) ou une transition paléoenvironnementale (ex : une transition glaciaire-interglaciaire). Affleurement rocheux ou dans des sédiments meubles quaternaires (formations superficielles).
Géomorphologique	Résulte à la fois des processus d'érosion et de sédimentation (zones alluviales actives, marges proglaciaires, etc.) et les formes du relief qui en résultent. Formations superficielles meubles du Quaternaire (ex : moraine, glaciers rocheux) et formes d'érosion dans la roche (ex : marmites glaciaires, etc.)
Hydrologique et hydrogéologique	Site dû à l'écoulement particulier des eaux de surface ou souterraines, où l'eau est vraiment l'élément dominant (dynamique, caractéristiques physico-chimiques) : sources thermales, minérales et karstiques, pertes, etc.
Spéléologique	Cavités (grottes et gouffres) et réseaux souterrains présentant une valeur scientifique, écologique ou historique particulière. Par définition, de nombreux géotopes spéléologiques se recoupent ou sont en liaison avec des géotopes géomorphologiques (karst superficiel) ou hydrogéologiques (perte, émergence).
Géo-historique	Il s'agit à la fois de site de découverte clés dans l'histoire des sciences de la Terre et de lieux historiques d'exploitation des ressources géologiques.
Géo-culturel	Site ayant, en raison de ses caractéristiques naturelles, joué un rôle particulier pour l'Homme au cours de son histoire. C'est son utilisation par l'Homme qui leur donne de la valeur.



Fig. 2: Exemples de géosites au géoparc mondial de Lesvos en Grèce. A. Géosite structural : miroir de la faille Aghia Paraskevi qui est associée à l'histoire sismique de la région. B. Géosite volcanique : dôme de Pithari, créée par la pénétration du socle géologique par la montée du magma. C. Géosite hydrologique de Polychnitos : source d'eau chaude (87,6°C). D. Géosite fossilifère de Petrified Forest Sigri Park : tronc pétrifié bien conservé d'angiosperme. (Photos prises lors d'une visite du géoparc de Lesvos).



Fig. 3: Géomorphosite Kilim Karst Geoforest Park au géoparc mondial de Langkawi. Il s'agit des pics pointus en forme d'aiguille formés par l'érosion des calcaires sous l'action de la pluie. (Photo prise lors d'une visite du géoparc de Langkawi)

4. Management de la géodiversité et du géopatrimoine

4.1. Identification et évaluation

La surface de la planète Terre est constituée d'ensemble d'éléments géologiques diversifiés. Cependant, seul un nombre limité de ces éléments présente une ou plusieurs valeurs importantes que ça soit dans le domaine scientifique ou éducatif ou touristique. Ainsi, il est primordial de définir comment de tels spéciaux éléments géologiques peuvent être identifiés et sélectionnés afin de les protéger, surtout quand il s'agit d'éléments rares et /ou risquent de se détériorer ou d'être détruits. Cela renvoi à l'importance des étapes de l'inventaire et de l'évaluation quantitative des occurrences les plus précieuses de la géodiversité dans toute stratégie de géoconservation et de gestion des sites.

A cet égard, de nombreux travaux ont procuré des méthodes (Wimbledon et al., 1995, Wimbledon, 1999 ; Grandgirard, 1999 ; Serrano et González-Trueba, 2005; Pralong and Reynard, 2005 ; Reynard et al., 2007 ; Pereira et al., 2007 ; Pereira et Pereira, 2010; Ruban, 2010; Brilha, 2016, Arrad et al., 2018 etc.) pour la mise en œuvre des inventaires systématiques bien structurés pour couvrir toute la zone à étudier. Elles reposent sur des critères clairs et bien adaptés à chaque type de valeur, ce qui permet de réduire la subjectivité lors de la sélection des sites.

4.1.1. Inventaire

L'identification de patrimoine géologique passe par l'établissement de listes, dites inventaires. Ils fournissent des informations sur les caractéristiques géologiques d'une zone, sur sa diversité et donc sur la valeur d'un territoire au sens géologique. Ils sont donc utiles pour la planification territoriale (Carcavilla et al., 2008).

Constituant la première et essentielle partie des études du patrimoine géologique ([Henriques et al., 2011](#)), les inventaires limitent la liste de sites aux pertinents. Ils peuvent être réalisés selon différentes méthodologies qui diffèrent considérablement quant au type d'informations fournies et analysées. D'une manière générale, un inventaire nécessite une approche méthodologique initiale qui doit tenir compte les quatre notions ([Lima et al., 2010](#) ; [Brilha, 2016](#)):

- Le sujet, l'objet ou le thème à inventorier, par exemple, le patrimoine géologique (dans son ensemble), le patrimoine paléontologique, le patrimoine géomorphologique, un cadre géologique, etc...
- La valeur qui est étroitement liée à l'utilisation potentielle des sites et peut être scientifique, éducative et/ou touristique.
- L'échelle qui fait référence à la taille de la zone où l'inventaire aura lieu (un parc naturel, un géoparc, une municipalité, un état, un pays, un continent, etc...
- L'utilisation, liée à l'objectif des sites inventoriés, par exemple, le soutien d'une stratégie nationale de géoconservation, le développement d'un projet géotouristique, la promotion de la géodiversité locale ou encore un programme éducatif, etc...

En outre, il est essentiel de placer l'inventaire dans un cadre plus large, en effet, la réalisation d'un inventaire des points et/ou sites d'intérêt dans un travail informatif, dans un plan d'urbanisme ou dans un projet de planification urbaine n'est pas la même chose qu'un inventaire pour créer un réseau d'espaces naturels protégés. Par conséquent, les objectifs et l'utilisation des informations de l'inventaire doivent être clairement définis dans ses premières étapes, car cela influencera la méthode de réalisation.

La réalisation d'un inventaire des points d'intérêt géologique nécessite l'accomplissement d'une série de phases, quel que soit le système utilisé pour la sélection. De manière générale, ces phases portent sur l'identification et le diagnostic du patrimoine géologique, ainsi que sur la classification et la valorisation. Une fois la zone d'étude délimitée, l'inventaire est généralement réalisé en suivant les phases de : 1) compilation bibliographique et documentaire, 2) synthèse géologique préalable, 3) identification des points d'intérêt, 4) classification, valorisation et sélection ([Carcavilla et al., 2008](#)).

4.1.2. Evaluation

L'une des mesures les plus importantes dans la recherche du géopatrimoine est le développement de méthodologies axées sur l'évaluation des différents types de valeurs présentes dans les géosites. Cette évaluation permet de comparer les géosites entre eux sur une base bien définie en fonction de l'objectif principal. Ainsi et vue l'augmentation des études de géoconservation, plusieurs méthodes d'évaluation qualitative et quantitative des géosites ont été publiées depuis les années 1990.

Les travaux ([Zwoliński et al., 2018](#) ; [Mucivuna et al., 2019](#)) présentent des examens détaillés et récapitulatifs des méthodes utilisées pour évaluer la géodiversité. Les auteurs ([Zwoliński et al., 2018](#)) ont classé les méthodes utilisées en méthodes directes et indirectes, où les procédés directs impliquent un travail de terrain pour calculer la valeur de la géodiversité pour des composantes spécifiques du milieu naturel, comme les sols, les roches, les types de reliefs, etc... Leur application permet d'obtenir des résultats plus précis et d'utiliser des calculs plus simples qu'avec les méthodes indirectes, bien que leur utilisation nécessite beaucoup plus de travail et soit souvent beaucoup plus coûteuse. L'utilisation d'indicateurs directs pour l'évaluation de la géodiversité de grandes zones est plutôt aléatoire ; de ce fait, leur universalité est limitée. Quant aux méthodes indirectes, elles consistent à effectuer des calculs sur des données matricielles ou vectorielles dans un environnement SIG ([Forte et al., 2018](#) ; [Brilha et al., 2018](#)). L'avantage

d'utiliser des méthodes indirectes est le gain de temps et d'argent résultant de la réduction, au minimum, du travail sur le terrain. En général, l'acquisition des données sources (imagerie satellite, modèles numériques d'élévation ou nuages de points) est bon marché, mais leur prétraitement et leur analyse corrects ne sont pas aussi simples que dans le cas des méthodes directes (Zwoliński et al., 2018). Ces méthodes indirectes offrent la possibilité d'évaluer et de cartographier la géodiversité de grandes surfaces et de zones difficilement accessibles. En ce qui concerne la procédure d'évaluation, on peut distinguer des méthodes qualitatives et méthodes quantitatives.

a. Méthodes qualitatives

Cette approche qualitative date du début de l'évaluation des géomorphosites dans les années 1960 (Watson et Slaymaker, 1966) et elle est encore utilisée dans différents types d'inventaires. Il s'agit d'une caractérisation qui consiste à décrire les éléments de la géodiversité d'une zone donnée et éventuellement leurs valeurs.

Les approches d'évaluation qualitatives sont généralement menées par des experts qui soutiennent l'identification et la sélection des géosites dans le cadre des inventaires où leurs valeurs sont étiquetées ou notées, mais toujours sous une forme non numérique. Elles fournissent plutôt une distribution spatiale des éléments de géodiversité qu'une distribution spatiale de leur diversité (Brilha et al., 2018). Ces méthodes impliquent un haut degré de subjectivité et les critères de sélection ne sont pas toujours bien expliqués (Bruschi et Cendrero 2009, Pereira et Pereira, 2010).

b. Méthodes quantitatives

L'approche quantitative est liée à la nécessité de classer les sites. Elle a été particulièrement développée depuis les années 1990 dans certains travaux scientifiques (Grandgirard, 1997 ; Rivas et al., 1997) et récemment le nombre de méthodes a augmenté, témoignant du développement de ce sujet au sein de la communauté scientifique. Elle permet l'obtention des résultats clairs et reproductibles en utilisant des critères quantifiés numériquement.

Cette approche vise à exprimer de manière paramétrique plus objective la variabilité spatiale des éléments de la géodiversité. Ainsi, les méthodes quantitatives utilisent différents ensembles de paramètres et d'indicateurs numériquement quantifiés pour déterminer les caractéristiques et la variété des éléments géologiques de la zone en question. Par conséquent, les paramètres et les indicateurs utilisés sont considérés comme une mesure de l'intensité d'une caractéristique (composante) donnée ou d'un ensemble de caractéristiques de l'environnement naturel (Zwoliński et al., 2018).

Malgré la possibilité d'obtenir certains paramètres de mesures sur le terrain et par télédétection, la majorité des procédures quantitatives reposent sur des analyses cartographiques de la diversité, de la fréquence et de la distribution des éléments de géodiversité dans une zone prédéfinie (Carcavilla et al., 2008). L'évaluation découle de mesures instrumentales sur le terrain, de calculs numériques ou d'analyses de géo-information de données brutes. Le principal objectif de l'utilisation de ces derniers est de réduire la quantité de données et de favoriser la quantification et la comparabilité des résultats pour des régions ou des unités naturelles prédéfinies (Serrano et Ruiz-Flaño, 2007 ; Benito-Calvo et al., 2009) ou par des unités artificielles comme des cellules de grille tracées sur des cartes (Zwoliński, 2009 ; Hjort et Luoto, 2010 ; Pereira et al., 2013).

4.2. Valorisation et promotion de la géodiversité et du géopatrimoine

Les caractéristiques géologiques du monde entier constituent des ressources scientifiques et éducatives fascinantes, enregistrant des millions d'années d'histoire au cours desquelles les continents se sont déplacés, le climat a changé, le niveau des mers a monté et baissé et des animaux tels que les dinosaures et les mammouths ont disparu (Prosser et al., 2006). Une fois endommagé ou détruit, ce géopatrimoine est perdu et les générations futures ne peuvent en profiter à cause de la dégradation ou la suppression des informations déjà découvertes et à découvrir (Brocx et Semeniuk 2015 ; Stephens, 2020).

En gros, ce sont ces deux grands motifs de préciosité et de menace par la dégradation et la destruction qui exigent la mise en place des stratégies de conservation et de valorisation de la géodiversité en général et du géopatrimoine en particulier (Gray, 2005). Cela permettra à la société d'en tirer profit et de promouvoir cette composante naturelle dans les domaines de l'éducation et du tourisme (Ex : Fig.4) tout en les protégeant de la destruction et les pérennisant aux futures générations.



Fig. 4: Exemples de produits géo-touristiques pour promouvoir le patrimoine paléontologique au géoparc mondial UNESCO de Langkawi. A. Des mascottes sous forme de trilobites qui accueillent les visiteurs du Centre de découverte du géoparc de Langkawi à Kilim Geoforest. B. Des biscuits sous forme de trilobites vendus au même centre. C. Exemples de souvenirs conçus manuellement par des locaux à partir des coques de noix de coco. (Photos prises lors d'une visite du géoparc de Langkawi)

4.2.1. Approche de géoconservation

La conservation de la nature s'est longtemps concentrée essentiellement sur le monde vivant, en avançant qu'il n'y a pas besoin de conserver sa partie immuable vue les caractéristiques de la terre qui sont en règle générale robustes. Ce n'est généralement pas le cas, parce que cette partie non vivante est tout aussi sensible aux perturbations que la biodiversité. Ce qui est le cas des sites à fossiles délicats ou de minéraux rares qui sont facilement détruits par des excavations inappropriées ou des collectes incontrôlées, ou encore des processus de formation des sols en cours, par exemple dans les grottes (karst) et les systèmes fluviaux, qui peuvent facilement être dégradés par des interventions inappropriées dans leurs zones de captage d'eau (Fig. 5) (Sharpless, 2002). En outre, la biodiversité dépend de la géodiversité, de sorte qu'une conservation réussie de la nature nécessite l'intégration des deux composantes (Sharpless, 2002).



Fig. 5 : Exemples des activités de géoconservation au géoparc mondial de Lesvos. A. Protection d'un tronc d'arbre pétrifié pour le déplacer. B. Conservation in situ à Petrified Forest Sigri Park C. Conservation in situ tout près du musée d'histoire naturelle de Lesvos Petrified Forest. D. Utilisation des barrières pour protéger une source hydrothermale au géosite de Polychnitos. (Photos prises lors d'une visite du géoparc de Lesvos)

En conséquence, la géoconservation est aujourd'hui une activité en plein essor et très répandue dans le monde (Burek et Prosser, 2008), et qu'on reconnaît déjà par plusieurs institutions internationales telles que l'UNESCO ([URL http://www.unesco.org/science/earthscience/geological_heritage.htm](http://www.unesco.org/science/earthscience/geological_heritage.htm)), et l'Union International

de la Conservation de la Nature (<https://www.iucn.org/commissions/world-commission-protected-areas/our-work/geoheritage>) (Gordon, 2020). Elle correspond aux actions entreprises dans l'intention de conserver et de valoriser les éléments, processus, sites et spécimens (Ex : Fig. 5) géologiques, géomorphologiques et pédologiques y compris les activités de promotion et de sensibilisation associées et l'enregistrement et le sauvetage de données ou de spécimens provenant d'éléments et de sites menacés de perte ou de dommage (Prosser, 2013). Cette approche implique principalement le géopatrimoine pour des raisons scientifiques et pour soutenir les valeurs éducatives, culturelles, esthétiques, spirituelles et écologiques (Gray, 2013 ; Crofts et Gordon, 2015).

4.2.2. Géo-éducation et géotourisme

En dehors des services d'approvisionnement, de soutien et de régulation de la géodiversité, aujourd'hui, on reconnaît ses services dans les domaines de l'éducation et du tourisme. La géoconservation joue un rôle dans sa disponibilité aux dites fins, pour fournir à la société et aux élèves des connaissances sur les changements qui se produisent au fil du temps dans la géosphère de la Terre (Brilha, 2018 ; Comănescu et Nedelea, 2020). Ainsi, les chercheurs ont besoin de sites sur lesquels ils peuvent mener leurs recherches, de même que les enseignants et les étudiants ont besoin de sites sur lesquels ils démontrent les principes de la géologie et les processus d'évolution du paysage (Ex : Fig.6). Cette pratique sur le terrain constitue une approche efficace pour comprendre les phénomènes géologiques, en particulier lorsque les jeunes étudiants et le public en général sont concernés.



Fig. 6: Exemples d'activités géo-éducatives au musée d'histoire naturelle de Lesvos Petrified Forest. A. zone d'excavation, appelée Georama, où les enfants peuvent se familiariser avec la recherche scientifique en utilisant des outils et des équipements d'excavation pour dégager des fossiles de plantes, les nettoyer et les identifier. B. Simulateur de tremblement de terre entraînant et préparant le grand public au tremblement de terre qui guette l'île de Lesvos. (Photos prises lors d'une visite du géoparc de Lesvos)

Dans la littérature internationale, le concept de géo-éducation se réfère à l'éducation sur la Terre dans son ensemble pour permettre de comprendre comment les composantes naturelles et humaines d'un environnement géographique fonctionnent et interagissent aux niveaux locaux, régionaux et mondiaux (Gray, 2005 ; Bollati et al., 2011), elle est alors articulée sur l'histoire de la Terre ainsi que l'influence de la nature abiotique sur le développement humain

(Miśkiewicz, 2016). Cette éducation prend deux formes : apprentissage formel au sein des écoles et des universités, et non formel via le tourisme en plein air où l'éducation sur le terrain est la forme la plus efficace d'interprétation et de promotion du géopatrimoine (Gajek et al., 2019).

Les nombreuses fonctions de la géo-éducation peuvent être résumer en :

- accroissement de la reconnaissance de la géodiversité et du géopatrimoine aux niveaux internationaux, nationaux, régionaux et locaux, ce qui contribue aux activités de la géoconservation,
- pertinence de géodiversité dans les endroits habités et visités,
- interprétation, utilisation et élargissement de la compréhension de la géodiversité et du géopatrimoine pour la géoconservation, le géotourisme et d'autres formes de tourisme durable,
- création et encouragement du sentiment d'appartenance et d'identité régionale,
- contribution à la découverte des liens entre les composantes abiotiques, biotiques et culturelles du paysage par le public (Kubalíková, 2020).

Ces aspects montrent l'indispensabilité de la géo-éducation à la géoconservation et au géotourisme. D'ailleurs; ils sont étroitement liés et se soutiennent. Depuis le début des années 1990, lorsque le concept de géotourisme est apparu, l'éducation et l'interprétation ont été soulignées et acceptées comme un outil important qui peut sensibiliser à la conservation de la géodiversité et du géopatrimoine et contribuer au développement durable du géotourisme. De la sorte, les nombreuses définitions qui ont été attribuées au concept du géotourisme, mettent l'accent sur les aspects éducatifs et conservatifs tout en considérant la géo-éducation comme le pilier sur lequel se fonde le géotourisme (ex : Hose, 1995, 2000 ; Slomka et Kicinska-Swiderska, 2004 ; Joyce, 2006 ; Dowling et Newsome, 2010 ; Dowling, 2013 ; Dowling et Newsome, 2018 Farsani et al., 2018).

Selon Dowling et Newsome (2010, 2018), le géotourisme est une forme de tourisme naturel qui se concentre spécifiquement sur la géologie et le paysage. Il favorise le tourisme vers les géosites et la conservation de la géodiversité ainsi que la compréhension des sciences de la Terre par l'appréciation et l'apprentissage. Il implique aussi tous les aspects plus larges de l'activité touristique tels que le transport, l'accès, l'hébergement, les services, la planification et la gestion (Ex : Fig.7). En conséquence, le géotourisme apporte une contribution positive au développement rural tout en développant le secteur du tourisme dans son ensemble. Le géotourisme est avant tout une forme de tourisme durable qui a le potentiel d'apporter des avantages économiques aux communautés locales (Dowling et Newsome, 2006).



Fig. 7: Exemples d'activités géo-touristiques au géoparc mondial UNESCO de Langkawi. A. Voyage en bateau à la découverte de Kilim Geoforest, l'observation et nourrissage des aigles, appelés localement Langkawi. B. L'une des entrées de la grotte Gua Kelwar équipée de panneau d'instructions visant à protéger le visiteur ainsi que l'environnement naturel. C. Pont suspendu avec des points d'observation au géosite de Machinchang Cambrian Geoforest Park D. Téléphérique au géosite de Machinchang Cambrian Geoforest Park. (Photos prises lors d'une visite du géoparc de Langkawi)

4.3. Géoparcs

4.3.1. Concept de géoparc

L'intérêt du géopatrimoine ne se résume pas dans le fait qu'il doit être protégé et transmis aux générations futures, mais aussi dans les opportunités qu'il peut offrir au développement socio-économique local de la zone concernée (Arrad et al., 2018). Les géoparcs avec leur vision holistique sont des moyens conçus pour promouvoir le développement durable des populations locales (Patzak and Eder 1998 ; Eder 1999 ; Eder and Patzak 2004 ; Zouros 2004 ; McKeever et al. 2010 ; Brilha 2016), qui en outre augmentent la coopération entre ces locaux et leurs municipalités pour partager les meilleures pratiques en matière de préservation de leur patrimoine.

Ce concept est apparu à la fin du vingtième siècle et au début du vingt-et-unième. Il est soutenu depuis 2001 par l'UNESCO qui le définit comme étant un territoire géographique unique et unifié où des sites et des paysages d'importance géologique internationale sont gérés selon un concept holistique de protection, d'éducation et de développement durable. Il est basé sur l'autogestion, par une structure clairement définie, organisée selon la législation nationale de chaque pays, tandis que des groupes d'experts aident et supervisent les normes de création de ces zones (Miśkiewicz, 2016).

Avec son approche holistique un géoparc ne s'intéresse pas uniquement au géopatrimoine, mais il doit avoir un impact direct sur la région dans laquelle il est situé en influençant les conditions de vie et l'environnement de ses habitants, en jouant un rôle actif dans le développement économique de sa région, en valorisant l'image générale liée au patrimoine géologique et le développement du géotourisme. Par conséquent, le géoparc est tenu de travailler avec les entreprises locales pour promouvoir et soutenir la création de nouveaux produits dérivés et liés au patrimoine géologique.

Le rôle actif des géoparcs comprend aussi les volets conservatifs et éducatifs. Ils développent, expérimentent et améliorent continuellement des méthodes de préservation de leur patrimoine géologique et soutiennent le développement de la recherche scientifique dans les différentes disciplines des sciences de la Terre. Ils visent également l'amélioration de la reconnaissance de l'importance de la protection et de la conservation du patrimoine de la Terre par la société, d'où l'organisation et l'accueil d'activités d'éducation et de formation à tous les niveaux d'enseignement dans le domaine des Sciences de la Terre par les géoparcs.

4.3.2. Exemples des géoparcs mondiaux UNESCO

a. Langkawi UNESCO Global Geopark

Langkawi est un conglomérat de 99 îles situé à l'extrême nord-ouest de la Malaisie péninsulaire. Il constitue l'un des plus beaux paysages insulaires tropicaux karstiques de la région (Figs. 3 et 7) abritant le seul écosystème de mangrove du pays sur une surface calcaire. La mangrove correspond à un écosystème de marais maritime incluant un groupement de végétaux spécifiques principalement ligneux (Fig. 8) qui ne se développe que dans la zone de balancement des marées, appelée estran, des côtes basses des régions tropicales.

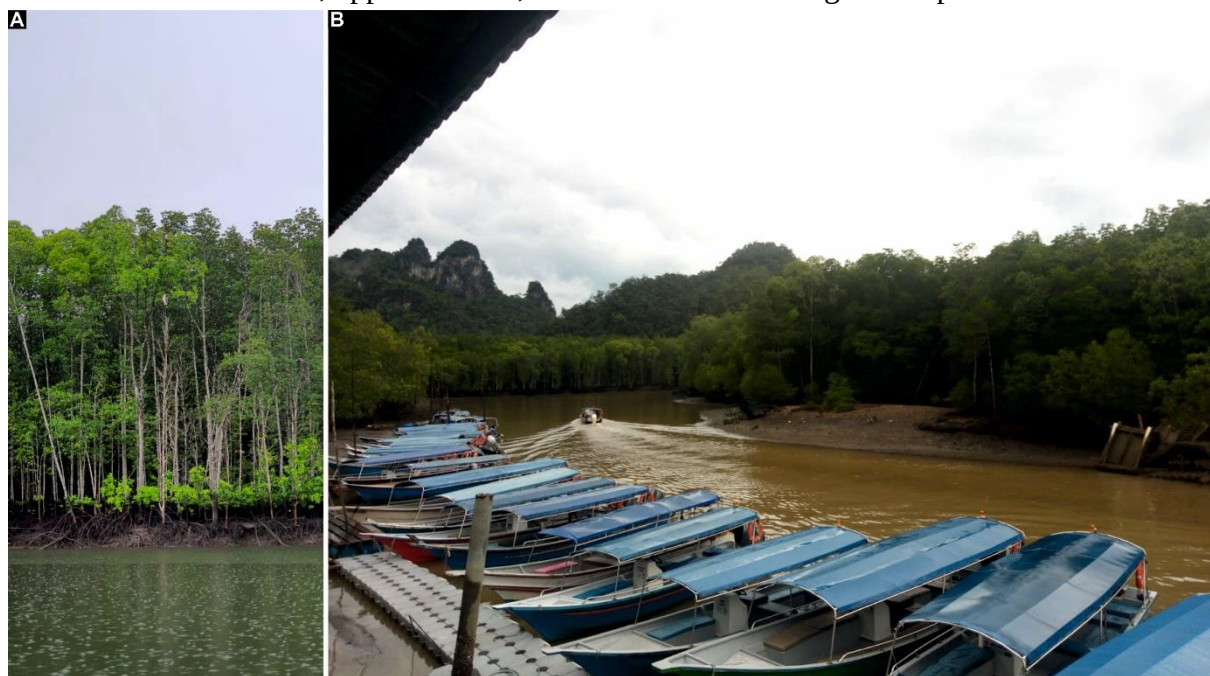


Fig. 8: A. Mangroves le long de rivière. Des racines aériennes au-dessus de l'eau pour nourrir ceux qui sont enterrés dans la boue privée d'air. B. Bateaux destinés à l'exploration des géosites et bio-sites de Kilim Karst Geoforest Park. (Photos prises lors d'une visite du géoparc de Langkawi)

Le géoparc de Langkawi a été créé en 2006 par le gouvernement de l'Etat de Kedah et approuvé par l'UNESCO dans le cadre du réseau mondial des géoparcs nationaux en 2007 ce qui a

marqué une étape importante dans la poursuite de la conservation du géopatrimoine et l'amélioration du potentiel touristique extatique de la nature.

La géodiversité de Langkawi se retrouve dans diverses manifestations naturelles dans différentes parties de l'île. Les côtes et les pics rocheux (Fig. 3), les grottes et les cascades sont les expositions naturelles les meilleures et les plus courantes que l'on trouve dans les îles de Langkawi. Certaines des aires d'exposition importantes ont été classées comme sites géopatrimoniaux contenant un ou plusieurs types de géodiversité. Les sites à valeur patrimoniale de Langkawi sont classés en trois catégories : 39 géosites avec leurs différents types, 9 bio-sites et 24 sites d'attractions comprenant des sites culturels et d'activités touristiques.

La conservation à Langkawi se répartit en plusieurs zones de conservation, adaptées essentiellement des réserves forestières préexistantes. Il existe trois zones de conservation qui contribuent de manière significative aux efforts de conservation du géopatrimoine, appelées parcs géoforestiers (ex : Fig. 7). En effet, la plupart des ressources du géopatrimoine et des géosites du géoparc mondial de Langkawi sont incorporés dans ces trois parcs géoforestiers. Les parcs géoforestiers de Langkawi sont gérés par le département forestier de Keddah. La mission du parc géoforestier est de permettre la vulgarisation des sciences (Ex : Fig. 9), et donc de renforcer les sciences. Pour faciliter les activités liées aux géosciences et au géotourisme, plusieurs infrastructures de base (Ex : Fig. 8B) ont été développées par le conseil local et l'autorité de développement de Langkawi (LADA). Ces infrastructures comprennent un bureau de gestion du site, un infocentre, des informations, des kiosques, des panneaux d'information, des panneaux de directives et d'avertissement (Fig. 7B), des boutiques de souvenirs (Fig. 4), des magasins d'alimentation, des boutiques de services, un point de débarquement (Fig. 8B), une route goudronnée, des chemins de randonnée, un téléphérique (Fig. 7D), une plate-forme d'observation (Fig. 7C), etc.

b. Lesvos UNESCO Global Geopark

L'île de Lesvos, l'une des plus grandes îles grecques avec une superficie de 1630 km², est située dans le nord-est de la mer Égée. Le patrimoine naturel de Lesvos comprend des monuments géologiques ayant une reconnaissance internationale, des paysages, des zones d'intérêt écologique et des monuments culturels. Toutes ces caractéristiques naturelles et culturelles sont managées dans le cadre d'un programme local de développement durable contribuant à la reconnaissance de Lesvos comme géoparc mondial de l'UNESCO. Cette reconnaissance a vu le jour le 20 septembre 2012.

Le patrimoine géologique de Lesvos (Figs.2 et 10) se reflète dans sa structure géologique complexe et dans le grand nombre de géosites, tels que les volcans, les sources d'eau chaude, les sites fossilifères importants, les grandes failles, les cascades, les reliefs côtiers, qui constituent des témoignages significatifs de l'histoire géologique de la région égéenne. Les géosites de Lesvos sont regroupés sous les catégories suivantes :

Géosites fossilifères : il s'agit de restes de plantes (Figs. 2D et 5A-B-C) et de parties dures du corps de divers animaux ayant vécu sur terre ou dans la mer ainsi que de leurs traces.

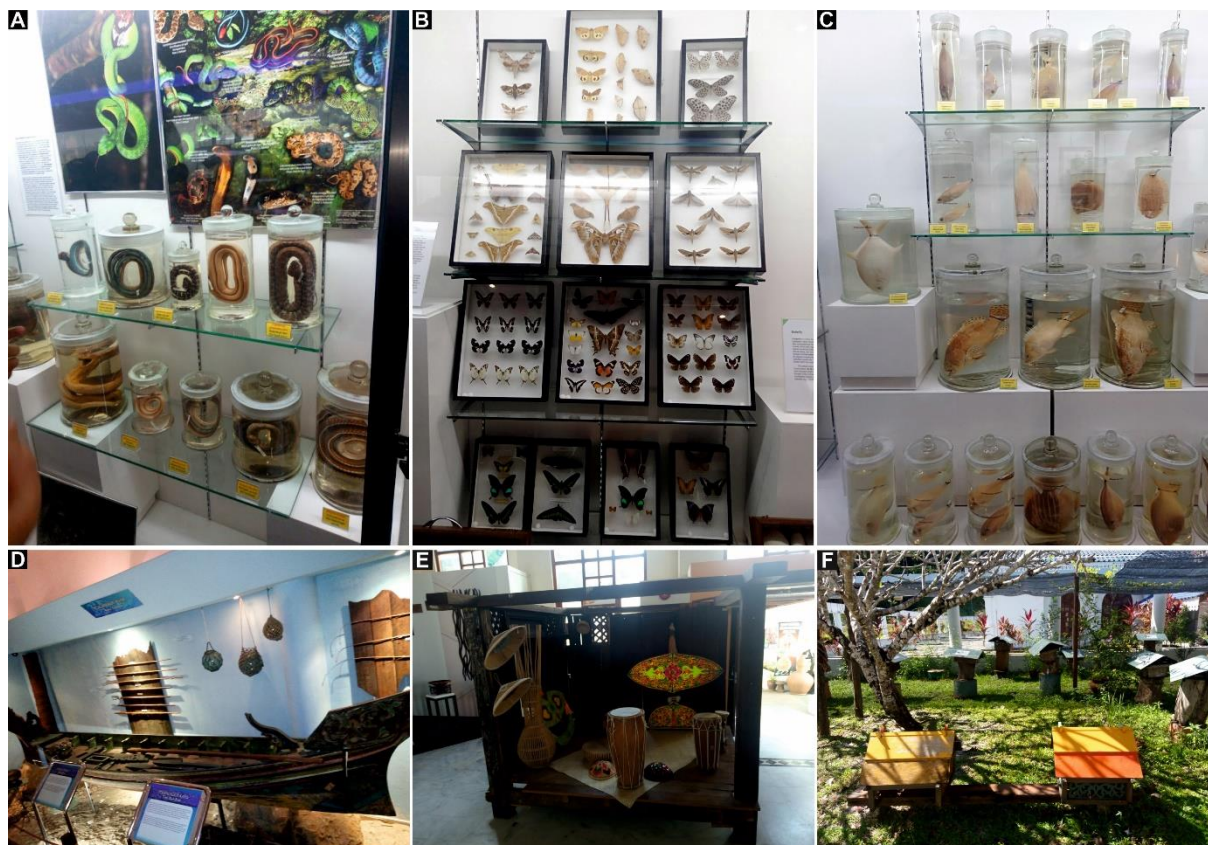


Fig. 9: A-B-C. Exemples d'expositions des espèces animales locales au centre de recherche de Langkawi. C-D. Exemples des expositions des objets culturels au complexe artisanal de Langkawi. E. Apiculture gérée par des locaux au complexe artisanal de Langkawi. (Photos prises lors d'une visite du géoparc de Langkawi)

Géosites géomorphologiques : Lesvos renferme un grand nombre de géosites géomorphologiques importants. Des géosites remarquables dus au phénomène de l'altération peuvent être trouvés dans de nombreuses parties de l'île, comme les "formations Tafoni" (formes d'altération en nid d'abeille ([Fig.10A](#))) à Plaka près de Sigri et sur l'îlot Nissiopi.

Géosites tectoniques : l'île est une clé pour la compréhension des processus géodynamiques dans la région égéenne. Les processus géotectoniques ont créé la morphologie intense et les paysages étonnants associés aux principales failles ([Figs.2A et 10C](#)).

Géosites volcaniques : l'histoire géologique de Lesvos est inséparable de l'activité volcanique qui s'est déroulée il y a 21,5 à 16,5 millions d'années et qui a conduit à la création de grands volcans. Ces derniers n'étaient pas seulement une cause de destruction, puisque leur activité a conduit à la création d'importantes géosites ([Figs. 2B et 10B](#)), de roches et de nombreux minéraux qui constituent de précieuses ressources naturelles exploitées par l'homme au fil des ans.



Fig. 10: A. Géosite de Tafoni : altération en nid d'abeille, des cavités sphériques de plusieurs dimensions aux parois lisses et concaves, créées par un vent intense sur les roches volcaniques. B. Orgues basaltiques de Pelopi formées suite au refroidissement rapide d'intrusions de lave dans des matériaux pyroclastiques tendres sur les flancs du volcan de Leptymnos sur l'île de Lesvos. C. Une des failles actives de Vatera. D. Sites historiques du Château de Molyvos. (Photos prises lors d'une visite du géoparc de Lesvos)

L'environnement naturel de Lesvos particulièrement riche a contribué de manière significative au développement, à la création et à l'évolution des sociétés qui ont prospéré au fil du temps dans la région. À Lesvos, on trouve des sites archéologiques préhistoriques et historiques, des châteaux médiévaux (Fig. 10D), des monastères byzantins, des villages traditionnels. Le riche patrimoine architectural est associé à l'utilisation de matériaux de construction locaux, eux-mêmes associés à l'histoire et au patrimoine géologiques.

Le géoparc de Lesvos se caractérise également par une riche biodiversité. Grâce à des conditions pédologiques et climatiques favorables, elle est couverte d'une flore très riche avec plus de 1400 espèces et sous-espèces de plantes. Cette valeur écologique est soulignée par l'intégration de nombreuses zones dans le réseau écologique européen "Natura 2000". Ce réseau rassemble des sites naturels ou semi-naturels de l'Union européenne ayant une grande valeur patrimoniale, par la faune et la flore exceptionnelles qu'ils contiennent.

Le territoire de Lesvos est sous gestion d'un accord signé entre la municipalité de Lesvos, l'Université Égéeenne et le musée d'histoire naturelle de la forêt pétrifiée de Lesvos qui déploient des efforts pour la conservation et la promotion des éléments du patrimoine géologique, naturel et culturel et leur utilisation dans le cadre d'une stratégie locale de développement durable, dont les principaux piliers sont le tourisme thématique et l'éducation environnementale (Figs. 6 et 11B). Le musée d'histoire naturelle de la forêt pétrifiée de Lesvos a établi un réseau de musées locaux (ex : Figs. 6 et 11) en vue de sensibiliser de la population locale et à promouvoir leurs collections.



Fig. 11: A. Expositions des troncs d'arbres pétrifiés au musée d'histoire naturelle de la forêt pétrifiée de Lesvos. B. Des modèles et reconstitutions pour expliquer l'histoire géologique de la région de la mer Égée. C. Expositions d'anciens outils d'exaction et de stockage d'Ouzo à la distillerie de ce vin. D. Expositions d'anciens outils et emballages d'huile d'olive au musée d'huile d'olive à Agia Paraskevi. (Photos prises lors d'une visite du géoparc de Lesvos).

c. M'Goun UNESCO Global Geopark

Le géoparc mondial de l'UNESCO de M'Goun est situé à environ 100 km de Marrakech et 330 km de Casablanca, au milieu de la chaîne du Haut Atlas central. Son territoire couvre une zone de montagnes moyennes à hautes où règne un climat méditerranéen avec des influences atlantiques. Il s'agit d'un territoire de 5700km² qui abrite des de nombreux éléments de patrimoine naturel, culturel et architectural exceptionnels. En tenant compte de ce patrimoine et de la stratégie de sa gestion, M'Goun a été reconnu comme un géoparc mondial UNECO pour la première fois en 2014. Il reste le premier géoparc mondial en Afrique et dans le monde arabe.

Le patrimoine géologique du géoparc M'Goun s'inscrit dans l'évolution géologique du Haut Atlas central qui remonte à la période triasique, il y a 250 millions d'années, tandis que les principaux événements ont eu lieu pendant la période jurassique, il y a environ 180 millions d'années. Il comprend des empreintes célèbres et spectaculaires de dinosaures sauropodes et théropodes et de nombreux dépôts d'ossements. Il comprend 21 géosites (ex: [Figs.12 et 13](#)) de différentes valeurs à savoir des sites fossilifères, structurales, sédimentaires, volcaniques, géomorphologiques, archéologiques, esthétiques et culturels.



Fig. 12: Exemples de géopatrimoine de géoparc mondial de M'Goun. A. Géosite volcanique de Taghia. B. Géomorphosite des cascades d'Ouzoud. C. Géomorphosite du lac de Bine El Ouidane. D. Géosite paléontologique des pas de dinosaures de petits théropode. E. Squelette du dinosaure Atlasaurus. (Source : www.geoparc-mgoun.ma)

Le géoparc mondial UNESCO de M'Goun est administré par le conseil d'orientation qui veille sur sa stratégie de développement, la mobilisation des fonds pour la réalisation des plans d'action de l'Association de Géoparc M'Goun ainsi que leur approbation. C'est cette association qui prend en charge la gestion du géoparc en élaborant, en misant en œuvre, en contrôlant et en suivant des plans d'action. Elle assure également la coordination et le développement des actions en concertation avec le comité scientifique et Technique du Géoparc.



Fig. 13: A. Site archéologique des gravures rupestres de Tizi n'Tighis montrant des cavaliers avec lances et boucliers. B. Site architectural du grenier de Sidi Moussa Tabant. (Sources : www.geoparc-mgoun.ma)

Il assure sa mission de géoconservation en restaurant les géosites fossilifères, tels que les pas des dinosaures fossilisés à Iouaridène, et préhistoriques vulnérables comme ceux de Tizi n'Tighis. Dans le cadre d'instaurer le géotourisme dans la région, le géoparc de M'Goun a entrepris plusieurs actions comme la création des partenariats avec les acteurs locaux du tourisme, la conception et la création des circuits géo-touristiques, l'établissement d'un musée (Fig. 14) destiné à exposer le patrimoine naturel et culturel de la zone. Ce musée est également destiné aux activités de géo-éducation, une des missions prioritaires de M'Goun Geopark.

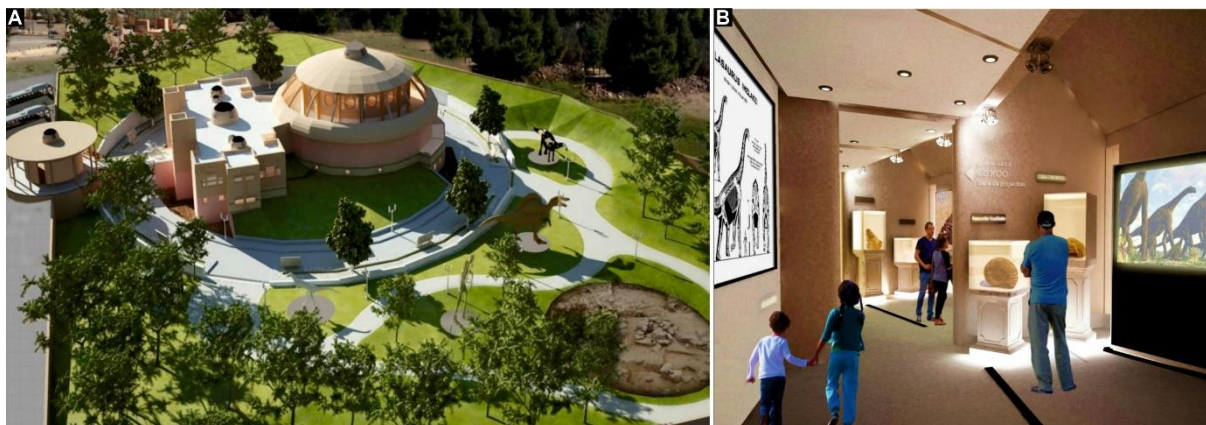


Fig. 14: Musée d'Azilal. A. Architecture en coupôles du musée. B. Exemple d'expositions de géopatrimoine au musée. (Sources : www.geoparc-mgoun.ma)

d. Cas du sud-est marocain

Le sud-est marocain est béni par des richesses naturelles, culturelles, archéologiques et historiques jugées d'avoir une grande valeur patrimoniale mais qui est longtemps restée mal connue et dévalorisée. Ses richesses naturelles ne se dissocient de sa longue histoire géologique. Cette géologie associée à la chaîne d'Anti-Atlas offre des localités qui en contribuant à la compréhension de l'évolution de la Terre ont mérité leur grande valeur géologique mondialement reconnue. En parlant de ce patrimoine naturel, on cite également son environnement subsaharien qui abrite une grande biodiversité dont certaines espèces sont endémiques. Cet environnement qui a évolué au cours des temps géologiques a contribué de manière significative au développement, à la création et à l'évolution des sociétés qui ont prospéré au fil du temps dans la région. Les témoins de ces sociétés sont restés ancrés dans les sites archéologiques préhistoriques et historiques, des châteaux médiévaux, des villages traditionnels dans cette partie du pays. Devant ces potentiels, les chercheurs de l'Université Mohammed V de Rabat ainsi que les autorités locales de la région se sont retrouvés dans le besoin de travailler ensemble afin de mettre en valeur les différents éléments de patrimoine du sud-est du Maroc tout en assurant son développement durable. Le projet de Bani Geopark (Fig. 15) est une initiative de l'Université Mohammed V de Rabat.

En vue des conditions et des complications administratives, les universitaires sont partis de l'idée de commencer en premier lieu par le territoire de Tata (Fig. 15), ce qui a abouti à des collaborations avec le Conseil Régional de Tata pour fonder le géoparc de Bani - Tata et sa structure de management. Après le fonctionnement de ce dernier comme un géoparc UNESCO mondial, une autre demande serait adressée à l'UNESCO pour solliciter une extension géographique intégrant le Bani Geopark-Zagora (sujet de la présente recherche) puis le Bani Geopark-Guelmim Assa.

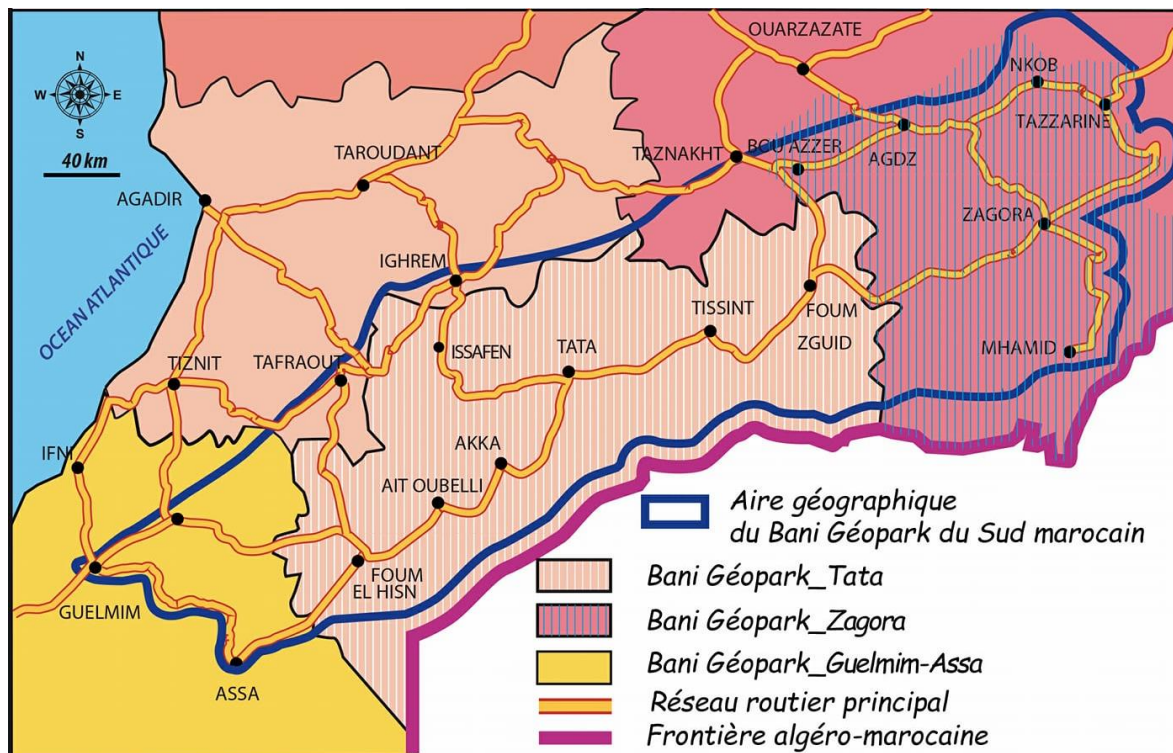


Fig. 15: Situation géographique du projet de Bani Geopark (Berred et al., 2019a).

5. Le système d'information géographique et le géopatrimoine

5.1. Généralités

Un système d'information géographique (SIG) est défini par Thériault (1996) comme étant un ensemble de principes, de méthodes, d'instruments et de données à références spatiales utilisés pour saisir, conserver, transformer, analyser, modéliser, simuler et cartographier les phénomènes et les processus distribués dans l'espace géographique. De la sorte, le SIG relie les données à une carte, en intégrant les données de localisation aux informations descriptives (comment sont les objets à cet endroit). Il s'agit donc d'un outil informatique qui stocke et gère des informations ayant une référence au territoire. Cela fournit une base pour la cartographie et l'analyse qui peut être utilisée dans la science et dans presque toutes les industries. Les SIG aident les utilisateurs à comprendre les modèles, les relations et le contexte géographique.

De plus de l'intégration organisationnelle de données, de différentes sources (données géographiques et non géographiques), les avantages de ce système comprennent l'amélioration de la communication et de l'efficacité ainsi qu'une meilleure gestion et prise de décision.

Un système d'information géographique (SIG) est un système qui crée, gère, analyse et cartographie tous les types de données. Il exploite deux types de modèles géographiques (modèle vecteur et modèle raster). Chacun d'eux dispose de ses avantages. Un SIG moderne exploite simultanément ces deux types de représentation. Le modèle vecteur où les informations sont regroupées sous forme de coordonnées X et Y. Les objets de type ponctuel sont dans ce cas représentés par un simple point, alors que les objets linéaires sont représentés par une succession de coordonnées X, Y. Les objets polygonaux sont, quant à eux, représentés par une succession de coordonnées délimitant une surface fermée.

5.2. Utilisation du système d'information géographique en géopatrimoine

Récemment, l'utilisation des SIGs et d'autres outils géographiques ont suscité une grande attention dans la recherche du géopatrimoine, la géoconservation et le géotourisme. Ils

permettent de situer le géopatrimoine dans son contexte géographique. Leurs outils ont le potentiel de simplifier le flux de travail dans l'évaluation et l'inventaire de la géoconservation, d'être employés comme outils d'aide à la décision et de prise de décision pour des décisions complexes, ou d'être utilisés pour améliorer la communication et l'expérience des utilisateurs dans le géotourisme (Williams et McHenry, 2020). Certaines de ces technologies sont d'un grand appui pour le terrain, d'autres sont des moyens numériques permettant d'effectuer des tâches existantes, avec parfois un gain de temps ou d'argent. Moins fréquemment, les outils des SIGs sont utilisés pour la prise de décision - comme l'identification de sites potentiels de géodiversité pour les zones de géotourisme et dans l'évaluation des géosites les plus appropriés pour l'inventaire dont certains peuvent être réalisés par l'analyse décisionnelle multicritères. Ils sont majoritairement utilisés dans le cadre de communication en géotourisme et en éducation. Ces approches pourraient potentiellement, et de plus en plus, aider les chercheurs à collecter, interpréter, visualiser et communiquer des inventaires et des idées. En outre, des outils SIG améliorés pourraient permettre aux universitaires et aux praticiens du géopatrimoine de communiquer facilement et globalement des idées et des résultats en matière de géoconservation, de géotourisme et de géo-éducation, contribuant ainsi à résoudre les arguments méthodologiques et les critères de valeurs associés au géopatrimoine et au géotourisme (Williams et McHenry, 2020).

Les outils SIG peuvent en outre être employés dans toutes les parties du cycle de la planification et de l'acquisition des données relatives au géopatrimoine et au géotourisme. Il s'agit par exemple de l'accès aux terrains difficiles, de la délimitation des frontières, de la collecte de données, de la détection du géopatrimoine et sa classification, de la cartographie géomorphologique, du stockage des géo-informations, du suivi, de l'analyse du terrain, de la modélisation SIG, de la classification de la lithologie et de la composition de la surface, de la communication, pour la direction et le public, et de la promotion. A côté des évaluations comparatives de la géodiversité, de nombreux autres défis peuvent être relevés à l'aide de ces outils, notamment, les systèmes de classification des formes de relief et des types représentatifs et le suivi de la dégradation des géosites.

Chapitre 2 : Problématique

1. Problématique

En suivant l'évolution de l'économie et le mode de vie de la population locale, on réalise son ingéniosité à savoir s'adapter aux changements des conditions dans leur milieu de vie. Dans la préhistoire, elle optait pour la sédentarisation grâce au climat humide qui régnait. Par la suite, sous l'influence de ces mêmes conditions qui étaient devenues sèches et difficiles, certains ont préféré le nomadisme alors que d'autres ont su manager des palmeraies le long d'Oued Draa. Aujourd'hui, suite à l'accentuation de la sévérité des conditions climatiques, on assiste à un savoir de mobilisation de la culture, la nature et les modes de vie locaux dans le tourisme, qui est le principal secteur économique dans la zone d'étude. Cependant, cette mobilisation a aussi créé des mauvaises conduites, telles que le vandalisme, qui nuisent aux différents éléments de patrimoine de la région à savoir le géopatrimoine. Aujourd'hui, Zagora rend hommage à son patrimoine culturel et, récemment, l'architectural sous forme de festivals. Il est autant nécessaire de porter attention à son patrimoine géologique. Ainsi, trouver des liens entre le patrimoine géologique et d'autres valeurs culturelles, biologiques et archéologiques a le pouvoir de transmettre ce dernier à la population locale et la sensibiliser de son importance pour l'intégrer dans le processus de la géoconservation à mener dans le cadre du géoparc. D'autre part, cela joue en faveur du développement de la socio-économie locale en diversifiant les programmes touristiques.

Au Maroc, mises appart les initiatives des universitaires, la reconnaissance de la géodiversité comme un patrimoine naturel reste à des stades en cours de développement. Malgré son géopatrimoine remarquable, on y compte qu'un seul géoparc mondial (M'Goun UNESCO Global Geopark) et un projet de géoparc (Bani Geopark Tata) qui est encore en cours d'implémentation. D'autre part, la loi portant sur la protection et la préservation du géopatrimoine marocain n'a été publié au bulletin officiel marocain qu'en 2019.

Soumise aux mêmes conditions nationales de protection et conservation du géopatrimoine, la zone d'étude est dans une situation alarmante à cause du vandalisme que connaît son héritage paléontologique, notamment, les fossiles des Schistes de Fezouata. En considérant cette situation, la création d'un géoparc avec des exigences mondiales s'avère une intervention adéquate pour faire face à ce vandalisme. En outre, c'est une approche qui vise non seulement la protection et la conservation du géopatrimoine mais aussi à adopter les bonnes manières qui permettent d'exploiter ce patrimoine, en géo-éducation et en géotourisme, sans porter atteinte à celui-ci pour assurer un développement durable de la socio-économie locale.

2. Objectifs

En travaillant sur la création du projet de géoparc Bani L'Université Mohammed V de Rabat et ses collaborateurs des autorités locales tiennent l'ambition d'en faire un géoparc mondial UNESCO. Une telle mission suivant les standards de l'UNESCO consiste, dans un premier temps, à établir un inventaire des géosites. La sélection de ceux-ci doit se faire selon une méthode prédéfinie qui considère certaines conditions telles que la valeur scientifique du site. Pour pouvoir ressortir une liste des géosites, modifiable avec le temps, tout en réduisant la subjectivité, une analyse quantitative et comparative s'impose. En tenant compte l'ambition de créer un géoparc mondial, les objectifs tracés pour ce travail, rentrent dans le cadre de l'identification et l'évaluation des sites à valeur du cercle de Zagora. Ainsi, il s'agit de :

- Identifier et décrire les géosites à valeur scientifique à partir de la bibliographie scientifique et les données de terrain ;
- Identifier et décrire les sites à valeurs géo-éducatives et /ou géotouristiques (sites à géodiversité) et les données de terrain ;
- Evaluer la valeur scientifique des géosites selon les critères d'une méthode quantitative ;
- Evaluer quantitativement le potentiel d'utilisation éducative et touristique de l'ensemble des géosites et sites à géodiversité ;
- Evaluer quantitativement le risque de dégradation des sites inventoriés. Une étape dont l'objectif est de classer ces sites suivant la priorité du besoin de géoconservation tout en considérant la valeur scientifique ;
- Identifier le besoin de protection et de conservation de chaque site ;
- Identifier le domaine d'utilisation de chacun des sites en tenant considération des résultats des évaluations du potentiel d'utilisation et du risque de dégradation.
- Création de base de données SIG pour numériser, stocker, gérer et communiquer les multiples données collectées.

D'autre part, les géoparcs ne se limitent pas à la mise en valeur et la protection du géopatrimoine. Il s'agit d'une approche holistique qui s'intéresse aussi aux autres aspects de patrimoine local, à savoir : culture, archéologie et biodiversité. Cette recherche a également pour objectifs de trouver les liens entre la géodiversité du cercle de Zagora et les valeurs patrimoniales précitées. La vocation d'établissement de connexions est aussi de transmettre la valeur de la géodiversité et de sensibiliser, responsable, communauté locale et visiteur du besoin et de l'importance de la conservation du géopatrimoine locale.

Chapitre 3: Méthodologie de travail

1. Introduction

Le présent travail rentre dans le cadre du projet Bani Geopark qui a pour objectifs la conservation, la protection et la valorisation du patrimoine géologique, naturel et culturel, de sud est marocain tout en contribuant dans le développement socio-économique durable de ce territoire. L'établissement de ce projet a l'ambition d'être reconnu comme un géoparc mondial UNESCO. Afin d'être accepté dans ce réseau mondial, il faudrait préparer notre territoire pour un futur géoparc en conformité avec les exigences établies par l'UNESCO. L'une de ces exigences est l'inventaire du patrimoine géologique qui est un atout essentiel de tout géoparc. L'identification et l'évaluation des géosites est une tâche complexe qui se situe entre l'analyse scientifique et l'évaluation du patrimoine historique, artistique ou culturel. Cela implique la nécessité de combiner des critères, des approches et, en particulier, des contextes culturels disciplinaires très différents. Dans le processus d'inventaire et d'évaluation des géosites, il est nécessaire de combiner des critères scientifiques avec d'autres critères liés aux valeurs immatérielles (Panizza et Piacente, 1999 ; Poli, 1999) plus communément associées aux objets artistiques ou historiques.

Plusieurs travaux de recherches proposant des méthodes d'inventaire et d'évaluation du géopatrimoine ont vu le jour suite aux expériences des scientifiques. Cependant l'utilisation et l'application d'une de ces procédures nécessitent une description claire des critères pris en considérations afin d'éviter la subjectivité (Mucivuna et al., 2019). Dans ce travail, il a été opté pour l'utilisation de la méthode quantitative (Fig. 16) proposée par Brilha (2016). Elle a été élaborée en tenant compte des meilleures pratiques issues d'autres méthodes ainsi que l'expérience de l'auteur. Il s'agit d'une méthode claire et systématique avec des critères transparents comme elle peut être appliquée à tout type de géosite. Il convient de souligner que la procédure présentée ici est adaptée pour identifier et caractériser la haute valeur des éléments de la géodiversité in-situ (Brilha 2018).

2. Inventaire

La méthode propose de restreindre l'utilisation du terme 'géosite' aux seules occurrences in-situ ayant une valeur scientifique, afin de ne pas banaliser l'utilisation de ce terme. En conséquence, tout autre site ayant une valeur éducative et / ou touristique demeure intéressant et peut être désigné par "site à géodiversité". En outre, si le but est d'identifier des sites ayant une valeur scientifique, il est alors nécessaire de développer un inventaire des géosites en utilisant un ensemble de quatre critères (Tableau 3). Cependant, si l'objectif est d'identifier des sites ayant une valeur éducative, touristique et/ou culturelle, alors un autre inventaire des sites à géodiversité est conseillé, basé sur un autre ensemble de critères (Tableaux 4,5).

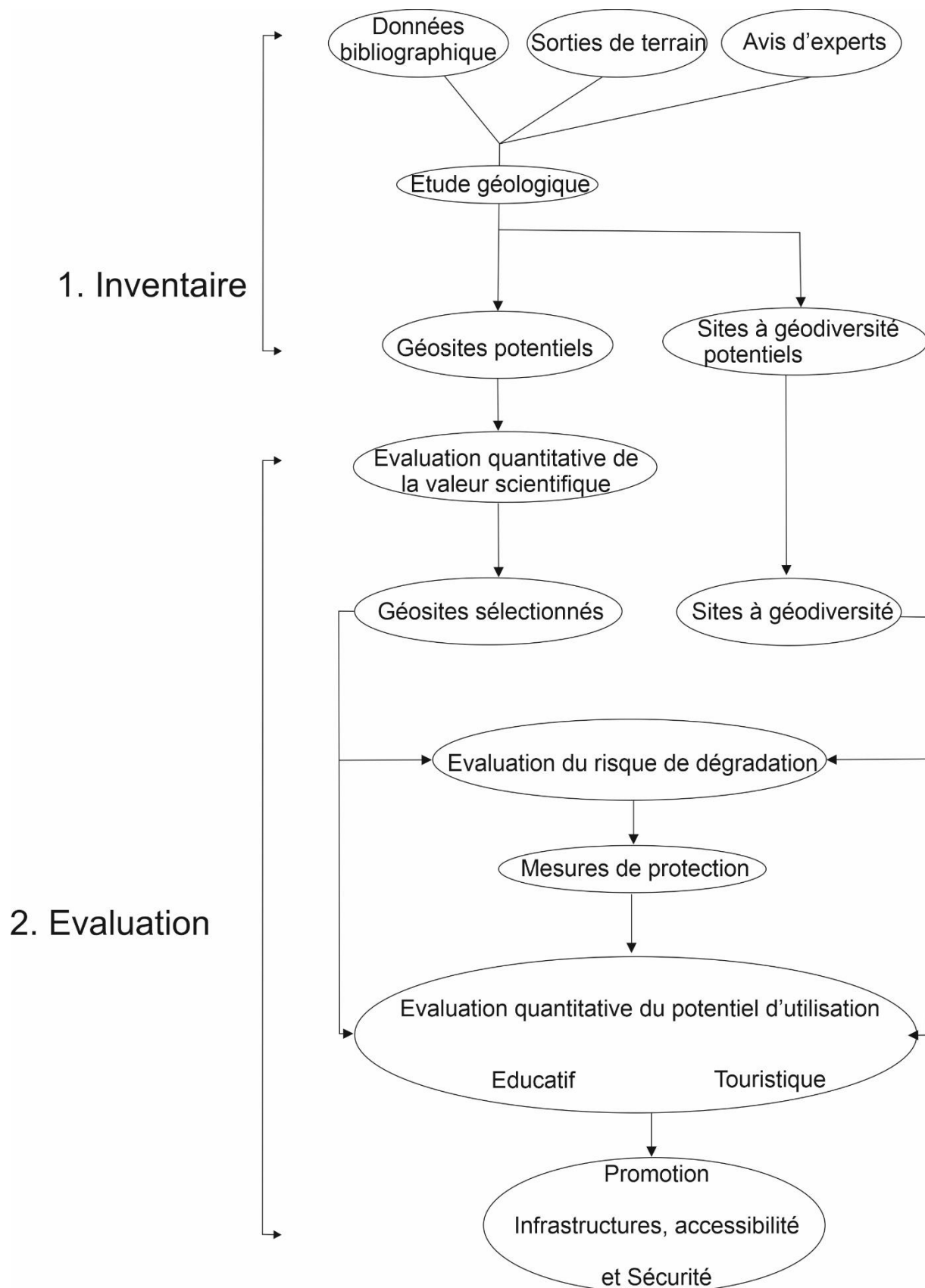


Fig. 16: Procédure d'évaluation modifiée d'après Brilha, 2016

Tableau 2: critères d'évaluation et de sélection des géosites (Brilha, 2016)

Représentativité	Intégrité	Rareté	Connaissances scientifique
Indique l'adéquation du géosite pour illustrer un processus ou une caractéristique géologique apportant une contribution significative à la compréhension du phénomène, du processus, de la caractéristique ou du cadre géologique.	Concerne l'état de conservation actuel du géosite, en tenant compte des processus naturels et des activités anthropiques.	Correspond au nombre de géosite présentant les mêmes caractéristiques géologiques dans la zone d'étude.	Relatives aux données scientifiques déjà publiées sur le géosite.

Tableau 3: Critère de sélection et d'évaluation des sites à géodiversité ayant une valeur éducative (Brilha, 2016)

Potentiel didactique	Diversité géologique	Accessibilité	Sécurité
Se rapporte à la possibilité et la facilité de la compréhension d'un élément géologique d'être par les étudiants de différents niveaux d'enseignement (écoles primaires et secondaires, universités).	Correspond au nombre de différents types d'éléments de géodiversité présents dans le même site.	Relative aux conditions d'accès au site en termes de difficulté et de temps passé à pied pour les élèves ordinaires.	Liée aux conditions de visite, en tenant compte du en tenant compte du risque minimum pour les élèves.

Tableau 4: Critère de sélection et d'évaluation des sites à géodiversité ayant une valeur touristique (Brilha, 2016)

Paysage	Potentiel d'interprétation	Accessibilité	Sécurité
Associé à la beauté visuelle de l'occurrence géologique (paysage ou affleurement).	Concerne la capacité d'un élément géologique à être facilement saisi par le touriste.	Liée aux conditions d'accès au site en termes de difficulté et de temps de marche pour le touriste.	Relative aux conditions de visite, en prenant en compte du risque minimum pour les visiteurs.

2.1. Inventaire des géosites

La phase de l'inventaire des géosite est de deux étapes, où la première consiste en une analyse documentaire de toutes les données géologiques publiées sur la zone étudiée (cartes géologiques, rapports, thèses, articles évalués par des pairs, etc.). Cette revue de littérature

permet d'encadrer la zone géologiquement pour établir une liste de géosites potentiels référencés dans la littérature, tels que les sites où des données pertinentes ont été obtenues, des stratotypes, des arrêts d'excursions scientifiques sur le terrain, les affleurements clés pour certaines formations, etc... La définition du cadre géologique doit être faite avec le consensus de la communauté géo-scientifique tout en représentant les principaux chapitres de l'histoire de la Terre qui ont laissé des traces dans ce territoire.

Cette présélection de géosites potentiels peut également être enrichie par les conseils d'experts qui ont développé des recherches dans la région.

L'étape suivante se déroule sur le terrain avec deux principaux objectifs à savoir l'identification et la caractérisation des potentiels géosites présélectionnés ainsi que la reconnaissance de nouveaux géosites potentiels. Le travail de terrain permet d'évaluer si les géosites potentiels présentent les caractéristiques nécessaires afin d'être considérés comme des géosites pour le projet du géoparc. Pendant le travail de terrain, chaque géosite potentiel doit être évalué qualitativement en répondant aux quatre critères: représentativité, intégrité, rareté et la connaissance scientifique (Tableau 3).

Après les visites du terrain, la liste des géosites potentiels est convertie en une liste définitive de géosites. Chaque géosite définitif doit être caractérisé à l'aide d'un formulaire. Ce formulaire est à son tour converti par la suite à une base de données SIG (Fig. 17).

2.2. Inventaire des sites à géodiversité

Tout comme l'inventaire des géosites, l'inventaire des sites à géodiversité commence par la revue de la littérature géologique et la consultation d'experts ayant une expérience professionnelle dans la zone d'étude. Les géosites potentiels peuvent être également inclus comme sites à géodiversité potentiels. Concernant l'inventaire des sites ayant une valeur éducative, il est important d'identifier les sites qui sont déjà utilisés dans des activités éducatives. Sur le terrain, ces sites doivent être évalués qualitativement selon leur potentiel didactique, leur diversité géologique, leur accessibilité et la sécurité de leur utilisation (Tableau 4).

Dans le cas de l'inventaire des sites à valeur touristique, il est également important d'examiner la documentation touristique de la région (dépliants, sites Web, etc.) afin d'ajouter d'autres sites à la liste des sites à géodiversité potentiels. Au cours du travail sur terrain, chaque site potentiel doit être évalué qualitativement en considérant le paysage, le potentiel d'interprétation, l'accessibilité et la sécurité (Tableau 5).

Après avoir achevé le travail de terrain, la liste des sites à géodiversité potentiels est convertie en une liste définitive. Chaque site doit être caractérisé à l'aide d'un formulaire. Par la suite ce formulaire est converti à une base de données SIG (Fig. 17).

3. Evaluation

Pour mettre en valeur et protéger le géopatrimoine, tous les outils qui prennent en considération la durabilité des géosites doivent être envisagés. La protection reste donc une condition incontournable pour la promotion et la valorisation du géopatrimoine. En termes de management, une fois les inventaires des géosites et des sites à géodiversité sont accomplis, il est indispensable d'effectuer des évaluations quantitatives afin d'obtenir les données qui permettront de décider des priorités de ces sites dans la gestion.

Dans le cas des géosites, une combinaison de l'évaluation quantitative de la valeur scientifique des géosites et de leur risque de dégradation doit être considérée. Ainsi, un géosite d'une valeur scientifique élevée avec un degré de dégradation élevé justifie une priorité urgente dans le plan d'action de la gestion du géopatrimoine.

Concernant les sites à géodiversité, une combinaison de l'évaluation quantitative du potentiel éducatif et/ou touristique des sites est essentielle pour définir une stratégie adéquate. De la sorte, les sites présentant un faible risque de dégradation et un fort potentiel pour l'éducation et le tourisme doivent être considérés comme une priorité absolue.

3.1. Evaluation quantitative de la valeur scientifique

L'évaluation quantitative de la valeur scientifique des géosites est effectuée selon sept critères avec des pondérations différentes correspondant à l'importance relative à chacun (Tableaux 6,7).

Tableau 5: Pondération des différents critères utilisés pour l'évaluation de la valeur scientifique des géosites (Brilha, 2016)

Critère		Poids %
A. Représentativité	Capacité à illustrer des éléments ou des processus géologiques (liés au cadre géologique considéré, le cas échéant).	30
B. Localité clé	Importance de se référer ou d'être un modèle pour la stratigraphie, la paléontologie, la minéralogie, etc.	20
C. Connaissances scientifiques	L'existence de recherches scientifiques publiées sur le géosite (liées au cadre géologique considéré, le cas échéant) reflète la VS donnée par la communauté géoscientifique.	5
D. Intégrité	L'état de conservation des principaux éléments géologiques (liés au cadre géologique considéré, le cas échéant) ; plus l'intégrité est bonne, plus la VS est élevée.	15
F. Géodiversité	Un grand nombre d'éléments géologiques différents présentant un intérêt scientifique (liés au cadre géologique considéré, le cas échéant) dans un géosite implique une VS plus élevée.	5
F. Rareté	Peu de géosites similaires dans la zone d'étude (représentant le cadre géologique considéré le cas échéant) augmente la VS.	15
G. Limites d'utilisation	L'existence d'obstacles qui pouvant être source de problèmes en vue de l'utilisation scientifique régulière du géosite, ce qui entraîne des répercussions sur la VS du géosite.	10

Les critères de A à F sont intrinsèquement liés aux caractéristiques géologiques du géosite, alors que le critère G est lié à son potentiel d'utilisation. La représentativité est considérée comme le critère le plus important (30 %), suivie par la localité clé (20 %). La diversité géologique et les connaissances scientifiques sont les moins importants (5 % chacun). En effet, l'absence de publications scientifiques sur un certain géosite ne représente pas nécessairement une faible valeur scientifique. Elle peut simplement signifier qu'il s'agit d'une découverte récente et qu'aucune étude n'a encore été publiée, ou que la zone où se situe le site, ne connaît pas encore des études géologiques. La restriction de l'utilisation du géosite vise à évaluer s'il existe des limitations à la recherche scientifique. Son inclusion dans cette évaluation est justifiée par le fait qu'une partie de la valeur scientifique d'un géosite est liée à la possibilité d'utiliser le site pour des recherches actuelles et futures.

Tableau 6: Grille de notations utilisées pour l'évaluation quantitative de la valeur scientifique des géosites (Brilha, 2016)

Critères/indicateurs	Points
A. Représentativité	
Le géosite est le meilleur exemple dans la zone d'étude pour illustrer des éléments ou des processus liés au cadre géologique considéré.	4 Points
Le géosite est un bon exemple dans la zone d'étude pour illustrer des éléments ou des processus liés au cadre géologique considéré.	2 Points
Le géosite illustre raisonnablement des éléments ou des processus dans la zone d'étude, en relation avec le cadre géologique considéré.	1 point
B. Localité clé	
Le géosite est reconnu comme un GSSP ou un ASSP par l'UISG ou est un site de référence de l'IMA.	4 Points
Le géosite est utilisé par la science internationale, en relation directe avec le cadre géologique considéré.	2points
Le géosite est utilisé par la science nationale, en relation directe avec le cadre géologique	1 pPoint
C. Connaissances scientifiques	
Il existe des articles dans des revues scientifiques internationales sur cette géosite, directement liés au cadre géologique considéré.	4 Points
Il y a des articles dans des publications scientifiques nationales sur ce géosite, en relation directe avec le cadre géologique considéré.	2points
Il y a des résumés présentés dans des événements scientifiques internationaux sur ce géosite, en relation directe avec le cadre géologique considéré.	1 pPoint
D. Intégrité	
Les principaux éléments géologiques (en relation avec le cadre géologique considéré) sont très bien conservés.	4 Points
Géosite moins bien conservé, mais les principaux éléments géologiques (liés au cadre géologique considéré) sont encore préservés	2points
Géosite présentant des problèmes de conservation et dont les principaux éléments géologiques (liés au cadre géologique considéré) sont très altérés ou modifiés.	1 pPoint
E. Diversité géologique	
Géosite présentant plus de trois types de caractéristiques géologiques distinctes ayant une pertinence scientifique.	4 Points
Géosite avec trois types de caractéristiques géologiques distinctes ayant une pertinence	2points
Géosite avec deux types de caractéristiques géologiques distinctes ayant une pertinence	1 pPoint
F. Rarity	
Le géosite est l'unique occurrence de ce type dans la zone d'étude (représentant le cadre géologique considéré, lorsque le géosite a été découvert).	4 Points
Dans la zone d'étude, il y a deux ou trois exemples de géosites similaires (représentant le cadre géologique considéré).	2points
Dans la zone d'étude, il y a quatre à cinq exemples de géosites similaires (représentant le cadre géologique considéré)	1 pPoint
G. Limites d'utilisation	
Le géosite ne présente aucune limitation (autorisations légales, barrières physiques,...) pour l'échantillonnage ou le travail de terrain.	4 Points
Il est possible de collecter des échantillons et d'effectuer des travaux de terrain après avoir surmonté les limitations.	2points
L'échantillonnage et le travail de terrain sont très difficiles à réaliser en raison de limitations difficiles à surmonter (autorisations légales, barrières physiques,...).	1 pPoint

Chacun de ces critères est noté 0, 1, 2 ou 4. Il n'y a pas de note de 3 afin de mieux distinguer la haute valeur scientifique des géosites notés par 4. La valeur scientifique finale est la somme pondérée des sept critères.

La valeur scientifique maximale d'un géosite est liée à sa bonne représentation d'un élément ou d'une structure géologique, d'un phénomène géologique rare, et quand il s'agit d'une bonne référence internationale connue par des publications ([Tableau 7](#)). Elle dépend encore de l'intérêt scientifique que représente le géosite pour la connaissance des géosciences (ex. les sections de stratotypes, le site de Lagerstätten, . . . etc.), de sa disponibilité et de l'état de sa conservation pour des futures recherches.

3.1. Potentiel d'utilisation

L'évaluation quantitative du potentiel d'utilisation en éducation et en tourisme, comprend les géosites et les sites à géodiversité. Cependant, un géosite ayant une valeur scientifique doit être conservé pour ce qu'il représente, indépendamment de son utilisation scientifique potentielle qu'il peut fournir. En ce qui concerne la valeur éducative et touristique, elles sont intrinsèquement liées à l'utilisation du site ; il n'est logique de conserver un site à valeur éducative que s'il sera effectivement utilisé comme ressource éducative. Similairement, la conservation des sites ayant une valeur touristique est fermement liée à leur utilisation comme attractions touristiques.

Les potentiels géo-éducatifs et géotouristique des sites sont évalués selon d'autres critères définis dans les tableaux 2 et 3. Les sites à valeur géo-éducative sont évalués selon 12 critères ([Tableau 8](#)), tandis que les sites de valeur géotouristique sont évalués selon 13 critères ([Tableaux 8, 9 et 10](#)), chaque critère est noté de 0 à 4. Les valeurs éducatives et touristiques finales sont obtenues par les sommes pondérées, respectivement, des douze et treize critères.

Un site à haute valeur éducative doit être facilement accessible avec différents éléments géologiques, observables par tous les différents niveaux d'étudiants. Ces éléments sont capables de résister à toute destruction possible relative à l'utilisation par les étudiants. Alors qu'un site à haute valeur touristique présente des caractéristiques géologiques remarquables avec une apparence attrayante pour le grand public.

4. Evaluation du risque de dégradation

Le risque de dégradation est lié à la vulnérabilité et à la fragilité du site, ainsi qu'à d'autres facteurs tels que son accessibilité et sa proximité à des zones connaissant des activités humaines ([Fuertes-Gutiérrez et Fernández-Martínez, 2012](#) ; [Brilha, 2016](#)). Ce risque est évalué quantitativement selon la méthode utilisée, en se basant sur cinq critères, chaque critère ayant sa propre pondération, est noté de 0 à 4. La valeur finale est la somme pondérée de ces cinq critères ([Tableau 11](#)).

La classification des sites en fonction du degré de risque de dégradation est une étape complémentaire pour décider de la priorité des sites dans le plan d'action.

Tableau 7: Pondérations des différents critères utilisés pour l'évaluation des utilisations éducatives et touristiques potentielles (Brilha, 2016)

Critères des potentiels d'utilisation éducatifs (PE) et touristiques (PT)		Poids % (PE)	Poids % (PT)
A. Vulnérabilité	L'existence d'éléments géologiques qui peuvent être détruits par les élèves diminue la valeur éducative du site.	10	10
B. Accessibilité	Plus la traversée entre le moyen de transport et le site est facile et courte, plus la valeur éducative est élevée.	10	10
C. Limites d'utilisation	L'existence d'obstacles qui peuvent gêner le développement d'activités éducatives impacte la valeur éducative du site.	5	5
D. Sécurité	La réalisation des activités sur terrain dans des conditions à faible risque pour les étudiants augmente la valeur éducative du site.	10	10
E. Logistiques	L'existence d'installations destinées à accueillir les étudiants, telles que le logement, la nourriture et les toilettes, augmente la valeur éducative du site.	5	5
F. Densité de population	L'existence d'une population à proximité du site avec des étudiants qui utiliseront le site augmente sa valeur éducative.	5	5
G. Association avec d'autres valeurs	L'existence d'autres éléments naturels ou culturels associés au site justifiant des visites interdisciplinaires sur le terrain augmente la valeur éducative du site.	5	5
H. Paysage	La beauté des éléments géologiques qui pourrait stimuler l'intérêt des élèves pour le site augmente sa valeur éducative.	5	15
I. Particularité	concerne la spécificité et la rareté de l'élément de géodiversité qui pourrait promouvoir l'intérêt des étudiants pour le site et augmente sa valeur éducative.	5	10
J. Conditions d'observation	Plus les conditions d'observation de tous les éléments de la géodiversité sur le site sont bonnes, plus sa valeur éducative est élevée.	10	5
K. Potentiel didactique	L'utilisation du site par des étudiants de différents niveaux d'enseignement augmente sa valeur éducative.	10	-
L. Géodiversité	Un nombre élevé d'éléments géologiques de différentes natures ayant un potentiel didactique augmente sa valeur éducative.	20	-
K. Potentiel d'interprétation	La capacité d'un élément de géodiversité à être aisément saisi par le grand public.	-	10
L. Niveau économique	Le niveau de revenu élevé des personnes vivant à proximité du site laisse supposer une forte probabilité qu'il soit visité.	-	5
M. Proximité de zones récréatives	Une visite touristique d'un site peut être favorisée par l'existence d'attractions touristiques connues dans les environs.	-	5

Tableau 8: Grille de notations utilisées pour l'évaluation quantitative du potentiel éducatif et touristique des sites (crières communs) d'après Brilha, 2016.

Critères/indicateurs	Points
A. Vulnérabilité	
Les éléments géologiques du géosite ne présentent aucune possibilité de détérioration par l'activité anthropique	4
Il existe une possibilité de détérioration des éléments géologiques secondaires par l'activité anthropique	3
Il existe une possibilité de détérioration des éléments géologiques principaux par l'activité anthropique.	2
Il existe une possibilité de détérioration de tous les éléments géologiques par l'activité anthropique.	1
B. Accessibilité	
Site situé à moins de 100 m d'une route goudronnée et avec un parking pour les bus.	4
Site situé à moins de 500 m d'une route goudronnée.	3
Site accessible par bus mais par piste	2
Site sans accès direct par route mais situé à moins de 1 km d'une route accessible par bus	1
C. Limites d'utilisation	
Le site n'est soumis à aucune restriction d'utilisation par les étudiants et les touristes.	4
Le site peut être utilisé par les étudiants et les touristes, mais seulement de manière occasionnelle.	3
Le site peut être utilisé par les étudiants et les touristes mais seulement après avoir surmonté les limitations (légales, autorisations, ...).	2
L'utilisation par les étudiants et les touristes est très difficile à réaliser en raison des limitations difficiles à surmonter (légales, autorisations...)	1
D. Sécurité	
Site doté d'installations de sécurité (clôtures, escaliers, etc.), d'une couverture réseau de téléphonie mobile et situé à moins de 5 km des services d'urgence.	4
Site doté d'installations de sécurité (clôtures, escaliers, mains courantes, etc.), d'une couverture réseau de téléphonie mobile et situé à moins de 25 km des services d'urgence.	3
Site sans installations de sécurité mais avec une couverture du réseau de téléphonie mobile et situé à moins de 50 km des services d'urgence.	2
Site sans installations de sécurité, sans couverture de réseau de téléphonie mobile et situé à plus de 50 km des services d'urgence.	1
E. Logistique	
Hébergement et restauration pour des groupes de 50 personnes à moins de 15 km du site.	4
Hébergement et restauration pour des groupes de 50 personnes à moins de 50 km du site	3
Hébergement et restauration pour des groupes de 50 personnes à moins de 100 km du site	2
Hébergement et restauration pour les groupes de moins de 25 personnes et à moins de 50 km du site	1
F. Densité de la population	
Site situé dans une municipalité comptant plus de 1000 habitants/km ²	4
Site situé dans une municipalité de 250-1000 habitants/km ²	3
Site situé dans une municipalité de 100 à 250 habitants/km ²	2
Site situé dans une municipalité de moins de 100 habitants/km ²	1
G. Association avec d'autres valeurs	
Présence de plusieurs valeurs écologiques et culturelles à moins de 5 km du site.	4
Présence de plusieurs valeurs écologiques et culturelles à moins de 10 km du site	3
Présence d'une valeur écologique et d'une valeur culturelle à moins de 10 km du site.	2
Présence d'une valeur écologique ou culturelle à moins de 10 km du site.	1
H. Paysage	
Site actuellement utilisé comme destination touristique dans les campagnes nationales.	4
Site utilisé occasionnellement comme destination touristique dans des campagnes nationales	3
Site actuellement utilisé comme destination touristique dans les campagnes locales	2
Site utilisé occasionnellement comme destination touristique dans les campagnes locales	1
I. Particularité	
Le site présente des caractéristiques uniques et peu communes au regard du pays et des pays voisins.	4
Le site présente des caractéristiques uniques et peu communes dans le pays.	3
Le site présente des caractéristiques communes dans cette région mais peu communes dans les autres régions du pays.	2
Le site présente des caractéristiques plutôt communes dans l'ensemble du pays.	1
J. Conditions d'observation	
Tous les éléments géologiques sont observés dans de bonnes conditions	4
Il y a des obstacles qui rendent difficile l'observation de certains éléments géologiques.	3
Il y a quelques obstacles qui rendent difficile l'observation des principaux éléments géologiques.	2
Il y a quelques obstacles qui empêchent presque l'observation des principaux éléments géologiques.	1

Tableau 9: Grille de notations utilisées pour l'évaluation quantitative du potentiel éducatif et touristique des sites (crières spécifiques) d'après Brilha, 2016.

Critères/indicateurs (Potentiel éducatif)	Point
K. Potentiel didactique	
Le site présente des éléments géologiques qui sont enseignés à tous les niveaux d'enseignement.	4
Le site présente des éléments géologiques qui sont enseignés dans les écoles primaires.	3
Le site présente des éléments géologiques enseignés dans les écoles secondaires.	2
Le site présente des éléments géologiques enseignés à l'université.	1
L. La diversité géologique	
Plus de 3 types d'éléments de géodiversité sont présents sur le site (minéralogique, paléontologique, géomorphologique, etc.)	4
Il y a 3 types d'éléments de géodiversité dans le site.	3
Il y a 2 types d'éléments de géodiversité dans le site.	2
Il n'y a qu'un seul type d'élément géodiversitaire dans le site.	1
Critères/indicateurs (Potentiel touristique)	Point
K. Potentiel interprétatif	
Le site présente les éléments géologiques de manière très claire et expressive pour tous les types de public.	4
Le public doit avoir un certain bagage géologique pour comprendre les éléments géologiques du site.	3
Le public doit avoir un solide bagage géologique pour comprendre les éléments géologiques du site.	2
Le site présente des éléments géologiques compréhensibles uniquement par les experts en géologie.	1
L. Niveau économique	
Le site est situé dans une municipalité dont le revenu des ménages est au moins le double de la moyenne nationale.	4
Le site est situé dans une municipalité dont le revenu des ménages est supérieur à la moyenne nationale.	3
Le site est situé dans une municipalité dont le revenu des ménages est similaire à la moyenne nationale.	2
Le site est situé dans une municipalité dont le revenu du ménage est inférieur à la moyenne nationale.	1
M. Proximité de zones récréatives	
Site situé à moins de 5 km d'une zone de loisirs ou d'une attraction touristique	4
Site situé à moins de 10 km d'une zone récréative ou d'une attraction touristique	3
Site situé à moins de 15 km d'une zone récréative ou d'une attraction touristique	2
Site situé à moins de 20 km d'une zone de loisirs ou d'une attraction touristique	1

*Tableau 10: Pondérations des critères d'évaluation quantitative du risque de dégradation
(Brilha, 2016)*

Critère		Poids %
Détérioration des éléments géologiques	La possibilité de perte d'éléments géologiques dans le site en raison (i) de sa fragilité, à savoir ses caractéristiques intrinsèques (taille de l'élément géologique, facilité d'obtention d'échantillons, etc.) et des actions naturelles (susceptibilité à l'érosion, intensité des agents d'érosion, etc.) et (ii) de sa vulnérabilité aux actions anthropiques (tourisme, agriculture, développement urbain, vandalisme, etc.)	35
Proximité de zones/activités susceptibles de provoquer des dégradations	Les mines, les installations industrielles, les zones de loisirs, routes, zones urbaines, etc.	20
Protection légale	Liée à l'emplacement du site dans une zone bénéficiant de tout type de protection juridique (directe ou indirecte). Le contrôle de l'accès fait référence à l'existence d'obstacles, tels que des restrictions imposées par le propriétaire, des barrières, la nécessité de payer des droits d'entrée, des activités minières...	20
Accessibilité	Les conditions d'accès au site par le grand public (sans tenir compte des personnes handicapées). Un site facilement accessible est plus susceptible d'être endommagé par une mauvaise utilisation qu'un site difficilement accessible.	15
Densité de population	Le nombre de personnes qui vivent à proximité du site et qui peuvent causer une détérioration potentielle du site en raison d'une utilisation inappropriée (vandalisme, vol, etc.).	10

5. Apport du système d'information géographique

En utilisant la méthode de Brilha (2016), on se retrouve devant un nombre considérable des critères d'évaluation (Tableaux 6, 8, 11) qui mènent à distinguer entre plusieurs valeurs : les géosites et les sites à géodiversité, leurs différents types, leurs différents potentiels ainsi que le risque de leur dégradation.

La préparation d'une zone pour devenir un géoparc ne se limite pas à l'inventaire et l'évaluation des valeurs de son géopatrimoine, sa géodiversité et leurs potentiels d'utilisation. Celle-ci nécessite d'inventorier également l'infrastructure de base de la zone en question afin de pouvoir prendre des décisions concernant le management et l'utilisation des sites d'intérêt. D'ailleurs, l'infrastructure de base est l'un des importants critères dans la méthode d'évaluation utilisée. Dans le présent travail, on a fait recours au système d'information géographique. Cela est pour son potentiel à fournir des outils efficaces de stockage des géo-informations de communication des valeurs du géopatrimoine par le biais de cartes. Ainsi, les application SIG ont permis de numériser et stocker de multiples données concernant la zone d'étude au sein d'une base de données (Fig. 17).

Tableau 11: Grille de notations utilisées pour l'évaluation quantitative du risque de dégradation des sites (Brilha, 2016)

Critères/indicateurs	Point
A. Détérioration des éléments géologiques	
Possibilité de détérioration de tous les éléments géologiques.	4
Possibilité de détérioration des principaux éléments géologiques	3
Possibilité de détérioration des éléments géologiques secondaires	2
Possibilité mineure de détérioration des éléments géologiques secondaires	1
B. Proximité de zones/activités susceptibles de provoquer des dégradations	
Site situé à moins de 50 m d'une zone/activité potentiellement dégradante	4
Site situé à moins de 200 m d'une zone/activité susceptible de se dégrader	3
Site situé à moins de 500 m d'une zone/activité susceptible de se dégrader	2
Site situé à moins de 1 km d'une zone/activité susceptible de se dégrader	1
C. Protection légale	
Site situé dans une zone sans protection juridique et sans contrôle d'accès.	4
Site situé dans une zone sans protection juridique mais avec contrôle d'accès	3
Site situé dans une zone avec protection légale mais sans contrôle d'accès	2
Site situé dans une zone avec protection légale et contrôle d'accès	1
D. Accessibilité	
Site situé à moins de 100 m d'une route goudronnée et avec un parking pour	4
Site situé à moins de 500 m d'une route goudronnée.	3
Site accessible en bus par une route en gravier	2
Site sans accès direct par la route mais situé à moins d'un kilomètre d'une route	1
E. Densité de la population	
Site situé dans une municipalité de plus de 1000 habitants/km ²	4
Site situé dans une municipalité de 250-1000 habitants/km ²	3
Site situé dans une municipalité de 100-250 habitants/km ²	2
Site situé dans une commune de moins de 100 habitants/km ²	1

5.1. Données Raster

Les cartes et images satellitaires utilisées comme fond de cartes dans ce travail ont été géo-référencées, mosaïquées et stockées dans la base de données. Les cartes et les images utilisées correspondent, respectivement, aux cartes topographiques 1/100000, cartes géologiques 1/200000 et image satellitaire 'Google Earth' avec une résolution de 1920*1080 pixels, couvrant toute la zone d'étude. En ce qui concerne la géomorphologie globale, un modèle numérique de terrain SRTM plus V3 avec une résolution 1 arc seconde a été téléchargé et utilisé.

5.2. Données Vecteur

5.2.1. Géologie de la zone

Après la délimitation de la zone d'étude plusieurs cartes géologiques (1/200000) scannées (Zagora coude de Daraa 1989, Ouarzazate Alougoum 1971, Saghro Dades 1982, Todrha Mader 1988, Bou Haiara Zegdou 1082) se croisent dans le périmètre de la zone après avoir été géo-référencées. L'ensemble a été mosaïqué (Fig. 18) et découpé. Ensuite chaque couche géologique a été numérisée sous format vecteur et stockée dans la base de données.

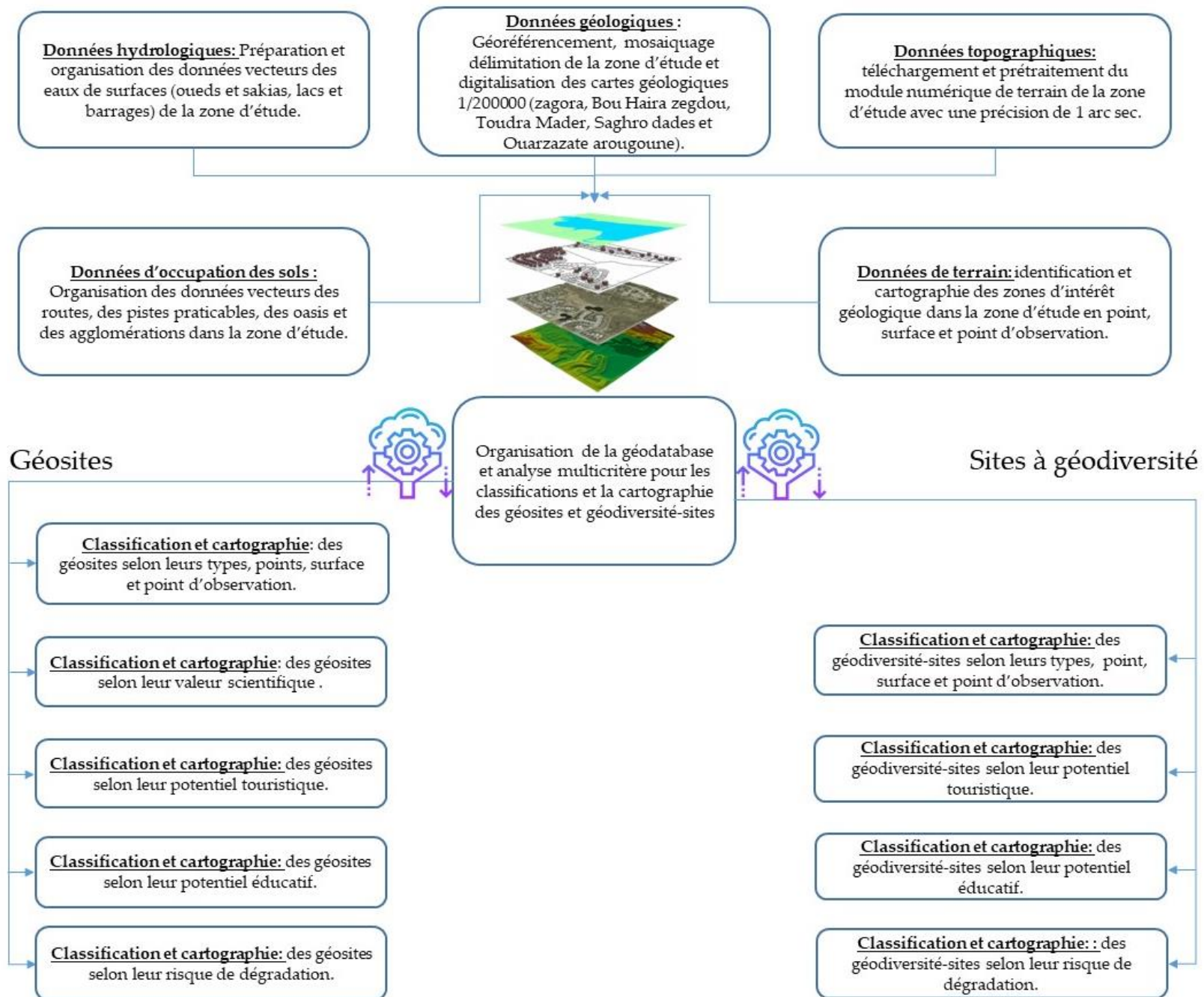


Fig. 17: Organigramme de la création et la gestion de la base de données SIG.

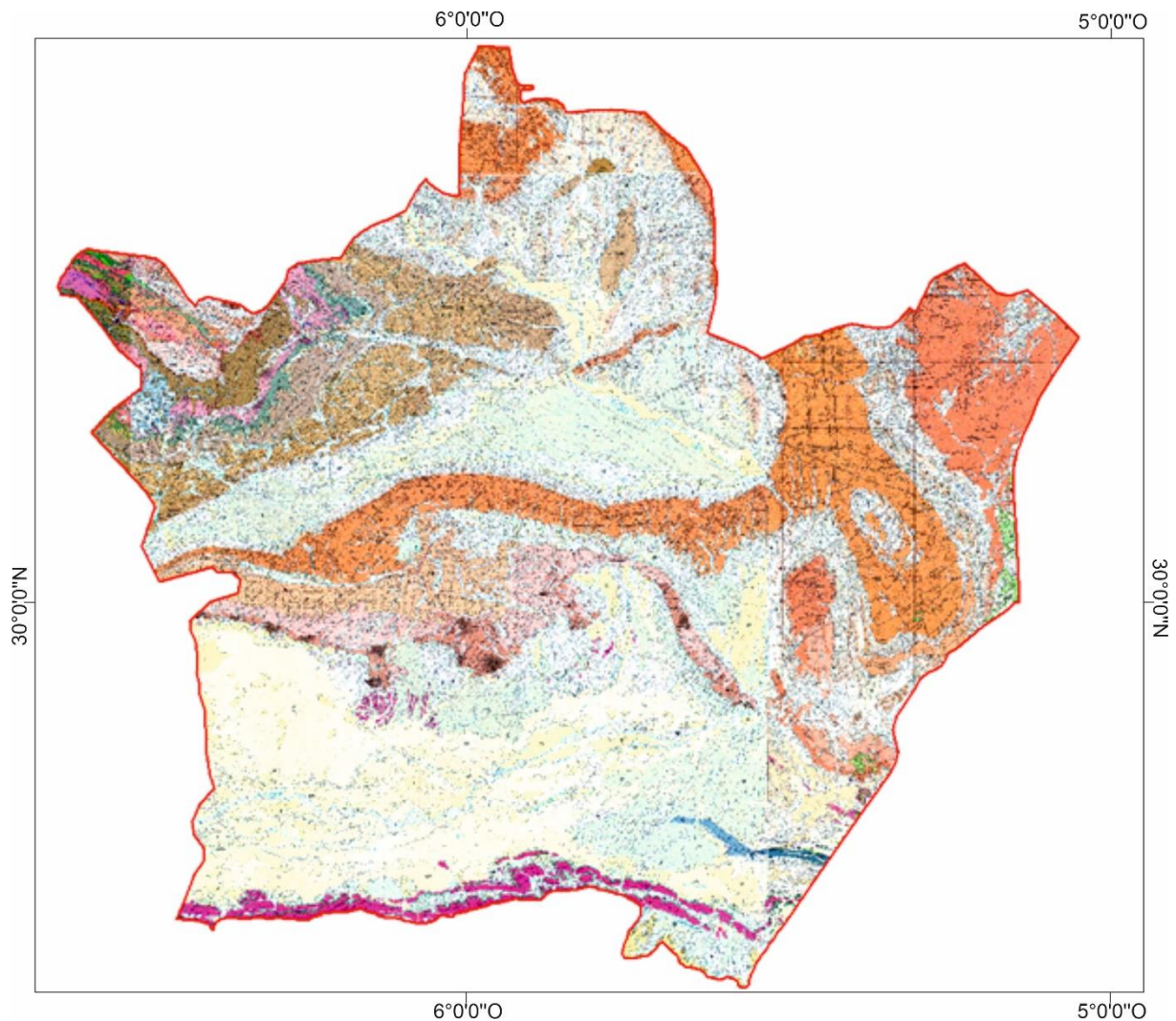


Fig. 18: Mosaïquage des extraits des cartes géologiques (Zagora coude de Draa, Bou-Haiara Zegdou, Ouarzazate Alougoum et Saghro Dadés (1/200 000)).

5.2.2. L'hydrologie de la zone d'étude

Les données hydrologiques de la zone d'étude ont été numérisées sur trois 'shepfiles' un dédié au réseau hydrographique digitalisé sur les fonds de carte topographique, un autre pour les lacs et barrages de la région et un troisième correspondant au réseau de ruissellement (tout ruissellement possible sur une longueur de 100m). Ce dernier a été généré depuis le modèle numérique de terrain à l'aide des outils ArcHydro de Arcmap.

5.2.3. Données de terrains

Les situations géographiques des sites d'intérêt géologique, géomorphologique et archéologique ont été géo-positionnées sur le terrain par un GPS, puis stockées dans des fichiers 'shepfiles' incluant toutes les informations essentielles de chaque site.

Partie 2
CADRE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE

Chapitre 1 : Cadre géographique

1. Situation géographique

La province de Zagora se trouve au sud-est du royaume marocain (Fig. 19). Elle est limitée au nord par la Province de Ouarzazate, à l'ouest par la Province de Tata, à l'est par la Province d'Errachidia et au Sud par la frontière Maroc-Algérienne sur une longueur de 200 Km. Elle fait partie de la vallée moyenne de Draa d'une longueur de 110km et une largeur moyenne de 3km, variant entre 0,5 et 5km. La zone est située entre le 29° 30' et le 30° 20' de latitude Nord et entre les méridiens 5° 27' et 6° 20'Ouest, occupe une superficie de 461000 ha. Elle est bordée au nord par Jbel Awriwar et Jbel Amergou, au nord- est par Jbel Adafane, la colline de Tabaskoutine et Jbel Tadrart, à l'est par Jbel Boudebgane et Jbel Meggag, au sud par les hauts plateaux de la Hamada du Draa et à l'ouest par l'ancien lac d'Iriqui.

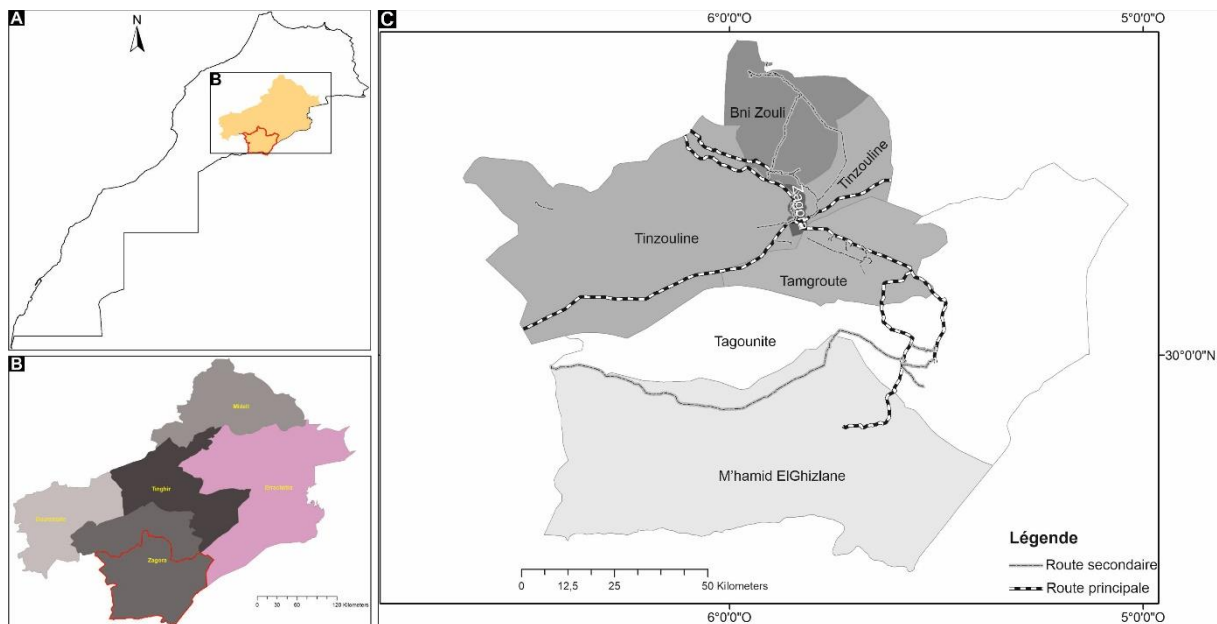


Fig. 19: A. Situation géographique de la zone d'étude ; B. Découpage administratif de la région Draa-Tafilalet C. Découpage communal du cercle de Zagora ([Direction Régionale de Drâa-Tafilalet, 2015](#)).

2. Découpage administratif

Selon le découpage administratif, la zone d'étude faisant partie de la province de Zagora elle est partagée entre la commune urbaine de Zagora et les cinq communes rurales (M'hamid El Ghizlane, Tagounite, Tamegroute, Tinzouline et Beni Zoli) (Fig. 19C ; Tableau 13). Suivant le nouveau plan d'organisation administrative (2015), cette province appartient à la région Draa-Tafilalet qui est issue de son groupement avec les provinces : Errachidia, Tinghir, Midelt et Ouarzazate (Fig. 21B).

Tableau 12: Découpage administratif de la zone d'étude (Direction Régionale de Drâa-Tafilalet, 2015).

Cercle Pachalik (P)	(C)/ Caidat	Commune
P. Zagora	--	C. urbaine de Zagora
C. Zagora	Tamegroute	C. rurale de Tamegroute
		C. rurale de Fezouata
	Tagounite	C. rurale de Tagounite
		C. rurale de Ktaoua
C. Tinzouline	M'hamid EL Ghizlane	C. rurale de M'hamid EL Ghizlane
		C. rurale de Ternata
		C. rurale de Bleida

3. Cadre climatique

Située au sud de l'Atlas, la région de Drâa-Tafilalet se caractérise par des contraintes environnementales importantes et un climat semi-désertique à amplitude thermique élevée. Compte tenu de cette situation géographique, le contexte climatique de la province de Zagora est rattaché à l'étage climatique saharien, aride et sec dont le principal trait est une faiblesse relative des ressources naturelles en eau, dans de vastes étendues de territoire peu peuplé.

De manière générale, le climat de la zone est influencé par la combinaison des effets de : la latitude (l'aridité augmente du nord vers le sud), l'altitude (le climat s'améliore dans les zones montagneuses anti-atlasiqes) et l'éloignement par rapport à la mer.

3.1. Les précipitations

Zagora connaît de faibles précipitations tout au long de l'année, de façon irrégulière dans le temps et dans l'espace et sans variations saisonnières significatives dans la fréquence (de 0% à 6%) des jours pluvieux.

Les périodes pluvieuses s'étalent entre septembre et mai où le nombre annuel de jours pluvieux varie entre 30 et 40 jours. La plus grande quantité de pluie tombe pendant les 31 jours centrés autour du 14 novembre, alors que les plus faibles précipitations se situent autour du 13 juillet. La majorité du territoire reçoit moins de 100 mm de pluie par an ([www. weatherspark.com](http://www.weatherspark.com)).

3.2. La température

À Zagora, les étés sont étouffants, arides et clairs alors que les hivers sont frais, secs et généralement clairs. Au cours de l'année, la température varie généralement entre 3,9°C et 41,7°C et est rarement inférieure à 0,6°C ou supérieure à 50°C ([www. weatherspark.com](http://www.weatherspark.com)).

La saison chaude dure 3 mois, du 4 juin au 11 septembre, avec une moyenne de température maximale quotidienne supérieure à 37°C. Le jour le plus chaud de l'année est le 19 juillet avec une moyenne élevée de 41,7°C et faible de 27,2°C ([www. weatherspark.com](http://www.weatherspark.com)).

La saison fraîche dure 3 mois, du 19 novembre au 22 février avec une moyenne de température maximale quotidienne inférieure à 22,8 °C. Le jour le plus froid de l'année est le 10 janvier avec un minimum moyen de 3,9 °C et un maximum de 18,3 °C.

3.3. Les vents

La vitesse horaire moyenne du vent à Zagora connaît une légère variation saisonnière au cours de l'année. La période la plus venteuse de l'année dure 5 mois, du 10 mars au 13 août, avec une

vitesse moyenne du vent supérieure à 13,48 km/h. Le jour le plus venteux de l'année est le 26 avril avec une vitesse horaire moyenne de 16,25 km/h. Alors que la période la plus calme dure 7 mois, du 13 août au 10 mars, où le 19 décembre reste le jour le plus calme de l'année avec une vitesse horaire moyenne de 11,59 miles par heure ([www. weatherspark.com](http://www.weatherspark.com)).

La direction moyenne horaire prédominante du vent à Zagora varie tout au long de l'année. Le vent souffle le plus souvent :

- Du sud avec un pourcentage maximal de 32% le 12 août, du 6 mars au 4 avril (4,1 semaines); du premier mai au 9 septembre (4,3 mois) et du 2 octobre au 10 novembre (1,3 mois).
- De l'ouest avec un pourcentage maximal de 30 % le 24 avril, du 4 avril au premier mai (3,9 semaines), et du 9 septembre au 2 octobre (3,3 semaines).
- Du nord avec un pourcentage maximal de 33% le premier janvier du 10 novembre au 6 mars (3,9 mois).

4. Hydrologie et hydrogéologie

4.1. Eau de surface

Quoiqu'elles soient caractérisées par une très forte irrégularité saisonnière et interannuelle, les eaux de surface constituent la majeure partie des ressources en eau renouvelables dans le territoire d'étude. Il est traversé par la moyenne Draa qui présente le principal collecteur de ces eaux. Ce dernier drainé depuis le Haut Atlas est caractérisé par de grandes fluctuations saisonnières de débit avec prédominance des crues violentes. Cependant après la construction du barrage Mansour Eddahbi au sud du Haut Atlas, et en dépit de la régulation du débit de Draa qu'a permis, ce barrage est derrière les mises à sec de la moyenne Draa ([Ait Hamza et El Faskaoui, 2010](#) ; [Ait Lamqadem et al., 2017](#)). Ce barrage fournit de l'eau potable à la population de la région ainsi que de l'énergie électrique (20 millions de kW/h par an ([Bacroume et al., 2016](#))).

Le réseau hydrographique dans la zone d'étude ([Fig. 20](#)) est un réseau dense, hiérarchisé et ramifié au niveau de la montagne et sur les pentes fortes. Il est le produit d'anciennes périodes, humides, et actuels, intermittentes.

Le climat aride actuel qui domine dans la région se caractérise par une atmosphère à humidité déficiente, mal alimentée et rarement saturée suite aux faibles précipitations irrégulières et une évaporation potentielle accentuée par les hautes températures du jour et la fréquence du vent. Toutes ces conditions marquent leurs effets directs sur l'hydrographie de la zone d'étude. On assiste à une dégradation de réseau hydrographique qui se matérialise par la diminution de surface des bassins et la réduction du nombre des drains actifs ([Joly, 2006](#)).

Au niveau des zones montagneuses de Zagora, telles que Bani et ses piémonts, le réseau hydrographique correspond à de vraies vallées hiérarchisées avec leurs affluents, lits d'inondation, lits d'étiage encombrées d'alluvions, gorges, terrasses, tout, mis à part l'eau qui en est responsable ([Joly, 2006](#)). Le développement de ce réseau hydrographique à Zagora, bien qu'elle soit aride, est sous contrôle des mêmes facteurs qui maîtrisent le développement de ce réseau dans une région plus humide mais qui diffèrent dans le présent territoire aride par leur puissance et la discontinuité de leur action, dans l'espace et dans le temps ([Dubief, 1953](#) ; [Joly, 1962](#) ; [Rodier, 1981](#)).

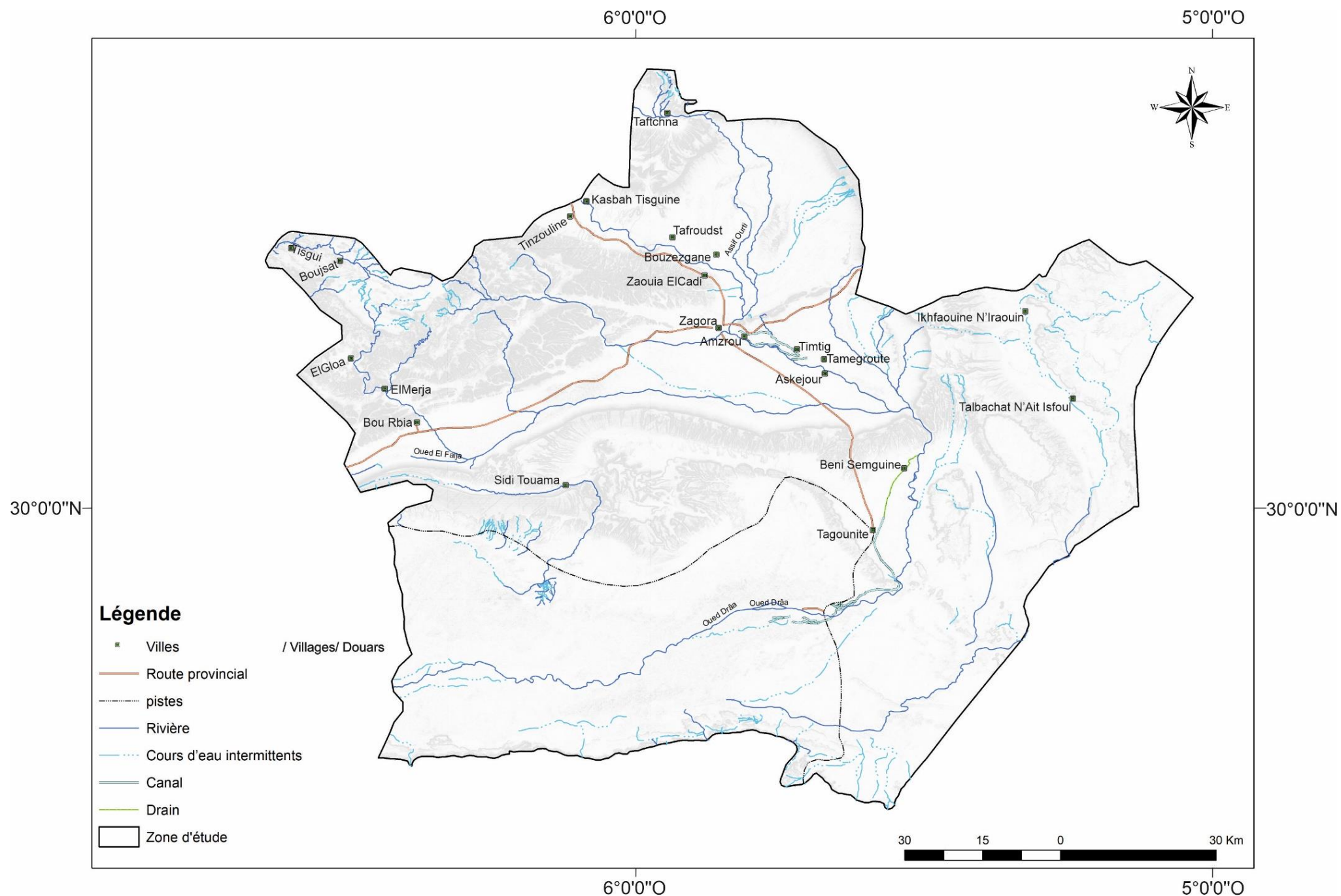


Fig. 20: Réseau hydrographique du cercle de Zagora sur fond de modèle numérique de terrain

La zone d'étude est caractérisée par de vastes étendus rocheux, des formations géologiques peu perméables et la scarcity de la végétation. Ces conditions sont derrières la densité du réseau de ruissellement de ladite zone (Fig. 21).

Le réseau de ruissellement reste hiérarchisé et organisé dans les zones à relief, alors qu'au niveau de la plaine, plusieurs oueds perdent leur contact avec l'axe principal pour évoluer indépendamment par disparaître. Ainsi, les réseaux tronqués fonctionnent en unités indépendantes et réduites en chenaux isolés qui finissent (Joly, 2006).

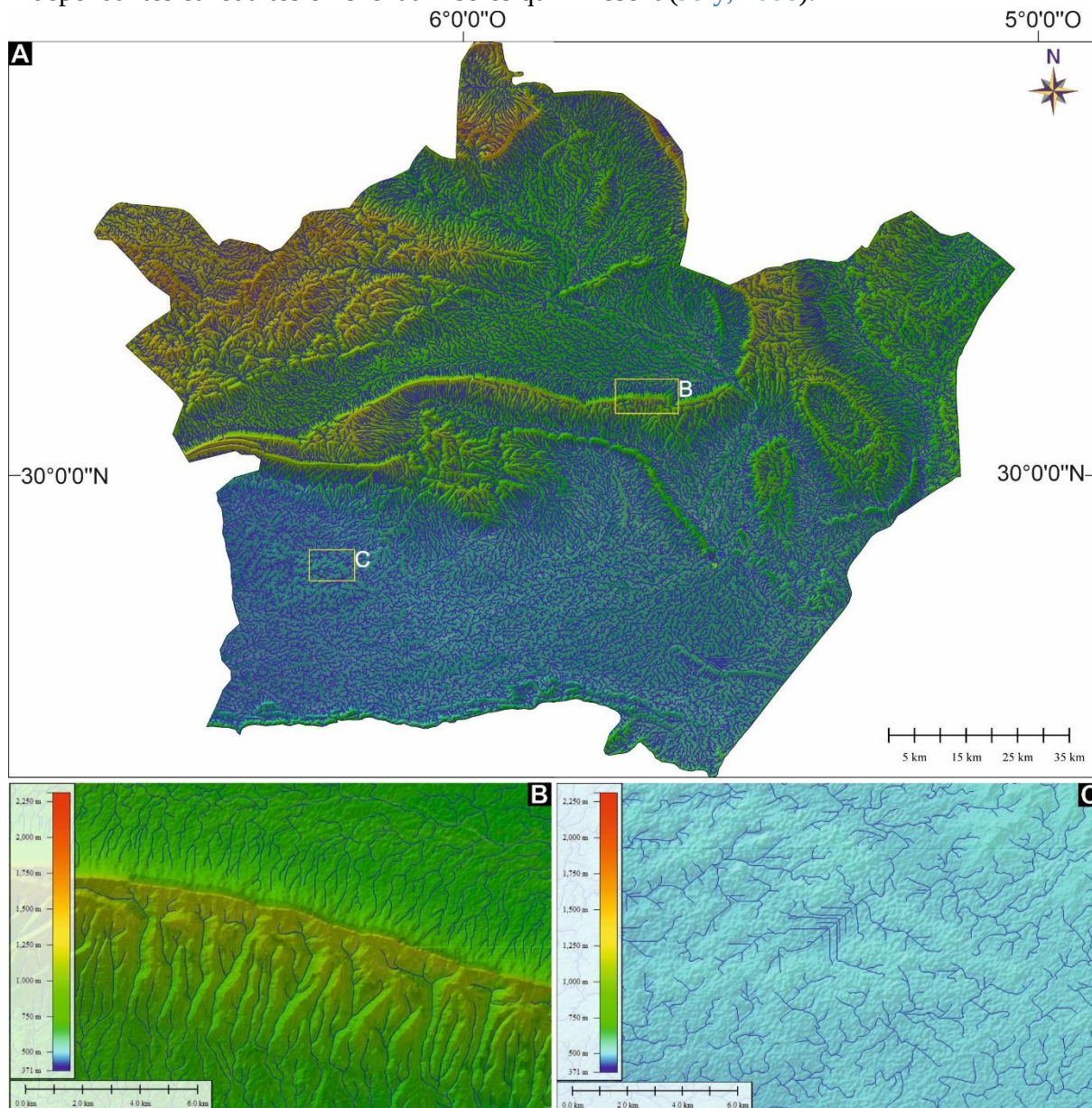


Fig. 21: A. Réseau de tout ruissellement drainant une surface de 10ha dans le cercle de Zagora. B. Réseau de ruissellement dans une zone à relief fort. C. Réseau de ruissellement dans une plaine. (élaboré à partir d'un module numérique de terrain de résolution de 30m. Sa modélisation a pris comme paramètre de tracé tous les écoulements qui drainent une surface supérieure à 10 ha.)

Le ruissellement se manifeste en diffus et/ou de manière concentrée dans un chenal. Le premier est un type de ruissellement inorganisé, directement lié à l'arrivée de la pluie (ruissellement pluvial), ou/et lorsque l'intensité de cette averse dépasse la capacité d'infiltration du sol et on parle de ruissellement hortonien (Horton, 1933). Quant au ruissellement concentré, il correspond à des précipitations du même ordre que le ruissellement diffus, mais plus étalées dans le temps et l'espace, et sur des pentes généralement plus fortes (Fig. 22). A Zagora, Oued Draa réside (Fig. 22B) le cours d'eau par excellence dans un tel milieu aride. Toutefois, elle

dispose aussi de vastes dépressions plus ou moins profondes et vastes qui reçoivent pour un temps plus long des mares plus volumineuses, dites, localement, Guelta (ex : Fig. 22A). C'est une sorte de réservoirs naturels correspondant résiduels et semi-permanents qui occupent les creux de rocher ou le fond d'oued.

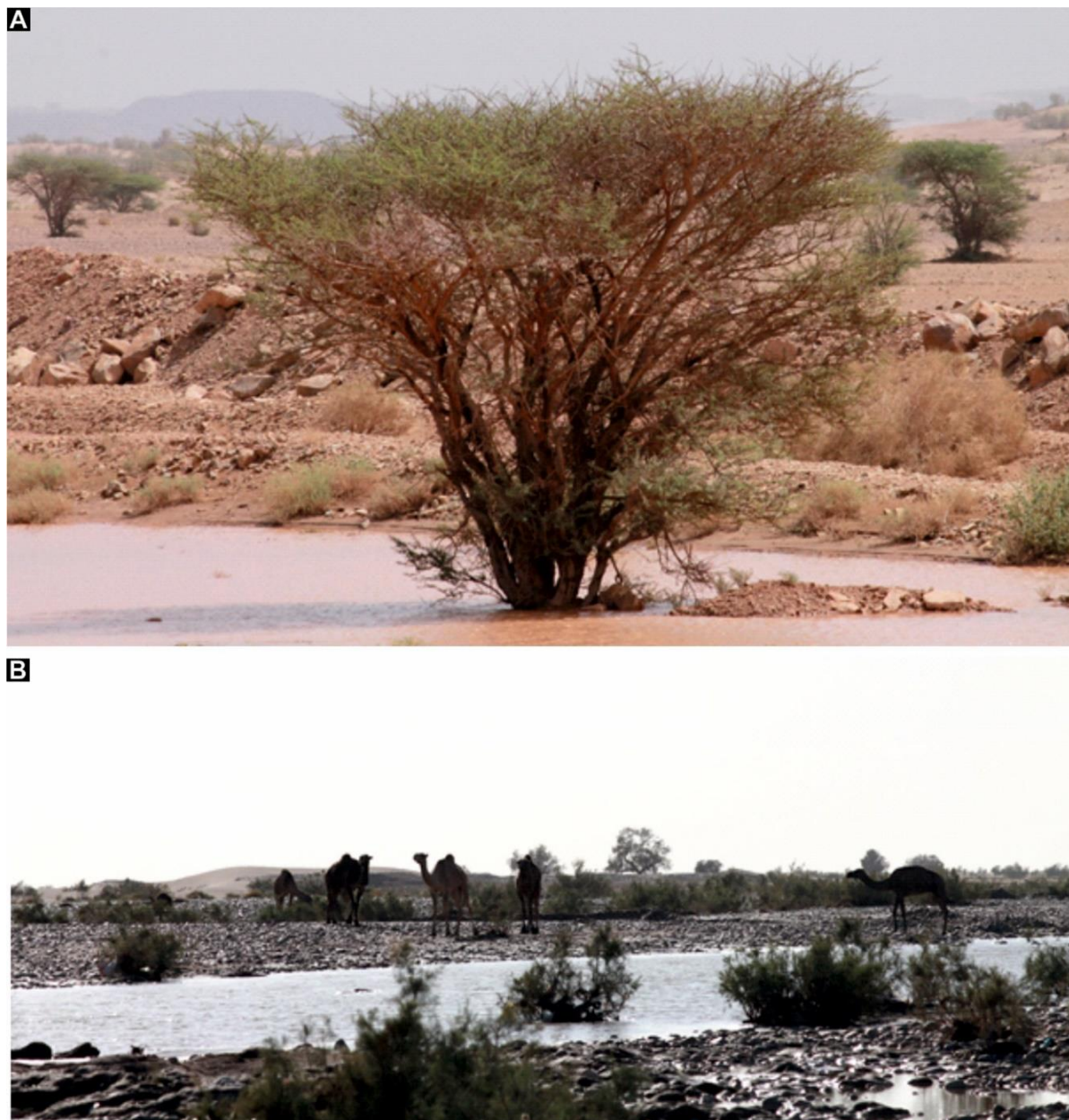


Fig. 22: A. Guelta au sud de Tagounite remplie d'eau au cours de fortes pluies (en 2018), cette stagnation d'eau est favorisée par l'effet de la plaine qui freine l'eau. B. Ruissellement concentré dans le lit d'Oued Draa à l'Est de M'Hamid El ghizlane durant les fortes pluies de l'année 2018.

4.2. Eau souterraine

Quant aux ressources souterraines, elles dérivent principalement des nappes phréatiques, toutes issues du sous-écoulement d'Oued Draa. Ces nappes phréatiques circulent dans les formations détritiques grossières du quaternaire sur un substratum généralement schisteux. L'écoulement des eaux s'étale le long de la vallée de Draa sous forme de nappes successives dont les aquifères deviennent de plus en plus épais du nord vers le sud. Ces variations d'épaisseur sont estimées de moins de 15m à Tinzouline à 40m plus au sud aux environs de M'hamid El Ghizlane.

5. Pédologie

Les sols au niveau de Zagora présentent des propriétés typiques des sols de régions arides (aridisols) reflétant l'aridité du climat et la faible densité du couvert végétal. Leur composition minérale est fortement liée au matériaux rocheux de la région. La répartition de ces sols diffère selon la zone ([Skiba et Skiba, 2008](#)) :

- Les larges vallées : comportent des fluvio-sols enrichis en carbonates ou en sulfates. Ils ont perdu leurs propriétés de sols alluviaux car ils ont été privés de l'apport sédimentaire de la vallée de Draa suite à la sécheresse de cette dernière. Ainsi, il semble que ces sols ne subissent plus d'influences fluviales et présentent des propriétés de transformation évolutive en sols désertiques typiques (Aridisols) enrichis par le lessivage de sulfate de calcium, de carbonate de calcium ou des sels de chlorite-carbonate facilement solubles (Gypsisols, Calcisols).
- Les zones dunaires : caractérisées par des sols sableux initiaux du désert (arénosols arides) dont le profil est composé principalement de 70 à 90% de fraction de sable. La partie restante se compose principalement de limon 1% ou moins et d'argile. Ces sols sont dépourvus de végétation ou peuvent être recouvertes de taches uniques et éparées de plantes xérothermiques.
- Les zones pierreuses et graveleuses : Le profil de ces sols commence par la couche superficielle de gravier recouverte d'un pavage désertique ferro-manganésien noir ou noir-rougeâtre. En dessous, il y a des formations sablo-limono-argileuses brunes ou rouges généralement dures et bien cimentées par la calcite ou le gypse. Ces formations sont couvertes de petites taches de végétation désertique sèche, on y trouve aussi des acacias isolés.

A l'échelle de la province la plupart des sols sont peu évolués ([Fig. 23](#)). Ceux qui sont évolués sont rares et leur présence est parfois due à des conditions de stations ou à des héritages (paléosols), tel le cas des sols des palmeraies où le microclimat humide permet la formation de sols avec des horizons différenciés qui se prêtent à l'activité agricole ([Direction Régionale de Drâa-Tafilalet, 2015](#)).

Les sols à caractéristiques agronomiques favorables à l'agriculture sont peu développés et vulnérables. Ils sont soumis à des processus de dégradation causée par le ruissellement, l'érosion éolien et par la salinisation. Ils sont aussi sous la grâce de la pression anthropique qui est un facteur fragilisant à cause du surpâturage et des pratiques agricoles inadéquates comme les exploitations de pastèques ([Ait lamqadem et al., 2018](#)). Ces pratiques nécessitant de grandes quantités d'eau, provoquent une pénurie d'eau dans le bassin versant du Draa et par conséquent, le processus de désertification ([Ait lamqadem et al., 2018](#)).

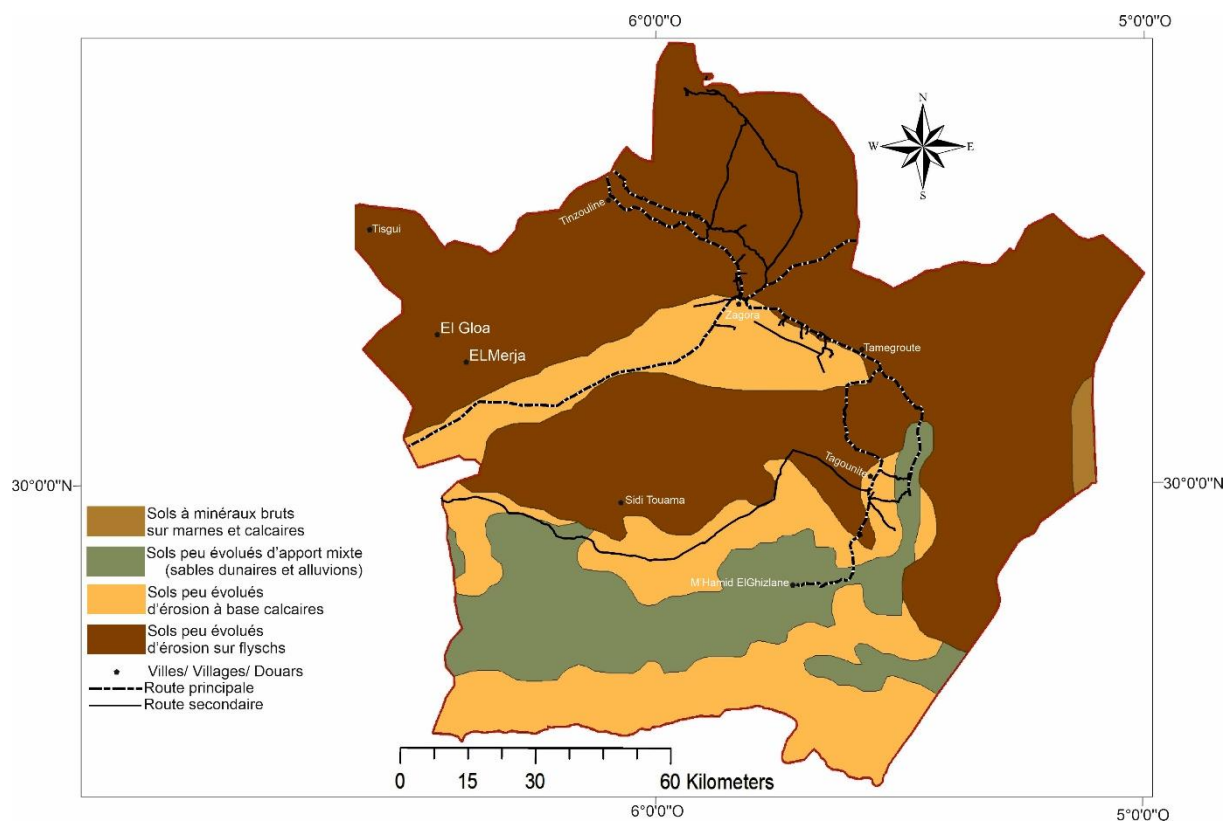


Fig. 23: Types de sols au niveau du cercle de Zagora ([Direction Régionale de Drâa-Tafilalet, 2015](#)).

Chapitre 2 : Cadre géologique

1. Introduction

L'Anti-Atlas est un anticlinal orienté ENE-WSW. Il ne présente pas une véritable chaîne orogénique plissée, mais plutôt une vaste couverture hercynienne pénéplanée à la fin du Paléozoïque puis légèrement affectée par l'orogénèse alpine (Choubert et Faure-Muret, 1983). Il s'étend sur plus de 700 km de longueur de l'océan Atlantique (à l'ouest) à la Hamada El Guir, (à l'est) sur environ 150 km de largeur de la faille Sud Atlasique au nord et le domaine saharien au sud. Michard (1976) et Choubert (1963) l'ont subdivisé en trois domaines structuraux, à savoir l'Anti-Atlas occidental, l'Anti-Atlas oriental et l'Anti-Atlas central. La zone d'étude de la présente analyse du géopatrimoine appartient au dernier domaine.

Le cercle de Zagora est principalement caractérisé par une couverture paléozoïque et post-paléozoïque (Fig. 24) légèrement déformée (Snape, 1993). Son socle précambrien correspond à des dépôts volcaniques et volcano-clastiques (Ennih et Liégeois, 2001 ; Oukassou, 2013 ; Álvaro et al., 2015).

La définition du cadre géologique de la zone d'étude est une étape primordiale pour établir l'inventaire des géosites et sites à géodiversité. Elle permet l'identification des géosites potentiels référencés dans la littérature où des données pertinentes ont été obtenues, tels que les stratotypes et les affleurements clés de certaines formations.

Ce chapitre consiste à un recueil bibliographique, produit d'une analyse documentaire des papiers scientifiques, cartes géologiques et des travaux de thèse, de différentes disciplines de la géologie, publiés sur le cercle de Zagora.

2. Cadre structural régional et paléogéographique

L'Anti-Atlas est situé sur le bord nord du craton ouest-africain Eburnéen (2Ga) (Gasquet et al., 2005), une zone particulière dans la mesure où de nombreux événements tectoniques ont eu lieu au cours des temps géologiques (Robert-Charrue, 2006). Son évolution tectonique et structurale a été façonnée par les événements majeurs des orogénèses (Fig. 25) : éburnéenne, panafricaine au Néoprotérozoïque pré-varisque et varisque au Paléozoïque (Ennih et Liégeois, 2001 ; Gouiza et al., 2016).

Selon les compilations paléogéographiques de Stampfli et Borel (2002), à la fin de l'orogénèse panafricaine, les mouvements tectoniques globaux se traduisent par le détachement successif de plusieurs terrains de la marge nord du Gondwana et par là-même l'ouverture de différents océans.

Après l'océan Prototethys, les terrains Avaloniens quittent le Gondwana laissant place à l'océan Rhéic (490 Ma). De l'autre côté de cet océan, au Silurien, le continent Laurussia s'est formé (440 Ma) en réponse à la collision des terrains Avaloniens du continent Baltica et de Laurentia (craton nord-américain). A cette même période, le départ des terrains Héniques de la marge du Gondwana, a donné naissance à l'océan Paléotéthys (400 Ma). Par la suite, l'océan Rhéic s'est refermé sur la marge du continent Laurussia il y a 340 Ma. A son tour l'océan Paléotéthys se referme (320 Ma) suite à la collision des continents Gondwana et Laurussia qui a formé le supercontinent Pangea (280 Ma). Ces deux dernières étapes correspondent à la déformation varisque étudiée dans l'Anti-Atlas. La dislocation de la Pangée était à la fin du Trias et au cours du Jurassique (200 Ma et 180 Ma) suite à l'ouverture de l'océan Atlantique.

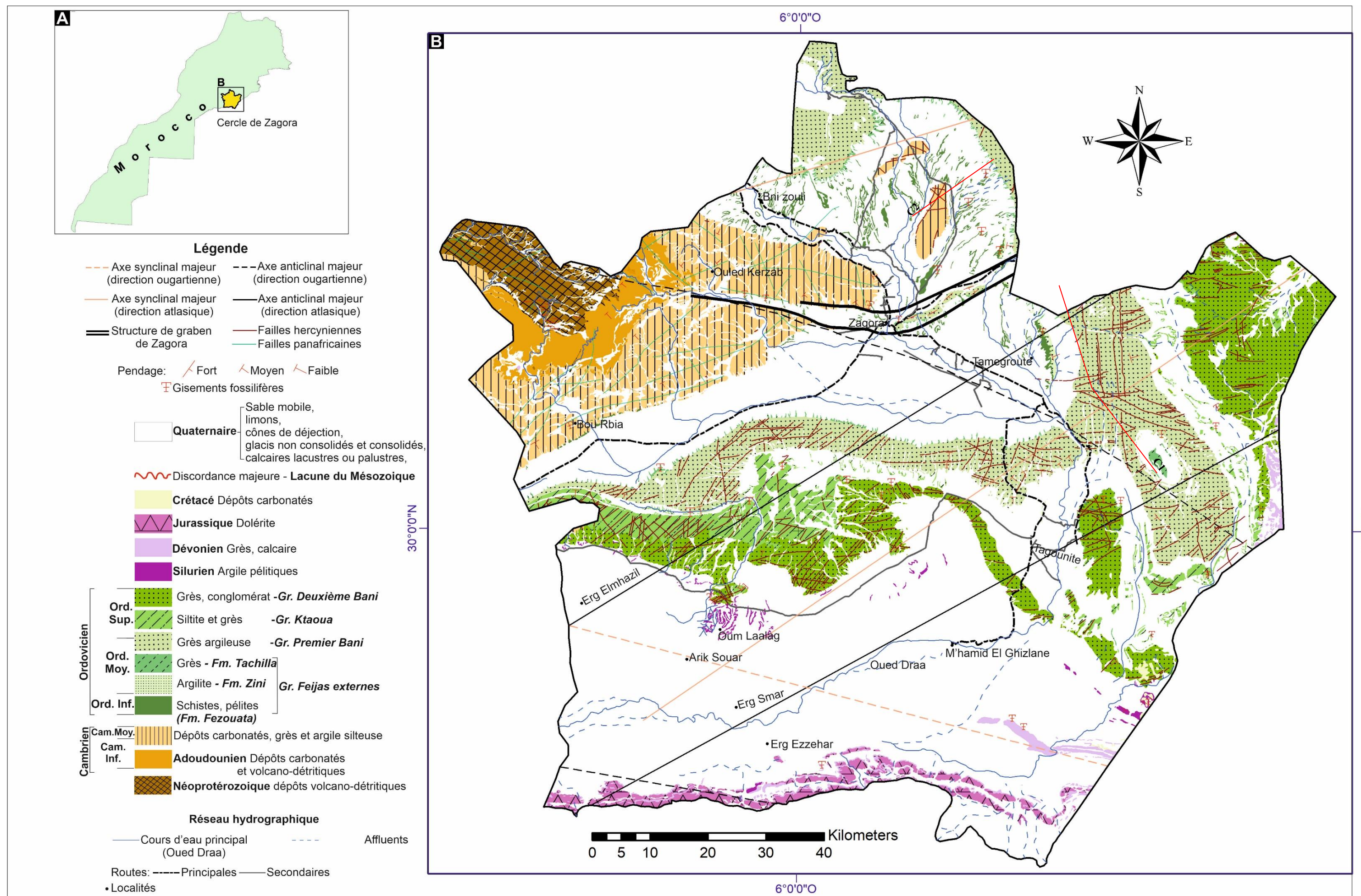


Fig. 24: A. Situation géographique de la zone d'étude; B. Carte géologique de la zone d'étude (Compilation des données des cartes géologiques : Zagora coude de Draa, Bou-Haiara Zegdou, Ouarzazate Alougoum et Saghro Dadés (1/200000), Destombes et al., 1985, Robert-Charrue, 2006 et Clerc, 2012).

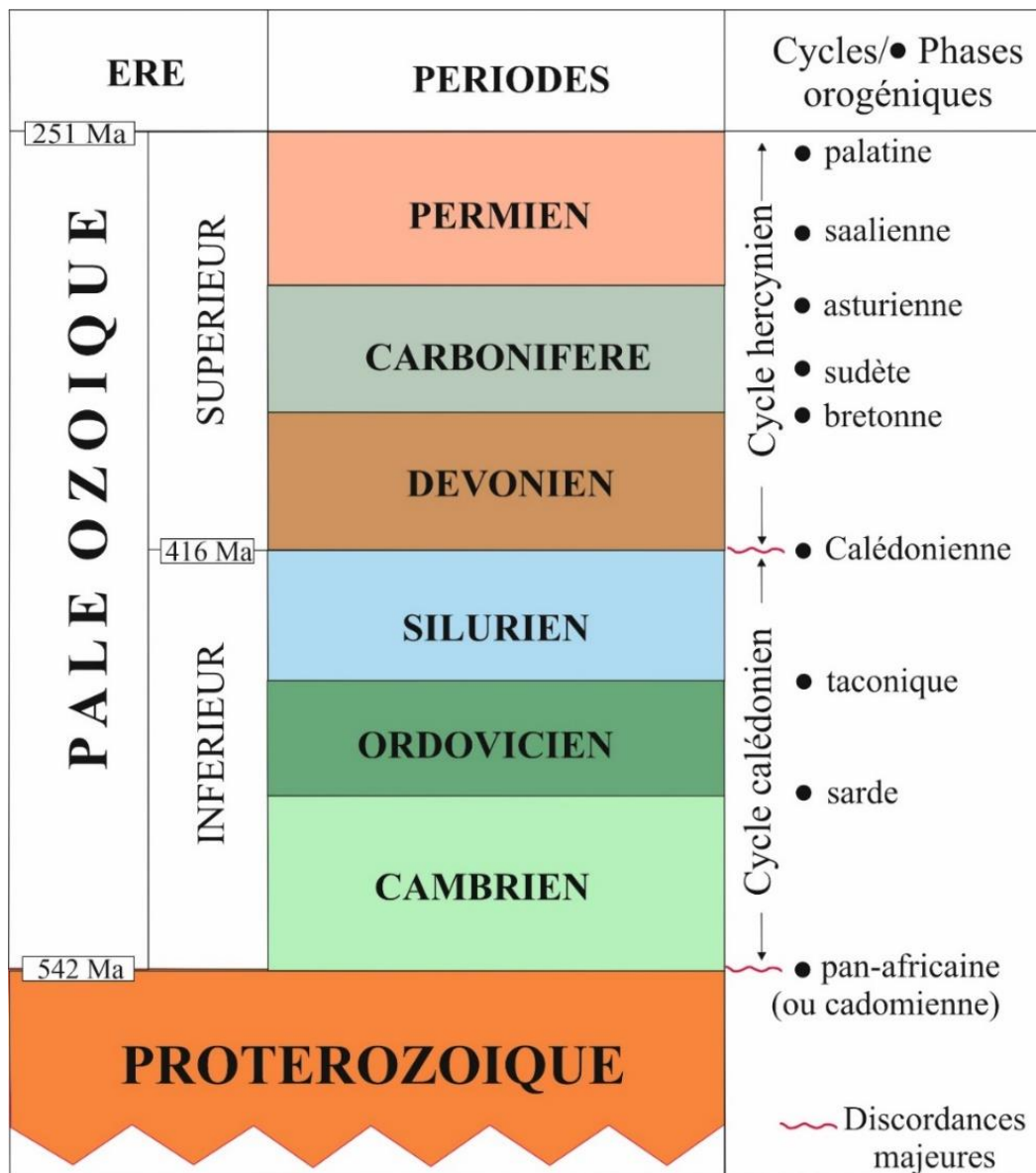


Fig. 25 : Découpage chronostratigraphique du Paléozoïque (Ogg et al., 2008) et des grands cycles orogéniques et principales phases orogéniques (Foucault et Raoult, 2001, Marante, 2008).

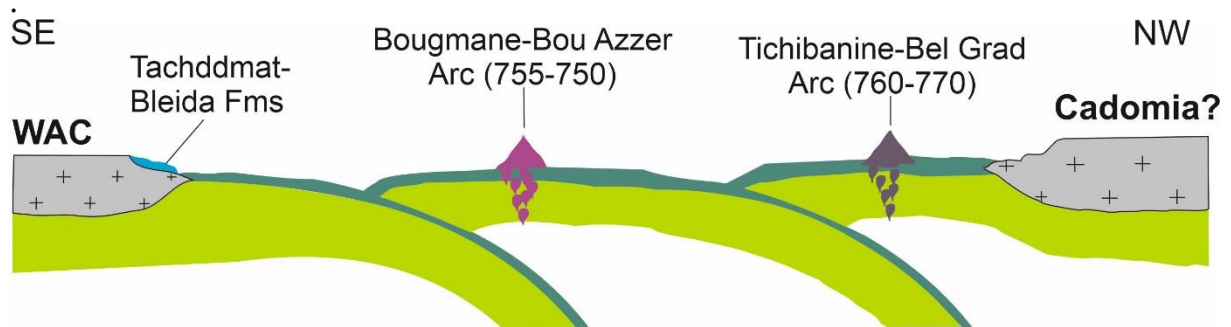
2.1. Phases Panafricaines

La reconstitution du segment de la ceinture panafricaine et de son avant-pays à la périphérie nord du craton ouest-africain a été possible grâce aux roches précambriennes sous la série paléozoïque qui affleurent sous forme de boutonnières, notamment celle de Bou-Azzer, à l'échelle de l'Anti-Atlas. En termes de tectonique de plaques, la chaîne de l'Anti-Atlas est la résultante du cycle orogénique panafricain et la collision entre le craton ouest et est africains et un continent septentrional (Leblanc et Lancelot, 1980; Aziz Samir et al., 1990). De 885 Ma à 540 Ma, trois périodes sont définies dans le cycle panafricain (Fig. 26) (Soulaïmani et al., 2018) :

- Une période de Tonien-Cryogène qui a pris fin avec l'obduction de matériel ophiolitique et d'arc océanique à 640 Ma.
- Une période d'Édiacarien inférieur, marquée par le développement et la fermeture ultérieure d'un large bassin marginal à côté d'un arc probablement de type andin.

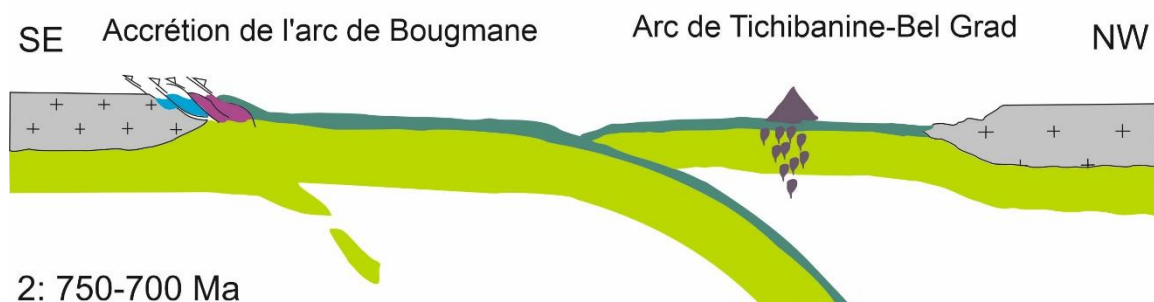
- Une période d'Édiacarien supérieur, enregistrée par des dépôts de molasse subaériens associés à un magmatisme post-collisionnel calco-alcalin (à forte teneur en potassium) à shoshonitique qui a clôturé le cycle panafricain ([Ouanaimi et al., 2020](#)).

La phase tardive du cycle panafricain (608 ± 7 Ma) a connu la collision de plusieurs cratons qui en s'amalgamant ils ont donné lieu au supercontinent du Gondwana ([Black et Fabre, 1980](#) ; [Coward et Ries, 2003](#) ; [Bumby et Guiraud, 2005](#)). L'achèvement de ce cycle au Protérozoïque terminal a été suivie d'une longue période de subsidence post-orogénique favorisant le développement des bassins Paléozoïques.



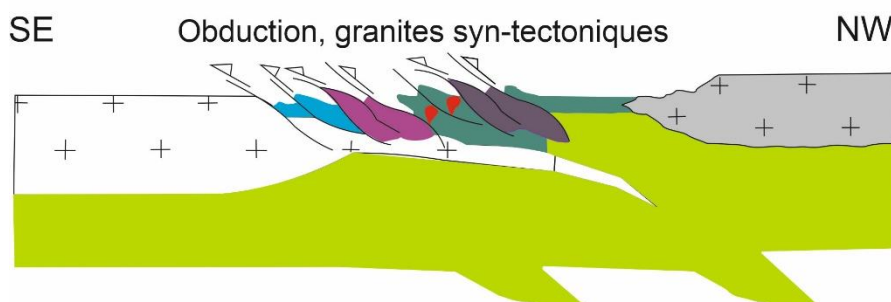
1: 850-750 Ma

Rifting, dérive, convergence et formation des arcs intra-océaniques



2: 750-700 Ma

Principale phase Panafricaine



3: 665-645 Ma

Principale phase Panafricaine

Fig. 26: Modèle de reconstruction géodynamique de la chaîne Anti-Atlasique pendant le cycle panafricain : Hypothèse de deux arcs ([Admou et al., 2013](#), [Soulaimani et Hefferan, 2017](#); [Soulaimani et al., 2018](#)).

2.2. Phases pré-varisques

Au Paléozoïque inférieur, la période cambro-ordovicienne a connu une phase de distension majeure orientée NW-SE, liée au basculement général de la plate-forme Nord Gondwana vers le nord-ouest et la pénéplanation de la chaîne panafricaine. Elle a conduit à la formation des structures en demi-graben qui ont individualisé les bassins paléozoïques (Beuf et al., 1971; Fabre, 1988 ; Carr, 2002 ; Burke et al., 2003 ; Coward et Ries, 2003). Appartenant à la marge passive nord Gondwana (Boote et al., 1998), ces bassins ont évolué dans un système de plate-forme à faible taux de subsidence et une stabilité tectonique générale marquée par des épisodes compressifs qui ont provoqué des flexures de grande longueur d'onde et par conséquent, la réactivation des structures du socle (Marante, 2008). Les grandes discontinuités stratigraphiques telles que la discordance taconique de l'Ordovicien supérieur, corrélables à l'échelle suprarégionale, sont les marqueurs de ces épisodes.

L'Ordovicien supérieur (Caradoc) a connu des mouvements compressifs associés à la phase taconique (440 Ma) du cycle calédonien, responsable d'une inclinaison globale vers le sud de cette plateforme. A cette période, la calotte glaciaire fini-ordovicienne (Fig. 27) s'installe sur le Gondwana (Beuf et al., 1971 ; Scotese et al., 1999). Par la suite la remontée de ce supercontinent vers le nord fut rapide durant cette période. De la sorte, celui-ci assiste à nouveau à des variations climatiques de grande ampleur qui ont entraîné la fonte de la calotte glaciaire, générant ainsi une transgression marine majeure matérialisée par les dépôts des argiles siluriennes.

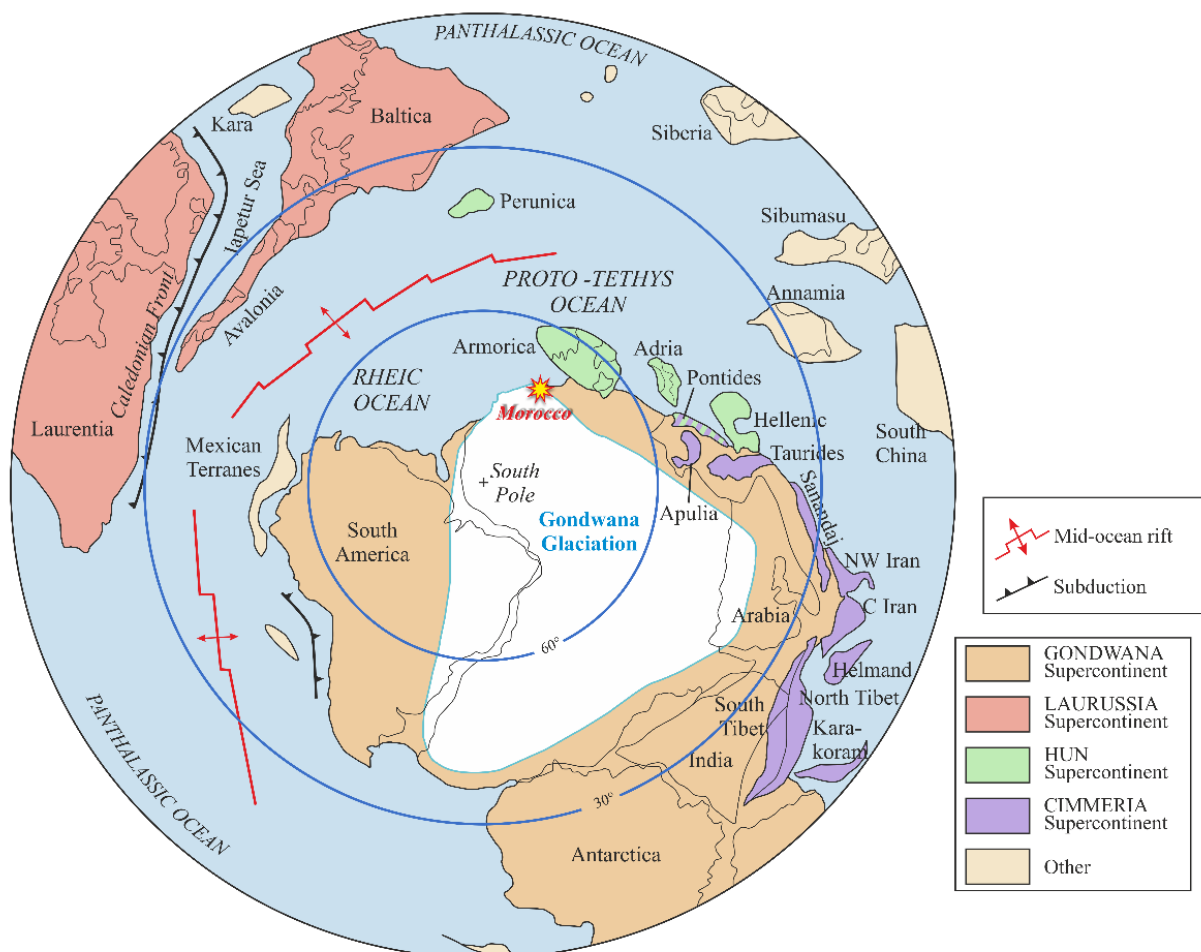


Fig. 27: Paléogéographie de l'Ordovicien supérieur/Silurien inférieur illustrant la calotte glaciaire de l'Hirnantien (Ruban et al., 2007 ; Assine et Warren, 2021)

C'est cette phase calédonienne compressive, qui en réactivant les structures du socle a accentué les reliefs existants, qui est à l'origine de la différenciation des bassins nord africains à la fin du Silurien (Lüning, 2005).

2.3. Orogenèse hercynienne

A la fin du Carbonifère la sédimentation au niveau de la plate-forme paléozoïque a pris fin, suite à l'événement hercynien qui résulte de la collision entre le Gondwana et le continent Laurasia. Les mouvements hercyniens sont partagés en mouvements précoces en Viséen et majeurs post-Namuriens.

L'orogénèse hercynienne qui a principalement affecté le nord-ouest du Gondwana a provoqué en effet d'importantes déformations et une surrection générale du domaine le plus souvent par la réactivation des accidents panafricains (Haddoum et al., 2001) (Fig. 28B-C). Les unités réservoir cambro-ordoviciennes ont été alors plissées, faillées, fracturées et soulevées. La structuration en Anti-Atlas central due à cette orogénèse est de différentes directions : mésétiennes (NE - SW à NNE-SSW) interférant avec une direction atlasique ENE-WSW à E-W (Ouanaimi, 2004).

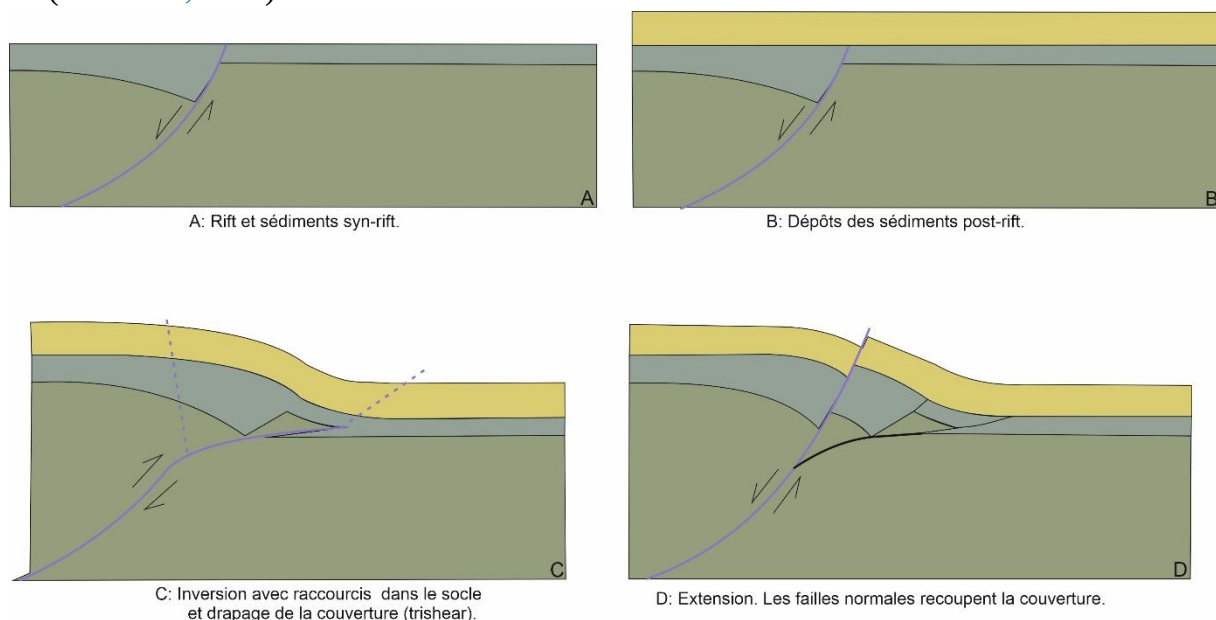


Fig. 28: Modèle évolutif du style structural de l'Anti-Atlas oriental et central (Bump, 2003 ; Robert-Charrue, 2006)

2.4. Mouvements post-hercyniens

La longue complexe histoire géologique de la zone de recherche enregistre aussi des mouvements post-hercyniens relatifs à la tectonique d'extension (Fig. 28D) et de compression, conséquence des mouvements des plaques entre l'Afrique et l'Europe qui a abouti à l'orogénèse alpine (Hrubcovà et al., 2010). Sa phase compressive au Cénozoïque a provoqué un soulèvement général combiné à l'effet d'une anomalie thermique récente (Ellouz et al., 2003). Ce soulèvement est traduit par l'affleurement à une altitude de plus de 2000 mètres des roches précambriennes et paléozoïques de l'Anti-Atlas (Fig. 29).

L'absence de la sédimentation au cours du Permo-Trias et une grande partie du Jurassique, laisse supposer que cette longue période a vu une érosion des reliefs hercyniens. Cependant au Jurassique la zone a assisté à la mise en place de corps doléritiques le long des fractures,

probablement liées à l'ouverture de l'Atlantique (Oukassou, 2013). Au cours de la période post-hercynienne, mise à part la marge sub-atlasique et le bassin atlantique de Tarfaya, l'Anti-Atlas a connu une histoire essentiellement continentale (Ounaimi, 2004). Ce couvert sédimentologique continental a été entamé au Crétacé supérieur sur la pénéplaine post-hercynienne (Choubert et Faure-Muret, 1983) formant ce que l'on appelle "les Hamadas": inférieure, moyenne et supérieure. Ces Hamadas sont séparées par des événements tectoniques alpins dont les caractéristiques structurales sont très mal connues : deux événements à la fin de la Hamada inférieure (céno-mano-turonien), deux épisodes pendant (Oligocène) et à la fin des dépôts de la moyenne Hamada (Miocène) et enfin, une dernière phase Plio-Quaternaire après la Hamada supérieure (Ounaimi, 2004). C'est au cours de cette dernière période que le réseau hydrographique s'organise et que se forment les regs, les dunes vivantes et les limons quaternaires des oueds.

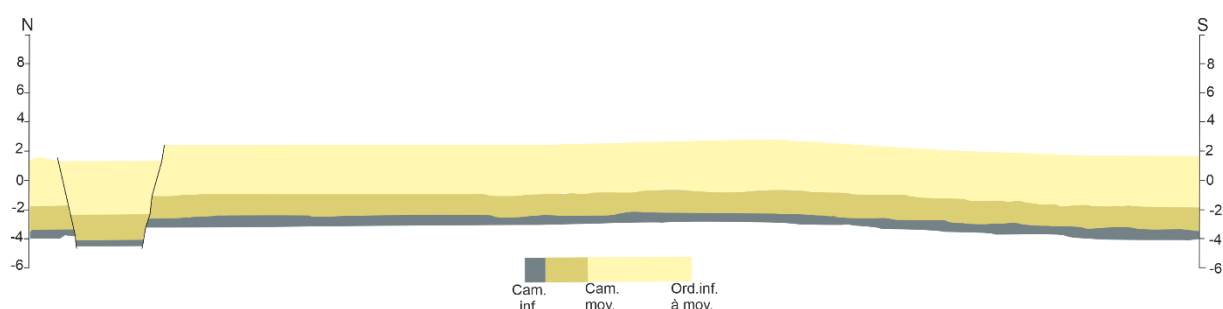


Fig. 29: Coupe géologique (C1) (Robert-Charrue, 2006)

3. Lithostratigraphie

Après l'achèvement de la convergence Pan-africaine au Protérozoïque terminal, une période de subsidence post-orogénique a suivi, en favorisant le développement des bassins paléozoïques en Afrique du Nord (Fabre, 1988 ; Carr, 2002 ; Burke et al., 2003 ; Coward et Ries, 2003). Ces bassins font alors partie d'un vaste système de plates-formes installées sur la marge passive au nord du Gondwana (Boote et al., 1998).

La province de Zagora est principalement caractérisée un socle d'âge Précambrien correspondant à des formations volcaniques et volcano-détritiques (Ennih et Liégeois, 2001 ; Oukassou, 2013 ; Álvaro et al., 2015) et une couverture paléozoïque (Fig.30) au niveau de laquelle la tectonique avait entraîné des dépressions à grande échelle où les dépôts mésozoïques, tertiaires et quaternaires ont pris place (Snape, 1993). Cette zone dans l'Anti-Atlas central recèle une des séries stratigraphiques les plus complètes et les plus illustrées du paléozoïque inférieur (Destombes, 1985 ; Destombes, 2006) provenant de l'érosion des strates plus anciennes du craton ouest-africain (Destombes, 1976 ; Oukassou, 2013). Les faciès de cette période reflètent une tendance transgressive majeure (Marante, 2008).

3.1. Le Néoprotérozoïque

L'Anti-Atlas est une ceinture de plis paléozoïques de type thick-skinned tectonic dont le socle précambrien se manifeste par plusieurs boutonnières (Choubert, 1947, 1963 ; Burkhard et al., 2006, Baidder, 2007 ; Soulaïmani et Burkhard, 2008 ; Oukassou, 2013 et autres), distribuées le long des deux zones de failles majeures du Sud d'Atlas et de l'Anti-Atlas Central (Gasquet et al., 2005). Au Nord-Ouest de la zone d'étude affleure la boutonnière de Bou Azzer. Elle correspond aux vestiges d'une zone de suture panafricaine, présents sous la forme d'une série d'ophiolite (Leblanc et al., 1980 ; Saquaque et al., 1989 ; Hefferan et al., 2002 ; Thomas, et al.,

2002 ; Burkhard et al., 2006). Elle comprend trois unités géologiques distinctes (El Hadi et al., 2011) : (1) la véritable ophiolite, une croûte et un manteau supérieur de type océanique, (2) une ceinture septentrionale d'affinité volcanique-arc composée de métavolcaniques siliceux calco-alcalins, de tufs, d'épiclastites et de metabasites (Saquaque et al., 1989) ; (3) des plutons métalumineux dioritiques à granodioritiques, pénétrant à la fois les unités océaniques et d'arc (Beraaouz et al., 2004).

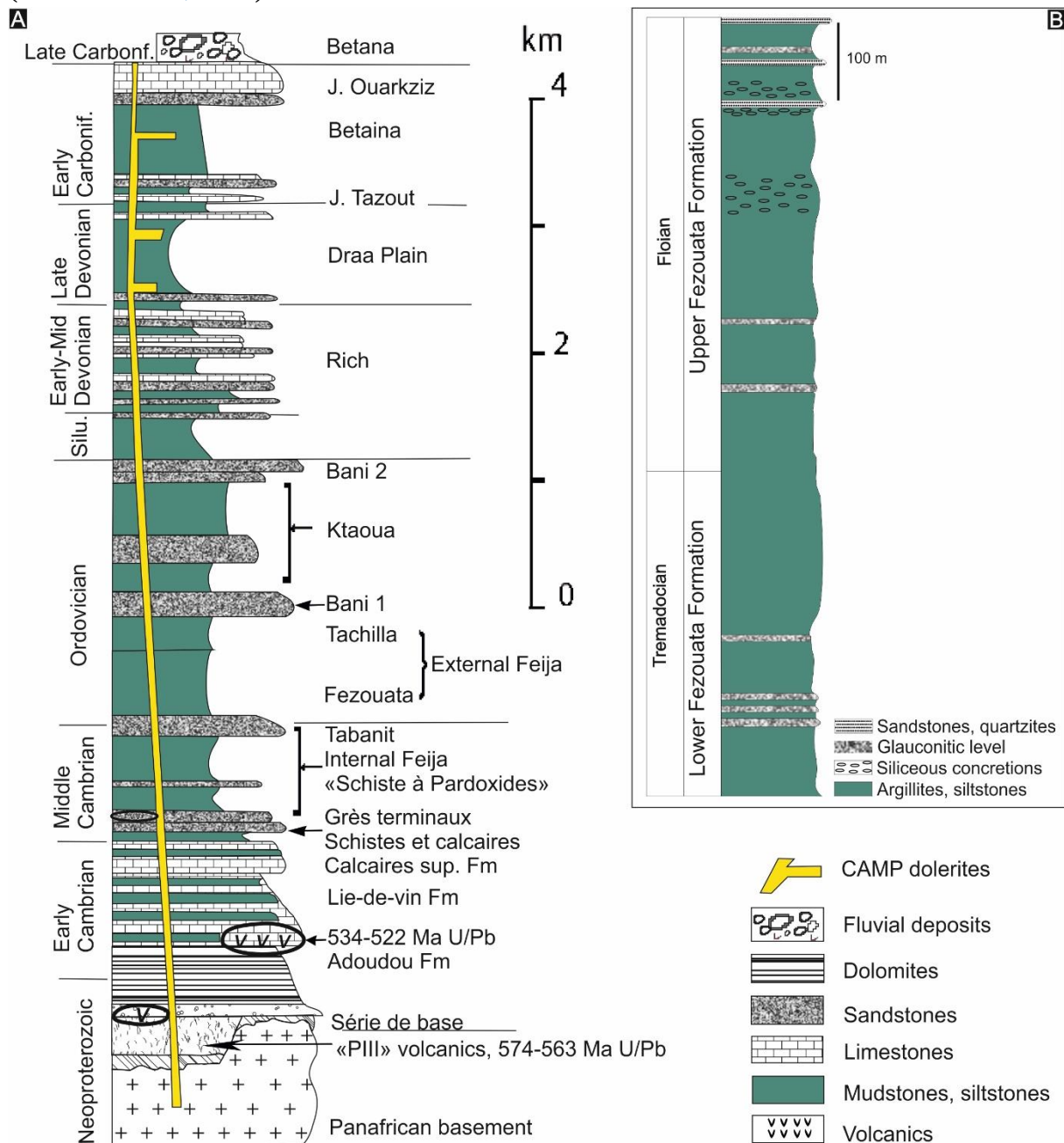


Fig. 30: A. Subdivision stratigraphique de l'Anti-Atlas central (Michard et al., 2008). B. Subdivision stratigraphique de la Formation de Fezouata (Vidal, 1998 ; Destombes, 2006 ; Kröger et Lefebvre, 2012).

3.2. Cambrien

Au sud du Maroc, la transition du Néoprotérozoïque supérieur au Cambrien a fait l'objet de nombreux débats (Ex : Maloof et al., 2005 ; Vernhet et al., 2012 ; Alvaro et al., 2014 ; Benziane et al., 2016 ; Letsch et al., 2018 ; Yazidi et al., 2019) afin mettre la lumière sur la stratigraphie

de l'Anti-Atlas et la redéfinition de la sous-période "Cambrien inférieur" et son extension ainsi que sa situation dans le contexte globale (Yazidi et al., 2019).

Le Cambrien est marqué par une élévation générale du niveau marin avec des fluctuations qui s'expliquent par l'accroissement de l'expansion des rides océaniques et la création de plates-formes continentales peu profondes (Destombes, 1985 ; Fabre, 1988 ; Boote et al., 1998 ; Carr, 2002 ; Coward et Ries, 2003). Au niveau du cercle de Zagora, on ne trouve que les séries du Cambrien inférieur carbonatées qui ont eu lieu dans un environnement de plate-aforme (Boudda et al., 1979 ; Geyer et Landing, 1995 ; Oukassou, 2013), et les séries du cambrien moyen qui sont essentiellement détritiques provenant de l'érosion du Craton Ouest Africain (Destombes, 1976 ; Oukassou, 2013). Cette sédimentation détritique a continué jusqu'au Silurien (Figs. 24 et 30A).

Le cambrien inférieur est constitué de la série des Calcaires inférieurs et de la série schisto-calcaire, composée d'une alternance de calcaires bleu-gris ou noir à bancs argilo-silteux noirs ou verdâtres. Le cambrien moyen est formé de la série des grès terminaux à sa base et du groupe de Feija interne. Ce groupe correspond aux Schistes à Paradoxides (une série essentiellement argileuse) et aux grès quartzeux de Tabanit.

Cette période est caractérisée par une faune diversifiée et parmi les organismes dominants, on retrouve les trilobites (arthropodes), les archéocyathes (qui forment les premiers édifices récifaux à métazoaires), les graptolites benthiques, les mollusques, les conodontes, les annélidés, les échinodermes, les céphalopodes et les achritarches, etc.

3.3.Ordovicien

Les affleurements dans le secteur d'étude sont représentés principalement par les terrains ordoviciens et quaternaires (Figs. 24 et 31) où la succession ordovicienne demeure complète et bien développée. Elle est constituée d'une alternance d'unités à dominance argilo-silteuse et de barres gréseuses, subdivisée en quatre groupes (Figs. 30A et 31) du plus ancien au plus récent on note : Feijas externes, Premier Bani, Ktaoua et Deuxième Bani (Choubert, 1942 ; Destombes, 1971 ; Martin et al., 2016).

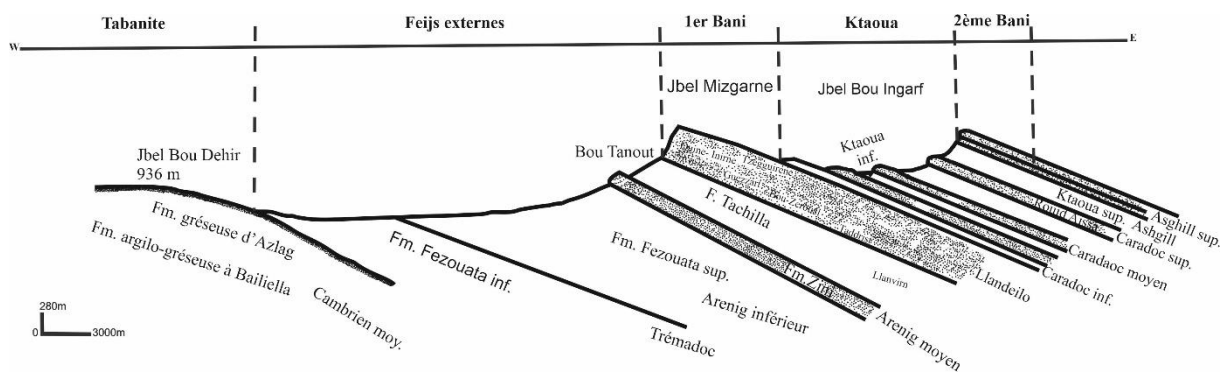


Fig. 31: Coupe (C2)- type des divers groupes et formations de l'Ordovicien dans l'Anti-Atlas central (Destombes, 2006)

3.3.1. Groupe des Feijas externes

La transgression globale initiée pendant le Cambrien a continué pendant l'Ordovicien, au moins jusqu'à l'Ordovicien supérieur.

Le groupe des Feijas externes a été déposé dans un contexte extensif lié à l'ouverture de l'océan Rhéique et à la déviation de l'Avalonia du super continent Gondwanien. Il est constitué de

quatre formations (Fig. 30B) à savoir : les formations pélitiques inférieure (*Tremadoc*) et supérieure de Fezouata (*Arenig inférieur et moyen*), la formation gréseuse de Zini (*Arenig moyen*) et la formation argileuse de Tachilla (*Arenig supérieur- Llanvim ; Oretanien*) (Destombes 2006).

a. Formations de Fezouata

Les deux formations de Fezouata sont séparées par un niveau gluconique et ferrugineux dans d'autres régions de l'Anti-Atlas alors qu'il est absent au niveau de Zagora (Destombes 1962, 1970, 1971 ; Destombes et al., 1985 ; Jan Ove et Bertrand, 2015) de ce fait on y considère les deux formations comme une seule d'où l'attribution de l'appellation de Schistes de Fezouata (Fig. 34) (Destombes, 1962 ; Destombes et al., 1985 ; Martin et al, 2015).

La Formation de Fezouata de l'Ordovicien inférieur du sud du Maroc a été considérée comme l'une des Konservat- Lagerstätte les plus pertinentes en raison des découvertes paléontologiques majeures et des faunes typiques qu'elle a livrées au cours de la dernière décennie (Lefebvre et al., 2016 ; Martin et al., 2016). Elle documente l'événement majeur « the Great Ordovician Biodiversification Event (The GOBE) » correspondant à l'épisode de l'histoire de la Terre durant lequel la biodiversité océanique a le plus augmenté. Elle fournit un aperçu unique de l'une des périodes les plus critiques dans l'apparition et l'évolution de la vie marine pendant la période de transition Cambro-Ordovicienne.



Fig. 32: Affleurement de la Formation supérieure des Schistes de Fezouata au sud-est de l'anticlinal de Jbel Boudehir (G)

b. Formation de Zini

C'est une formation gréseuse, surtout développée dans l'Anti-Atlas occidental (Destombes, 1963). Elle est considérée comme d'âge Arenig moyen suite à sa faune de Graptolites (Destombes, 1960). Elle se présente sous l'aspect d'une dalle de grès quartzeux et de quartzites ferrugineux à Asaphidae particulièrement à Zagora (Destombes, 2006). Elle marque la fin du premier cycle sédimentaire ordovicien du Trémadoc-Arénil (Gasquet et al., 2001).

c. Formation de Tachilla

Elle représente le début du deuxième cycle sédimentaire ordovicien. C'est une formation d'argilite finement gréseuse de couleur gris-noire. Sa base se caractérise par un niveau d'oolithes ferrugineuses (Fig. 33 A-B) qui souligne la transgression de cette formation (Destombes, 2006). Suivies par des niveaux plus gréseux contenant de petits nodules siliceux souvent fossilifères et à structure cone-in-cone (Fig. 33C).

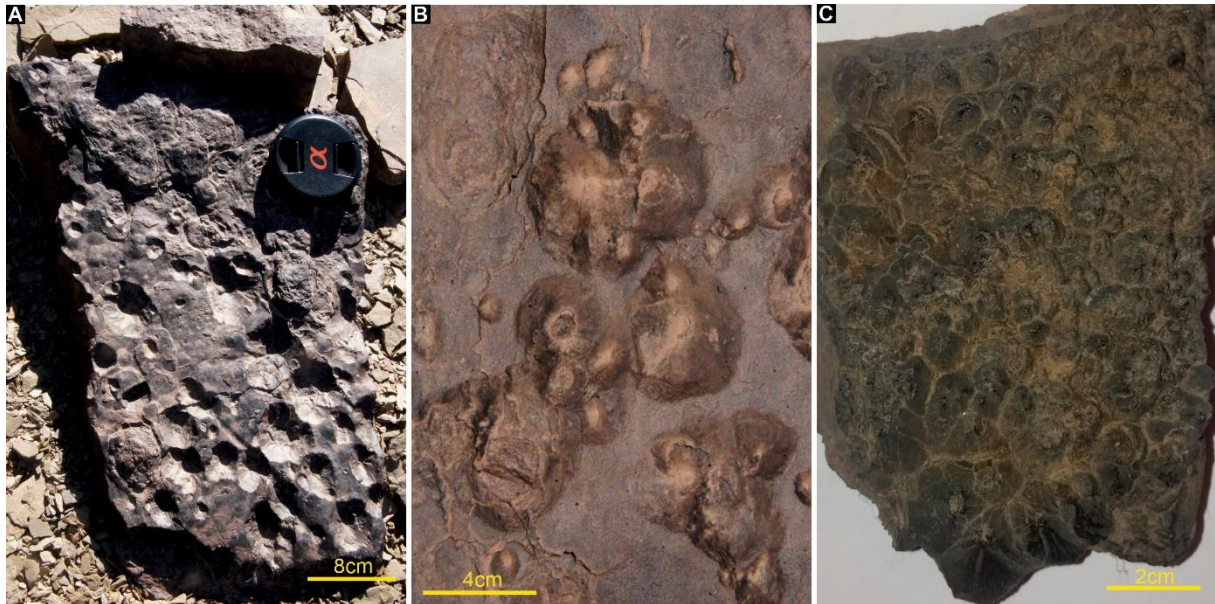


Fig. 33: Grès gris-noire de la Formation de Tachilla avec ; A-B. niveau oolithique ferrugineux, C. Structure cone-in-cone.

3.3.2. Groupe du premier Bani

Au cours de l'Ordovicien moyen, l'Afrique du Nord était totalement située sur la marge nord-ouest du Gondwana, qui correspondait à une vaste plate-forme couverte par des mers épicontinentales peu profondes. Les dépôts de cette période forment une série de grès argileux marin qui atteint une épaisseur de plus de 550 m (Marante, 2008). Il comprend cinq formations (Figs. 31 et 34) de la base au sommet : le Taddrist, Bou-Zeroual, Guezzart, Ouine-Inirne, et Izegguirene formant le groupe du Premier Bani (Destombes et al., 1985, 2006), déposées dans un environnement de plate-forme dominé par les tempêtes (Loi et al., 2010).

Le passage des argiles de la Formation de Tachilla et aux grès de la Formation de Taddrist est graduel marquant un enrichissement progressif en éléments détritiques (Marante, 2008). Le premier groupe du Bani affleure sous forme d'une falaise abrupte (jusqu'à 700 m d'épaisseur) à dominance sableuse surplombant la vallée du Dra autour de Zagora. Il est caractérisé par l'alternance cyclique de deux systèmes sédimentaires en relation avec les cycles de transgression-régression, largement influencés par les processus des vagues et des tempêtes (Videt et al., 2010).

La réévaluation biostratigraphique et la révision complète du contenu paléontologique des cinq formations définies par Destombes pour l'Ordovicien moyen dans l'Anti-Atlas marocain a permis de proposer un nouveau calage chronostratigraphique du Premier Bani (Fig. 34). Ainsi, les quatre premières formations (Taddrist, Bou-Zeroual, Guezzart et Ouine-Inirne) sont alors attribuées à la partie supérieure du Llanvirn, alors que la dernière formation (Izegguirene) date du Caradoc inférieur ((Destombes, 1985 ; Gutierrez-Marco et al., 2003).

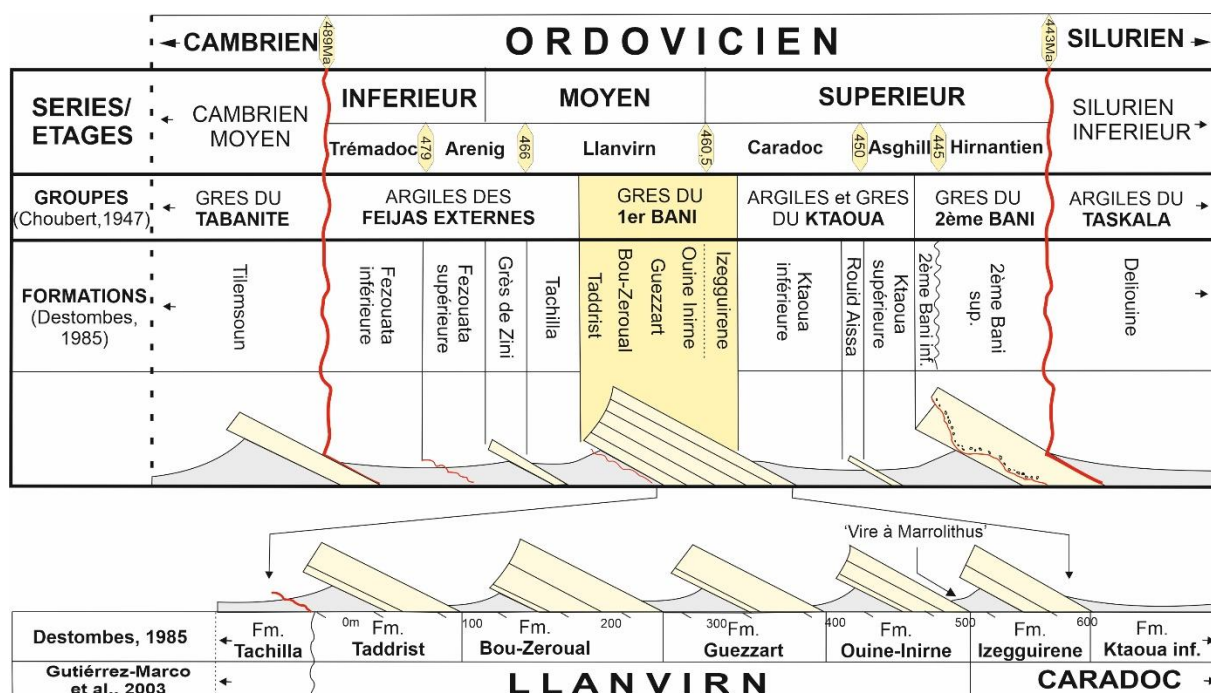


Fig. 34: Découpage lithostratigraphique de l'Ordovicien dans l'Anti-Atlas (Choubert, 1942).
 Découpage lithostratigraphique d'Ordovicien moyen à Zagora (Destombes, 1985, Marante, 2008)

3.3.3. Groupe de Ktaoua

Le groupe de Ktaoua constitué d'une succession schisteuse, compose la majeure partie de l'Ordovicien supérieur (Fig. 34 et 35). Ce groupe comprend successivement la Formation de Ktaoua inférieure (Sandbien - Katien inférieur), subdivisée en trois membres (membres d'Assif bou Zeggarh, Tiouririne moyen et Amouguer), la Formation de Tiouririne supérieure (Katien moyen) et la formation de Ktaoua supérieure (Katien supérieur) (Destombes, 1985, 2006). Les formations inférieure et supérieure de Ktaoua sont constituées principalement de faciès terrigènes fins argilo-silteux et des horizons calcaires, phosphatés et/ou ferrugineux qui sont le plus souvent très fossilifères, alors que la formation de Tiouririne supérieure se caractérise par les grès et les schistes subordonnés dominés par les tempêtes (Loi et al., 2010). Ces alternances argilo-gréseuses (Fig. 36) que présente le groupe de Ktaoua enregistrent des chutes du niveau marin induites par le développement des premières calottes de glace en zone interne au début du Katien (Loi et al., 2010, Clerc, 2012).

La chronostratigraphie du groupe de Ktaoua dans son aire type (Anti-Atlas Central) est bien contrainte grâce aux études des chitinozoaires et des acritarches (Elaouad-Debbaj, 1984, 1986, 1988 ; Paris, 1990, 1999 ; Bourahrouh et al., 2004 ; Villas et al., 2006).



Fig. 35: Affleurement des schistes de Ktaoua supérieure surmontés par le groupe du Deuxième Bani au col de Ben Selmane.

3.3.4. Groupe du Deuxième Bani

Il regroupe deux formations distinctes (Figs. 36, 37) associées à deux environnements différents. A la base, la Formation inférieure du Deuxième Bani reflète un milieu marin, n'affleure pas dans tout l'Anti-Atlas mais centrée principalement dans la région de Zagora (Clerc, 2012). Au sommet, cette Formation est surmontée par la surface d'incision glaciaire Hirnantienne (Fig. 38, 39) sur laquelle repose la Formation supérieure du Deuxième Bani qui reflète un environnement subaquatique sous glacier (Le Heron, 2007).

La Formation inférieure du Deuxième Bani est constituée d'une alternance de niveaux gréseux à grains fins et de niveaux de grès argileux prédominants (Figs. 36, 37), elle indique un environnement de front de mer à dominance de tempête (Sutcliffe et al., 2001). Ces dépôts ont été tronqués par la surface d'érosion majeure Hirnantienne d'origine glaciaire, en creusant des vallées tunnel (Figs. 38, 39). Par la suite ces vallées ont été remplies par la succession conglomératique et gréseuse glaciogénique (Fig. 37) de la Formation supérieure du Deuxième Bani (Le Heron, 2007).

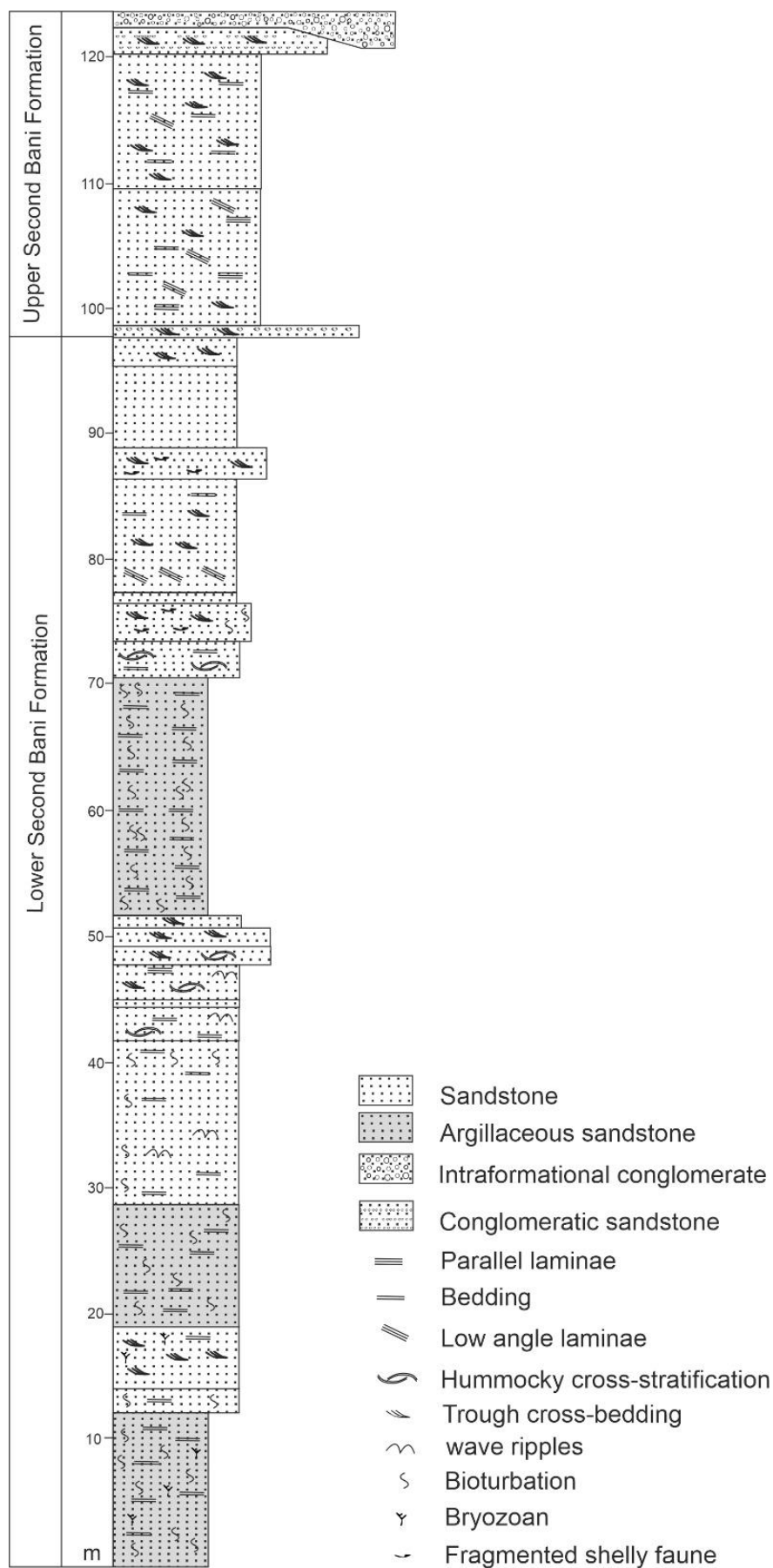


Fig. 36: Subdivision stratigraphique du groupe du Deuxième Bani à Foum Larjamme d'après Sutcliffe et al., 2001.



Fig. 37: Le contact discordant entre les grès de la formation inférieure et les conglomérats de la formation supérieure du Deuxième Bani.

Le groupe du Deuxième Bani (Fig. 38) documente deux extinctions massives au cours de l'Ordovicien supérieur, liées au changement climatique (Branchely et al., 1995 ; Hallam et Wignall 1997 ; 1999 ; Sutcliffe et al., 2001). La première extinction reflète le refroidissement et la baisse du niveau de la mer (Delabroye et Vecoli, 2010). Elle a commencé au début de l'Hirnantien affectant de manière significative les organismes pélagiques, principalement les graptolites (Melchin et Mitchell, 1991 ; Hallam et Wignall, 1997 ; Finney et Berry 1997 ; Finney et al, 1999 ; Sutcliffe et al., 2001) et a synchronisé l'évolution de la faune Hirnantia (Sheehan et Coorough 1990 ; Rong et Harper 1999) qui s'est adaptée aux nouvelles conditions climatiques (Rong et al., 2002 ; Delabroye et Vecoli, 2010). La seconde extinction s'est produite après la déglaciation et la transgression qui y sont associée (Sheehan, 2001). Elle a affecté la faune des profondeurs (Owen et Robertson 1995 ; Rong et Harper 1999) et a généré une diminution de la diversité de la faune Hirnantia (Rong et Harper 1999 ; Sutcliffe et al., 2001).

Chrono-stratigraphy	Group	Foum Larjamme	Chitizoan Zones	
UPPER ORDOVICIAN	HIRNANTIAN	Second Bani Group	Upper Fm.	fragilis — 443.7 Ma
			Lower Fm.	oulesbsiris
				elongata — 445.6 Ma
	KATIAN	Ktaoua Group	Upper Ktaoua Fm.	merga
			Upper Tiouririne Fm.	rigerica
			Errwaidat Fm.	barbata
				fistulosa
				robusta
				tanvilensis
				?? — 455.8 Ma
	SANDBIAN	Ktaoua Group		dalbyensis
				deunffi
				poncetti
				pissotensis — 460.9 Ma
MIDDLE ORDOVICIAN		First Bani Group	First Bani Group	

▲▲▲▲▲ Glacial erosion surface

Fig. 38: Stratigraphie de l'Ordovicien supérieur de Foum Larjamme, simplifiée à partir de [Ravier et al. 2015](#) ; [Clerc et al. 2013](#).



Fig. 39: Vue panoramique de la surface d'érosion glaciaire au sud de Zagora.

3.4. Silurien

La transgression majeure silurienne marque un changement climatique radical lié à la fonte de la calotte glaciaire qui a régné au cours de l'Ordovicien terminal. Le Silurien est caractérisé par une élévation générale du niveau marin, présente des dépôts essentiellement argileux et ampéliteux, déposés pendant une longue période de sédimentation calme. Ces dépôts sont

généralement retrouvés dans les dépressions d'oued Draa, toutefois dans notre secteur d'étude on note quelques affleurements restreints des argilites noires (Fig. 40).

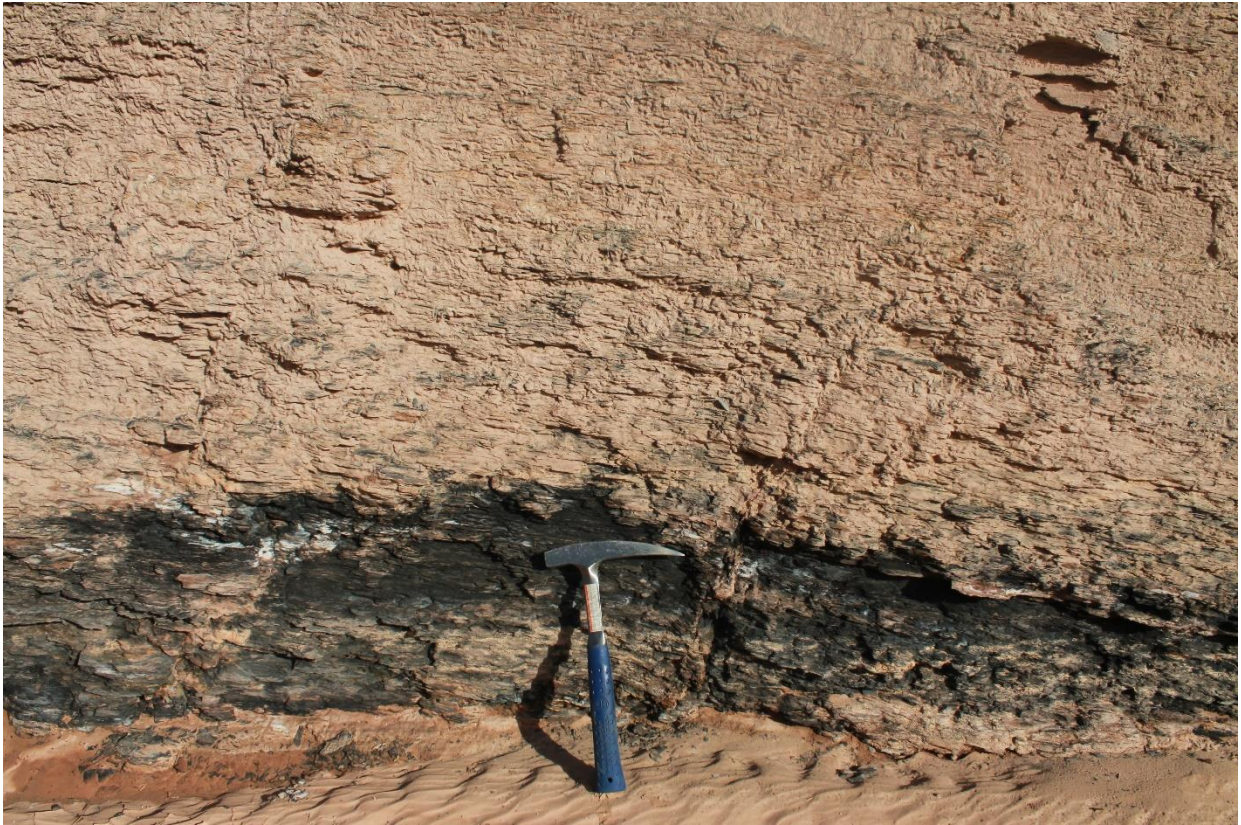


Fig. 40: Affleurement des schistes siluriens au niveau d'Oasis Oum Laalag.

3.5. Dévonien

La sédimentation carbonatée qui a commencé au Silurien continue par l'apparition de bancs calcaires qui vont dominer durant le dévonien (Wendt, 1985 ; Missenard, 2006). Durant cette période, la marge du Gondwana a bénéficié d'un calme tectonique (Robert-Charrue, 2006). Bien que peu visible dans le cercle de Zagora, le dévonien correspond à une puissante série formant les Richs dans la partie orientale de l'Anti-Atlas.

3.6. Couverture cénozoïque

Tout le Sud marocain est soumis à une évolution continentale dès l'Eocène supérieur.

3.6.1. Néogène (Hamadien)

Les dépôts néogènes en Anti-Atlas constituent ce qu'on appelle "les Hamadas": inférieure, moyenne et supérieure. Ils n'excèdent pas quelques centaines de mètres. Elles se caractérisent par une succession de dalles calcaires séparées par des talus marno-gréseux (Choubert et Faure-Muret, 1983; Michard, 1976).

3.6.2. Quaternaire

Des changements climatiques de grande ampleur ont affecté l'Afrique du Nord au cours du Quaternaire. Au moyen Draa, ces changements sont traduits par les paléo-lacs asséchés et comblés de sédiments argileux et carbonatés (Iriqui etc.), les terrasses étagées, les dépôts

travertineux au niveau des cascades, les regs et ergs (Fig. 41). De plus, les changements radicaux parvenus dans les sociétés humaines sont notés dans les industries lithiques alors que le monde animal qui occupait le milieu naturel figure dans les gravures et les peintures rupestres.

Le Quaternaire est subdivisé en deux périodes : le Pléistocène qui correspond au Paléolithiques ancien et moyen, et l'Holocène qui a débuté 10 000 ans plus tôt et qui équivaut à la période interglaciaire (Ait Touchnt, 2013). Au début de cette période, la chaîne de l'Anti-Atlas avait déjà acquis sa physionomie actuelle, des légers mouvements tectoniques seraient encore se produire avec des changements climatiques périodiques qui détermineraient les phases successives de creusement et de remplissage (Ait Touchnt, 2013). La couverture quaternaire de l'Anti-Atlas est constituée des dépôts alluviaux, de versant, lacustres et de travertins avec des dépôts plus récents qui correspondent principalement à des limons affleurant le long des principaux cours d'eau et des dunes de sable (Choubert et Faure-Muret, 1983). Les matériaux blocailleux, patinés, provenant de la démolition des escarpements nappent ces reliefs en s'accumulant sous forme de coulées de gros blocs dans les ravines, d'éboulis et d'éboulements et de dépôts de versant (Riser, 1979). L'étagement de ces formes d'accumulation permet de vérifier l'entrecoupement des périodes de formation et de transport des débris, au cours du Pléistocène, par des époques de destruction des formations alluviales et colluviales consécutives à l'incision linéaire du réseau hydrographique (Riser, 1979).

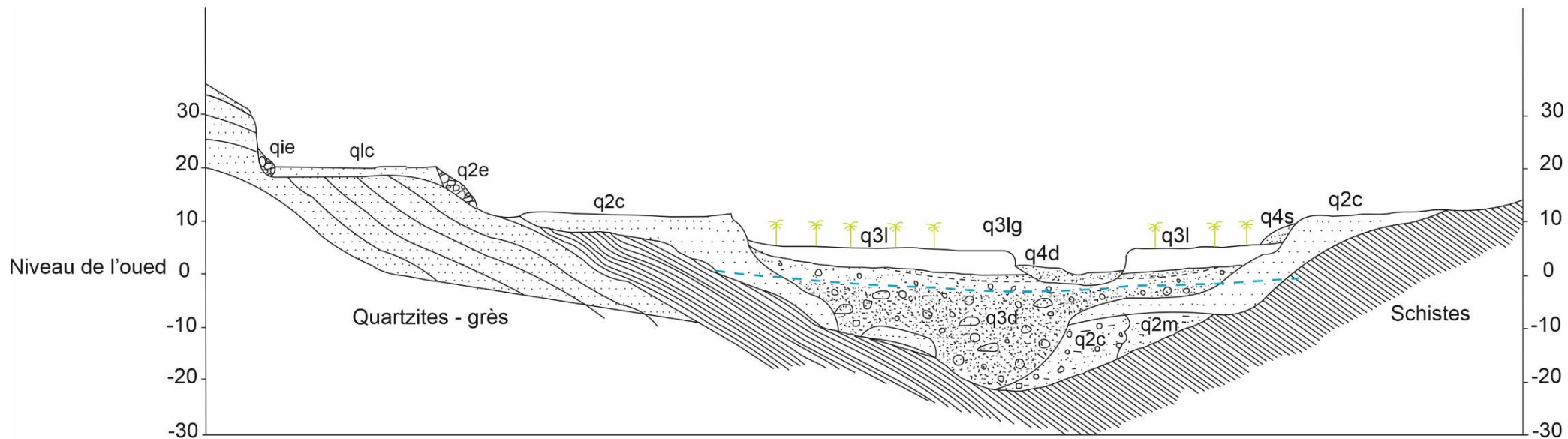
Dans la zone d'étude, on peut différencier quatre surfaces stratigraphiques quaternaires figurées sous forme de terrassements. Du plus anciennes au plus récentes, on définit :

Les terrasses q4 et q5 d'âge Salétien : constituées d'importants épandages de galets et sables alluvionnaires faiblement cimentés formant ce que l'on a appelé le reg le plus ancien (Biberson, 1966).

La terrasse q3 d'âge Amirien : il s'agit de nouveaux sables alluvionnaires faiblement cimentés et d'épandages de galets emboîtés dans le reg le plus ancien, ces nouvelles formations caillouteuses sont renommées le reg ancien (Biberson, 1966 ; Hindermeier et al, 1977).

La terrasse q2 d'âge Tensiftien (Quaternaire moyen) : constitue le « reg moyen », tout comme les précédentes, elle est formée par des sables alluvionnaires non cimentés et d'importants épandages de galets qui s'emboîtent dans les regs plus anciens (Hindermeier et al, 1977). Elle est caractérisée par des industries qui vont de l'Acheuléen moyen final à l'Acheuléen évolué terminal (Biberson, 1966).

La terrasse q1 d'âge Soltanien (Quaternaire récent) : correspond au « reg récent » caractérisée par des formations plus fines et généralement moins caillouteuses que celles des cycles antérieurs qui les dominent. Elle enregistre la disparition de plusieurs espèces de la faune des Vertébrés du Quaternaire ancien et moyen et par l'arrivée d'une faune « eurasiatique » avec notamment des Ursidés, Cervidés et Suidés ainsi que le *Rhinoceros mercki*, inconnu des niveaux antérieurs (Biberson, 1966).



	q4d	actuel et subactuel détritique (galets, graviers et sables)	Actuel et subactuel	Quaternaire		moyen Conglomérats	Tensiftien	Quaternaire
	q4s	actuel et dunaire				moyen molasses grès à ciment calcaire		
	q3l	récent limoneux-limons fins argilo-sableux	Soltanien			moyen détritique galets et graviers enrobés de limons	Amirien	
	q3lg	récent limono-graveleux						
	q3d	récent détritique-blocs, galets et graviers	et Présolanien			ancien Conglomérats		
	q2e	moyen éboulis	Tensiftien			ancien éboulis		
	q2lg	moyen limono-graveleux				Schistes des Feija (aucontact du Quaternaire)	Ordovicien	
						quartzites et grès	Acadien	Primaire

Fig. 41: Schéma représentant les faciès du Quaternaire dans la vallée de Draa ([Chamayou et al., 1977](#))

Conclusion

De point de vue géologique, la province de Zagora appartient au domaine de l'Anti-Atlas central. Ce domaine se caractérise par une longue et complexe histoire d'événements géologiques contrôlés par sa position le long de la marge NW du craton Ouest-Africain. Il compile plusieurs événements géologiques océaniques depuis le Précambrien et continentaux depuis le Cénozoïque liés à l'installation du réseau hydrographique actuel ([Tableau 14](#)).

Ce domaine est reconnu à l'échelle de la province de Zagora par son bassin sédimentaire qui a évolué au cours du Paléozoïque inférieur au sein de vaste système de plate-forme sur la marge nord-ouest du supercontinent Gondwana. Cette succession lithostratigraphique est définie par des faciès avec une grande tendance transgressive qui prend fin avec les quelques rares dépôts du Dévonien. En ce terme, la zone d'étude constitue une référence à l'échelle internationale essentiellement par sa complète série ordovicienne. D'autre part, sa position géographique qui est caractérisée par un contexte climatique désertique a fait d'elle un terrain privilégié pour l'établissement de coupes de référence du Paléozoïque inférieur. Par ailleurs, ses affleurements bien dégagés, fournissent des conditions d'observation exceptionnelles car l'ensemble des séries paléozoïques y sont très peu déformées et non métamorphisées. En outre, cette province a hérité de ses positions paléogéographiques des discordances majeures corrélables à une échelle internationale.

Tableau 13: Synthèse de l'évolution sédimentologique, lithologique et tectonique de la zone d'étude.

Age Ma	Ere/ Système	Lithologie	Milieu de dépôt	Discordances et érosions	Cycles orogéniques
2,5	Cénozoïque	Dépôts fluviaux Calcaire Sable mobile	Continental	Début d'installation du réseau hydrographique actuel	Soulèvement général à une altitude de plus de 2000 mètres des terrains précambriens et paléozoïques
23		Calcaire Marne gréseuse			
65		Marne Gypse			
145	Mésozoïque	Dépôts carbonatés	Marin épicontinental	Discordance majeure- lacune du Mésozoïque	Cycle alpin
199		Dolérite			
251		Absent			
299	Paléozoïque	Absent	Marin	Erosion des reliefs hercyniens	Cycle hercynien (varisque)
416		Absent			
443		Absent			
488	Paléozoïque	Calcaire Grès	Marin	Lacune	Cycle calédonien
542		Dépôts argileux et ampéliteux			
		Grès - Conglomérat - Argile silteuse			
	Paléozoïque	Grès	Marin	Lacune	Cycle calédonien
		Grès - Argilite - Pérites			
		Absent			
	Paléozoïque	Grès	Marin	Transgression	Cycle calédonien
		Calcaire			
		Dépôts volcano-détritique			
	Paléozoïque	Dépôts volcano-détritique	Marin	Discordance majeure	Cycle calédonien

Chapitre 3 : Cadre géomorphologique de la zone d'étude

1. Introduction

La zone de recherche est d'une diversité géomorphologique intéressante. Elle est constituée par une succession de plaines à substratum schisteux (Feijas), des crêtes monoclinales formées d'assises résistantes, des cônes alluviaux, des regs et des champs dunaires de sable (ergs) (Fig. 42). Ladite diversité est le produit de différents cycles d'érosion successifs dont les agents érosifs déterminants, changent. Ceux-ci dépendent d'une part, de l'hétérogénéité de la nature lithologique des formations géologiques érodées (éléments résistants et tendres) et d'autre part, des cadres tectoniques et climatiques de la région. Par exemple, les crêtes monoclinales qui forment la cuesta de Bani ont pris leur forme suite au soulèvement atlasique, qui a affecté la zone au Tertiaire provoquant leur plissement et à l'érosion hydrique intense lors des périodes pluviales du Quaternaire.

2. Aperçu de l'évolution du relief de la zone d'étude

Le territoire d'étude est constitué de roches paléozoïques principalement ordoviciennes qui présentent une inclinaison monoclinale vers le sud. Ces formations conçues de grès, de grès quartzeux et d'argiles gris-vert, sont localement percées par des intrusions doléritiques, présentes sous forme de dykes et de sills. La région regroupe donc des roches très résistantes ainsi que des roches peu résistantes à l'érosion ce qui explique la grande variété de son relief. Parmi ces formations, on compte les couches stratigraphiques du Jbel Bani. Elles étaient principalement horizontales à l'origine mais suite à l'élévation tertiaire de l'Anti-Atlas, elles ont été plissées (Dłużewski et Krzemień, 2008). Avec l'intense activité érosive des périodes pluviales, les roches non résistantes ont été érodées. Les matériaux résultants de cette érosion ont été transportés pour s'accumuler sous forme de cônes alluviaux, formant ainsi les hautes terres du Draa. Au pied de la crête du Jbel Bani, on retrouve les restes de cinq niveaux de terrasses d'accumulation ou de glacis de dépôt:

- Les terrasses les plus basses de la période pluviale Rharbienne postglaciaire avec les sédiments les plus jeunes, généralement du limon et des glacis recouverts de sédiments jeunes ;
- Les basses terrasses de la période pluviale du Soltanien;
- Les terrasses moyennes de la période pluviale du Tensiftien;
- Terrasses plus anciennes de la période d'Amirien ;
- Les terrasses les plus anciennes de la période de Saletien.

La longue crête du Jbel Bani longe les larges plaines alluviales, appelées "Feijas" qui ont été également formées lors des conditions climatiques plus humides (Figs. 42 et 43) (Dłużewski et Krzemień, 2008). Elles sont divisées en trois Feijas à savoir : Fezouata au nord, la plus longue, Ktaoua à Tagounite, considérablement plus petite, et la troisième Feija à M'hamid El Ghizlane. La Feija de Fezouata s'étend de Foum Zguid à l'ouest jusqu'au-delà de Zagora. La Feija de Ktaoua est une zone en forme de cuvette qui s'étend le long de l'axe N-S et atteint son point le plus large dans la zone de Tagounite. La troisième zone basse est constituée de schistes siluriens nettement moins résistants, située au sud de l'oasis de M'hamid El Ghizlane et passe dans la Feija Tazzarine-Tarnbalt (Joly, 1962).

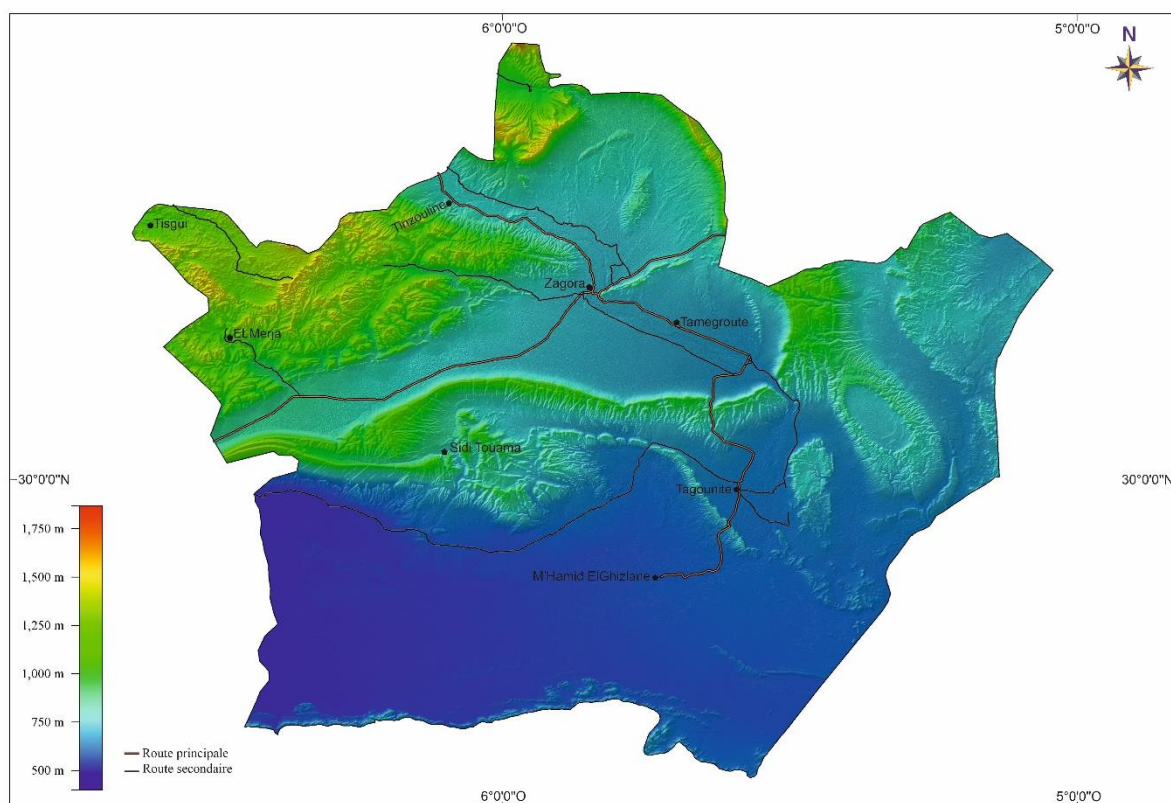


Fig. 42: Modèle numérique de terrain de la zone d'étude (DEM POLSAR, 2020).

Au sud de Jbel Bani, se situe le bassin du Coude du Draa (Fig. 42). Celui-ci est couvert de matériaux alluviaux, principalement Pléistocènes et Holocènes, qui s'étaient accumulés sous forme de cônes alluviaux ou de surfaces de terrasses formées en période pluviale par Oued Draa (Alimen 1957a, 1957b). Aujourd'hui, cette zone présente une variété de formes éoliennes, telles que les barkhanes. La seule zone sans dunes est le large chenal fluvial d'Oued Draa qui est caractérisé par un large fond de gravier tressé et un chenal multi-fluvial (Dłużewski et Krzemień, 2008).

3. Les unités géomorphologiques de la zone d'étude

3.1. Reliefs montagneux

Ils sont très présents dans la zone, caractérisés par un aspect appalachien en modèle réduit. Ils forment des élévations longues et étroites à forte pente avec des crêtes plus ou moins continues. Leurs altitudes décroissent du nord vers le sud; de 1027m près de Zagora à 650m plus au sud à Foug Tidri. Ils sont constitués principalement par le fameux Jbel Bani (Figs. 42 et 43) qui est l'élément le plus spectaculaire et dominant dans la zone. Il s'agit d'une crête monoclinale qui constitue une cuesta typique avec une pente raide exposée au nord et une pente douce au sud. Ses bordures nord sont caractérisées par des profils régulièrement concaves et entaillés des ravins qui se terminent dans les plaines de Feijas (ex : Fezouata) par une série de cônes dont la hauteur moyenne varie entre 200 et 300m (Fig. 44). Affectant la crête de Jbel Bani, les affluents d'Oued Draa l'ont entaillé pour donner lieu à des gorges étroites reconnues localement par l'appellation de 'Foug'. Elles représentent des passages naturels qui à leurs débouchés se trouvent les plus grandes oasis de Zagora.



Fig. 43: Vue frontale de la cuesta du Premier Bani.

3.2. La plaine des Feijas

Sur la bordure droite d'Oued Draa au sud de la ville de Zagora, se situe la plaine des Feija. C'est une vallée à substratum schisteux et sableux. Faisant partie d'une zone dépressive très étendue, elle s'allonge d'Ouest en Est sur environ 80km ([Aoubouazza et EL Meknassi, 1996](#)). Son origine est attribuée à la nature friable des formations schisteuses.

De point de vue géomorphologique, cette plaine est morcelée en trois unités morphologiques à savoir les affluents du Draa qui la drainent, les surfaces caillouteuses des regs et les aires d'affleurement de croûtes gypsosolines développées dans certains secteurs, notamment à la périphérie des palmeraies ([Haut Commissariat aux Eaux Et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, 2015](#)).

De plus de son caractère limoneux, la plaine de Feija est drainée par un réseau hydrographique important. Ainsi elle abrite des grandes palmeraies qui s'étalent le long d'Oued Draa ([Haut Commissariat aux Eaux Et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, 2015](#)). Ses oueds ont aussi donné lieu à des terrasses plus caillouteuses avec des niveaux limoneux provenant de l'érosion des schistes dans lesquels la Feija a été creusée ([Beraaouz, 2011](#)).

3.3. Les regs

Il s'agit de vastes étendues caillouteuses à légère pente, très communes dans la région ([Fig. 44](#)). C'est un terme emprunté au vocabulaire arabe dans la langue populaire pour s'opposer aux terrains sablonneux, les ergs. L'érosion éolienne qui affecte ces étendues, enlève par déflation tout matériau fin pour ne laisser en place que les éléments grossiers. Ces regs regorgent de vestiges lithiques grâce auxquels ces formations quaternaires ont été datées ([Choubert et Faure-Muret, 1983](#)). Dans de nombreux endroits, ils représentent des sites préhistoriques attribués à des périodes allant de l'Acheuléen au Néolithique, permettant la compréhension de la préhistoire humaine au Maroc et dans le monde à travers le temps ([Camps et Riser, 1978](#)).

3.4. Les cônes alluviaux

Ce sont des dépôts de versant épais, clairement anciens, souvent emboîtés dans les regs mais s'en distinguent par leur forme conique à surfaces convexes ([Fig. 44](#)) et par les éléments anguleux peu déplacés provenant des reliefs avoisinants ([Ait Touchnt, 2013](#)).

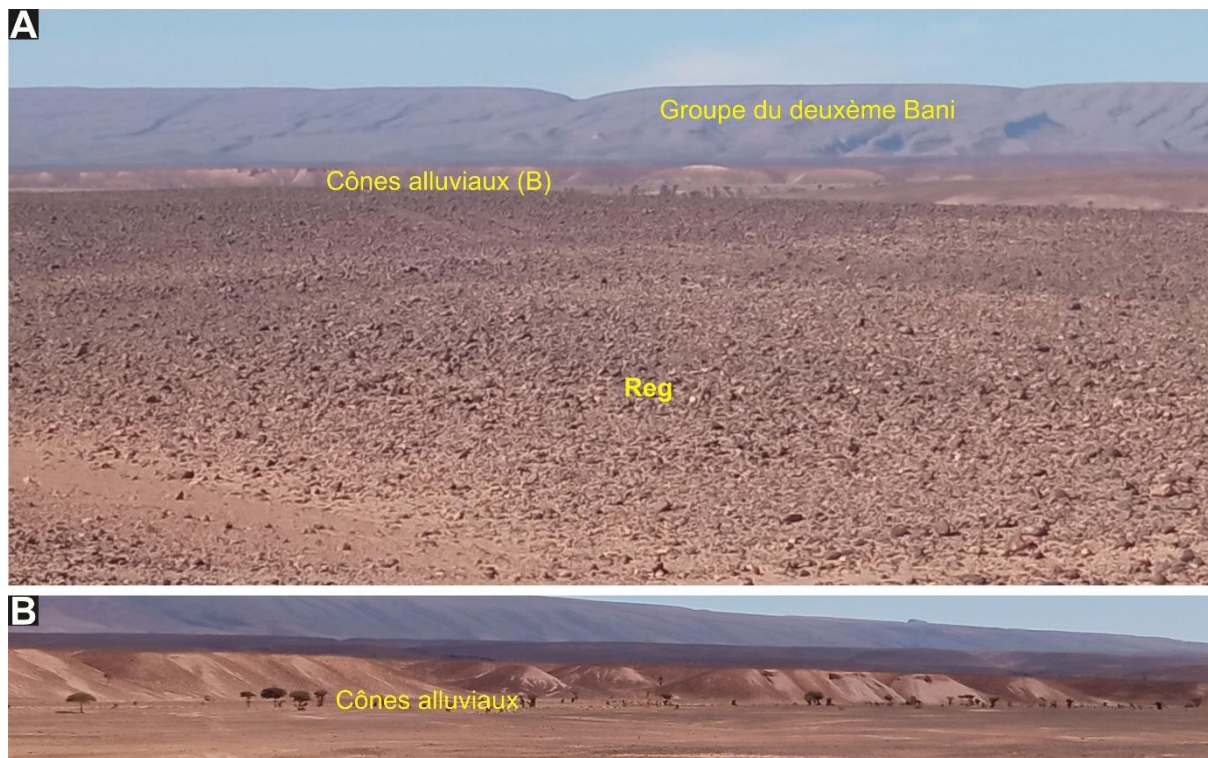


Fig. 44: Vues panoramiques au Nord –Oouest de M'hamid El Ghizlane. A. Vue panoramique d'étendu de reg, cônes alluviaux avec le versant sud de cuesta; B. vue panoramique des cônes alluviaux montrant leur surface convexe.

3.5. Les terrasses alluviales

Elles sont constituées de matériel hétérogène et mesurent en moyenne 15 à 25m d'épaisseur. Leur couche supérieure limono-sableuse forme le sol des palmeraies (Beraaouz, 2011). Par contre elles sont moins développées dans la région, cela peut revenir au fait que les dépôts quaternaires récents ont presque couvert les précédents partout au lieu de s'y emboîter comme dans le cas des régions avoisinantes (Haut Commissariat aux Eaux Et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, 2015).

3.6. Oued Draa

La zone d'étude appartient au moyen Draa qui constitue une zone hydraulique discontinue entièrement dépendante de l'Oued Draa, le plus long au Maroc et dont le régime est très irrégulier. Bien qu'elle soit une rivière périodique, elle constitue le principal cours d'eau de la zone. Elle prend sa source dans le Haut Atlas, s'écoule d'abord vers le sud-est jusqu'à Tagounite, et de Tagounite principalement vers l'ouest jusqu'à son embouchure dans l'océan Atlantique un peu au nord de Tan-Tan ; d'où l'appellation de coude de Draa. La surface totale de la vallée du Moyen Draa couvre 15 000 km² (Klose et al., 2008).

Cet Oued et ses affluents dessinent un réseau hydrographique dense initié il y a environ 11 millions d'années. Depuis cette période, ce réseau contribue d'une manière significative dans l'évolution géomorphologique des reliefs de la zone d'étude. La détermination des lits de ses oueds, actuels et anciens, ainsi que le réseau de ruissellement possible des eaux de surface permet d'apprécier la géologie dans une topographie plane. Elle représente un intérêt fondamental non seulement de point de vue étude de la diversité géologique mais aussi en termes de richesse archéologique. Au cours des sorties de terrain, la prospection d'Oued Draa au cercle de Zagora, sur ses deux rives droite et gauche, a permis de retrouver les traces d'anciennes civilisations, comme les outils archéologiques dans les cônes de déjections, les

ruines d'une ville juive, les gravures rupestres de Foum Tidri et les tumuli de Foum Larjamme au nord de M'hamid El Ghizlane (Fig. 45). Ces sites sont décrits et discutés dans les chapitres ultérieurs.

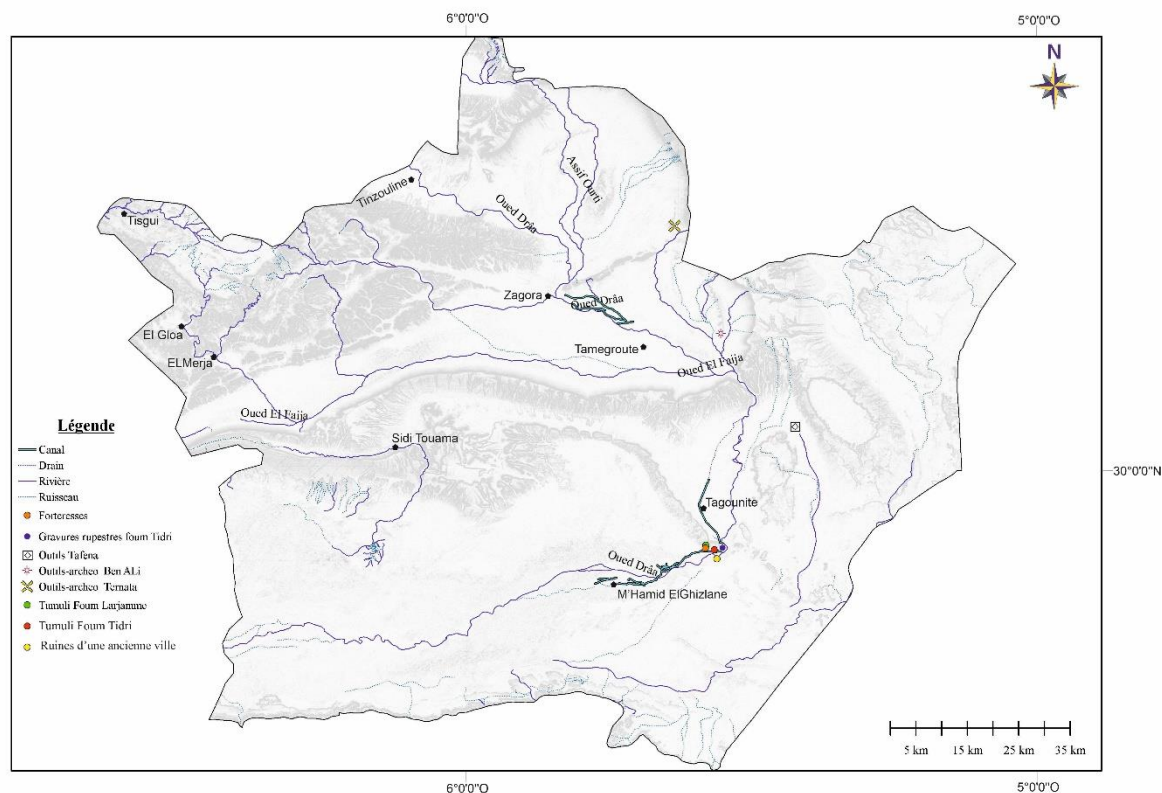


Fig. 45: Réseau hydrographique du cercle de Zagora avec répartition des sites archéologiques retenus dans le présent inventaire.

3.7. Les dunes éoliennes

Ce paysage désertique constitue l'élément morphologique le plus répandu au sud de la ville de Zagora, où le sable arraché et transporté se développe en dunes très rapidement (Figs. 46, 47 et 49). Elles reflètent l'aridité du climat local, caractéristique principale de la zone, qui n'est que la dernière empreinte d'une longue série d'événements climatiques. Ces dernières conditions climatiques se sont accompagnées par des changements dans la nature et l'intensité des processus géomorphologiques qui se matérialisent par la variabilité du débit d'Oued Draa, qui est le plus souvent sec, pour céder le contrôle à la forte activité de vent. Cette intense d'activité éolienne est à l'origine des dunes de sable; un phénomène naturel conduit par les actions du vent qui transportent les matériaux et les déposent de manière répétée pour en former un amas comme des collines. Elles sont d'ordre métrique formant des dunes isolées ou des ergs spectaculaires dans la partie centrale du bassin de Draa. Il a été démontré que l'approvisionnement de ces matériaux sableux est généralement local (Barczuk et Dłuzewski, 2003) dont Oued Draa et ses affluents sont la principale source (Dłuzewski, 2008).

Le suivi de l'augmentation de la dynamique d'expansion des dunes éoliennes depuis la troisième décennie du vingtième siècle et en particulier depuis 1980 (Tableau 15) a montré la multiplication de ces champs à peu près 30 fois de plus (Dłuzewski, 2008). Cette expansion si rapide revient d'un côté, aux conditions climatiques et d'autre côté, aux activités anthropiques, principalement l'établissement du système de barrage Mansour Eddahbi à Ouarzazate (Ait Lamqadem et al., 2017).



Fig. 46: Vue panoramique d'Erg Chgaga.

Ces nouvelles conditions ont été accompagnées par le développement du secteur de tourisme dans le moyen Draa. Ce qui fait les ergs constituent un élément majeur dans l'économie locale. En attirant l'attention des touristes, plus particulièrement des étrangers passionnés par le désert, elles sont une source d'emploi de nombreux locaux. Ces derniers, soient ils ont réussi à monter leurs propres bivouacs soient ils sont engagés par d'autres agences autant que cuisiniers, chameliers, guides, etc...

Tableau 14: Superficie des champs de dunes dans la région du Coude Draa dans les années 1932, 1954, 1989, 1999/2006 (Dłużewski, 2003 ; 2008)

Année	Superficie des champs de dunes (km ²)	Source
1932	85	Carte topographique du Maroc 1:200 000. Institut Géographique National -Annexe du Maroc, Rabat 1948 (basé sur les mesures de 1932) Carte de Coude Draa.
1954	873	Carte générale du Maroc 1 :500 000. Elaborated with cooperation of : Service Géologique du Maroc et l'Annexe de l'Institut Géographique National, Rabat 1953, Institut Géographique National, Paris 1954. Carte de Ouarzazate.
1989	1291	Carte Géologique du Maroc 1: 200 000. Ministère de l'Energie et des Mines. Direction de la Géologie, Rabat 1989. Carte de Zagora- Coude du Draa- Hamada du Draa.
1999/2006	2625	Image satellitaire (Landsat 7), 31 Mars 2000. Recherche propre sur le terrain effectuée entre 1999 et 2006.

Les formes dunaires et surtout les formes majeures (ex : Figs. 46 et 47) sont une matérialisation des actions exercées successivement sur elles par le vent depuis le commencement de leur évolution, enregistrant ainsi l'histoire des changements de direction et de vitesse de cet agent (Léon, 1931). Le bassin de Draa abrite des champs dunaires constitués de complexes dans lesquelles diverses combinaisons de types de dunes se sont fusionnées. Ces combinaisons

peuvent comprendre des dunes linéaires en rangées parallèles avec des dunes étoilées sur leurs crêtes ; ces dunes sont appelées chaînes d'étoiles. Ces complexes combinent également des petites dunes barkhanoïdes soufflées dans les couloirs de dunes linéaires et des dunes transversales ou encore des grandes dunes étoilées avec des dunes barkhanoïdes.

3.7.1. Dunes étoile

Dunes dont la forme est pyramidale. Elles se forment dans des endroits où le vent est multidirectionnel et fort. En outre, elles nécessitent de grandes quantités de sable pour leur formation. Les dunes en étoile (Figs. 47 et 48D) se développent vers le haut et vers l'extérieur. Elles ont trois crêtes ou plus qui rayonnent à partir d'un point central. La face de glissement des dunes de sable en étoile change constamment de direction en fonction du flux du vent. Outre les dunes en forme de pyramide, les dunes en étoile sont les plus hautes dunes de sable dans la zone.



Fig. 47: Dune de type étoile à Erq Chqaga.

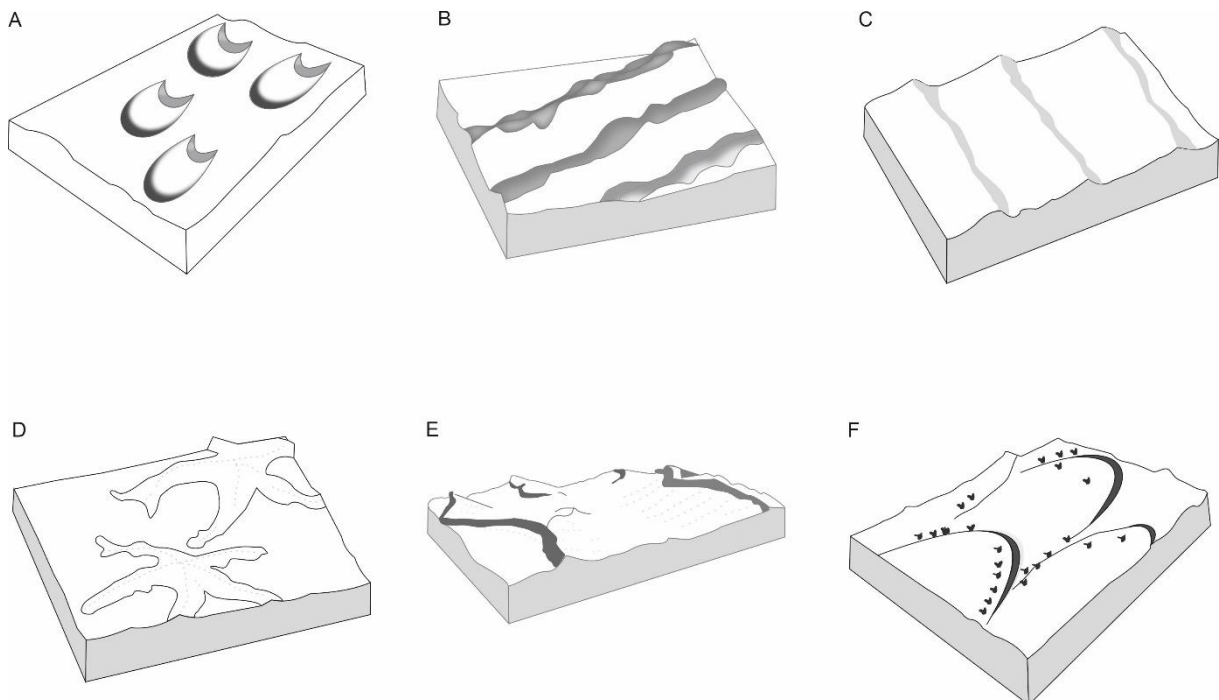


Fig. 48: Types de dunes majeures : A. Barkhane ; B : Barkhanoïdes ; C. Dunes linéaires ; D. Dunes étoile ; E. dunes Transversales ; F. Dunes de type parabole (modifiée d'après [McKee, 1979](#) par [Lancaster, 2013](#)).

3.7.2. Dunes longitudinales

Ce sont des dunes linéaires constituant le type de dunes le plus long et peuvent atteindre des kilomètres de longueur. Elles sont également droites, régulièrement espacées et en forme de

serpent (Fig. 48C). Les crêtes sont une caractéristique importante de ce type de dunes ; elles apparaissent comme des pics isolés larges, et symétriques. En dehors de leur forme rectiligne, certaines dunes linéaires se combinent pour former des dunes composées en forme de Y (Fig. 49). Elles se forment en présence des vents forts avec un régime bidirectionnel (primaire et latéral). En revanche, les dunes linéaires possèdent de longs axes qui s'étendent dans la direction du mouvement du sable.



Fig. 49: Succession des dunes linéaires composées à Erg Mezouaria.

3.7.3. Nebka

Ce sont des dunes simples qui se forment autour de la végétation (Fig. 50). Des touffes d'arbustes et d'herbes commencent à rassembler le sable soufflé par le vent; au fur et à mesure que le sable s'approfondit, les plantes deviennent également plus hautes, permettant à davantage de sable de s'accumuler autour d'elles.



Fig. 50: Dune de type nebka.

3.7.4. Dunes barkhanoïdes

Le type barkhanoïde est la classe de dunes qui présentent une seule face d'avalanche. Elle se compose de trois sous-types interdépendants. On définit : des dunes de forme de croissant,

isolées dites barkhanes, crête barkhanoïde correspondant à des rangées parallèles de barkhanes fusionnées et les plus grandes rides rectilignes et parallèles appelées dunes transversales (McKee, 1979). Toutes sont considérées comme ayant des axes perpendiculaires au régime de vent persistant et unidirectionnel.

a. Dune barkhane

Les barkhanes sont des dunes en croissant avec concavité abrupte sous le vent (Figs. 48A et 51). Elles présentent une face de glissement abrupte dont les extrémités pointent à l'opposé du vent. Les dunes sont séparées les unes des autres et se déplacent sans cesse le long de la surface. Généralement, leur création a lieu là où les portions de sable sont limitées et les vents soufflent constamment d'une seule direction. Les barkhanes sont les dunes de sable les plus communes et qui se déplacent plus rapidement sur les surfaces désertiques que n'importe quelles autres dunes. Ce sont donc les dunes de sable les plus rapides par rapport aux autres. Leur vitesse peut varier de 1 à 100 mètres par an. Elles ont une taille plus large que longue ; pouvant mesurer de 9 à 30 m de long et 370 m de large.



Fig. 51: Des dunes barkhanes à Erg Lihoudi.

b. Crête barkhanoïde

Les crêtes barkhanoïdes consistent en des rangées parallèles de croissants ou de formes semblables aux barkhanes qui se sont regroupées pour former des crêtes de sable ondulées et parallèles (Fig. 48B). Elles sont orientées transversalement à la direction prédominante du vent et migrent vers l'avant et généralement séparées par des couloirs inter-dunaires ouverts (Tirsch, 2015). Elles présentent des pentes à faible inclinaison face au vent et des pentes à forte inclinaison sous celui-ci (Tirsch, 2015).

3.7.5. Dune transverse

Les dunes transversales se forment sous l'effet d'écoulement quasi-unidirectionnel dans les régions où l'approvisionnement en sable est abondant (Wasson et Hyde, 1983 ; Courrech du Pont et al., 2014) (Figs. 48E et 52). Elles ont une forme asymétrique avec une pente ascendante d'environ 10°, une face de glissement sous le vent et des crêtes lisses perpendiculaires au flux de sable résultant (Gao et al., 2015).



Fig. 52: Dunes transverses à Erg Mezouaria.

3.8. Caractéristiques et source des sédiments

Le bassin de Draa est constitué de différents vastes champs de dunes qui se distinguent par leurs différences de couleurs. De telle différenciation entre les dunes éoliennes a longtemps été sujette aux débats des scientifiques. On l'a attribuée à la nature de la roche mère (couleur originale) ou encore aux caractéristiques physiques et chimiques du milieu de dépôt en tant que couleurs post-sédimentaire (Adnani et al., 2016). En revanche, l'analyse de la composition minérale et lithologique, la nature de l'environnement de sédimentation et la durée des processus éoliens dans ce bassin était très utile pour déterminer la source des sédiments dunaires (Barczuk et Dłużewski, 2008).

Selon la dernière étude citée, la composition minérale des dunes regroupe le quartz, le gypse, les feldspaths et des minéraux lourds avec des lithoclastes de calcaires, marnes et d'argile ferrugineux ainsi que des clastes fins des restes d'organismes (Fig. 53) :

3.8.1. Quartz

Le quartz est le composant le plus commun de la majorité des fractions étudiées avec une teneur qui varie de 43 à 55% (Figs. 53 et 54). Ce minéral présente une grande résistance à l'abrasion mécanique, ce qui explique le pourcentage de ses grains qui augmente au cours du processus éolien, d'où son importance pour la détermination du degré d'éolisation du sédiment. Dans les formes de dunes vieilles de plusieurs centaines d'années qui se trouvent dans la région du désert du Sahara, on trouve plus de 90% et fréquemment presque 100% de quartz (Coque, 1962 ; Pietrow, 1976). En tenant compte de la relative faible teneur de celui-ci dans les dunes dans la zone d'étude, la période de développement des processus éoliens influençant le matériau de ces formes dunaires reste courte.

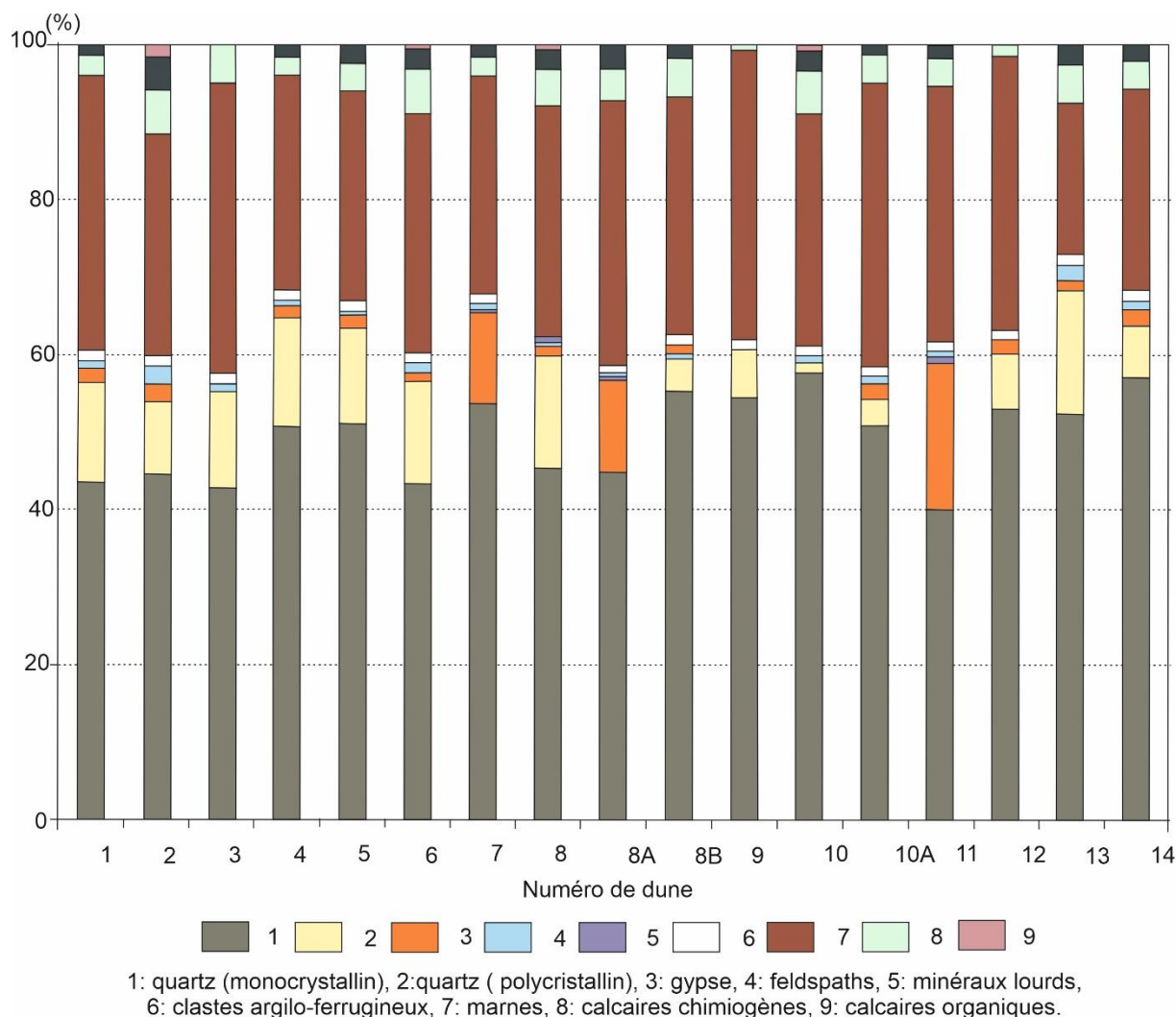


Fig. 53: Composition minérale et lithologique des sédiments des formes dunaires de la région de Coude de Draa ; échantillons 1-14. (Barczuk et Dłużewski 2003 ; 2008).

3.8.2. Gypse

Le gypse est un minéral évaporitique qui se forme dans des réservoirs d'eau périodiques, fréquemment asséchés et fortement salés. Etant donné sensible aux facteurs physiques, transport et à l'altération chimique, le gypse est un bon indicateur de la proximité des zones d'alimentation. La présence de gypse dans les sédiments dunaires est une preuve de leur âge relativement jeune (Barczuk et Dłużewski 2005). Dans une grande partie des sédiments dunaires étudiés (Figs. 53 et 54), la teneur en gypse ne dépasse pas quelques pour cent. Cela est lié à sa faible stabilité, sa faible résistance à l'abrasion mécanique et à l'altération chimique. En raison de cette faible teneur, il est difficile d'accepter ce minéral comme indicateur de l'environnement de la zone étudiée.

3.8.3. Feldspaths

Les feldspaths sont relativement sensibles aux facteurs de destruction du transport, ils sont donc considérés comme des indicateurs de zones d'alimentation pas très éloignées. Cependant, tout comme le gypse, ils sont présents en petites quantités dans les sédiments dunaires étudiés (Figs. 53 et 54). Ils sont le plus souvent représentés par le microcline, rarement par l'orthoclase perthite et très rarement par le plagioclase acide. Ces feldspaths sont généralement légèrement

altérés par la kaolinisation et la sérécitisation, bien que des grains complètement frais aient également été trouvés dans ces sédiments.

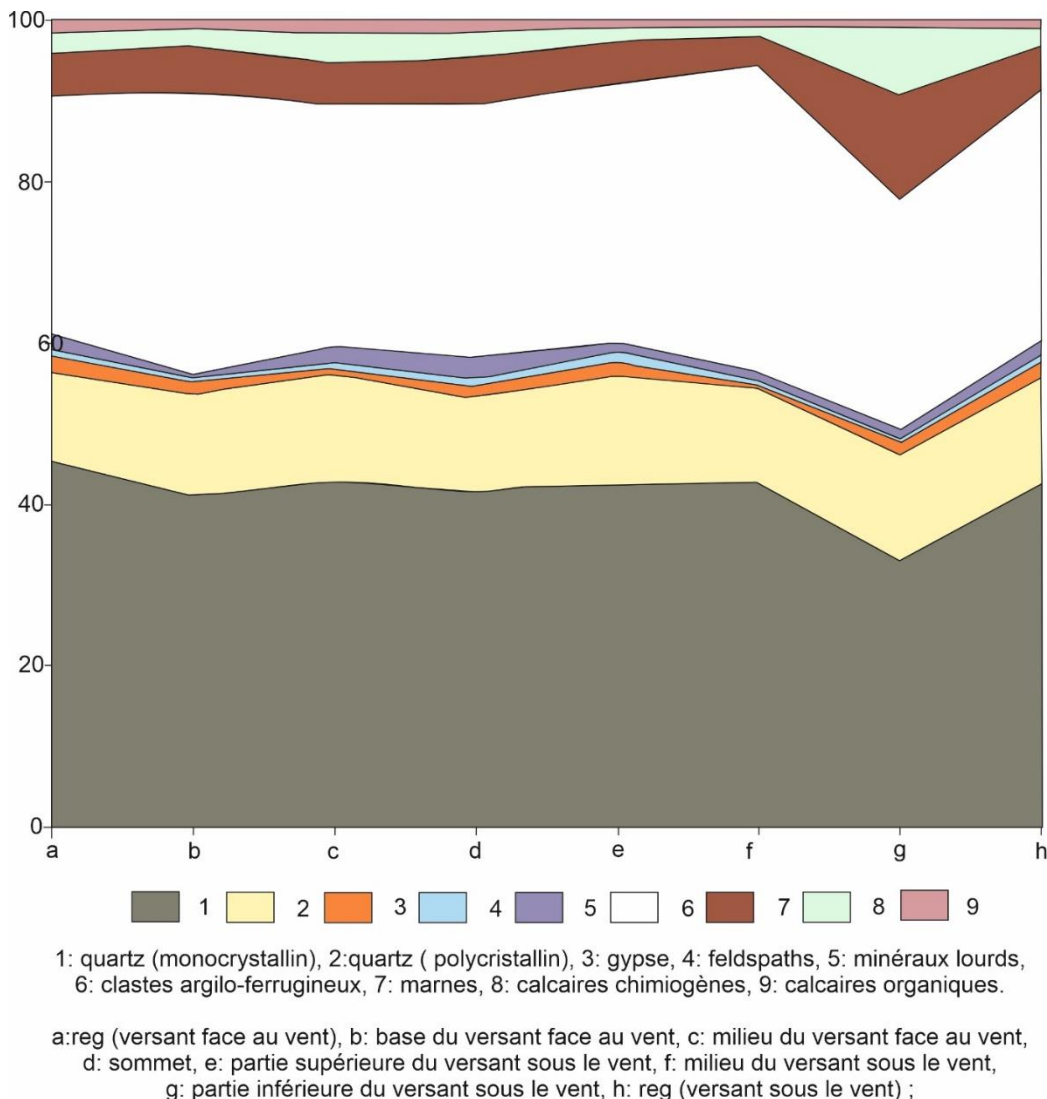


Fig. 54: Composition minérale et lithologique des sédiments dunaires recueillis le long de la dune N° 8 (Barczuk et Dłużewski 2003 ; 2008).

3.8.4. Composantes lithiques

a. Clastes argilo-ferrugineux

Les clastes argilo-ferrugineux proviennent, le plus probablement, des petits réservoirs d'eau éphémères qui se développent épisodiquement sous l'effet des pluies très rares mais abondantes et soudaines. L'eau qui s'écoule dans les creux du terrain local transporte du matériel détritique fin, coloré en rouge par des composés de fer disséminés qui se forment généralement dans un environnement désertique fortement oxydant. Les clastes argileux ferrugineux qui se forment ainsi sont de très bons indicateurs des conditions des lieux de leur formation ainsi que du court transport du sédiment considéré en raison de leur faible résistance à l'abrasion mécanique (Barczuk et Dłużewski, 2005).

Le contenu moyen de ces clastes dans les sédiments étudiés (Figs. 53 et 54) est environ 30%. Les sédiments dunaires dans les parties nord et nord-est de la zone étudiée, près des pieds des montagnes, ont des contenus plus faibles en clastes argilo-ferrugineux (19-28%). Les sédiments

dunaires présents dans les fonds des lacs épisodiques et des bras morts des vallées fluviales épisodiques présentent des teneurs plus importantes (35-38%). Les sédiments de fond sont particulièrement beaucoup plus riches en clastes argilo-ferrugineux, par exemple dans les sédiments de fond du lac Iriqui (97%) au sud-ouest de Zagora.

a. Marnes

Les marnes ont généralement une très faible résistance mécanique et chimique. Leur source probable dans les formes dunaires au sud de Zagora est attribuée aux formations calcaires présentes dans le voisinage proche de cette zone, dans sa marge nord. Les marnes présentes dans les sédiments étudiés forment divers groupes de lithoclastes. Le pourcentage de marnes dans les sédiments dunaires est très variable, mais la teneur maximale ne dépasse pas 6%. Un enrichissement distinct en marnes (jusqu'à 13%) a été noté uniquement au pied du versant sous le vent des formes dunaires les plus hautes. Il semble qu'il soit lié au type de transport typique de ce type de clastes de faible masse.

3.8.5. Calcaires chimioènes

Les calcaires chimioènes sont représentés par des clastes de la taille d'un sable, formés de calcite sparitique subédrique à anédrique (xénomorphe). On trouve parfois des grains uniques euédriques (automorphes) ou globulaires de calcite incolore.

Le pourcentage de ces calcaires dans les sédiments dunaires étudiés (Figs. 53 et 54) équivaut jusqu'à 4%. Comme pour les marnes, ce pourcentage augmente (jusqu'à 8%) au pied de la pente sous le vent des dunes les plus hautes. La structure particulière et la faible gravité volumétrique des calcaires chimioènes indiquent que cette augmentation relative du pourcentage résulte d'un mécanisme similaire à celui décrit pour les marnes.

3.8.6. Calcaires organiques

Les calcaires organiques sont présents en traces ou absents. Lorsqu'ils existent, ils sont représentés par un groupe dispersé et peu variable de micrites et de fins lithoclastes sparitiques, contenant des restes de différents organismes calcaires recristallisés à des degrés variés. Leur classification exacte s'est avérée difficile à reconnaître à cause de la forte recristallisation.

3.8.7. Minéraux lourds

L'analyse au microscope a mis en évidence des quantités exceptionnellement élevées de minéraux lourds avec une prédominance des minéraux opaques. Parmi les minéraux résistants à l'érosion, l'épidote, particulièrement abondante (15-29%), la staurolite (4-11%) et la tourmaline (3-7%). Les minéraux les plus résistants comme le zircon (0-1%), le rutile (0-1%), le grenat (0-2%), et le zirconium (0-2%) se présentent en faible teneur ou ils sont absents. En ce qui est minéraux peu résistants à l'abrasion mécanique et à l'altération chimique, prédominent les amphiboles (8-13%) et les pyroxènes (7-9%). En trace, existe la glauconite altérée à différents degrés, alors que l'andalousite, de l'apatite, des carbonates (autres que ceux décrits ci-dessus), le disthène, la phosphorite et la sillimanite sont occasionnellement retrouvés. La reconnaissance détaillée de la composition minérale et lithologique a permis de conclure que la source des sédiments formant les accumulations éoliennes développées dans la zone de recherche se trouve dans le voisinage immédiat à courte distance de ces amas. Ceci est justifié par la présence de nombreux composants peu résistants dans la fraction grossière qui sont transportés principalement par saltation, un processus accompagné d'une abrasion mécanique

intense. Le changement insignifiant voire absent de la composition minérale et lithologique des sédiments dunaires par rapport aux sédiments du socle ainsi que par la présence de composants peu résistants à l'action des facteurs de transport indiquent aussi la proximité de la source et révèlent un faible degré d'éolisation de ces sédiments.

Conclusion

La géomorphologie de la zone d'étude est la résultante de différents processus et agents d'érosion qui ont changé à travers le temps. Cette évolution géomorphologique peut être enseignée à travers les différentes unités morphologiques de la zone, caractère transitoire du climat. Celles-ci représentent des caractéristiques qui définissent la zone dans son cadre national géomorphologique. De la sorte, elles présentent une valeur géo-patrimoniale.

Les milieux naturels de la zone d'étude sont de grande diversité, influencent la vie de la population locale à travers les temps dont le facteur déterminant a toujours été l'eau. Il y en a qui ont choisi la vie du nomadisme poursuivant les sources d'eau alors que d'autres ont préféré la sédentarisation en s'installant au niveau des oasis le long d'Oued Draa. Aujourd'hui, suite aux conditions climatiques qui imposent leur aridité, plusieurs personnes se sont dirigées vers le tourisme Comme source de revenu en développant des projets touristiques au niveau des zones dunaires.

Chapitre 4 : Démographie et économie

1. Introduction

En dépit qu'il mette l'accent sur la géologie de son territoire, un géoparc est un territoire unifié qui combine la conservation et le développement durable tout en impliquant la communauté locale. D'où la primordialité de la caractérisation des aspects humains, culturels, des ressources économiques ainsi que les relations entre l'être humain et l'environnement de son territoire.

Le Maroc est reconnu par sa diversité géographique qui confère à chacune de ses régions ses particularités aussi bien naturelles que culturelles. La province de Zagora qui occupe une part du sud-est marocain, se personnalise par ses caractéristiques géologiques, biologiques, culturelles et socio-économiques. Ses spécificités géologiques empruntées d'ancien massif de l'Anti-Atlas reviennent à ses séries lithostratigraphiques ordoviciennes et ses plateaux désertiques couverts de sable (erg) ou de galets (reg). Sa caractéristique socio-économique reste à la merci de ce cadre naturel qui détermine son évolution démographique et la nature des activités humaines

Ce chapitre est pour décrire l'évolution démographique, le mode de vie de la population locale et les ressources économiques de la zone d'étude.

2. Démographie

Selon le Recensement Général de la Population et de l'Habitat de l'année 2014, la province de Zagora compte 322412 habitants dont 322 301 sont des marocains et 111 étrangers ([Démographie Draa-Tafilalet, 2015](#)). En termes d'accroissement démographique, cette population a enregistré entre les deux recensements 2004 et 2014 un taux de 8,4%, régional, contre 13,2% au niveau national. Par milieu de résidence, l'accroissement global élevé a été constaté en milieu urbain provincial, soit 18,6% contre 6,6% seulement en milieu rural durant la période intercensitaire 2004-2014.

A l'échelle nationale la région de Draa-Tafilalet enregistre le taux de pauvreté le plus élevé, et régionalement la province de Zagora enregistre les plus importants des taux (de 21, 46% à 52,43%) (Carte de pauvreté 2007, Haut-commissariat au plan).

3. Infrastructure de base

3.1. Réseau routier

Le réseau routier de la province de Zagora est peu dense comparé aux autres régions du royaume. Il est d'une longueur totale de 1165 Km qui vaut 2% du réseau routier national. Il est constitué de deux axes nationaux, un axe régional et huit routes provinciales. La qualité de ce réseau routier est généralement acceptable à bonne. Cependant elle est influencée par les éboulements de terrains, l'insuffisance des ponts et de l'avancée de sables.

3.2. Transport

La Province de Zagora dispose de 63 autorisations de transport mixte dont 19 seulement sont exploitées ([Direction Provinciale de Zagora, 2013](#)). Elle est desservie par un nombre de lignes de transport public dont les taxis restent le moyen le plus important par rapport aux autres modes ([Fig. 57](#)).

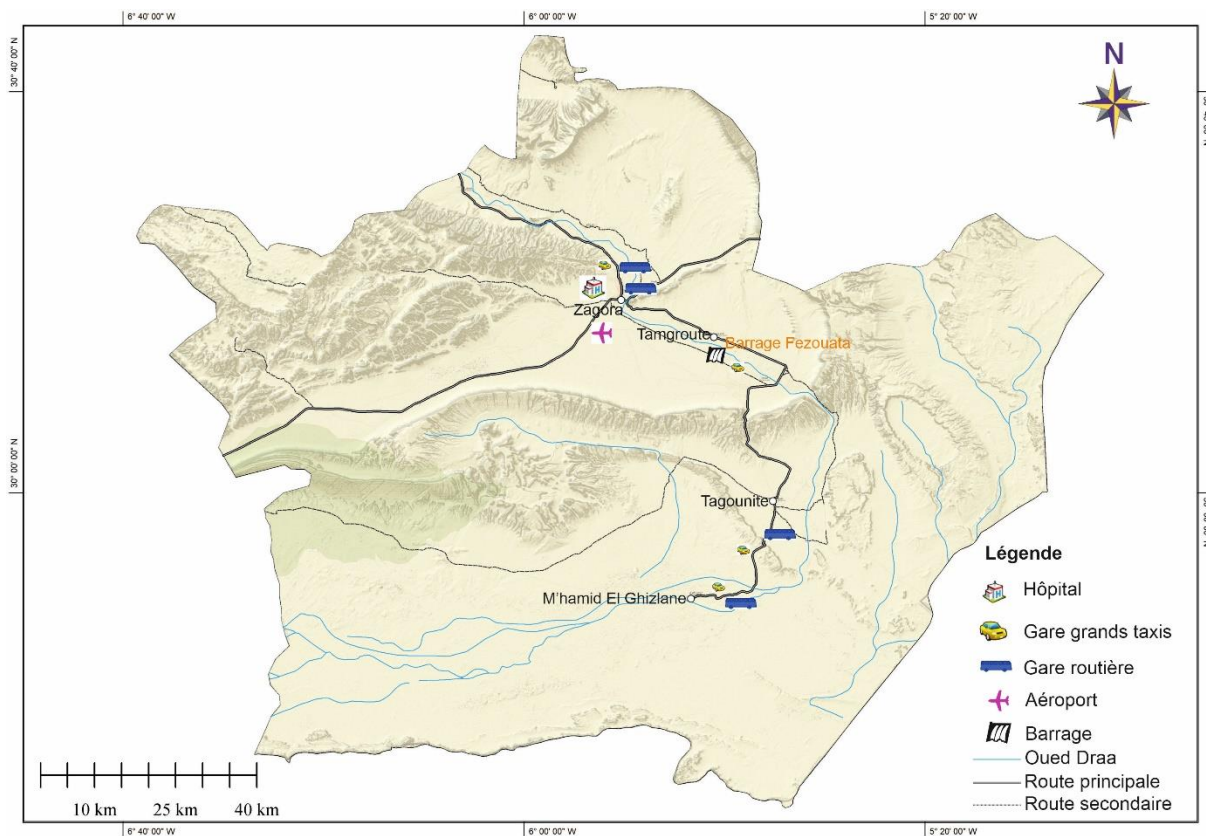


Fig. 55: Carte d'infrastructure de base de la zone d'étude.

La région dispose d'un aéroport démarré en 2007 avec une piste de 1140 mètres de longueur. Il connaît une augmentation de nombre de passagers depuis la mise en service de la ligne qui relie Casablanca, Ouarzazate et Zagora.

3.3. Infrastructure sanitaire

La zone d'étude dispose d'un hôpital général au centre de Zagora (Fig. 55), six dispensaires ruraux dispersés entre M'hamid El Ghizlane, Tagounite, Tamegroute, Beni Ali, Beni Zoli et Tinzouline ([annuaire statistique régional Draa-Tafilalet, 2015](#)).

4. Ressources économiques

Les ressources économiques de la zone d'étude dépendent principalement des trois suivants secteurs:

4.1. Commerce

Le commerce est une activité ancestrale dans la province où il a toujours été exercé. Il s'agit d'un élément caractéristique de la région, ainsi M'hamid El Ghizlane était surnommée 'la porte de désert' en vue de l'importance historique qu'a joué dans le commerce caravanier transsaharien.

Ce secteur commercial ne cesse d'évoluer du fait de l'importance du marché local qui est caractérisé par plusieurs activités économiques liées au développement des secteurs productifs. Ainsi, il représente l'un des principaux enjeux régionaux notamment au niveau social à travers la création de postes d'emploi, l'amélioration des conditions sociales des commerçants et au niveau économique étant donné qu'il influence directement le pouvoir d'achat des citoyens.

4.2. Souks hebdomadaires

La province de Zagora à caractère rural prédominant, d'où l'importance des souks hebdomadaires ([Tableau 16](#)) dans la vie de ses populations rurales. Le souk représente le lieu de la plupart des transactions commerciales où les agriculteurs exposent leurs produits et s'approvisionnent en d'autres. Certains produits agricoles (dattes, henné...) sont commercialisés dans d'autres villes du Royaume.

Tableau 15: Répartition des souks par commune.

Commune rurale (C.R)/ ville	Jour du souk
Ville de Zagora	Dimanche - Mercredi
C.R Tinzouline et M'hamid El Ghizlane	Lundi
C.R Fezouata	Mardi
C.R Ktaoua	Mercredi
C.R Tamegroute	Samedi
C.R Beni Zoli et Tagounite	Jeudi - Dimanche

4.3. Tourisme

Le tourisme constitue un élément de dynamisation et de diversification du système économique de la province de Zagora. Celle-ci détient sa vocation touristique de ses potentialités tant au plan culturel que naturel avec ses oasis, ses forêts, etc. En effet, sa position géographique, son passé historique, la diversité de ses composantes humaines, culturelles et naturelles, représentent la matière première pour le développement de son industrie touristique.

Jouissant de la longue vallée du moyen du Draa et ses palmeraies qui s'étendent sur une longueur de 200 Km en allant d'Agdez à M'Hamid El Ghizlane ainsi que les dunes de sable réparties au niveau de la commune de M'hamid El Ghizlane, la province de Zagora compte de nombreux sites touristiques et paysages pittoresques variés auxquels s'ajoute l'authenticité architecturale de ses Ksour et Kasbahs.

L'activité touristique dans la zone constitue un animateur de son économie locale et un bon modérateur de son aspect social ([Bouaouinate et Ramou, 2016](#)) qui par le biais d'hébergement, de restauration, de chameliers et de guides touristiques crée des emplois. Ces emplois de natures différentes sont des marqueurs des effets du tourisme sur le tissu économique local qui restent difficile à quantifier ([Bentaleb, 2013](#)). Toutefois, ce marché se caractérise par une saisonnalité variable avec deux hautes saisons touristiques (printemps et automne), ces deux périodes correspondent aux vacances de Pâques et de la Toussaint de la clientèle internationale.

Bien que saisonnier, le tourisme reste un moyen d'amélioration des conditions de vie et de baisse du taux de chômage pour la population locale. Néanmoins, une analyse relative souligne les limites de ce système et ses effets limités en matière de développement local ([Bentaleb, 2013](#)). Ainsi, les emplois créés restent insuffisants et ne permettent pas de répondre à l'accroissement de la population active ([Bentaleb, 2013](#)).

En parallèle, le tourisme est un vecteur puissant de valorisation des systèmes culturels : réanimation du folklore, relance de l'artisanat et sauvegarde du patrimoine ([Bouaouinate et Ramou, 2016](#)). Il fait revivre les monuments abandonnés et valorise le patrimoine oasien et désertique.

4.4. Agriculture

L'agriculture constitue l'une des principales activités économiques dans cette province, son développement est entravé par de multiples contraintes mais ses potentialités sont de grande envergure. Elle comprend deux périmètres : la vallée du moyen Draa qui correspond à la zone d'étude et la palmeraie de Tazarine. Le secteur d'étude renferme un ensemble de palmeraies individualisées et séparées par des resserrements appelés "Foum". Ces palmeraies totalisent une superficie nette de 23 699 ha, répartie sur les communes de la province ([Tableau 17](#)).

Tableau 16: Superficies cultivées des palmeraies de la zone d'étude ([Direction Provinciale de Zagora, 2008](#)).

Commune	Superficie (ha)
Tinzouline	4015
Ternata	5858
Fezouata	3825
Ktaoua	77770
M'hamid El Ghizlane	2231

L'agriculture au niveau de ces oasis est une agriculture familiale de subsistance où les dattes et le henné font les principaux objets de commerce. Il s'agit d'un agroécosystème à caractère traditionnel, caractérisé par la pratique de la polyculture, constituant ainsi un refuge de la diversité agricole dans cette zone aride avec climat défavorable ([Houssni et al., 2020](#)). Cette agriculture oasienne est structurée en étages ce qui donne une importante valeur ajoutée à l'hectare. Généralement, l'organisation de cet agrosystème est de deux à trois étages : le premier étage, avec le palmier dattier, constitue l'étage supérieur qui joue le rôle de brise-vent et de protection des autres cultures; le deuxième étage, intermédiaire, correspond aux arbres fruitiers; et le troisième étage, inférieur, constitué des cultures sous-jacentes (céréales, luzernes et maraichages) ([Acherkoug et al., 2003](#)). Cette organisation est influencée par de nombreux paramètres tel que la géographie, le relief ou les sources en eau et le système de cultures ([Dollé, 1990](#); [Lasram, 1990](#); [Toutain et al., 1990](#); [Andriamainty et al., 2002](#); [Khene, 2007](#); [Kabiri, 2014](#); [Sghaier, 2014](#)).

Au niveau de l'oasis de Zagora, 28 cultures ont été inventoriées. Elles correspondent aux céréales, représentées par trois cultures, légumineuses (trois cultures), maraichages (quatorze cultures), sept arbres fruitiers et à la luzerne. A l'échelle régionale, cette dernière présente la plus faible diversité des cultures ([Houssni et al., 2020](#)).

4.4.1. Datte

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) constitue, pour les régions sahariennes et présahariennes du Maroc, l'élément essentiel de l'écosystème oasien. Il est l'une des plus vieilles espèces végétales cultivées, jouant non seulement un rôle dans l'économie locale mais aussi en écologie. Elle est la mieux adaptée aux conditions climatiques difficiles des régions sahariennes et présahariennes et la plus convenable économiquement pour investir dans l'agriculture oasienne.

Avec la vallée du Ziz, la longue vallée du Draa présentent les principales régions marocaines où on plante le palmier dattier. Cet arbre fruitier contribue à la formation du revenu agricole, à hauteur de 60%, pour un million d'habitants ([Lamhamedi, 2005](#)). En outre, le domaine dattier est considérable tant du point de vue commercial entre le sud et le nord du pays et génération

de revenu pour les phoéniculteurs que de la création de l'emploi et la stabilisation des populations dans les zones présahariennes.

Par ailleurs, et en plus de la dattes riche en éléments nutritifs, le palmier dattier assure une large gamme de sous-produits agricoles utilisés traditionnellement à des fins domestiques comme la construction et l'alimentation de bétail ainsi que d'autres matériaux destinés à l'artisanat.

Dans les régions sahariennes, le palmier dattier constitue le pivot de l'agriculture. Ainsi, la génération de dérivés de la dattes constitue une valeur ajoutée plus élevée à la dattes, et par conséquent, l'augmentation de sa rentabilité économique. Elle contribue également au changement du mode de consommation et des habitudes alimentaires qui ont entraîné une diminution de la demande de consommation des dattes fraîches (INRA, 2012). Il s'agit aussi d'une voie de conservation des dattes sous une forme transformée qui permet leur stockage prolongé et leur disponibilité pendant la période de forte consommation (INRA, 2012).

A l'échelle nationale, on distingue deux formes de transformation des dattes à savoir : une transformations technologique (basée sur des procédés industriels de transformation de la dattes) et transformations biotechnologiques (techniques visant à réaliser des applications industrielles de la bioconversion et de la transformation des substances organiques de la dattes).

Au niveau local, les femmes oasiennes ont développé leur savoir-faire ingénieux pour valoriser ce fruit. En utilisant des méthodes traditionnelles locales, elles donnent lieu à des produits appréciés localement (Hararak, 2007) tels que :

- *Pâte de dattes*

La typicité de ce produit réside dans sa préparation avec des dattes mélangées à l'huile d'olive, des farines de maïs, d'orge, de blé dur et des plantes aromatiques et médicinales.

- *Jus de Tassabount*

C'est un jus extrait de dattes mélangées à des herbes et des plantes largement présentes dans la région. Son nom Tassabount fait référence au savon pour indiquer l'aptitude de ce breuvage à nettoyer le corps des toxines et des substances nocives.

- *Sirop de dattes*

Renommé localement 'Rob', c'est un liquide mielleux onctueux d'une couleur foncée. Il est préparé à base de dattes cuites dans de l'eau minérale, puis filtrées et pressées.

4.4.2. Henné

Le Henné est un arbuste épineux, de la famille des lythracées dont la culture exige des hautes températures et des fortes teneurs en eau. Géographiquement et à travers le monde, la culture du Henné est localisée dans les zones désertiques de l'Inde, de l'Azerbaïdjan, de l'Iran, d'Egypte et de l'Afrique du Nord. Au Maroc, la culture du henné est pratiquée principalement dans les zones oasiennes du sud.

Réputé pour sa qualité, le henné constitue une spécificité des oasis de Zagora. Il est cultivé et exploité pour ses feuilles qu'on enlève des tiges après séchage et broyées au mortier. L'irrigation des champs de cet arbuste commence en mars alors que sa récolte s'effectue entre mai et novembre, en trois ou quatre coupes par an, en fonction de la disponibilité des eaux d'irrigation.

Le Henné constitue un véritable levier de développement économique et un vecteur de promotion d'un patrimoine culturel et civilisationnel ancestral dans la province de Zagora. Il

est utilisé pour ses vertus tinctorial (ex : teinte du bois, des tissus et du cuir), cosmétique (tatouage, coloration et traitement des cheveux) et médicinal (anti-teigne et anti-mycose, cicatrisant des plaies).

Conclusion

La géographie et le climat ont fait que les populations, qui ont occupé cette zone, développent un savoir-faire et un savoir vivre exceptionnels dans une telle région où toutes les conditions de vie s'avèrent difficiles. Ces dernières ont su pour longtemps conserver leurs modes de vie, traditions et culture de génération à génération. Aujourd'hui avec la rareté d'eau qui s'impose de plus en plus, ces populations essayent toujours de s'adapter avec les conditions de leur milieu. Elles ont réussi à créer de nouvelles sources de revenus en développant leurs produits commercialisés. Elles ont aussi pu exploiter leurs cultures et modes de vie en les vendant autant que services au visiteur pour développer le secteur de tourisme, qui est à présent un principal pilier de leur économie locale. Ainsi, il n'est possible de détacher l'étude de ces populations de leur cadre géographique où elles sont restées longtemps préservées ([Meunié, 1972](#)).

Bien que l'agriculture et le tourisme soient les deux piliers de la socio-économie locale de Zagora, on remarque que ces deux secteurs font face à des contraintes. Par exemple, les occupants des oasis exercent des pratiques d'agriculture inacceptables par leur environnement. D'autre part, il y a le secteur de tourisme qui manque de suffisance d'infrastructures de base. L'approche de géoparc UNESCO, qui met au centre de ses exigences la conservation et le développement durable, devrait pousser les responsables et les décideurs à trouver des solutions aux décrites contraintes.

Partie 3
IDENTIFICATION ET EVALUATION
QUANTITATIVE DES GEOSITES ET SITES A
GEODIVERSITE

Chapitre 1 : Identification et évaluation qualitative des géosites et sites à géodiversité potentiels

1. Introduction

En se basant sur le cadre géologique de la zone d'études, Zagora présente un terrain empreint majoritairement de la géohistoire ordovicienne et quaternaire. Ainsi, elle tient une place spéciale vis-à-vis la recherche sur l'Ordovicien et le Quaternaire. La région bénéficie donc d'études sur le Quaternaire depuis plus de deux siècles et de façon continue. En outre, elle possède des formations particulières, souvent fossiles, qui lui confèrent actuellement un intérêt pour la recherche. La plupart de ces témoins sont conservés et peuvent encore être étudiés.

2. Identification et inventaire

En suivant le schéma de la méthodologie de travail (Fig. 16), les sites sélectionnés sont classés, principalement, en géosites et sites à géodiversité. De point de vue espace, ils ont été qualifiés de type (Fig. Tableau 18, 57) :

Surface : correspond aux sites occupant une surface plus ou moins vaste.

Point : représentant un élément dont la taille est réduite.

Point d'observation : les points d'observation sont une catégorie des géosites d'où l'on peut percevoir sans obstacle de grandes formes de relief (Palacio, 1999 ; Pereira, 2006 ; Pereira et Pereira, 2010 Fuertes-Gutiérrez et Fernández-Martínez, 2010). De tel rôle peut être joué à la fois par des entités naturelles telles que des rochers, des sommets de montagne, des bords de falaise, ainsi que par des structures artificielles édifiées intentionnellement pour offrir des vues panoramiques et converties pour jouer un tel rôle.

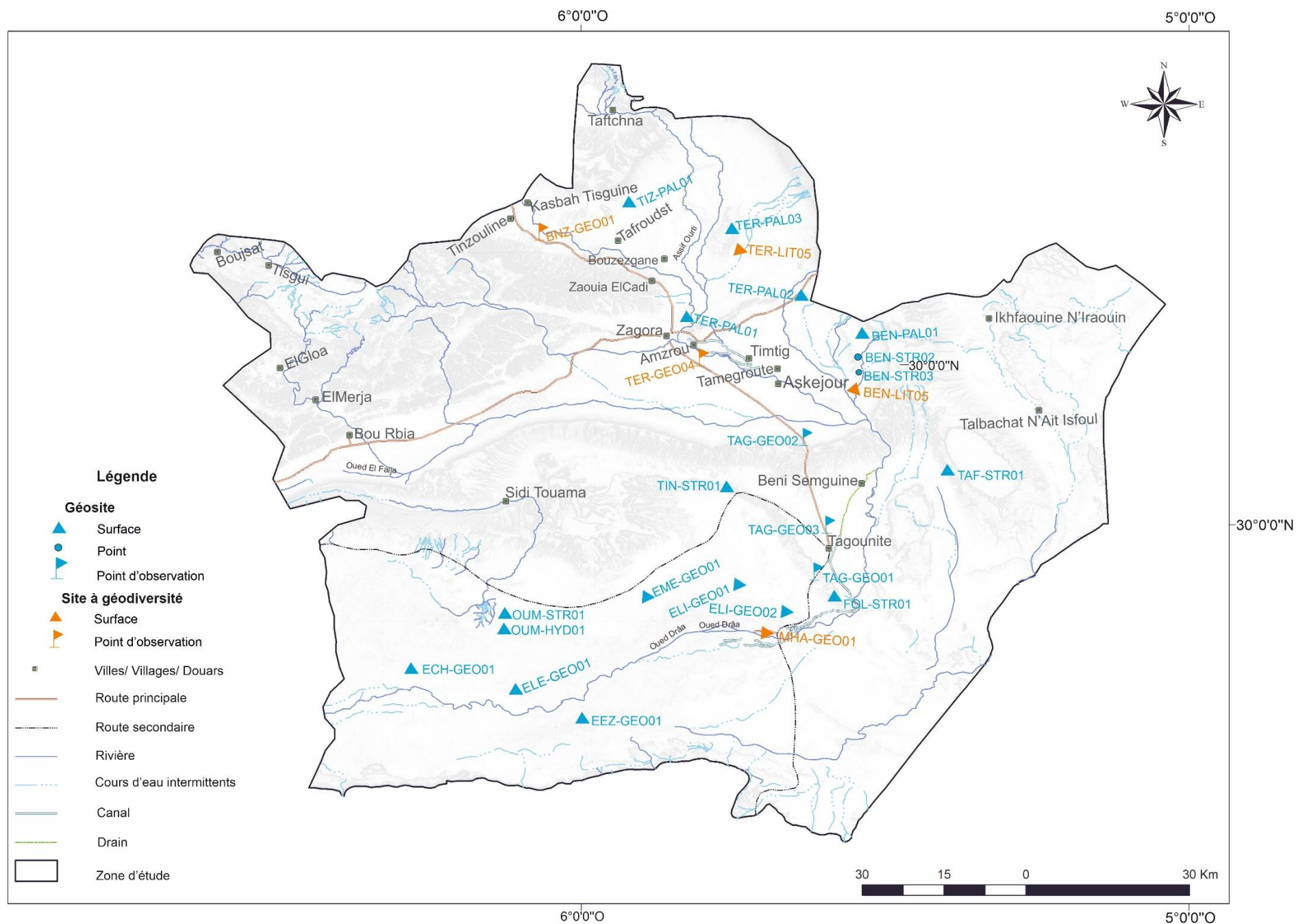
L'intérêt des points d'observation est lié à la résolution du problème de l'accessibilité des caractéristiques situées à distance, ils facilitent la compréhension des éléments uniques dans leur vaste contexte naturel (Migon et Pijet-Migon, 2017). Il s'agit d'une sorte de passage de l'observation d'un élément unique particulier à l'observation du paysage du géopatrimoine (Migon et Pijet-Migon, 2017). Permettant au visiteur de voir le panorama des environs, l'importance de ces localités réside probablement plus évidente en géomorphologie, mais dans les zones où la végétation est rare -comme dans notre zone d'études- ou les affleurements rocheux bien visibles, ces localités peuvent également être très importantes pour la géologie structurale et la reconstitution de l'histoire de la déformation des roches. D'autre part, ce type de sites permet une meilleure observation du paysage oasien qui unit un ensemble de complexe paysager constituant ainsi de larges géomorphosites s'étendant sur des surfaces très vastes. Ces points ne présentent pas nécessairement une valeur scientifique liée à la géologie ou à la géomorphologie mais offrent une vue sur des éléments et des sites qui ont de telles valeurs. Toutefois, les différentes valeurs du paysage observé sont attribuées au point d'observation (Rodrigues, 2013). Par conséquent, les points d'observation comprennent le point local ainsi que les formes de relief observées avec ses différentes valeurs.

L'identification de l'ensemble des sites précités est basée sur des informations pertinentes telles que le nom, la localisation, les coordonnées...). Afin de faciliter cette identification, on a attribué à chacun des sites un code qui se compose des initiales du type (paléontologique, géomorphologique...), des initiales de la zone de référence (selon la popularité), et un numéro (Fig. 56, Tableau 18).

En se basant sur la bibliographie géologique et géomorphologique de la zone d'étude ainsi que des conditions de terrains, le résultat de ce premier inventaire nous a permis de sélectionner des géosites dont la valeur scientifique révèle une importance liée à leur représentativité aux phénomènes géologiques, leur rareté, leur état de conservation, leur contribution paléogéographique et encore aux nombreuses recherches scientifiques publiées dont ils étaient le fondement. Dans ce chapitre ces géosites ainsi que les sites à géodiversité retenus seront présentés classés selon l'âge de la formation géologique à laquelle ils appartiennent.

Tableau 17: Inventaire des géosites et sites à géodiversité sélectionnés.

Nom	Code	Géosite	Site à géodiversité	Valeur géologique	Description
Schistes de Fezouata	TIZ-PAL01	N30°25'22,36"; W5°54'32,12"	Surface	Paléontologique et stratigraphique	Affleurement fossilifère de schistes de Fezouata
Schistes de Fezouata	TER-PAL01	N30°24'0,054"; W5°45'6,833"	Surface	Paléontologique	Affleurement fossilifère de schistes de Fezouata
Schistes de Fezouata	TER-PAL02	N30°24'59,149"; W5°38'4,093"	Surface	Paléontologique	Affleurement fossilifère de schistes de Fezouata
Schistes de Fezouata	TER-PAL03	30°25'59,599"; W5°38'32,146"	Surface	Paléontologique, stratigraphique	Affleurement fossilifère de schistes de Fezouata
Schistes de Fezouata	BEN-PAL01	N30°18'27,749"; W5°33'50,356"	Surface	Paléontologique, stratigraphique et	Affleurement fossilifère de schistes de Fezouata
Bloc gréseux de Zini	BEN-STR02	30°13'19,649"; W5°33'24,393"	Point	Stratigraphique et sédimentologique	Bloc gréseux de Zini représentant une série condensée
Bloc gréseux de Zini	BEN-STR03	N30°13'52,302"; W5°32'56,086"	Point	Stratigraphique et sédimentologique	Bloc gréseux de Zini représentant un hard-ground siliciclastiques
Tafena	TAF-STR01	N30°7'25,501"; W5°24'45,253"	Surface	Structurale et paléontologique	Dôme de Tafena
Buttes témoins	TAG-GEO02	N30°1'56,45"; W5°39'30,044"	Point d'observation	Géomorphologique	Buttes témoins de cuesta de Jble Bani
Vue frontale de cuesta	TAG-GEO03	N30°9'58,215"; W5°27'49,455"	Point d'observation	Géomorphologique	Vue frontale de cuesta de Jbel Bani
Barre naturelle	TER-GEO04	N30°21'38,993"; W5°47'22,553"	Point d'observation	Géomorphologique	Le groupe premier Bani constitue une barrière naturelle qui bloque le sable
Oasis de Bni Zouli	BNZ-GEO01	N30°30'24,523"; W6°2'15,461"	Point d'observation	Géomorphologique	Vue panoramique d'oasis de Bni Zouli au pied de Groupe de premier Bani
Foum Larjamme	FOL-STR01	N29°52'32,92"; W5°34'47,851"	Surface	Structurale, sédimentologique et paléogéographique	Réseau de vallées tunnel ordoviciennes
Oasis Tagounite	TAG-GEO02	N29°55'28,722"; W5°35'55,188"	Point d'observation	Géomorphologique	Vue panoramique du complexe des reliefs désertiques
Tizi N'tazougart	TIN-STR01	N30°0'52,075"; W5°41'9,014"	Surface	Structurale, sédimentologique et paléogéographique	Réseau de vallées tunnel ordoviciennes
Discordance Silurien/Quaternaire	OUM-STR01	N29°51'27,173"; W6°7'17,383"	Surface	Stratigraphique	Discordance schistes siluriens et dépôts fluviaux quaternaires
Source de l'Oasis Sacrée Oum Laalag	OUM-HYD02	N29°52'58,4"; W6°07'07,3"	Surface	Hydrogéologique	Source naturelle de Oum Laalag
Reg	ELI-GEO02	N29°52'54,0"; W5°43'52,6"	Surface	Géomorphologique	Etendu de reg
Erg Lihoudi	ELI-GEO01	N29°50'12,1"; W5°41'08,7"	Surface	Géomorphologique	Zone dunaire d'Erg Lihoudi (sable blanchâtre)
Erg Mezouaria	EME-GEO01	N29°52'33,5"; W5°45'40,2"	Surface	Géomorphologique	Zone dunaire d'Erg Mezouaria
Erg Lesmar	ELE-GEO01	N29°43'26,586"; W6°5'3,681"	Surface	Géomorphologique	Zone dunaire d'Erg Lesmar (sable sombre)
Erg Ezzehar	EEZ-GEO01	N29°41'28,072"; W6°4'7,563"	Surface	Géomorphologique	Dune hurlante
Erg Chgaga	ECH-GEO01	N29°47'37,1"; W6°10'39,0"	Surface	Géomorphologique	Zone dunaire d'Erg Chgaga (le plus haut des ergs)
Avancée de sable	MHA-GEO01	N29°48'24,3"; W5°39'58,8"	Surface	Géo-environnementale	Fixation de sable
Site lithique 1	TER-LIT05	N30°25'12,069"; W5°38'42,03"	Surface	Archéologique	Terrasse quaternaire abritant des outils archéologiques du Paléolithique
Site lithique 2	BEN-LIT05	N30°14'1,904"; W5°33'37,85"	Surface	Archéologique	Terrasse quaternaire abritant des outils archéologiques du Paléolithique



3. Evaluation qualitative

3.1. Géosites et sites à géodiversité d'Ordovicien inférieur

A l'échelle de Zagora, l'Ordovicien inférieur correspond au groupe des Feijas externes qui est subdivisé en deux principales formations à savoir les formations inférieur et supérieur de Fezouata (schistes de Fezouata). En raison d'absence du niveau gluconique qui sépare ces deux dernières Formations à Zagora, elles sont considérées autant qu'une seule Formation dite Schistes de Fezouata. Le patrimoine géologique relatif aux schistes de Fezouata, de valeur paléontologique, est de deux caractères ; des géosites in situ et des éléments de géopatrimoine correspondant à la composante fossilifère prise et déplacée. Les sites in situ peuvent présenter aussi une valeur stratigraphique.

La période ordovicienne a connu deux événements majeurs documentés dans la chaîne de l'Anti-Atlas : (i) le grand événement de biodiversité ordovicien (GOBE) qui est enregistré par les Schistes de Fezouata, et (ii) la glaciation hirnantienne enregistrée par les dépôts de la Formation du deuxième Bani associés à des discordances d'érosion ([Burkhard et al., 2006](#)).

Les fameux Schistes verts de Fezouata (Trémadocien - Floien tardif) de l'Anti-Atlas Central ont révélé une valeur scientifique internationale importante. Les études sur ces schistes ont permis aux chercheurs de clarifier leurs contextes biostratigraphiques et paléoenvironnementaux ([Lefebvre et al., 2015](#)). Cette Formation d'Ordovicien inférieur du sud du Maroc a été considérée comme l'une des Konservat-Lagerstätte les plus pertinentes en raison des découvertes paléontologiques majeures et des faunes typiques qu'elle a livrées ([Lefebvre et al., 2016](#) ; [Martin et al., 2016](#)). D'autre part, la richesse et la diversité inhabituelles des faunes préservées dans les schistes de Fezouata, y compris les fossiles à corps mous et les fossiles de traces de divers groupes d'animaux, permettent de considérer cette Formation comme un schiste de Burgess Ordovicien ([Lefebvre et al., 2016](#)). Ainsi, après sa découverte il y a une quinzaine d'années, la faune de la Formation de Fezouata, avec sa diversité et son abondance de taxons à corps mou, rivalise déjà avec la plus célèbre faune cambrienne exceptionnellement préservée (schistes de Burgess, Chengjiang) ([Lefebvre et al., 2016](#)).

La Formation de Fezouata documente l'événement majeur de la biodiversité ordovicienne (The GOBE) correspondant à l'épisode de l'histoire de la Terre durant lequel la biodiversité océanique a le plus augmenté. Sa faune à coquille est typique de l'Ordovicien inférieur ([Van Roy et al., 2010, 2015](#) ; [Lefebvre et al., 2016](#)), alors que sa faune à corps mou exceptionnellement préservée est caractérisée par l'extension des enregistrements fossiles typiques de l'explosion cambrienne ([Van Roy et al., 2010, 2015](#) ; [Lefebvre et al., 2016](#)). Cette dernière présente un aperçu unique qui a permis de clarifier la transition entre le monde marin cambrien avec ses "étranges merveilles " et le monde post-cambrien avec un écosystème plus moderne ([Gould, 1989](#) ; [Lefebvre et al., 2016](#)), l'une des périodes les plus critiques dans l'apparition et l'évolution de la vie marine pendant la période de transition Cambrien-Ordovicien. Ce qui permet de rejeter l'hypothèse de l'extinction massive à la fin du Cambrien et de définir la faune à corps mou de Fezouata autant qu'un nouveau lien entre la faune caractéristique de l'explosion cambrienne, qui a vu l'émergence de la grande majorité des lignées animales actuelles, et la faune ordovicienne qui montre une augmentation du nombre de familles, de genres et d'espèces.

Ce premier inventaire a permis de sélectionner cinq géosites (TER-PAL01, TER-PAL02, TER-PAL03, BEN-PAL01 et TIZ-PAL01) faisant partie du gisement fossilifère de la Formation de Fezouata. Leur valeur scientifique est liée à leur faune ordovicienne découverte et étudiée ainsi que leur potentiel à offrir plus de données paléontologiques que les Schistes de Fezouata font

toujours un objet de recherches scientifiques (Lahmidi et al., 2020). Le géosite TIZ-PAL01 du Jbel Tizagzaouine (Fig. 57A) représente l'une des sections les plus complètes et les plus accessibles de l'intervalle principal de préservation exceptionnelle des Schistes de Fezouata contenant les plus importantes des découvertes (Ex : Fig. 57B, C, D) Sa sédimentologie est typique de la bathymétrie intermédiaire habitée par le biota de Fezouata. Il offre un excellent point de vue sur l'ensemble des caractéristiques géologiques de Fezouata de la région. Ce dernier géosite est inscrit dans la liste des "100 premiers sites du patrimoine géologique" désignés par l'Union Internationale des Sciences Géologiques (IUGS) en 2022.

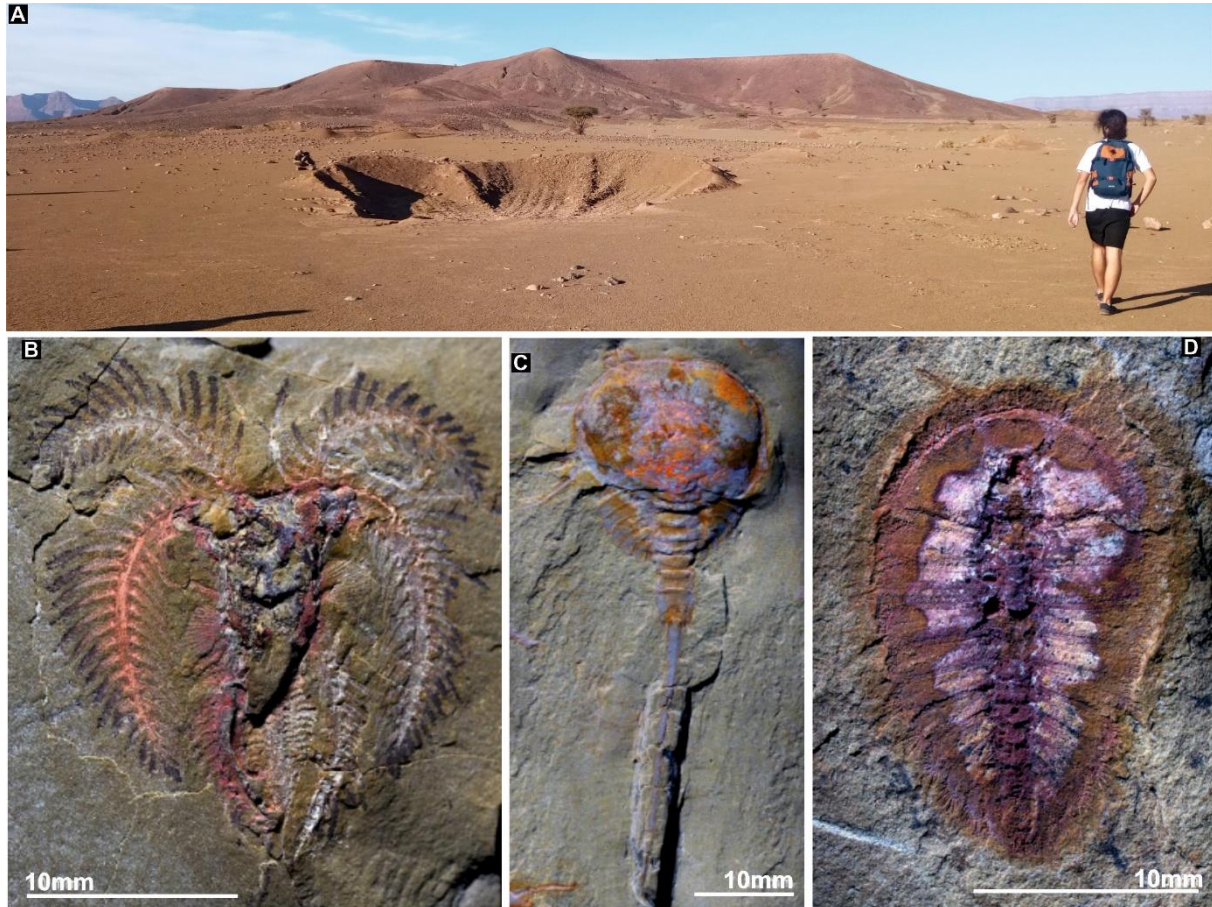


Fig. 57: Exemples des premiers spécimens de Fezouata exceptionnellement conservés découverts par Ben Moula : A. Géosite TIZ-PAL01. B. Arthropode marrellomorphe, appartenant probablement au genre Furca. C. Le plus ancien arthropode cheloniellidé. D. Spécimen subadulte de la plus ancienne limule (Lefebvre et al., 2016).

Les traces de vie à l'intérieur de ces géosites se présentent sous deux formes liées au biais de préservation ; fossiles à corps mous (biominéralisés et non biominéralisés) et sous deux types d'éléments fossilifères (traces et corps fossiles) avec une faune contenant une multitude d'espèces (ex : Fig. 58) dont certaines sont endémiques. Bien que ces données paléontologiques (corps-fossiles) donnent un aperçu des caractéristiques paléobiologiques du paléoécosystème de l'Ordovicien inférieur dans cette partie du Maroc, les traces fossiles offrent plutôt un aperçu unique sur le comportement des organismes que les corps fossiles ne peuvent pas fournir. De plus, les traces fossiles sont considérées comme un outil important dans les corrélations biostratigraphiques, les interprétations paléo-environnementales et paléo-écologiques (Seilacher, 2007 ; Olaf et Altumi, 2019). Ainsi, la cooccurrence de fossiles corporels et de traces dans le Konservat-Lagerstätte de Fezouata augmente sa valeur scientifique.

Les géosites TER-PAL01 et TEER-PAL02 ne présentent que des affleurements des Schistes de Fezouata, alors que les géosites TER-PAL03, BEN-PAL01 présentent aussi des dépôts des Formations Zini et Tachilla d'où leurs valeurs, stratigraphiques et sédimentologiques. Ils permettent d'identifier deux différents cycles sédimentaires (Fig. 59). Le premier cycle, où les argiles vertes des Formations de Fezouata représentent un marin ouvert (offshore inférieur), se termine par la progradation de dépôt gréseux de Formation de Zini (Arenig moyen). Alors que les argilites de la Formation de Tachilla marque le début d'un deuxième cycle sédimentaire d'âge Llanvirn.

Cela confère à ces derniers une valeur géo-éducative autant que des exemples pédagogiques permettant de suivre le changement des conditions du milieu de dépôts à partir de la nature sédimentologique des formations.

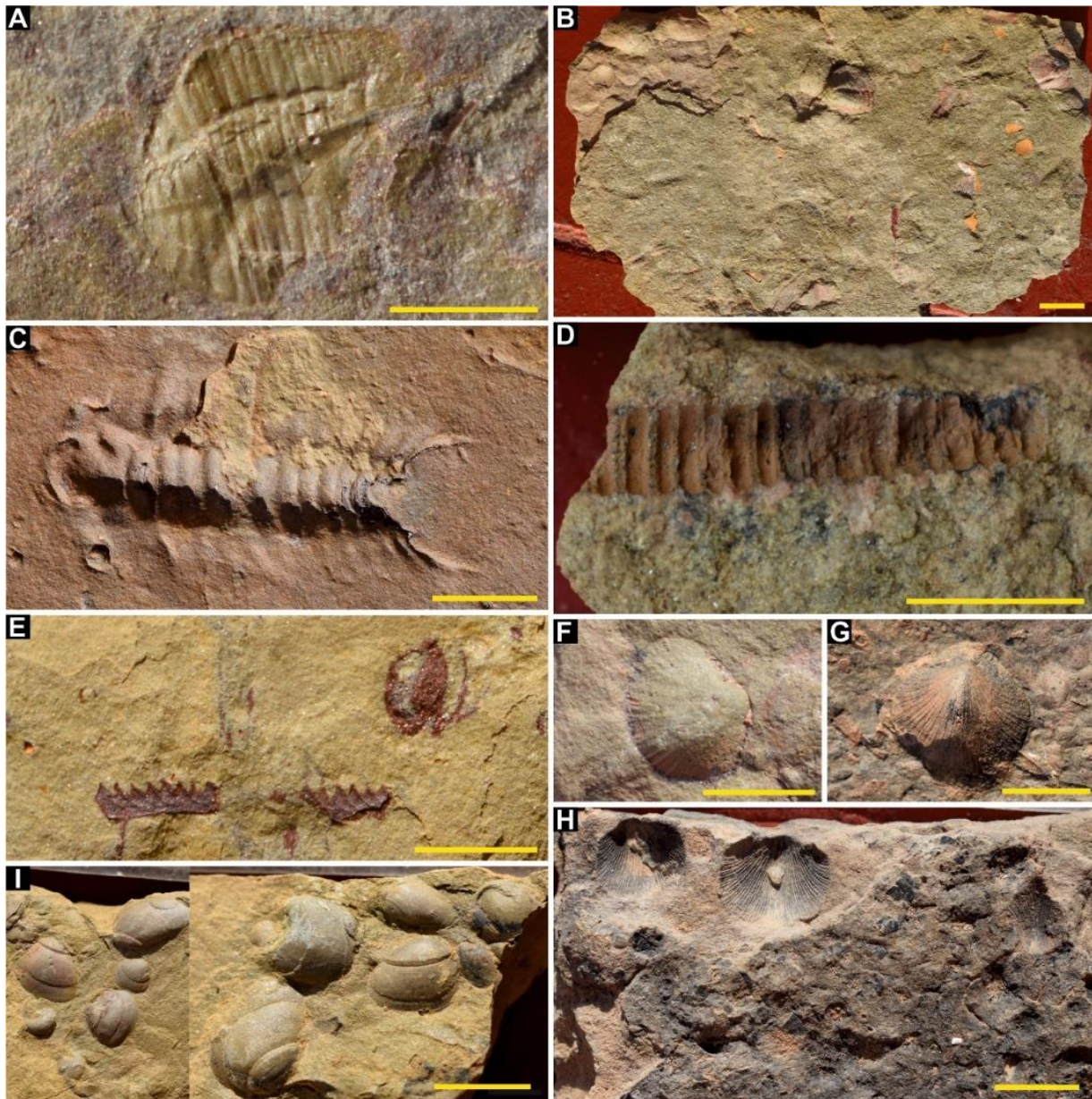


Fig. 58: Corps-fossiles provenant des géosites TER-PAL02 et TEER-PAL03. A- B. Restes de trilobites avec des corps indistincts. C- D. Corps fossiles d'arthropodes. E. Fragments de graptolites. F-H. Divers fossiles de brachiopodes. I. Présence massive de gastéropodes. (Barre d'échelle = 1 cm).

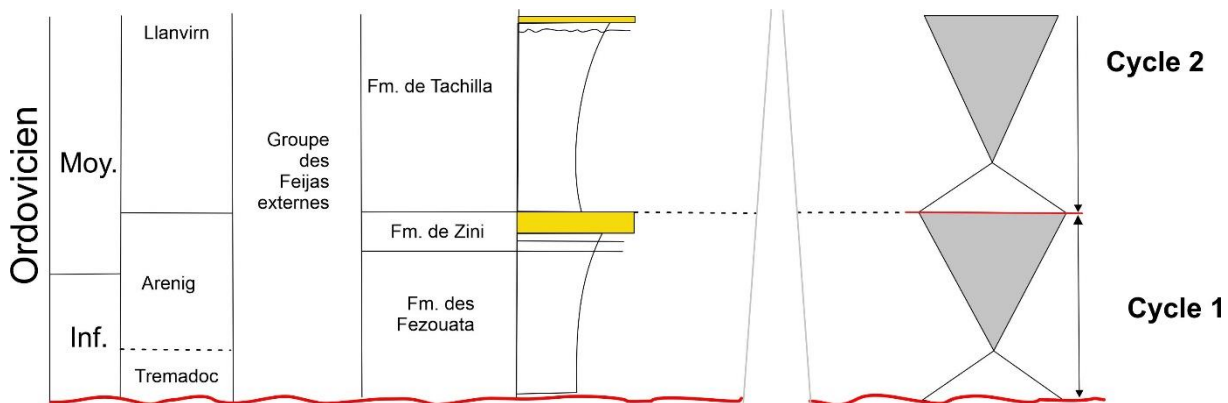


Fig. 59: Les deux cycles sédimentaires de l'Ordovicien inférieur et début d'Ordovicien moyen (D'après Marante in Gasquet et al., 2001)

3.2. Géosites et sites à géodiversité d'Ordovicien Moyen

3.2.1. Géosites

a. Géosite des grès de Zini

Au niveau de Zini, la troisième formation du groupe de Feijas externe d'âge Arenig moyen, deux géosites (TER-STR02 et TER-STR03) de type point ont été retenus. La sélection de ces deux géosites tient en compte la rareté de la formation gréseuse de Zini dans la zone et qu'on retrouve en blocs de différentes tailles dispersés au contact avec le géosite BEN-PAL01. Leur valeur scientifique est également liée à leur représentativité à des discontinuités stratigraphiques et sédimentaires : série condensée et hard-ground (Fig. 60) confirmant l'intérêt stratigraphique de Zini, qui marque la fin du premier cycle sédimentaire ordovicien du Trémadoc-Arenig (Lahmidi et al., 2020).

Le géosite TER-STR02 correspond à une série condensée, une unité stratigraphiquement très fine (décimètres) pourtant elle enregistre les interactions multiples des processus physiques, biologiques et géochimiques (Föllmi, 2016). Cet élément contribue aux analyses stratigraphiques en indiquant les changements dans le flux sédimentaire et aide à définir les surfaces stratigraphiques clés telles que la surface de régression maximale et les surfaces d'inondation transgressive et par conséquent, les changements de niveau de base (Föllmi, 2016).

Quant au géosite TER-STR03, il constitue un bon exemple pédagogique des hard-ground siliciclastiques qui sont généralement moins courants que les hard-grounds carbonatés (Taylor et Wilson, 2003). Il s'agit d'une surface qui comprend des restes des organismes ainsi que des clastes de roches. Du point de vue de la paléocéologie, de tels assemblages de substrats durs offrent généralement l'avantage aux organismes cimentés et enfoncés dans ces substrats de conserver leur position originale après la fossilisation.

Ainsi, TER-STR02 et TER-STR03 représentent des ruptures importantes dans l'enregistrement sédimentaire d'où leur importance pour les études sédimentologiques et stratigraphiques. Sur la base de ces valeurs importantes qui confèrent à ces sites leur intérêt scientifique ainsi que leur représentativité, les deux géosites présentent un intérêt éducatif.

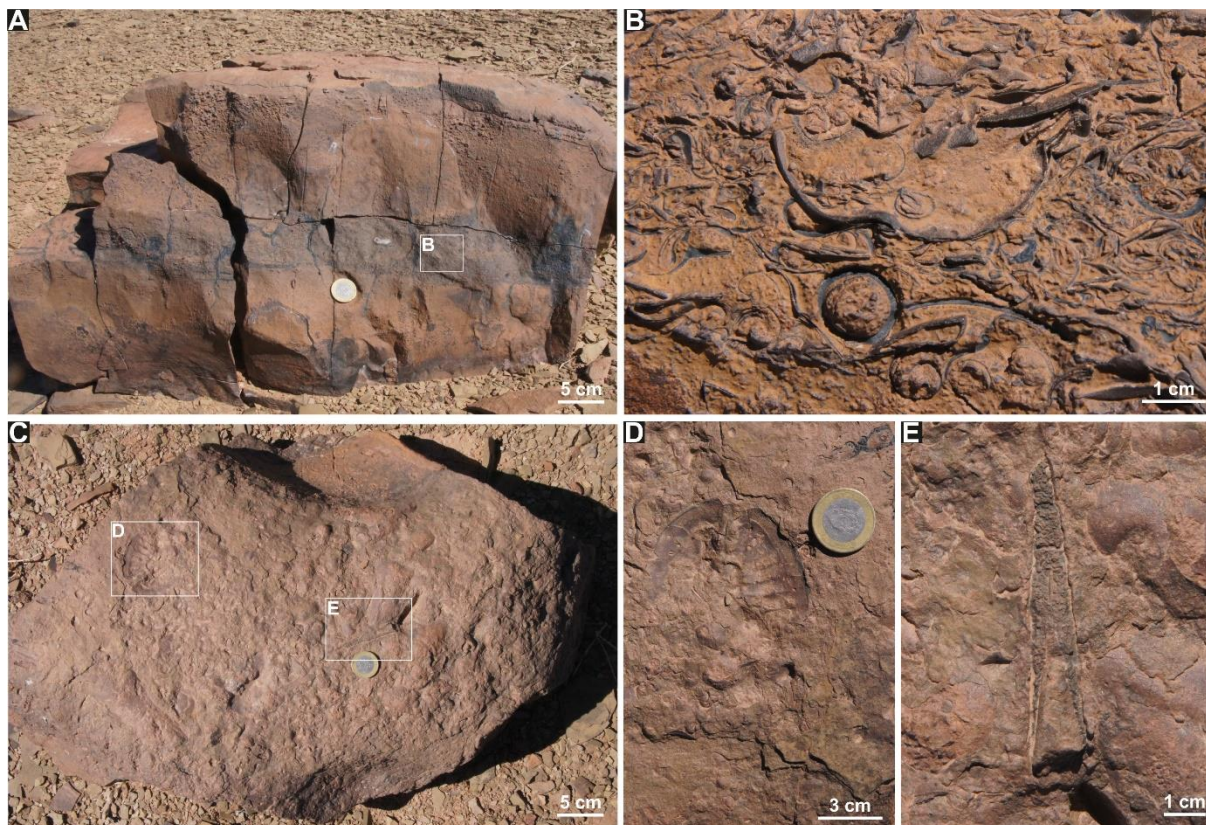


Fig. 60 : Les éléments stratigraphiques de des géosites TER-STR02 et TER-STR03. A. Série condensée représentée par le point TER-STR02. B. Traces de coquilles de brachiopodes et des bryozoaires. C. Hard-ground représenté par le point TER-STR03. D. Reste d'un corps-fossile de trilobite. E. Reste de corps-fossile de graptolite

b. Géosite de dôme de Tafena

L'Anticlinal de Tafena présente un bon exemple de pli en dôme (brachy-anticlinal) disséqué par l'érosion et affecté en outre de cassures. Un dôme est un anticlinal convexe vers le haut, il s'agit d'une structure dont la forme est approximativement circulaire ou légèrement allongée et fermée (Figs. 56 et 61). Dans la littérature de telle structure est attribuée à plusieurs origines orogéniques et non orogéniques. On retient dans le cas du dôme de Tafena, le modèle d'interférence fermé entre deux directions de plissement associé à une force motrice compressive. Ce plissement se matérialise par un entrecroisement d'anticlinaux. À son état intact, le dôme est une protubérance distincte à la surface par sa forme sphérique à ellipsoïdale. Une coupe parallèle à la surface de la Terre d'un dôme présente des anneaux concentriques de strates. Par conséquent, si le sommet d'un dôme a été érodé à plat, comme le cas du géosite de Tafena, la structure résultante en vue en plan apparaît comme un œil de bœuf, avec les couches rocheuses les plus jeunes à l'extérieur, et chaque anneau devenant progressivement plus vieux en allant vers l'intérieur.

Le géosite de Tafena constitue un dôme formé d'affleurement d'argilite de la Formation de Tachilla et des terrasses quaternaires entourés par les grès du groupe de premier Bani. Les dépôts ordoviciens du Premier Bani devaient superposer horizontalement ceux de Tachilla au moment de leur dépôt. Par la suite, l'ensemble a été déformé par la phase majeure hercynienne qui a abouti à son structuration en dôme suite à l'entrecroisement de deux familles de plis superposées, l'une créée postérieurement à l'autre. Cette protubérance n'est plus sous sa forme intacte, elle a dû être érodée au cours de la période érosive, entre le Permien et le Jurassique, des reliefs hercyniens. En conséquence de cette érosion, le dôme se présente en dépression permettant l'accumulation des dépôts quaternaires après l'installation du système hydrographique actuel.

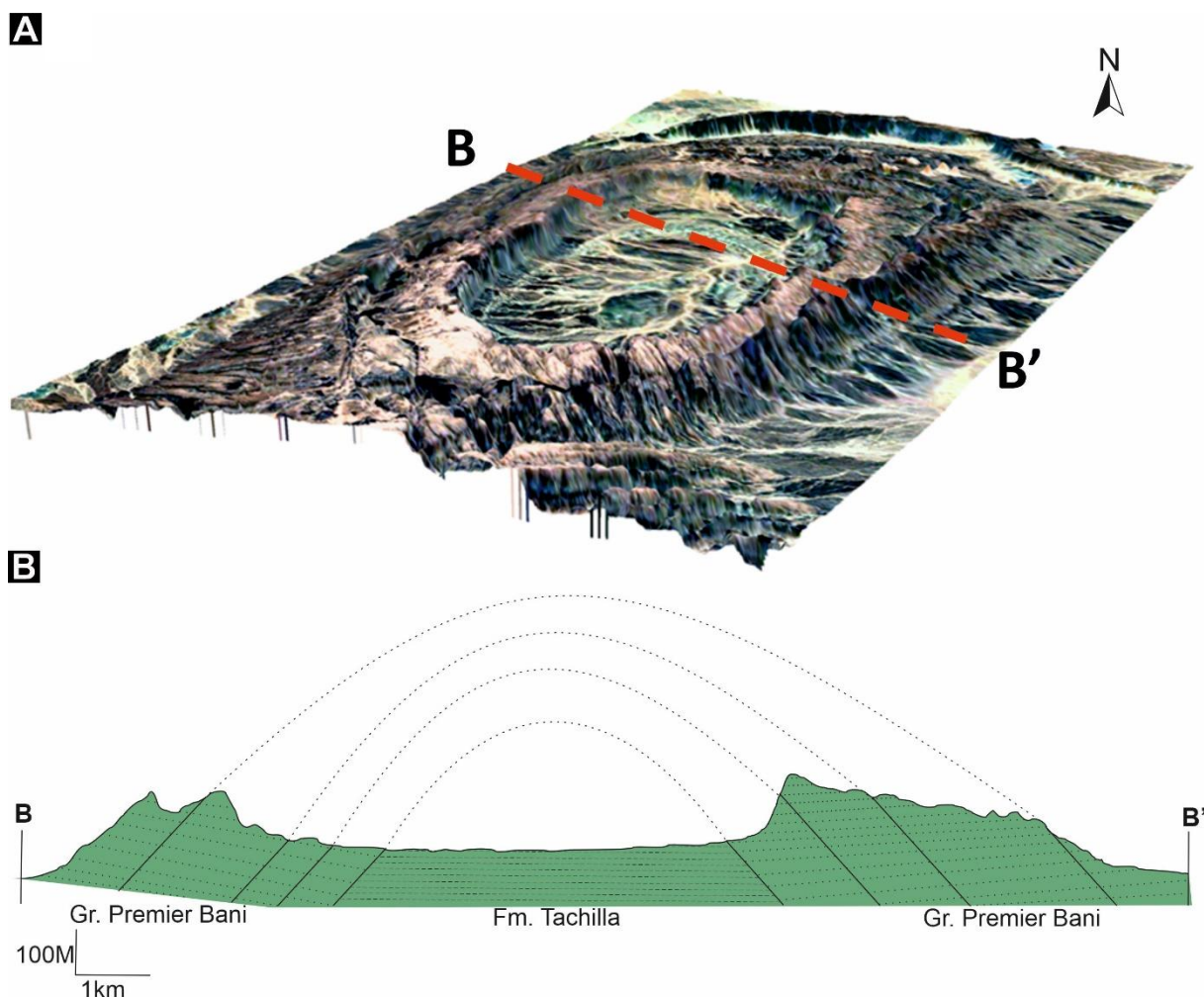


Fig. 61: A. Image (Google Earth 2022) du dôme de Tafena (TAF-STR01). B. Coupe NW-SE (BB') de l'anticlinal de Tafena.

A l'échelle du domaine d'Anti-Atlas, l'orogénèse hercynienne se caractérise par nombreuses phases diachroniques avec différentes orientations de contraintes, et les contraintes changent en raison des hétérogénéités locales (Leblanc, 1972 ; 1975). Celles-ci ont eu une très grande influence sur la distribution directionnelle des structures tectoniques (plis, failles) et celle des réseaux de diaclases paléozoïques (Ounaimi, 2004). Ce qui a fait que les séries paléozoïques de l'Anti-Atlas ont subi une déformation hercynienne très hétérogène en intensité et en directions structurales. Ainsi, on note que le sous-domaine d'Anti-Atlas central se distingue par une interférence de directions NE - SW à NNE-SSW (direction mésétienne) avec en plus une direction atlasique ENE-WSW à E-W (Ounaimi, 2004).

A l'instar de la structure majeure de dôme, l'importante valeur scientifique structurale du géosite TAF-STR01 est aussi associée à sa diversité d'éléments structuraux, probablement postérieurs, tels que les failles inverses dont une a été retenue (Fig. 62). Les séries lithologiques du Premier Bani à ce niveau affectées par cette faille montrent des comportements de déplacements différents vis-à-vis cette contrainte compressive. De ce fait, les couches les plus cassantes n'ont pas été tordues par le mouvement de la faille, mais simplement cassées et décalées. Les couches moins compétentes, plus ductiles, montrent, elles, un début de plissement, un crochon de faille. Il s'agit d'une courbure brusque des couches au contact de la faille dont la torsion s'effectue en sens inverse du déplacement.

Ces différents éléments structuraux offrent au géosite une grande valeur géo-éducative, liée principalement à leur potentiel interprétatif des structures de déformations cassante et ductile. La

déformation cassante se présente dans les familles de diaclases ainsi que les failles inverses permettant d'expliquer le contrôle rhéologique de la réponse des roches aux contraintes.

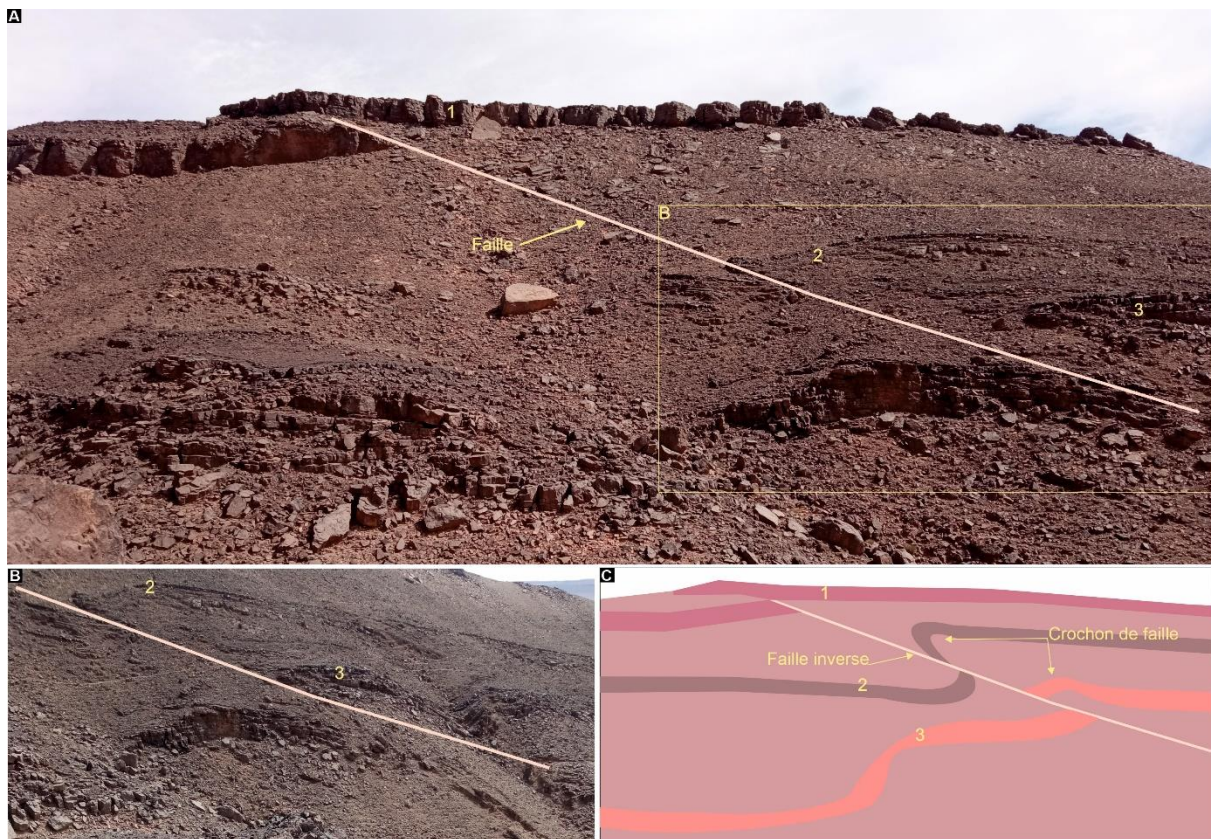


Fig. 62: Faille inverse affectant le géosite TAF-STR01. A. Vue panoramique de la faille. B. Courbures des deux couches ductiles au contact de la faille. C. Schéma présentant les comportements cassant (couche 1) et ductile (couches 2 et 3) des couches géologiques du géosite.

c. Géosites de la cuesta de Jbel Bani

Les dépôts du groupe du Premier Bani sont majoritairement constitués de faciès hétérolithiques marqués par une alternance d'argiles silteuses et de sables plus ou moins bioturbés. L'affleurement de ce groupe, est quasi-continue le long de Jbel Bani au sud de Zagora, formant une cuesta typique disséquée par le réseau hydrographique de la zone (Fig. 63). Sa bordure nord, le front, est une pente raide alors que son revers est légèrement incliné au sud.

Ce relief est l'œuvre des conditions favorables de l'érosion fluviale différentielle, tant par le matériel rocheux que par la diversification de détail de la tectonique. Cette érosion a pris place avec la formation de la vallée de Draa au début de Quaternaire. Elle a affecté les séries ordoviciennes de dureté différente qui ont été inclinées vers le SW suite aux mouvements alpins. La prédominance de forme du relief de cuesta avec ses hautes falaises est une particularité géomorphologique le long du flanc nord de la vallée du Draa au nord de M'hamid El Ghizlane. De la sorte, la cuesta de Bani est un géopatrimoine, de valeur scientifique géomorphologique, qui balaye plusieurs épisodes géologiques qui ont marqué la zone. En termes d'espace, cette morphologie constitue un paysage bien visible depuis de nombreux endroits le long de la route nationale qui connecte Tagounite à M'hamid El Ghizlane. Ils offrent une observation panoramique des caractéristiques de ce géopatrimoine. Pour une meilleure visualisation et afin de contourner l'ensemble du profil topographique asymétrique de la cuesta de Bani, on a

sélectionné deux points d'observation (TAG-GEO02 et TAG-GEO03) situés de part et d'autre de celle-ci.

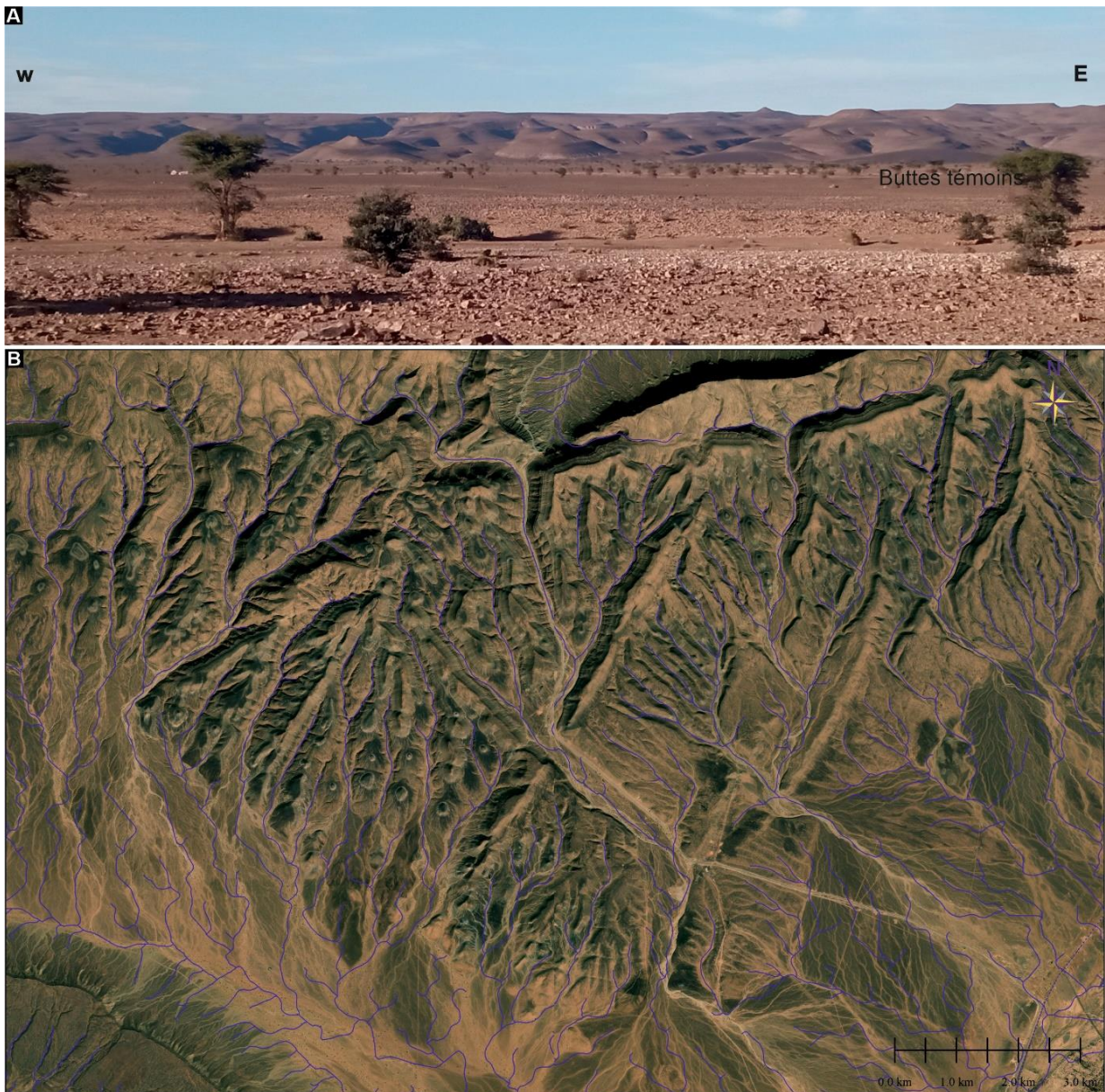


Fig. 63 : Vue de la face sud de Cuesta de Bani. A. Vue panoramique des buttes témoins de la cuesta de Bani depuis le point TAG-GEO03. B. Vue de dessus des buttes témoins sur World Imagery avec le réseau de ruissellement.

Les géosites TAG-GEO02 et TAG-GEO03 sont deux géosites géomorphologiques. Ils correspondent à deux points d'observation associés au même relief. Le point TAG-GEO02 donne une vue à la face sud de cuesta de Jbel Bani (Figs. 56 et 63). Il permet une bonne observation de la conséquence de la dissection des strates par le chevelu hydrographique hiérarchisé qui pénètre les affleurements de la roche tendre. Elle correspond à des ravins et des buttes témoins (Fig. 63). De l'autre côté, le point d'observation TAG-GEO03 permet de visualiser l'escarpement de plus ou moins important du Jbel Bani avec une dépression développée à son contrebas (Figs. 56 et 64). Cette facette correspond à une succession subhorizontale des séries sédimentaires du groupe Premier Bani.

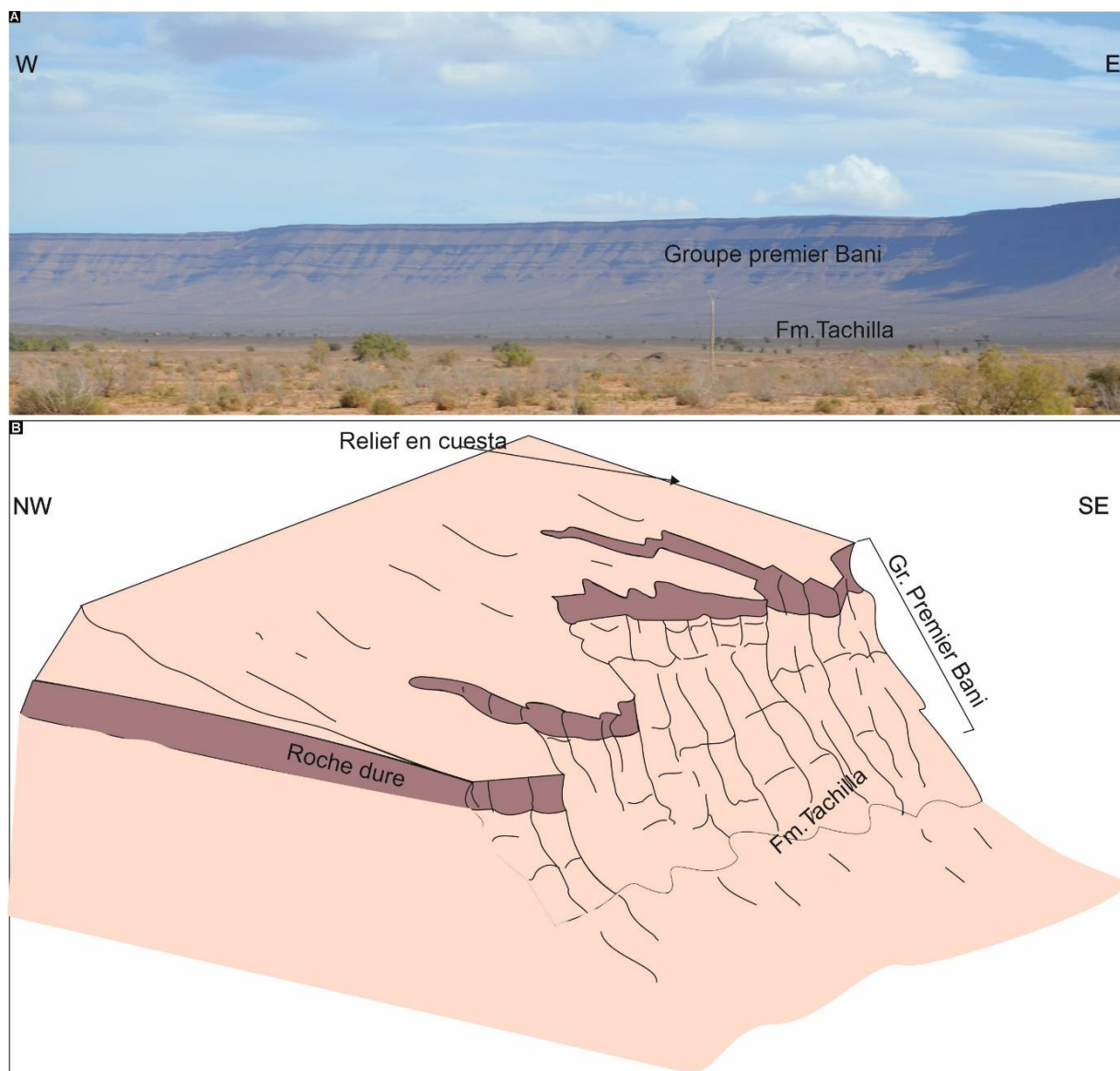


Fig. 64 : A. Vue panoramique de cuesta de Bani depuis le géosite TAG-GEO03. B. Schéma illustrant l'escarpement du Jbel Bani.

L'histoire géologique qui a produit cette structure géomorphologique et la beauté esthétique de son paysage panoramique font de la monoclinale de Bani une ressource unique du géotourisme. La valeur touristique de la cuesta de Bani est soutenue par sa combinaison à d'autres éléments ; géomorphologiques telles que les dunes sableuses et/ou écologiques (savane d'Acacia et oasis). Les géosites TAG-GEO02 et TAG-GEO03 présentent également une valeur géo-éducative. Ils permettent d'expliquer d'une part, l'histoire de la formation du monoclinale de Jbel Bani et d'autre part la forme sa forme de cuesta dérivée de l'érosion. Ils permettent aussi de clarifier l'action des cours d'eau affluents qui se développent dans les roches ainsi que les formes produites de l'érosion différentielle. En outre, de point de vue stratigraphique, la su-horizontalité des formations du premier de façon continue offre ainsi un exemple où les scolaires et universitaires peuvent comprendre les principaux principes de la stratigraphie, par exemple la superposition, l'horizontalité originale et la continuité latérale.

3.2.2. Sites à géodiversité

Jbel Bani constitue une structure monoclinale orientée NE-SW qui est l'élément le plus spectaculaire et remarquable de la combinaison des formes de relief de la zone. Associés à Jbel

Bani les sites à géodiversité TER-GEO04 et BNZ-GEO01 présentent de grandes valeurs géo-éducatives et géo-touristiques.

La crête de Bani, sous sa forme appalachienne, à l'échelle de TER-GEO04 constitue une barrière naturelle qui encercle les dépôts sableux (Figs. 56 et 65). De point de vue éducatif, le site donne un bon exemple de barrière naturelle qui bloque l'action de vent dans une telle zone désertique. Grâce aux accumulations de sable à ce niveau, le TER-GEO04 est une attraction touristique d'où son choix pour installer un campement dédié à la réception des touristes.

Le site à géodiversité BNZ-GEO01 est un point d'observation qui donne une vue splendide sur un paysage combinant la monoclinale de Bani, Oued Draa ainsi que l'oasis de Bni Zouli et son architecture typique de la zone (Fig. 56, 66). Cette combinaison de valeurs géologique, écologique et culturelle incarne l'identité de la région et offre au site un potentiel géo-touristique et géo-éducatif.

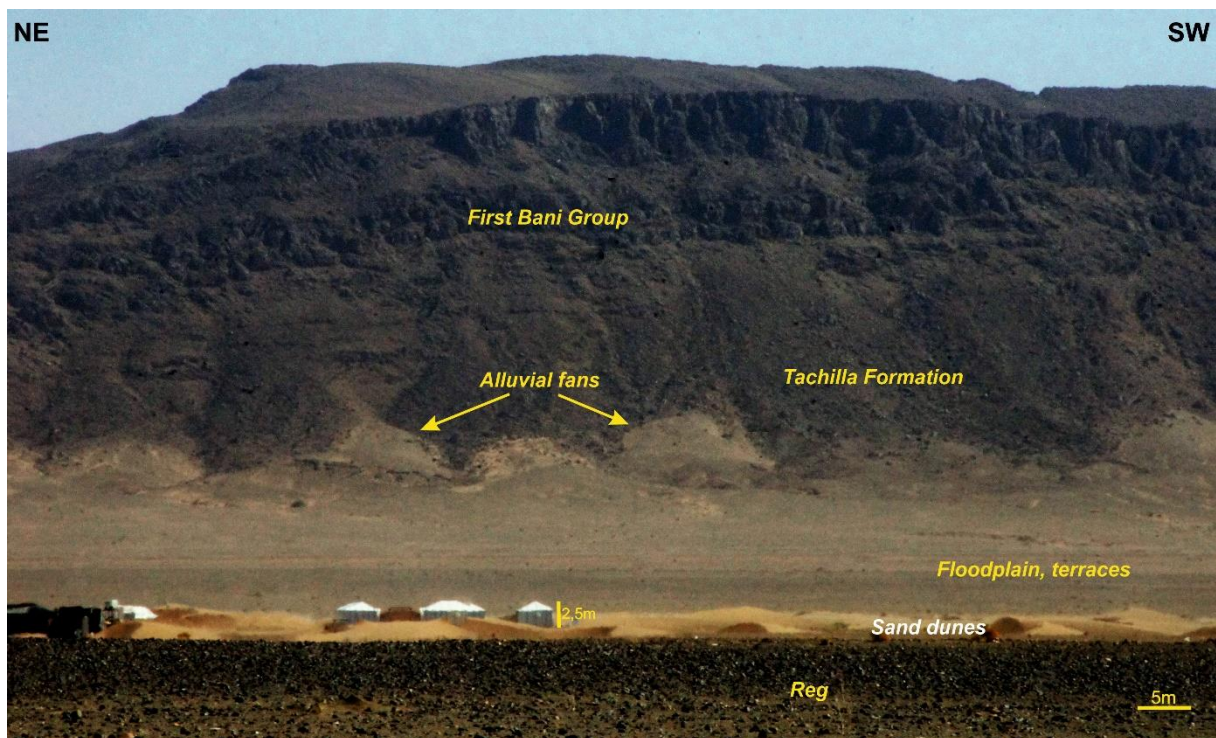


Fig. 65: Vue panoramique du site à géodiversité TER-GEO04.



Fig. 66: Site à géodiversité BNZ-GEO01. A. Vue panoramique du BNZ-GEO01. B. Architecture locale. C. Oued Draa traversant l'oasis de Beni Zouli.

3.3. Géosites et sites à géodiversité d'Ordovicien Supérieur

3.3.1. Géosites relatifs aux paléo-vallées tunnel

L'Hirnantien est caractérisé par un changement climatique majeur qui a été derrière l'inlandsis qui couvrirait la plate-forme du nord Gondwana (Fig. 27). Les travaux publiés sur cette glaciation ont analysé la biostratigraphie associée, l'architecture sédimentaire à grande échelle et ses caractéristiques glaciogéniques telles que les paléo-vallées, les structures de déformation glacio-tectonique et divers indicateurs de paléo-écoulement glaciaire (Ghienne et al., 2003).

Les paléo-vallées tunnel, comptées parmi les caractéristiques de cette glaciation, sont de grandes et longues dépressions dont le creusement est attribué à l'érosion sous-glaciaire par les eaux de fonte (Kehew et al., 2012, Le Heron, 2016). Elles offrent des valeurs significatives en termes de régimes hydrologiques sub-glaciaires (Douillet et al., 2012), car elles constituent les principaux chenaux sous-glaciaires de drainage des eaux de fonte (Cofaigh, 1996 ; Huuse et Lykke-Andersen, 2000 ; Jørgensen et Sandersen, 2006 ; Boulton et al., 2007a, b ; Piotrowski et al., 2009). La création de ces vallées-tunnels est généralement liée aux ressources en gaz, en pétrole et aux réservoirs d'eau souterraine (Van Der Vegt et al., 2012), ce qui est à l'origine de leur valeur économique. Ceci explique l'intérêt que les sociétés leur prêtent ainsi que le nombre de

recherches menées (Clerc, 2012). Alors que les vallées stériles sont marginalisées malgré leur valeur géo-patrimoniale qu'elles constituent en tant qu'une caractéristique indicative importante de la glaciation d'Ordovicien supérieur dans les régions qui formaient le Gondwana occidental pendant cette période.

a. Les vallées tunnel Hirnantien entre l'intérêt économique et le géopatrimoine

La glaciation d'Hirnantien est un événement majeur qui caractérise l'histoire de la Terre à la fin de l'Ordovicien. Sa calotte glaciaire est estimée avoir couvert une superficie de 8000 km² s'étendant au supercontinent du Gondwana, de la péninsule arabique à l'Amérique l'Amérique du Sud et de l'Afrique du Sud au Maroc (Beuf et al., 1971 ; Veevers 2005 ; Diaz-Martinez et Grahn, 2007 ; Ravier et al., 2014). Elle constitue un exemple classique d'archive, à l'échelle du continent, d'une ancienne calotte glaciaire (Le Heron, 2016). Grâce aux enregistrements sédimentaires hirnantien, cette glaciation et la dynamique de sa calotte ont été reconnues (Bourahrouh et al., 2004 ; Clerc, 2012). Depuis, plusieurs travaux de recherche stratigraphiques et de corrélation ont été menés en Afrique du Nord (ex : Destombes et al. 1985 ; Deynoux 1985 ; Ouanaïmi 1998 ; McDougall et Martin 2000 ; Le Heron et al. 2007 ; Ghienne et al. 2018), en Arabie Saoudite (ex : Vaslet, 1990 ; Ghienne, 2003) et en Jordanie (ex : Abed et al., 1993 ; Turner et al., 2005).

En Afrique du Nord et au Moyen-Orient, cette glaciation a généré des vallées enfouies sous la calotte glaciaire (Ghienne et Deynoux, 1998 ; Hirst et al., 2002 ; Ghienne et al., 2003 ; 2018 ; Le Heron et al., 2004 ; Le Heron, 2007 ; Le Heron et al., 2006). Le remplissage sédimentaire de ces vallées représente une excellente roche réservoir, car il est constitué de grès structurés à gros grains (Le Heron et al., 2004) offrant de très bonnes caractéristiques (perméabilité et porosité) de réservoir (Hirst et al., 2002). Dans la même région, il existe des dépôts glaciaires de différents âges parmi lesquels certains connaissent déjà une intensive activité d'exploration (ex : Smart, 2000 ; Le Heron et al., 2010 ; 2014). Ainsi, l'intérêt porté aux gisements des vallées tunnel remonte à leur valeur économique. Cependant, elles présentent une importance scientifique, notamment en paléogéographie et paléo-environnement. Elles fournissent des données pour reconstituer la dynamique des anciennes masses glaciaires (Le Heron et Craig 2008, ; Le Heron et Dowdeswell, 2009) et le régime hydrologique sous-glaciaire (Piotrowski, 1997 ; Eyles, 2006 ; Douillet et al., 2012). Ces objectifs ont incité plusieurs études de la communauté académique (ex : Sutcliffe et al., 2000 ; Ghienne, 2003 ; Eschard et al., 2005 ; Le Heron et al., 2006 ; Page et al., 2007 ; Tournier et al., 2010 ; Clerc et al., 2013).

Certaines vallées tunnel ordoviciennes sont économiquement marginalisées (Le Heron et al., 2010) bien qu'elles présentent une valeur géo-patrimoniale internationale (Lahmidi et al., 2021). Cette valeur peut être déterminée à partir des études stratigraphiques, sédimentologiques et paléontologiques comparatives menées à l'échelle locale et globale.

Compte tenu des rôles clés qu'elles ont joué dans la paléogéographie ordovicienne ainsi que de la représentativité de leurs processus sous-glaciaires, ces paléo-vallées tunnel constituent des géosites potentiels. En termes de potentiel d'utilisation, elles peuvent être utilisées dans le cadre de la géo-éducation en raison de leurs éléments sédimentologiques, stratigraphiques et paléontologiques diversifiés, offrant des possibilités de formation pour les étudiants et les géologues en début de carrière. En outre, elles peuvent être impliquées dans le géotourisme et contribuer à la socio-économie locale en tant que sites d'attraction touristique.

b. Géosites de vallées tunnels ordoviciennes dans la zone d'étude

Plusieurs études ont été menées afin d'examiner la glaciation fini-ordovicienne le long du nord du Gondwana (Ghienne et al., 2007). Le sud de Zagora, qui faisait partie du Gondwana au Paléozoïque inférieur (Piqué, 2001), a hérité de ce dernier événement un réseau de vallées tunnel bien développé affleurant entre le village de Tagounite et M'hamid El Ghizlane. Ce réseau est reconnu sous le nom du creux de Tagounite. Le long de ce creux, les dépôts glaciogènes hirnantiens étaient sujets à des sections mesurées à Tizi N'Tazzounghart et Foug Larjamme. Elles ont permis de corréler la formation subglaciaire du deuxième Bani avec d'autres formations glaciogéniques de l'Ordovicien supérieur à travers divers pays africains, constituant ainsi des zones clés pour la reconstruction de la paléogéographie hirnantiennne.

Foug Larjamme et Tizi N'Tazzounghart sont considérés comme deux géosites sont distincts en vue des différences qu'ils représentent (Figs. 56 et 67) Foug Larjamme représente le premier épisode d'érosion glaciaire, alors que le géosite de Tizi N'Tazzounghart permet de souligner cette érosion glaciaire comme un second épisode ainsi que la déformation tectonique glaciaire qui est absente dans le premier.

c. Morphologie et genèse des vallées tunnel du creux de Tagounite

Dans l'Anti-Atlas, il existe trois morphologies diverses des vallées tunnels ordoviciennes, le creux de Tagounite, l'une d'entre elles fait 1 km de large et jusqu'à 100 m de profondeur (Ravier et al., 2014). Elle présente un réseau dense de vallées tunnels réduites interconnectées caractérisées par une base ondulée (Figs. 66 et 68) qui tronque la formation inférieure du deuxième Bani (Clerc, 2012).

La morphologie de la vallée tunnel de Foug Larjamme a permis d'établir un modèle pour décrire sa formation. Ce modèle comprend impérativement deux processus considérant l'eau de fonte comme le principal agent d'érosion (Fig. 68) (Ravier et al., 2015).

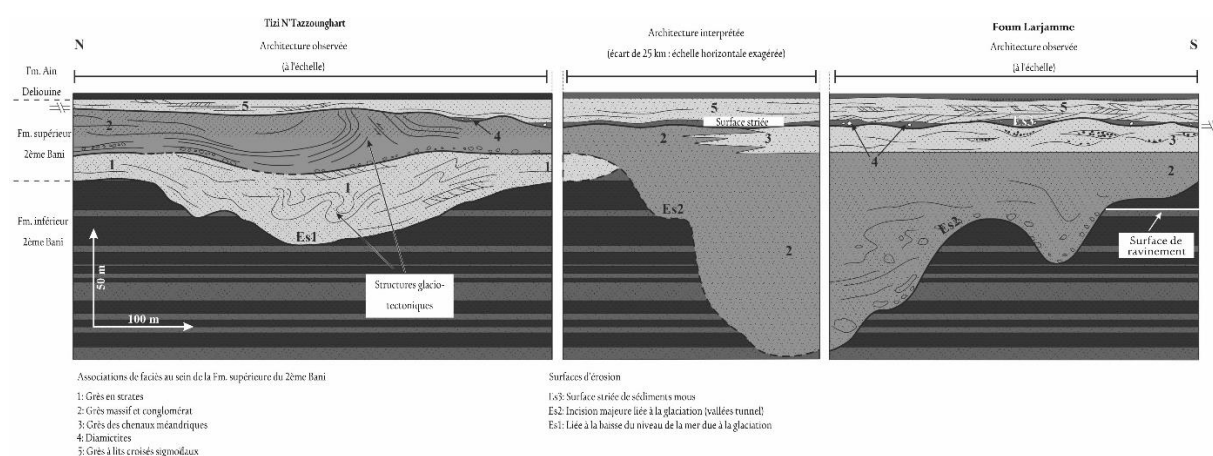


Fig. 67: Schéma des relations entre les associations de faciès dans la formation supérieure du Deuxième Bani (Le Heron, 2007).

Les conditions contrôlant la formation des vallées tunnels sont liées aux paramètres pétrophysiques (perméabilité et porosité) qui varient en fonction de la granulométrie et influencent l'architecture du système de drainage des eaux de fonte (Clerc et al. 2015). Foug Larjamme est caractérisé par une alternance de séries de sédiments argileux et gréseux, et présente à la fois un volume d'eau élevé et une valeur de diffusivité faible (Clerc 2012). Le substrat n'étant pas en mesure de drainer toute l'eau de fonte, il est érodé par cette eau pour

compenser le déficit, ce qui génère des chenaux sous-glaciaires à l'interface glace-substrat (Figs. 68 et 69) (Sharp et al., 1989 ; Walder et Fowler, 1994).

Les deux processus d'état stationnaire (Fig. 68A) et d'événements répétitifs de crue brutale (Fig. 68B) utilisés pour expliquer la genèse du géosite de Foug Larjamme, consiste en une incision progressive sur une longue durée (Ravier et al., 2015). Ils peuvent être soutenus par la relative stabilité des chemins sous-glaciaires des eaux de fonte sur des centaines d'années (Boulton et al., 2007a, b ; Le Brocq et al., 2013 ; Nitsche et al., 2013).

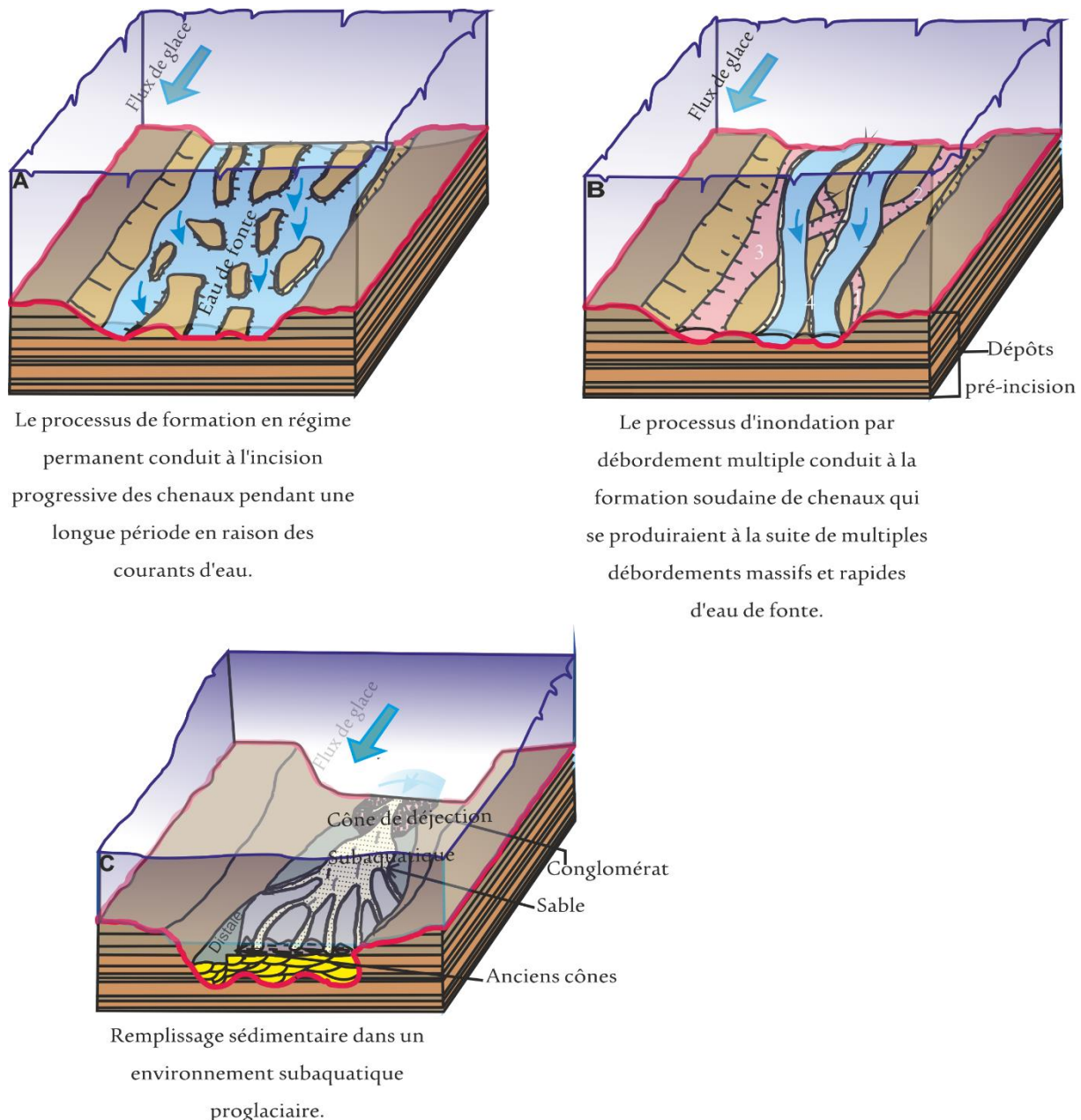


Fig. 68: Modèle de formation et de remplissage sédimentaire des vallées tunnel de Foug Larjamme. A : Migration latérale des chenaux à travers le temps pendant les réseaux de chenaux tressés en régime permanent. B : Crues épisodiques formant des chenaux individuels, 1, 2, 3, 4 événements de crues multiples. C : La vallée tunnel est remplie par un cône d'épandage subaquatique marginale de glace (Ravier et al. 2015).

De nombreuses hypothèses ont été développées pour expliquer l'origine des paléo-vallées tunnels (Boulton and Hindmarsh, 1987 ; Wingfield, 1989 ; Piotrowski, 1994 ; Cofaigh, 1996 ; Huuse et Lykke-Andersen, 2000 ; Kehew et al., 2012). Alors que d'autres études ont tenté d'appliquer les hypothèses avancées pour les vallées tunnel du Quaternaire sur celles de l'Ordovicien (Le Heron

et al., 2004 ; Clerc, 2012 ; Van Der Vegt et al., 2012). Les géosites de Foug Larjamme et Tizi N'Tazzounghart sont un champ ouvert pour expérimenter les hypothèses proposées et les modèles de formation des vallées tunnels sous-glaciaires.

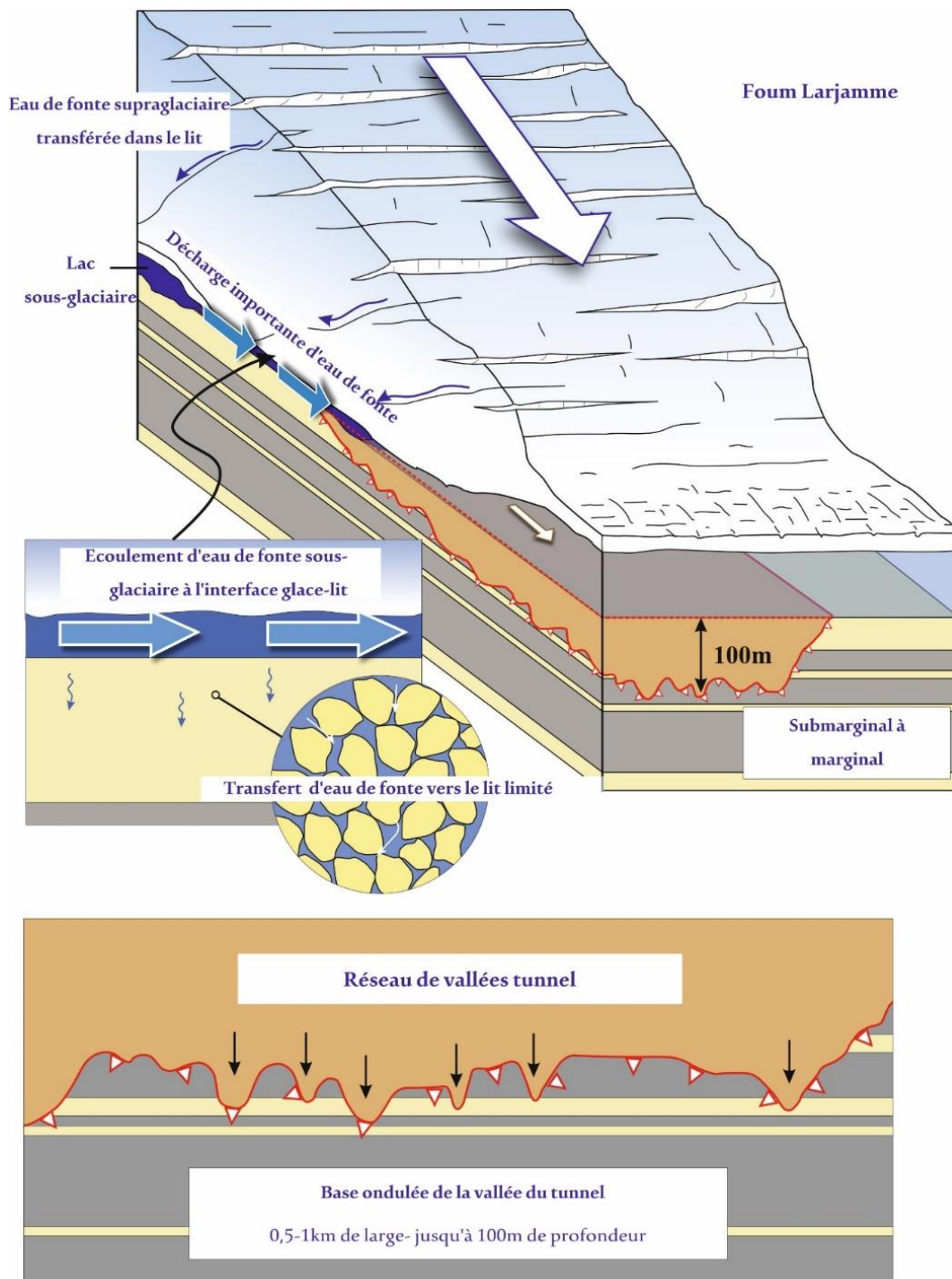


Fig. 69: Diagramme synthétique représentant les principales caractéristiques de la vallée tunnel de Foug Larjamme et les processus impliqués dans sa formation, y compris son environnement de dépôt et sa relation avec la distribution géographique des flux de glace (Ravier et al. 2015).

d. Valeur géo-patrimoniale des vallées tunnel ordoviciennes

Les vallées tunnel représentent un intérêt économique en tant que réservoirs potentiels de pétrole et de gaz (par exemple, le bassin de Boudenib, Le Heron, 2007). Cependant, les études académiques réalisées ont décrit leur important intérêt scientifique dans la reconstruction de la paléogéographie, ce qui est le cas des vallées tunnel d'Hirnantien au sud de Zagora. Ainsi, elles

présentent une valeur géo-patrimoniale globale documentant l'événement de la glaciation de l'Ordovicien supérieur ainsi que sa paléogéographie et sa paléoécologie.

Les coupes stratigraphiques ainsi que les analyses sédimentologiques réalisées dans ces sites de l'Anti-Atlas central ont permis d'établir des corrélations globales et transrégionales ; cette zone joue donc un rôle important dans la compréhension de la dynamique et de l'évolution de la calotte glaciaire de l'Ashgill tardif. Ils contribuent également dans l'élaboration de modèles paléoglacielogiques. En outre, les recherches portant sur le contenu paléontologique de ces sections ont donné au creux de Tagounite une valeur paléontologique pertinente liée aux deux extinctions de masse qui se sont produites pendant l'Hirnantien (Brenchely et al., 1995 ; Hallam et Wignall 1997 ; 1999 ; Sutcliffe et al., 2001). Ce contenu a fourni des indications (ex : Fig. 70) sur les conditions paléo-écologiques et paléo-environnementales qui ont conduit à ces extinctions.

D'autre part, les vallées tunnels sont des structures géomorphologiques subglaciaires remarquables, et les processus responsables de leur formation font encore l'objet de débats (Kehew et al., 2012). Le réseau bien exposé de vallées tunnel dans le sud de Zagora a permis de comparer régionalement les processus impliqués dans leur développement et de tester le rôle des eaux de fonte dans ces processus.

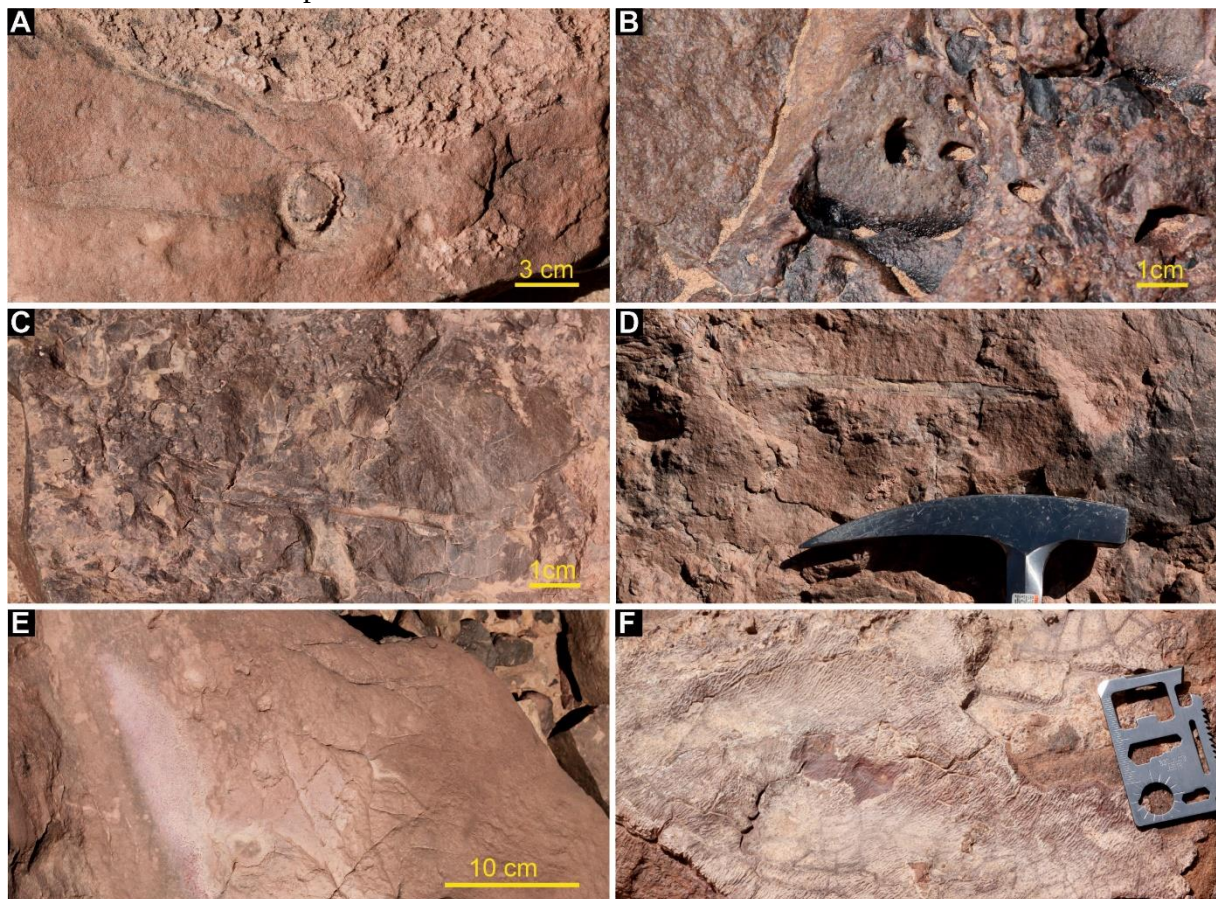


Fig. 70: Grès bioturbé. A-E. terrier circulaire en forme d'entonnoir appartenant à Monocraterion ; B. Trace de repos de bivalves appartenant à Lockeia ; C. terrier horizontal Planolites préservé sur le plan de litage ; D. terrier horizontal indéterminé; F. Petites rides qui pourraient être des vestiges de tapis microbiens.

3.3.1. Géosite géomorphologique TAG-GEO01 relatif au paysage oasien

a. Le paysage oasien et le géopatrimoine

L'usage moderne du paysage se rapporte à la forme totale de la surface de toute zone, rurale ou urbaine, et comprend à la fois les caractéristiques naturelles et artificielles, c'est-à-dire le paysage

naturel et le paysage culturel à la fois. Cette définition a été complétée par l'implication de la perception d'homme dans la Convention européenne du paysage (2000), selon laquelle "le paysage désigne un espace, tel que perçu par l'homme, dont le caractère résulte de l'action et de l'interaction de facteurs naturels et/ou humains" (Reynard et Giusti, 2018).

Au fil de l'histoire, la vision du paysage a évolué d'une valeur esthétique à une valeur scientifique en tant que centre d'intérêt pour l'étude et la conservation dans les zones protégées ; et plus récemment, à la reconnaissance de la nécessité d'une utilisation durable des ressources naturelles qui combine à la fois les points de vue esthétique et scientifique et qui procure des avantages aux gens et maintenant s'incarne dans les activités de géoconservation et de géotourisme (Gordon et al., 2018).

b. Valeur scientifique de TAG-GEO01

A Zagora, les oasis sont bien connues comme une occupation de sol qui s'impose dans la région suite à ses conditions géologiques, géomorphologiques et climatiques. Selon la relation entre la géomorphologie et le paysage, ces oasis sont à considérer comme étant un géopatrimoine précieux qui avec son mode d'agriculture en terrasses (Fig. 71E) démontrent l'adaptation de l'homme oasien avec les différentes conditions géomorphologiques et climatiques que le milieu impose. Caractérisé par la végétation irrégulière d'acacias, le site TAG-GEO01 (Figs. 57 et 71) présente une valeur écologique de plus et reflétant le climat sec de la région. Avec la pénurie en végétation qui facilite les actions du vent et par conséquent la migration du sable vers l'oasis (Fig. 71F) ce géosite est considéré comme un laboratoire pour étudier et enseigner les processus géomorphologiques de l'érosion et du transport par le vent ainsi que les sols nus et autres phénomènes environnementaux.

En outre, ce paysage oasien sert à identifier d'une part, le territoire de la Réserve de Biosphère UNESCO de ses spécificités socioculturelles, auquel sont enregistrées les oasis de Zagora et d'autre part, la géomorphologie caractéristique de la zone d'étude. En conséquence, le complexe paysager des oasis tient également sa valeur patrimoniale géomorphologique de sa représentativité des différents reliefs désertiques dans la région, dont les reliefs montagneux, dunes de sable, Oued Draa, plateaux caillouteux et la plaine qui supporte l'oasis :

- Reliefs montagneux tabulaires (Ordovicien moyen à tardif) et cônes de déjection : ont un aspect sombre dû à la patine du désert, ils sont exposés à des cours d'eau périodiques qui s'étalent et perdent la capacité de transporter des sédiments, par conséquent une grande quantité de ces sédiments (roches, pierres, sable, limon et argile) se déposent au pied de la montagne formant des cônes de déjection.
- Dunes de sable : sont l'un des principaux reliefs et les principales zones touristiques attrayantes de la région de Zagora où de nombreux locaux ont établi leurs propres camps touristiques.
- Oued Draa : le plus long oued du pays. C'est un oued périodique qui est la source de la majorité des sédiments dunaires de la région (Dłuzewski, 2008). Il est à l'origine d'établissement du chapelet d'oasis le long de son cours où la population locale pratique la culture des dattes et l'agriculture d'autosuffisance. Cependant, ce dernier est la plupart du temps sec avec la diminution des précipitations en quantité et en fréquence, chose qui a poussé les agriculteurs d'utiliser un système d'irrigation artificiel.

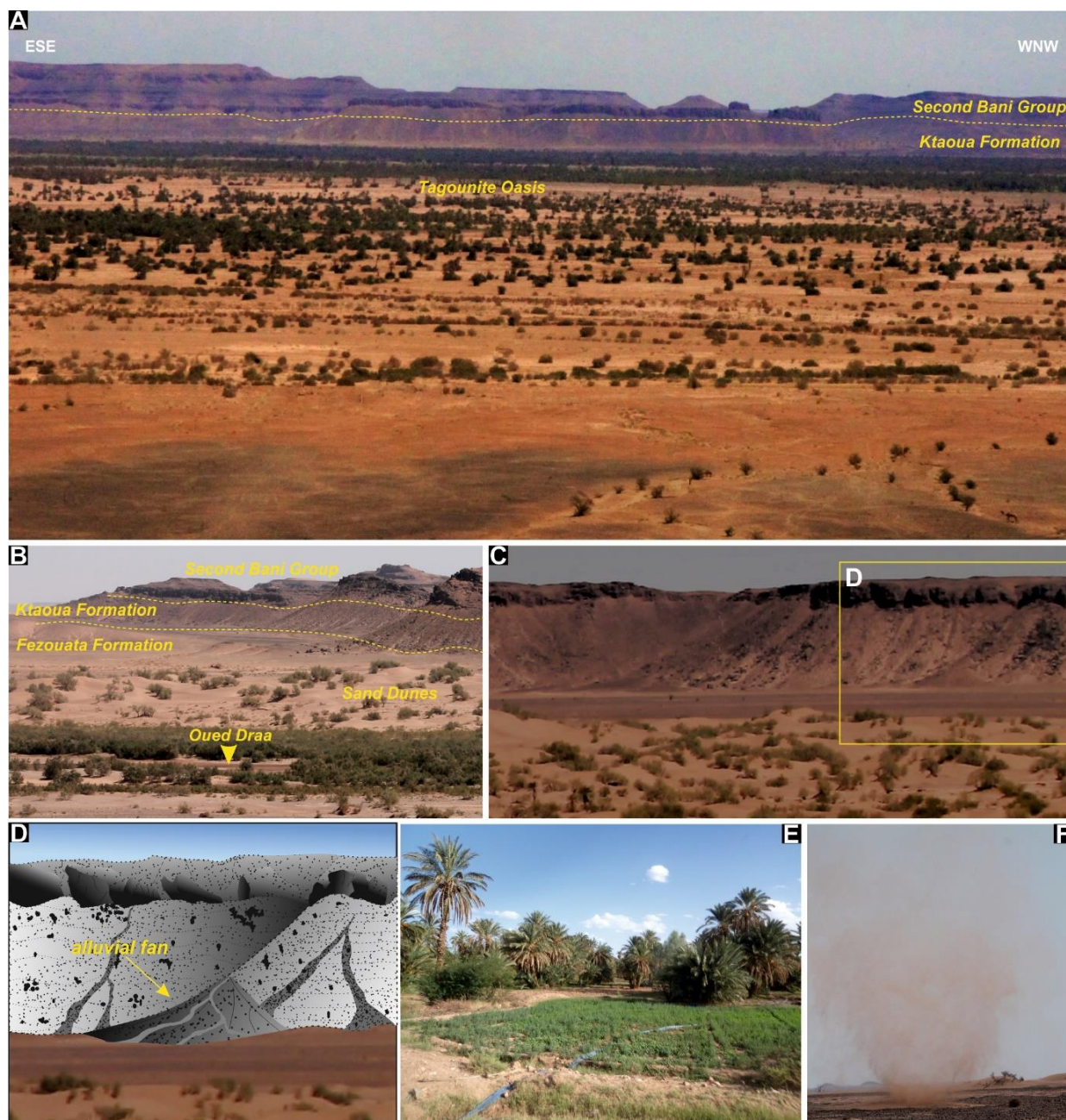


Fig. 71: Géosite TAG-GEO01; A. Vue panoramique du géosite ; B. Les différents éléments géomorphologiques du géosite ; C. Cônes alluviaux et dunes de sable fixées par la végétation d'Acacia D. Schéma des cônes alluviaux ; E. Vue d'intérieur de la palmeraie de Tagounite ; F. Transport éolien de sédiments sableux.

3.4. Géosites et sites à géodiversité du Quaternaire

3.4.1. Géosite OUM-STR01 stratigraphique

Les affleurements siluriens correspondent à des schistes clairs et des schistes noirs, déposés pendant la transgression liée à la déglaciation de la calotte d'Hirnantien (Brew et al., 2001). Cet évènement est probablement à l'origine de l'épaisseur importante des schistes de Silurien dans d'autres bassins en Afrique du Nord comme le bassin de Ghadamès (Libye). Ils sont estimés comme étant l'origine de 80 à 90 % des sources d'hydrocarbures de l'ensemble des systèmes réservoirs du Paléozoïque en Afrique du Nord (Lüning et al., 2000). Corrélable à l'échelle de l'Afrique du Nord, la série schisteuse du Silurien est présente au nord-ouest de M'hamid El

Ghizlane retrouvée au niveau des forages et en affleurement aux alentours de la fameuse Oasis Sacrée d'Oum Laalag (Figs. 57 et 72).

Le géosite OUM-STR01 sélectionné au niveau de l'Oasis Sacrée se particularise par sa discordance, conséquence de dépôts fluviaux d'âge Quaternaire sur les schistes de Silurien (Fig. 72). Son intérêt scientifique réside dans ce contact discordant entre les deux successions sédimentaires qui résume une longue série d'événements géologiques. Il correspond à une lacune de plus de 250 millions d'années à savoir les événements géologiques des ères Secondaires et Tertiaire.



Fig. 72: A. Vue panoramique du géosite OUM-STR01 ; B. Vue de près de la discordance entre les dépôts péliques siluriens et les dépôts fluviaux du Quaternaire.

Ce géosite présente un potentiel éducatif autant qu'un exemple pédagogique qui illustre une discordance. Il permet de décrire le changement du contexte de dépôt ; en passant des argiles hémipélagiques à Graptolithes de milieu marin profond à un conglomérat déposé par un fleuve. Ce principe de stratigraphie peut être également divulgué aux touristes. Ceux-ci venant si nombreux lors de la haute saison, s'intéressent plus particulièrement à la source d'eau de Oum Laalag pour ce qu'elle présente comme un symbole d'oasis au cœur dans un désert. Ces visites touristiques guidées sont une bonne occasion pour mettre en valeur l'intérêt géologique du géosite OUM-STR01.

3.4.2. *Géosite hydrogéologique*

Plus qu'une réalité naturelle immanente, l'oasis est aujourd'hui définie de manière relationnelle désignant un lieu, un ensemble de pratiques et un mode sédentaire d'occupation de l'espace du désert (Garcier et Bravard, 2014). La forme ainsi que la fonction de l'Oasis Sacrée de Oum Laalag au niveau du parc national Iriqui diffèrent de celles des oasis au nord de M'hamid El Ghizlane où le terme oasis a été accolé aux palmeraies. A Oum Laalag, l'oasis correspond à une source d'eau qui s'individualise au sein du paysage désertique où règnent les dunes sableuses et les plateaux désertiques avec les végétaux d'acacia, témoins d'aridité.

S'étendant sur 15 ha à 50 km du village de M'hamid El Ghizlane, Oum Laalag a été retenue comme un géosite hydrogéologique dont la valeur scientifique est liée à sa représentativité d'une oasis naturelle comme un élément hydrogéologique dont l'eau jaillit à la surface (Figs. 57 et 73). Au niveau de la zone d'étude, ce géosite reste unique de son genre avec une nappe qui malgré la rareté de son eau, survit. Le géosite présente une grande valeur touristique, il s'agit de l'un des points incontournables dans les circuits touristiques au sud de M'hamid El Ghizlane proposés par les agences locales de tourisme. La forte fréquence que connaît Oum Laalag revient bien évidemment à cette source d'eau qui est l'élément le plus précieux dans l'environnement désertique, ce qui incite une attention à la préservation de la qualité de cette eau et d'autre part à la rationalisation de son exploitation.

Le géosite de l'Oasis Sacrée est lié à d'autres valeurs d'ordres mythique en reflétant l'image mythique de l'oasis ancré dans l'esprit des touristes de désert et historique en tant qu'une station sur l'ancienne route caravanière de Tombouctou, empruntée par les caravanes commerciales. Il présente également une valeur écologique qui renforce son intégration le parc national en englobant un espace de cultures et une réserve naturelle de la faune et de la flore.

3.4.3. *Géosites géomorphologiques*

Zagora est marquée par une longue histoire géologique et une série d'événements climatiques dont l'aridité est la dernière empreinte, qui est aujourd'hui considérée comme sa caractéristique essentielle qui détermine sa géomorphologie. Ce cercle est un étendu désertique caractérisé par son relief dunaire sableux et ses plateaux caillouteux des regs soumis aux actions de vent directes et de la thermoclastie.



Fig. 73: Géosite OUM-HYD02. A. Vue panoramique de l'Oasis Sacrée Oum Laalag. B. Cours d'eau de Oum Laalag.

a. Géosites relatifs aux regs

i. Processus de formation

Suite à son caractère aride qui est derrière la rareté d'eau et de la végétation, la zone d'étude est soumise à une érosion qui dépend essentiellement des processus éoliens et de la thermoclastie. Dans de telle zone désertique, la roche subit un très grand changement de température entre le jour et la nuit qui conduit à son exfoliation. Il s'agit d'un processus d'érosion courant dans la région qui participe à l'altération et au mouvement des masses rocheuses. Il consiste en une expansion et une contraction de la roche sous l'effet des cycles de réchauffement et de refroidissement (Jain, 2014). Ce processus est également connu sous le nom d'altération en pelure d'oignon (Jain, 2014), qui correspond à une altération par expansion thermique et insolation (thermoclastie) qui tend à desquamer les couches externes de la roche en réponse au changement de température. Les plaines rocailleuses qui en résultent sont dites regs.

Le vent étant un agent efficace que dans les régions arides, balaye ces surfaces désertiques en libérant les particules fines essentiellement par corrasion et accessoirement par déflation (Léon, 1931). Cette dernière élimine la fraction la plus fine (limons et sables) en la déplaçant et laisse sur place les un désert pavé d'éléments grossiers. Ces éléments sont caractérisés par une couleur sombre qu'ils acquièrent de la patine de désert. Il s'agit d'un vernis de roche correspondant à un

mince revêtement sombre (épaisseur $< 200 \mu\text{m}$) (Liu et al., 2000). Sa principale caractéristique est les teneurs élevées en fer et manganèse (Perry et Adams, 1978 ; Boizumault et al., 2010). Le sable mobilisé rentre dans le cycle dunaire et son évolution géologique, créant les vastes champs de dunes de la région (Léon, 1931).

ii. Identification du géosite

Le reg est un paysage très répandu dans la zone. Il s'agit de vastes étendus très représentatifs qui se répètent dans le paysage ce qui rend la sélection de géosites des regs, difficile. Ainsi on propose de retenir l'étendu du reg (Figs. 56 et 74) qui se situe entre les deux zones dunaires Erg Lihoudi et Erg Mezouaria étant qu'un géosite représentatif. Ce choix est basé sur le placement du site en raison de sa proximité de la route nationale qui lie les villages de M'hamid El Ghizlane et Tagounite et d'autres part de sa localité entre deux champs dunaires. Cette situation géographique lui donne des valeurs éducatives et géotouristiques en permettant d'expliquer le circuit des grains de sable entre ce dernier et les ergs avoisinants.



Fig. 74: étendu du reg traversé par des affluents d'Oued Draa.

b. Géosites relatifs aux dunes éoliennes

La formation des dunes éoliennes est un phénomène naturel qui se produit sous l'effet des mouvements du vent qui transporte les matériaux et les dépose de façon répétée. Elles se façonnent dans des modèles auto-organisés qui se développent au fil du temps comme la réponse des surfaces de sable au régime du vent (en particulier sa variabilité directionnelle) et l'approvisionnement en sable (Werner, 1995 ; Adnani, 2019). Ces dernières conçoivent une forme de relief majeure au sud de la ville de Zagora constituant des géosites potentiels décrits sous le thème géomorphologique de désert. L'unicité de leurs formes et leur grand volume constituent un paysage scénique remarquable, d'importance régionale et nationale.

On reconnaît des champs de dunes présentant une typologie complexe de dunes actives, semi-actives et stables. Selon la forme de dune, sa position et le nombre de ses faces d'avalanches,

critères déterminant de la géomorphologie des dunes, ces ergs abritent des différentes formes de dunes simples et complexes à savoir : des nebkas, des barkhanes (Fig. 75G), des barkhanoides (Fig. 75B), des dunes linéaires, dites également Seif ou longitudinales (Fig. 75B), des dunes étoile (Figs. 75 B-D-E) et des dunes transverses.

Ces ergs présentent des accumulations sableuses de grande taille de dizaines de mètres de hauteur. De vue, ils se distinguent entre eux par leurs hauteurs et leurs différentes couleurs. Ainsi, Erg Chgaga avec sa couleur qui tend vers le rouge et Erg Ezzehar, de couleur brune, sont les plus hauts de la zone. Quant à Erg Lihoudi est connu par sa couleur blanche et erg Lesmar par une couleur brunâtre, d'où son nom Lesmar qui signifie brun, beaucoup plus sombre que celle d'Erg Mezouaria. Cette diversification de couleur est due aux différentes fractions des minéraux composants (Barczuk et Dłużewski, 2008).

Erg Ezzehar se situe plus à l'est près des frontières maroco-algériennes, se particularise par ses quatre facettes d'avalanches, son phénomène de dune hurlante ainsi que les histoires mythiques que racontent la communauté locale afin d'expliquer ces phénomènes. Le phénomène de dune hurlant se manifeste quand le sable est complètement sec. Lorsque le sable se déverse en aval de la face la plus abrupte de la plus haute dune, on peut entendre un son semblable à la note basse d'un orgue ou au bourdonnement lointain d'un avion. Si la dune est humide (même si elle ne l'est pas au toucher), aucun son ne sera émis. La raison de ce phénomène est encore mal comprise, mais pourrait être due à la texture lisse des grains de sable secs bien triés et à leur frottement au mouvement (Dutta, 2016).

Les gens de la région disent que leurs ancêtres croyaient que ces dunes sont possédées par des djinns et qui sont eux derrières ces sons que produisent le sable. En ce qui concerne la forme de cet erg, on croit toujours qu'il y a une maison enterrée sous cette masse sableuse et c'est ce qui lui donne ses quatre faces.

Ces vastes champs dunaires sont une traduction de l'aridité du climat de la zone qui a été accompagnée de changements au niveau de la nature et de l'intensité des processus géomorphologiques au cours du quaternaire. Ils évoquent l'image du désert en présentant un faible pour les touristes nationales et internationales ce qui justifie l'intense activité touristique qu'ils connaissent bien qu'elles soient saisonnières. Toutefois, Ils sont aussi utilisés par les académiques. Ces derniers essayent de répondre aux nombreuses interrogations qui s'intéressent principalement aux sources d'alimentation de ces dunes, à leur morphologie, qui permettent de se renseigner sur les directions des vents, ainsi que celle de leurs grains de sable. De telles recherches permettent de se renseigner sur l'évolution de la géomorphologie de la zone. Par ailleurs, étant donné qu'il existe souvent une relation entre les reliefs et les matériaux géologiques sous-jacents, cela permet de prospector la source de ces matériaux. En outre, ces masses de sable sont en relations complexes avec la topographie, le climat et le substrat, en conséquence, elles constituent un patrimoine qui provient des conditions morpho-climatiques d'où leur pertinence scientifique.

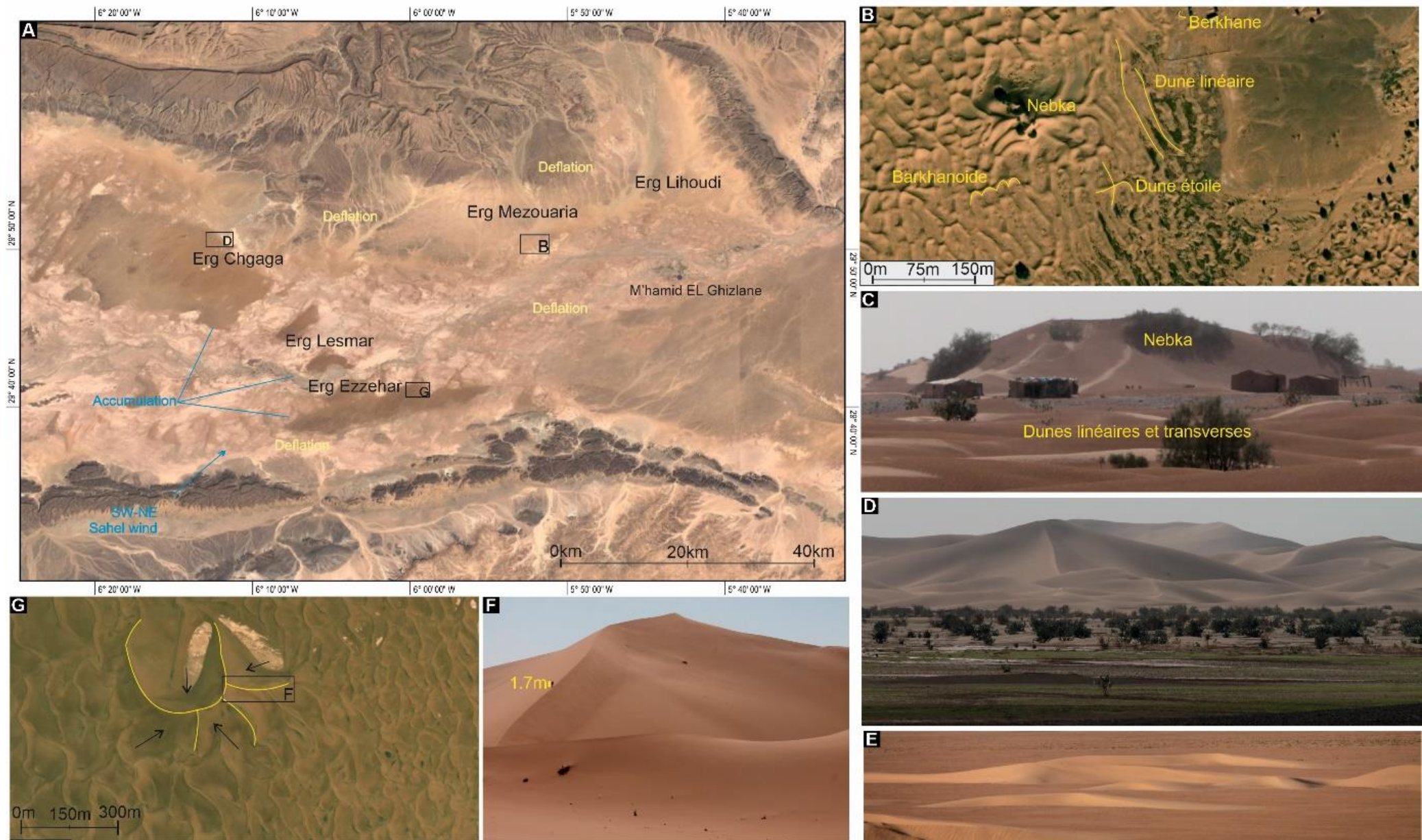


Fig. 75: A. Carte de la distribution des géosites géomorphologiques des ergs à M'hamid El Ghizlane. B. Image d'Erg central Mezouaria. C. Vue panoramique d'Erg central Mezouaria. D. Vue panoramique d'Erg central Chgaga. E. Des barkhanes à Erg Lihoudi. F. Vue panoramique de la face SE d'Erg Ezzechar. G. Image d'Erg central Ezzechar

3.4.4. Sites à géodiversité

a. Site à géodiversité géomorphologique

La zone d'étude est soumise à divers problèmes environnementaux qui ont provoqué la dégradation de ses terres. Comptant parmi ceux-ci les changements spatio-temporels de la végétation dans les oasis (Ben Taleb, 2008 ; Ait Hamza et El Faskaoui, 2010; Ait Lamqadem et al., 2017) et les actions éoliennes intensives qui se manifestent par des occurrences fréquentes de tempêtes de sable et de poussière. Ceci dicte le besoin d'une compréhension régionale de l'ampleur des processus éoliens, de leur comportement avec les établissements, et de leurs impacts à long et court terme. La comparaison entre la nature et la distribution des surfaces saleuses montre des changements significatifs qui reflètent le travail des processus éoliens pendant les dernières décennies (Dłużewski, 2003 ; 2008). L'impact direct du renforcement de l'action éolienne est représenté par l'augmentation du taux de transport des sédiments et par conséquent les avancées de sable.

L'avancée de sable représente un sérieux problème pour les activités humaines et les infrastructures (Fig. 76A-B). Afin d'y remédier, la population locale fait recours à des techniques de fixation des dunes qui respectent son environnement (Fig. 76C).

tempêtes de sable et de poussière.



Fig. 76: A. Sable envahissant un hôtel. B. Sable envahissant la palmeraie de M'hamid El Ghizlane. C. Site à géodiversité. Utilisation des plantes locales pour bloquer l'avancement de sable au niveau de la route nationale qui mène à M'hamid El Ghizlane.

Le site à géodiversité MHA-GEO01 est un exemple pédagogique à valeur éducative qui illustre la lutte contre cette avancée de sable. Il s'agit de la fixation de sable en utilisant des plantes locales afin d'éviter toute introduction étrangère qui pourrait causer d'autres problèmes environnementaux. Quoique cette technique paraisse simple, elle s'avère efficace en bloquant le sable et l'empêcher d'envahir la route goudronnée. Ce site permet de transmettre des connaissances par rapport au phénomène de la désertification qui est un problème environnemental majeur dans la région. Ainsi, cela devrait contribuer à la sensibilisation et au rappel des jeunes locaux et des visiteurs étrangers de ce phénomène qui s'impose suite aux conditions climatiques et s'aggrave à cause de mauvaises conduites anthropiques. D'autre part le site est un bon exemple pour démontrer le rôle des obstacles, particulièrement la végétation, dans l'atténuation de la vitesse de transport du vent conduisant au dépôt de sa charge au niveau de cet obstacle.

b. Sites à géodiversité à valeur archéologique

Le Maroc compte de nombreux sites préhistoriques d'industrie lithique enregistrés dans plusieurs régions, aussi bien dans les zones côtières que dans l'arrière-pays (Raynal et al., 2001 ; Hublin et al., 2017 ; entre autres). Attribués à des périodes allant de l'Acheuléen au Néolithique, ces sites préhistoriques contribuent à la compréhension de l'histoire de l'Homme au Maroc et dans le monde à travers le temps (Camps et Riser, 1978). Dans le sud-est du Maroc, les sites acheuléens sont préservés dans les différents dépôts quaternaires et reliefs géomorphologiques (Camps et Riser, 1978). L'industrie lithique de ceux-ci a permis la datation des regs et des dunes de sable quaternaires du sud marocain (Choubert et Faure-Muret, 1983). A Zagora, les matériaux gréseux et quartzitiques des terrasses de la vallée du Draa ont été utilisés pour fabriquer divers outils lithiques (Ex : Fig. 77). Leur étude se résume dans l'étude de leurs chaînes de production ou à leur étude typologique, lorsqu'il s'agit de sites de surface (Boudad et Guislain, 2012). De nos jours, l'importance de ces outils se traduit par leur utilisation pour déterminer la chronologie des terrasses quaternaires (Camps et Riser, 1978). Les deux sites à géodiversité investigués (PAL-LIT01 et PAL-LIT2) sont situés au niveau des moyennes terrasses en dessous des géosites fossilifères d'ordovicien inférieur TER-PAL03 et BEN-PAL01. Ces sites archéologiques sont attribués à l'âge Tensiftien (équivalent de l'Acheuléen moyen) (Tableau 19). La Figure 78 montre quelques outils prélevés à l'échelle du géosite BEN-LIT2, des galets taillés en quartzite brun, ce sont des bifaces avec des arrêts émoussés.

Tableau 18: Distribution chronologique des sites lithiques. Chronologie de l'industrie lithique au Maroc selon Biberson, 1966.

Quaternaire	Cycle sédimentaire continental	Industries préhistorique
	Rharbien	Néolithique
	Soltanien	Iberomaurusien Atérien Moustérien
	Pré-soltanien	Acheuléen final Acheuléen évolué
	Tensiftien	Acheuléen moyen
	Amirien	Acheuléen ancien
	Salétien	Pré-Acheuléen évolué



Fig. 77: Quelques outils archéologiques bifaces retrouvés au niveau du site à géodiversité BEN-LIT2.

Chapitre 2 : Evaluation quantitative

1. Introduction

Le précédent chapitre a permis de mettre en évidence la richesse de la zone d'étude en termes de géodiversité et de géopatrimoine liée d'une part, à sa position sur la bordure nord-ouest du craton ouest-africain et d'autre part, à l'interaction de cette géodiversité avec les processus naturels de l'érosion. Cette longue géohistoire fait de la zone une région clé pour interpréter la paléo-biogéographie de la Terre au cours des périodes les plus critiques et bien entendu l'évolution de sa géomorphologie sous les conditions climatiques actuelles. Néanmoins, et afin de préparer ce territoire à devenir un futur géoparc conformément aux conditions établies par l'UNESCO, une analyse quantitative s'impose permettant d'évaluer et de comparer les géosites à l'aide d'indicateurs. Celle-ci réduit ainsi l'inévitable subjectivité associée à toute procédure d'évaluation et en rend les résultats comparables.

De ce fait, en employant la méthode de Brilha (2016), ce chapitre est dédié à l'évaluation quantitative de la valeur scientifique des géosites préalablement identifiés, par la suite l'évaluation quantitative des potentiels géo-éducatif et géotouristique de ces géosites et des autres sites à géodiversité sélectionnés. L'évaluation du potentiel d'utilisation de ces sites dans le domaine de la géo-éducation et du géotourisme est une tâche importante qui a été prise en considération afin d'améliorer et de rationaliser leur utilisation. Cette évaluation est accompagnée de descriptions qui mettent l'accent sur les plus faibles et les plus fortes valeurs obtenues de chaque critère.

2. Evaluation quantitative de la valeur scientifique des géosites

L'évaluation quantitative des géosites sélectionnés a donné des valeurs scientifiques moyennes à hautes (Tableau 20). Les grandes valeurs décrites ici sont liées principalement à des valeurs élevées d'absences de limites d'utilisation, de représentativité, d'intégrité et de connaissances scientifiques publiées à leur propos.

2.1.Représentativité

Les valeurs du critère de la représentativité sont faibles à fortes :

- Les géosites paléontologiques décrits dans le présent travail présentent une faune diversifiée et riche qui constitue l'une des preuves les plus importantes de l'existence d'une faune marine diversifiée témoin du Grand événement de diversification de la biodiversité de l'Ordovicien (The GOBE), ainsi qu'un élément pour comprendre l'essor et le développement de la vie marine pendant une période critique de l'histoire de la Terre. Ces caractéristiques témoignent de la valeur scientifique globale des géosites décrits ici avec des valeurs importantes de représentativité. La plus haute valeur de représentativité attribuée au géosite TIZ-PAL01 tient en compte le fait qu'il a fourni les plus importantes découvertes de fossiles de Fezouta Konservat-Lagerstätte.
- TER-STR01 et TER-STR02 représentent des discontinuités stratigraphiques et sédimentaires qui marque la fin du premier cycle sédimentaire ordovicien du Trémadoc-Aréniq.
- L'anticlinal de Tafena met en évidence l'interférences des plis auxquels avait conduit la déformation hercynienne dans la zone.

- Les géosites TAG-GEO02 et TAG-GEO003 représentants de la cuesta de Jbel Bani, tiennent leur haute valeur du fait qu'ils permettent une bonne visualisation de cette morphologie qui domine le paysage de la zone
- Les géosites FOL-STR01 et TIN-STR01 relatifs aux paléo-tunnels vallées mettent en évidence la glaciation fini-ordovicienne et exemplifient la structure et le remplissage sédimentaire des vallées tunnel sous-glaciaires. A une échelle nationale, ils se distinguent par la morphologie de leurs vallées tunnel qui est un réseau de vallée de taille réduite. Cette distinction de morphologie souligne l'intérêt de Fom Larjamme et Tizi N'Tazzounghart dans la comparaison régionale des vallées tunnel de l'Hirnantien, et donc des processus responsables de leur formation.
- Le géosite OUM-STR01 illustre la discordance entre les terrains paléozoïques et quaternaires marquant la lacune méso-cénozoïque dans la zone. La haute valeur que présente le site OUM-HYD01, la tient de sa représentativité d'une oasis naturelle étant un élément hydrogéologique dont l'eau jaillit à la surface.
- Les géosites ELI-GEO02, ELI-GEO01, EMEZ-GEO01, ECH-GEO01, ELE-GEO01 et EEZ-GEO01 sont des sites représentatifs des géomorphologies de regs ergs, permettant de mettre en évidence l'action du vent dans la zone. Les géosites relatifs aux ergs sont des accumulations de sable suivant des formes qui traduisent la dominance des directions de ce vent. Le géosite d'Erg Ezzehar présente la plus haute valeur par rapport aux autres vue qu'ils s'individualise par le phénomène de dune hurlante.

Tableau 19: Evaluation quantitative de la valeur scientifique des géosites.

Géosite	Critère							Total pondéré
	Représentativité	Localité clé	Connaissances scientifiques	Intégrité	Géodiversité	Rareté	Limitations d'utilisation	
TIZ-PAL01	4	4	4	4	1	1	4	300,4
TER-PAL01	1	2	4	1	1	1	4	125,4
TER-PAL02	2	2	4	1	1	1	4	155,4
TER-PAL03	2	2	4	4	1	1	4	200,4
BEN-PAL01	2	2	4	4	1	1	4	200,4
BEN-STR02	4	1	0	2	1	4	4	235,4
BEN-STR03	4	1	0	2	1	4	4	235,4
TAF-STR01	4	0	0	4	2	2	4	220,4
TAG-GEO02	4	0	0	4	1	2	4	215,4
TAG-GEO03	4	2	4	4	1	2	4	275,4
TAG-GEO01	2	1	0	4	4	1	2	175,2
FOL-STR01	4	2	4	4	4	2	4	290,4
TIN-STR01	4	2	4	4	4	2	4	290,4
OUM-STR01	4	0	0	4	1	2	4	215,4
OUM-HYD02	4	0	0	2	1	4	4	215,4
ELI-GEO02	2	0	0	4	1	1	4	140,4
ELI-GEO01	2	1	4	4	1	1	4	180,4
EMEZ-GEO01	2	1	4	4	1	1	4	180,4
ELE-GEO01	2	1	4	4	1	1	4	180,4
EEZ-GEO01	4	1	4	4	1	4	4	285,4
ECH-GEO01	2	1	4	4	1	1	4	180,4

2.2. Localité clé

L'évaluation quantitative de ce critère a abouti à des valeurs nulles à moyennes. Les valeurs moyennes sont attribuées aux géosites des affleurements de la Formation de Fezouata, à l'exception du TIZ-OAL01, et aux vallées tunnel de Fom Larjamme et Tizi N'Tazzounghart. Concernant les géosites de Fezouata, ils sont une référence pour la reconstitution de la vie marine du début d'Ordovicien. Ils ont été considérés dans plusieurs publications comme des localités clés pour la compréhension de la paléo-biogéographie et de la paléoécologie, ainsi que de la période transitoire Cambrien Ordovicien. En ce qui concerne le géosite fossilifère de Jbel Tizagzaouine, il a été noté de 4 vue qu'il est classé parmi les cent premiers sites du patrimoine géologique" désignés par l'IUGS en 2022.

Au sujet des deux sites FOL-STR01 et TIN-STR01 présentent une localité clé internationale pour la reconstruction de la paléogéographie qui relie la région aux zones voisines nationales et internationales. La cartographie du remplissage sédimentaire de leurs paléo-vallées a permis une compréhension globale de la paléogéographie et du paléoclimat du continent de Gondwana.

2.3. Connaissances scientifiques

Les valeurs obtenues sont fortes ou nulles au cas d'absence de publications scientifiques à propos des géosites, directement liés au cadre géologique considéré. L'ensemble des géosites liés aux schistes de Fezouata, les vallées tunnel de Fom Larjamme et Tizi N'Tazzounghart ainsi que les géosites des ergs présentent une valeur importante suite aux publications dédiées à leurs sujets dans des revues internationales.

2.4. Intégrité

La plupart des géosites étudiés dévoilent une grande valeur d'intégrité. A l'égard des géosites TER-PAL01 et TER qui ont une faible valeur, cela est dû à leur localité. Dans le cas du géosite TER-PAL01, il est situé dans une zone reliant un site géotouristique avec la route nationale goudronnée. Ainsi cette partie de la plaine de Ternata est très fréquentée par les véhicules tout terrain. Quant au géosites TER-PAL02, il se situe tout près de cette route goudronnée. Cette proximité a été derrière sa découverte et par conséquent la surexploitation de son patrimoine fossilifère. En ce qui concerne TER-PAL03 et BEN-PAL01, leur grande valeur est grâce à leur situation loin de toute activité anthropique ce qui les a protégés pour rester plus ou moins intacts.

2.5. Géodiversité

La majorité des sites présentent des faibles valeurs en termes de géodiversité, mis à part TAG-GEO04, FOL-STR02 ET TIN-STR01. Ces faibles valeurs sont justifiées par la restriction d'éléments géologiques ayant une pertinence scientifique dans deux types distincts.

2.5.1. *Géodiversité des géosites des paléo-vallées tunnel*

Les vallées tunnel de Fom Larjamme et Tizi N'Tazzounghart présentent la plus importante valeur en termes de diversité géologique (Fig. 78). Elle est héritée de différents événements géologiques : (i) les grès et ses éléments sédimentologiques, stratigraphiques et paléontologiques, témoins des paléo-environnements de l'Ordovicien supérieur (avant et pendant le climat glaciaire); (ii) la fracturation de ces grès sous les événements tectoniques

postérieurs ; et (iii) leur restructuration en raison du climat aride actuel de la région. Les premiers aspects donnent au site son caractère stratigraphique, sédimentologiques et paléogéographiques, car ils ont fourni des informations précieuses pour décrire et interpréter l'environnement de leur dépôt. Alors que le dernier présente l'interaction continue entre le géosite et le processus naturel d'érosion.

a. Caractéristiques sédimentologiques et stratigraphiques

Au cours du Paléozoïque, la sédimentation dans l'Anti-Atlas était assez continue montrant quelques discordances mineures qui décrivent le niveau de la mer et les changements climatiques (Burkhard et al., 2006). L'événement de glaciation Hirnantien peut être considéré comme le plus important de ces derniers. Il est décrit dans les conglomérats du groupe du deuxième Bani (Sutcliffe et al., 2000 ; Ghienne, 2003 ; Legrand, 2003) et les discordances érosives associées (Burkhard et al., 2006). Leurs unités stratigraphiques présentent des caractéristiques sédimentologiques et stratigraphiques qui pourraient être d'une grande importance pour promouvoir la géo-éducation et le géotourisme à Foum Larjamme.

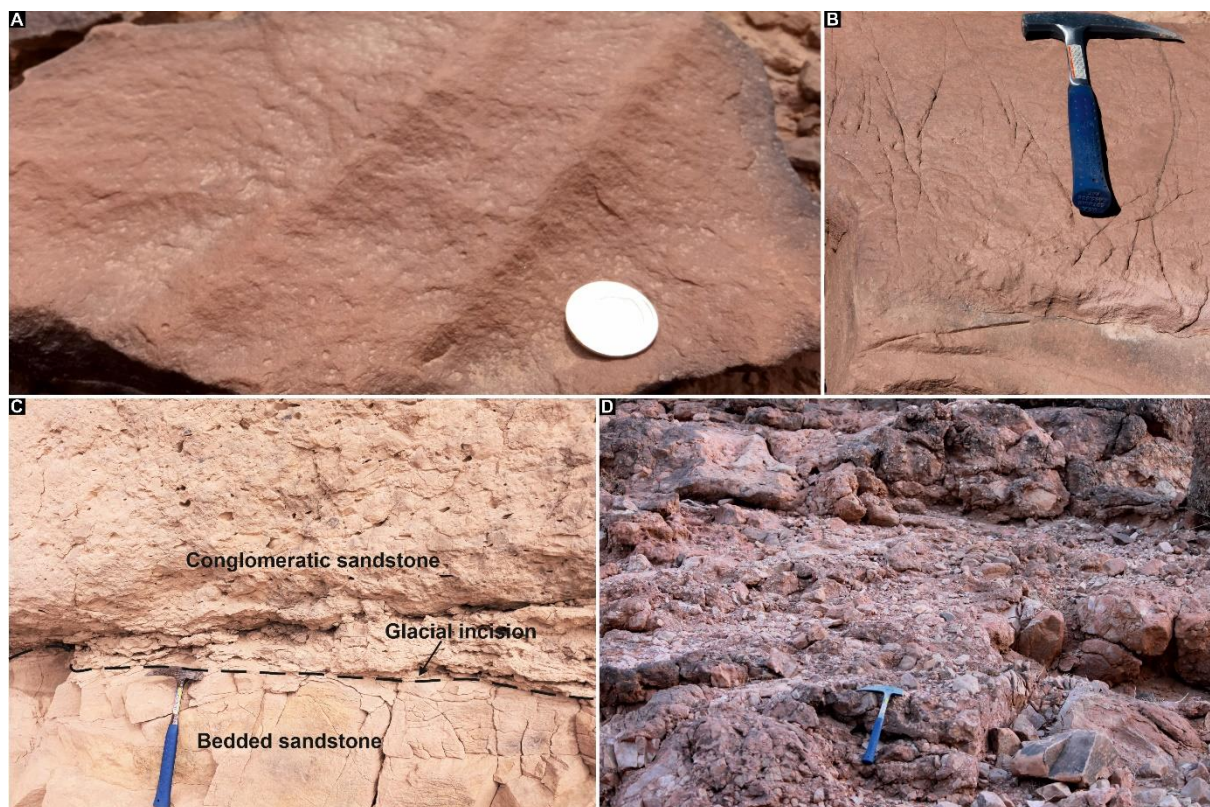


Fig. 78: A. Rides de courant ; B. Grès affecté par un réseau de micro-failles ; C. Dépôts de grès conglomératique au-dessus de l'incision glaciaire ; D. Unité conglomératique sous-glaciaire.

- Structures à litages croisés

Les principaux dépôts du géosite sont des grès avec une variété de litage croisé (Fig. 79) qui ont été étudiés et interprétés afin de déterminer l'environnement de dépôt. Il s'agit de structures primaires communes des roches sédimentaires clastiques qui se forment lors de déplacement et de dépôt de sédiments sur une pente originale sous l'effet du vent dans les régions terrestres et d'eau dans le milieu marin (Peterson, 1958). Elles sont donc utilisées dans la reconstitution de la paléogéographie, permettant de déterminer la direction d'origine du sédiment et donc d'obtenir des indications sur la direction dans laquelle s'attendent à des changements dans la

texture, la composition et l'épaisseur des strates des strates (Brett, 1955). Il existe trois types de litage croisé classés par McKee et Weir (1953): planaire, simple et en auge (Tableau 21).

Tableau 20: Description et interprétation des structures de litage croisé.

Stratifications obliques et entrecroisées	Description générale	Intérêt	Interprétation FOL-STR01 et TIN-STR01
Lamination plane	Les Laminae sont des strates de moins de 10mm d'épaisseur (McKee et Wear, 1953), elles résultent de variations dans la texture et/ou la composition des sédiments. D'autres peuvent être reconnaissables grâce à une différence prononcée de couleurs (Bridge, 1978).	Leur origine dépend de la taille des sédiments et peut se produire dans différents environnements de dépôt de différentes manières (Bridge, 1978).	Générées dans des grès à grains fins et moyens bien triés, dans un environnement de haute énergie, en surface du rivage (Sutcliffe et al., 2001).
Stratification en auge	Arrangement des sédiments déposés à un angle par rapport à l'orientation dominante de la stratification, formé par la migration des dunes de sable ou des rides dans un environnement sub-aréal ou subaquatique (Allen, 1982).	Fournit des informations sur le paléo-environnement, (l'environnement de dépôt, les paléocourants et les conditions environnementales au moment du dépôt (ex: Sheikh et al., 2006 ; Allen et Fielding, 2007).	- Dunes subaquatiques formées au-dessus de la base des vagues de beau temps dans des grès à grains fins à moyens, avec des orientations variables (Sutcliffe et al., 2001). - Dunes formées par des courants à haute énergie dont la vitesse est fluctuante et décroissante (Sutcliffe et al., 2001) dans du grès grossier-conglomératique où les ensembles transversaux sont définis par l'intercalation de couches grossières et fines.
Hummocky Cross-Stratification (Fig. A, B)	Prend la forme d'un sourire, consistant en des laminae internes de dômes convexes vers le haut (hummock) qui se transforment latéralement en "swales" concaves vers le haut caractérisant la sédimentation par un courant oscillant produit par des vagues de tempête énergiques (Mulder et al., 2009).	Ses caractéristiques (taille, longueur d'onde) sont utilisées pour renforcer les interprétations environnementales (Mulder et al., 2009).	Dépôt au-dessus de la base des vagues de tempête par des courants ayant une composante oscillatoire (Sutcliffe et al., 2001).

- Bioturbation, fossiles et ichno-fossiles

La bioturbation correspond à la perturbation des tissus sédimentaires par les activités des organismes vivants générant des structures biogènes comme les terriers, les pistes et les sentiers (Pemberton, 1978). Ses caractéristiques sont intéressantes comme elle fournit des informations supplémentaires sur les événements et les taux de dépôt et la fermeté du substrat (Schieber, 1978). Le lien étroit entre les traces fossiles et les conditions environnementales, prévalant au moment de leur formation, les rend exceptionnels en représentant non seulement la morphologie et l'éthologie de l'organisme créateur de la trace mais aussi les caractéristiques physiques du substrat (Pemberton, 1978). Les grès de la formation inférieure du deuxième Bani montrent quelques structures sédimentaires biogéniques telles que les ichno-fossiles d'Hirnantia et les terriers. En effet, l'apparition et l'extinction de la faune des brachiopodes d'Hirnantia ont indiqué les changements environnementaux liés à la glaciation de l'Ordovicien supérieur relatif au niveau de la mer (Sutcliffe et al., 2001).

- Rides de courant

Elles constituent l'une des structures les plus courantes des roches sédimentaires que l'on trouve à la fois dans les sédiments récents et anciens, bien qu'elles soient rarement identifiées dans les sédiments boueux (Reineck et Singh, 1980). Elles peuvent être symétriques ou légèrement asymétriques, générés sous l'effet de l'interaction entre les vagues ou les courants oscillants et la surface des sédiments (Reineck et Singh 1980). Dans les géosites sélectionnés, elles sont rencontrées dans du grès fin (Fig. 78A) indiquant une sédimentation d'action des vagues de beau temps (Sutcliffe et al. 2001).



Fig. 79: Types de stratifications à Foug Larjamme ; A-B. Grès à Hummocky cross-stratification (Hummocks et Swales de grande taille) ; C. Grès à litage croisé de la formation inférieure de Deuxième Bani. D. Grès à stratification parallèle de la formation supérieure de Deuxième Bani. E. Schéma de stratification parallèle.

- Micro-failles et hydrofracturation

Les micro-failles sont l'une des déformations sédimentaires à micro-échelle associées aux sédiments glaciaires (Menzies, 2000). Il s'agit d'un déplacement local qui indique le réajustement de ces sédiments ou leur cisaillement sous une contrainte qui dépasse leur résistance (Menzies et Meer, 2018). Leur importance dans l'environnement sub-glaciaire réside dans leur influence des propriétés des réservoirs car ils affectent les processus diagénétiques ultérieurs (Clerc, 2012).

De même que les vallées-tunnels créées pendant la glaciation hirnantiennne (par exemple, Glover et al., 2000 ; Denis et al., 2010 ; Clerc et al., 2013 ; Ravier et al., 2015), la pile sédimentaire du creux de Tagounite présente un réseau de micro-failles (Fig. 78B). Elles ont été définies comme des événements de fractures cassantes dues aux contraintes appliquées par les fluides (Denis et al. 2010) et le surpoids de la nappe glaciaire sur les sédiments (Beuf et al., 1971 ; Bijou-Duval et al., 1974 ; Denis et al., 2010 ; Clerc et al., 2013 ; Ravier et al., 2015).

- Conglomérat et grès conglomératique

Les conglomérats sont des roches sédimentaires clastiques constituées de plus de 30% de clastes grossiers arrondis lithifiés, dont le diamètre excède 2 mm, dans une matrice de sédiments à grain fin (Friedman, 1978). Leur classification peut être basée sur (i) la taille moyenne de leurs clastes, (ii) le type de matrice et (iii) l'âge du sédiment. Lorsqu'un conglomérat contient moins de 30% de graviers, il est dit grès conglomératique (Fig. 78C) ou mudstone conglomératique (Folk, 1954).

Par opposition aux grès, les conglomérats restent beaucoup moins abondants dans les enregistrements sédimentaires, cependant, ils sont d'une importance significative. Ils reflètent les types de roches de la zone d'origine et fournissent des informations sur le sur l'environnement de dépôt ainsi que sur l'origine du matériau de leur matériau de gravier (Bourgeois et Leithold, 1984; Mangold et al., 2016).

Au fond des paléo-vallée de TIN-STR01 et FOL-STR01, les conglomérats constituent une unité discontinue (Fig. 78D) avec des clastes encastrés dans une matrice sableuse grossière, déposés à la marge de la glace près de la sortie des vallées sous-glaciaires (Ravier et al., 2015).

- Discordances

Les événements transgressifs majeurs du Paléozoïque inférieur et la glaciation de l'Ordovicien supérieur qui caractérisent la période la plateforme de la Gondwana septentrional sont soulignés par des discordances d'origine tectonique, eustatique et climatique (Ghienne et al., 2013). La discordance érosive de l'Ordovicien supérieur sous la calotte glaciaire, qui coiffe la formation inférieure du groupe deuxième Bani (Fig. 80), reste la plus importante après la pénéplanation de la chaîne panafricaine du nord de l'Afrique (Jacqué, 1962 ; Beuf et al., 1971 ; Le Heron et Craig, 2008). Elle a été corrélée au niveau de l'Afrique du Nord à savoir le Maroc (y compris le creux de Tagounite, auquel appartient nos géosites), l'Algérie et la Libye occidentale et orientale (Le Heron et Craig, 2008). Dans les vallées tunnel de Fouta Larjamme, l'érosion subglaciaire de l'Ordovicien supérieur a entaillé la Formation inférieure du deuxième Bani via son interaction avec les eaux de fonte (Le Heron, 2016). Formant une base ondulante des vallées, cette discordance peut être cartographiée le long de son remplissage sédimentaire (Fig. 78C). L'estimation de la profondeur de cette incision glaciaire peut être délimitée par les lits latéralement extensifs de grès (Fig. 80) (Ravier et al., 2015).

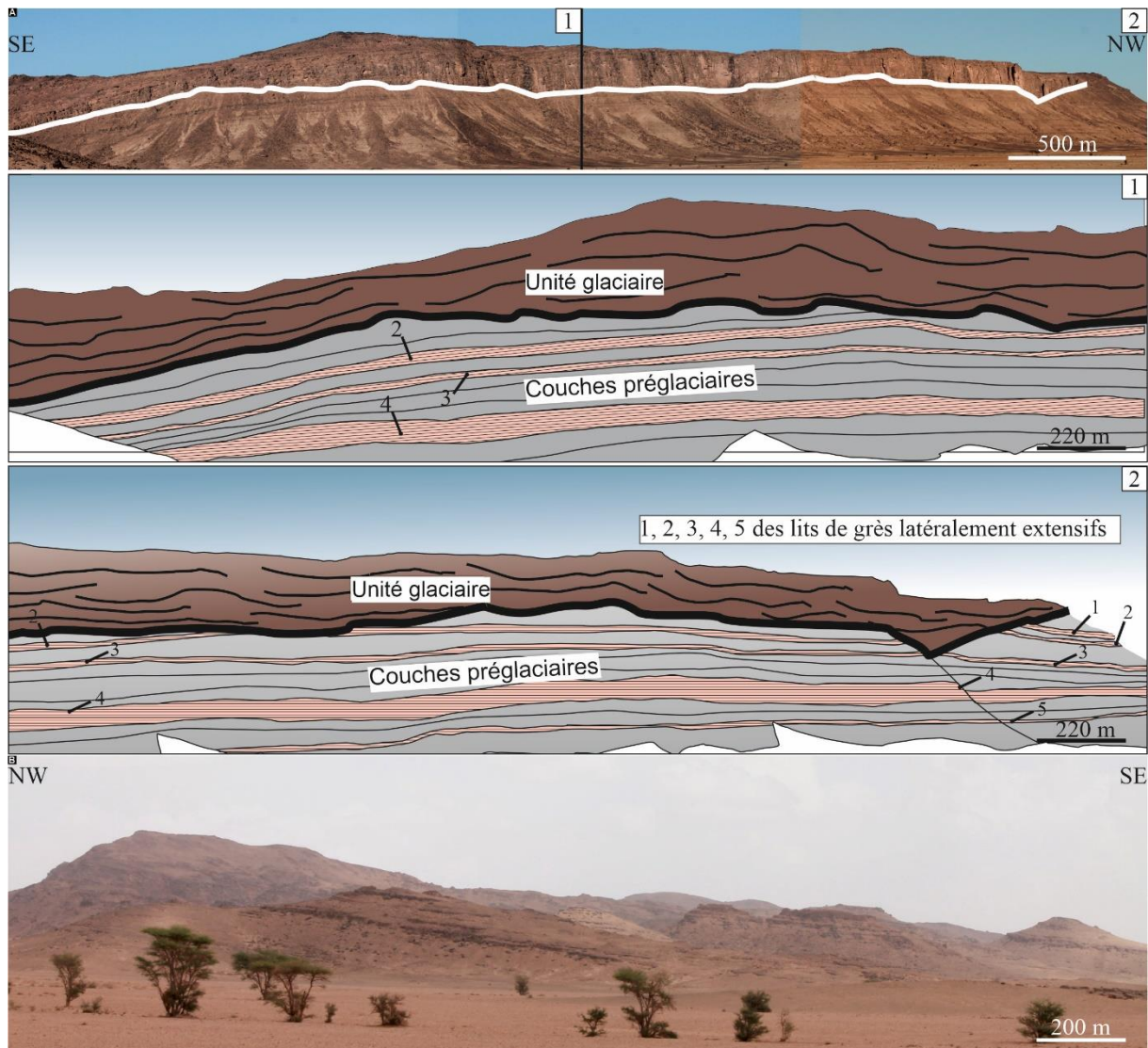


Fig. 80 : A. Vue panoramique SE-NW de la vallée du tunnel de Foug Larjamme permettant de suivre la profondeur de l'incision glaciaire en suivant les cinq lits de grès latéralement étendus comme marqueurs ; 1, 2 : Schémas interprétatifs de la vue panoramique. B. Vue panoramique NW-SE du géosite.

b. Caractéristiques géomorphologiques

D'un point de vue géomorphologique, le relief des géosite est en évolution sous l'effet de la présence de familles de diaclases combinées aux plans de litage (Fig. 81A) et de l'altération physique (Fig. 81B) qui a conduit au détachement de débris et de blocs, et par conséquent la dégradation et la réduction de la résistance des matériaux de pente (Matsukura, 2013).

- Diaclases et chute de rocher

Les diaclases sont des fractures extensives représentant des plans de séparation sur lesquels aucun déplacement de cisaillement détectable n'a eu lieu. Elles sont la caractéristique la plus commune des fractures des roches fragiles, facilitant le transport des fluides et contrôlant la physiographie de nombreux reliefs spectaculaires (Pollard et Aydin, 1988). Ils représentent des flux privilégiés pour les fluides tels que le gaz, les hydrocarbures et l'eau, d'où leur intérêt économique (Ouanaimi, 2004).

Dans l'Anti-Atlas, la série paléozoïque est soumise à six familles de diaclases, développées en raison de la superposition de la déformation hétérogène hercynienne et de la mise en place des grands dykes jurassiques (Ouanaimi, 2004). Les familles de diaclases présentent différentes directions structurales mesurées régionalement. L'intensité et la prédominance de chaque

famille varient d'un site à un autre. Cependant, il n'y a pas de réseau avec des directions bien définies qui peuvent être attribuées à la déformation hercynienne (Ouanaimi, 2004, Fadli et al., sous presse). Il s'agit d'une condition structurale qui influence la stabilité de la masse rocheuse (Fig. 81A) et qui contribue à la chute de roches de différentes tailles à Foum Larjamme comme à Tizi N'Tazzounghart (Tableau 21).

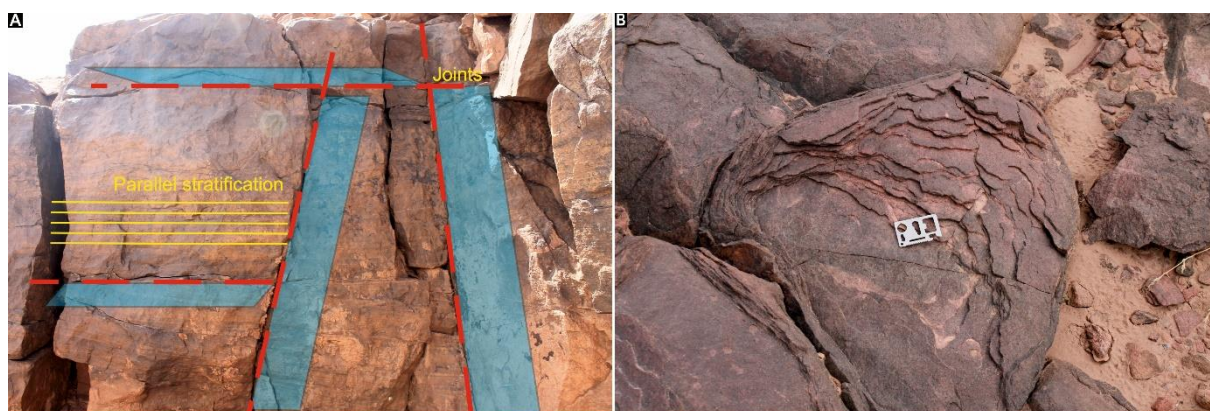


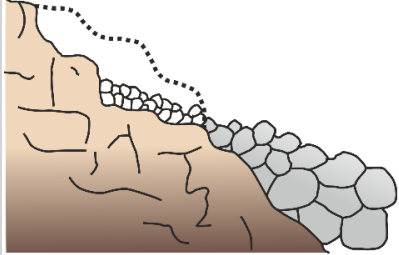
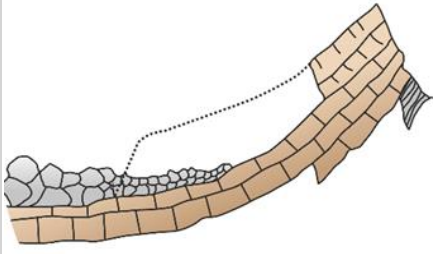
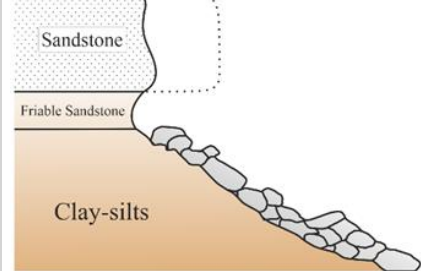
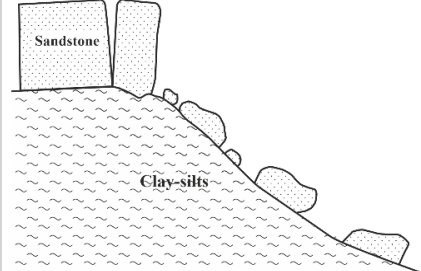
Fig. 81: A. Grès stratifié fracturé par des familles de diaclases. B. Erosion en pelure d'oignon affectant les grès du géosite.

Les chutes de rochers sont décrites comme de petits mouvements de masse limités à une seule roche ou à un détachement de masse rocheuse relativement petit (Selby, 1982 ; Corominas et al., 2017). Elles se produisent régulièrement lorsqu'un ou plusieurs blocs tombent, rebondissent, glissent ou dévalent une pente. Sur une pente d'éboulis, un bloc qui tombe peut dépasser le bord de la pente et s'arrêter à une certaine distance de la base de la pente. Les chutes de blocs constituent le plus grand danger pour les zones environnantes d'une pente et leur comportement incertain est un défi majeur pour évaluer le risque d'effondrement (Evans et Hungr, 1993 ; Pradhan et Fanos, 2017). En plus de leur contribution dans l'évolution topographique, le processus de chute de rochers présente des risques pour les visiteurs, ce qui lui confère une pertinence dans l'ingénierie géotechnique (Mignelli et al., 2012). En plus de la nature lithologique sous la discordance glaciaire aux creux de Tagounite, la Formation inférieure du Deuxième Bani est caractérisée par une alternance de lits de grès à grains fins altérés et de siltite argileuse (Ravier et al., 2015). Ces conditions offrent l'opportunité d'apprendre à l'air libre les différentes instabilités liées aux effondrements et aux chutes de blocs (Tableau 22), ce qui augmente l'intérêt pédagogique FOL-STR01 et TIN-STR01 et leur confère une dimension scientifique supplémentaire.

- Erosion en pelure d'oignon

En plus de la prédominance des plans de litage et des diaclase, l'évolution de la morphologie des deux géosites dépend aussi du climat aride qui caractérise son environnement géographique. Dans de telle zone, la roche subit un changement de température très important entre le jour et la nuit, ce qui conduit à son exfoliation (Fig. 81B). Il s'agit d'un processus d'érosion courant dans la région, impliqué dans l'altération et le mouvement des masses rocheuses. Ce processus est également connu sous le nom d'érosion en pelure d'oignon (Jain, 2014) correspondant à l'altération par expansion thermique et insolation qui tend à peler les couches externes de la roche en réponse au changement de température. Il consiste en une expansion et une contraction de la roche sous l'effet des cycles de réchauffement et de refroidissement (Jain, 2014).

Tableau 21: Description des types d'instabilités naturelles des pentes au niveau du géosite de Foug Larjamme.

Types des chutes de rochers	Causes naturelles	Dessin descriptif	Vue sur terrain
Dislocation par altération interne	Dislocation d'une masse rocheuse reliée par une altération interne (Goodman et Kieffer, 2000). Ceci est clairement visible dans les bancs de grès à travers les nombreuses diaclases et fractures.		
Glissement de bloc	Glissement banc sur banc de masse rocheuse stratifiée (Goodman et Kieffer, 2000). Ce phénomène se produit sous l'effet du poids du pendage et de l'intercalation des grès avec les limons argileux qui peuvent jouer le rôle d'une couche savonneuse en période pluvieuse et faciliter le glissement.		
Effondrement du surplomb	Effondrement des masses suspendues par érosion ou dislocation des couches molles sous-jacentes (Goodman et Kieffer, 2000). Il en résulte une altération des silts argileux créant un vide sous les grès fracturés.		
Renversement	Dans les formations rocheuses, les mouvements de reptation sont appelés fauchage et caractérisés par un basculement ou un renversement des sommets de couches rectilignes (proches de la verticale). Le fauchage est susceptible d'évoluer vers un effondrement ou une chute de blocs (Goodman et Kieffer, 2000; Rabah, et al., 2015). Ce phénomène affecte les grès fracturés qui exercent un poids excessif sur la formation limono-argileuse sous-jacente, créant une reptation qui affaiblit la stabilité des blocs de grès.		

2.5.2. Géodiversité du géosite de Tafena

Les éléments de la géodiversité du géosite TAF-STR01 sont de type structural, sédimentologique et géomorphologique, ce qui accroît également son potentiel éducatif et touristique. De point de vue géomorphologique, le géosite constitue une cuesta (Fig. 82). Alors que sa valeur sédimentologique correspond à l'héritage sédimentaire (Fig. 59 C-D-E) de sa position paléogéographique sur la plate-forme du nord de Gondwana au cours d'Ordovicien moyen. Les séries ordoviciennes sédimentaires de Tafena sont essentiellement constituées de grès souvent bioturbés (Figs. 83A-B et 84) présentant un musée ichnologique. Ceux-ci sont associés à des environnements marins de plate-forme tantôt dominés par l'énergie tidale ou par la houle et les tempêtes (Marante, 2008).

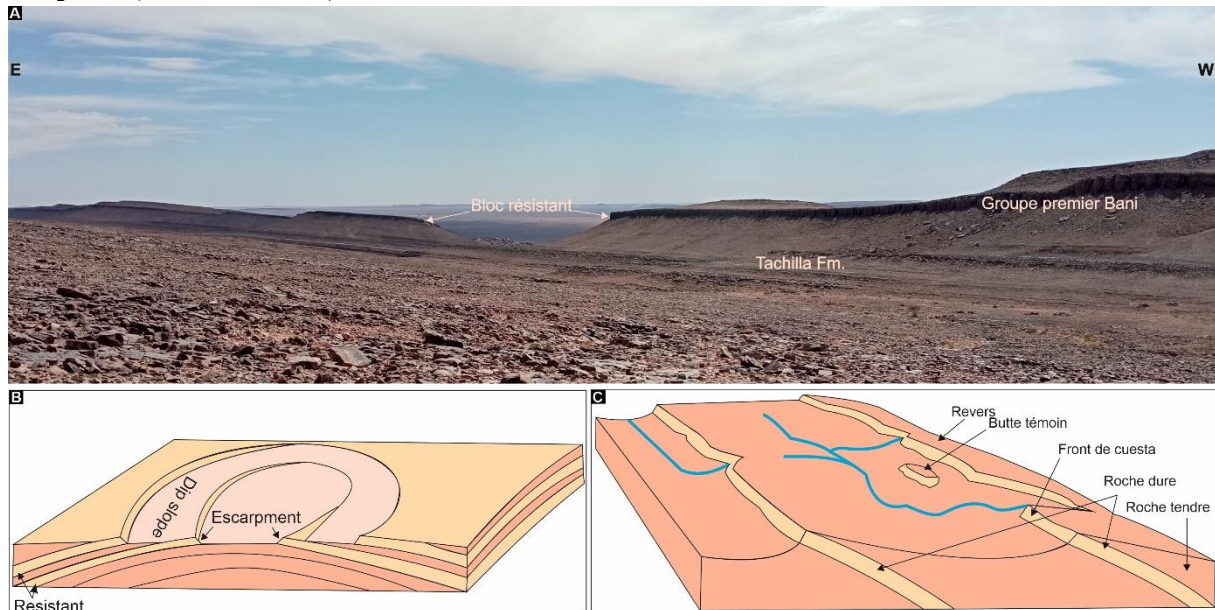


Fig. 82: A. Cuesta du dôme de Tafena. B. Diagramme illustrant le développement de cuesta au niveau d'une structure en dôme. C. Schéma de cuesta de TAF-STR01.

Les figures sédimentaires caractéristiques de ces sédiments ont servis dans l'interprétation de leur milieu de dépôt (Marante, 2008). Parmi ces derniers, on note des rides de courant (Fig. 83E), des bioturbations (Figs. 60A-B et 61) et litage de type "hummocky cross-stratification" (Fig. 83C-D). Les bioturbations sont caractéristiques d'un milieu de dépôt où l'agitation est permanente (Pemberton et al., 1992 ; Seilacher, 2007) tandis que les structures de "hummocky cross-stratification" et les rides de courant, identifiés dans les niveaux gréseux, correspondent à des écoulements oscillatoires générés par les tempêtes en domaine marin (Marante, 2008).

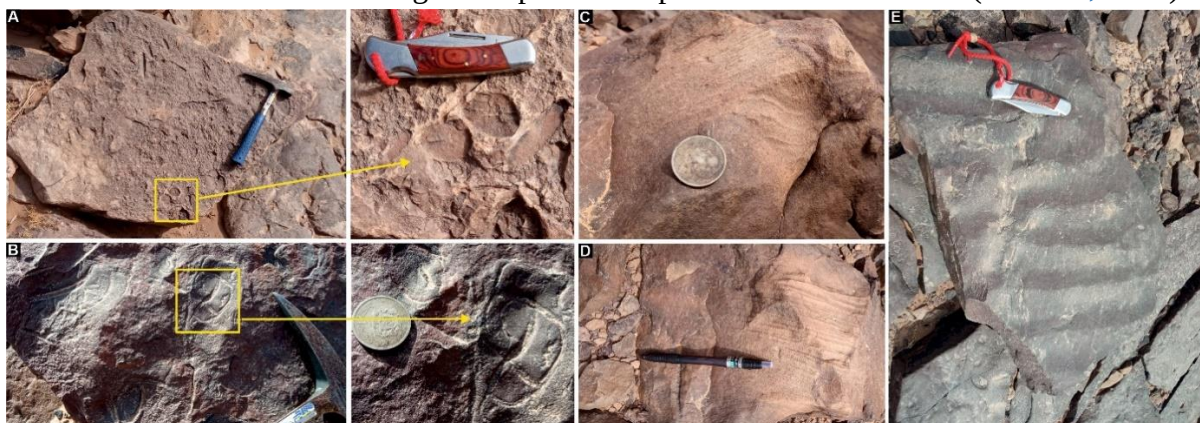


Fig. 83: A-B. Grès bioturbés renfermant des échinodermes (niveaux ferrugineux condensés associés à des processus de haute énergie liés à la dynamique des vagues de tempête). C. D. E. Rides de courant et structures de hummocky cross-stratification.

Grès avec des "hummocky cross-stratification" (des écoulements oscillatoires). D. Grès avec des stratifications parallèles. E. Grès avec des rides de courant



Fig. 84: Grès bioturbés par différents types de terriers.

2.5.3. Géodiversité des géosites d'Ordovicien inférieur

De plus de leur patrimoine paléontologique et ichnologique (Fig. 85), les deux géosites TER-PAL03 et BEN-PAL01 présentent aussi une valeur stratigraphique. Cette dernière valeur revient à la présence de multiples blocs des deux formations Zini et Tachilla (Fig. 85), postérieures aux schistes de Fezouata. Ces blocs sont bioturbés et quelques-uns épousent des structures sédimentaires telles que les « cônes à cônes » (Fig. 86C-D), ce qui offre aux deux géosites un potentiel géo-éducatif. D'ailleurs les deux géosites de type point de BEN-STR02 et BEN-STR03 se retrouvent en contact avec BEN-PAL01 (Fig. 57).

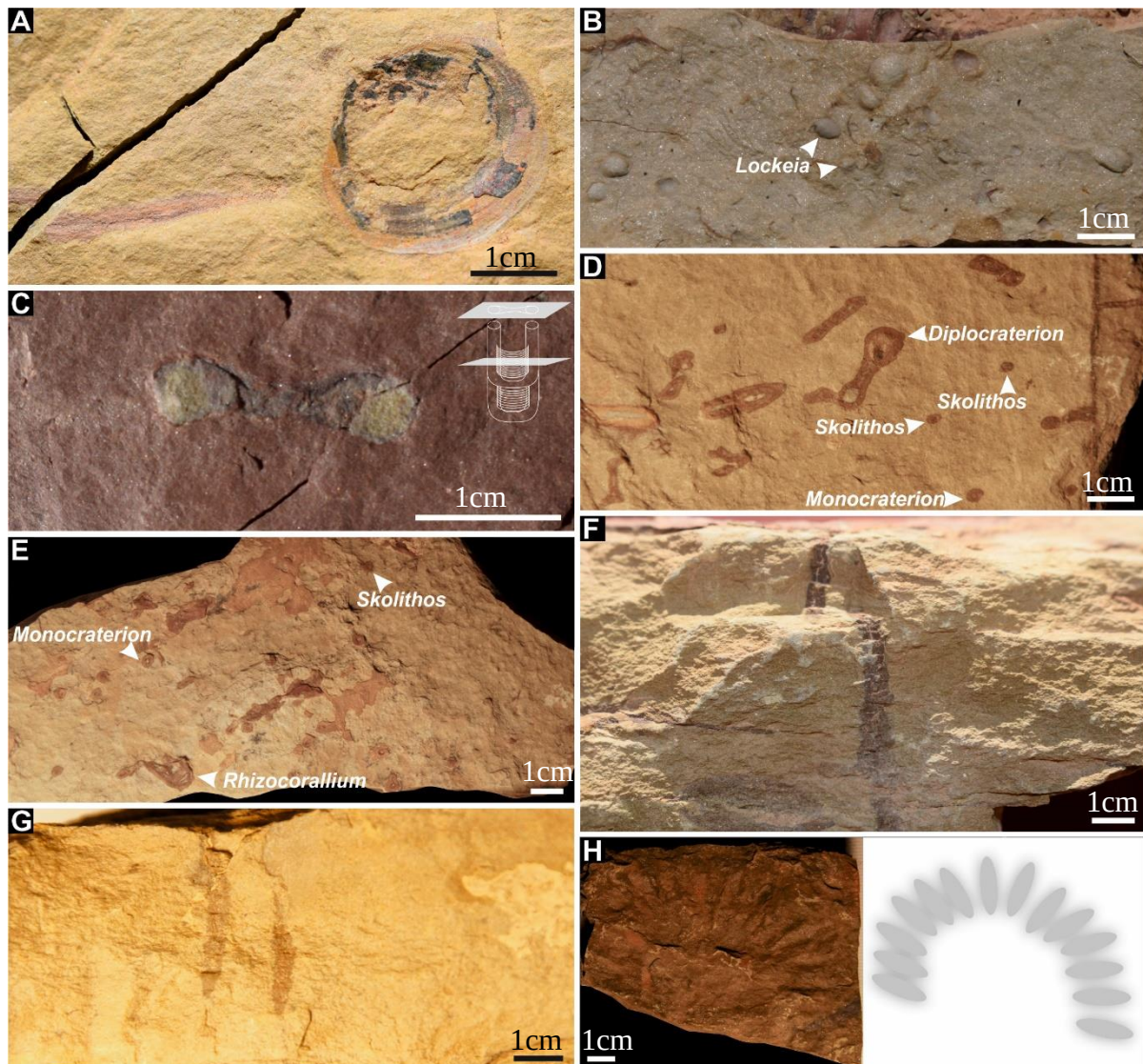


Fig. 85 : Exemple du contenu fossilifère des géosites TER-PAL03 et BEN-PAL01 A. Corps-fossile de type Xiphosuran avec trace de queue. B. Corps-fossiles de type Lockeia ; C. Terriers de type Diplocraterion en forme U vertical avec dessin montrant les divers modes de conservation de cet ichnotaxon. D. Terriers de type Diplocraterion-Skolithos-Monocraterion. E. Terriers de type Rhizocorallium en forme de U horizontaux ou légèrement obliques avec des terriers de Skolithos-Monocraterion. F-G. Terriers verticaux de Skolithos. H. Terriers de type Lorenzinia.



Fig. 86: Éléments de géodiversité de valeurs ichnologiques et sédimentologiques liés aux géosites TER-PAL03 et BEN-PAL01. A-B. Nodule au niveau des schistes de Fezouata. C-D. Structure 'cone in cone' de la formation Tachilla. E. Réseaux de terriers simples ramifiés de type Chondrites. F. Niveau d'oolithes ferrugineuses de la formation Tachilla. G. Niveau condensé ferrugineux de la formation Zini.

2.6. Rareté

Les géosites ont donné des valeurs de rareté différentes allant de faibles à hautes :

- L'attribution d'une valeur faible à chacun des géosites de Fezouata est liée au nombre des différents affleurements fossilifères de cette formation dans la région, sélectionnés autant que géosites dans cet inventaire.
- L'existence de plusieurs ergs et regs dans la zone, qui sont leur caractéristique géomorphologique identifiant, diminue la valeur de la rareté de chacun de ces sites sélectionnés. Cependant Erg Ezzehar marque encore une fois une valeur plus importante que les autres grâce à sa particularité de dune hurlante.
- Concernant les géosites BEN-STR01, BEN-STR02 et OUM-HYD01 ont une haute valeur. Dans le cas des géosites de Zini, elle est relative à la rareté de cette formation dans la zone d'étude.

2.7. Les limites d'utilisation

Au sujet des limites d'utilisation, tous les géosites présentent une forte valeur, dû à l'absence d'obstacles qui peuvent empêcher leur utilisation scientifique.

3. Evaluation quantitative du potentiel d'utilisation des géosites et sites à géodiversité

En termes de potentiel d'utilisation l'ensemble des géosites et sites à géodiversité présentent des potentiels géo-éducatifs et géotouristiques. Alors que l'évaluation quantitative du potentiel touristiques a exclu les géosites TER-PAL01, TER-PAL02, TER-PAL03, BEN-PAL01, BEN-STR01 et BEN-STR03 pour des raisons conservatives du patrimoine paléontologique des géosites des schistes de Fezouata, l'évaluation quantitative du potentiel géo-éducatif a considéré l'ensemble des géosites sites à géodiversité retenus.

L'évaluation quantitative du potentiel éducatif a donné des valeurs moyennes pour les trois géosites TER-PAL03, BEN-STR01 et BEN-STR02 et des valeurs plus importantes pour le reste des sites (Tableau 23).

Tableau 22: Evaluation quantitative du potentiel éducatif des géosites et sites à géodiversité .

Site	Vulnérabilité	Accessibilité	Limites d'utilisation	Sécurité	Logistiques	Densité de population	Association avec d'autres valeurs	Paysage	Particularité	Conditions d'observation	Potentiel didactique	Géodiversité	Total pondéré
TIZ-PAL01	2	2	4	2	3	1	1	0	4	2	3	2	205,2
TER-PAL01	2	2	4	2	3	1	2	0	4	1	3	2	200,2
TER-PAL02	2	4	4	2	3	1	1	0	4	2	3	2	225,2
TER-PAL03	2	1	4	2	3	1	1	0	4	2	3	2	195,2
BEN-PAL04	2	2	4	2	2	1	1	0	4	2	3	2	200,2
BEN-STR01	4	2	4	2	2	1	1	0	1	3	1	2	175,2
BEN-STR02	4	2	4	2	2	1	1	0	1	3	1	2	175,2
TAF-STR01	4	2	4	2	2	1	1	0	1	4	2	3	205,3
TAG-GEO02	4	4	4	1	3	1	3	1	3	4	1	2	225,2
TAG-GEO03	4	4	4	1	2	1	2	1	3	4	1	1	215,1
TER-GEO04	2	2	4	2	3	1	1	2	2	4	2	2	205,2
BNZ-GEO01	4	4	4	1	3	1	4	1	3	4	1	2	230,2
TAG-GEO01	2	2	4	2	3	1	4	3	2	4	1	4	205,4
FOL-STR01	3	4	4	2	3	1	4	3	2	4	1	4	235,4
TIN-STR01	3	4	4	2	3	1	4	3	2	4	1	4	235,4
OUM-STR01	4	2	4	1	4	1	4	0	2	4	3	2	245,2
OUM-HYD02	2	2	4	1	4	1	4	3	2	4	4	2	260,2
ELI-GEO02	4	4	4	3	4	1	3	2	2	4	3	1	290,1
ELI-GEO01	2	4	4	3	4	1	3	3	2	4	3	1	275,1
EME-GEO01	2	2	4	3	4	1	4	3	2	4	3	1	260,1
ELE-GEO01	2	2	4	1	4	1	3	3	2	4	3	1	235,1
EEZ-GEO01	4	2	4	1	4	1	3	3	2	4	3	1	255,1
ECH-GEO01	2	2	4	1	4	1	1	3	2	4	3	1	225,1
MHA-GEO01	4	4	4	2	4	1	2	0	2	4	4	1	285,1

L'évaluation quantitative du potentiel touristique a donné de fortes valeurs (Tableau 24). Ces valeurs sont obtenues principalement grâce à l'absence de limites d'utilisation, aux bonnes conditions d'observations des éléments géologiques des sites, au potentiel d'interprétation de ces éléments ainsi que la faible possibilité de leur détérioration par les activités anthropiques.

Tableau 23: Evaluation quantitative du potentiel touristique des géosites et sites à géodiversité .

Site	Vulnérabilité	Accessibilité	Limites d'utilisation	Sécurité	Logistiques	Densité de population	Association avec d'autres valeurs	Paysage	Particularité	Conditions d'observation	Potentiel d'interprétation	Niveau économique	Proximité de zones récréatives	Total pondéré
TAF-STR01	4	2	4	2	2	1	1	0	1	4	3	1	1	185,05
TAG-GEO02	4	4	4	1	3	1	3	1	3	4	3	1	2	245,1
TAG-GEO03	4	4	4	1	2	1	2	1	3	4	3	1	2	235,1
TER-GEO04	2	2	4	2	3	1	1	2	2	4	3	1	4	210,2
BNZ-GEO01	4	4	4	1	3	1	4	1	3	4	4	1	2	260,1
TAG-GEO01	2	2	4	2	3	1	4	3	2	4	3	1	2	240,1
FOL-STR01	3	4	4	2	3	1	4	3	2	4	3	1	2	270,1
TIN-STR01	4	2	4	1	4	1	4	0	2	4	2	1	4	200,2
OUM-STR01	4	2	4	1	4	1	4	0	2	4	2	1	4	200,2
OUM-HYD02	2	2	4	1	4	1	4	3	2	4	4	1	4	245,2
ELI-GEO02	4	4	4	3	4	1	3	2	2	4	4	1	4	285,2
ELI-GEO01	2	4	4	3	4	1	3	3	2	4	4	1	4	280,2
EME-GEO01	2	2	4	3	4	1	4	3	2	4	4	1	4	265,2
ELE-GEO01	2	2	4	1	4	1	3	3	2	4	4	1	4	240,2
EEZ-GEO01	4	2	4	1	4	1	3	3	2	4	4	1	4	260,2
ECH-GEO01	2	2	4	1	4	1	1	3	2	4	4	1	4	230,2
MHA-GEO01	4	4	4	2	4	1	2	0	2	4	4	1	4	240,2

3.1. Critères communs

Comme indiqué dans les tableaux 23 et 24, la méthode d'évaluation utilisée adopte un ensemble de dix critères pour évaluer, à la fois, le potentiel d'utilisation en éducation et en tourisme et spécifie d'autres critères différents pour chacun des deux domaines.

- **Vulnérabilité**

L'évaluation de la vulnérabilité, qui concerne la possibilité de la destruction des éléments géologiques par les utilisateurs, a donné des valeurs moyennes à élevées. Les sites avec les hautes valeurs impliquent que leurs principales composantes ne présentent pas de possibilités de détérioration par les activités anthropiques.

- **Accessibilité**

En ce qui est accès, la majorité des sites présentent des hautes valeurs grâce à leur facile accessibilité. Il y en a qui se trouvent à moins de 100m de la route goudronnée tels que TER-PAL03 et TAG-GEO01. Dans le cas de TAG-GEO01 qui est un point d'observation, il se trouve tout près de la route nationale 9 alors que la principale structure géologique qui est la cuesta de Jbel Bani est accessible via des pistes. En ce qui concerne les géosites des ergs, mis à part ELI-GEO01 qui ne se trouve pas loin de cette route nationale, ils présentent une valeur moyenne vue qu'il se situe plus loin de la route goudronnée. Cependant, toutes ces zones sont facilement abordables depuis des pistes par des voiture tout terrain.

- **Limites d'utilisation**

L'ensemble des géosites et sites à géodiversité évalués ont donné une forte valeur vue l'absence de limites de leur utilisation. Par conséquent toute personne peut les utiliser.

- **Sécurité**

En matière de sécurité, les sites présentent des valeurs faibles à moyennes vue qu'ils ne sont pas dotés d'installation de sécurité. Ce qui est une question primordiale que les décideurs doivent considérer pour l'établissement du géoparc. Toutefois, Ils sont tous couverts par le réseau téléphonique. Les géosites EME-GEO01, ELI-GEO01 et ELI-GEO02 présentent les plus hautes valeurs en raison de leur proximité du village de M'hamid El Ghizlane qui dispose de dispensaire.

- **Logistiques**

En ce qui est logistiques, la plupart des sites évalués ont donné des hautes valeurs grâce à leur proximité des hébergements et restaurants, pour des groupes de dizaines de personnes, à moins de 50km. Tandis que les géosites EME-GEO01, ELI-GEO01, ELE-GEO01, ECH-GEO01 et OUM-HYD01 abritent eux-mêmes des infrastructures touristiques telles que les bivouacs et les restaurants.

- **Densité de population**

Le résultat de l'évaluation du critère de densité de population est une faible valeur suite à la modeste densité des habitants dans la région.

- **Associations avec d'autres valeurs**

Les valeurs importantes de ce critère sont à l'origine de l'association des géosites avec des éléments écologiques et ou culturels ou archéologiques. Les sites tels que BNZ-GEO01 et TAG-GEO01 sont associés à Oued Draa et aux oasis de Zagora qui sont inscrites à la Réserve de Biosphère UNESCO. On note également la particularité du géosite FOL-STR01 qui associe les valeurs géologiques, archéologiques, liées aux tumulus et gravures rupestres, et écologiques (oasis de Tagounite, plaine des acacias). Il constitue ainsi une zone d'intérêts variés pour différents touristes et un lieu de récréation et distraction pour les habitants de la région qui s'y rendent généralement au printemps pour profiter des vues panoramiques attrayantes. Quant aux

géosites des ergs et de l'Oasis Sacrée, qui fait partie du parc national d'Iriqui, se caractérisent par leur biodiversité constituée d'un couvert végétal caractéristique des régions désertiques et d'une faune sauvage. Certaines espèces de cette faune telles que la Gazelle dorcas se trouvent en semi-captivité au niveau de ces géosites.

- Paysage

La valeur nulle attribuée aux géosites tel que TER-PAL02 est à cause d'absence d'activités touristiques au niveau de ces derniers, ce qui est bénéfique pour la préservation du patrimoine géologique dans le cas des géosites TER-PAL03 et BEN-PAL01. L'importance de l'absence d'activité touristique dans la conservation du patrimoine paléontologique de Fezouata est confirmée par la destruction que subit le géosite TER-PAL01 suite à sa proximité de l'activité touristique du site à géodiversité TER-GEO04.

Les sites avec la plus grande notation comme TAG-GEO01 constituent déjà une destination touristique par les compagnies nationales du tourisme.

- Particularité

Les géosites relatifs aux schistes de Fezouata présentent la plus haute notation en raison de leurs particularités empruntées de la grande valeur scientifique, qu'ils ont révélée à l'égard du monde Ordovicien inférieur, à l'échelle internationale. En ce qui concerne le reste des sites tels que BNZ-GEO01 et TAG-GEO01 leurs importantes valeurs sont en raison de leurs caractéristiques uniques et peu communes dans le pays. Alors que les géosites relatifs aux ergs présentent une notation moyenne ; ils constituent une caractéristique géomorphologique commune dans les régions sud du pays.

- Conditions d'observation

La majorité des géosites et sites à géodiversité présentent des bonnes conditions d'observation de leurs composantes géologiques qui est une caractéristique de toute la région vue l'absence d'obstacle tel que le couvert végétal dense.

3.2. Critères spécifiques à la géo-éducation

- Potentiel didactique

Le potentiel didactique est le plus important des critères considérés dans l'évaluation quantitative du potentiel éducatif avec un poids de 20%. Le résultat de l'évaluation de ce critère a révélé des différentes valeurs de faibles à fortes. Ces résultats sont dus à leurs différentes structures géologiques dont certaines sont enseignées depuis des niveaux scolaires primaires alors d'autres sont consacrées à des niveaux beaucoup plus supérieurs.

- Géodiversité

Le critère de la géodiversité a donné des différentes valeurs, faibles à hautes, selon le nombre des types des caractéristiques géologiques de chaque site, comme il a été décrit auparavant dans l'évaluation de la valeur scientifique des géosites. Par conséquent, les géosites et sites à géodiversité tels que TAG-GEO03 avec uniquement un seul type d'éléments géologiques présentent la plus faible notation, tandis que les sites comme FOL-STR01 en présentant plusieurs valeurs géologiques font preuve d'une grande valeur. Ce dernier recèle différents types de caractéristiques géologiques (stratigraphique, paléontologique, structural et géomorphologique) qui augmentent sa valeur géo-éducative :

- Il permet de former des étudiants de différents niveaux scolaires et de les familiariser avec les bases de la stratigraphie et de la sédimentologie. De ce fait, les excursions géo-didactiques et les sorties de terrain souligneront l'importance de ces disciplines dans la reconstitution des paléo-environnements et l'histoire géologique d'une zone. En outre, comme oued Draa passe par Foug Larjamme où il change de direction vers le sud-ouest, cela donne l'occasion

d'examiner de près les caractéristiques des sédiments de son lit d'autant plus qu'il est le plus souvent sec.

- FOL-STR01 est considéré par les chercheurs comme une localité clé pour la mise en évidence de l'occurrence de la fameuse glaciation ordovicienne. Ainsi, les étudiants des universités nationales peuvent utiliser le géosite comme un témoin de cette glaciation, enseignée comme un événement majeur dans le cours de la géologie du Maroc. Par ailleurs, il leur permet d'explorer de près les issues de cette glaciation en (i) cartographiant le réseau des paléo- vallées tunnel sous-glaciaires, qui est la principale caractéristique géologique du géosite, (ii) reconnaissant et interprétant les éléments stratigraphiques et sédimentologiques, (iii) établissant des sections stratigraphiques ainsi que (iv) l'étude des paramètres pétrophysiques qui contrôlent la formation de ces vallées.

- D'un point de vue géomorphologique, le site représente un bon exemple de l'une des formes de relief désertique qui caractérisent la région. Il permet de connaître l'effet de la pente et des conditions climatiques actuelles rudes sur l'évolution de la morphologie du site. D'autre part, l'évolution du relief de Foum Larjamme est également liée aux stratifications et aux systèmes de diaclases qui affectent ses grès. Ces caractéristiques constituent des conditions favorables à l'érosion et génèrent des changements dans le profil de la pente. Ainsi, il constitue un géosite pédagogique pour apprendre au sujet de ces caractéristiques ainsi que les formes d'altération. En revanche, l'érosion en pelure d'oignon, les types de chutes de rochers et leurs formes d'accumulation au pied de la montagne et au niveau de l'oued Draa qui traversent le géosite.

3.3. Critère spécifiques au géotourisme

- Potentiel d'interprétation

Les sites ont donné des valeurs moyennes à fortes en termes du potentiel d'interprétation. Généralement, les sites d'ordre géomorphologique, tels que EME-GEO01 et MHA-GEO01, disposent des éléments géomorphologiques clairs et expressifs à toute personne sans aucun besoin de solides connaissances géologiques. Quant aux géosites FOL-STR01 et TIM-STR01 présentent des vallées tunnel qui sont des éléments enseignés à des niveaux d'études supérieurs. Cependant, ils peuvent être vulgariser au grand public autant que témoin de la glaciation fini-ordovicienne qui a affecté cette région aride il y a 446 Ma suite à sa position paléogéographique.

- Niveau économique

La faible valeur de l'évaluation du niveau économique correspond à la situation géographique des sites dans une région avec un revenu de ménage inférieur à celui du niveau national.

- Proximité des zones récréatives

La plupart des sites présentent une valeur en termes de proximité des zones récréatives vue qu'ils sont situés dans une région touristiques telle que Zagora. Ainsi il y a des sites qui se trouvent tout près des zones de récréation tandis que d'autres sont eux-mêmes des sites d'attraction touristique.

Conclusions

L'évaluation quantitative des géosites sélectionnés a donné des valeurs scientifiques moyennes à hautes. En termes de potentiel d'utilisation l'ensemble des géosites et sites à géodiversité présentent des potentiels géo-éducatifs et géotouristiques. Alors que l'évaluation quantitative du potentiel touristiques a exclu les géosites TER-PAL01, TER-PAL02, TER-PAL03, BEN-PAL01, BEN-STR01 et BEN-STR03 pour des raisons conservatives du patrimoine paléontologique des géosites des schistes de Fezouata, l'évaluation quantitative du potentiel géo-éducatif a considéré l'ensemble des géosites sites à géodiversité retenus.

La facilité d'accès à un site est considérée comme l'un des critères importants qui renforcent son potentiel d'utilisation pour la géo-éducation et/ou le géotourisme. Or, ce critère représente un désavantage lorsque des personnes inconscientes de l'intérêt de ces géosites peuvent avoir le même accès facile pour excaver des fossiles à leur guise. C'est le comportement de plusieurs vendeurs de fossiles de la région qui s'intéressent principalement aux trilobites, vendus facilement aux touristes, généralement à bas prix. Ces vendeurs, en creusant pour des trilobites, à travers les schistes de Fezouata, détruisent l'affleurement et d'autres fossiles qui pourraient avoir une importance scientifique ou qui pourraient être exposés dans un musée local ou envoyés aux écoles et universités nationales à des fins éducatives.

Chapitre 3 : Risque de dégradation et management des géosites et sites à géodiversité

1. Introduction

Zagora est caractérisée par une grande variété géologique et géomorphologique, qui englobe un géopatrimoine important et précieux. Ce capital naturel constitue des ressources économiques et culturelles et remplit une fonction importante dans la durabilité des écosystèmes, des habitats et des paysages. En outre, il présente des avantages en termes de la compréhension de l'histoire et des processus de la Terre, de l'évolution de la vie et de l'origine des formes de la planète grâce aux différentes recherches géologiques et géomorphologiques menées et en cours. D'autres parts, cette géodiversité présente de nombreux sites potentiels des excursions éducatives et pour la formation des futurs géologues.

En soulignant la problématique de la législation, on note la fragilité et la vulnérabilité de cette géodiversité qui est en interaction continue, d'une part avec les conditions naturelles du milieu, et d'autre part avec les activités anthropiques. Ainsi certains sites et éléments de valeur ont été endommagés ou détruits par manque de connaissances au sujet de la géodiversité et du géopatrimoine. D'où l'importance de mettre en œuvre des mesures de géoconservation et de préconiser l'utilisation de chaque site et élément de valeur au domaine le plus approprié, à pouvoir de prendre en considération leur conditions de fragilité et vulnérabilité.

Une fois les géosites et les sites à géodiversité sont identifiés, l'évaluation du risque de leur dégradation doit être effectuée. Les résultats de cette analyse permettent d'identifier d'abord les sites prioritaires de la conservation et de la protection et par la suite le domaine approprié pour utiliser ces sites ainsi que leurs éléments in-situ et/ou ex-situ. Cette étape s'avère primordiale et constitue une véritable contribution que les géo-scientifiques peuvent fournir pour aider les gestionnaires et les responsables de la conservation de la nature (Brilha, 2018).

Ce chapitre est pour présenter l'évaluation quantitative du risque de dégradation des géosites et sites à géodiversité inventoriés et par conséquent le besoin de conservation et de protection de chacun. Il vise aussi à proposer le domaine d'exploitation de ceux-ci suivant les résultats de cette évaluation et les conditions de leur milieu à savoir le vandalisme, qui guette plus particulièrement les fossiles d'Ordovicien inférieur.

2. La législation marocaine et la géoconservation

La reconnaissance de la valeur du patrimoine géologique passe par la mise en action du législateur. Ce dernier regardant cet héritage comme un bien commun, devra mettre en place le matériel juridique nécessaire, apte à assurer sa protection, sa conservation et ainsi sa transmission aux générations futures (Cayla, 2009). Ainsi, le type de géoconservation pratiqué dans une région dépendra également de la présence ou de l'absence d'une législation favorable, de politiques ou de cadres de géoconservation, d'une direction gouvernementale, d'universitaires, de groupes et de sociétés de géologie et de géoconservation, de l'industrie et des communautés locales intéressées (Prosser, 2013).

L'absence de législations marocaines et de programmes de géoconservation pour protéger le géopatrimoine et plus particulièrement le patrimoine paléontologique du trafic de fossiles et du vandalisme, est un problème sérieux qui concerne, non seulement cette région, mais aussi d'autres, comme Erfoud à l'est de l'Anti-Atlas (Gutiérrez-Marco et García-Bellido, 2018). Heureusement, la communauté scientifique et les décideurs, conscients de l'importance et de la nécessité d'établir une loi spécifique pour la protection et la valorisation du géopatrimoine, notamment la composante paléontologique, provoquent le sujet. Ainsi, diverses sont les initiatives prises par les universitaires à travers des manifestations scientifiques et la société

civile soucieuse non seulement de la détérioration du patrimoine mais aussi de son utilisation comme vecteur de développement d'un géotourisme durable (El Hadi et al., 2015). Le géopatrimoine semble y s'imposer de plus en plus. Certes ce concept n'y est pas nouveau, mais il regagne plus d'intérêt. Finalement ces dernières années le gouvernement marocain a pris conscience de la valeur du géopatrimoine marocain et le besoin de sa protection et sa préservation. A cet égard, le ministère de l'Energie, des Mines de l'Eau et de l'Environnement promulgue un décret portant sur la préservation du patrimoine géologique marocain. Cette nouvelle législation minière, y compris l'extraction, la collecte et le commerce de spécimens géologiques, donne un élan décisif dont l'objectif principal est de freiner la détérioration constante du géopatrimoine marocain, riche et diversifié, tout en permettant des programmes de développement durable qui n'affecteront pas négativement les communautés locales. Ce décret qui aborde la protection et la préservation du géopatrimoine marocain a été publié au bulletin officiel marocain en 2019.

3. Evaluation quantitative du risque de dégradation des géosites et sites à géodiversité

L'évaluation du risque de dégradation des géosites ainsi que les sites à géodiversité retenus dans ce premier inventaire est également effectuée selon les critères pondérés de la méthode Brilha (2016). Les résultats obtenus (Tableau 25) indiquent un risque de dégradation moyen à élevé qui guette les sites évalués. En l'occurrence les valeurs élevées de l'absence de protection légale, la forte possibilité de la dégradation de la géodiversité de ces sites, leur accès facile ainsi que leur proximité des zones d'activités anthropiques augmentent ce risque de dégradation, alors qu'il diminue avec la faible densité de la population.

3.1. Déterioration des éléments géologiques

Ce critère présente la plus importante des pondérations ; quand la notation d'un site est élevée le total obtenu est également beaucoup plus important. Les géosites TER-PAL01, TER-PAL02, TER-PAL03, BEN-PAL01, TIZ-PAL01 et OUM-HYD02 révèlent la plus importante des valeurs rapportées. Dans le cas des géosites fossilifères appartenant à la formation de Fezouata, cette haute notation est expliquée par la fragilité des schistes de ladite formation, ce qui met leur contenu paléontologique à un grand risque de dégradation. En ce qui concerne le géosite hydrogéologique de l'oasis Oum Laalag, sa détérioration potentielle est liée à la forte exploitation de cette oasis par les visiteurs que ça soit des locaux ou les touristes.

La valeur nulle attribuée aux sites tels que TAF-STR01, TAG-GEO03 ou encore ELI-GEO01 revient soit à la non utilisation du site et / ou à la nature résistante de la composante géologique qui se montre difficile à détériorer comme les grès de l'anticlinal de Tafena. Quant aux géosites géomorphologiques des zones dunaires et de reg leur importance scientifique réside dans des processus actifs de l'action de vent.

3.2. Proximité de zones et d'activités susceptibles de provoquer des dégradations

Bien qu'ils montrent une grande possibilité de détérioration, les géosites TER-PAL01, TER-PAL03 et BEN-PAL01 une valeur nulle en termes de proximité de zones et d'activités susceptibles de provoquer leur dégradation vue qu'ils se trouvent loin de telles zones. Cette situation exclut le géosite TIZ-PAL01 qui est exploité pour ses fossiles ainsi que TER-PAL02 qui se situe tout près de la route nationale. La localité de ce dernier a déjà pris sa part dans sa dégradation.

En ce qui est géosites relatifs aux ergs comme EME-GEO01 ainsi que les deux géosites OUM-STR01 et OUM-HYD02 situés au niveau de l'Oasis Sacrée, ils ont donné la plus haute valeur. Ils sont eux-mêmes des zones de récréation très fréquentées par les touristes et les locaux.

Tableau 24: Evaluation quantitative du risque de dégradation des géosites et sites à géodiversité .

Site	Détérioration des éléments géologiques	Proximité de zones et d'activités susceptibles de provoquer des dégradations	Protection légale	Accessibilité	Densité de population	Total pondéré
TIZ-PAL01	4	4	4	2	1	330,1
TER-PAL01	4	0	4	2	1	250,1
TER-PAL02	4	4	4	3	1	345,1
TER-PAL03	4	0	4	1	1	235,1
BEN-PAL01	4	0	4	2	1	250,1
BEN-STR02	1	0	4	2	1	145,1
BEN-STR03	1	0	4	2	1	145,1
TAF-STR01	0	1	4	2	1	130,1
TAG-GEO02	0	0	4	4	1	140,1
TAG-GEO03	0	0	4	4	1	140,1
TER-GEO04	0	3	4	2	1	170,1
BNZ-GEO01	2	1	2	4	1	190,1
TAG-GEO01	3	0	2	1	1	160,1
FOL-STR01	3	2	3	4	1	265,1
TIN-STR01	0	0	4	4	1	140,1
OUM-STR01	2	4	2	2	1	220,1
OUM-HYD02	4	4	2	2	1	290,1
ELI-GEO02	0	4	4	2	1	190,1
ELI-GEO01	0	4	4	2	1	190,1
EME-GEO01	0	4	4	2	1	190,1
ELE-GEO01	0	4	4	2	1	190,1
EEZ-GEO01	0	4	4	2	1	190,1
ECH-GEO01	0	4	4	2	1	190,1
MHA-GEO01	0	1	4	4	1	160,1

3.3. Protection légale

Ce qui augmente le risque de dégradation des sites sélectionnés est l'absence de statut juridique de leur protection et/ou le contrôle de leur accès. Ce sujet de statut de protection de la géodiversité concerne non seulement les décideurs locaux mais plus principalement les nationaux vue la position du Maroc en termes de géodiversité et géopatrimoine. L'accent doit être plus particulièrement mis sur le patrimoine paléontologique de Fezouata qui a révélé des particularités et qui est soumis à de grandes actions de vandalisme.

La valeur moins importante attribué au géosite de Foug Larjamme est à cause du possible contrôle indirecte que les militaires effectuent quand ils aperçoivent des visiteurs. Quant à la même valeur moyenne donnée aux géosites de Oum Laalag, elle présente l'appartenance de ces sites au parc national de Iriqui. Quoique le concept de ce parc porte sur la protection de la biodiversité sa création visait également la préservation des zones humides telles que le Lac Iriqui. Ainsi, il serait bénéfique de profiter de ce statut de protection et de préservation pour la conservation des deux géosites discutés.

3.4. Accessibilité

Suite aux conditions de leur accessibilité via la route nationale et les pistes, les sites donnent des valeurs moyennes à élevées. De la sorte, les sites comme TIN-STR01 et MHA-GEO01 avec leur importante notation sont les plus susceptibles d'être endommagés par une mauvaise utilisation par les visiteurs que les sites TER-PAL03 dont l'accès est plus difficile.

3.5. Densité de population

La faible densité de la population qui caractérise la région est un atout qui diminue le risque de dégradation de la géodiversité et le géopatrimoine de cette dernière.

4. Valorisation des géosites et sites à géodiversité inventoriés

Selon les analyses quantitatives des potentiels d'utilisation des géosites et sites à géodiversité inventoriés, l'ensemble de ces sites est approprié aussi bien pour la géo-éducation que pour le géotourisme. Cependant, toute activité de promotion de géodiversité et de géopatrimoine doit prendre en considération la conservation et la préservation de cette composante naturelle. En conséquence, la définition du besoin de protection ([Tableau 26](#)) de chaque site a été défini en fonction des paramètres de l'état de conservation, de l'état actuel du niveau de dégradation et des menaces anthropiques et naturelles. C'est une étape qui doit être franchie dans la stratégie de géoconservation. Par ailleurs, la détermination de l'utilisation de chacun est avancée en fonction de ces paramètres ainsi que ses principaux atouts ([Tableau 26](#)).

4.1. Géosites relatifs aux schistes de Fezouata

Selon l'évaluation du risque de dégradation des géosites relatifs à la fameuse formation des schistes de Fezouata, ces derniers dévoilent une urgence d'entreprendre des actions de géoconservation pour protéger leur contenu paléontologique qui est d'une valeur patrimoniale internationale.

L'évaluation de la valeur scientifique de l'affleurement de la formation de Fezouata qui correspond au géosite TER-PAL01 est confirmée par la bibliographie et les publications scientifiques qui nous ont permis de déduire l'importance de cette formation. Toutefois il s'agit d'un affleurement réduit qui reste moins important que les autres. Ainsi il est proposé de prendre en considération l'ensemble des géosites paléontologiques TER-PAL02, TER-PAL03 et BEN-PAL01 comme des prioritaires dans les processus et programmes de géoconservation et de géo-protection.

4.1.1. Utilisations possibles

En considérant d'un côté, la grande valeur scientifique de la formation de Fezouata et de l'autre côté leur grand besoin de protection, il est préconisé de préserver les géosites relatifs à cette formation à la recherche scientifique et à la géo-éducation. Cela est en raison de l'intérêt que lui accorde toujours les géo-scientifiques en menant plus de recherches autour de son contenu paléo-biologique. L'exclusion des activités touristiques est supportée par le fait que ces sites ne présentent pas une attraction touristique directe vu que leurs fossiles sont enfouis. En conséquence, la promotion de cette valeur paléontologique dans le cadre géotouristique serait assurée via des expositions au niveau des musées locaux nationales et encore au niveau des universités. Quant à la recommandation des activités géo-éducatives tient en compte le fait que les étudiants devraient les utiliser proprement sous l'accompagnement et la direction des enseignants conscients de la valeur de ces schistes.

4.1.2. Les fossiles de Fezouata entre le vandalisme et la promotion

La facilité d'accès à un site est considérée comme l'un des critères importants qui renforcent son potentiel d'utilisation pour la géo-éducation et/ou le géotourisme. Or, ce critère représente un désavantage lorsque des personnes qui ignorent l'intérêt des géosites fossilifères peuvent à leur guise avoir le même accès facile pour excaver leurs fossiles. Cela décrit le comportement de plusieurs vendeurs de fossiles de la région qui s'intéressent principalement aux trilobites, facilement vendus aux touristes, généralement à bas prix. Ces vendeurs, en creusant à la recherche des trilobites, dans les schistes de Fezouata, détruisent l'affleurement et probablement d'autres fossiles qui pourraient avoir une importance scientifique ou qui pourraient être exposés dans un musée local ou envoyés aux écoles et universités nationales pour des fins éducatives. Empêcher ces petits commerçants de vendre des fossiles semble injuste, car cette activité leur procure un revenu, bien que modeste il leur permet de nourrir leurs familles.

A cet égard, s'inspirer des formes des trilobites et autres fossiles pour réaliser des moulages ou des duplics de fossiles, des jouets, des biscuits, des savons et/ou des décorations à vendre, semble une solution raisonnable pour éviter le vandalisme et la destruction des affleurements et des fossiles. Cette approche fournirait aux vendeurs une source de revenus durable, préférable à la destruction des gisements de fossiles et à la détérioration du patrimoine géologique et paléontologique de la région. En outre, elle contribuerait à la promotion du géopatrimoine du géoparc proposé. Les valeurs élevées obtenues du risque de dégradation sont également dues à l'absence de législation nationale, de programmes de géoconservation et de géo-protection. Compte tenu de leur grande valeur scientifique, les géosites TER-PAL02, TER-PAL03 et BEN-PAL01 nécessitent un solide programme de géoconservation, axé sur le trafic de fossiles, en particulier de trilobites et d'autres arthropodes bien conservés, qui est considéré comme une activité menaçante majeure.

4.2. Géosites relatifs à la formation de Zini

L'évaluation quantitative du risque de dégradation des deux géosites BEN-STR01 et BEN-STR02 a donné une valeur moyenne ce qui traduit un besoin moyen de protection. Cependant il s'avère plus approprié de les consacrer à la géo-éducation vue qu'ils se trouvent en contact avec le géosite BEN-PAL01, ce qui devrait mettre en abri ce géosite fossilifère qui exige une urgente protection. Néanmoins il est recommandé de choisir deux autres échantillons de la formation de Zini présentant les mêmes principes, mais dont la taille est plus réduite, facile à transporter, pour les exposer dans un musée local où ils seraient conservés et divulgués au grand public.

4.3. Géosites et sites à géodiversité relatifs aux oasis

4.3.1. Sites incluant la Réserve de Biosphère UNESCO

Dans le cadre des actions de protection et de promotion à mener, les sites BNZ-GEO01 et TAG-GEO01, qui sont de type point d'observation, mènent à considérer d'un côté le point qui permet la meilleure observation et d'autre côté les différentes composantes du complexe panoramique. Ces dernières correspondent aux différents éléments géologiques, biologiques et culturels dans le cas des sites BNZ-GEO01 et TAG-GEO01. En ce qui concerne le point d'observation, il doit

être aménagé de la sorte qu'il soit sécurisé et disposent de panneau explicatif qui divulgue la vue panoramique à laquelle donne le point. Quant à la composante biologique qui correspond aux oasis de Bni Zouli et Tagounite elle profite déjà d'un statut protection et de préservation autant que Réserve de Biosphère.

4.3.2. Géosites d'oasis Oum Laalag

Bien que l'Oasis Sacrée de Oum Laalag appartienne au parc national de Iriqui, les géosites OUM-STR01 et OUM-HYD02 sélectionnés à cette échelle présentent un grand risque de dégradation impliquant ainsi une forte nécessité de protection, surtout qu'il s'agit d'un site de grande attraction touristique. Ce grand besoin de protection et de conservation est essentiellement expliqué par le fait que le parc national tourne particulièrement autour de la biodiversité de ce territoire sans prêter l'attention à sa géodiversité. Conformément à cette situation, il faudrait médiatiser la valeur géologique des deux géosites en question aux visiteurs. Cela peut être facilité en installant des panneaux illustratifs et en formant les guides touristiques.

4.4. Géosites relatifs aux ergs et regs

A Zagora, les ergs constituent des zones d'attraction touristique que désire tout visiteur, d'ailleurs il y a des touristes qui atterrissent sur le pays pour visiter spécialement ces champs de dunes. Cependant, de plus de leur potentiel touristique, ils ont également révélé de grandes valeurs scientifique et géo-éducative en représentant des processus géomorphologiques actifs caractéristiques la région. Ceci implique que l'exploitation et la valorisation de ces géosites peuvent être au-delà des activités touristiques ordinaires. Ils constituent un laboratoire pour enseigner ces processus responsables de leur formation et de l'évolution de leur géomorphologie. D'autres part, des panneaux explicatifs devraient être bénéfiques pour médiatiser par exemple les actions du vent, les types de dunes et les rides et aussi pour schématiser le concept qui est derrière le son que produit la dune hurlante d'Erg Ezzehar (EEZ-GEO01).

4.5. Sites à géodiversité lithiques

Les sites paléolithiques n'ont pas été évalués par la méthode quantitative utilisée dans le présent travail, mais en accord avec la bibliographie qui décrit leur valeur scientifique nationale, ils présentent une particularité du patrimoine de Zagora. TER-LIT05 et BEN-LIT05 sont deux sites préhistoriques d'intérêt en raison de leur richesse en outils archéologiques et en ayant aidé les archéologues à dater les dépôts quaternaires. Ils devraient être protégés et promus dans géo-éducation et géotourisme également. Ils peuvent être utilisés in-situ dans le cadre de géo-circuits guidés plus particulièrement en éducation et ex-situ en collectant certains de leurs outils pour les exposer dans un musée local ou des collections universitaires.

Conclusion

Le cadre géologique de Zagora, dans la chaîne centrale de l'Anti-Atlas, confère à la province une longue histoire terrestre, du Précambrien au Quaternaire. Ce géopatrimoine nécessite des stratégies et programme de géoconservation et présente un potentiel d'utilisation non seulement dans la recherche scientifique, mais aussi dans les activités géo-éducatives et géotouristique. A cet effet, plusieurs géo-circuits incluant les affleurements ordoviciens de Zagora ont été proposés pour promouvoir son importance pour des fins scientifiques et géo-éducatives (ex : [Ouanaimi et Soulaïmani, 2011](#) ; [Rousselle, 2017](#)).

Partie 4
INTEGRATION DE LA GEODIVERSITE ET DES
AUTRES ASPECTS DU PATRIMOINE DE
ZAGORA (ARCHEOLOGIQUE, BIOLOGIQUE ET
CULTUREL)

Chapitre 1 : Intégration du patrimoine géologique et archéologique pour la valorisation de la géodiversité au sein du Bani Geopark – cas du géosite de Foum Larjamme-

1. Introduction

Le Maroc est reconnu à l'échelle mondiale pour sa diversité géologique. La reconnaissance de ce capital naturel comme patrimoine évolue depuis un certain temps (ex : [Arrad et al., 2020](#) ; [Berred et al., 2020](#) ; [Mehdioui et al., 2020](#) ; [Aoulad-Sidi-Mhend et al., 2020](#) ; [Lkebir et al., 2020](#) ; [Berred et al., 2019a](#) ; [Berred et al., 2019b](#) ; [Arrad et al., 2018](#) ; [Aoulad-Sidi-Mhend et al., 2017](#) ; [Bouzekraoui et al., 2018](#) ; [Beraaouz et al., 2017](#) ; [Aoulad-Sidi-Mhend et al., 2016](#) ; [El Hadi et al., 2015](#) ; [El Hadi et al., 2011](#)). L'importance de ce géopatrimoine, qui fait appelle à sa protection et à sa conservation, se manifeste sous plusieurs aspects. D'une part, il contribue à la compréhension de l'histoire de notre planète Terre, et d'autre part au géotourisme, à la géo-éducation et à la formation des futurs géologues ([Gray, 2019](#)).

La réalisation d'une géoconservation efficiente nécessite l'implication du public et dépend de sa meilleure connaissance, appréciation et soutien ([Gordon, 2018](#)). Afin de sensibiliser la communauté locale et de l'engager de manière collaborative avec les décideurs, des liens de connexion avec leur géopatrimoine doivent être établis ([Prosser, 2019](#)). Ces liens peuvent être facilement établis lorsqu'un géosite présente des valeurs culturelles et/ou archéologiques. L'investigation archéologique peut fournir une grande quantité de données du géopatrimoine avec une importance universelle comprenant l'origine et le développement des sociétés anciennes ([Valdez, 2018](#)). De plus, les vestiges archéologiques avec leur contexte historique sont très attractifs car ils témoignent de l'existence de sociétés préhistoriques ([Antic et Tomic, 2019](#)).

Depuis sa présence sur Terre, de nombreuses relations ont lié l'homme à la géodiversité. En effet, l'exploitation de celle-ci a commencé avec les populations préhistoriques utilisant les pierres comme outils de travail ([Prosser, 2019](#)). L'utilisation de géo-matériaux dans les constructions à travers l'histoire et la préhistoire reste un exemple clair des liens directs entre la géodiversité et les sociétés. Elle fournit des informations sur l'utilisation des pierres, les activités d'extraction récentes et historiques et donc la géologie régionale ([Firi et Maričić, 2020](#)).

Le géosite de Foum Larjamme (FOL-STR01), présente un mélange de valeurs scientifiques (géologiques, archéologiques et historiques). La valeur de son patrimoine géologique est déterminée par sa représentativité des structures géomorphologiques des paléo-vallées tunnel comme preuve de la glaciation de l'Ordovicien supérieur et le rôle clé qu'il a joué dans la reconstruction de la paléogéographie de cette période. En revanche, sa valeur archéologique est attribuée par les tumuli et les ruines d'une forteresse. Appelés " Larjamme " en dialecte local, les tumuli (894-791 cal av. J.-C. / 406-542 cal av. J.-C. ([Mattingly et al., 2017](#))) sont très communs dans tout le géosite. D'où le nom de Foum Larjamme donné au site. Par ailleurs, on rencontre de nombreux blocs de grès portant des gravures rupestres qui semblent être d'un autre âge que les monuments funéraires. Foum Larjamme a également révélé une valeur historique liée à l'installation des communautés juives dans le sud-est du Maroc au 7e siècle avant J.-C. Les communautés scientifiques reconnaissent Foum Larjamme pour ses différentes valeurs. Cependant, le public n'apprécie que ses caractéristiques archéologiques. Afin de sensibiliser la communauté locale vis-à-vis de la valeur de son géopatrimoine, ce chapitre utilise le patrimoine archéologique et historique pour relier cette communauté au patrimoine géologique de Foum Larjamme. Il vise également à explorer les correspondances possibles entre l'archéologie et la

géologie du archéo-géosite et leur influence sur le développement touristique. D'autre part, elle examine comment la composante archéologique peut transmettre la valeur du géopatrimoine et contribuer à sa géoconservation.

2. La géoconservation au Maroc et le projet de Géoparc de Bani

Le Maroc présente une grande richesse en termes de géodiversité et de géopatrimoine, reconnue internationalement. Il est qualifié de "Paradis des géologues" par les chercheurs internationaux (Michard et al., 2008). Bien préservée, ce capital géologique enregistre une longue histoire de la Terre allant de l'Archéen au Quaternaire. Ses bonnes conditions d'affleurement permettent de mettre en évidence les différents événements structuraux, pétrographiques, sédimentologiques, stratigraphiques et paléontologiques qui caractérisent la géologie marocaine. Certains de ces derniers restent uniques et exceptionnellement préservés comme le contenu paléontologique des " schistes de Fezouata " qui réclame des interventions de protection.

En outre, ce qui distingue la géodiversité marocaine, en particulier dans le sud-est, ce sont ses liens avec d'autres caractéristique de valeurs biologique, archéologique, historique ou/et culturelle. Cependant, les activités de géoconservation et les géoparcs, qui visent à protéger et à promouvoir le géopatrimoine, se résument encore dans les initiatives de géoconservation menées par des universitaires et les appels à la création de structures telles que les géoparcs. Le géoparc mondial de M'Goun de l'UNESCO, créé en 2000, reste la première expérience de géoparc non seulement au Maroc mais aussi en Afrique. Il est situé au cœur du Haut-Atlas central, entre Beni Mellal au nord et la crête de lghil M'Goun au sud et englobe 5700 km² incluant 15 communautés. Il convient de souligner que les géoparcs M'Goun et Ngorongoro sont les deux seuls géoparcs mondiaux de l'UNESCO en Afrique.

Le projet de géoparc de Bani est une initiative de l'Université Mohammed V en partenariat avec les autorités provinciales de Tata et Zagora. Il est situé dans le sud-est du Maroc et couvre une superficie de 75000km². Abritant une grande diversité d'espèces sauvages, il détient un important patrimoine géologique, historique, archéologique et culturel et offre des paysages esthétiques variés. La zone du Bani Geopark couvre les deux territoires gérés par le Parc National d'Iriqui et la Réserve de Biosphère de l'UNESCO de Zagora. Ses limites sont accessibles par différents moyens de transport, aériens et routiers. Ce projet de géoparc est axé sur la protection, l'entretien et la mise en valeur des ressources géologiques, écologiques et culturelles des provinces ainsi que la promotion et la vulgarisation des connaissances géo-scientifiques. Il vise également à stimuler le géotourisme et à promouvoir les produits locaux, ce qui devrait contribuer à la croissance socio-économique locale. Le géoparc de Bani est un projet de géoparc en cours qui encourage la coopération, la mise en réseau et les partenariats institutionnels.

3. Cadre géologique et valeur scientifique géologique de Foun Larjamme

Le géosite est caractérisé par un réseau de vallées réduites de type paléo-tunnel, héritées de la glaciation de l'Ordovicien supérieur. Il est formé par la succession stratigraphique pré-glaciaire et subglaciaire du second groupe du Bani qui correspond aux dépôts hirnantiens. Le groupe est subdivisé en deux Formations (Fig. 87). La Formation inférieure du deuxième Bani comprend une alternance de couches de grès à grain fin avec des litages croisés, laminations parallèles, et des couches de grès argileux prédominantes (Sutcliffe et al., 2001). Il s'agit de l'enregistrement sédimentaire pré-glaciaire, creusé par l'eau de fonte sous-glaciaire pour donner lieu aux vallées tunnel (Ravier et al., 2015). La Formation Supérieure du deuxième Bani sus-jacente correspond au remplissage sédimentaire glaciogénique des vallées tunnel caractérisée par des faciès

conglomératiques à sa base (Ravier et al., 2015). Elle est constituée de cinq associations de faciès et dominée par des faciès de grès à lits croisés en auge et des faciès alternés de grès à lits croisés en auge/grès laminés parallèles (Sutcliffe et al., 2001 ; Le Heron, 2007).

Ainsi et suite à son appartenance à la vaste plateforme du Nord Gondwana, le site de Foum Larjamme est issu de la paléogéographie d'Ordovicien supérieur. Durant cette période, le Gondwana Nord a atteint les hautes latitudes du Pôle Sud (Fig. 29) où il a été recouvert par une calotte glaciaire (Beuf et al., 1971 ; Destombes, 1985, Le Heron et al., 2007 ; 2009 ; 2010 ; Denis et al., 2007 ; Ghienne et al., 2007 ; Moreau, 2011 ; Clerc, 2012). Ce sont les indicateurs stratigraphiques et lithologiques de Foum Larjamme qui ont permis de mettre en évidence cet événement climatique majeur. Ce qui fait du géosite une localité-clé dans les études de corrélations stratigraphiques et lui confère sa valeur scientifique pertinente.

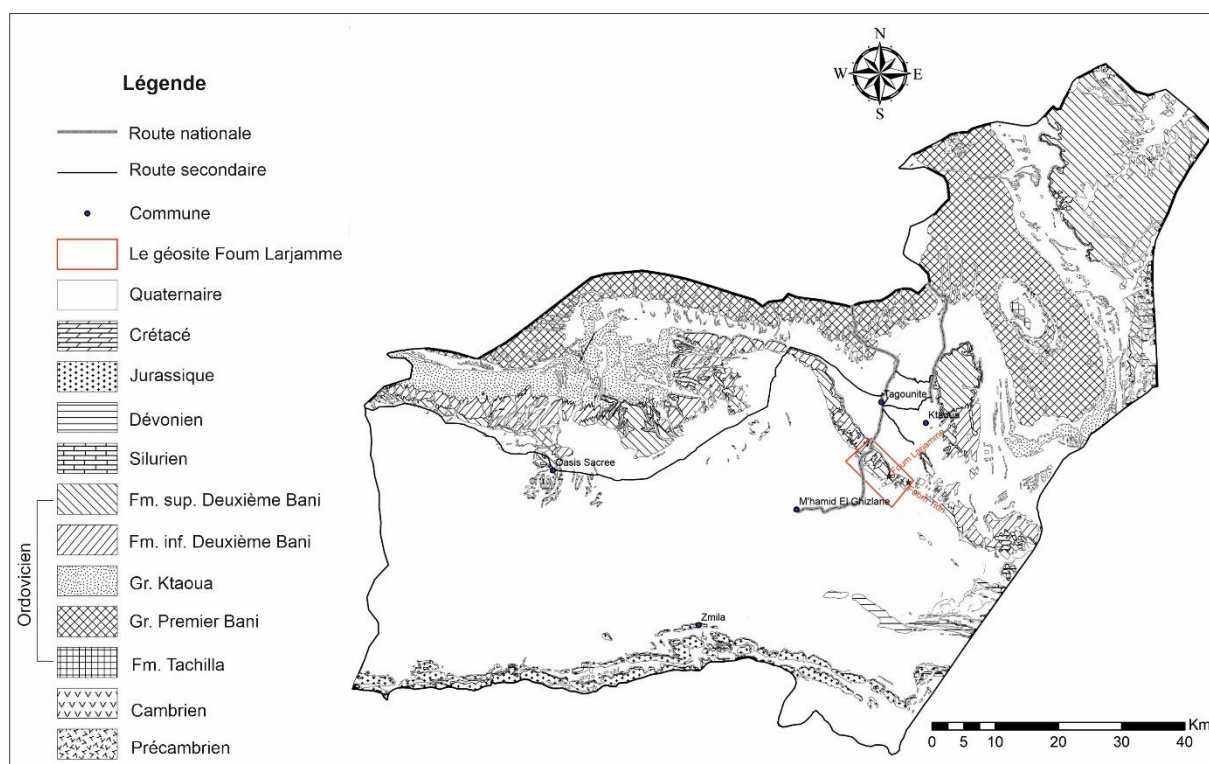


Fig. 87: Situation géographique du géosite au sud-est du Maroc (Carte géologique, des communes Tagounite et M'hamid El Ghizlane, simplifiée des données des cartes géologiques : Zagora coude de Draa, Bou-Haiara Zegdou, Ouarzazate Alougoum et Saghro Dadés (1/200,000)).

De plus de ses caractéristiques géologiques diversifiées, les bonnes conditions d'affleurement qu'offre le géosite en font un bon exemple représentatif des paléo-vallées tunnel, permettant la production et la publication d'un nombre considérable d'études scientifiques. Ils ont également permis de proposer un modèle pour décrire la formation de ces vallées et d'expérimenter les hypothèses et les modèles proposés, pour expliquer l'origine de leur structure géomorphologique sous-glaciaires, qui font toujours un objet de débats (Kehew et al., 2012).

4. Valeur historique de Foum Larjamme

La province de Zagora est réputée pour son ancienne localisation stratégique. Elle a été un sujet de conflits entre les dirigeants successifs du pays marocain. Ceci est dû à son importance commerciale car elle était un point de passage pour les caravanes commerciales venant des pays africains au sud et d'autres à l'est. Toutefois, la richesse historique de la province concerne également les différentes populations qui l'ont colonisée. Foum Larjamme est l'une de ces zones occupées par ces anciennes populations où elles ont laissé leurs traces (Fig. 87).

Les habitants de la région connaissent la valeur historique de Foug Larjamme. Ils racontent l'histoire d'une guerre qui s'est déroulée dans la région, il y a longtemps, entre les communautés juives et chrétiennes. Leur récit manque de détails et de précisions, mais il est déjà suffisant pour décrire l'intérêt que ces locaux prétendent porter à l'histoire de leur territoire.

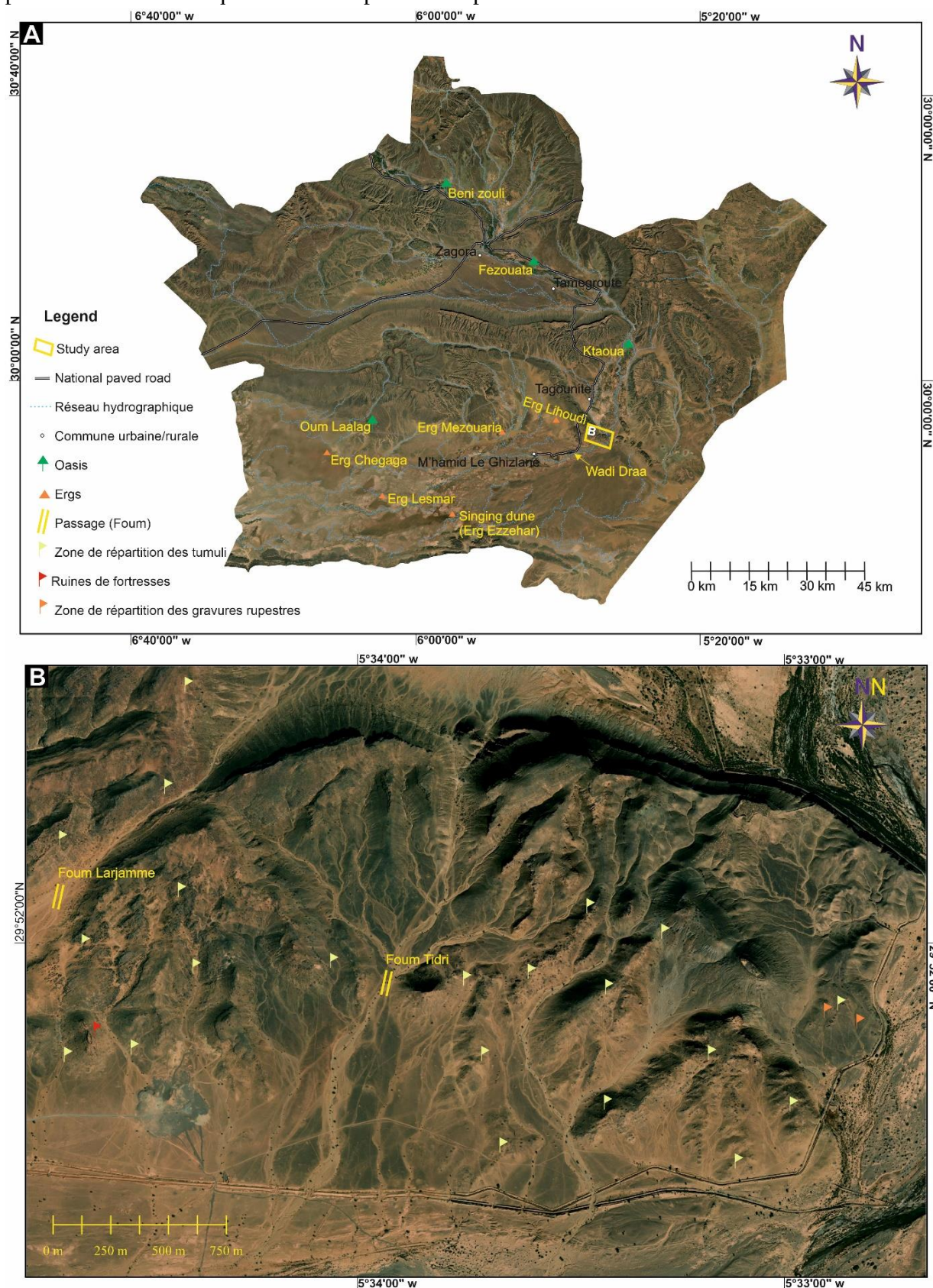


Fig. 88: A. Carte de distribution des oasis et des ergs au niveau du cercle de Zagora ; B. Distribution des éléments archéologiques dans l'archéo-géosite de Foug Larjamme.

Conformément à certaines sources historiques juives ; des manuscrits hébraïques du douzième siècle de notre ère utilisés pour écrire l'histoire des Juifs du Maroc, Meunié (1972) a conclu que Fom Tidri (Fig. 87) était la première région à connaître l'établissement d'une communauté juive dans la vallée du Draa. Elle a également résumé l'histoire de Fom Larjamme en trois principaux événements historiques liés à l'installation des populations chrétiennes, Kouchites, et juives dans la vallée du Draa :

- Installation des Kouchites (10ème siècle av. J.-C. - 5ème siècle av. J.-C. ?) dont le roi était installé à la montagne dite "Jbel Zagora". Ils sont supposés d'être les ancêtres des Haratines ou les Noirs du Draa (Ait Dra ou Draoua).
- Installation juive (7e av. J.-C. - 11e siècle ?) où ils prospèrent et fondent d'autres établissements jusqu'à Fezouata, où Tameggroute (Fig. 88A) devient leur capitale.
- Au cours de leur progression vers le nord, la communauté juive dut affronter les chrétiens Kouchites.

Les limites naturelles du Maroc saharien sont d'un intérêt primordial car elles lui ont donné son individualité et ont servi de barrières massives qui protégeaient ses diverses communautés, depuis des millénaires avant JC. En outre, l'organisation territoriale (galeries d'eau souterraines, puits artésiens, développement et entretien des oasis) du Sahara a été une caractéristique clé du commerce transsaharien. Les oasis étaient des points de passage de ce réseau de pistes transsahariennes. Ce commerce était principalement basé sur les fameux boucliers en peau d'antilope, le sel et l'or. Ce qui mène à constater que les premiers juifs qui sont venus au Maroc saharien, s'y sont installés afin d'explorer les pays producteurs d'or (Meunié, 1972).

5. Valeur archéologique de Fom Larjamme

La longue et unique histoire du sud-est du Maroc est particulièrement identifiée, sans aucune similitude avec ce qui se retrouve ailleurs en Afrique du Nord (Meunié, 1972). Elle a été reconnue par les différents matériaux archéologiques, tumuli, roches à gravures... répartis le long de la vallée du Draa. Selon les roches à gravures rupestres -premiers documents archéologiques sauvegardés- la longue histoire de la région remonte à une époque très ancienne, environ 7000 ans avant J.C. (Zainabi, 2004). Elles illustrent différentes gravures de la faune de cette époque fournissant ainsi des informations considérables sur le changement climatique tout en décrivant le Sahara comme une savane tropicale avec des oueds, des lacs dans lesquels la civilisation paléolithique a pris place (Reine, 1969).

Qualifié de moyen de communication (Davis 1984), cet art rupestre a permis de restructurer la préhistoire de la vallée du Draa en quatre périodes distinctes (Searight, 2004 ; Beraaouz et al., 2017 ; Beraaouz et al., 2021) suivant plusieurs méthodes indirectes telles que les études faunistiques, climatiques, les inscriptions et la représentation des types d'armes et de chars (Searight, 2013 ; Augustin, 2021). La première correspond à la période de chasseurs-pasteurs décrite par des animaux sauvages (ex : éléphants et rhinocéros) ainsi que par des représentations anthropomorphes de chasseurs. La seconde correspond à la période bovidienne, remontant au deuxième millénaire avant J.-C. et se distingue par la prédominance des représentations animales (vaches et bufflonnes). La période suivante, celle du cheval et libyco-berbère (750 ans avant J.-C.) met en évidence l'alphabet tiffinagh et les premiers humains montés à cheval, armés de hallebardes, de poignards ou de boucliers en Afrique du Nord. Enfin, la période des dromadaires qui décrit le changement climatique conduisant au climat sec actuel qui règne les régions d'Afrique du Nord.

Les informations fournies par ces roches gravées décrivent le rôle déterminant du climat dans le mode de vie de la population locale. Elles soulignent les variations climatiques au cours de

la préhistoire et aident donc à comprendre l'environnement dans lequel les populations préhistoriques ont vécu (Searight, 2004).

5.1. Inventaire des éléments archéologiques

Le patrimoine archéologique de la région de Fom Larjamme est constitué de trois éléments archéologiques différents, de deux périodes distinctes, qui ont permis de reconstituer l'histoire du sud-est marocain et le climat durant les temps préhistoriques. Les roches à gravures rupestres (Figs. 88B) font référence à la période la plus ancienne tandis que la nécropole et les ruines de la forteresse définissent une période plus récente (Figs. 88B).

Fom Larjamme, l'un des sites archéologiques les plus connus et les plus importants de la province de Zagora, abrite le plus grand et le plus spectaculaire espace de nécropole avec des milliers de tumuli. Le patrimoine archéologique du géosite de Fom Larjamme se compose de trois éléments datant de deux périodes différentes. La période la plus ancienne datée à partir des roches à gravures et l'autre définie par la nécropole et les ruines de la forteresse. Ils ont permis de reconstituer l'histoire du sud-est marocain et le climat pendant les temps préhistoriques.

5.1.1. La nécropole de Fom Larjamme

Les tumuli de Fom Larjamme sont les éléments les plus spectaculaires du géosite et les premiers à attirer l'attention des visiteurs. D'ailleurs, la nomination du site fait référence à ces tumuli. Cette grande nécropole, contient plusieurs milliers de tombes (Searight, 2004), de dimensions variées, généralement de forme ovale. Les quelques fouilles effectuées sur certaines d'entre elles ont confirmé leur fonction funéraire (Zainabi, 2004). Ces fouilles ont révélé que les corps étaient simplement déposés sur le sol et recouverts par les pierres locales (Meunié, 1972). Par ailleurs, d'autres fouilles ont permis la découverte des cendres de feux, des fragments de charbon, des petits os calcinés ainsi que des fragments de tissus et des peintures rupestres (Zainabi, 2004). Cinq peintures rupestres ont été trouvées, représentant des figures géométriques et des êtres humains dans une scène de bataille.

La datation au radiocarbone des échantillons de poterie ou d'autres matériaux de culture, associés parfois à ces structures, a donné deux âges différents pour deux types de tumuli différents: 894-791 cal BC pour le tumulus à monticule et 406-542 pour un tumulus pyramidal (Mattingly et al., 2017).

Il convient de souligner que la géologie de la région a joué un rôle clé dans la prospérité des civilisations dans la région de Fom Larjamme (Fig. 89). En termes de topographie et de paléoclimat, il est compréhensible et plausible que le choix de la zone remonte à sa proximité avec d'Oued Draa, qui était autrefois un oued permanent. C'est en effet le facteur qui a déterminé l'installation et l'épanouissement des différentes civilisations dans la région de Zagora depuis le Paléolithique.

Auparavant, les populations anciennes privilégiaient le sommet des reliefs ordoviciens prédominants dans la région, qui en outre, de la proximité d'Oued Draa, étaient une source de matières premières (ex : les grès pour la construction). En d'autres termes, ces montagnes formaient un système écologique interconnecté qui a assuré la survie de ces groupes humains ainsi que de la faune (Skounti et al., 2010). Par ailleurs, la longue continuité de ces reliefs avec la rareté des passages, protège efficacement les communautés des influences extérieures (Meunié, 1971). Par conséquent, la connaissance de la topographie et du relief de cette région est essentielle pour comprendre l'histoire de ses populations et leur mode de vie.

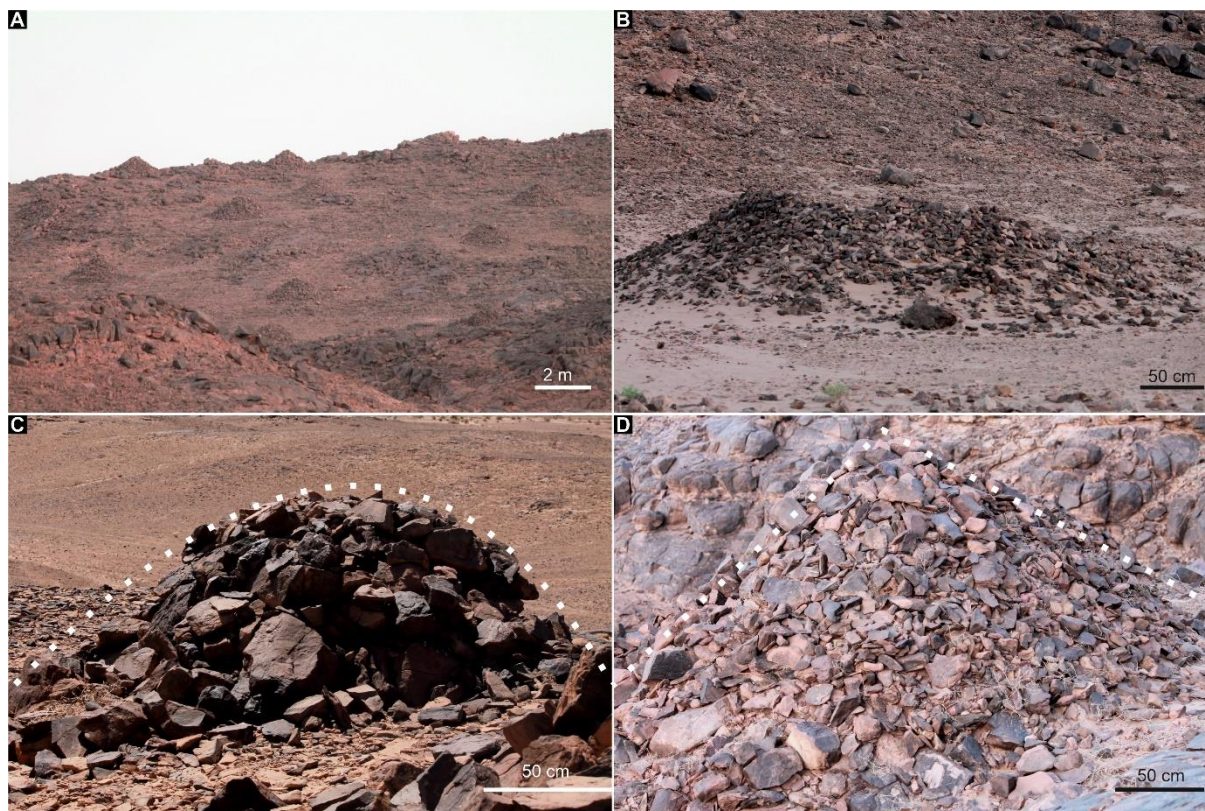


Fig. 89: Les tumuli du géosite. A. Vue panoramique d'une partie de la nécropole de Fom Larjamme. B. Exemple de tumuli fouillés. C. Un tumulus en forme de monticule caractérisant la partie de Fom Tidri. D. Un tumulus en forme pyramide caractérisant la partie de Fom Larjamme.

5.1.2. Gravures rupestres

Précisément, les gravures rupestres sont situées à Fom Tidri, la partie orientale du géosite en bordure d'Oued Draa (Fig. 89B). Elles présentent deux types de gravures différentes (Figs. 90 et 92). Trois blocs gréseux à surfaces plates représentent des animaux au trait profond et poli, une gazelle (Fig. 90B), un éléphant sans tête (Fig. 90A) et peut-être un cheval (Figs. 90C-D). De nombreux d'autres blocs avec des lignes imbriquées, présentent des gravures énigmatiques (ex : Figs. 92A-B).

Ces éléments archéologiques font partie de l'inventaire des sites archéologiques de la vallée du Draa. (Ex: Searight, 2004) sont un patrimoine précieux qui indique l'existence et les activités de l'Homme (Beraaouz et al., 2017).

L'art rupestre de la vallée du Draa est interprété comme des messages identifiant la région, revendiquant la propriété ou honorant des héros ou des guerres (Searight, 2004). De plus, en rapportant la faune de cette période, il informe sur l'écologie, les variations climatiques et leur lien avec la topographie (Bradley et al., 1994 ; Searight, 2004). Ce moyen de communication nécessite une préservation, d'où le choix de blocs plats de grès abondants, un matériau dur et résistant capable d'accomplir cette tâche (Lahmidi et al., 2022).

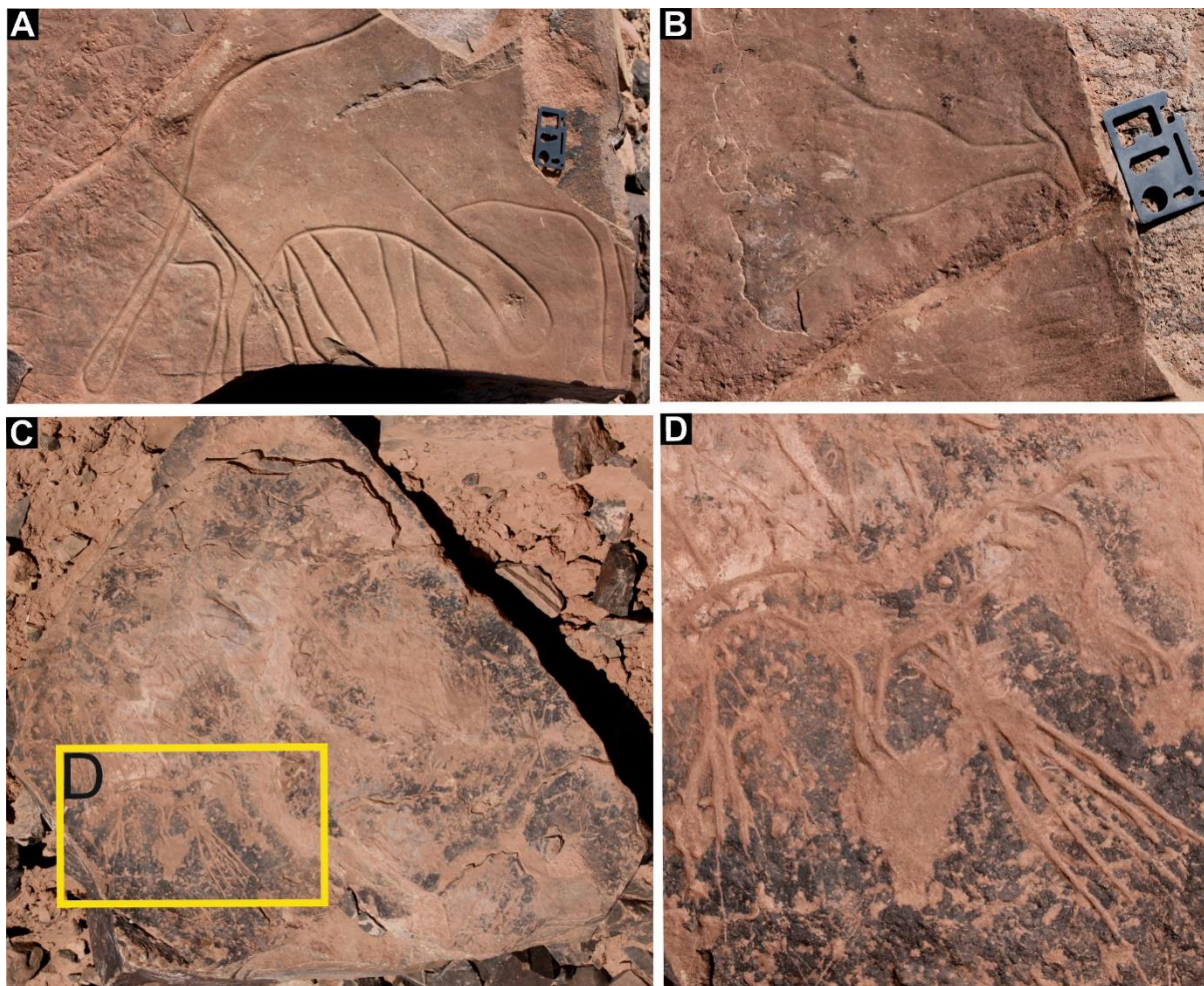


Fig. 90: Gravures rupestres avec des lignes polies. A. Eléphant dépourvu de sa tête. B. Gazelle. C. Un bloc de grès avec différentes gravures rupestres. D. Figure ressemblant à un cheval.

5.1.3. Ruines de forteresses

Sur un pic semi-isolé d'une colline à l'intérieur du géosite, il y a deux constructions en ruine. Elles sont construites du grès ordovicien local, ce qui les rend difficiles à distinguer du paysage (Fig. 91A). Elles sont accessibles en suivant un ancien chemin et se caractérisent par l'absence de poterie et de tout autre matériel pouvant indiquer une occupation humaine au cours des derniers siècles. Il n'y a pas beaucoup d'informations dans la bibliographie sur ces forteresses, mais elles restent intéressantes en termes de recherches archéologiques ou historiques supplémentaires. Elles sont également importantes dans la mesure où elles décrivent la longue histoire du lien entre les communautés locales et la géologie à travers l'utilisation des matériaux locaux dans la construction (Figs. 91B-C-D), une pratique très courante pour laquelle on a toujours optée dans le sud-est du Maroc.

L'utilisation de géo-matériaux locaux dans la construction, tant par les populations anciennes qu'actuelles, décrit leur approche ingénieuse d'adaptation à leur environnement. Ainsi, le choix du grès local par la population ancienne pourrait être attribué à sa disponibilité, son abondance, sa proximité ainsi qu'à sa dureté en tant que matière première. En plus de l'installation au sommet, l'utilisation de ce grès a un effet de camouflage. Toutes les conditions mentionnées précédemment peuvent également servir de justificatifs pour expliquer la préservation de ces vestiges de construction (Lahmidi et al., 2022).

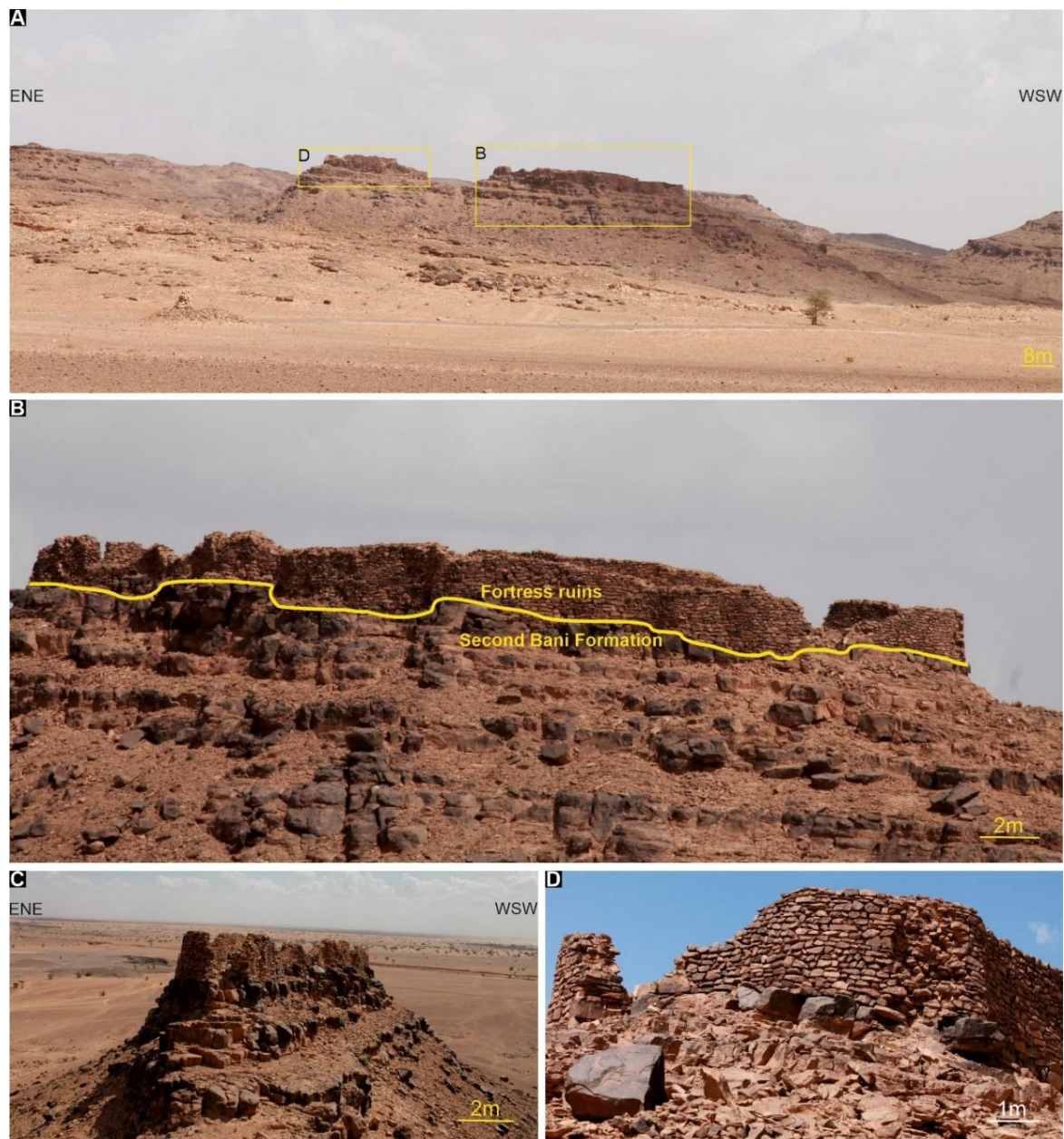


Fig. 91 : Ruines de forteresses. A. Vue panoramique des forteresses construites avec le grès local, ce qui les rend difficiles à distinguer de la couche géologique sous-jacente. B-C. Vues panoramiques de près de la plus grande forteresse. D. Coupe montrant l'architecture des murs de la forteresse et le contact entre les vestiges de construction et les couches géologiques.

6. Archéologie de Foum Larjamme et le vandalisme

A Foum Larjamme, le patrimoine géologique semble être moins attractif que le patrimoine archéologique pour les non-géoscientifiques. Ce qui rend les éléments archéologiques plus vulnérables aux activités anthropiques. Par ignorance de leur valeur patrimoniale, les fouilles clandestines de la nécropole et le creusement du réseau d'irrigation ont déjà causé des pertes considérables.

Les autochtones ont toujours reconnu la fonction funéraire des tumuli. Ils étaient persuadés que leurs ancêtres, convaincus que les gens ont peur de fouiller une tombe, avaient choisi ces derniers pour cacher et protéger leurs trésors. Ces croyances communes ont servi d'une part à la protection de ce patrimoine, notamment avec la religion musulmane qui exige le respect des tombes, mais également à la destruction de certains tumuli : malheureusement, la curiosité et la cupidité de certaines personnes ont conduit à l'excavation de nombreux tumuli non pas pour la recherche scientifique mais pour des raisons personnelles. De plus, les vendeurs de pierres

locaux ont également participé à cette destruction (Beraaouz, 2011) en collectant et en vendant le géo-matériau des monuments funéraires. Heureusement, les autorités locales ont mis fin à cette exploitation clandestine.

Les fouilles clandestines ont également affecté l'art rupestre. De nombreuses gravures rupestres ont été signalées volées, comme la peinture rupestre décrite par Zainabi (2004). D'autres ont été détruites par des personnes, qui essayaient peut-être d'imiter les figures gravées (Figs. 92 C-D) ou qui avaient simplement envie de les détruire, suite à l'ignorance de la valeur patrimoniale de ces roches ou simplement parce qu'elles ne s'en soucient pas vraiment. De plus, et selon les habitants, d'autres roches gravées qui recouvraient Foum Tidri ont été détruites à la dynamite lors du creusement des canaux d'irrigation.

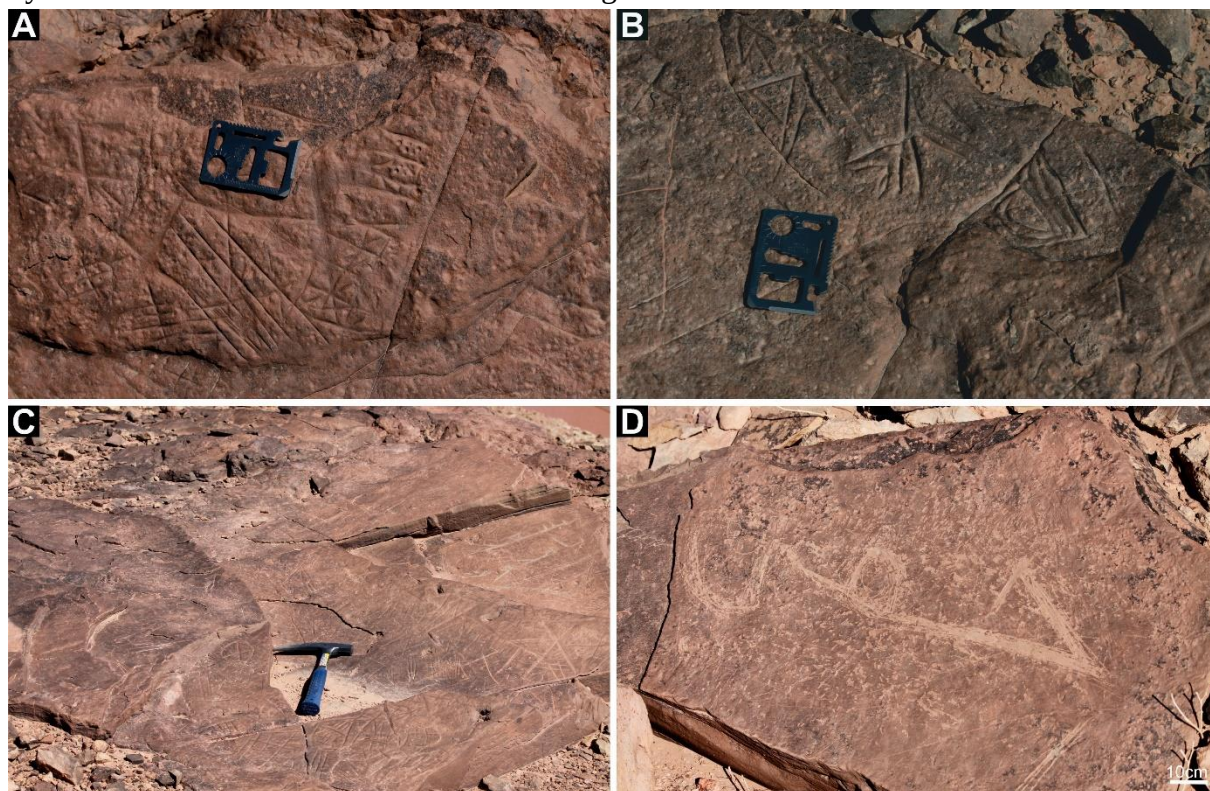


Fig. 92 : Gravures rupestres sur des blocs de grès avec des lignes polies. A-B. Lignes imbriquées énigmatiques. C-D. Exemples de graffitis rupestres vandalisés à Foum Tidri.

Le risque de dégradation du géopatrimoine de Foum Larjamme a été précédemment décrit comme modéré et il ne considérait que les processus naturels. Ces précédents chapitres du travail traitent la valeur scientifique géologique du site, ils ne prennent pas en compte le vandalisme qui affecte les tumuli et l'art rupestre en raison de la méthode d'évaluation utilisée de (Brilha, 2016) qui est principalement dédiée aux sites géologiques. Cependant, selon l'intégration de la géologie et de l'archéologie dans cette partie du travail, le risque de dégradation de l'archéo-géosite de Foum Larjamme dont certains éléments archéologiques sont déjà vandalisés est plus important. Il faut donc prêter attention aux géo-matériaux archéologiques de Foum Larjamme qui ont eux-mêmes une valeur géopatrimoniale. Par conséquent, toute perte de ce patrimoine archéologique est aussi une perte du patrimoine géologique.

7. Connecter l'être humain au géopatrimoine par le biais du patrimoine archéologique

La géodiversité de Zagora est beaucoup plus attrayante car elle est associée à des particularités historiques, archéologiques, architecturales et culturelles remarquables. En effet, l'alliance entre les données archéologiques et géologiques dans un géosite est plutôt significative pour les

régions à histoire très ancienne (Bizzarri et al. 2018). Le géosite de Foug Larjamme (FOL-STR01) constitue un site pertinent dans l'évolution géologique ainsi que dans le contexte archéologique de la province de Zagora du Géoparc de Bani. En conséquence, il présente un archéo-géosite potentiel.

Partant d'exemples de recherches publiées reliant la composante géologique et le patrimoine archéologique (par exemple Parkes, 2004 ; Gordon et al., 2012 ; Last et al., 2013 ; Lubova et al., 2013 ; Moroni et al., 2015 ; Larwood, 2017 ; Valdez, 2018 ; Reynard et Guisti, 2018 ; Prosser, 2019 ; Antić et Tomić, 2019 ; Fio Firi et Maričić, 2020 ; Freire-Lista et al., 2020 ; Szepesi et al., 2020), des enquêtes sur le terrain et une revue bibliographique axées sur le géosite de Foug Larjamme, on discute les relations entre ses valeurs géologiques et archéologiques. D'autre part, il évalue le risque de perte du géopatrimoine suite au vandalisme qui affecte les caractéristiques archéologiques du site et les possibilités d'enrichissement mutuel en termes de conservation et de promotion. Il s'agit également de connecter les habitants avec leur géopatrimoine par le biais du patrimoine archéologique et historique afin de les intégrer dans le processus de géoconservation.

La coexistence du patrimoine archéologique et géologique peut se manifester dans les mêmes éléments ou sur le même site (ex : Bitschene et Schüller, 2011 ; Ibanez et al., 2012 ; Last et al., 2013 ; Bruno et al., 2014 ; Moroni et al., 2015 ; Ruban, 2019 ; Arrad et al., 2020 ; Freire-Lista et al., 2020 ; Sallam et al., 2020). Cette cooccurrence est d'une importance qui dépasse la simple combinaison de ces différents éléments archéologiques et géologiques (Moroni et al., 2015). Au sein du géosite de Foug Larjamme, les vestiges archéologiques représentent le lien direct entre l'homme et la géodiversité (Fig. 93). Par exemple, les ruines de la forteresse en tant qu'objets archéologiques démontrent l'activité géologique de l'Homme, que ce soit du point de vue extraction du grès comme géo-matériaux de construction ou modification du paysage. Cette intervention de l'homme sur les différents environnements géologiques est baptisée "force géologique humaine" (ex : Ibanez et al., 2012 ; Gordon, 2018 ; Ruban, 2019 ; Szepesi et al., 2020).

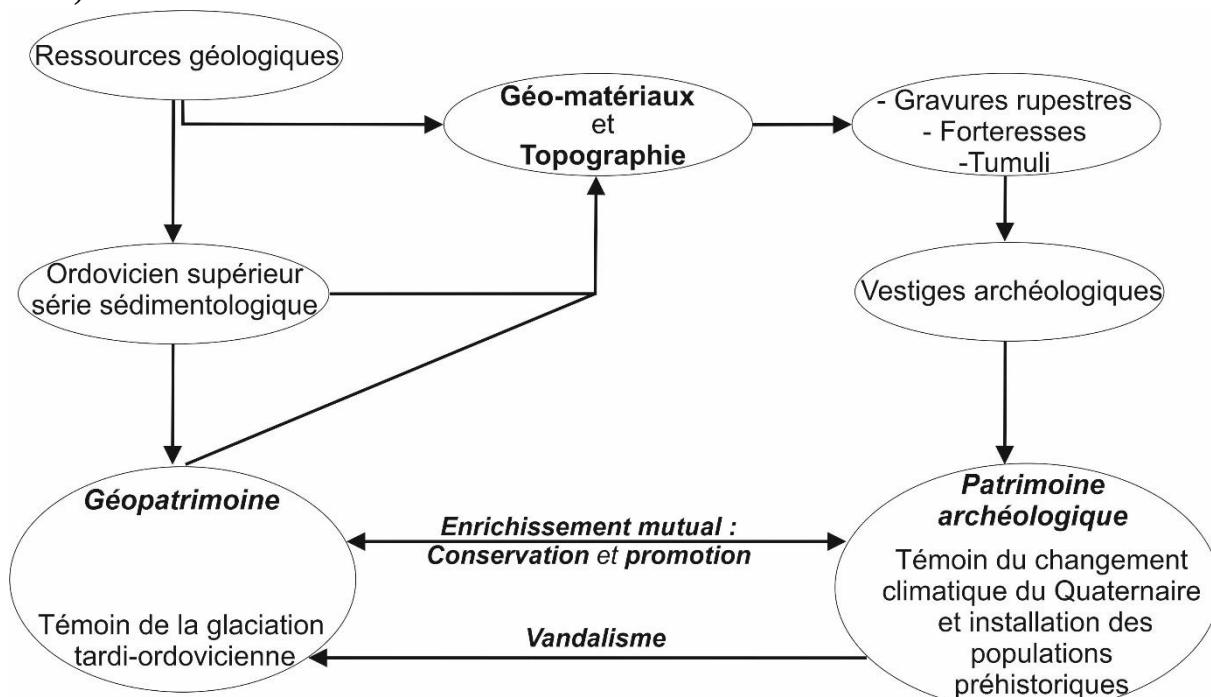


Fig. 93: Schéma d'intégration du géopatrimoine et du patrimoine archéologique de l'archéo-géosite de Foug Larjamme (Lahmidi et al., 2022).

Quant aux tumuli de Foum Larjamme, ils constituent les éléments les plus attractifs du paysage du site. Il est donc tout aussi compréhensible qu'ils attirent la curiosité du visiteur car ils reflètent l'impact de l'homme et confirment l'existence d'une population préhistorique. Un simple observateur peut facilement remarquer que les géo-matériaux utilisés dans la construction de ces tumuli sont collectés localement. Ceci présente une opportunité de médiatiser l'origine de ces grès ainsi que leur valeur géologique et par conséquent la valeur patrimoniale de l'ensemble du site de Foum Larjamme.

En outre, la position géographique du site près d'Oued Draa est un point crucial pour relier les populations à la géologie à travers le temps. Cette caractéristique géomorphologique a toujours prouvé son importance capitale dans le choix des populations de la zone à occuper depuis la préhistoire jusqu'à nos jours : d'une part, le choix de résider près d'Oued Draa peut être confirmé par l'installation des populations préhistoriques et historiques à Foum Larjamme et d'autre part, les points d'observation qu'offre le géosite, permettent de percevoir que cet Oued joue toujours le même rôle clé dans l'implantation des populations locales. En outre, la compréhension de la topographie et des reliefs du sud-est du Maroc a été essentielle pour appréhender l'histoire de ses populations et leur mode de vie à travers le temps ([Meunié, 1972](#)).

7.1. L'enrichissement mutuel

D'un point de vue environnemental, les caractéristiques géologiques de Foum Larjamme démontrent un changement à long terme des conditions climatiques liées à l'environnement marin de l'Ordovicien (Formation inférieure du Deuxième Bani) et à la glaciation de l'Hirnantien (Formation supérieure du Deuxième Bani). Alors que ces mêmes grès hérités de ces événements d'Ordovicien, avec leurs arts rupestres ont eux-mêmes une valeur géopatrimoniale et indiquent que les conditions climatiques dominantes dans la région étaient plus humides.

En tant qu'affleurements géologiques, ces grès de Foum Larjamme ont apporté une valeur importante dans la reconstruction de la paléogéographie d'Ordovicien supérieur. De plus, en tant que géo-matériaux archéologiques, ils ont contribué de manière significative à l'établissement de la chronologie régionale locale. Ces exemples de croisement augmentent mutuellement les valeurs géologiques et archéologiques ([Fig. 93](#)). Par ailleurs, parler du géopatrimoine de Foum Larjamme évoque nécessairement le patrimoine archéologique et vice versa ([Lahmidi et al., 2022](#)).

7.2. Contribution à la géoconservation via la géo-éducation

Il est important d'établir des liens entre les communautés locales et leur géopatrimoine afin d'obtenir leur appréciation et leur soutien pour la géoconservation ([Parkes, 2004 ; Gordon et al., 2012 ; Larwood, 2017 ; Reynard et Guisti, 2018 ; Prosser, 2019](#)). L'archéologie et l'histoire restent l'un des moyens puissants pour établir de tels liens. A Foum Larjamme, elles représentent un lien évident car elles témoignent de la succession des populations préhistoriques et historiques.

Le caractère rural prédomine dans la province de Zagora et ses régions ; ainsi, les centres récréatifs et culturels sont peu fréquents. Alors qu'un géosite potentiel tel que Foum Larjamme, avec un géopatrimoine diversifié et un patrimoine archéologique ayant un long passé d'histoire humaine, constitue un musée en plein air facilement accessible au large public. Par conséquent, il faut encourager les activités éducatives qui enseignent aux petits et aux jeunes l'histoire et la géologie de leur région, et comment cette dernière composante a servi leur société depuis les temps les plus lointains. Cela les sensibiliserait et leur ferait prendre conscience de leur

géopatrimoine ainsi que de leur patrimoine archéologique et historique. Cela permettrait également de les intégrer dans les processus de conservation et de protection et d'élever une jeunesse responsable qui défend son patrimoine au lieu de contribuer à sa destruction, comme cela a été constaté dans plusieurs cas.

L'éducation de la population jeune et la formation des guides touristiques, qui sont les utilisateurs les plus fréquents de Foug Larjamme, contribueraient à sa géoconservation. Cela assurerait également la transmission du géopatrimoine, et ses liens avec les autres aspects du patrimoine naturel et culturel, aux générations futures tout en proliférant une conscience et un sens de responsabilité envers ceux-ci.

Il faut prêter attention aux géo-matériaux archéologiques de Foug Larjamme qui sont eux-mêmes porteurs d'une valeur géo-patrimoniale. Ainsi, toute perte du patrimoine archéologique est aussi une perte du patrimoine géologique.

Ça devrait être noté que la destruction du patrimoine archéologique de Foug Larjamme n'a pas seulement été causée par les riverains et des visiteurs étrangers, mais aussi par les parties responsables et dirigeants lors de la mise en place du réseau d'irrigation. L'irrigation est un besoin vital pour cette région agricole. Cependant, la protection du patrimoine du site est également essentielle d'autant plus que sa perte est irréversible et définitive. Cela implique la nécessité de sensibiliser les décideurs de la région et de les intégrer dans le processus de la géoconservation. Pour ces raisons, le projet du Bani Geopark, avec sa vision holistique, devrait prévenir la reproduction de tels incidents. Il doit faire travailler ensemble et coordonner entre les décideurs des différents départements afin de trouver des possibilités alternatives lorsqu'un objet ou un site de valeur patrimoniale est menacé.

7.3. Géotourisme

Les régions du sud-est marocain sont caractérisées par un tourisme saharien et oasien. Le tourisme dans ce territoire est prospère grâce au développement des infrastructures (aéroports, transports terrestres, hôtels et bivouacs). Il reçoit environ 438431 touristes par an (<https://cradraatafilalet.ma/chiffres-cle/>) qui cherchent à vivre le mystère du désert. Plusieurs excursions guidées, organisées par les compagnies touristiques locales commencent à Ouarzazate (au nord de Zagora) et se terminent dans les dunes et les oasis de M'hamid El Ghizlane. Cependant, ces régions sont beaucoup plus intéressantes en termes de géodiversité, de biodiversité, de culture, d'histoire et d'archéologie, ce qui pourrait enrichir et diversifier davantage les programmes touristiques pour les rendre encore plus attractifs.

L'archéo-géosite de Foug Larjamme, de ces communes, présente des valeurs patrimoniales différentes qui par conséquent, peuvent différencier les propos de programmes touristiques organisés au niveau régional et national. L'identification de ses géo-matériaux archéologiques qui constituent également un patrimoine géologique, peut stimuler la curiosité pour leur contexte géologique. De même, la reconnaissance de la valeur géologique de l'archéo-géosite peut susciter l'intérêt pour sa valeur archéologique (Moroni et al., 2015). Cette valorisation mutuelle renforcera les liens entre l'archéologie et la géologie (Lubova et al., 2013) comme elle pourrait attirer encore plus de touristes.

Foug Larjamme est situé tout près de la route nationale menant au village de M'hamid El Ghizlane (Fig. 57). Cependant, les visites guidées à Foug Larjamme sont très rares. Elles ne sont organisées par les agences de tourisme que sur demande des touristes ou par des groupes d'étudiants spécialisés en archéologie dans un but éducatif.

Des visites guidées à Foug Larjamme à la découverte d'éléments géologiques et archéologiques, y compris leurs contextes paléogéographiques et historiques, inciteraient les

touristes à explorer davantage de stations. De plus, et grâce à sa position géographique, le géosite offre de nombreux points de vue qui permettent d'apprécier de belles et attrayantes vues panoramiques du complexe géomorphologique désertique avec des caractéristiques écologiques et culturelles. Cette position permet d'entreprendre des géo-tours à pied et/ou en 4x4.

Conclusions

L'importance scientifique du géosite de Fom Larjamme n'est pas seulement géologique mais aussi archéologique et historique. Ainsi, il peut être classé comme un archéo-géosite où l'archéologie et la géologie sont intégrées.

Les valeurs archéologiques et historiques de Fom Larjamme en fournissant des preuves de la continuité de l'occupation humaine, elles attestent de l'importance de la géologie dans la civilisation qui se développe non seulement dans cette zone du projet Bani Geopark mais aussi dans tout le sud-est du Maroc. L'analyse de l'intégration de l'archéologie et de la géologie a souligné l'importance de mettre en évidence la connexion entre l'être humain et la géologie dans l'archéo-géosite de Fom Larjamme en particulier et dans le territoire du géoparc de Bani en général. Cela permettrait de sensibiliser aux différents services fournis par la géodiversité et par conséquent, à l'importance du géopatrimoine et de sa conservation. La géoconservation devrait être une priorité du projet de géoparc car la destruction des caractéristiques ou des sites de patrimoine est le plus souvent irréversible et permanente. Les visiteurs habituels de Fom Larjamme sont plutôt attirés par ses éléments archéologiques, principalement les tumuli et l'art rupestre, ce qui a également conduit au vandalisme de beaucoup d'entre eux. Cependant, selon la présente étude d'intégration, ce vandalisme est considéré comme affectant également le géopatrimoine.

Donner de l'intérêt à un site de valeurs géologiques, archéologiques et historiques comme Fom Larjamme est si important pour développer le secteur du tourisme dans le projet Géoparc de Bani. Par conséquent, l'établissement de liens entre ces différentes valeurs, principalement la géologie et l'archéologie, contribuerait à la socio-économie locale en diversifiant et en enrichissant les programmes touristiques du territoire, qui sont essentiellement axés sur les ergs et les oasis.

Chapitre 2 : Intégration des composantes biotique, abiotique et culturelle dans le management du capital naturel de Zagora via le projet du Bani Geopark

1. Introduction

En plein bioclimat saharien, la province de Zagora est bien riche en biodiversité qu'en diversité géologique et culturelle. Ces composantes s'avèrent liées constituant une caractéristique qui particularise la zone. La biodiversité constitue un spectre biologique à distribution saharienne. Etant affectée par le changement climatique et la rareté des ressources en eau, qui s'accroît au fil du temps, cette dernière a été déjà une préoccupation des responsables nationaux de la conservation de la nature. Toutefois, en parlant de la nature dans ce cas, la composante abiotique reste sous-représentée ou carrément négligée, alors qu'elle est d'une part, un élément incontournable dans le support de la biodiversité, et d'autre part, comme il a été discuté dans les précédents chapitres, présente un potentiel éducatif et touristique à côté de sa grande valeur patrimoniale, nationale et internationale.

Aujourd'hui, les responsables de la conservation de la nature tâchent à procéder à des approches de conservation plus globales où ils intègrent l'ensemble des interactions de la biodiversité avec son environnement abiotique et culturel (ex : [Davies et Bunting, 2010](#); [Larwood et al., 2013](#) ; [Erikstad, 2013](#) ; [Gordon et Barron, 2013](#) ; [Gray et al., 2013](#) ; [Unjah et Abdul Halim, 2017](#) ; [Crofts, 2017](#) ; [Gordon, 2018](#) ; [Lee et Karimova, 2021](#)). Ainsi l'approche moderne de l'écosystème rassemble obligatoirement la biodiversité et la géodiversité : la géodiversité fait partie intégrante des écosystèmes et du capital naturel ainsi que ses services et ses avantages fournis ([Crofts, 2017](#)). Cette approche théorique constitue une débouchée dans les sciences de la Terre en offrant de nouveaux outils puissants pour les programmes éducatifs et un nouveau moyen de communication entre les chercheurs et les gestionnaires du territoire ([Lugeri, 2011](#)). De tels liens entre la nature et la culture peuvent être facilement établis dans le cas d'écosystème et du paysage oasiens au niveau de Zagora.

Ces oasis font référence au paysage géographique du sud-est marocain. Elles convergent la géodiversité et la biodiversité en intégrant la diversité culturelle représentée par les constructions et les monuments en terre ainsi que l'aménagement de sol indiquant une exploitation anthropique. Elles varient du chapelet de palmeraies et ses cultures à étage - égrenant les oueds pour former d'impressionnantes vallées présahariennes- aux minuscules hectares révélant la présence d'une source d'eau, comme un mirage surgi de nulle part tel est le cas de l'oasis sacrée de Oum Laalag. Ainsi, les oasis sont souvent dites « des îles dans le désert » ([Bouaouinate et Aneflouss, 2013](#)).

Ces territoires verdoyants ont joué, à travers l'histoire, différentes fonctions géostratégiques, écologiques et socio-économiques. Ils représentent un lieu d'ancienne colonisation de groupes humains et décrivent leur adaptation aux conditions du milieu, assez confiné entre la montagne et le désert. Il s'agit d'une véritable civilisation qui a bien su aménagé son territoire en considérant l'économie de l'eau et en adaptant une exploitation parcimonieuse des ressources naturelles ([Sadki, 2011](#)). Aujourd'hui, pour tous les rôles qui ont joué ces territoires dans l'histoire de Zagora, ils sont reconnus par l'UNESCO comme une Réserve de Biosphère et constituent des milieux d'histoires et de mythes identifiant le sud- est marocain. Ces territoires labélisés coïncident avec le territoire prévu pour le projet Bani Geopark qui englobe encore une partie du parc nationale Iriqui.

L'intégration des connaissances scientifiques et culturelles est essentielle dans les stratégies de conservation et le développement du géotourisme au sein d'un géoparc (Unjah et Abdul Halim, 2017). Etablir de tels liens est opportun dans le cas des paysages dont la caractérisation est un processus complexe. Il consiste en une approche holistique qui considère et intègre toutes les composantes du système étudié, avec une attention particulière au point de vue typique de la géomorphologie et de l'écologie du paysage. Celle-ci s'avère obligatoire dans le cas des paysages oasiens en raison de leurs multiples valeurs, vue qu'il peut être analysé culturellement et scientifiquement en fonction de sa physiographie spécifique et de la complexité de ses composantes naturelles.

Ce chapitre discutera les points suivants :

- Un bref inventaire de la faune et de la flore de la zone d'étude basé sur une compilation des données bibliographiques et des investigations sur terrain.
- La relation de cette biodiversité avec son environnement géologique ainsi que sa place dans la culture locale.
- Description des valeurs culturelles, historiques, mythiques et socio-économiques des oasis de Zagora.
- Description des nominations 'parc national' et 'Réserve de Biosphère UNESCO' de ces oasis et discussion de la superposition de ces valeurs avec la création du géoparc en tirant les valeurs ajoutées : risques et bénéfices.

2. La biodiversité à Zagora et ses liens avec la culture et la géodiversité locales

Malgré sa position géographique en plein bioclimat saharien, la zone d'étude abrite une diversité des écosystèmes (zones de montagnes, oasis, regs, dunes...), ce qui lui confère par conséquence une diversification biologique remarquable. Elle est dominée par des espèces à distribution saharienne, beaucoup d'entre elles avec de vastes zones de distribution en Afrique du Nord et au Proche Orient.

2.1. Faune

La faune sauvage de la région est une faune qui a le pouvoir de supporter les conditions climatiques telle qu'au sud-est marocain. Cependant et avec l'eau qui devient de plus en plus rare et suite à l'intervention d'autres facteurs tels que la chasse, des espèces se portaient disparues (ex : l'autruche à cou rouge) et d'autres combattent le même destin. D'où sort l'idée du parc national Iriqui pour protéger les espèces menacées d'extinction et réintroduire les espèces déjà éteintes.

Cette faune riche et diversifiée compte des mammifères, reptiles et des oiseaux. On note parmi les plus fameux et rencontrés lors des missions sur le terrain:

2.1.1. Oiseaux

Corvus corax : C'est un grand corbeau d'une longueur de 52 à 69cm qui s'adapte à tous types de climats. Il est de couleur noire avec des reflets bleutés ou encore violets, possède une queue et des ailes grandes et massives, ainsi qu'un bec d'un noir légèrement courbé (Fig. 94A). C'est un animal opportuniste doté d'une grande intelligence qui sait adapter son alimentation au milieu dans lequel il vit. Le corbeau est un animal de légende dont la couleur noire symbolise le malheur et sa présence liée à de mauvaises croyances. A titre d'exemple, la population de la région pense qu'il apporte avec lui des horreurs au niveau du champ agricole. L'avènement du corbeau dans la saison des labours la laisse prédire une faible récolte agricole et la sécheresse.

Elle raconte aussi le corbeau était avant un être humain, un garçon dont l'âme s'obligeait à faire des ablutions avec du lait, alors il s'est transformé en corbeau.

***Oenanthe leucopyga* (Traquet à tête blanche)** : c'est une espèce endémique de l'Afrique du Nord et du Moyen-Orient, très commune dans le sud et le sud-est du Maroc, mais uniquement dans les régions désertiques (Fig. 94B). Il s'agit d'une espèce résidente, cependant certaines populations peuvent effectuer des mouvements de faible amplitude pendant la période hivernale. Elle est de 17 cm et d'une couleur noirâtre avec une tête et une queue blanches. Cet oiseau se nourrit surtout d'insectes mais son régime peut se diversifier en fonction du contexte local et des conditions de ressources du moment. Son régime inclut également des aliments d'origine végétale comme les graines. Les Touaregs l'appellent le "Moula-Moula" et croient qu'il est un oiseau porte-bonheur.

Tadorne casarca (Tadorne de Belon): c'est un oiseau d'eau (61-67cm) migrateur hivernant qui occupe un rang particulier entre les oies et les canards (Fig. 94C). Il a le bec rouge, la tête et le haut du cou verts, avec une large bande rousse qui ceinture la poitrine et le haut du dos. Le milieu du ventre noir précède le reste du dessous blanc. Il fréquente principalement les littoraux sablonneux ou vaseux, les estuaires, les vasières et les lacs saumâtres ou salés. Il se nourrit essentiellement de mollusques, de crustacés et de gastéropodes marins qu'il prélève en arpentant les vasières et complète son régime avec des insectes aquatiques. Comme les flamants, le Tadorne de Belon apprécie particulièrement les eaux salées ou saumâtres (Chadenas, 2003).



Fig. 94: A *Corvus corax* observé dans la zone dunaire Mezouaria; B Traquet à tête blanche observé à Foum Tidri ; C Tadorne de Belon observés près d'Oued Draa près de Foum Larjamme; D Courvite isabelle observée au sud de M'hamid El Ghizlane.

***Cursorius cursor* (Courvite isabelle)** : de couleur crème brun sable uni, arrière de la couronne bleu entouré de deux bandes blanches et noires qui se rejoignent sur la nuque. Il a le bec légèrement courbé vers le bas et de longues pattes (Fig. 94D). Sa coloration isabelle uniforme le rend pratiquement invisible dans les dunes. Il aime les déserts et les semi-déserts arides,

ouverts, chauds à très chauds, à la fois rocaillieux et sablonneux, incluant les zones creuses des dunes, avec ou sans basse végétation éparse. Le courvite isabelle se trouve au nord et à l'est de l'Afrique, du Moyen Orient et à l'ouest du Pakistan. Il se nourrit en courant à droite à gauche pour attraper des insectes, des scarabées, les sauterelles, les fourmis et les mouches. Il lui arrive même de creuser le sol avec le bec pour déloger une proie.

2.1.2. Mammifères

Le Fennec : c'est un mammifère endémique du désert marocain. Il est aussi appelé renard des sables en raison de la couleur du sable claire de sa fourrure qui lui permet un bon camouflage et se caractérise par de longues et grandes oreilles qui lui sont indispensables pour écouter et repérer ses proies au cours de ses activités de chasse. C'est un animal nocturne qui dort principalement le jour et cherche sa nourriture la nuit. Il se nourrit essentiellement de gerboises, de lézards ainsi que des insectes, principalement des criquets du désert. Bien que carnivore, il mange également plusieurs sortes de plantes et de fruits du désert. Comme le fennec vit dans des régions très chaudes, il n'a pas besoin d'énormément d'eau et son alimentation lui assure l'hydratation dont il a besoin. Ses pattes sont pourvues de coussinets très velus qui le protègent de la chaleur brûlante du sable. Il habite dans des terriers creusés dans le sable du désert.

La Gazelle dorcas: c'est une espèce des zones désertiques et subdésertiques, capable de supporter des températures très élevées. C'est une petite espèce de gazelle à la robe fauve pâle et au ventre blanc (Fig. 95B). La limite entre la zone dorsale et ventrale est soulignée par une bande plus ou moins foncée sur les flancs. La tête, de couleur claire, porte des marques médianes roux fauve ainsi qu'une ligne plus foncée allant de l'œil à la narine; entre les deux, une bande blanche s'étire de la lèvre supérieure à la base des cornes. Ces dernières, présentes chez les deux sexes (plus longues et plus épaisses chez le mâle) sont incurvées vers l'arrière avec des extrémités pointées vers le haut. Elle se nourrit principalement de l'Acacia pendant les saisons sèches et des plantes pérennes herbacées au cours de la saison humide.

Historiquement, la Gazelle dorcas était distribuée à travers tout le Maroc et notamment aux plateaux désertiques de Zagora. Aujourd'hui et vue la menace de son extinction, cette gazelle profite d'un statut et d'une stratégie de protection nationaux. Par conséquent, elle se trouve conservée en semi captivité dans de nombreuses réserves nationales, à savoir : la réserve de M'Sabih Talaa, la réserve de El Kheng, réserve au sud de Dakhla ainsi que la réserve du bas Draa au niveau de M'hamid El Ghizlane qui est au cercle de la zone d'étude. D'ailleurs, cette dernière commune tient son nom qui signifie Plaine des Gazelles de cette espèce animale. Par ailleurs, la gazelle constitue l'identifiant des régions sud marocaines découverte dans leurs gravures rupestres (Fig. 90B) et le symbole de la province de Zagora qu'on retrouve dans son logo.

L'établissement de telles réserves présente un moyen pour la restauration et la protection de l'espèce dans les zones semi désertiques du pays (Aulagnier et al., 2001).

2.1.3. Reptiles

Scincus scincus (poisson de désert/ lézard des sables): est un reptile qui mesure jusqu'à 25 cm de longueur avec des petits yeux, et oreilles protégées par des écailles. Il est de couleur jaune sable avec des rayures marron plus ou moins prononcées. Parfaitement adapté au climat chaud et sec, on le trouve de l'Arabie saoudite jusqu'au Sahara. C'est un reptile qui vit exclusivement dans les dunes sous le sable bien qu'il fasse surface durant les heures les plus chaudes de la journée. Il se nourrit de plusieurs insectes comme les sauterelles.

Uromastix acanthinurus (Lézard fouette queue) : d'une longueur moyenne de 25 à 35 cm, il peut atteindre 46 à 48 cm de longueur totale pour un poids de 600 à 700 g. Pourvu d'une large tête triangulaire (Fig. 95A), d'un corps massif, pattes courtes et fortes tenant de longs doigts avec des ongles solides. Ce reptile se caractérise par sa lourde queue couverte d'épines qui lui sert à se défendre contre les serpents. Il est dit fouette-queue en raison de sa manière de se défendre en fouettant les ennemis avec la queue. Large, cette dernière lui également sert à accumuler la graisse pour les périodes où la nourriture est rare. Sa chair blanche qui rappelle un peu celle du poisson est très appréciée de toutes les populations du Maghreb: chacun dit que sa chair est un remède polyvalent "renfermant 40 médecines". Il représente le seul lézard du désert à être herbivore. Reconnu en langue Arabe par le Dob, Cette espèce est attachée aux biotopes pierreux et rocheux des milieux désertiques et semi-désertiques. Il y aménage une galerie pouvant atteindre plus de 2 mètres de longueur et un mètre de profondeur. C'est ainsi qu'il se protège de la chaleur du désert. C'est un animal sédentaire, solitaire qui possède un terrier individuel.

C'est un des lézards les plus thermorésistants de la planète qui maintient son activité au plus fort de la saison chaude. Sa couleur naturellement noirâtre devient sous l'effet du rayonnement solaire jaune-citron, rouge-orangé et même bleu de Prusse, probablement pour limiter l'absorption de la chaleur au niveau du sol (Gast, 1998).

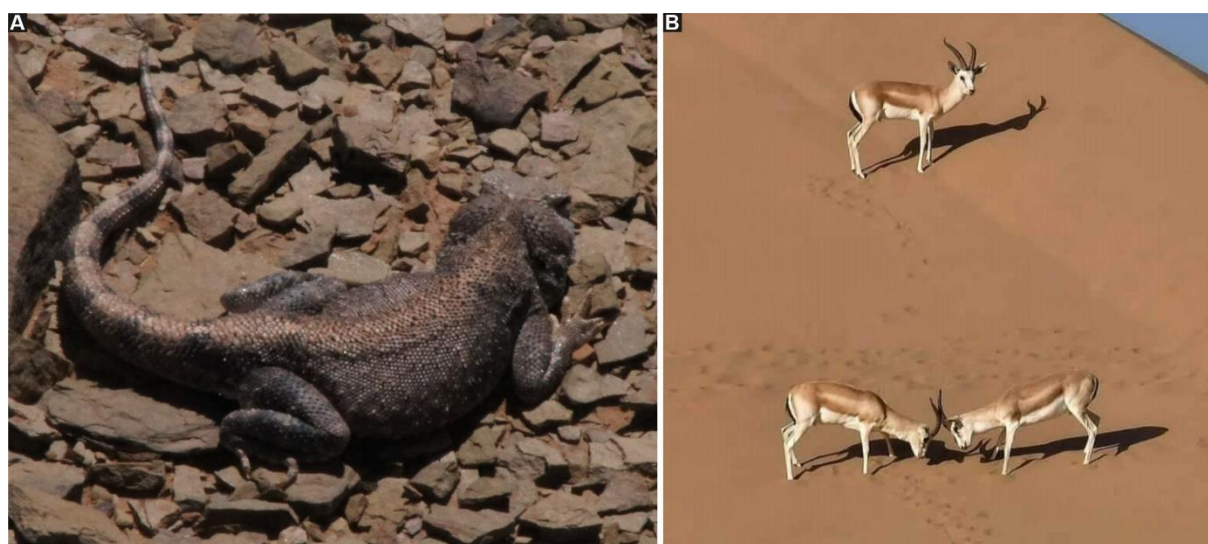


Fig. 95: A. *Uromastix acanthinurus* sur les schistes de Ktaoua ; B. *Gazelles dorcas* rencontrées à Erg Lesmar.

***Cerastes cerastes* (vipère à cornes/ vipère de sable):** Elle vit dans les déserts d'Afrique du nord et du Moyen-Orient. Elle se caractérise par sa tête triangulaire qui se détache de son cou assez mince. Elle doit son nom vipère à cornes aux deux écailles dressées sur sa tête formant de petites cornes. Pas très longue, elle mesure en moyenne entre 50 et 60 cm. Cette vipère est surnommée le « petit diable », non pas pour ses cornes mais parce qu'elle sort la nuit, alors que le jour, elle s'enfouit dans le sable pour s'échapper aux lourdes chaleurs. Cela lui permet de maintenir sa température à 34°C tout en évitant de s'exposer à des températures supérieures à son seuil de résistance de 44°C. Le reptile chasse les lézards et des rongeurs et se contente de l'eau contenue dans le corps de ses proies.

Il s'agit est d'un serpent venimeux avec le système d'injection de venin le plus élaboré qui peut tuer un homme, ou un chameau, en quelques minutes. Les nomades restent très prudents et vérifient avec attention les alentours de leurs campements, ils sont attentifs notamment aux traces laissées dans le sable par les mouvements du serpent.

2.2. Flore

Le principal trait du couvert végétal au niveau de Zagora est sa faible densité partout en dehors des lits d'oueds et au fond des vallées. Ce couvert se montre bien adapté aux conditions climatiques locales, notamment les fortes évaporations et l'ensoleillement intense. Les peuplements végétaux de la zone diffèrent entre les palmeraies irriguées (palmiers dattiers, cultures annuelles) et les zones périphériques où la végétation est de type steppique pré-saharienne. Parmi les principaux groupements rencontrés dans cette dernière zone on note :

Calotropis procera : appelée pommier de Sodome (Torza en berbère), il s'agit d'un arbre de taille moyenne de deux mètres environ très connu dans la région. Il est résistant à la sécheresse, tolérant au sel et rencontré fréquemment sur les sols dégradés. Ses caractéristiques consistent en son tronc recouvert d'une écorce jaunâtre, ses feuilles sont très grandes et peuvent atteindre 30 cm contiennent un latex blanc toxique qui apparaît à la moindre cassure. Ce latex est employé par la communauté locale pour soigner les plaies des chameaux et débarrasser les animaux de leurs tiques et teigne alors que l'écorce de l'arbre étant réduite en poudre permet de faire cailler le lait. En médecine populaire les racines jeunes de cette espèce sont utilisées en décoction afin de combattre les hémorroïdes tandis que le latex sert comme antifongique.

Dans la tradition orale Touareg veut que la présence de cet arbuste indique une ancienne présence humaine enfouie sous les sables et éboulis de roches.

Tamarix amplexicaulis : c'est un arbuste de hauteur d'ordre 1m, il tolère les sols argileux, la salinité et les longues périodes de sécheresse. Ses peuplements se trouvent principalement dans le lit et les abords d'oued Draa, dans les dépressions argileuses et dans des complexes dunaires. Ce spécimen se caractérise par des feuilles amplexicaules (entourent complètement l'axe qui les porte) et charnues pouvant atteindre 1,8 mm de longueur (Bihaoui et al., 2020).

Tamarix aphylla : est une espèce d'arbuste de la famille des Tamaricacées qui s'élève jusqu'à cinq mètres de hauteur (Fig. 96B). C'est un arbre à fleurs printanières de couleur rose ou blanche. Elle est parfaitement adaptée à l'aridité du désert qu'on trouve le long des cours d'eau et dans les environs des grandes dunes. Ainsi, elle étend ses racines vers la nappe phréatique dans les sédiments alluviaux ou vers les réserves d'humidité à l'intérieur des dunes. Grâce à ses branches ramifiées, cette espèce freine effectivement la vitesse du vent et favorise l'accumulation de dunes autour de son tronc. Ses petites feuilles mortes, incrustées de sel, stabilisent les masses de sable encore plus. Pour cette raison, il est beaucoup utilisé pour la fixation biologique des dunes

Acacia Raddiana : c'est une espèce originaire d'Afrique tropicale et d'Arabie. En Afrique du nord, elle symbolise le désert (Fig. 96C). Elle se caractérise par sa faible consommation d'eau et l'optimisation relative du rapport assimilation de CO₂.



Fig. 96: A. Vue panoramique de *Calotropis procera* entre les dunes à Mezouaria ; B. *Tamarix aphylla* au sud de M'hammid El Ghizlane; C. *Acacia Raddiana* à Foum Tidri au sud de Tagounite.

***Citrullus colocynthis*:** c'est une espèce de melon sauvage, appelée melon de désert et localement dite Lhadja. Elle est originaire des régions désertiques sablonneuses d'Afrique et caractérisée par une plante hérissée de poils (Fig. 97B) et un fruit sphérique à pulpe charnue (Fig. 97D). Ce fruit est de couleur verte marbrée de blanc crème en séchant il devient jaune couleur paille. Ce dernier est amer connu depuis l'antiquité par ses propriétés médicinales. Il est utilisé en pharmacologie comme diurétique, antiblennorragique, antiépileptique et antidiabétique (Boufous et al., 2017) et traditionnellement, pour soigner les rhumatismes par les nomades.

***Zygophyllum gaetulum*:** c'est espèce endémique du Sahara marocain, connue en arabe sous le nom de l'Agaya. Elle est rencontrée dans des oueds d'eau salins et sur des croûtes gypseuses (Fig. 97E). Traditionnellement, elle est utilisée dans le système de médecine indigène comme anti-inflammatoire, antipyrétique, antidiabétique et antispasmodique (Ait El Cadi et al., 2012).

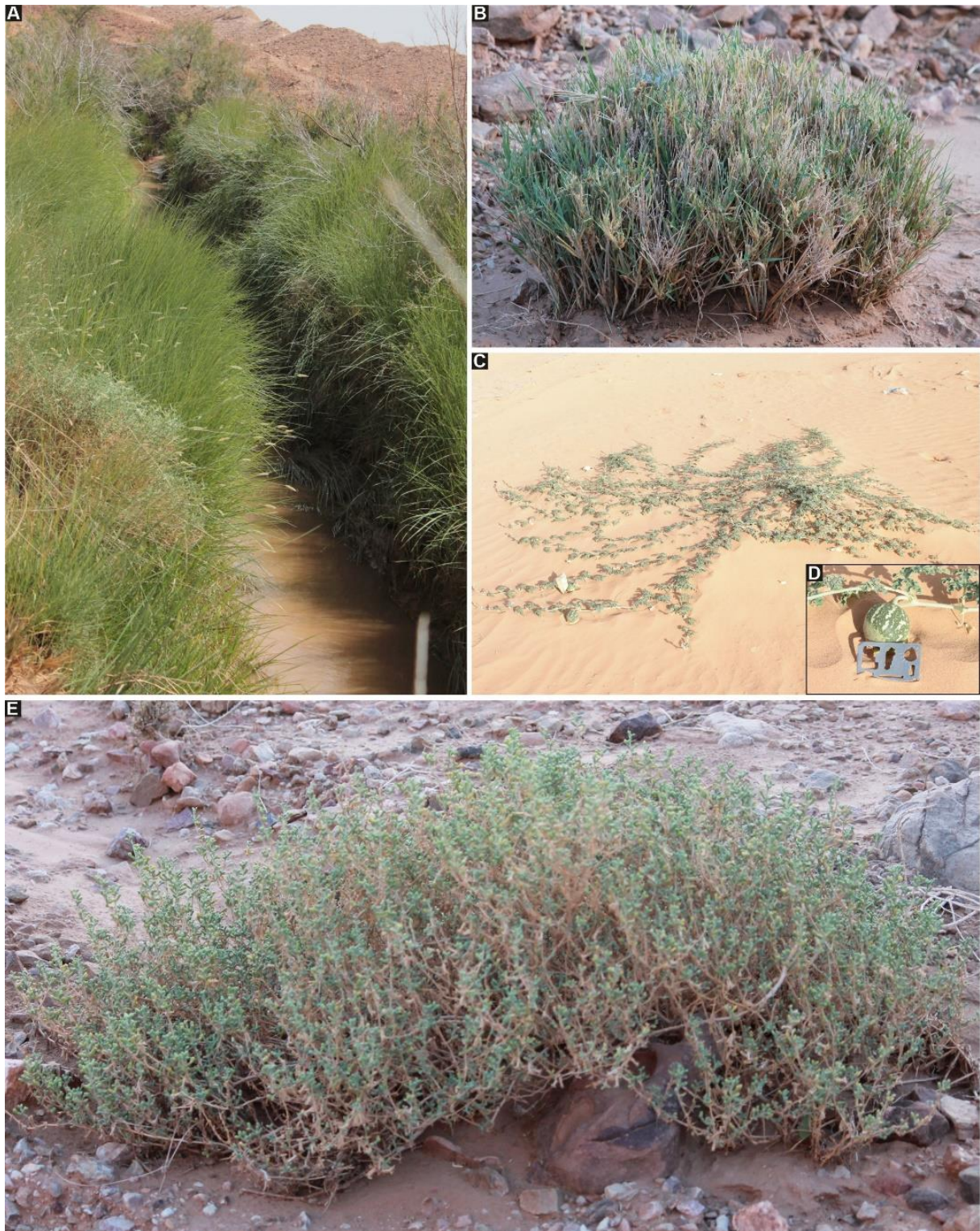


Fig. 97: A. *Pennisetum dichotomum* le long d'une sequia au sud de Tagounite ; B. *Panicum turgidum*; C. *Citrullus colocynthis* envahie par le sable; D. Fruit du *Citrullus colocynthis*; E. *Zygophyllum gaetulum* dans le lit d'Oued Draa.

Hammada scoparia : dit aussi Remt, c'est un arbrisseau de couleur verte sombre très résistant à la sécheresse. Il colonise tous types de sols depuis les plus limoneux jusqu'aux plus rocheux, parfois seul, parfois en mélange avec d'autres espèces. Cette espèce est peu appréciée par les troupeaux suite à son goût très amer.

Macrochloa tenacissima (Alfa): c'est une espèce originaire de l'ouest du bassin méditerranéen qui pousse dans des régions arides. Au cœur du désert on l'appelle souvent "herbe à chameaux". Elle est indispensable à la lutte contre l'érosion dans les régions arides, et sert notamment à fabriquer des papiers d'impression de qualité.

Panicum turgidum : c'est une espèce caractéristique des régions arides (Fig. 97B), se trouve généralement sur des dunes de sable profond. C'est une herbe sauvage polyvalente, utilisée pour la fixation des dunes et constitue une ressource alimentaire importante pour les dromadaires. Elle facilite aussi le développement juvénile de nombreuses autres espèces, dont des arbres, en les protégeant à la fois de l'aridité et de l'herbivorie grâce notamment à la densité et la résistance de leurs tiges (Anthelme et al., 2007).

Pennisetum dichotomum/ Pennisetum divisum : c'est une espèce rencontrée dans les régions arides poussant à moyenne altitude dans les lits pierreux et sableux-limoneux des oueds (Ferchichi et al., 1994). Elle peut atteindre 1 m de hauteur et former des touffes importantes (Fig. 97A). Pennisetum divisum coexiste souvent avec Panicum turgidum avec laquelle elle peut être confondue lorsque cette dernière n'est pas en fleur, on peut facilement les confondre. Elle est appréciée des herbivores et plus particulièrement des dromadaires. Localement, elle rentre aussi dans la construction des toits des étables des bétails.

2.3. Liens entre la biodiversité et la géodiversité locales

Par définition, un écosystème comprend des éléments biotiques et abiotiques qui forment des systèmes en interaction (Tansley, 1935 ; Hermitte, 1992) où ils créent des liens et des interdépendances, matérialisés par un large éventail d'exemples dans différents environnements. Associée au climat, la géodiversité fournit les bases fondamentales de la biodiversité, tant en termes de modèle physique (substrats, mosaïques de reliefs et formation des sols) pour les habitats et les espèces, que de processus biogéochimiques et géomorphologiques essentiels (régimes d'écoulement d'eau, apport de sédiments, érosion et dépôt) qui pilotent les fonctions clés des écosystèmes (Jačková et Romportl, 2008 ; Anderson et Ferree, 2010 ; Thorp et al., 2010 ; Jones, 2011 ; Semeniuk et al., 2011 ; Le Roux et Luoto, 2014). Par conséquent, la diversité des habitats et la richesse des espèces sont généralement plus grandes dans les zones à forte hétérogénéité abiotique (Parks et Mulligan, 2010). La géodiversité favorise également l'adaptation de la biodiversité au changement climatique (Groves et al., 2012 ; Anderson et al., 2015 ; Theobald et al., 2015). Par exemple, les zones à forte géodiversité offrent une gamme de mosaïques topographiques et environnementales, de couloirs et de cadres d'altitude, y compris des macro- et micro-refuges, qui permettent aux espèces de persister, de s'adapter ou de se relocaliser (Crofts, 2017).

À l'échelle régionale et locale de la province de Zagora et comme il a été décrit dans l'étroit inventaire de sa biodiversité, la diversité géologique de cette zone est une caractéristique déterminante dans l'hétérogénéité des habitats. Cette hétérogénéité découle des caractéristiques du substrat physique, des propriétés et de la stabilité du sol, des processus géomorphologiques et des formes de relief, des effets topographiques sur le microclimat et de la disponibilité de l'eau. Par exemple, on note le cas du fouette queue qui prend des regs leur milieu de vivre, où il creuse sa galerie, ou encore celui de la vipère à cornes qui préfère s'enfouir dans le sable pour se protéger de la chaleur du désert, ainsi que le *Zygophyllum gaetulum* (Agaya), rencontrée dans les oueds d'eau salins et sur des croûtes gypseuses constituant une espèce endémique du Sahara marocain. De la sorte, la plupart des habitats et des espèces dépendent de la matrice abiotique sur laquelle ils existent (Anderson et Ferree, 2010).

Les changements climatiques menés par la sécheresse et qui accentuent le caractère saharien de la zone sont tributaires de mise en risque la survie de la faune sauvage de cette dernière. Ainsi cette faune sauvage déclenche l'alarme de la nécessité de mise en réserve surtout avec présence d'espèces menacées et endémiques depuis des décennies. D'où sortent les stratégies nationales pour la conservation et la durabilité des espèces menacées telles que la Gazelle dorcas en créant

des réserves et des parcs nationaux comme le parc Iriqui. Cependant, aujourd'hui les rapports entre la biodiversité et la conservation de la géodiversité sont devenus un sujet important de débat et surtout de planification et d'action de conservation sur le terrain en raison de la grande valeur écologique de la géodiversité, en soutenant la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes. De ce fait, le moderne perspectif des écosystèmes unit les composantes abiotiques et biotiques de la nature tout en considérant l'intégrité de la géodiversité dans le capital naturel (Gray et al., 2013). Cela signifie que la conception des aires protégées ne doit pas être statique et que les systèmes naturels doivent être gérés dans les limites de leur capacité à absorber le changement (Crofts, 2017). Il convient donc de tenir compte de la sensibilité géomorphologique et des points de basculement potentiels qui peuvent résulter du changement climatique.

2.4. Position de la biodiversité dans la culture locale

Les régions telles que Zagora où règne le caractère rural permettent d'établir les liens étroits qui ont toujours uni l'Homme et son environnement. Ils se matérialisent par de larges aspects de la vie : l'emprunt du mode de vie convenable aux conditions naturelles astreintes par le milieu, le savoir-faire d'exploitation du milieu naturel, l'habillement, les valeurs et les croyances propres à cette population locale ; l'ensemble constitue un capital culturel transmis socialement de génération en génération. Au sein de ce patrimoine culturel on note bien la présence de la composante biologique tel il a été cité dans l'inventaire des espèces décrites dans ce chapitre. Plusieurs de celles-ci prennent leur part d'importance dans la culture locale constituant une riche culture verbale vue que certaines espèces comme le traquet blanc ou encore le corbeau jouent le rôle principal dans des légendes racontées par la population. Ce patrimoine culturel montre l'attachement de la population locale à son environnement et étant donné verbalement transmis sollicite d'être valorisé. Le spectre biologique de la province de Zagora est encore plus riche et très marqué par son trait saharien. Grâce à son pouvoir d'adaptation au milieu ainsi que son savoir-faire la population de Zagora (Fig. 98) exploite déjà 80 espèces de ce capital biologique dans la médecine traditionnelle traitant la douleur, le diabète, les calculs rénaux et les inflammations (Boufous et al., 2017). Par voie de conséquence, la région demeure un pôle d'excellence, au niveau national dans ce domaine médical (Rhaffari et Zaid, 2002) qui a connu un enrichissement suite au brassage des civilisations Amazighes, Juives, Sahariennes et Arabo-musulmanes au niveau de la région (Bellakhdar, 1992 ; 1997). En dépit de l'évolution qu'a connue la médecine, la population de la province utilise toujours ses connaissances en phytothérapie liées à l'utilisation traditionnelle des plantes. Cela réside une caractéristique culturelle que les générations avaient pris l'attention de transmettre à leurs descendants et constitue un patrimoine culturel de plantes médicinales.

Aujourd'hui ce patrimoine fait recours à plus d'attention vue qu'il est uniquement transmis verbalement. Ainsi il peut se présenter comme un point d'intérêt dans les programmes de la conservation qui devraient être menés sous l'ombre du projet de Bani Geopark.

Parler de la diversité culturelle, comme dans le cas du territoire d'étude, le plus souvent mène à évoquer la biodiversité. Elles sont liées à travers la langue, le savoir-faire des locaux et la co-dépendance de ces autochtones de leur environnement (UNESCO, 2010 b). En renforçant les liens entre les deux caractéristiques en question, cette organisation (2010 a ; b) a fini par fondre les deux composantes en une seule catégorie qu'est la biodiversité culturelle, fondée sur l'approche écosystémique. Par exemple on note l'écosystème des oasis que la population locale prend en soin et continue à entretenir offrant des paysages culturels et maintenant les valeurs écologiques et culturelles, propres à la région. Ainsi, cette liaison implique une stratégie de conservation plus globale dont l'intérêt est maintenir l'équilibre naturel. Cela ne peut être

effectivement atteint sans répondre à la nécessité de préserver la diversité culturelle au même titre que la biodiversité (Sholomon-Kornblit, 2018) vue que la perte de cette diversité culturelle se déroule en interaction avec la perte de la diversité biologique (Arizpe et al. 2000). Ainsi La raréfaction des ressources naturelles conduit inévitablement à la perte de diversité culturelle, réduite ici aux modes de vie traditionnels, et par conséquent généraliserait les modes de vie modernes (Sholomon-Kornblit, 2018). Ici il faudrait aussi souligner que la ladite raréfaction des ressources naturelles implique forcément la composante géologique conduisant à une analogie de cause.



Fig. 98: Femmes locales collectant des plantes pour en faire des médicaments traditionnels.

3. Parc national Iriqui

Le parc national d'Iriqui s'étend sur une surface de 123,000 hectares, occupe l'espace entre Oued Draa et les reliefs sud de l'Anti-Atlas, dans les provinces de Zagora et de Tata. Il englobe l'Oasis sacrée de Oum Laalag et les fameuses grandes dunes de l'Erg Chgaga. Bien qu'il s'agisse du plus long erg du Maroc avec une longueur d'environ 40 km, cet Erg ne représente qu'une petite partie du parc.

Il a été créé en 1994 (décret n°2-94-46 du 28 ramadan 1414 (11 mars 1994), publié au bulletin officiel n° 4249 du 6 avril 1994) dans le but de protéger sa biodiversité et de préserver la zone humide temporaire du lac de l'Iriqui, situé au sud-ouest de Zagora, d'autant plus que ce lac était autrefois un lieu d'escale et d'hivernage pour certains oiseaux aquatiques migrateurs notamment le flamant rose les foulques et les oies, ce qui confère au parc un caractère écologique important. Par voie de conséquence, la réhabilitation de la zone humide était l'un des principaux objectifs de la création du parc.

Le parc national d'Iriqui est caractérisé par un paysage désertique typique du sud du Maroc où la végétation est représentée par une steppe boisée et une savane à acacias. En ce qui concerne la faune, on trouve y des outardes houbara, des autruches nord-africaines, des moutons de Barbarie, des gazelles dorcas, des oryx et des hyènes rayées. Il y a également un grand nombre

de reptiles tels que des lézards, des vipères à cornes, des varans, des caméléons, des geckos et différentes variétés de serpents.

4. Réserve de Biosphère UNESCO de Zagora

Les populations ont également créé et continuent à entretenir des paysages culturels afin de maintenir des valeurs écologiques et culturelles spécifiques (Kohler, 2011).

4.1. Réserve de Biosphère UNESCO

Le concept de Réserve de Biosphère est un statut international d'aire protégée, initialement lancé par l'UNESCO à partir de 1974 (<http://www.unesco.org/mab/icc.shtm>). Les Réserves de Biosphère correspondent à des aires terrestres ou aquatiques (ex : les hautes montagnes, les plaines fortement affectées par l'action de l'Homme, les régions côtières les forêts tropicales et les déserts) associées à des écosystèmes naturels ou des paysages reconnus au niveau mondial. Ces zones et les terres adjacentes sont gérées dans une double perspective de conservation et d'utilisation durable des ressources naturelles. Ce concept de Réserve de Biosphère est le premier à intégrer la notion de patrimoine immatériel y compris les sites sacrés (Martini, 2009). Les Réserves de Biosphère représentent des paysages naturels et culturels qui bénéficient pour leur plus grande partie d'une protection réglementaire. En effet, à la différence des autres catégories d'aires protégées, les Réserves de Biosphère abritent des habitats qui les exploitent à intensités différentes (Forêts, terrains cultivés, zones résidentielles, parcours, milieux aquatiques, patrimoine culturel...). Ainsi, l'écosystème oasien de Zagora considère patiemment une gestion parcimonieuse des ressources naturelles et une optimisation des interactions entre les activités d'exploitation et la préservation du potentiel écologique extrêmement fragile dans un environnement hostile à la vie (Sadki, 2011), répond aux conditions d'une Réserve de Biosphère mondiale. Avec les oasis des provinces Errachidia et Ouarzazate, ce dernier a rejoint le réseau mondial des Réserves de Biosphère en novembre 2000.

Au sud du Maroc, une oasis est systématiquement une palmeraie avec des cultures vivrières étagées qui assure une fonction de conservation importante en formant une barrière écologique au désert. Ces cultures sont dominées par le palmier dattier. C'est une culture de subsistance extrêmement importante dans les oasis, les dattes servent d'aliment de base des locaux et jouent un rôle important dans l'économie locale.

L'agrosystème oasien du sud-est marocain est structuré en trois étages : le premier étage, avec le palmier dattier, constitue l'étage supérieur jouant le rôle de brise-vent et de protection des autres cultures; le deuxième étage, intermédiaire, constitué par des arbres fruitiers (olivier, grenadier, figuier, abricotier, prunier, etc.) ; et le troisième étage, inférieur, constitué des cultures sous-jacentes (céréales, luzernes et maraichages) (Acherkoug et al., 2003 ; Houssni et al., 2020). Cet écosystème oasien avec ses pratiques d'agriculture irriguée en étages présente une agriculture paysagère par excellence dont il tient ses spécificités majeures et reflète le processus ingénieux d'adaptation de l'homme oasien aux conditions du milieu.

4.2. Caractéristiques des Oasis de Zagora

4.2.1. Valeurs historique et culturelle

Parler d'une oasis reflète la rareté des ressources naturelles au milieu d'un environnement aride. De plus de cette rareté, les ressources naturelles restent à la merci de la fragilité de la nature et des équilibres environnementaux fragiles qui se traduisent par la ressource limitée en sol et en couvert végétal ainsi que les conditions climatiques sévères, le tout favorise l'érosion hydrique

et éolienne. Cependant, les communautés locales ont réussi à faire de ces cercles fragiles des pôles de civilisation à travers l'histoire. Ils ont embrassé des émirats, centres scientifiques et marchés commerciaux, et encadré un réseau de routes commerciales transsahariennes (Bouaouinate et Ramou, 2016). Cela s'est accompagné d'une diversification au niveau de la production économique et d'autres rôles tels que l'éducation ancienne, le rayonnement mystique et le rôle politique et sécuritaire joué par les communautés oasiennes. Ces oasis ont formé des centres scientifiques dont le rayonnement a atteint le golfe de Guinée et les pays du Sahel. Etant étroitement associés au rôle du soufisme, ces oasis, telles que Tamegroute au sud-est de la ville de Zagora. Elle renfermait les plus importants et grands pôles de soufisme en Afrique du Nord en général et au Maroc en particulier (Bouaouinate et Ramou, 2016). Cette oasis est reconnue par son ancienne école coranique avec sa célèbre bibliothèque de la Zaouia Naciria. Elle est aussi célèbre et depuis le quatorzième siècle par sa poterie typique de teintes émaillées allant du vert profond au brun-ocre et qui dépend des argiles riches en silice et en oxyde de cuivre de la vallée du Draa.

4.2.2. Valeur mythique

Cette valeur mythique décrit plutôt le cas de l'oasis sacrée de Oum Laalag qui surgit comme un mirage qui se déconnecte de son voisinage désertique. Son isolat dans des dizaines de kilomètres de la vaste Hamada du Drâa répond à la métaphore d'une « île dans le désert » (Bouaouinate et Aneflouss, 2013) et fait d'elle un espace mythique (Nicolas, 2007).

Auparavant durant l'époque médiévale Oum Laalag constituait un point d'aboutissement des grandes pistes caravanières. Elle est dite sacrée suite à la vieille conviction populaire que la source d'eau était habitée par une âme protectrice. Les nomades de passage laissaient sans appréhension leurs bagages auprès de la source, étant sûrs que grâce à sa baraka, personne n'allait y toucher.

Aujourd'hui, cette source est devenue un arrêt incontournable dans les circuits touristiques dans le désert. Il est à présent un espace partagé entre les nomades et les touristes.

4.2.3. Mode de vie oasien

Les milieux ruraux de la province de Zagora sont caractérisés par le nomadisme et le mode oasien. Les oasis unissent une population constituée de sédentaires et nomades, amazighs et arabes d'une grande hétérogénéité ethnique, de langages et de traditions (Sadki, 2011). Il s'agit d'une société solidaire à économie de subsistance qui a développé un savoir-faire écologique et urbanistique unique de son genre qui lui a permis d'exploiter son milieu semi-aride et de s'en protéger (Sadki, 2011). De la sorte, et malgré les contraintes géographiques, les oasis de la Réserve de Biosphère de Zagora a pu, depuis de longues dates, développer des populations sédentaires qu'y trouvent leur raison de vivre. C'est cet attachement affectif à de tels espaces qui explique la détermination à mettre en valeur et à s'installer dans des régions sahariennes (Kassah, 2009).

Le mode de vie oasien a persisté au fil de l'histoire, aujourd'hui et avec toutes les évolutions il se trouve en phase de survivre. Il remplit la fonction d'un patrimoine culturel identitaire et symbolique témoignant l'enracinement de la civilisation oasienne et reflétant son esprit ingénieux et créatif dans le savoir d'adaptation au milieu hostile.

4.2.4. Evolution socio-économique

En dépit du déclin de l'oasis d'un rôle central à un rôle marginal dans l'économie locale, les oasis à Zagora ont toujours joué leur rôle autant qu'un levier socio-économique local dans la

région. En creusant dans l'histoire on découvre que l'économie au sein de ces oasis n'a pas été toujours limitée à l'agriculture et au pâturage, mais elle combinait plutôt plusieurs activités. Elle a été liée à un réseau d'espaces profonds de l'Afrique à travers un réseau de routes commerciales ou à de vastes espaces vitaux liés principalement au pâturage et à la circulation. La diversité des activités et des emplois dans l'oasis a produit le modèle oasien intégré économiquement, démographiquement et socialement (Bouaouinate et Ramou, 2016). Cependant, avec le colonialisme et les développements du vingtième siècle, la zone vitale de l'oasis s'est limitée au domaine agricole alors que l'activité commerciale associée aux caravanes du désert a disparu, bien que la culture commerciale reste solidement implantée dans la communauté oasienne.

Après cette période, la région a connu une émergence du tourisme oasien. Plus récemment ces oasis assurent une fonction récréative qui s'est renforcée avec le développement des tour-opérateurs spécialisés dans le tourisme saharien (Hilali, 2005). Voulant profiter de cette nouvelle donne économique, de cet engouement de la demande touristique internationale et de l'afflux d'investissements étatiques ou privés, les oasis se sont ouvertes au tourisme. Ainsi, l'apparition de ce dernier dans les oasis a permis le développement d'une autre source de revenus tout en maintenant les familles dans leur milieu d'origine.

4.3. La convergence de la géodiversité, la diversité culturelle et la biodiversité dans le paysage oasien du sud est marocain

Le paysage oasien est un paysage caractéristique du sud est du royaume marocain à caractère géographique culturel qui symbolise la vie humaine dans ce milieu aride. Il est caractérisé par une pluralité dictée par la morphologie de la région ainsi que son organisation bien visible et identifiée.

A Zagora, ce paysage présente une ordonnance régulière; il est le plus souvent composé des dunes de sable, du relief montagneux, des plateaux désertiques et des palmeraies verdoyantes au bord d'Oued Draa. Le tout avec les anciens gros villages en terre (Fig. 66A-B) composent un paysage magnifique aux valeurs naturelles, culturelles et esthétiques élevées. Bien distincte dans la mosaïque de ce panorama, les oasis s'identifient par ses cultures irriguées en étages et par ses hauts palmiers dattier. Cet arbre millénaire, qui fait figure d'emblème des palmeraies, est l'un des symboles les plus représentatifs du territoire oasien. Le massif montagneux, formé par les deux groupes ordoviciens Premier et Deuxième Bani constitue un élément géomorphologique très fort dans ce paysage telle une barrière protectrice des palmeraies qui brisent la monotonie des plateaux désertiques.

L'héritage architectural des oasis étant construit par la terre reflète la capacité des sociétés oasiennes avec leur simplicité, à s'adapter avec les conditions climatiques géographiques et socio-économiques de leur environnement. Cette adaptation renvoie aussi au lien étroit entre la population locale et la géodiversité. Ce qui offre des possibilités pour sensibiliser le public de la géodiversité et au géopatrimoine et permet l'engagement d'un public plus large dans la leur conservation (Gordon et Kirkbride, 2009).

5. Intégration de la géodiversité dans les stratégies nationales de conservation à travers le projet de Bani Geopark

5.1. L'approche holistique du projet de Bani Geopark

Le projet de Géoparc de Bani comprend les provinces de Zagora, Tata et Guelmim Assa au sud du Maroc. Ces trois provinces sont liées non seulement par leur situation géographique, mais

aussi par leur histoire géologique puisqu'elles appartiennent à la même chaîne qui est l'Anti-Atlas. Elles sont unifiées par leur histoire, leur culture particulière et le mode de vie de leurs populations. Ces populations locales du sud marocain sont attachées à leur culture qu'elles tentent de préserver, de transmettre aux jeunes générations et de partager avec les touristes. Certaines d'entre elles ont préféré le nomadisme et d'autres sont installées dans des agglomération rurales pratiquant essentiellement des activités agricoles et touristiques.

Zagora et Tata détiennent la majeure partie du parc national d'Iriqui au Maroc. Caractérisé par son climat aride, sa flore (ex : les acacias et les tamaris) et sa faune (ex : le renard de Fennec), ce parc national a été créé en 1994 dans le but de protéger sa biodiversité et de préserver la zone humide temporaire du lac d'Iriqui, situé au sud-ouest de Zagora, d'autant plus que ce lac était un lieu d'escale et d'hivernage pour certains oiseaux migrateurs (ex : le flamant rose). En raison du changement climatique, la province de Zagora et ses environs sont devenus de plus en plus secs. Le lac est maintenant dans un état de sécheresse permanent qui a affecté la biodiversité ; ainsi, il ne joue plus son rôle de zone d'hivernage pour les oiseaux migrateurs. Par conséquent, plusieurs espèces ont disparu (ex : l'autruche à cou rouge) ou sont menacées d'extinction (ex : la gazelle dama). Le changement climatique a également affecté la socio-économie locale. Beaucoup de gens ont abandonné le nomadisme, qui est un style de vie caractéristique du sud-est du pays, et d'autres ont abandonné l'agriculture et adopté le tourisme saharien en raison du nombre croissant de touristes fascinés par le désert.

La création du parc national avait pour but de protéger la biodiversité de l'écosystème du lac, qui a toujours été liée à la géodiversité. Étant donné que cette géodiversité est liée à la biodiversité et aux personnes, elle devrait être prise en compte dans l'approche d'écosystème (Gray et al., 2013) et devrait être intégrée dans les politiques pertinentes et le cadre décisionnel relatifs à cet écosystème. La géodiversité devrait être incluse non seulement pour promouvoir son lien mutuel avec la biodiversité, mais aussi dans sa relation avec la socio-économie et les systèmes culturels (Gray et al., 2013). Dans la zone d'étude, ces liens sont ordinairement illustrés par l'utilisation de matériaux locaux (affleurements in situ) dans les constructions à l'intérieur de la palmeraie. Cette pratique a été démontrée comme étant une nécessité pour préserver l'écosystème des oasis. De plus, ces constructions sont plus adaptées aux conditions climatiques locales en protégeant les résidents du climat rude de la région ; elles sont chaleureuses pendant la saison froide et fraîches pendant la saison chaude. Par ailleurs, l'oasis est un écosystème vital et vulnérable qui nécessite d'être préservé et protégé, notamment lorsqu'il est confronté à l'envahissement par le sable. Ce dernier phénomène est généré par l'action active du transport du sable par le vent qui est facilité par la végétation limitée qui devrait fixer ce sable. Ces avancées du sable influencent négativement la production des palmeraies, ce qui est le cas de celle de M'hamid El Ghizlane au sud de Zagora. Il existe bien d'autres exemples dans le territoire qui illustrent le lien entre la biodiversité, la géodiversité et la socio-économie. Par conséquent, il semble que l'implication des concepts de la biodiversité et de la géodiversité est absolument nécessaire dans la gestion actuelle et future du patrimoine naturel, et en particulier du patrimoine géologique afin d'en tirer des bénéfices socio-économiques (Davies et Bunting, 2010 ; Larwood et al., 2013).

Les provinces de Zagora, Tata et Guelmim Assa ont connu différents changements climatiques au cours de leur histoire géologique quaternaire. Ces changements sont attestés par les dépôts quaternaires de même que par les vestiges archéologiques (pétroglyphes, pictogrammes) étudiés, respectivement, par de nombreux géologues et archéologues nationaux et internationaux.

En outre, ces régions sont dotées d'un géopatrimoine de valeur internationale et d'une longue histoire humaine qui remonte au Paléolithique. Ce patrimoine étant confronté à une dégradation et un vandalisme notables, nécessite une préservation et une protection. Dans ce contexte, l'approche globale d'un géoparc semble être plus appropriée et utile pour conserver et protéger le patrimoine naturel et culturel diversifié, et plus probablement tirer profit de ces composantes de manière judicieuse afin d'assurer un développement durable dans ces trois régions. Dans ce contexte, l'Université Mohammed V de Rabat a initié le projet Bani Geopark en collaboration avec les autorités locales des conseils provinciaux et touristiques de Tata et Zagora.

5.2. Bani Geopark est un outil pour valoriser les valeurs historiques et culturelles des oasis

Il est certes que la focalisation générale du concept de géoparc est le patrimoine géologique et la géodiversité, la présence d'objets géologiques impressionnants et d'importance internationale, importants du point de vue de la science, de la rareté, de l'éducation et/ou de l'esthétique, qui est essentielle pour l'établissement du géoparc (Azman et al., 2010). Cependant, la présence de ce type d'objets ne suffit pas. Un géoparc est susceptible de renfermer des éléments culturels ainsi que des zones d'activités économiques et industrielles anciens. Plutôt qu'un territoire scientifique ou naturel pour enseigner la géologie, un géoparc apparaît comme territoire culturel à importance bien plus grande (Martini, 2009).

Selon le Réseau mondial des géoparcs (2014), un géoparc est une zone dont les limites sont clairement définies et qui est suffisamment grande pour promouvoir le développement économique et culturel durable de la communauté locale, un des principaux objectifs des géoparcs UNESCO. Toutefois, aucun développement ne peut être durable sans une forte composante culturelle. En effet, seule une approche du développement centrée sur l'homme et basée sur le respect mutuel entre les cultures peut conduire à des résultats durables, inclusifs et équitables.

Bien qu'ils contiennent tous des géosites importants ainsi que des zones protégées, les géoparcs ne constituent pas une catégorie de zone protégée en tant que telle : le programme international des Géoparcs UNESCO offre un cadre international pour conserver et valoriser le géopatrimoine dans le cadre de stratégies d'utilisation durable. Ainsi, le projet du Bani Geopark n'ajoutera pas de statut de protection supplémentaire à la Réserve de Biosphère de Zagora ni au parc national Iriqui, mais il contribuerait à la conservation et la valorisation de ces sites tout en considérant leurs différentes valeurs qu'elles soient géologiques, biologiques, culturelles ou historiques, dans la promotion de l'économie durable locale en introduisant les concepts de géotourisme et de géo-éducation. Ces deux derniers concepts devraient soutenir la sensibilisation de la société locale ainsi que les visiteurs de ces valeurs afin d'éviter de porter atteinte aux différentes composantes du territoire. Le géoparc apportera donc une contribution supplémentaire à la préservation de ces valeurs matérielles et immatérielles du patrimoine culturel, historique et paysager.

6. La superposition du Bani Geopark, la Réserve de Biosphère UNESCO de Zagora et du parc national Iriqui

6.1. Opportunités et risques

Le paysage culturel d'une Réserve de Biosphère est le résultat de la composante géologique et les activités humaines sur des milliers d'années. Ainsi, le potentiel géologique d'un géoparc

offre un point fort touristique et physiogéographique pour cette réserve, permettant une approche holistique pour promouvoir ce paysage culturel unique (Megerle et Pietsch, 2017). Du fait que les limites géographiques de la partie Est du projet de Bani Geopark se superposent avec les limites administratives de la province de Zagora, la partie du parc national Iriqui qui lui appartient ainsi que sa Réserve de Biosphère se trouveront inclus au sein du future géoparc. On assistera alors à une superposition patrimoniale où le titre de géoparc n'apportera que la confirmation de caractéristiques déjà présentes (Babou, 2019). Cela est dû à l'idée que le paysage et l'agriculture ont été travaillés depuis des générations par la population pour contrer l'hostilité de la zone. Un travail qui a abouti à des réalisations exceptionnelles et qu'il est légitime de mettre en valeur.

Cette superposition territoriale peut induire tant des avantages que des risques pour le géoparc. On reconnaît de multiples possibilités de collaboration et de situation gagnant-gagnant pour les deux sites (Megerle et Pietsch, 2017). Ces scénarios de gagnant-gagnant pourraient résulter de l'échange interdisciplinaire d'idées entre les spécialistes, qu'ils soient experts en géologie, archéologie, botanique, zoologie ou histoire et culture (Megerle et Pietsch, 2017). En outre, le principal avantage peut résider dans la protection et la conservation dès lors que les géosites soient sous couvert des deux statuts de protection (parc national et Réserve de Biosphère UNESCO) dans lesquels ils s'inscrivent. Alors que le risque peut se présenter dans la potentielle mise en concurrence des deux statuts avec le géoparc, ou dans la moindre visibilité du label Géoparc au regard de la plus grande notoriété de ces statuts.

6.2. La possibilité de réaliser une synergie et une situation gagnant-gagnant pour les trois territoires

La province de Zagora est célèbre pour sa géologie exceptionnelle chez la communauté scientifique nationale et internationale, chose qui fait appel à une adéquate stratégie de conservation et de protection. En ajoutant à cette reconnaissance, celles du parc national en vue de protéger la faune et la flore de la région et de la Réserve de Biosphère UNESCO, la création du Bani Geopark apportera une approche holistique qui réunit ces différents objectifs. En conséquence la structure managériale du géoparc peut travailler en collaboration avec chaque institution séparément et peut même être un pont de coopération entre ces deux organisations. Les tâches collaboratives pourraient s'agir des formations de guides paysagistes, du développement de matériel scolaire (éducation pour un développement durable / géo-éducation), des projets touristiques communs, et des centres d'informations communs (ex : le "Entdeckerwelt Bad Urach" Megerle et Pietsch, 2017).

Un autre thème spécial mais généralement négligé dans les géoparcs qu'est le sol. Le sol est un élément fondamental, qui est inopportunément rare et vulnérable à plusieurs conditions naturelles et anthropiques dans la zone d'étude. La collaboration entre les différentes institutions peut d'une part sensibiliser la population locale de la vulnérabilité de son sol et d'autre part former les guides paysagistes sur ce sujet, en espérant que les visiteurs saisissent l'importance des sols comme zone de transition entre la géologie et la biodiversité (Pietsch et Kühn, 2017).

6.3. Atteindre des effets de synergie pour la géoconservation et le géotourisme

Les effets de synergie peuvent être des mesures de protection du géopatrimoine ainsi que des offres touristiques communes. L'intégration de phénomènes non seulement géologiques mais aussi biologiques renforcent l'approche holistique.

Les images de parcs nationaux et de la Réserve de Biosphère UNESCO, en particulier, sont un puissant attrait pour les visiteurs. En attirant les touristes à ces deux territoires, le Bani Geopark profite de visiteurs supplémentaires qui ne seraient pas venus au géoparc seul.

Il faut également mentionner que l'on doit au tourisme à M'hamid El Ghizlane, plus particulièrement à ses zones dunaires qui est un stimulant socio-culturel local, la valorisation des valeurs culturelles et écologiques de la région. En plus ces touristes ne sont pas des consommateurs passifs (Cauvin-Verner, 2007). Les acteurs locaux du tourisme apprennent aussi avec eux d'autres aspects naturels et scientifiques du désert (Bouaouinate et Ramou, 2016).

De plus, il y a les avantages financiers qui peuvent résulter du travail en commun dans des projets soutenus par les mêmes fonds. Ainsi, des infrastructures touristiques telles que des sentiers de randonnée ou des points d'observation peuvent être installées et entretenues, garantissant également une attractivité au géoparc (ex : Ries Geopark Megerle et Pietsch, 2017).

6.4. La conservation et la promotion des oasis de Zagora est une conservation de son géopatrimoine et de sa géodiversité

6.4.1. Les oasis de Réserve de Biosphère UNESCO

Le paysage oasien est défini autant qu'un complexe de valeurs tirées de ses différentes composantes à savoir l'aspect d'agriculture. Toute crise de ce secteur est particulièrement accompagnée d'une crise dans le paysage comme ensemble. D'où la nécessité de traiter les problèmes qui guettent les oasis de Zagora. De nos jours, ces palmeraies se trouvent en face de lourdes menaces. Elles réunissent des contraintes environnementales liées à l'envahissement par le sable, la dégradation du sol, la rareté des ressources en eau, la perte de la biodiversité et le Bayoud qui dessèche le palmier dattier. D'autres part, il y a le développement urbain inapproprié et l'abandon des palmeraies pour immigrer ou s'adonner à l'activité fort saisonnière du tourisme saharien.

La nécessité de faire face à ces problèmes revient au fait que l'oasis représente le paysage unique qui coexiste avec le désert en permettant à la végétation de proliférer et aux humains de prospérer grâce à la présence d'eau de ruissellement, d'eau de source et d'eau souterraine. La protection et la préservation de cette zone vitale s'avèrent donc indispensables pour maintenir la durabilité de son écosystème ainsi que sa reconnaissance internationale autant que Réserve de Biosphère UNESCO, et conséquemment, le maintien du paysage oasien qui est une identité de la région et un point d'attraction touristique.

6.4.2. L'Oasis Sacrée de Oum Laalag

Le cas du géosite de l'Oasis Sacrée est différent, ses problèmes peuvent être dûs à une surexploitation de l'eau de la source et /ou encore au potentiel de sa pollution suite au grand nombre de visiteurs vue qu'elle ponctue la majorité des circuits touristiques. Une attention conservatrice doit être prêter à Oum Laalag et particulièrement à son eau afin d'assurer sa durabilité et par conséquent, la durabilité des activités touristiques qui sont devenues une des principales sources de revenu de la population locale. Cela sans oublier l'ampleur de son importance pour la communauté nomade qui traverse les dizaines de kilomètres de route voire les centaines pour arriver à cette source d'eau.

Conclusion

La province de Zagora se caractérise par son environnement désertique, sa biodiversité et sa diversité culturelle qui est en harmonie avec son milieu naturel. Cette province, tout comme sa

voisine, la province de Tata, constitue un moyen de subsistance pour les nomades et les communautés berbères du sud du Maroc. Les populations locales se soucient davantage de leur culture et ne semblent pas être affectées par la vie moderne, en particulier les communautés nomades. Malheureusement, la rareté de l'eau et la problématique du changement climatique d'une part, a rendu la vie de ces communautés, plus difficile, ce qui a contraint certains d'entre eux à abandonner le nomadisme. D'autre part, ces conditions ont affecté la richesse biologique de la région en conduisant à la disparition de certaines espèces. Ces changements alarmants ont été derrière la création du parc national Iriqui en 1994 visant à protéger l'écosystème fragile du territoire, surtout après sa dégradation, et à réintroduire les espèces disparues. Plus tard en 2007, le chapelet des palmeraies de Zagora fut renommé une Réserve de Biosphère UNESCO. Cette désignation tient à atteindre une harmonie entre la protection, la conservation de la biodiversité et le développement socio-économique local qui se base sur l'utilisation durable de ce capital naturel. Cependant, la géodiversité reste sous-estimée par les deux concepts bien qu'elle soit liée à la biodiversité et à la culture locales en leur conférant de nombreux avantages, comme l'illustre une multitude d'exemples.

Au-delà de la seule question de la qualité du milieu de vie, l'environnement et le paysage sont devenus aujourd'hui une véritable préoccupation sociale et économique des acteurs de l'aménagement du territoire. On les envisage comme un héritage à préserver, un cadre de vie à entretenir, une ressource économique à valoriser tout comme une opportunité de développement à saisir. Les oasis de Zagora connaissent déjà des activités touristiques depuis une bonne période. Cette attraction est due à leur valeur culturelle, alors que la géodiversité qui est à la base de la valeur esthétique et du caractère des paysages ([Hose, 2008](#)) demeure négligée. Cependant la combinaison des valeurs telles que la culture, l'histoire, la géologie et l'écologie que procurent ces oasis peut offrir plus d'opportunités aux experts pour divulguer les connaissances scientifiques notamment celles qui sont relatives au géopatrimoine et à la géodiversité.

Ainsi, selon la nouvelle approche holistique d'écosystème qui considère à la fois l'intérêt des diversité géologiques, biologique et culturelle dans la conservation de la nature et le développement durable local, le concept du projet de géoparc de Bani s'avère mieux adapté à répondre à ces modalités. Il devrait prendre en compte l'ensemble du système : la protection la promotion de la géodiversité, biodiversité et la culture locale tout en réalisant un développement socio-économique locale. Il serait d'une importance dans la sensibilisation de ces locaux de l'importance de la géodiversité et de la façon dont ils peuvent en bénéficier de manière durable. Avec la fondation de ce géoparc, ses limites géographiques coïncideront d'une part avec celles de la Réserve de la Biosphère UNESCO de Zagora et d'autre part avec celles du parc national Iriqui. Cette superposition de valeurs patrimoniales pourrait engendrer plus d'opportunités de conservation et de valorisation sous l'ombre de collaboration entre les différentes organismes, vue que l'approche globale d'un géoparc ne s'opposera pas avec les principes et les objectifs des deux autres.

Chapitre 3 : Exemples de géo-circuits pour la promotion de la géodiversité et du géopatrimoine de Zagora

1. Introduction

Les géoparcs sont des entités spatiales significatives où un expert peut partager avec le public une histoire véritablement passionnante sur les processus souterrains de la Terre sans utiliser la terminologie scientifique (Maltesics, 2020). Ils tentent de promouvoir non seulement les connaissances géologiques et formes terrestres mais aussi les autres éléments naturels liés à la géographie, tels que la flore et la faune. De cette façon, les géo-tours jouent un rôle majeur dans l'organisation des activités géo-éducatives et géotouristiques sur le terrain en remplissant la tâche de guider le visiteur à travers une leçon interactive tout en observant les valeurs naturelles et culturelles.

Les géo-circuits sont une nouvelle approche de l'exploration jouant un rôle important dans la pratique d'une éducation au contact de la nature dans une classe en plein air. Les visiteurs peuvent voir les échantillons d'éléments géologiques sur le lieu d'origine et participer à des expériences qui aident à comprendre les processus géologiques souvent complexes. Les géo-circuits soutiennent les activités d'enseignement des Sciences de la Terre en améliorant l'intérêt des étudiants ainsi que l'efficacité de l'apprentissage, en particulier pour les étudiants de ces sciences.

De la sorte, la première mission du projet Bani Geopark serait de préserver et de présenter la richesse du patrimoine géologique du territoire en impliquant les populations et les communautés locales et en lançant divers programmes éducatifs et géotouristiques. Il permettrait d'instaurer la nouvelle approche des géo-circuits qui considère le capital géologique à côté des pratiques touristiques actuelles. Il peut également disséminer la géo-éducation de différentes manières. En promouvant, par exemple, une série de géo-circuits guidés et des activités éducatives organisées par le personnel enseignant qualifié, adressée aux écoles et aux départements des universités et des instituts de recherche.

Dans ce chapitre, on présente dans un premier lieu les circuits touristiques conduits dans la zone d'étude en mettant l'accent sur les valeurs naturelles, environnementales et culturelles considérées dans ces visites guidées. Il est aussi pour présenter des exemples de géo-circuits auxquels il est possible de procéder -en tant que nouvelle approche pour explorer la zone- pour des fins éducatives et touristiques. Ceux-ci devraient contribuer à la valorisation de la géodiversité et du géopatrimoine de Zagora tout en diversifiant les programmes des visites guidées menées dans la région.

2. Offres et circuits touristiques habituels conduits dans la zone d'étude

La province de Zagora est traditionnellement reconnue comme une destination du tourisme saharien et oasien grâce à ses dunes de sable et son chapelet d'oasis. Ces particularités du territoire présentent une fonction récréative renforcée par le développement du tourisme saharien (Hilali, 2005). Dans cette zone aride, les circuits touristiques habituels opérés par les locaux dans les oasis et les différents champs de dunes constituent la principale source de revenus de ceux-ci.

Cette activité touristique est marquée par la prédominance des touristes européens. Le taux des touristes nationaux reste plus faible.

2.1. Arrêts et randonnées au niveau des ergs et des oasis

Comme indiqué par son surnom Porte du désert, le village de M'hamid El Ghizlane présente le point d'accès au « vrai désert » où commencent les excursions vers les différentes zones dunaires et à la rencontre des nomades. Selon la demande du touriste, ces tours peuvent durer des jours en visitant plusieurs zones (Fig. 99) et passant la nuit dans des bivouacs mobiles ou fixes. Mis à part Erg Ezzehar, le reste des ergs disposent des bivouacs fixes de qualités différentes. La durée de ces excursions varie d'une journée à plusieurs jours comme elles peuvent être menées à pieds, dos de chameaux (Fig. 100A), en 4*4 ou en quads.

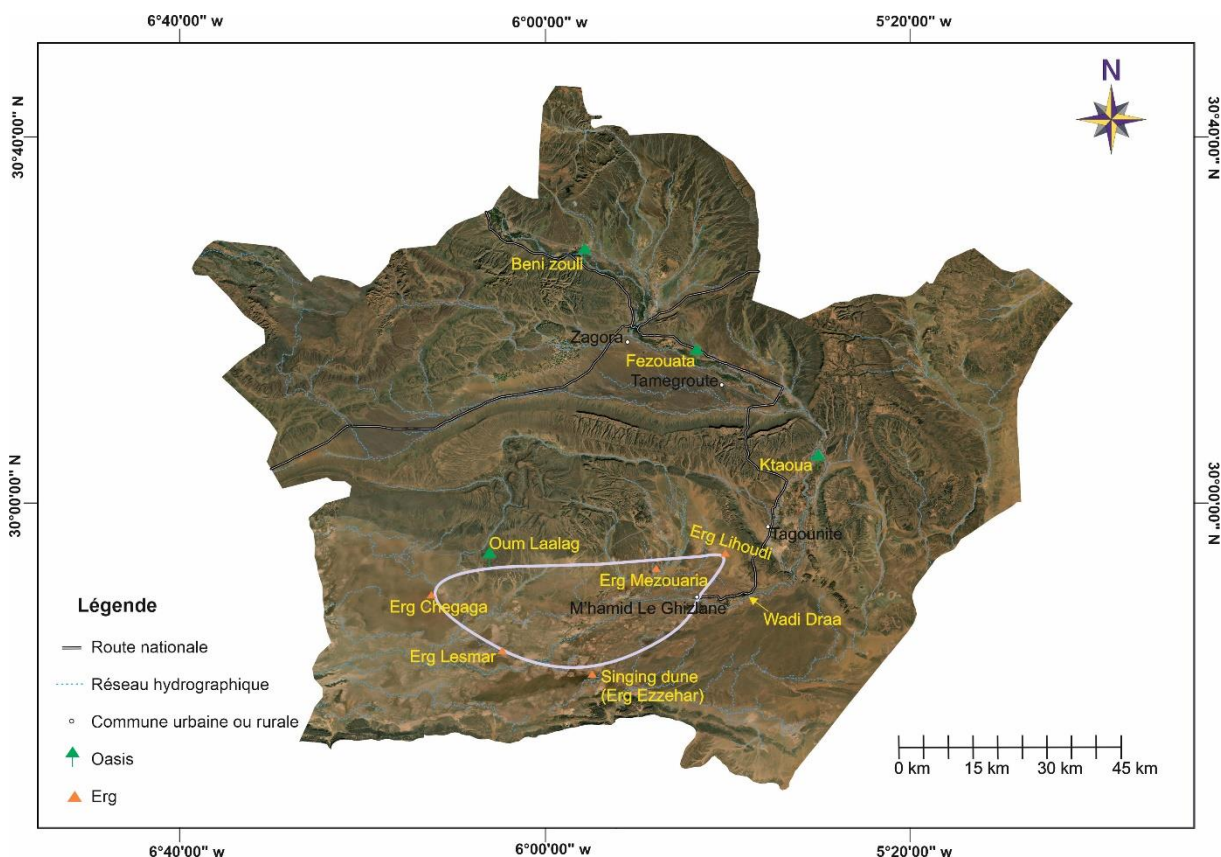


Fig. 99: Carte du circuit touristique classiquement mené à travers les ergs et Oasis Oum Laalag au sud de Zagora

Se retrouver au niveau des ergs permet au touriste de pratiquer des sports tels que le Sandboarding et le Yoga (Fig. 100B), grimper les dunes pour admirer le panorama désertique ou le coucher de soleil, essayer des plats locaux présentés dans des ustensiles de poterie locale (Fig. 100G) et se réunir le soir autour d'un feu pour discuter et/ou écouter de la musique jouée par des locaux, correspondant généralement aux guides touristiques eux-mêmes (Fig. 100D). Au cours de ces circuits réputés, le plus souvent, le touriste a la chance de rencontrer des nomades (Fig. 100E) voire même être accueilli par ces derniers pour un verre de thé et/ou pour manger. En considérant l'intérêt à de telles rencontres qu'exprime le touriste, on peut considérer le tourisme saharien comme un moyen de revalorisation de l'identité des nomades (Bouaouinate et Ramou, 2016). Les randonnées opérées au sud de Zagora ne manquent pas de faire le touriste visiter les oasis. Ces oasis varient d'une série de palmeraies, comme l'oasis de Fezouata, à de minuscules hectares révélant la présence d'une source (ex : l'oasis d'Oum Laalag) apparaissant isolées dans les vastes ergs et illustrant le mythe de l'oasis (Fig. 101), qui est dans l'esprit des touristes (Bouaouinate et Aneflouss, 2013).



Fig. 100: A. Randonnées au dos de chameaux. B. Groupe de touristes pratiquant le Yoga à Erg Mezouaria. C. Une touriste pratiquant le Sandboarding à Erg Chgaga. D. Soirée musicale autour du feu dans un bivouac. E. Touristes accueillis par un nomade. F. Groupe de touristes grimpant Erg Mezouaria. G. Couscous présenté aux touristes dans un plat de poterie verte, une particularité de Tamegroute.



Fig. 101: Arrêt de repos à l'oasis Sacrée d'Oum Laalag. A. Les chameliers donnent à boire aux chameaux. B. La source d'eau d'Oum Laalag d'où peut le touriste boire et se rafraîchir. C. Préparation de thé par le guide touristique pour la pause incontournable de thé de nomade.

Les atouts du psammatourisme ne se traduisent pas uniquement en termes économiques. Il contribue dans l'apprentissage de ses opérateurs locaux de nouvelles choses telles que les langues et les pratiques écologiques (Fig. 102) ce qui joue à la faveur de leur image.



Fig. 102: Management des déchets des bouteilles et bidons dans un bivouac à Erg Lesmar. A-B. Réutilisation des déchets dans la construction. C. Réutilisation des déchets dans la décoration.

2.2. Les Ksours et Kasbahs

Un patrimoine historique représentant un habitat rural traditionnel et caractérisé par des constructions fortifiées en terre (Ex : Fig. 103). Les ksour sont des villages fortifiés entourés d'un mur et gardés par des tours de guet. Ils sont assez anciens, certains datent de plusieurs milliers d'années. Ils peuvent contenir des centaines de maisons, des espaces communs et des mosquées, etc. Les kasbahs sont des maisons individuelles fortifiées appartenant à des notables du passé et datent du 18^e siècle ou du 17^e siècle, pour les plus anciennes.

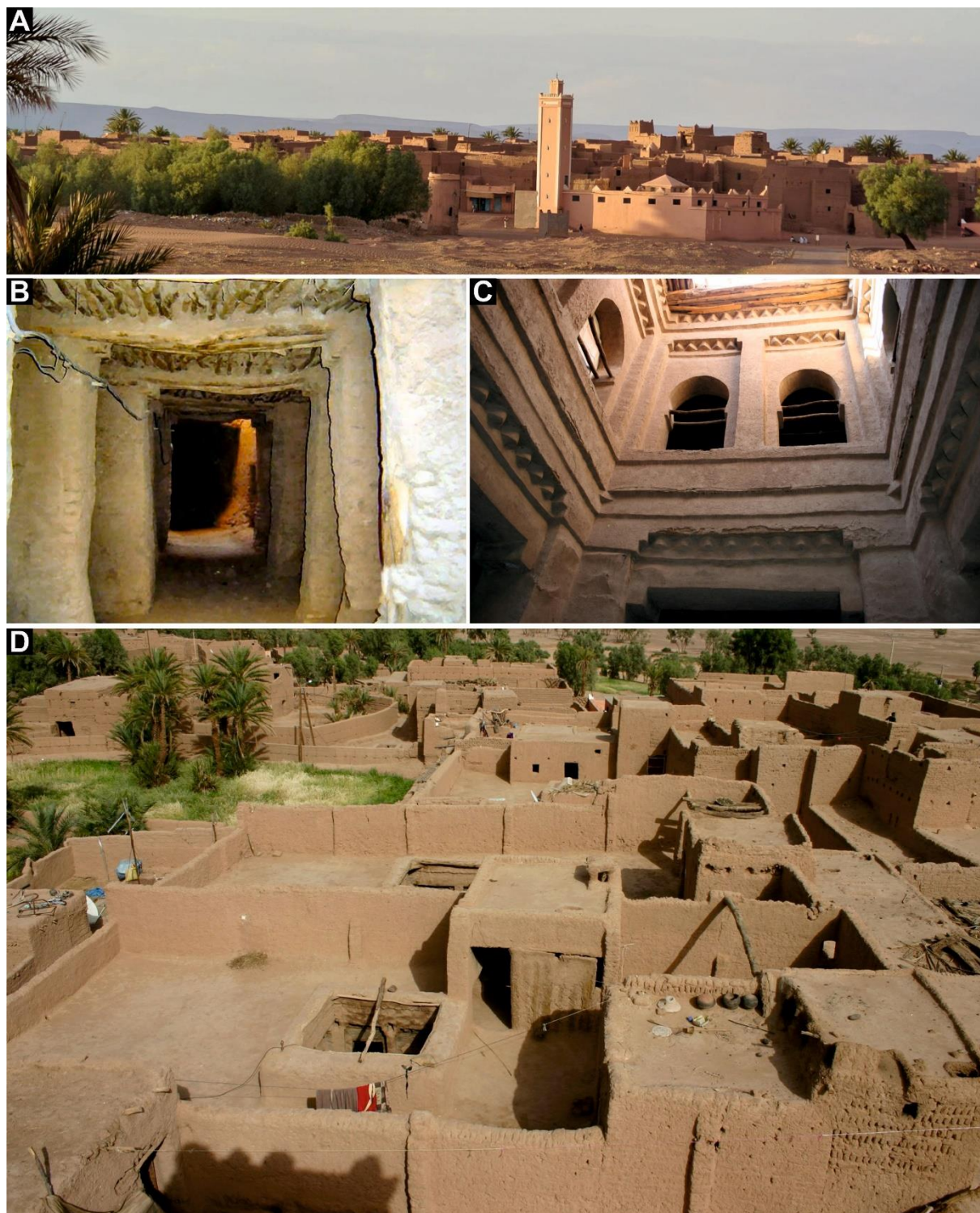


Fig. 103: Kasbah de M'hamid El Ghizlane. A. Vue panoramique. B. Ruelle à l'intérieur de la Kasbah. C. Architecture à l'intérieur d'une maison. D. Vue aérienne.

La province de Zagora regorge de telles fortifications qui font part de son identité. Elles présentent un potentiel touristique important dans la région en tant qu'une unité incontournable du paysage du sud-est marocain et en tant que sites historiques à visiter, intégrés dans les cartes des tours touristiques. Ainsi, le patrimoine architectural des Ksours et Kasbahs a permis de développer un tourisme culturel dans la zone d'étude attirant l'attention au mode de vie local qui a persisté depuis des millénaires et le savoir ingénieux des locaux à s'adapter aux conditions sévères de leur territoire.

Reconnaissant la valeur de ces fortifications, la province célèbre son patrimoine architectural annuellement depuis 2016, à Tagounite. Ce festival a pour but d'exposer la diversité des Ksours et Kasbahs dans la région et de les mettre en valeur, comme il prête attention au potentiel artisanal de la région et au développement du tourisme local.

2.3. Les festivals modernes et Moussems séculaires

Depuis des millénaires, la vallée de Draa a servi de carrefour à plusieurs civilisations. En rendant hommage à cette richesse culturelle, la province de Zagora célèbre un grand nombre de manifestations à caractères culturel et spirituel dont certaines sont devenues une référence internationale en termes de variété culturelle et d'ouverture sur le monde.

Par le biais de la danse, des sports physiques (Fig. 104), de la musique, des rituels traditionnels, de la gastronomie, de conférences-débats et de la vente de produits artisanaux locaux, les festivals -tels que Nomades et Taragalte- présentent des aperçus des cultures nomades du monde entier. Ils donnent ainsi au public local et international l'accès à l'art et aux traditions ancestrales. Les festivals internationaux des Nomades et Taragalte sont organisés en plein air, à M'hamid El Ghizlane, rassemblant les communautés locales, artistiques et les visiteurs étrangers. Leurs activités traditionnelles mettent en valeur l'héritage matériel et immatériel des tribus nomades, contribuant ainsi à la préservation de leur identité culturelle.



Fig. 104: Exemples des traditions locales évoquées lors du festival des nomades (photos de l'édition 2019). A. Groupe d'homme jouant à l'Ellaz, hockey nomade. B. Course au dos de chameaux. C. Folklore local, récitation de poèmes en Amazigh. D. Préparation de Mella, pain de sable.

Quant aux Moussems, fêtes ou foires traditionnels et séculaires, ils consistent en des rassemblements festifs de locaux à la mémoire d'un saint. Il s'agit d'un phénomène social profondément enraciné dans la société et la culture marocaines, un pèlerinage qui se déroule chaque année à une date précise autour du sanctuaire d'un saint (Berriane et al., 2016). A la vallée de Draa, ces Moussems sont liés à ses 43 Zaouias tout en dépendant des conditions et des dates de récolte (Zainabi, 2004). On compte parmi ces manifestations, le Moussem de Tamegroute, organisé chaque année à la fameuse Zaouia Naciria, l'un des pôles les plus attrayants de la province en raison de sa grande valeur historique. Ce dernier constitue une entrée intéressante sur le folklore, les produits locaux et les rituels traditionnels pratiqués depuis des époques.

La présentation de l'offre touristique dans la zone d'étude semble riche et variée rendant hommage à l'héritage local. Cependant, le potentiel touristique de la région est bien plus large et intéressant. De plus, sous la gestion du projet Bani Geopark, les sentiers peuvent également avoir une vocation éducative en incluant des sites ayant des valeurs géologiques, culturelles, archéologiques, historiques et/ou écologiques.

3. Proposition de géo-circuits

3.1. Géo-circuit1 : Evolution de la plate-forme du Nord Gondwana au cours d'Ordovicien

De point de vue paléogéographie d'Ordovicien, la majorité des continents (l'Afrique et de l'Amérique du Sud avec l'Antarctique, l'Australie, l'Inde et la Péninsule Arabique) étaient regroupés dans l'hémisphère Sud formant le supercontinent du Gondwana (Fig. 105), centré sur le pôle Sud (Scotese et al., 1999 ; Fortey et Cocks, 2003 ; Cocks et Torsvik, 2004 ; Veevers, 2005). A ce niveau, la région de Zagora appartenait à la plate-forme du nord de ce supercontinent. Aujourd'hui, elle est reconnue pour avoir bien conservé les témoins (séries sédimentaires et stratigraphiques, contenu paléontologique et ichnologique...) de cette position paléogéographique. D'où l'intérêt de mener des géo-tours pour les étudiants universitaires, principalement, et pour les élèves des niveaux scolaires moins avancés pour visiter cette série ordovicienne.

Ce premier circuit proposé (Fig. 106) a pour but de ramener les visiteurs dans le temps jusqu'à l'âge géochronologique de l'Ordovicien où la vie était restreinte au domaine sous-aquatique marin. Il vise analyser la dynamique sédimentaire et le mode d'organisation stratigraphique de la plate-forme du nord de Gondwana à travers les géosites et sites à géodiversité identifiés dans le présent inventaire.



Fig. 105: Reconstitution paléogéographique d'Ordovicien inférieur (~480 Ma) (d'après Cocks et Torsvik, 2004).

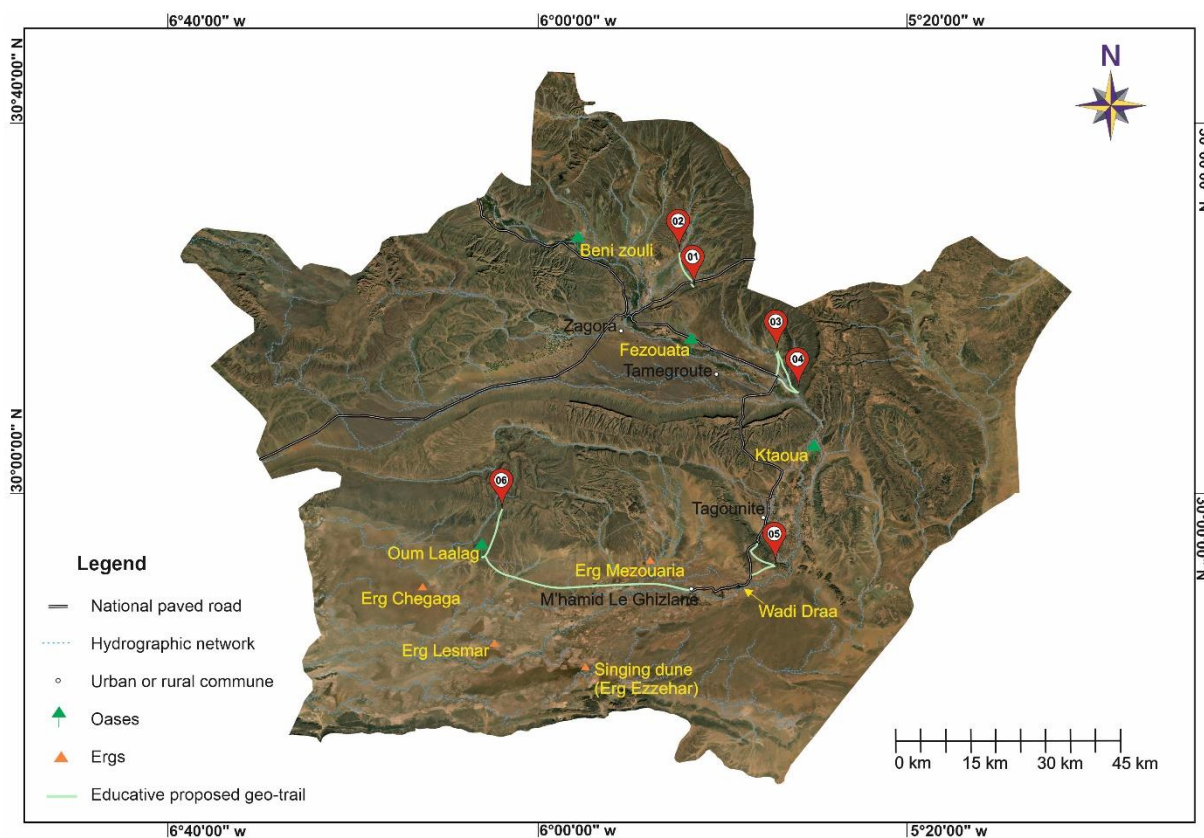


Fig. 106: Carte du géo-circuit éducatif proposé à travers la série ordovicienne à Zagora.

3.1.1. Arrêt 1

Arrêt 1	Public cible	Objectif
Géosite TER-PAL02	Etudiants et élèves	Série sédimentaire d'Ordovicien inférieur (Tremadocien-Floien)

Il s'agit d'un arrêt au niveau de la Formation de Fezouata qui indique une mer peu profonde et marque la prolongation de la transgression globale initiée au Cambrien. Ces indications peuvent être expliquées en :

- Etudiant de la nature de la sédimentation au cours d'Ordovicien inférieur qui se matérialise par les dépôts argilo-silteux de Fezouata.
- Ayant une idée sur le contenu fossilifère des schistes de Fezouata.
- Interprétant les figures sédimentaires.

Vue sa proximité de la route et son accès facile, cet arrêt peut être aussi dédié aux élèves du primaire vu qu'ils sont initiés aux fossiles depuis leur quatrième année. Ainsi, il serait complémentaire de les ramener à ce géosite pour les faire toucher à un vrai fossile sur place. Cela présente aussi une occasion pour leur montrer d'où et comment les chercheurs trouvent cet élément paléontologique.

3.1.2. Arrêt 2

Arrêt 2	Public cible	Objectif
Géosite TER-PAL03	Etudiants et élèves	Série sédimentaire d'Ordovicien inférieur à moyen (Tremadocien-Llanvirn)

Cet arrêt est d'une valeur stratigraphique. Caractérisé par la présence de la Formation de Tachilla qui bien qu'elle soit en bloc dispersés au contact avec les schistes de Fezouata, elle permet d'identifier, avec les Formations de Zini et Fezouata, les deux différents cycles sédimentaires relatifs à celles-ci (Fig. 106). C'est une formation d'argilite finement gréseuse de couleur gris-noire qui représente le début du deuxième cycle sédimentaire ordovicien. Sa base se caractérise par un niveau d'oolithes ferrugineuses qui souligne la transgression de cette formation. La station permet :

- L'étude du patrimoine ichnologique de la formation de Tachilla.
- L'interprétation des structures sédimentaires.

3.1.3. Arrêt 3

Arrêt 3	Public cible	Objectif
Géosites BEN-PAL01	Etudiants	Série sédimentaire d'Ordovicien inférieur à moyen (Tremadocien-Llanvirn) : Groupe de Feijas externes

Cet arrêt (Fig. 106) permet de mettre les événements de transgression/ régression au point, en suivant le changement des conditions du milieu de dépôts à partir de la nature sédimentologique des formations.

La Formation de Zini marque la fin du premier cycle sédimentaire ordovicien du Trémadoc-Aréniq qui peut être enseigné à partir des discontinuités stratigraphiques et sédimentaires présentés par les deux géosites BEN-STR03 et BEN-STR02 : série condensée et hard-ground (Fig. 60), confirmant l'intérêt stratigraphique de Zini.

TER-STR02 correspond à une série condensée indiquant les changements dans le flux sédimentaire et aide à définir les surfaces stratigraphiques clés telles que la surface de régression. TER-STR02 et TER-STR03 représentent des ruptures importantes dans l'enregistrement sédimentaire

3.1.4. Arrêt 4

Arrêt 4	Public cible	Objectif
Jbel Taddart	Etudiants	Série sédimentaire d'Ordovicien moyen à supérieur (Llanvirn- Caradoc)

La série sédimentaire du Groupe Premier Bani (Ordovicien moyen à supérieur) affleure de façon continue et très peu déformée sur plus de 600 km le long de la cuesta du Jbel Bani. Elle correspond à des dépôts argilo-gréseux marins d'allure tabulaire à l'échelle de Zagora. Ses quatre premières formations (Taddrist, Bou-Zeroual, Guezzart et Ouine-Inirne) sont attribuées à la partie supérieure du Llanvirn et la dernière formation (Izegguirene) à la partie inférieure du Caradoc.

De vue, cette partie de la plate-forme Nord Gondwana laisse croire à son apparence monotone. Cependant, dans le détail, elle présente une relative diversité des associations de faciès de plate-forme et une architecture stratigraphique complexe (Fig. 107, Marante, 2008). Il est marqué par un enrichissement progressif en éléments détritiques. La limite inférieure du Groupe Premier Bani correspond le plus souvent à un passage graduel entre les argiles de la Formation de Tachilla et les grès de la Formation de Taddrist.

Cet arrêt (Fig. 106) au niveau de Jbel Taddrist serait d'une importance en permettant aux étudiants d'analyser l'évolution stratigraphique verticale du Groupe premier Bani. Cela peut être bâti sur :

- La description et la comparaison des faciès ;
- L'interprétation du milieu de dépôt ;
- L'identification et la caractérisation de la lithologie, la granulométrie, les figures sédimentaires et les ichnofossiles ;
- La mesure des directions des rides de courants.

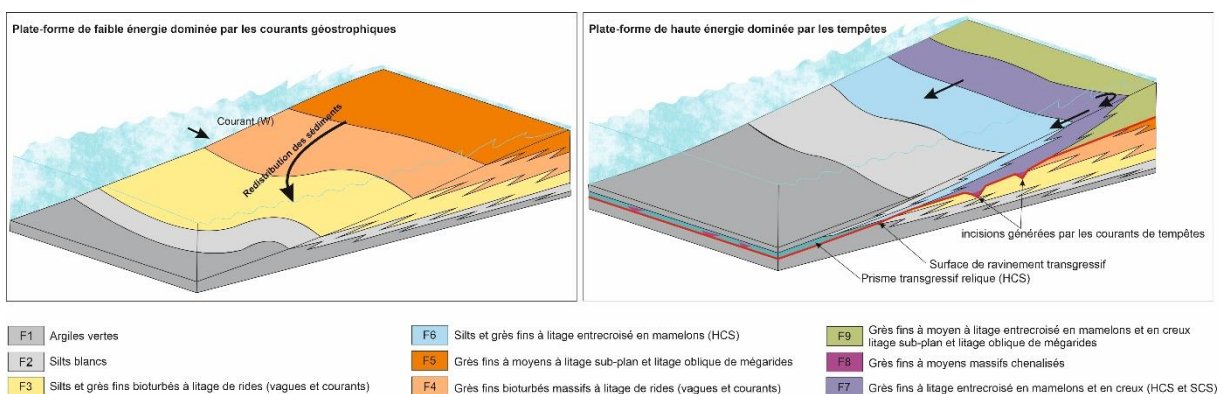


Fig. 107: Schéma des deux types de systèmes sédimentaires montrant la différence de par rapport au rivage. Dans le cas des systèmes de faible énergie, le flux sédimentaire dirigé vers le NNW est progressivement dévié vers l'Ouest par les courants géostrophiques qui balayent la plate-forme d'Est en Ouest. Dans les systèmes de haute énergie dominés par les tempêtes, les courants de tempête prennent le dessus sur les courants géostrophiques et le transport des particules sédimentaires s'effectue de façon perpendiculaire au rivage (D'après Marante, 2008).

3.1.5. Arrêt 5

Arrêt 5	Public cible	Objectif
Géosite FOL-STR01	Etudiants	Série sédimentaire d'Ordovicien Supérieur (Caradoc-Hirnantien)

Le Groupe Premier Bani est surmonté par le Groupe de Ktaoua, dominé par des dépôts fins, argilo-silteux, riches en faune. La limite entre ces deux groupes est marquée par une surface très nette dans la région de Zagora mais elle devient plus floue dans Maïder et le Tafilalt (Clerc, 2012). Subdivisé en trois formations, le groupe de Ktaoua est caractérisé par une unité argilo-gréseuse, associée à un environnement de plate-forme dominée par les marées et les tempêtes.

La dernière série stratigraphique d'Ordovicien supérieur de ce géo-circuit correspond au Groupe du Deuxième Bani. Il regroupe une formation inférieure, constituée d'alternance de grès à grain fin et de grès argileux prédominants, indiquant un milieu de front de mer à dominance de tempête (Sutcliffe et al., 2001). Cette dernière a été tronquée par un réseau de vallées tunnel dont le remplissage correspond à la formation supérieure du Groupe Deuxième Bani. Elle reflète un environnement subaquatique sous glacier (Le Heron, 2007).

Cette succession d'Ordovicien supérieur peut être étudiée à l'échelle de Bni Selmane où les étudiants peuvent être en contact avec les formations de ktaoua et celles du groupe du Deuxième Bani. Cet arrêt du géosite FOL-STR01 permet de suivre l'évolution de la plate-forme du Nord de Gondwana au cours d'Ordovicien supérieur, plus particulièrement pendant l'Hirnantien, en tenant compte de l'événement majeur de la glaciation qui particularise cette période. De la sorte, il permet de :

- Identifier et caractériser la lithologie, les structures sédimentaires et les ichnofossiles des différentes formations des deux groupes, Ktaoua et Deuxième Bani ;
- Décrire et comparer les faciès des deux groupes;
- Interpréter le milieu de dépôt ;
- Mettre en évidence la glaciation fini-Ordovicienne en caractérisant et comparant les faciès des deux formations du Groupe Deuxième Bani (Fig. 108) ;
- Discerner le réseau des vallées tunnel, produits de l'érosion sub-glaciaire, et la discordance majeure relative à cette glaciation ;
- Examiner les caractéristiques granulométriques de la formation inférieure du Deuxième Bani qui ont contrôlé l'architecture du système de drainage des eaux de fonte ;
- Etudier les indications des conditions paléo-écologiques et paléo-environnementales qui ont conduit aux extinctions biologiques ;

Ce point donne également à une vue panoramique qui inclue la cuesta de Jbel Bani et le Groupe de Deuxième Bani avec la base ondulée de sa formation supérieure qui correspond à une discordance majeure (Fig. 108A-C).



Fig. 108: A. Le contact discordant entre les grès de la formation inférieure du Deuxième Bani et les conglomérats de sa formation supérieure. B. Dyke clastique tronquant les conglomérats à la base de la deuxième formation du deuxième Bani. C. Vue panoramique comprenant le Groupe Premier Bani qui se présente en cuesta et le Groupe de deuxième Bani avec un profil de base irrégulier et ondulé

3.1.6. Arrêt 6

Arrêt 6	Public cible	Objectif
Géosite TIN-STR01	Etudiants	Série sédimentaire d'Ordovicien moyen à Supérieur (Caradoc- Hirnantien)
Deux extinctions massives au cours de l'Ordovicien supérieur dues aux changements climatiques sont liées au Groupe du deuxième Bani (Brenchely et al., 1995 ; Hallam et Wignall 1997 ; 1999 ; Sutcliffe et al., 2001). La première a affecté significativement les organismes pélagiques, principalement les graptolites (Melchin et Mitchell, 1991 ; Hallam et Wignall, 1997 ; Finney et Berry 1997 ; Finney et al, 1999 ; Sutcliffe et al., 2001). Elle renvoie au refroidissement et la baisse du niveau de la mer qui a commencé au début d'Hirnantien (Delabroye et Vecoli, 2010). En parallèle, la faune Hirnantia a connu une évolution grâce à son adaptation aux nouvelles conditions climatiques (Sheehan et Coorough 1990 ; Rong et Harper 1999 ; Rong et al., 2002 ; Delabroye et Vecoli, 2010). La deuxième extinction a affecté la faune des profondeurs (Owen et Robertson 1995 ; Rong et Harper 1999) et a diminué la diversité de la faune Hirnantia (Rong et Harper 1999 ; Sutcliffe et al., 2001). Cet arrêt comprend des séries sédimentaires d'un contenu paléontologique (Fig. 109) riche qui permet aux étudiants de découvrir la faune qui colonisait la mer émergeant la plate-forme du Nord de Gondwana.		



Fig. 109: Exemples des éléments sédimentologiques et paléontologiques du géosite TIN-STR01 ; A-B-C. Exemples de brachiopodes et de crinoïdes d'Hirnantien ; D. Grès à grain fin avec série condensée ; E. Grès à liage entrecroisé de la formation supérieure de Deuxième Bani ; F. Grès à liage entrecroisé de la formation inférieure du deuxième Bani.

3.2. Géo-circuit 2 à Foum Larjamme : Intégration de la géologie et de l'archéologie

Grâce à la position géographique du géosite de Foum Larjamme et à la diversité de ses éléments patrimoniaux, un géo-circuit informatif d'une demi-journée peut être organisé pour les étudiants et les touristes. Ce circuit peut inclure de nombreuses stations uniquement au niveau de Foum Larjamme et ses environs. Un programme de géo-circuit diversifié de 12 stations (Fig. 110) avec des thèmes géologique, archéologique, biologique et historique.

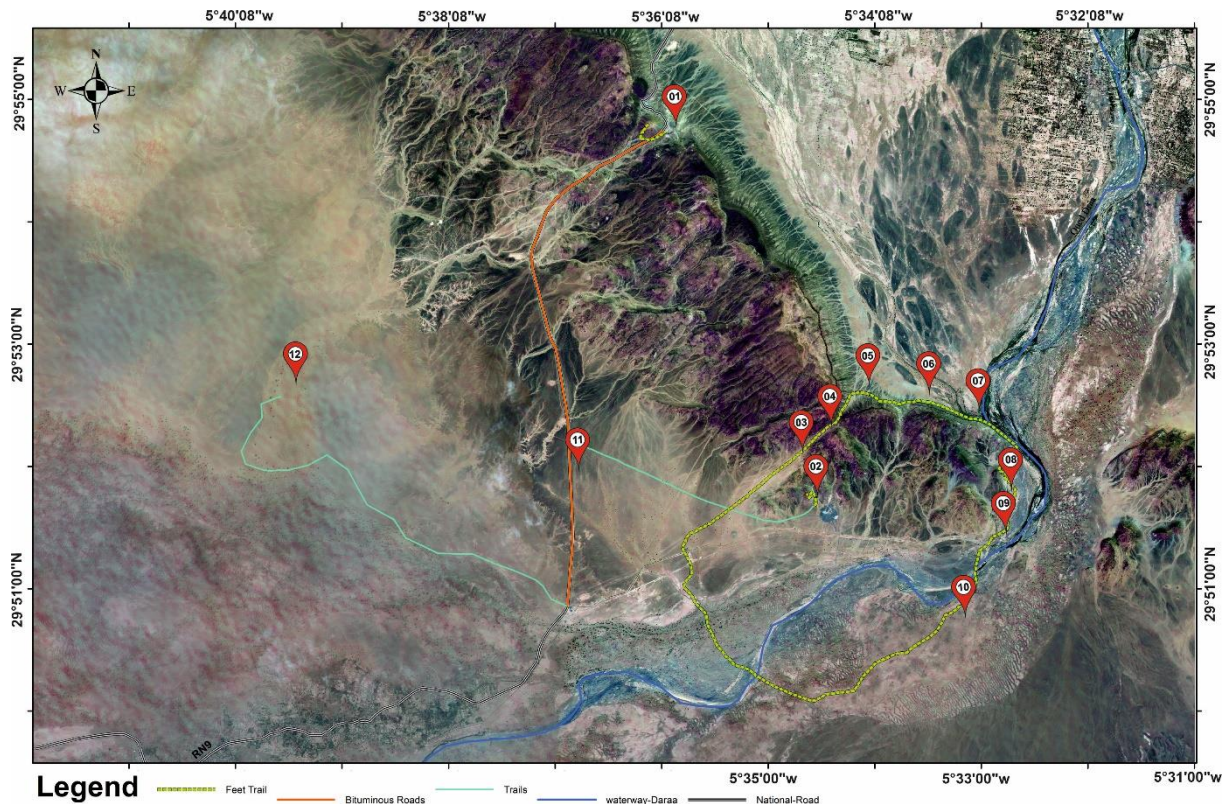


Fig. 110: Carte du géo-circuit proposé à travers Foug Larjamme et ses environs (Lahmidi et al., 2022).

3.2.1. Arrêt 1

Arrêt	Public cible	Objectif
1	Etudiants et touristes	Patrimoine géologique et Capital biologique
Sur la bordure gauche de la route menant à M'hamid El Ghizlane, cette station offre des vues panoramiques et divers éléments géologiques dont les schistes ichnologiques du groupe de Ktaoua : - Les étudiants peuvent se renseigner sur ce contenu ichnologique ainsi que les structures sédimentaires de l'affleurement pour une fin stratigraphique et pour pouvoir interpréter le paléo-environnement (Figs. 111B-C). - Deux vues panoramiques peuvent être distinguées avec des valeurs géo-éducatives et géotouristiques (Fig. 111A). Elles combinent la géomorphologie, la végétation, caractéristiques de la région, ainsi que l'oasis de Tagounite, un élément vital de la région. En plus de leur beauté attrayante, elles constituent un excellent exemple des reliefs désertiques qui caractérisent le territoire. La nature de la végétation peut également être médiatisée en impliquant sa relation avec la géologie et le climat sec.		

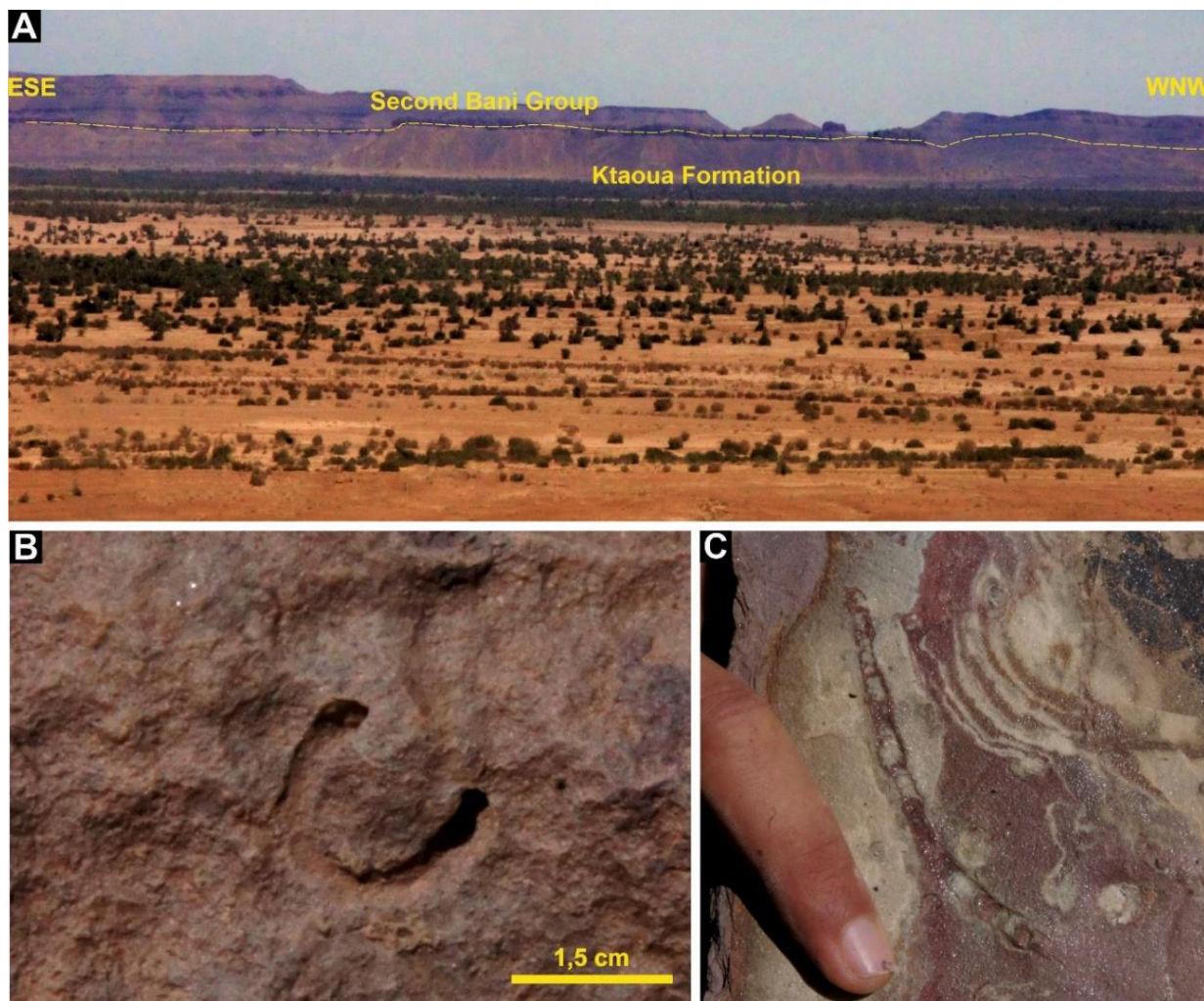


Fig. 111: A. Vue panoramique de l'oasis de Tagounite, de la végétation et des reliefs du désert. B. Terrier horizontal en forme de U qui pourrait être comparé à Rhizocorallium. C. Terriers de type Taenidium horizontal et de type Skolithos subvertical qui semble circulaire dans le plan de litage.

3.2.2. Arrêt 2

Arrêt	Public cible	Objectif
2	Etudiants	Géopatrimoine
Cette localité peut être dédiée aux étudiants en raison de sa valeur géo-éducative. Elle donne l'opportunité d'étudier et de décrire le conglomérat (Fig. 112A) comme un produit de la glaciation d'Ordovicien, en particulier, et comme une roche sédimentaire en général. Elle permet également aux étudiants d'apprendre à distinguer le conglomérat commun et le conglomérat typique de l'environnement glaciaire. De plus, la station offre un clair et très bon exemple de microfaille normale et de son remplissage minéral (Fig. 112B).		

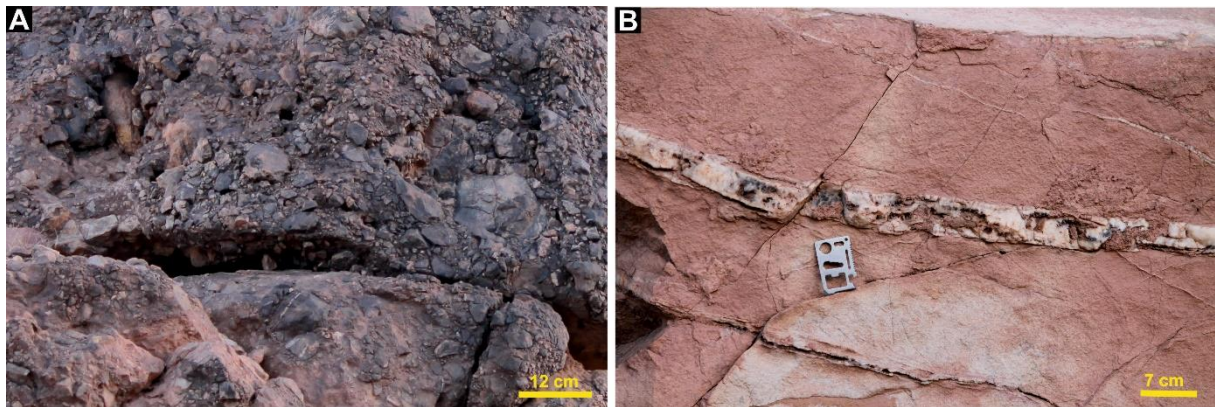


Fig. 112 : A. Conglomérat ; B. Grès affecté par un réseau de micro-failles.

3.2.3. Arrêt 3

Arrêt	Public cible	Objectif
3	Etudiants et touristes	Le géopatrimoine et son intégration au patrimoine archéologique

En suivant un ancien petit sentier (Fig. 113A), on peut accéder aux ruines des deux forteresses (Fig. 113B-C). Cet arrêt permet de distinguer le contact entre ces anciennes constructions en ruine et les couches géologiques (Fig. 109D), ce qui est difficile à faire depuis le bas. Il a également une grande valeur géo-éducative car il met le visiteur en contact avec les grès sous-glaciaires de la Formation Supérieure du Deuxième Bani. A ce niveau, on trouve plusieurs structures sédimentaires (Figs. 84E-F-G) qui peuvent être analysées et discutées par les étudiants, comme elles peuvent être simplifiées aux touristes pour illustrer les conditions de leur formation.

Les conditions d'altération des roches permettent aussi de discuter les agents d'érosion éoliens et thermiques (Fig. 113E).

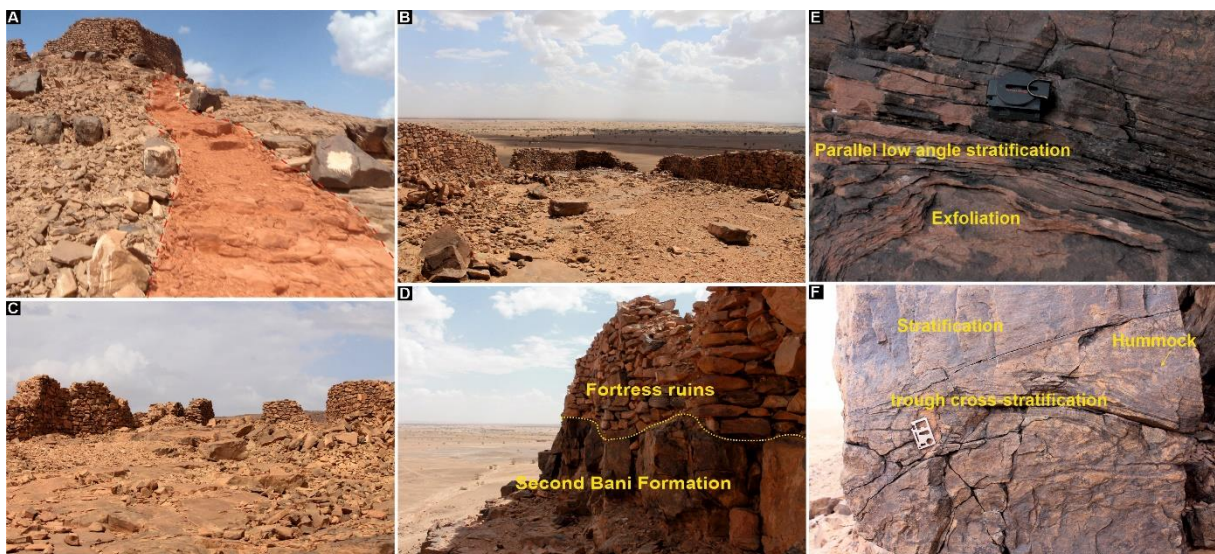


Fig. 113: A. Sentier conduisant aux vestiges des forteresses. B-C. Vues d'intérieur de la forteresse. D. Contact entre la construction et les couches géologiques. E. Grès à stratification parallèle à angle faible affecté par l'altération en pelure d'oignon ; F. Grès à stratification en mamelons et en creux.

3.2.4. Arrêt 4

Arrêt	Public cible	Objectif
4	Etudiants et touristes	Intégration du géopatrimoine et du patrimoine archéologique

Cet arrêt archéologique comprend les tumuli, éléments d'attraction touristique (Fig. 89) et offre une vue panoramique sur les ruines des forteresses (Figs. 91A-B). Il permet de démontrer l'utilisation des géo-matériaux locaux dans des constructions en décrivant les liens directs entre l'homme et la géologie depuis des temps immémoriaux.

De plus, comme de nombreuses parties du géosite, il offre plusieurs exemples illustrant l'altération en pelure d'oignon, qui résulte d'une combinaison d'agents d'érosion éoliens et thermiques.

3.2.5. Arrêt 5

Arrêt	Public cible	Objectif
5	Etudiants	Géopatrimoine

Le site a une valeur stratigraphique pertinente (coupe stratigraphique publiée dans Ravier et al., 2015). Il offre aux étudiants l'opportunité d'étudier de près les détails des différents faciès et structures sédimentaires du Groupe Deuxième Bani et le contact discordant entre ses deux formations.

3.2.6. Arrêt 6

Arrêt	Public cible	Objectif
6	Etudiants et touristes	Géopatrimoine

Avec une valeur éducative, la station permet d'expliquer deux phénomènes géologiques, de manière détaillée aux étudiants, et simplifiée aux touristes. Premièrement, de cette position nous pouvons délimiter l'incision de la glaciation le long du paysage du géosite et distinguer la formation inférieure de la Formation Supérieure du Groupe Deuxième Bani (Fig. 114B). Deuxièmement, la station avec des roches de différentes tailles répandues au pied de la falaise, permet de caractériser le phénomène d'éboulement (Fig. 114A).

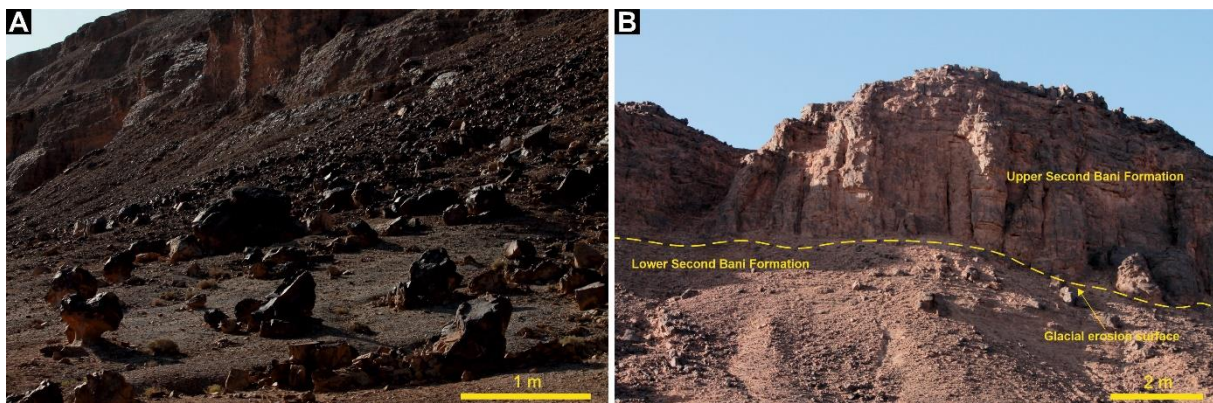


Fig. 114: A. Accumulation des blocs chutés après leur détachement, en bas de la pente du géosite. B. Surface d'érosion glaciaire entre les formations du Groupe deuxième Bani.

3.2.7. Arrêt 7

Arrêt 7	Public cible	Objectif
	Etudiants	Géodiversité

Depuis cette station, il est possible de reconnaître le rôle des diaclases et de la pente dans la chute des blocs ainsi que leur effet sur l'évolution géomorphologique du géosite (Fig. 115).



Fig. 115: Familles de diaclases affectant la deuxième formation de Bani ont conduit au détachement de blocs (Inspiré d'Ounaimi, 2004).

3.2.8. Arrêt 8

Arrêt	Public cible	Objectif
8	Etudiants et touristes	Géopatrimoine et capital biologique

Cet arrêt peut servir de station de repos pour se détendre après la longue marche. Il permet de profiter de belles vues panoramiques donnant sur l'oasis de Tagounite et Oued Draa (Fig. 116) et d'apprendre davantage sur les relations qui existent entre ces deux derniers.

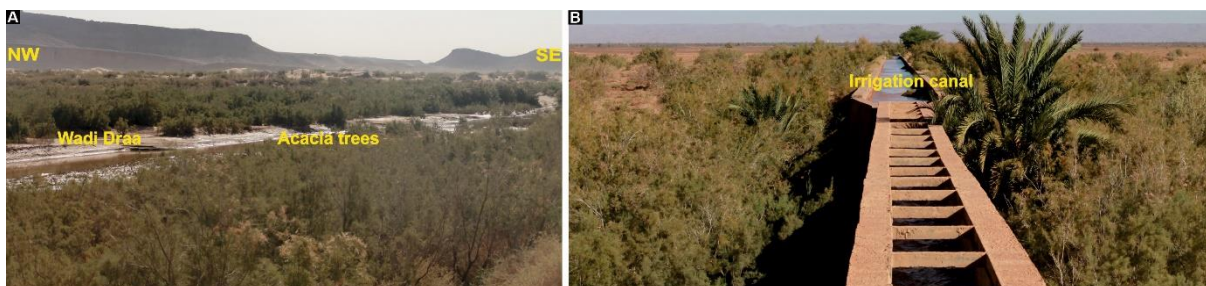


Fig. 116: A. Vue panoramique d'Oued Draa traversant la plaine de la végétation d'Accacia. B. Système d'irrigation artificiel à l'intérieur de l'oasis.

3.2.9. Arrêt 9

Arrêt	Public cible	Objectif
9	Etudiants et touristes	-Patrimoine archéologique et son intégration au géopatrimoine -Patrimoine historique

De nombreux blocs plats de grès portant des gravures rupestres (Figs. 117A-B) et des tumuli (Fig. 117C) occupent cette partie du géosite et témoignent de l'existence de civilisations préhistoriques. Ils permettent de retracer l'évolution de l'utilisation du grès local comme géomatériau par ces différentes communautés anciennes.

Cet art rupestre décrit également le rôle clé des conditions climatiques dans le mode de vie de l'homme dans la région. Le climat humide représenté par les illustrations de gazelles et d'éléphants a permis une forme de vie stable avant le changement climatique qui a contraint l'homme à adopter le nomadisme.

La station permet également d'avoir une vue panoramique sur les vestiges des anciens établissements entourés de dunes de sable de la station suivante (Fig. 117D).

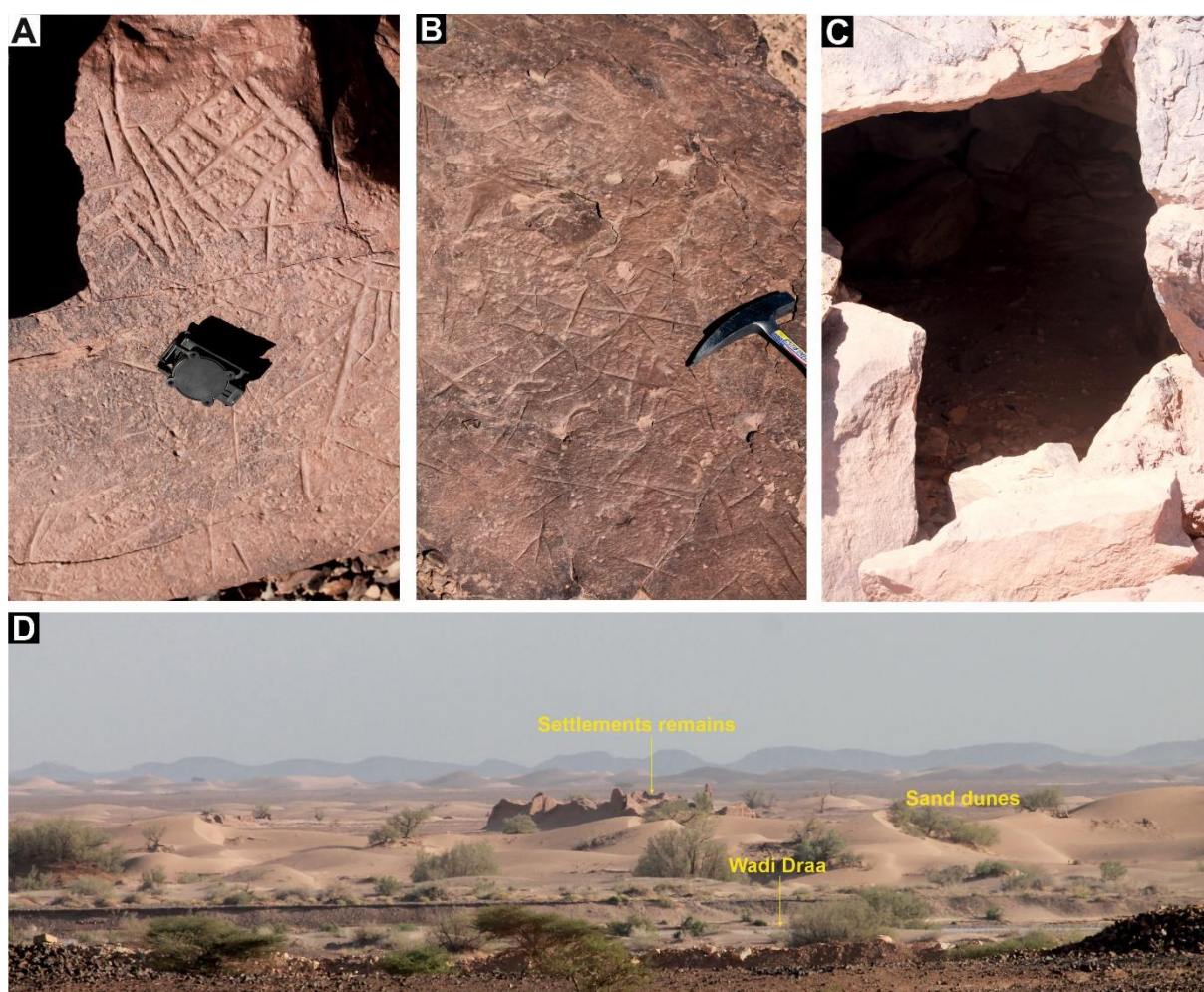


Fig. 117: A-B. Exemples de blocs de grès à surface plate servant de support à l'art rupestre ; C. Ouverture d'un des tumuli ; D. Vue panoramique de la prochaine station.

3.2.10. Arrêt 10

Arrêt	Public cible	Objectif
10	Etudiants et touristes	Patrimoine archéologique et patrimoine géologique

Cette station se trouve à environ 30 minutes de marche au sud-est de Foum Larjamme. Elle renferme de nombreux vestiges d'anciennes habitations, de jardins, de canaux d'irrigation et d'un petit canal de distribution. Cependant, l'élément le plus dominant de la vue reste un site fortifié en briques crues (Fig. 118) appelé Ksar (Mattingly et al., 2017). Selon la poterie associée, le site est daté du Moyen Âge, tandis que la datation au radiocarbone indique le onzième ou le douzième siècle de notre ère (Mattingly et al., 2017). Le site présente une valeur archéologique importante, car une partie des vestiges de l'inventaire archéologique contribue à la reconstruction chronologique de l'histoire d'Oued Draa.

Avec la croissante attention portée au patrimoine architectural des régions du sud-est du Maroc en tant que produit culturel et touristique, un festival touristique régional "Ksours et Kasbahs" est organisé à Tagounite chaque année depuis 2016 afin de valoriser ce patrimoine. Les vestiges décrits de cette station présentent des intérêts pédagogiques et touristiques qui doivent être valorisés. Ils révèlent l'adaptation de l'homme aux conditions environnementales et socio-économiques locales depuis les onzième ou douzième siècles, en utilisant les matériaux locaux dans la construction.

De plus, cette station présente également des intérêts géomorphologiques et environnementaux : (i) avancée du sable qui envahit certaines des ruines archéologiques, (ii) fixation et consolidation des dunes de sable par les racines des arbres, un phénomène géomorphologique caractéristique de la région (Fig. 118B).



Fig. 118: A. Vue panoramique des vestiges du Ksar submergés par le sable, conséquence du changement climatique. B. Dunes de sable fixées par les racines des arbres.

3.2.11. Arrêt 11

Arrêt	Public cible	Objectif
11	Etudiants et touristes	Capital biologique

Grâce à sa fraîcheur, l'arrêt constitue une excellente aire pour se reposer et découvrir la végétation régionale qui se caractérise par la présence, plus ou moins dense, d'acacias Raddiana (Fig. 119A). Cet arbre originaire d'Afrique tropicale pousse dans le Sahara marocain sur des sols sablonneux sous un climat sec.

Le visiteur peut également apprécier le paysage qui couvre le relief de Foug Larjamme, les dunes de sable et Oued Draa (Fig. 119B), particulièrement pendant la saison pluvieuse où cet oued est rempli d'eau.

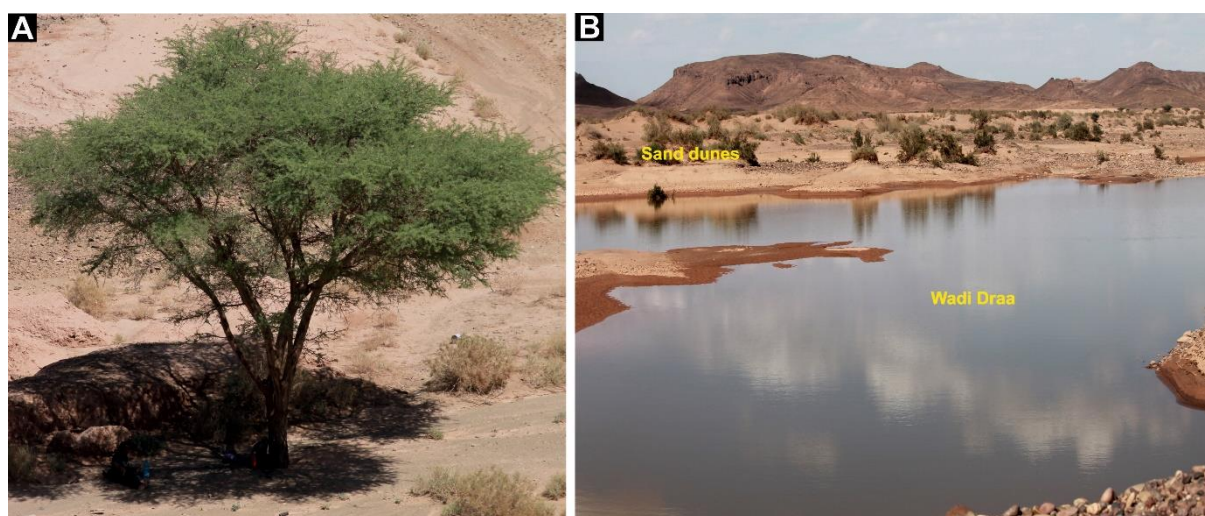


Fig. 119: A. Acacia Raddiana. B. Vue panoramique de Foug Larjamme et Oued Draa.

3.2.12. Arrêt 12

Arrêt	Public cible	Objectif
12	Touristes	Géopatrimoine

Erg Lihoudi (Fig. 120), caractérisé par sa couleur blanche, est l'une des zones dunaires les plus réputées de la région. La zone est équipée de bivouacs traditionnels (Ex: Fig. 120) gérés par des locaux, offrant de nombreux services qui permettent aux visiteurs d'essayer le mode de vie nomade.

Cette station serait parfaite comme dernier arrêt pour clôturer l'excursion; le touriste peut se reposer et passer la nuit, goûter des plats locaux, profiter du calme des dunes, de la musique locale, observer le coucher du soleil et apprécier le ciel étoilé au désert.



Fig. 120: Vue panoramique d'Erg Lihoudi où figurent les tentes d'un bivouac.

Ce géo-circuit proposé ici peut être considéré comme un des nombreux autres qui pourraient être opérés dans le but de diversifier et d'enrichir les programmes de tourisme et d'éducation dans la région. Cela contribuerait donc à la communication des valeurs du patrimoine de Zagora, à savoir le géopatrimoine. D'autre part, cela permettrait de sensibiliser les visiteurs de l'importance du géopatrimoine et de la géodiversité.

4. Management des géosites et sites à géodiversité

Le caractère rural qui prédomine dans la province de Zagora peut être considéré comme un atout pour protéger le géopatrimoine de la région. Néanmoins, d'un autre côté, il revendique le besoin d'une telle région à un développement économique qui valorise son patrimoine et respecte son environnement sensible. Ainsi, le projet de géoparc de Bani avec sa vision holistique peut satisfaire ces besoins.

Combinée à l'évaluation de la valeur scientifique, la quantification du risque de dégradation présente un instrument crucial pour les décideurs afin de mettre en œuvre une stratégie de géoconservation solide à l'échelle d'un géoparc. En revanche, en tant que site d'importance patrimoniale nécessitant des mesures de géoconservation, son utilisation pour des fins géo-éducatives et géotouristique nécessite la mise en place de mesures de sécurité pour protéger les visiteurs des dangers, potentiels, que peut présenter un géosite (Brocx et Semeniuk, 2019). Par conséquent, certains sites du projet Bani Gopark, dont Foum Larjamme, doivent être managés avant d'être utilisés.

L'évolution géomorphologique du relief montagneux dans la zone d'étude est liée au détachement et aux chutes de blocs. Dans ce travail, nous avons présenté ce phénomène comme une valeur géomorphologique qui augmente l'intérêt géologique du géosite FOL-STR01. Cependant, il est nécessaire de prêter attention au risque naturel qu'il présente. Il est vrai qu'aucun accident n'a encore été enregistré, mais cela n'élimine pas le danger. Il est donc fortement recommandé de mener des études géotechniques pour quantifier le risque de chute de blocs et présenter des solutions pour protéger les visiteurs. De plus, il est nécessaire de bien sélectionner les parcours des géo-circuits et de sensibiliser les visiteurs de ce risque, potentiel. D'autre part, afin de valoriser et de promouvoir la grande valeur géologique des géosites, il est fortement recommandé, dans un premier temps, de former les guides locaux sur cette valeur géo-patrimoniale. Ainsi, la composante de la géodiversité et du géopatrimoine pourrait être facilement incluse dans les parcours habituels proposés par les agences de tourisme. Au lieu de limiter l'offre touristique aux ergs, oasis et plus rarement aux Kasbahs et Ksours, il serait

intéressant d'expliquer le rôle clé que jouent les géosites dans la reconnaissance de l'évolution de la paléogéographie de la zone. Cette tâche ne devrait pas être étrange pour les guides locaux car ils expriment déjà une certaine compréhension du concept de géotourisme sans aucune formation préalable. Ils sont habitués à utiliser la géologie pour attirer l'attention des touristes malgré leurs connaissances limitées en la géologie de leur territoire. Par exemple, ils parlent aux touristes de l'existence d'un océan qui a couvert la région il y a très longtemps, comme en témoigne la présence de fossiles marins.

Conclusion

La diversité culturelle et naturelle de la région est un capital (Tableau 27) dont profite la communauté locale pour faire marcher la roue de son économie. Le patrimoine géologique prend aussi sa place dans ce développement. En effet, il constitue un élément central en tenant compte le tourisme oasien et saharien qui est fondé sur les sources d'eau et les dunes de sable. Cependant, l'intérêt accordé à ces formes géologiques a pour but de découvrir le patrimoine culturel local à travers les visites guidées et l'accueil dans les bivouacs mobiles et fixes. D'autre part, comme il a été déduit dans ce travail, la diversité géologique de Zagora dépasse les zones dunaires. On parle d'une longue histoire géologique qui remonte au précambrien se représentant dans des géosites, de différentes valeurs géologiques, à reconnaissance internationale. Le vouloir d'apprendre ainsi que les efforts que déploient les acteurs locaux du tourisme peuvent être considérés comme une étape franchie pour promouvoir le géopatrimoine en instaurant le géotourisme dans la région. Ces acteurs de tourisme doivent être formés en termes de géopatrimoine et géotourisme pour pouvoir d'abord, mettre en valeur ce patrimoine naturel et pour diversifier les programmes touristiques.

Mise à part leur valeur scientifique, la géodiversité de Zagora présentent des sites géo-éducatifs. Certains, en reconnaissant leur caractère pédagogique, peuvent être utilisés par des niveaux scolaires débutants pour comprendre les phénomènes géologiques enseignés au primaire. D'autres constituent des localités pertinentes où les étudiants universitaires peuvent mettre le point sur des événements géologiques majeurs.

Pour pouvoir organiser des activités éducatives sur le terrain et pouvoir passer effectivement à un géotourisme, l'infrastructure de base de la zone doit être revue par les responsables locaux pour assurer la sécurité des visiteurs, la protection des géosites et des éléments de géopatrimoine.

Tableau 25: Caractéristiques naturelles, culturelles et socio-économiques du cercle de Zagora en faveur de la création d'un géoparc.

Patrimoine géologique	Patrimoine biologique	Patrimoine archéologique	Parimoine culturel	Patimoine architectural	Ressources socio-économiques
Géopatrimoine ordovicien à reconnaissance internationale avec des sites clés.	Diversité biologique à distribution saharienne	Industrie lithique	Modes de vie: oasien et nomade	Kasbahs et Ksours	Agriculture et phœniciculture managées au sein d'un système oasien
Diversité des géosites représentant différents éléments géologiques			Musique et chants traditionnels		Tourisme saharien et activités y associées
Rareté de certains géosites	Aires protégées: Réserve de Biosphère UNESCO de Zagora et Parc national Iriqui	Gravures rupestres	Danse et des sports physiques		Artisanat
Géosites accessibles à toute personne		Tumuli	Gastronomie		
Paysage désertique typique du sud du Maroc			Moussems séculaires et festivals modernes		Produits locaux issus de la transformation de la datte
Géosites pédagogiques		Forteresses			
Géosites à potentiel touristique					

Conclusions générales et perspectives

Le cercle de Zagora, situé au sud-est du Maroc, se caractérise par sa culture et son environnement subsaharien. Ce cadre géographique limite les ressources économiques de la région faisant du tourisme saharien son principal secteur socio-économique. Basé sur les modes de vie nomades et oasiens, ce type de tourisme est derrière les nombreux bivouacs dispersés au niveau des champs de dunes éoliennes et des différents programmes touristiques proposés par les acteurs locaux du tourisme. Ainsi, il dégage la grande valeur du patrimoine culturel et biologique de la région. Aujourd'hui Zagora et ses communes rurales non seulement elles connaissent des manifestations culturelles visant à valoriser ce patrimoine mais elles profitent des statuts de Réserve de Biosphère UNESCO et d'un parc national qui se préoccupent de leur biodiversité. Cependant, leur capital naturel est bien plus riche avec sa géodiversité qu'il emprunte de sa position géologique dans l'Anti-Atlas central. Le cercle de Zagora recèle des affleurements paléozoïques, reconnus par leur complète série ordovicienne, bien conservés et dégagés de la géomorphologie des complexes quaternaires. Dans plusieurs sites, cette diversité géologique a été qualifiée comme géopatrimoine. Cependant, en comparaison avec le patrimoine culturel et la biodiversité, ce capital naturel reste méconnu, localement, en tant que patrimoine naturel nécessitant une valorisation. Bien managé dans un cadre de géoparc qui néglige aucun des aspects de patrimoine tout en assurant un développement durable, le géopatrimoine constituera une ressource socio-économique.

Ce travail a démontré les potentialités (géologiques, éducatives, touristiques, archéologiques et culturelles) dont dispose la région pour pouvoir intégrer le projet du Bani Geopark du sud du Maroc. Comme il a décrit le besoin de cette région de faire partie d'un géoparc qui serait en mesure de protéger, conserver et promouvoir son patrimoine géologique à valeur internationale. Afin de présenter une base de données solide pour intégrer le cercle de Zagora dans le projet de géoparc Bani du sud de Maroc, ce mémoire a présenté un inventaire et une évaluation du géopatrimoine de la zone suivant la méthode quantitative de Brilha (2016). Elle a l'avantage d'être appliquée à tous les types des sites retenus tout en permettant d'évaluer le potentiel d'utilisation des géosites sans exclure les sites à géodiversité. Avec ses critères, elle évoque la disponibilité de l'infrastructure, telles que les routes. Une condition primordiale qui peut augmenter ou diminuer le potentiel d'utilisation d'un site. De la sorte, elle attire l'attention sur le besoin de s'occuper de ce genre d'aménagement. Ceci devrait être bénéfique non seulement pour faciliter l'accès aux sites et encourager les visites mais aussi pour la communauté locale qui pourra également exploiter cette infrastructure. Ainsi, cette méthode est en mesure d'aider les décideurs à bien manager les géosites et les sites à géodiversité en détectant les besoins pour valoriser ces derniers.

L'inventaire a abouti à l'identification de vingt-cinq sites dont vingt correspondent à des géosites retenus pour leur valeur scientifique. Les cinq autres sites sont des sites à géodiversité qui ont été sélectionnés en vue de leur valeur éducative et/ ou touristique. Les géosites présentent des valeurs scientifiques importantes qui décrivent d'une part, la géodiversité des géosites ordoviciens et leur rôle dans la compréhension de l'évolution paléogéographique et paléobiogéographique de la plate-forme Nord du Gondwana durant l'Ordovicien. D'autre part, elles reflètent le potentiel de certains d'autres à représenter l'évolution géomorphologique des reliefs suite aux conditions climatiques humides qui régnaient auparavant sur la région durant le Quaternaire et sous l'effet du climat sec actuel.

Nombreux sont les sites du présent inventaire qui peuvent être utilisés dans le cadre de la géo-éducation grâce à leur diversité géologique, facilité d'accès et leur potentiel didactique. Ils peuvent être utilisés par des étudiants et des élèves de différents niveaux d'enseignement. Par ailleurs, l'évaluation quantitative du potentiel d'utilisation des différents sites inventoriés en géotourisme a révélé des valeurs importantes grâce à leur beauté paysagère et/ ou au potentiel d'être interprétés au touriste.

L'association de la géodiversité du cercle de Zagora à d'autres éléments avec une valeur archéologique (ex, le géosite de Foum Larjamme) ou biologique et culturelle, à l'instar des vues panoramiques, est une particularité de la zone d'étude sur laquelle l'accent doit être mis. Elle constitue une opportunité à saisir pour pouvoir transmettre la valeur de la géodiversité et du géopatrimoine à la communauté locale et la sensibiliser de l'importance de la géoconservation.

L'utilisation des applications SIG dans ce travail a été incontournable non seulement pour stocker, organiser, gérer et manipuler les différentes données collectées, mais aussi pour pouvoir communiquer les résultats sous forme de cartes comme le cas de la répartition des géosites et les géo-circuits. De telles applications peuvent venir en aide pour créer des cartes interactives pour promouvoir la géodiversité de la zone et pour présenter les différents géo-circuits proposés.

Dans la perspective de mettre en valeur et de promouvoir le patrimoine paléontologique ordovicien de la région, la préparation d'une base de données qui représente la vie marine de l'océan ordovicien est prévue. Elle peut servir de base pour monter une exposition décrivant l'évolution de la paléobiogéographie ordovicienne.

L'extension du territoire du projet Bani Geopark ne concerne pas seulement le cercle de Zagora mais elle vise toute la province y compris le cercle d'Agdez. En conséquence, il est envisagé d'étaler la présente étude comparative sur le reste du territoire de la province pour préparer un inventaire final des sites à intérêt.

Etant donné qu'un géoparc met le patrimoine géologique au profit des différentes catégories de la population : apprenants de l'enseignement primaire, collégial et qualifiant, étudiants universitaires, étudiants chercheurs, scientifique chercheurs, associations et autres, on prévoit d'identifier des parcours personnalisés avec des objectifs adaptés pour chaque catégorie.

Références bibliographiques

- Abed AM, Makhoulf IM, Amireh BS, Khalil B (1993) Upper Ordovician glacial deposits in southern Jordan. *Episodes* 16: 316-328.
- Ait El Cadi, M., Makramb, S., Ansar, M., Khabbal, Y., Alaoui, K., Faouzi, M.A., Cherrah, Y., Taoufik, J. 2012. Activity of aqueous and ethanolic extracts of *Zygophyllum gaetulum*. *Annales Pharmaceutiques Françaises*. 70(2): 113-116.
- Acherkouk M., Boughlala M., Kaci S., Nawel Omeiri, Constantin Onana, Sitarka R. Rakotoson, 2003. Systèmes de production oasiens et sylvo-pastoraux : interactions, complémentarités et développement durable. Cas du bassin de Ghéris (Maroc). Montpellier: ICRA ; Rabat: INRA.
- Adnani, M. 2019. Les facteurs géologiques et environnementaux contrôlant le processus de rougissement dans un système dunaire : Le cas des megabarkhanes d'Elghord Lahmar, SW du Maroc et des dunes d'Yerdi, Erfoud, SE du Maroc. PhD thesis. Université Mohammed V, Rabat. pp 160.
- Adnani, M., Azzaoui, M.A., Elbelrhiti, H., Ahmamou, M., Masmoudi, L., Chiban, M. 2016. Yerdi sand dunes (Erfoud area, southeastern of Morocco): color, composition, sand's provenance, and transport pathways *Arabian Journal of Geosciences* 9(5): 1-15. <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2394-x>
- Aït Hamza, M., El Faskaoui, B. 2010. Les oasis du Drâa au Maroc : Rupture des équilibres environnementaux et stratégies migratoires. *Homme et migrations*. 1284 : 56-69.
- Ait lamqadem, A., Pradhan, B., Saber., Rahimi, A. 2018. Desertification Sensitivity Analysis Using MEDALUS Model and GIS: A Case Study of the Oases of Middle Draa Valley, Morocco. *Sensors*. 18:1-19.
- Ait Lamqadem, A., Saber, H., Rahimi, A. 2017. Spatiotemporal Changes of Vegetation in the Middle Draa Valley Oasis: A Study Case of M'hamid El Ghizlane Oasis (Morocco). *European Scientific Journal* August. 12 (24): 115-132.
- Anderson, M.G., Comer, P.J., Beier, P., Lawler, J., Schloss, C., Buttrick, S., Albano, C., Faith, D.P. 2015. Case studies of conservation plans that incorporate geodiversity. *Conserv Biol* 29:680–691
- Anthelme F., Saadou M. & Michalet R. 2007 - Positive associations involving *Panicum turgidum* Forssk. in the Aïr-Ténéré Réserve, Niger. *Journal of Arid Environments* 68: 348-362.
- Ait Touchnt, A., 2013. Approche pétrographique et caractérisation géochimique pour étude de l'approvisionnement en matières premières lithiques durant le paléolithique ancien et moyen, dans les sites de surface dans le sud-est marocain. Unpublished PhD Thesis University Degli Studi di Ferrara. pp .237.
- Alimen M.H., 1957a. Sables quaternaires du Sahara nord-occidental, Publ. Serv. Cartes Géol.d'Alger.
- Alimen M.H., 1957b. Tertiaire et Villafranchien au Sahara nord-occidental, C.R. Soc. Géol. France, 11.
- Allen, J.P., Fielding, C.R. 2007. Sedimentology and Stratigraphic Architecture of the Late Permian Betts Creek Beds, Queensland, Australia. *Sedimentary Geology* 202: 1-2, 5-34.
- Allen, J.R.L. 1982. *Sedimentary Structures: their Character and Physical Basis*. Development in Sedimentology, 30. Elsevier, Amsterdam p 592.
- Álvaro J.J., Ezzouhairi, H., Clausen, S., Ribeiro, L.M., Solá, R., 2015. Syn-rift unconformities punctuating the lower–middle Cambrian transition in the Atlas Rift, Morocco. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)* 104, 753–773. <https://doi.org/10.1007/s00531-014-1108-4>.
- Alvaro, J. J., Benziane F., Thomas R., Walsh G. Yazidi A. 2014. Neoproterozoic–Cambrian stratigraphic framework of the Anti-Atlas and Ouzellagh promontory (High Atlas), Morocco. *Journal of African Earth Sciences*. 89: 19-33. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2014.04.026>
- Anderson, M.G., Ferree, C.E. 2010. Conserving the Stage: Climate Change and the Geophysical Underpinnings of Species Diversity. *PLoS ONE* 5(7): 1 :10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011554>
- Andriamainty J.D., Djeddou R., Merzoug S.N. et al., 2002. Analyse des systèmes de production oasiens et des stratégies dans la province d'Errachidia au Maroc. Montpellier: ICRA ; Rabat: INRA
- Antić A, Tomić (2019) Assessing the speleotourism potential together with archaeological and palaeontological heritage in Risovača cave (central Serbia). *Acta Geoturistica* 10(1): 1-11.
- Aoubouazza, M., El Meknassi, Y.E. 1996. Hydrologie et Hydrogéologie du bassin de la Feija de Zagora (Province Ouarzazate) étude sur la lutte contre la désertification dans la vallée moyen de

- l'Oued Drâa. Royaume du Maroc, Ministère de l'agriculture du Génie Rural, Direction du Développement et de la Gestion de l'Irrigation. Rabat
- Aoulad Sidi Mhend, A., Maâté, A., Hlila, R., Martín-Martín, M., Chakiri, S., Maâté, S. 2020. A quantitative approach to geosites assessment of the Talassemrane National Park (NW of Morocco). *Estudios Geológicos* 76(1): e123. <https://doi.org/10.3989/egeol.43448.520>.
- Aoulad Sidi Mhend, A., Maâté, A., Amri, I., Hlila, R., Chakiri, S., Maâté, S., Martín-Martín, M. 2019. The Geological Heritage of the Talassemrane National Park and the Ghomara coast Natural Area (NW of Morocco). *Geoheritage* 11(6) : <https://doi.org/10.1007/s12371-019-00347-4>
- Aoulad Sidi Mhend, A., Maâté, A., Chakiri, S. 2016. CO32 : Inventaire et evaluation des ressources en eau du parc national de Talassemrane (Rif septentrional, Maroc). Premier Congrès International des Etudes sur l'Eau et l'Environnement (CI3E). Alhoceima. Maroc PP : 105-106.
- Appadurai, A. 1996. *Modernity at Large: Cultural Dimensions of Globalization*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Arrad, T.Y., 2018. Patrimoine géologique et géomorphologique de la Province d'Essaouira. Unpublished PhD Thesis Chouaib Doukkali University, pp. 240.
- Arrad, T.Y., Errami, E., Ennih, N., 2018. From scientific inventory to socio-economic sustainable development: Tidzi Diapir geosite (Essaouira basin, Morocco). *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences*. 9 (1), 01-17. <https://doi.org/10.24214/jcbps.D.9.1.00117>.
- Arrad, T.Y., Errami, E., Ennih, N., Ouajhain, B., Ettachfini, E., Bouaouda, M.S., 2020. From geoheritage inventory to geoeducation and geotourism implications : Insight from Jbel Amsittene (Essaouira province, Morocco). *Journal of African Earth Sciences* 161, 1-15.
- Arizpe, Lourdes; Alonso, Guiomar, 2000: "Culture, Globalization and International Trade", in: *Human Development Report 1999: Globalization with a human face* (New York: UNPD): 37–56.
- Assine ML, Warren LV (2021) Pre-Quaternary Glaciations. In: Alderton, D., Elias, S.A., (Eds), *Encyclopedia of Geology* (Second Edition). Academic Press p 475-485.
- Aulagnier, S., Cuzin, F., Loggers, C. O., Thévenot, M. 2001. Global survey and regional action plans: Antelopes. n°4: North Africa, the Middle East, and Asia Chapter 3. Morocco. In D.P. Mallon & S.C. Kingswood (eds.) IUCN, Gland. pp. 13-21.
- Augustin FCH, Gao Chang (2021) Weapons, tools, and objects: material culture systems in African rock art. In Ana M.S. Bettencourt, Manuel Santos-estévez and Hugo Aluai Sampaio weapons and tools in rock art a world perspective. Oxbow Books.
- Aziz Samir, M.R., Ferrandini, J., Tane, J.L. 1990. Tectonique et volcanisme tardi-Pan Africains (580-560 M.a.) dans l'Anti-Atlas Central (Maroc): interprétation géodynamique à l'échelle du NW de l'Afrique. *Journal of African Earth Sciences (and the Middle East)*. 10 (3):549-563. [https://doi.org/10.1016/0899-5362\(90\)90105-N](https://doi.org/10.1016/0899-5362(90)90105-N)
- Azman, N., Halim, S.A., Liu, O.P., Saidin, S., & Komoo, I. (2010). Public Education in Heritage Conservation for Geopark Community. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 7, 504–511.
- Babou, I. 2019. « Patrimoines de papier. Superposition des aires naturelles protégées et développement territorial dans l'île de Lanzarote (Canaries, Espagne) », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [Online], 19 (2).
- Bachtadse V, Briden JC (1990) Palaeomagnetic constraints on the position of Gondwanaland during Ordovician to Devonian times. In: McKerrow, W.S., Scotese, C.R. (Eds.), *Palaeozoic Palaeogeography and Biogeography*. Geological Society London Memory 12, p 43-48.
- Baïdder, L. 2007. Structuration de la bordure septentrionale du Craton Ouest Africain du Cambrien à l'actuel : Cas de l'Anti Atlas oriental du Maroc. Thèse (Doctorat d'Etat) Université Hassan II. pp. 250.
- Barczuk, A., Dłużewski, M., 2008. The source of the Aeolian sediments in the Coude du Dra region. *Prace Geograficzne, zeszyt 118*: 80-91.
- Barczuk A., Dłużewski M., 2003, Skład mineralno-litologiczny jako podstawa do określenia źródła i wskaźnik stopnia eolizacji osadów wydmych, [in:] M. Dłużewski (ed.), *Współczesna ewolucja środowiska przyrodniczego regionu Coude du Dra (Maroko) i jej wpływ na warunki życia ludności*, Wyd. Akad. Dialog, Warszawa, 121-134.
- Barret, L. and D. White. 2001. 'The Reconstruction of Nature: Postmodern Ecology and the Kissimmee River Restoration Project', *Critical Studies* 22: 229-250.
- Bellakhdar, J. 1997. *La pharmacopée marocaine traditionnelle. Médecine arabe ancienne et savoirs populaires*, Paris - Rabat, Ibis Press - Eds Le Fennec, pp 764.

- Bellakhdar, J. 1992. Tissint une oasis du Maroc présaharien. Monographie d'une palmeraie du Moyen Dra, Rabat, Edition Al Biruniya, pp.241.
- Benito-Calvo, A., Pérez-González, A., Magri, O., Meza, P., 2009. Assessing regional geodiversity: the Iberian Peninsula. *Earth Surf. Process Landforms* 34 (10): 1433-1445. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.1840>.
- Bentaleb, A. 2013 Impacts du tourisme présaharien sur les ressources patrimoniales dans la vallée du Drâa moyen (Maroc). Cas de la Palmeraie de M'Hamid, in M. Duval, V. Peyrache-Gadeau & M. Oudada (coord.), *Ressources patrimoniales et alternatives touristiques : entre Oasis et Montagne*, Chambéry, EDYTEM, pp. 25-34.
- Benziane F., Yazidi A., Schulte B., Boger S., Stockhammer S., Lehmann A., Saadane A., Yazidi M. 2016. Carte géologique du Maroc, feuille au 1/50 000 Tlata Al Akhçaç. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc- Rabat n° 543bis.
- Beraaouz, M., 2011. Les sites géologiques et archéologiques des provinces de Ouarzazate et Zagora : Inventaire et valorisation dans le cadre du géotourisme. Unpublished PhD Thesis University of Ibn Zohr, pp. 168.
- Beraaouz M, Ait brahim Y, Berraouez EH, Monna F, Sifeddine A, Bouchaou L (2021) Potential Interactions between Climate and Prehistoric Populations in Southern Morocco: Insights from Archaeological and Paleoclimatic Evidence. *Interactions between Climate and Prehistoric Populations in Southern Morocco* 11 (2): 17- 32 <https://doi.org/10.34874/IMIST.PRSM/fsejournal-v11i2.29015>
- Beraaouz, M., Abioui, M., Patranabis-Deb, S., 2019. Precambrian (Ediacaran) stromatolites in the Amane-n'Tourhart (Anti-Atlas, Morocco). *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)* 108, 1273-1274. <https://doi.org/10.1007/s00531-019-01690>
- Beraaouz M, Macadam J, Bouchaou L, Ikenne M, Ernst R, Tagma T, Masrour M (2017) An inventory of geoheritage sites in the Draa valley (Morocco): a contribution to promotion of geotourism and sustainable development. *Geoheritage* 11: 241–255 <https://doi.org/10.1007/s12371-017-0256-x>
- Beraaouz EH, Ikenne M, Mortaji A, Madi A, Lahmam M, Gasquet D (2004) Neoproterozoic granitoids associated with the Bou Azzer ophiolitic melange (Anti-Atlas, Morocco): evidence of adakitic magmatism in an arc segment at the NW edge of the West-African craton. *J Afr Earth Sci* 39:285–293
- Berred S (2020a) Identification et valorization du patrimoine géologique du Maroc: cas de la géodiversité et du géotourisme de la region de Tata (Bani Geopark, Anti-Atlas). Unpublished PhD Thesis. University of Mohammed V, p 219.
- Berred S, Fadli D, Di Gregorio F, Berred K (2020b) Geological and landscape particularities of Issafen-style chevron pattern in Tata region (Anti-Atlas, South Morocco). *Arab Journal of Geosciences* 13: 689 <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05713-z>
- Berred S, Fadli D, Berred K (2019a) Aerial interference of Hercynian folds and their morphological peculiarities in the Bani Geopark of southern Morocco. *Arab Journal of Geosciences* 12: 351. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4537-3>
- Berred S, Fadli D, El Wartiti M, Zahraoui M, Berred K, Sadki R (2019b) Geomorphosites of the Semi-arid Tata Region: Valorization of an Unknown Geoheritage for Geotourism Sustainable Development (Anti-Atlas, South Morocco). *Geoheritage* 11: 1989–2004. <https://doi.org/10.1007/s12371-019-00414-w>
- Berriane, M., Michon, G., Aderghal, M. 2016. Des moussem aux fêtes et foires à thème : Image identitaire du territoire ou image de l'État ? In Berriane, M., Michon, G., (Eds), *Les terroirs au Sud, vers un nouveau modèle ? Une expérience marocaine*. Éditions/Faculté des Lettres et des Sciences humaines de Rabat. Marseille/Rabat p 291-308.
- Bétard, F. 2015. Protection et valorisation du patrimoine géomorphologique en Île-de-France (Bassin de Paris, France). *État des lieux et perspectives*, *Vertigo – la revue électronique en sciences de l'environnement*. 15.
- Beuf S, Biju-Duval B, De Charpal O, Gariel O, Bennacef, A. 1971. Les grès du Paléozoïque inférieur au Sahara Publications de l'Institut Français de pétrole 18 : 1-464.
- Bihaoui, A., Haddioui, A., Hammada, S. 2020. The identification errors of species of the genus *Tamarix* L. species in Morocco: non-uniform keys and polymorphic species. *Ecologia mediterranea* 46 (1): 49-61. <https://doi.org/10.3406/ecmed.2020.2098>
- Bitschene P, Schüller A (2011) Geo-education and geopark implementation in the Vulkaneifel European Geopark. in Carena, S., Friedrich, A.M., and Lammerer, B., eds., *Geological Field Trips in*

- Central Western Europe: Fragile Earth International Conference, Munich, September 2011: Geological Society of America Field Guide 22: 29–34. [https://doi.org/10.1130/2011.0022\(03\)](https://doi.org/10.1130/2011.0022(03)).
- Bizzarri R, Melelli L, Cencetti C (2018) Archaeo-geosites in urban areas: A case study of the Etruscan Palazzone Necropolis (Perugia, Central Italy). *Alpine and Mediterranean Quaternary*, 31 (2) : 207 – 219. <https://doi.org/10.26382/AMQ.2018.15>
- Black, R., Fabre, J., 1980. A brief outline of the geology of West African. *Episodes*, 4: 17-25.
- Boizumault, M., El Graoui, M., Searight-Martinet, S., Ney, C., Schvoerer, M. 2010. Patines et cortex de météorisation de grès du site rupestre d'Oum La Leg (Anti-Atlas, Maroc). *Paléontologie humaine et préhistoire*. 9 : 505-511.
- Bouaouinate, A. et Ramou, H. 2016 : Le tourisme de désert à M'hamid El Ghizlane: d'un tourisme d'élite à un tourisme de masse, dans : Actes de la 1ère Rencontre régionale sur les Oasis, Forum des jeunes sahraouis pour l'innovation sociale, Assa, les 20 et 21 décembre 2014.
- Bouaouinate A, Aneflouss M (2013) L'oasis « Sacree » d'Oum Laalag ou l'émergence d'une « ile touristique » au Draa moyen (province de Zagora, Maroc). *Revue de Géographie du Maroc* 28 (1-2): 17- 28.
- Boufous, H., Marhoume, F., Chait, A., Bagri, A. 2017. Ethnopharmacological survey of medicinal plants with hallucinogenic effect and used against pain, inflammatory diseases, diabetes and urinary lithiasis in Zagora “Morocco”. *Journal of Intercultural Ethnopharmacology* 6(4): 342-350. [DOI: 10.5455/jice.2017072106252](https://doi.org/10.5455/jice.2017072106252)
- Boulton GS, Lunn R, Vidstrand P, Zatsepin S (2007a) Subglacial drainage by groundwater– channel coupling and the origin of esker systems: part I - glaciological observations. *Quaternary Science Reviews* 26: 1067–1090.
- Boulton GS, Lunn R, Vidstrand P, Zatsepin S (2007b) Subglacial drainage by groundwater– channel coupling, and the origin of esker systems: part II - theory and simulation of a modern system. *Quaternary Science Reviews* 26: 1091-1105.
- Boulton GS, Hindmarsh, RCA (1987) Sediment deformation beneath glaciers: rheology and geological consequences. *Geophysical Research* 92: 9059 - 9082.
- Bourahrouh A, Paris P, Elaouad-Debbaj Z (2004) Biostratigraphy, biodiversity and palaeoenvironments of the chitinozoans and associated palynomorphs from the Upper Ordovician of the Central Anti-Atlas, Morocco. *Review of Palaeobotany and Palynology* 130:17 - 40.
- Bourgeois J, Leithold E (1984) Wave-Worked Conglomerates—Depositional Processes and Criteria for Recognition. In: Koster, E.H. and Steel, R.J., (Eds.), *Sedimentology of Gravels and Conglomerates*, *Memories Canadian Society Petroleum Geologists* 10: 331-343.
- Boote D.R.D., Clark-Lowes D.D. et Traut M.W., 1998. Palaeozoic petroleum systems of North Africa, in: Macgregor, D.S., Moody, R.T.J., and Clark-Lowes, D.D. (eds), *Petroleum Geology of North Africa: Geological Society of London, Special Publication*. 132: 7-68.
- Bouzekraoui H, Barakat A, El Youssi M, Touhami F, Mouaddine A, Hafid A, Zwoliński, Z (2018) Mapping Geosites as Gateways to the Geotourism Management in Central High-Atlas (Morocco). *Quaestiones Geographicae* 37(1): 87-102. <https://doi.org/10.2478/quageo-2018-0007>
- Brenchley PJ, Carden GA, Hints L, Kaljo D, Marshall JD, Martma T, Meidla T, Nölvak J (2003) High-resolution stable isotope stratigraphy of Upper Ordovician sequences: Constraints on the timing of bioevents and environmental changes associated with mass extinction and glaciation. *Geological Society of America Bulletin* 115, 1: 89 -104.
- Brenchley P J, Carden GAF, Marshall JD (1995) Environmental changes associated with the first strike of the late Ordovician mass extinction. *Modern Geology* 20: 69 - 82
- Biberson, P., 1966. Notes sur le Paléolithique du Maroc méridional. *Zephyrus* 17, 5-30.
- Brett GW. 1955. Cross-bedding in the Baraboo quartzite of Wisconsin. *Geology* 63: 143-148.
- Brew, G., Lupa, J., Barazangi, M., Sawaf, T., Al-Imam, A., Zaza, T. 2001. Structure and tectonic development of the Ghab Basin and the Dead Sea Fault System Syria. *Journal of the Geological Society London*, 158, 665-674.
- Bridge JS (1978) Planar and parallel lamination. In: Middleton GV, Church MJ, Coniglio M, Hardie LA, Longstaffe FJ (eds) *Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks*. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, Dordrecht p 534- 536.
- Bollati, I., Pelfni, M., Pellegrini, L., Bazzi, A., Duci, G. 2011. Active geomorphosite and educational application: A didactical itinerary along Trebbia River (Northern Apennines, Italy). In *Les Géosciences au Service de la Société*; Reynard, E., Laigre, L., Kramar, N., Eds.; Institut de géographie, Université de Lausanne: Lausanne, Switzerland, 37 : 219–234.
- Boudad, L., Guislain, S., 2012. Acquisition de supports prédéterminés destinés à la réalisation de bifaces : l'exemple de sites de surfaces du Sud-Est marocain. *L'anthropologie* 116, 364-377.

- Boudda, A., Choubert, G., Faure-Muret, A., 1979. Essai de stratigraphie de la couverture sédimentaire de l'Anti-Atlas : Adoudounien, Cambrien inférieur. Notes Memoire Service Géologique du Maroc 271, 1-96.
- Brilha, J., 2016. Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. *Geoheritage* 8, 119-134. <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0139-3>
- Brilha, J., 2018. Geoheritage: inventories and evaluation. In: Reynard, E., Brilha, J., (Eds.), *Geoheritage: A Multidisciplinary and Applied Research Topic*. Elsevier, Amsterdam pp. 69-85. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00030-7>
- Brocx, M., Semeniuk, V. 2019. The '8Gs'—a blueprint for Geoheritage, Geoconservation, Geoeducation and Geotourism. *Aust J Earth Sci* 66:803-821.
- Brocx, M., Semeniuk, V. 2015. The development of solar salt ponds along the Pilbara Coast, Western Australia - a coastline of global geoheritage significance used for industrial purposes. *Geological Society, London, Special Publications*, 419 (1). pp. 31-41.
- Bruschi, V., Cendrero, A. 2009. Direct and parametric methods for the assessment of geosites and geomorphosites. In Reynard E., Coratza P., Regolini-Bissig G. (Eds.) : *Geomorphosites*. Verlag Friedrich Pfeil, Munchen, 73-88.
- Bruno DE, Crowley BE, Gutak JM, Moroni A, Nazarenko OV, Oheim KB, Ruban DA, Tiess G, Zorina SO (2014) Paleogeography as geological heritage: developing geosite classification. *Earth-Science Reviews* 138: 300–312.
- Bumby A.J., Guiraud R., 2005. The geodynamic setting of the Phanerozoic basins of Africa. *Journal of African Earth Sciences*. 43:1-12.
- Bump A.P. 2003. Reactivation, Trishear modeling, and folded basement in Laramide uplifts: implications for the origins of intracontinental faults, *GSA Today*, pp. 4-10.
- Burek, C.V., Prosser, C.D. 2008. The history of Geoconservation. *Geological Society of London, Sp. Publ.* 300- 320.
- Burkhard M, Caritg S, Helg U, Robert-Charrue C, Soulaïmani A (2006) Tectonics of the Anti-Atlas of Morocco. *Comptes Rendus Geoscience* 338 Issues 1-2: 11-24.
- Burke, K., McGregor, D.S. et Cameron, N.R., 2003. African Petroleum Systems: four tectonic Aces in the past 600 million years. *Geological Society, London, Special Publication*, 207: 21-60.
- Camps, G., Riser, J., 1978. Le gisement de l'Oued Neffid dans le Tinzouline (vallée moyenne du Dra) : un exemple de l'Acheuléen du Sud-Est marocain. *Bulletin de la Société préhistorique française*, tome 75, N°10, 291-302. <https://doi.org/10.3406/bspf.1978.8518>
- Carcavilla, L., Durán, J.J., López-Martínez, J. 2008. Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. VII Congreso Geológico de España. Las Palmas de Gran Canaria. 10:1299-1303.
- Carr, I.D., 2002. Second-order sequence stratigraphy of the palaeozoic of north Africa. *Journal of Petroleum Geology*, 25 (3): 259-280.
- Cauvin-Verner, C., 2007. Au désert. Une anthropologie du tourisme dans le Sud marocain. Paris, L'Harmattan. Pp. 317.
- Cayla, N., Hobléa, F., Gasquet, D., 2009. Guide des bonnes pratiques de médiation des géosciences sur le terrain. *Géologie de la France*. 1:47-55.
- Chadenas, C. 2003. L'homme et l'oiseau sur les littoraux d'Europe occidentale : Appropriation de l'espace et enjeux territoriaux: vers une gestion durable. Thèse Doctorat. Université de Nantes, pp 341.
- Chamayou, J., Combe, M. Dupuy, J. C. 1977. Moyenne vallée du Dra in *Ressources en eau du Maroc*, tome3: Domaines atlasique et sud-atlasiques, Notes et mémoires du service géologique. 231 : 262-298.
- CHOUBERT, G. 1947. L'accident majeur de l'Anti-Atlas. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 224 :1172-1173.
- Choubert, G., 1942. Constitution et puissance de la série primaire de l'Anti-Atlas. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris* 215, 445-447.
- Choubert, G., 1963. Histoire géologique du Précambrien de l'Anti- Atlas. Note Mémoire Service Géologique du Maroc 162, 1-352.
- Choubert, G., Faure-Muret, A., 1983. Anti-Atlas. In : Fabre, J., Bertrand, J.M., Bertrand-Sarfati, J., Bessoles, B., Black, R., Boullier, A.M., et al., (Eds.), *Afrique de l'Ouest Introduction géologique et termes stratigraphiques*. Pergamon, pp. 80- 95. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-030277-5.50012-2>
- Clerc S, Buoncristiani JF, Guiraud M, Vennin E, Desaubliaux G, Ravier E, Portier E (2015) Vers un contrôle complexe de la distribution des vallées tunnel : interaction entre contexte structural,

- lithologie et hydrologie sous-glaciaire. 15eme congrès français de sédimentologie. Chambéry, France p 445.
- Clerc S, Buoncristiani JF, Guiraud M, Vennin E, Desaubliaux G, Portier E (2013) Subglacial to proglacial depositional environments in an Ordovician glacial tunnel valley, Alnif, Morocco. *Palaeogeography, Palaeoclimatology Palaeoecology* 370: 127-144.
- Clerc S (2012) Modèles de dépôt sous-glaciaires et dynamique de remplissage des vallées tunnel. Exemple au Quaternaire (Bray, Irlande) et application à l'Ordovicien supérieur de l'Anti-Atlas (Alnif, Maroc). Unpublished PhD Thesis. University of Bourgogne p 310.
- Cocks, L.R.M., Torsvik, T.H., 2004. Major terranes in the Ordovician. In: Webby, B.D., Paris, F., Droser, M.L., Percival, I.G., (Eds.), *The Great Ordovician Biodiversification Event*. Columbia University Press, New York, pp. 61-67.
- Cofaigh CO (1996) Tunnel valley genesis. *Progress in Physical Geography* 20: 1-19.
- Corominas J, Mavrouli O, Ruiz-Carulla R (2017) Rockfall Occurrence and Fragmentation Open image in new window. In: Sassa K., Mikoš M., Yin Y. (eds) *Advancing Culture of Living with Landslides*. WLF 2017. Springer, Cham. Switzerland p75 - 97.
- Comănescu, L., Nedelea, A. 2020. Geoheritage and Geodiversity Education in Romania: Formal and Non-Formal Analysis Based on Questionnaires. *Sustainability*. 12(21), 9180; <https://doi.org/10.3390/su12219180>
- Courrech du Pont, S., Narteau, C., & Gao, X. 2014. Two modes for dune orientation. *Geology*, 42 (9), 743–746.
- Coward, M., Ries, A. 2003. Tectonic development of North African basins in: Arthur, T. J., MacGregor, D. S. & Cameron, N. R. (Eds) *Petroleum Geology of Africa: New Themes and Developing Technologies*. Geological Society, London, Special Publications, 207, 61-83.
- Crofts, R. 2017. Putting geoheritage conservation on all agendas. *Geoheritage*, 10 (2): 231-238.
- Crofts, R., Gordon, J.E. 2015. Geoconservation in protected areas G.L. Worboys, M. Lockwood, A. Kothari, S. Feary, I. Pulsford (Eds.), *Protected area governance and management*, Australian National University Press, Canberra, Australia pp. 531-568 <http://press-files.anu.edu.au/downloads/press/p312491/pdf/CHAPTER18.pdf>
- Davis W (1984) Representation and knowledge in the prehistoric rock art of Africa. *The African Archeological Review* 2:7-35.
- Davies, A.L., Bunting, M.J., 2010. Applications of palaeoecology in conservation. *The Open Ecology Journal* 3, 54-67.
- Delabroye A, Vecoli M (2010) The end-Ordovician glaciation and the Hirnantian Stage: A global review and questions about the Late Ordovician event stratigraphy. *Earth-Science Reviews* 98 (3 – 4): 269 - 282.
- Denis M, Guiraud M, Konaté M, Buoncristiani JF (2010) Subglacial deformation and water-pressure cycles as a key for understanding ice stream dynamics: evidence from the Late Ordovician succession of the Djado Basin (Niger). *International Journal of Earth Sciences* 99 (6): 1399-1425.
- Denis M, Buoncristiani JF, Konaté M, Ghienne JF, Guiraud M (2007) Hirnantian glacial and deglacial record in SW Djado Basin (NE Niger). *Geodinamica acta*. 20 (3): 177-195.
- Destombes, J., 2006. Carte géologique au 1/200 000 de l'Anti-Atlas marocain. Paléozoïque inférieur. Cambrien moyen et supérieur - ordovicien - base de silurien. Feuille Zagora – Coude du Draa. Mémoire explicatif. Notes et Mémoire du service géologique du Maroc N°273 bis, Rabat, pp. 36.
- Destombes, J, 1971. L'Ordovicien au Maroc. Essai de synthèse stratigraphique. *Mémoires du Bureau de Recherches géologiques et minières* 73, 237-263.
- Destombes, J., 1970. Cambrien moyen et Ordovicien. Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc 229, 161-170.
- Destombes, J., 1976. Les gisements de minerai de fer du Maroc. In Actes Colloque « Gisements de fer de l'Europe », Hannover, I, 229-236.
- Destombes J (1968a) Sur la présence d'une discordance générale de ravinement d'âge Ashgill supérieur dans l'Ordovicien terminal de l'Anti-Atlas (Maroc). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* 267 : 565-567.
- Destombes J (1968b) Sur la nature glaciaire des sédiments du groupe du 2ème Bani, Ashgill supérieur de l'Anti-Atlas (Maroc). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris (D)* 267 : 684-686.
- Destombes, J., 1962. Stratigraphie et paléogéographie de l'Ordovicien de l'Anti-Atlas (Maroc) : un essai de synthèse. *Bulletin de la Société géologique de France* 7, 453-460.

- Destombes, J., Hollard, H., Willefert, S., 1985. Lower Palaeozoic rocks of Morocco. In: Holland, C.H., (Ed.), Lower Palaeozoic Rocks of North-Western and West-Central Africa. Wiley, New-York, Chichester, Brisbane, pp. 91-336.
- Desvallees André. 1998. « À l'origine du mot "patrimoine" », p. 89-105 in Patrimoine et Modernité / sous la direction de Dominique Poulot. Paris : Éd. de L'Harmattan. (Chemins de la mémoire.)
- De Wever, P., Le Néchet, Y., Cornée, A. 2006. – Vade-mecumpour l'inventaire du patrimoine géologique national Mémoire hors série de la Société géologique de France. 12, pp 162.
- Deynoux M (1985) Terrestrial or waterlain glacial diamictites? Three case studies from the Late Precambrian and Late Ordovician glacial drifts in West Africa. *Palaeogeography Palaeoclimatology, Palaeoecology* 51: 97-141.
- Diaz-Martinez E, Grahn Y (2007) Early Silurian glaciation along the western margin of Gondwana (Peru, Bolivia and northern Argentina): palaeogeographic and geodynamic setting. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 245: 62-81.
- Di Méo, G. 2008. « Processus de patrimonialisation et construction des territoires », in Regards sur le patrimoine industriel, Actes du colloque de Poitiers, « Patrimoine et industrie en Poitou-Charentes : connaître pour valoriser », 12-14 septembre 2007, Poitiers-Châtelleraut, Gestes Éditions, p. 87-109.
- Dłużewski, M., 2008. Reasons for development of the dune fields in the Coude du Dra region. *Prace Geograficzne, zeszyt* 118, 51-63.
- Dłużewski, M., Krzemień, K., 2008. Physical geography of the Coude du Dra region. *Prace Geograficzne, zeszyt* 118, 23-36.
- Douillet G, Ghienne F, Geraud Y, Abueladas A, Diraison M, Al-Zoubi A (2012) Late Ordovician tunnel valleys in southern Jordan. *Geological Society of London, Special Publications* 368 : 275-292.
- Dollé V. 1990. Elevage intensif en oasis, une composante importante du système de production. In : Dollé V. and Toutain G. (eds.). *Les systèmes agricoles oasiens*. Montpellier: CIHEAM IAMM, pp. 195-204. *Options Méditerranéennes*, A 11.
- Dowling, R.K. 2013. Global geotourism: An emerging form of sustainable tourism. *Czech Journal of Tourism* 2(2): 59–79
- Dowling, R., Newsome, D., 2018. Geoheritage and Geotourism. In: Reynard, E., Brilha, J. *Geoheritage*. Elsevier. 305-321. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00017-4>.
- Dowling, R. K., & Newsome, D. 2017. Geotourism destinations - visitor impacts and site management considerations. *Czech Journal of Tourism*, 6(2): 111-129.
- Dowling, R., Newsome, D., 2010. Geotourism: a global activity. In: Dowling, R., Newsome, D. (Eds.), *Global Geotourism Perspectives*. Goodfellow Publishers, Woodeaton, pp. 1–17.
- Dowling, R.; Newsome, D. (2006) (eds.), *Geotourism*, Elsevier, Amsterdam, pp. 260.
- Dubief J. (1953) – Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Alger, 457 p.
- Dutta, K. 2016. Singing sand dunes. *Reson.* 21:339-351. <https://doi.org/10.1007/s12045-016-0333-5>
- Eder, W., 1999. UNESCO GEOPARKS a new initiative for protection and sustainable development of the Earth's heritage. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen* 214(1/2), 353-358. <https://doi.org/10.1127/njgpa/214/1999/353>
- Eder, W., Patzak, M., 2004. Geoparks geological attractions: a tool for public education, recreation and sustainable economic development. *Episodes* 27(3), 162-164. <https://doi.org/10.1007/s12371-011-0032-2>
- El Hadi H, Tahiri A, Brilha J, El Maidani A, Baghdad B, Zaidi A (2015) Geodiversity Examples of Morocco: From Inventory to Regional Geotourism Development. *Open Journal of Ecology* 5: 409-419. <https://doi.org/10.4236/oje.2015.59034>.
- El Hadi, H., Tahiri, A., Simancas, J.F., González-Lodeiro, F., Azor, A., Martinez-Poyatos, D., 2011. Geoheritage in Morocco: The Neoproterozoic Ophiolite of Bou Azzer (Central Anti-Atlas). *Geoheritage* 3, 89–96. <https://doi.org/10.1007/s12371-011-0032-2>
- Elaouad-Debbaj, Z., 1988. Acritarches de l'Ordovicien supérieur (Caradoc, Ashgill) de l'Anti-Atlas, Maroc. *Revue de Micropaléontologie* 30 : 232-248.
- Elaouad-Debbaj, Z., 1986. Chitinozoaires de la formation du Ktaoua Inférieur, Ordovicien supérieur de l'Anti-Atlas (Maroc). *Hercynica Séries II*, 1, 35-55.
- Elaouad-Debbaj, Z., 1984. Chitinozoaires ashgilliens de l'Anti-Atlas (Maroc). *Geobios* 17 : 45-68.
- Ellouz, N., Patriat, M., Gaulier, J.M., Bouatmani, R. 2003. From rifting to Alpine inversion: Mesozoic and Cenozoic subsidence history of some Moroccan basins. *Sedimentary Geology* 156:185-212.

- Ennih N, Liégeois J-P (2001) The Moroccan Anti-Atlas: the West African craton passive margin with limited Pan-African activity. Implications for the northern limit of the craton. *Precambrian Research* 112:289-302.
- Erikstad, L., 2013. Geoheritage and geodiversity management. *Proceedings of the Geologists' Association* 124, 713–719.
- Eschard R, Abdallah H, Braik F, Desaubliaux G (2005) The Lower Palaeozoic succession in the Tassili outcrops, Algeria: sedimentology and sequence stratigraphy. *First Break* 23 : 27-36.
- Evans SG, Hungr O (1993) The assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes. *Canadian Geotechnical Journal* 30(4): 620-636.
- Eyles N (2006) The role of meltwater in glacial processes. *Sedimentary Geology* 190: 257-268.
- Fabre, J., 1988. Les séries paléozoïques d'Afrique: une approche. *Journal of African Earth Sciences*, 7 (1): 1-40.
- Faik, F. Belfoul, M.A., Bouabdell, M., Hassenforder, B. 2001. (The structures of the Late Neoproterozoic and Early Palaeozoic cover of the Tata area, western Anti-Atlas, Morocco: polyphased deformation or basement/cover interactions during the Variscan orogeny?). *Journal of African Earth Sciences*. 32 (4)765-776.
- Farsani, N.T., Neto de Carvalho, C., Kejianet, X. 2018. Education as a key tenet of geotourism. In: Dowling RK, Newsome D (Eds) *Handbook of geotourism*. Edward Elgar Publishing, pp 234–243
- Foucault, A. Raoult, J.F., 2001. *Dictionnaire de Géologie*. Dunod, Paris, pp 379.
- Ferchichi, A., Nabil, M. A., Delay, J. 1994. Prospection caryologique de la famille des Poaceae en Tunisie steppique, *Acta Botanica Gallica*, 141(3):327-341. <http://dx.doi.org/10.1080/12538078.1994.10515166>
- Forte, J., Brilha, J., Pereira, D.I., Nolasco, M., 2018. Kernel density applied to the quantitative assessment of geodiversity. *Geoheritage*. <http://dx.doi.org/10.1007/s12371-018-0282-3>.
- Finney S C, Berry WBN, Cooper JD, Ripperdan RL, Sweet WC, Jacobson S R, Soufiane A, Achab A, Noble PJ (1999) Late Ordovician mass extinction: a new perspective from stratigraphic sections in Central Nevada. *Geology* 27 (3): 215:218.
- Finney S C, Berry WBN (1997) New perspectives on graptolite distributions and their use as indicators of platform margin dynamics. *Geology* 25 (10): 919-922.
- Fio Firi K, Maričić A (2020) Usage of the Natural Stones in the City of Zagreb (Croatia) and Its Geotouristical Aspect. *Geoheritage* 12 (62): 1-18. <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00488-x>
- Folk RL (1954) The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature, *Journal of Geology* 62: 344-359.
- Friedman GM (1978) Classification of Sediments and sedimentary rocks. In: *Sedimentology. Encyclopedia of Earth Science*. Springer, Berlin, Heidelberg p 127-134.
- Freire-Lista DM, Sousa L, Carter R, Al-Nāimī F (2020) Petrographic and petrophysical characterisation and structural function of the heritage stones in Fuwairit Archaeological Site (NE Qatar): implications for heritage conservation. *International Union of Geological Sciences* <https://doi.org/10.18814/epiugs/2020/0200s12>
- Fuertes-Gutiérrez, I., Fernández-Martínez, E., 2012. Mapping geosites for geoheritage management: a methodological proposal for the Regional Park of Picos de Europa (León, Spain). *Environmental Management* 50, 789-806.
- Fuertes-Gutiérrez, I., Fernández-Martínez, E., 2010. Geosites inventory in the Leon province (northwestern Spain): a tool to introduce geoheritage into regional environmental management. *Geoheritage* 2(1–2):57–75. <https://doi.org/10.1007/s12371-010-0012-y>
- Gao, X., Narteau, C., Rozier, O., Courrech du Pont, S. 2015. Phase diagrams of dune shape and orientation depending on sand availability. *Scientific reports* 5(1):14677.
- Garcier, R., Bravard, J. 2014. La durabilité des oasis: aperçus de géographie historique à partir du cas de l'oasis de Kharga, Egypte. Colloque "Oasis dans la mondialisation : ruptures et continuités", Colloquium "Oases in globalization: ruptures and continuities", Colloquio "Los oasis en la globalización: rompimientos y continuidades", Paris, France. pp.29-36.
- Gasquet D, Levresse G, Cheilletz A, Azizi-Samir MR, Mouttaqi A (2005) Contribution to a geodynamic reconstruction of the Anti-Atlas (Morocco) during Pan-African times with the emphasis on inversion tectonics and metallogenic activity at the Precambrian-Cambrian transition. *Precambrian Research* 140: 157-182.
- Gasquet, D., Roger, J., Chalot-Prat, F., Hassenforder, B., Baudin, T., Chevremont, P., Razin, P., Benlakhdim, A., Mortaji, A. et Benssaou, M., 2001. Carte géologique du Maroc au 1/50 000.

- Feuille De Tamazrar. Mémoire explicatif, Notes et mémoires du service géologique du Maroc, Service géologique du Maroc. 415 bis: 95 p.
- Gast, M. 1998. « Fouette-queue », Encyclopédie berbère [En ligne], 19 | document F41, mis en ligne le 01 juin 2011, consulté le 25 septembre 2020. [URL: http://journals.openedition.org/encyclopedieberbere/](http://journals.openedition.org/encyclopedieberbere/)
<https://doi.org/10.4000/encyclopedieberbere.1960>
- Geyer, G., Landing, E., (eds) 1995. Morocco'95 - The lower-middle Cambrian standard of Western Gondwana. Beringeria Special Issue 2, 1-171.
- Giusti, C. and Calvet, M. (2010) L'inventaire des géomorphosites en France et le problème de la complexité scalaire. *Géomorphologie: Relief, Processus. Environnement*, 16, 223-244. <http://dx.doi.org/10.4000/geomorphologie.7947>
- Ghienne JF, Benvenuti A, El Houicha M, Girard F, Kali E, Khoukhi Y, Langbour C, Magna T, Míková J, Moscariello A, Schulmann K (2018) The impact of the end-Ordovician glaciation on sediment routing systems: A case study from the Meseta (northern Morocco). *Gondwana Research* 63: 169-178.
- Ghienne JF, Moreau J, Degermann L, Rubino JL (2013) Lower Palaeozoic unconformities in an intra-cratonic plat-form setting: glacial erosion versus tectonics in the eastern Murzuq Basin (southern Libya). *International Journal of Earth Sciences* 102: 455-482.
- Ghienne JF, Le Heron D, Moreau J, Denis M, Deynoux M (2007) The Late Ordovician glacial sedimentary system of the North Gondwana platform. In: Hambrey M, Christoffersen P, Glasser N, Janssen P, Hubbard B, Siegert M (Eds.) *Glacial Sedimentary Processes and Products*. International Association of Sedimentologists. Special Publication 39 p 295-319.
- Ghienne JF (2003a) Late Ordovician sedimentary environments, glacial cycles, and post-glacial transgression in the Taoudeni Basin, West Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 189: 117-145.
- Ghienne JF, Deynoux M, Manatschal G, Rubino JL (2003b) Palaeovalleys and fault controlled depocentres in the Late-Ordovician glacial record of the Murzuq Basin (central Libya). *Comptes Rendus Geoscience* 335: 1091-1100.
- Ghienne JF, Deynoux M (1998) Large-scale channel fill structures in Late Ordovician glacial deposits in Mauritania, western Sahara. *Sedimentary Geology* 119: 141-159.
- Giusti, C., Calvet, M., 2010. L'inventaire des géomorphosites en France et le problème de la complexité scalaire. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*. 2 : 223-244.
- Goodman, E.R., Kieffer, D.S. 2000. Behavior of rock in slopes. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 126(8): 675-684. [10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2000\)126:8\(675\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2000)126:8(675))
- Gordon, J. 2018. Geoheritage, Geotourism and the Cultural Landscape: Enhancing the Visitor Experience and Promoting Geoconservation. *Geosciences* 8(136), 1-25. <https://doi.org/10.3390/geosciences8040136>
- Gordon, J.E., Barron, H.F., 2013. The role of geodiversity in delivering ecosystem services and benefits in Scotland. *Scott. J. Geol.* 49 (1), 41–58.
- Gordon, J., Barron, H.F., Hansom, J.D., Thomas, M.F. 2012. Engaging with geodiversity- why it matters. *Proceedings of the Geologists' Association* 123 (1): 1-6.
- Gordon, J. E. & Kirkbride, V. 2009. Reading the landscape: unveiling Scotland's Earth stories, *Proceedings, Vital Spark Conference* [Online], Aviemore, October, 2007. www.ahi.org.uk/include/pdf
- Gouiza M, Charton R, Bertotti G, Andriessen P, Storms JEA (2016) Post-Variscan evolution of the Anti-Atlas belt of Morocco constrained from low-temperature geochronology. *International Journal of Earth Sciences* 106 (2): 593–616. <https://doi.org/10.1007/s00531-016-1325-0>
- Grandgirard, V., 1999. Switzerland: The inventory of geotopes of national significance. In: Baretino, D, Vallejo M, Gallego E (ed) *Towards the balanced management and conservation of the geological heritage in the new millenium*. Spain, Sociedad Geológica de España. Madrid, pp 234-236.
- Gray M 2019. Geodiversity, geoheritage and geoconservation for society 7 (4): 153-236.
- Grandgirard, V. 1997. *Géomorphologie, protection de la nature et gestion du paysage*. Thèse de doctorat en géographie, université de Fribourg, pp 210.
- Gray, M., 2005. Geodiversity and geoconservation: what, why and how? *George Wright Forum* 22 (3): 4-12.
- Gray, M., 2004. *Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature*. Wiley-Blackwell, Chichester, United Kingdom, pp. 508.

- Gray, M., Gordon, J.E., Brown, E.J., 2013. Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geosciences in delivering integrated environmental management. *Proceedings of the Geologists' Association* 124, 659–673. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2013.01.003>
- Groves, C.R., Game, E.T., Anderson, M.G., Cross, M., Enquist, C., Ferdaña, Z., Girvetz, E., Gondor, A., Hall, K.R., Higgins, J., Marshall, R., Popper, K., Schill, S., Shafer, S.L. 2012. Incorporating climate change into systematic conservation planning. *Biodiversity Conservation*. 21:1651–1671
- Gajek, G., Zgłobicki, W., Kołodyńska-Gawrysiak, R. 2019. Geoeducational Value of Quarries Located Within the Małopolska Vistula River Gap (E Poland). *Geoheritage*. 11 : 1335-1351.
- Gutiérrez-Marco, J.C., García-Bellido, D.C., 2018. The international fossil trade from the Paleozoic of the Anti-Atlas, Morocco. In: Hunter, A.W., Álvaro, J.J., Lefebvre, B., Van Roy, P., Zamora, S. (Eds), *The Great Ordovician Biodiversification Event: Insights from the Tafilalt Biota, Morocco*. Geological Society, London, Special Publications 485. <https://doi.org/10.1144/SP485.1>
- Gutiérrez-Marco, J.C., Destombes, J., Rábano, I., Aceñolaza, G.F., Sarmiento, G.N., San José, M.Á. 2003. El Ordovícico Medio del Anti-Atlas marroquí: paleobiodiversidad, actualización bioestratigráfica y correlación. *The Middle Ordovician of the Moroccan Anti-Atlas: Paleobiodiversity, biostratigraphic review and correlation*. *Geobios*, 36 (2): 151-177.
- Haddoum, H., Guiraud, R., Moussine-Pouchkine, A., 2001. Hercynian compressional deformations of the Ahnet–Mouydir Basin, Algerian Saharan Platform: far-field stress effects of the Late Palaeozoic orogeny. *Terra Nova* 13: 220–226.
- Hallam A, Wignall PB (1997) *Mass Extinctions and Their Aftermath*. Oxford: Oxford University Press p 309.
- Hamoumi N (1999) Tidally induced sedimentation during Upper Ordovician glaciation in the central Anti-Atlas, Morocco. *Acta Universitatis Carolinae: Geologica* 43: 179-181.
- Hamoumi N (1988) *La plateforme ordovicienne du Maroc : Dynamique des ensembles sédimentaires*. PhD Thesis University of Louis- Pasteur, Strasbourg p 225.
- Hannerz, U. 1996. *Transnational Connections: Culture, People, Places*. London: Routledge.
- Harra, H. (2007). *Archivage, analyse et amélioration du savoir-faire traditionnel oasien : Cas du jus de dattes*. Thesis, Hassan II Agricultural and Veterinary Institute, ISBN 9954-444-20-3, Rabat, Morocco.
- Haut Commissariat aux Eaux Et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, 2015. *Cartographie des zones soumises et vulnérables au phénomène de l'ensablement au niveau de la région du Souss –Massa-Draa*.
- Hefferan, K.P. Admou, H. Hilal, R. Karson, J.A. Saquaque, A. Juteau, T. Bohn, M.M. Samson, S.D. Kornprobst, J.M. 2002 Proterozoic blueschist-bearing melange in the Anti-Atlas Mountains, Morocco, *Precamb. Res.* 118 (3–4): 179–194.
- Henriques, M.H., Pena dos Reis, R., Brilha, J., Mota, T., 2011. Geoconservation as an emerging geoscience. *Geoheritage* 3 (2), 117–128.
- Hermitte, M.A. 1992. La convention sur la diversité biologique. In: *Annuaire français de droit international*, volume 38 : 844-870. <https://doi.org/10.3406/afdi.1992.3098>
- Hilali M (2005) Tourisme du désert, ou désir de faire du tourisme autrement. In: Chattou Z, l'Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès (Eds.) *Tourisme rural et développement durable*. p 102-124.
- Hirst JPP, Benbakir A, Payne DF, Westlake IR (2002) Tunnel valleys and density flow processes in the Upper Ordovician glacial succession, Illizi basin, Algeria: influence on reservoir quality. *Journal of Petroleum Geology* 25: 297-324.
- Hjort, J., Luoto, M., 2010. Geodiversity of high-latitude landscapes in northern Finland. *Geomorphology* 115 (1-2), 109–116.
- Hose, T. 2008. *Geotourism – appreciating the deep time of landscapes in Novelli M., Niche tourism*, Amsterdam, Elsevier, p. 27-37.
- Hose, T. 1995. Selling the story of Britain's stone. *Environ Interpret* 10(2):16-17.
- Houssni, M., El Mahroussi, M., Ben Sbih, H., Kadiri, M., Ater, M. 2020. Agriculture traditionnelle et agrobiodiversité dans les oasis du Sud du Maroc : cas des oasis de la région Drâa-Tafilalet. In: El Moujabber M. (ed.), Belhouchette H. (ed.), Belkhodja M. (ed.), Kalaitzis P. (Ed.). *Research and innovation as tools for sustainable agriculture, food and nutrition security*. Bari CIHEAM. p. 82-88. (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 124). 2. MEDFORUM 2018, 2018/09/18-20, Bari (Italy).
- Hrubcová P., Šroda P., Grad M., Geissler W.H., Guterch A., Vozár J., Hegedüs E. et SUDETES 2003 Working Group, 2010. From the Variscan to the Alpine Orogeny: crustal structure of the

- Bohemian Massif and the Western Carpathians in the light of the SUDETES 2003 seismic data *Geophys. J. Int.* 183, 611–633
- Hublin, J.-J., Ben-Ncer, A., Bailey, S.E., Freidline, S.E., Neubauer, S., Skinner, M.M., Bergmann, I., Le Cabec, A., Benazzi, S., Harvati, K., Gunz, P., 2017. New fossils from Jebel Irhoud, Morocco and the pan-African origin of *Homo sapiens*. *Nature* 546, 289-292.
- Huuse M, Lykke-Andersen H (2000) Over deepened Quaternary valleys in the eastern Danish North Sea: morphology and origin. *Quaternary Science Review* 19: 1233-1253.
- Ibanez JJ, Krasilnikov PV, Saldana A (2012) Archive and refugia of soil organisms: Applying a pedodiversity framework for the conservation of biological and non-biological heritages. *Journal of Applied Ecology* 49: 1267-1277. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02213.x>
- Igoe, J., Brockington, D. 2007. Neoliberal Conservation: A Brief Introduction. *Conservation and Society* 5 (4): pp. 432-449.
- INRA, 2012. Des acquis importants et un savoir-faire au service du développement durable de l'agriculture marocaine
- Jačková, K. Romportl, D. 2008. The relationship between geodiversity and habitat richness in Šumava National Park and Krivoklátsko Pla (Czech Republic): a quantitative analysis approach. *J. Lands. Ecol.* 1: 23-38.
- Jain, S. 2014. Weathering and Mass Wasting. *Fundamentals of Physical Geology*. Springer Geology. Springer, New Delhi p 129-163.
- Jones, J.P.G. 2011. Monitoring species abundance and distribution at the landscape scale. *Journal of Applied Ecology*. 48: 9–13. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01917.x>
- Joly, F. 2006. Les eaux sauvages des régions arides. Notions de base sur l'hydrologie des déserts. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*. 12 (4) : <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.93>
- Joly, F. 1962. Études sur le relief du Sud-Est marocain. Rabat, Travaux de l'Institut scientifique chérifien, Série Géographie physique, 10. pp 578.
- Jørgensen F, Sandersen PBE (2006) Buried and open tunnel valley sin Denmark-erosion beneath multiple ice sheets. *Quaternary Science Reviews* 25: 1339-1363.
- Joyce, E.B. 2006. Geomorphological sites and the new geotourism in Australia. Geological Society of Australia, Melbourne.
- Kabiri L., 2014. Etude comparative des modes de gestion, de conservation et de valorisation des ressources naturelles des oasis et des zones désertiques des pays de MENA DELP. Projet MENA-DELP (Projet de coordination et de partage des connaissances sur les moyens de subsistance et les écosystèmes désertiques, au profit de l'Algérie, Egypte, Jordanie, Maroc et Tunisie).
- Kassah, A. 2009. Oasis et aménagement en zones arides. Enjeux, défis et stratégies. In : Gestion des ressources naturelles et développement durable des systèmes oasiens du Nefzaoua, Actes de l'atelier Sirma, 25-27 février 2009, Douz, Tunisie.
- Kehew AE, Piotrowski JA, Jørgensen F (2012) Tunnel valleys: Concepts and controversies - A review. *Earth-Science Reviews* 113: 33-58.
- Khene B., 2007. Caractérisation d'un agro système oasien : Vallée du Mzab et Guerrara. (Wilaya de Ghardaïa). Thèse de Magistère. El Harrach, Alger: Institut National Agronomique
- Klose, S., Reichert, B., Lahmouri, A. 2008. Management Options for a Sustainable Groundwater Use in the Middle Drâa Oases under the Pressures of Climatic Changes. In F. Zereini and H. Hötzel (Eds.), *Climatic Changes and Water Resources in the Middle East and North Africa*. Berlin: Springer, 179-195.
- Knaust, D., Thomas, R.D.K., Allen Curran, H. 2018. *Skolithos linearis* Haldeman, 1840 at its early Cambrian type locality, Chickies Rock, Pennsylvania: Analysis and designation of a neotype. *Earth-Science Reviews*. 185: 15-31. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.05.009>
- Kröger, B., Lefebvre, B., 2012. Palaeogeography and palaeoecology of early Floian (Early Ordovician) cephalopods from the Upper Fezouata Formation, Anti-Atlas, Morocco. *Fossil Record* 15 (2), 61- 75. <https://doi.org/10.1002/mmng.201200004>
- Kohler, I.S. 2011. Diversité culturelle et diversité biologique : une approche critique fondée sur l'exemple brésilien. *Natures Sciences Sociétés*. 19 : 113-124
- Kubalíková, L. 2020. Cultural Ecosystem Services of Geodiversity: A Case Study from Stránská skála (Brno, Czech Republic). *Land*. 9 (105): 1-18.
- Lahmidi, S., Lagnaoui, A., El Adnani, A., Berrada, I., Saadi, M., Bahaj, T. 2022. Integrating Geological and Archaeological Heritage for Conservation and Promotion of Foum Larjamme Geosite

- from Bani Geopark Project South-Eastern Morocco. *Geoheritage* 14(81) <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00718-4>
- Lahmidi, S., Lagnaoui, A., Berrada, I., El Adnani, A., Saadi, M., Bahaj, T. 2021. The Ordovician Fom Larjamme Tunnel Paleo-Valleys from Bani Geopark Project—Assessment of Geological Heritage for Geo- education and Geotourism Purposes. *Geoheritage* 13 (104). <https://doi.org/10.1007/s12371-021-00630-3>
- Lahmidi, S., Lagnaoui, A., Bahaj, T., El Adnani, A., Fadli, D. 2020. First inventory and assessment of the Geoheritage of Zagora province from the project Bani Geopark (South-Eastern Morocco). *Proc Geol Assoc* 131(5):511–527. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2020.05.002>
- Lamhamedi, M. 2005. Situation actuelle et perspectives de développement du secteur phoenicicole: charpente axiale de l'activité agricole dans l'écosystème oasien. In Boulanouar, B., Kradi, C. (Eds.). *Actes du Symposium International sur le Développement Durable des Systèmes Oasiens Erfoud, Maroc*. pp430
- Lancaster, N. 2013. *Geomorphology of desert dunes*. Routledge.
- Larwood J (2017) Geodiversity – a cultural template. In: Larwood J, France S, Mahon C (eds) (2017). *Culturally natural or naturally cultural? Exploring the relationship between nature and culture through World Heritage*. IUCN National Committee, UK, pp 16-19.
- Larwood, J.G., Badman, T., Mckeever, P., 2013. The progress and future of geoconservation at a global level. *Proceedings of the Geologists' Association* 124, 720-730. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2013.04.001>
- Lasram M, 1990. Les systèmes agricoles oasiens dans le Sud de la Tunisie. In : Dollé V. and Toutain G. (eds.). *Les systèmes agricoles oasiens*. Montpellier: CIHEAM IAMM, pp. 21-27. *Options Méditerranéennes*, A 11.
- Last J, Brown EJ, Bridgland DR, Harding P (2013) Quaternary geoconservation and Palaeolithic heritage protection in the 21st century: developing a collaborative approach. *Proceedings of the Geologists Association* 124: 625-637.
- Leblanc, M., 1975. Ophiolites précambriennes et gîtes de Cobalt : Bou Azzer (Maroc), thèse d'Etat, Université Paris-6, Mémoire. Centre Géologie. Géophysique. Montpellier, pp 329.
- Leblanc, M. 1972. Sur le style disharmonique des plis hercyniens, a' la base de la couverture, dans l'Anti-Atlas central (Maroc), *C. R. Acad. Sci., Ser. D*, 275 :803 – 806.
- Leblanc, M., and J. R. Lancelot 1980. Interpretation géodynamique du domaine pan-africain (Précambrien terminal) de l'Anti-Atlas (Maroc) a partir de données géologiques et géochronologiques, *Can. J. Earth Sci.*, 17 : 142 – 15.
- Le Brocq AM, Ross N, Griggs JA, Bingham RG, Corr HFJ, Ferraccioli F, Jenkins A, Jordan TA, Payne AJ, Rippin DM, Siegert MJ. 2013. Evidence from ice shelves for channelized meltwater flow beneath the Antarctic Ice Sheet. *Nature Geoscience* 6 : 945-948.
- Lee, K.C., Karimova, P.G. 2021. From Cultural Landscape to Aspiring Geopark: 15 Years of Community-Based Landscape Tourism in Fengnan Village, Hualien County, Taiwan (2006–2021). *Geosciences*. 11(310): 1-24. <https://doi.org/10.3390/geosciences11080310>
- Lefebvre, B., El Hariri, K., Lerosey-Aubril, R., Servais, T., Van Roy, P., 2015. The Fezouata Shale (Lower Ordovician, Anti-Atlas, Morocco): a historical review. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 460, 7-23. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2015.10.048>
- Lefebvre, B., Lerosey-Aubril, R., Servais, T., Van Roy, P., 2016. The Fezouata Biota: An exceptional window on the Cambro- Ordovician faunal transition, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 7889, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.06.041>
- Legrand P (2003) Paléogéographie du Sahara algérien à l'Ordovicien terminal et au Silurien inférieur. *Bulletin de la Société géologique de France* 174 (1) : 9-32.
- Le Heron DP (2016) The Hirnantian glacial land system of the Sahara: a meltwater-dominated System. In: Dowdeswell, J.A., Canals, M., Jakobsson, M., Todd, B.J., Dowdeswell, E.K. & Hogan, K. (Eds). *Atlas of Submarine Glacial Landforms: Modern, Quaternary, and Ancient*. Geological Society of London 46: 509–516.
- Le Heron DP, Meinhold G, Elgadry M, Abutarruma Y, Boote, D. 2014 Early Palaeozoic evolution of Libya: perspectives from Jabal Eghei with implications for hydrocarbon exploration in Al Kufrah Basin. *Basin Research* 26: 1-24.
- Le Heron, D.P., 2007. Late Ordovician glacial record of the Anti-Atlas, Morocco. *Sedimentary Geology* 201, 93-110. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2007.05.004>
- Le Heron DP, Armstrong HA, Wilson C, Howard JP, Gindre L (2010) Glaciation and deglaciation of the Libyan desert: The Late Ordovician record. *Sedimentary Geology* 223: 100-125.

- Le Heron DP, Dowdeswell JA (2009) Calculating ice volumes and ice flux to constrain the dimensions of a 440 Ma North African ice sheet. *Journal of the Geological Society of London* 166: 277-281.
- Le Heron DP, Craig J (2008) First-order reconstructions of a Late Ordovician Saharan ice sheet. *Journal of the Geological Society* 165 (1), 19-29.
- Le Heron DP, Craig J, Sutcliffe OE, Whittington RJ (2006) Late Ordovician glaciogenic reservoir heterogeneity: an example from the Murzuq Basin, Libya. *Marine and Petroleum Geology* 23: 655-677.
- Le Heron DP, Sutcliffe OE, Bourgig K, Craig J, Visentin C, Whittington RJ (2004) Sedimentary architecture of the Upper Ordovician tunnel valley, Gargaf Arch, Libya: implications for the genesis of a hydrocarbon reservoir. *GeoArabia* 9: 137-160.
- Le Roux, P.C. & Luoto, M. (2014) Earth surface processes drive the richness, composition and occurrence of plant species in an arctic-alpine environment. *Journal of Vegetation Science*. 25:45-54.
- Letsch, D., El Houicha, M., Von Quadt, A., Wilfried Winkler, W. 2018. A missing link in the peri-Gondwanan terrane collage: the Precambrian basement of the Moroccan Meseta and its lower Paleozoic cover. *Canadian Journal of Earth Sciences* (2018) 55 (1): 33-51. <https://doi.org/10.1139/cjes-2017-0086>
- Lima, F.F., Brilha, J., Salamuni, E., 2010. Inventorying geological heritage in large territories: a methodological proposal applied to Brazil. *Geoheritage*. 2(3-4):91-99.
- Liu, T., Broecker, W.S., Bell, J.W., Mandeville, C.W. 2000. Terminal Pleistocene wet event recorded in rock varnish from Las Vegas Valley, southern Nevada. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 161:423-433.
- Lkebir N, Rolland T, Monna F, Masrour M, Bouchaou L, Fara E, Navarro N and al. (2020) Anza palaeoichnological site, Late Cretaceous, Morocco. Part III: Comparison between traditional and photogrammetric records. *Journal of African Earth Sciences* 127 <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103985>
- Loi A, Ghienne JF, Dabard MP, Paris F, Botquelen A, Christ N, Elaouad-Debbaj Z, Gorini A, Vidal M, Videt B, Destombes J (2010) The Late Ordovician glacio-eustatic record from a high-latitude storm-dominated shelf succession: The Bou Ingarf section (Anti-Atlas, Southern Morocco). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 296: 332-358.
- Lubova KA, Zayats PP, Ruban DA, Tiess G (2013) Megaclasts in geoconservation: sedimentological questions, anthropogenic influence, and geotourism potential. *Geologos* 19: 321-335.
- Lugeri F.R., Amadio, V., Bagnaia, R. Cardillo, A., Lugeri, N. 2011. Landscapes and Wine Production Areas: A Geomorphological Heritage. *Geoheritage*. <https://doi.org/10.1007/s12371-011-0035-z>
- Lüning, S., 2005. AFRICA - North African Phanerozoic. In: R.C. Selley, L.R.M. Cocks and I.R. Plimer (Editors), *Encyclopedia of Geology*. Elsevier, Oxford, pp. 12-26.
- Lüning, S., Craig, J., Loydell, D.K., Storch, P. et Fitches, B., 2000. Lower Silurian "hot shales" in North Africa and Arabia: regional distribution and depositional model. *Earth Science Reviews*, 49: 121-200.
- Maloof, A.C., Schrag, D.P., Crowley, J.L., Bowring, S.A. 2005. An expanded record of Early Cambrian carbon cycling from the Anti-Atlas Margin, Morocco, *Canadian Journal of Earth Sciences*. 42, 2195-2216.
- Maltesics, P. 2020. Education in Domestic Tourism - The Bakony-Balaton Geopark. *European Journal of Teaching and Education*, 2(2): 75-81. <https://doi.org/10.33422/ejte.v2i2.201>
- Mangold N, Thompson LM, Forni O, Williams AJ, Fabre C, Le Deit L (2016) Composition of conglomerates analyzed by the Curiosity rover: Implications for Gale Crater crust and sediment sources. *Journal of Geophysical Research Planets* 121 : 353-387.
- Marante A (2008) Architecture Et Dynamique Des Systèmes Sédimentaires Silicoclastiques Sur La « Plate-forme Géante » Nord-gondwanienne l'ordovicien Moyen De l'Anti-Atlas Marocain. Unpublished PhD Thesis. University of Bordeaux III p 219.
- Martin, E.L.O., Pittet, B., Gutiérrez-Marco, J.C., Vannier, J., El Hariri, K., Lerosey-Aubril, R., Masrour, M., Nowak, H., Servais, T., Vandenbroucke, T.R.A., Van Roy, P., Vaucher, R., Lefebvre, B., 2015. The Lower Ordovician Fezouata Konservat-Lagerstätte from Morocco: Age, environment and evolutionary perspectives. *Gondwana Research* 34, 274-283.
- Martin, E.L.O., Vidal, M., Vizcaïno, D., Vaucher, R., Sansjofre, P., Lefebvre, B., Destombes, J., 2016. Biostratigraphic and palaeoenvironmental controls on the trilobite associations from the Lower Ordovician Fezouata Shale of the central Anti-Atlas, Morocco. *Palaeogeography,*

- Martini, G. 2009. Geoparks... A Vision for the Future. *Revista do Instituto de Geociências - USP* 5: 85-90.
- Matsukura Y (2013) Influence of physical weathering on hillslope forms. In Shroder JF (Eds), *Treatise on Geomorphology*. Elsevier, San Diego: Academic Press 44-55.
- Mattingly DJ, Bokbot Y, Sterry M, Cuénod A, Fenwick C, Gatto M C, Ray N, Rayne L, Janin K, Lamb A, Mugnai N, Nikolaus J (2017) Long-term history in a Moroccan Oasis Zone: The Middle Draa Project 2015. *Journal of African archaeology* 15(2): 141-172.
- McDougall N, Martin M (2000) Facies models and sequence stratigraphy of Upper Ordovician outcrops in the Murzuq Basin, SW Libya. In: Sola MA, Worsley D (Eds), *Geological Exploration in Murzuq Basin*. Elsevier Science, Amsterdam p 223-236.
- McKeever, P., Zouros, N., Patzak, M., Weber, J., 2010. The UNESCO global network of national geoparks. In Newsome D, Dowling R (eds) *Geotourism: the tourism of geology and landscape*. Goodfellow Publishers Limited, Oxford, pp. 221–230.
- McKee, E.D. 1979. Introduction to a study of global sand seas. In McKee, E.D., editor, *A Study of Global Sand Seas*, number 1052, pp. 1-17, Professional Paper U.S. Geological Survey.
- McKee ED, Weir GW (1953) Terminology for stratification and cross-stratification in sedimentary rocks. *Bulletin of the Geological Society of America* 64: 381-390.
- Mehdioui S, El Hadi H, Tahiri A, Brilha J, El Haibi H, Tahiri M (2020) Inventory and Quantitative Assessment of Geosites in Rabat-Tiflet Region (North Western Morocco): Preliminary Study to Evaluate the Potential of the Area to Become a Geopark. *Geoheritage* 12 (35). <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00456-5>
- Melchin M J, Mitchell C E (1991) Late Ordovician extinction in the Graptoloidea. In Barnes CR, Williams SH (eds), *Advances in Ordovician Geology*. Geological Survey of Canada, Ottawa 90(9) : 143-156.
- Megerle, H.E., Pietsch, D. 2017. Consequences of overlapping territories between large scale protection areas and geoparks in germany: opportunities and risks for geoheritage and geotourism. *Cairn. Info Matières à réflexion*. 5: 598-624.
- Meunié J (1972) Notes sur l'histoire des populations du sud marocain. *Revue de l'Occident musulman et de la Méditerranée* 11 : 137-150.
- Michard, A., 1976. *Eléments de Géologie Marocaine*. Note Mémoire Service Géologique Maroc, Rabat 252, pp. 408.
- Michard A, Saddiqi O, Chalouan A, de Lamotte DF (2008) Continental evolution: The geology of Morocco: Structure, stratigraphy, and tectonics of the Africa-Atlantic-Mediterranean triple junction. Springer Berlin, Heidelberg p 426. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-77076-3>
- McKee, E. D., Bigarella, J. J. 1979. Sedimentary structures in dunes. McKee (Ed.), *A Study of Global Sand Seas*. US Geological Survey Professional Paper, 1052, 83-134.
- Mignelli C, Lo Russo S, Peila D (2012) Rockfall risk Management assessment: the RO.MA. approach. *Natural Hazards* 62: 1109-1123.
- Migon, P. Pijet-Migon, E. 2017. Viewpoint geosites—Values, conservation and management issues. *Proc. Geol. Assoc.* 2017, 128: 511–522.
- Miśkiewicz, K. 2016. Promoting geoheritage in geoparks as an element of educational tourism. In Adolf Szponar, Sylwia Toczek-Werner (Eds) *Geotourism. Organization of the tourism and education in the geoparks in the Middle-Europe Mountains* (pp.37-48) Publisher: University of Business in Wrocław.
- Missenard, Y., H. Zeyen, D. Frizon de Lamotte, P. Leturmy, C. Petit, M. Sérbier, O. Saddiqi, 2006, Crustal versus asthenospheric origin of relief of the Atlas Mountains of Morocco: *Journal of Geophysical Research*, v. 111, B03410, 13 p. NASA and Earth Satellite Corporation, <<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>
- Moreau J (2011) The Late Ordovician deglaciation sequence of the SW Murzuq Basin (Libya). *Basin Research* 23: 449-477.
- Moroni A, Gnezdilova VV, Ruban DA (2015) Geological heritage in archaeological sites: case examples from Italy and Russia. *Proceedings of the Geologists' Association* 126 (2): 244-251.
- Mucivuna, V.C., Reynard, E., Garcia, M.G.M. 2019. Geomorphosites Assessment Methods: Comparative Analysis and Typology. *Geoheritage*. 11: 1799–1815.
- Mulder T, Razin P, Faugeres JC (2009) Hummocky cross-stratification-like structures in deep-sea turbidites: Upper Cretaceous Basque basins (Western Pyrenees, France). *Sedimentology* 56: 997-1015.

- Nicolas, T. 2007. L'insularité aujourd'hui : entre mythes et réalités. Études caribéennes n°6. <http://etudescaribeennes.revues.org/document509.html>
- Nitsche FO, Gohl K, Larter RD, Hillenbrand CD, Kuhn G, Smith JA, Jacobs S, Anderson JB, Jakobsson M (2013) Paleo ice flow and subglacial meltwater dynamics in Pine Island Bay, West Antarctica. *Cryosphere* 7 : 249-262.
- Olaf, E., Altumi, M.M., 2019. Cambrian trace fossils from North Africa and their contribution to Gondwana's paleobiogeography and depositional history. *Journal of African Earth Sciences* 158 ,103556, 1–15, <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103556>
- Ouanaimi, H., Berger, J., Soulaïmani, A., Ennih, N 2020. Géodynamique de l'Anti-Atlas Évolution géologique de l'Anti-Atlas marocain du Précambrien au Paléozoïque inférieur. *Géochronique*. 153 : 12-15.
- Ouanaimi H (2004) Contribution à l'étude géologique du sud marocain : stratigraphie séquentielle de bassins détritiques paléozoïques -Distribution des réseaux de diaclases à grande échelle dans les orogènes hercynien et atlasique Thèse. Es-Sciences, Cadi Ayyad University of Marrakech p 226.
- Ouanaimi H (1998) Le passage Ordovicien-Silurien à Tizi n'Tichka (Haut-Atlas, Maroc): variations du niveau marin. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, Sciences de la terre et des planètes* 326 (1) : 65-70.
- Ouanaimi, H., Soulaïmani, A., 2011. Tour C5 : Central Anti-Atlas. In: Michard, A., Saddiqi O., Chalouan, A., Rjmati, E., Mouttaqi, A., (Eds.), *New Geological and Mining Guidebooks of Morocco. Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, Rabat 558, pp. 73-122.
- Oukassou, M., 2013. Mouvements verticaux de la bordure nord du craton ouest africain (Anti-Atlas central, Maroc) apport de la thermochronologie basse température. Unpublished PhD Thesis University Hassan II, Casablanca. CED SFA/ 010-13. pp. 137.
- Owen A W, Robertson D B R (1995) Ecological changes during the end-Ordovician extinction. *Modern Geology* 20: 21-39.
- Page A, Zalasiewicz J, Williams M, Popov L (2007) Were transgressive black shales a negative feedback modulating glacioeustasy in the Early Palaeozoic Icehouse? In: Williams M, Haywood AM, Gregory FJ, Schmidt DN (Eds.) *Deep-Time Perspectives on Climate Change: Marrying the Signal from Computer Models and Biological Proxies: Special Publication of the Geological Society of London, The Micropalaeontological Society* p 123-156.
- Palacio, J. 1999. Viewpoints and geological heritage. Uses in tourism and education. Western sector of the Cantabrian Mountains. En Baretino, D., Vallejo, M. y Gallego, E. (Eds.). *Towards the Balanced Management and conservation of the geological Heritage in the New Millenium*, 185-185. Sociedad Geológica de España, Instituto Tecnológico Geominero de España y European Association for the Conservation of the Geological Heritage. Madrid.
- Panizza, M., Piacente, S. 2003 - Geomorfologia culturale. Ed. Pitagora, Bologna, pp.360.
- Panizza M., Piacente, S. 1999. Conoscenza geologica e gestione dei Beni architettonici- Atti del Convegno Internazionale "Archeologia e Ambiente". Ferrara, 3-4 Aprile 1998. Istituto per i Beni Artistici, Culturali, Naturali della regione Emilia Romagna, A.B.A.C.O. Edizioni, Forlì, pp.185-190.
- Panizza M., Piacente, S. 1993 Geomorphological assets evaluation. *Z NF Geomorph Suppl Bd* 87:13–18
- Paris, F., 1999. Palaeobiodiversification of Ordovician chitinozoans from northern Gondwana. *Acta Universitatis Carolinae-Geologica*. 43: 283–286.
- Paris, F., 1990. The Ordovician chitinozoan biozones of the Northern Gondwana Domain. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 66: 181-209.
- Parkes, M.A. 2004. Natural and cultural landscapes – the geological foundation. *Proceedings of a conference 9–11 September 2002, Dublin Castle, Ireland*, 329. Royal Irish Academy, Dublin
- Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Linden, P.V.D., Hanson, C.E. 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC*.
- Patzak, M., Eder, E., 1998. "UNESCO GEOPARK". A new programme - a new UNESCO label. *Geologica Balcanica* 28(3–4),33–35.
- Pemberton SG (1978) Biogenic sedimentary structures. In: Middleton GV, Church MJ, Coniglio M, Hardie LA, Longstaffe FJ (Eds) *Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks. Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, Dordrecht p 71-82.
- Perry, R.S., Adams, J.B. 1978. Desert varnish: evidence for cyclic deposition of manganese *Nature*, 276 (30): 489-491

- Petesron, R.T. 1958. Cross-bedding. Undergraduate thesis and Senior projects. University of North Dakota p 20.
- Pietsch, D., Kühn, P. 2017. Buried soils in the context of geoarchaeological research—two examples from Germany and Ethiopia. *Archaeology Anthropology Sciences*. 9:1571-1583. <https://doi.org/10.1007/s12520-014-0180-9>
- Piotrowski JA, Hermanowski P, Piechot AM (2009) Meltwater discharge through the subglacial bed and its land-forming consequences from numerical experiments in the Polish lowland during the last glaciation. *Earth Surface Processes and Landforms* 34: 481-492.
- Piotrowski JA (1997) Subglacial hydrology in northwestern Germany during the last glaciation: groundwater flow, tunnel valleys, and hydrological cycles. *Quaternary Science Reviews* 16: 169-185.
- Piotrowski JA (1994) Tunnel-valley formation in northwest Germany-geology, mechanisms of formation and subglacial bed conditions for the Bornhöved tunnel valley. *Sedimentary Geology* 89: 107-141.
- Piqué A (2001) Geology of Northwest Africa. *Beiträge zur regionalen Geologie der Erde*, Gebrüder Borntraeger p 310.
- Pollard D, Aydin A (1988) Progress in understanding jointing over the past century. *Geological Society of America Bulletin* 100(8): 1181-1204.
- Poli G. 1999. – Geositi testimoni del tempo– Regione Emilia Romagna, Edizioni Pendragon, Bologna.
- Pereira DI, Pereira P, Brilha J, Cunha PP (2013) The Iberian Massif Landscape and Fluvial Network in Portugal: a geoheritage inventory based on the scientific value. *Proc Geol Assoc* 126(2015):252–265
- Pereira. P., Pereira, D. 2010. Methodological guidelines for geomorphosite assessment. *Géomorphologie: Relief, Processus, Environnement* 16(2):215–222. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.7942>
- Pereira, P. 2006. – Património geomorfológico : conceptualização, avaliação e divulgação. Aplicação ao Parque Natural de Montesinho. PhD thesis, Departamento de Ciências da Terra, universidade do Minho, 370 p.
- Pereira, P., Pereira, D.I., Alves, M.I.C., 2007. Geomorphosite assessment in Montesinho Natural Park (Portugal). *Geogr Helv.* 62:159-68. <https://doi.org/10.5194/gh-62-159-2007>
- Pradhan B, Fanos AM (2017) Rockfall Hazard Assessment: An Overview. In: Pradhan B (Eds) *Laser Scanning Applications in Landslide Assessment*. Springer, Cham, Switzerland p 299-322.
- Pralong, J.P., 2004. A method for assessing the tourist potential and use of geomorphological sites. *Géomorphologie*. 3:189-196.
- Pralong, J.P., Reynard, E., 2005. A proposal for the classification of geomorphological sites depending on their tourist value. *Quaternario*. 18(1):315-321.
- Pred, A., Watts, M. 1992. *Reworking Modernity: Capitalisms and SymbolicDiscontent*. New Brunswick: Rutgers University Press.
- Prosser CD (2019) Communities, Quarries and Geoheritage—Making the Connections. *Geoheritage* 11: 1277-1289.
- Prosser, C.D. Brown, E.J. Larwood, J.G. Bridgland, D.R. 2013. Geoconservation for science and society – An agenda for the future *Proceedings of the Geologists' Association*, 124: 561-567
- Prosser, C.D., Burek, C.V., Evans, D., Gordon, E.J. 2010. Conserving Geodiversity Sites in a Changing Climate: Management Challenges and Responses. *Geoheritage* 2(3):123-136.
- Prosser, C.D., Murphy, M., Larwood, J. 2006. Geological conservation: a guide to good practice. *English Nature*, Peterborough pp 145.
- Rhaffari L., Zaid A. 2002 *Pratique de la phytothérapie dans le sud-est du Maroc (Tafilalet)*. Un savoir empirique pour une pharmacopée rénovée In : Fleurentin J. (ed.), Pelt J.M. (ed.), Mazars G. (ed.), Lejosne J.C. (trad.), Cabalion Pierre (collab.). *Des sources du savoir aux médicaments du futur : actes du 4e congrès européen d'ethnopharmacologie = From the sources of knowledge to the medicines of the future = proceedings of the 4th European Congress on Ethnopharmacology*. Paris (FRA) 293-318.
- Ravier E, Buoncristiani JF, Menzies J, Guiraud M (2015) Does porewater or meltwater control tunnel valley genesis? Case studies from the Hirnantian of Morocco. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 418: 359-376.
- Ravier E, Buoncristiani JF, Guiraud M, Menzies J, Clerc S, Goupy B, Portier E (2014) Porewater pressure control on subglacial soft sediment remobilization and tunnel valley formation: a case study from the Alnif tunnel valley (Morocco). *Sedimentary Geology* 304: 71-95.

- Raynal, J.P., Sbihi Alaoui, F.Z., Geraads, D., Magoga, L., Mohi, A., 2001. The earliest occupation of North-Africa: the Moroccan perspective. *Quaternary International* 75(1), 65-75.
- Reine M (1969) Les gravures pariétales libyco-berbères de la haute vallée du Draa. In: *Antiquités africaines*. p. 35-54. <https://doi.org/10.3406/antaf.1969.896>
- Reineck HE, Singh IB (1980) Current and Wave Ripples. In: *Depositional Sedimentary Environments*. Springer Study Edition. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Reynard, E. 2009. Geomorphosites: definition and characteristics. In: Reynard E et al (eds) *Geomorphosites*. Verlag Pfeil, Munich, pp 51-63.
- Reynard, E. 2005. Géomorphosites et paysages. *Géomorphologie. Relief, processus, environnement*. 3: 181-188.
- Reynard, E. 2004. Géotopes, géomorphosites et paysages géomorphologiques. *Institut de géographie, Travaux et Recherches*. 27 :123-136.
- Reynard E, Giusti C (2018) The landscape and the cultural value of Geoheritage In: Reynard E and Brilha J (Eds) (2018) *Geoheritage Assessment, Protection, and Management*. Elsevier, pp 147-166.
- Riser, J. 1979. Aspects géomorphologiques d'une montagne semi-aride : le Jbel Sarhro et de sa retombée saharienne. In: *Revue de géographie alpine*, tome 67, n°3, 1979. pp. 309-327.
- Rivas, V., Rix, K., Frances, E., Cendrero A., Brunsden, D. 1997. Geomorphological indicators for environmental impact assessment: consumable and non-consumable geomorphological resources, *Geomorphology*, 18:169-182.
- Robert-Charrue, C. 2006. *Géologie structurale de l'Anti-Atlas oriental, Maroc*. Phd thesis. Université de Neuchâtel. Suisse. Pp 224.
- Rodier, J.A. 1981. Caractères particuliers des régimes hydrologiques des zones arides. *Mélanges C.-P. Péguy, Grenoble*, 473-486.
- Rodrigues, J., 2013. Geosite management in Geopark Naturtejo de Meseta Meridional, Portugal: geomorphological viewpoints. In: Hobléa, F., Cayla, N., Reynard, E. (Eds.), *Gestion des géosites dans les espaces protégés*, pp. 65–70 Collection EDYTEM 15.
- Rong, J.Y., Chen. X., Harper, D.A.T. 2002. The latest Ordovician Hirnantia Fauna (Brachiopoda) in time and space. *Lethaia* 35: 213-249.
- Rong JY, Harper DAT (1999) Brachiopod survival and recovery from the latest Ordovician mass extinctions in South China. *Geological Journal* 34: 321-348.
- Rousselle, J., 2017. Excursion du Groupe Français du Paléozoïque dans le Sud du Maroc. *Saga Information* 361, 20-27.
- Ruban DA (2019) Geological Heritage of the Anthropocene Epoch—A Conceptual Viewpoint. *Heritage* 3(1): 19-2. <https://doi.org/10.3390/heritage3010002>
- Ruban, D.A., 2010. Quantification of geodiversity and its loss. *Proc. the Geol. Assoc.* 121, 326–333.
- Ruban DA, Al-Husseini MI, Iwasaki Y (2007) Review of Middle East Paleozoic plate tectonics. *GeoArabia* 12: 35-56.
- Saddou, H. 2019. Patrimoine et patrimonialisation : Processus et nouvel enjeu de valorisation territoriale. *O Ideário Patrimonial, Instituto Politécnico de Tomar*. 14 : 75 – 98.
- Sadki, A. 2011. *Environnement, Paysage et " Projet de territoire " : Vers une approche territoriale pour la sauvegarde et la mise en valeur de la Réserve de Biosphère des Oasis du Sud Marocain (RBOSM)*. Mémoire de Master. Université Senghor. pp137.
- Sallam, E.S., Abd El-Samee, M.A., Bobrysheva, O.R., Yashalova, N.N., Ruban, D.A. 2020. Geological heritage of Luxor and its vicinities, Egypt: a new assessment and geotourism perspectives. *Arab Journal of Geosciences* 13 (76). <https://doi.org/10.1007/s12517-019-5038-0>
- Saquaque A, Admou H, Karson J, Hefferan K, Reuber I. 1989. Precambrian accretionary tectonics in the Bou Azzer-E1 Graara region, Anti-Atlas, Morocco. *Geology*. 17:1107–1110
- Schieber, J., 1978. Depositional fabric of mudstones. In: Middleton GV, Church MJ, Coniglio M, Hardie LA, Longstaffe FJ (Eds) *Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht p 203-206.
- Scotese, C.R., Boucot, A.J. et Mckerrow, W.S., 1999. Gondwanan palaeogeography and paleoclimatology. *Journal of African Earth Sciences*, 28 (1): 99-114.
- Searight, S., 2013. Morocco's Rock Art: Age and Meaning. *Arts* 2, 35-43. <https://doi.org/10.3390/arts2010035>
- Searight, S 2004. The prehistoric rock art of Morocco: a study of its extension, environment and meaning. PhD thesis. Bournemouth University p 333.
- Seilacher, A., 2007. Trace fossils analysis. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 226. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-47226-1>

- Selby, M.J., 1982. Hillslope materials and processes. Oxford University Press, New York. p 450.
- Semeniuk, V., Semeniuk, C. A., Tauss, C., Unno, J., & Brocx, M. (2011). Walpole and Nornalup Inlets: Landforms, stratigraphy, evolution, hydrology, water quality, biota, and geoheritage. Perth, WA: Western Australian Museum (Monograph), 584 p. ISBN 978-1-920843-37-3
- Serrano, E., Ruiz-Flaño, P., 2007. Geodiversity. A theoretical and applied concept. *Geogr. Helvetica* 62, 140–147.
- Serrano, E., González-Trueba, J.J., 2005. Assessment of geomorphosites in natural protected areas: the Picos de Europa National Park (Spain). In: *Géomorphologie. Formes, processus, environnement*. 3:197-208.
- Sghaier M., 2014. Perspectives de développement de l'approche filière pour la structure des activités des communautés locales au niveau des oasis de la région MENA (Algérie, Egypte, Jordanie, Maroc et Tunisie). *Projet MENA-DELP (Projet de coordination et de partage des connaissances sur les moyens de subsistance et les écosystèmes désertiques, au profit de l'Algérie, Egypte, Jordanie, Maroc et Tunisie)*.
- Sharples, C., 2002. Concepts and Principles of Geoconservation. Published electronically on the Tasmanian Parks & Wildlife Service website (Version 3), pp. 79.
- Sharp, M.J., Gemmemm, J.C., Tison, J.L., 1989. Structure and stability of the former subglacial drainage system of the Glacier de Tsanfleuron, Switzerland. *Earth Surface Processes Landform* 14, 119-134.
- Sheehan, P.M., 2001. The late Ordovician mass extinction. *Annual Review Earth Planet. Sciences* 29, 331-364.
- Sheehan, P.M., Coorough, P.J., 1990. Brachiopod zoogeography across the Ordovician Silurian extinction event. In McKerrow, W.S., Scotese CR (Eds) *Palaeozoic Palaeogeography and Biogeography*, Geological Memoir 12, 181-187.
- Sheikh, K.S., Khan, A.S., Farooqui, M.A., 2006. Steep depositional slope and absence of back barrier: The controlling factors of complex lithofacies association in a foreshore beach environment (Southern Balochistan). *Journal of Himalayan Earth Sciences* 39: 15-38.
- Sholomon-Kornblit, I. 2018. Biodiversité et diversité culturelle : trajectoire d'une analogie (2001-2010). *Argumentation et Analyse du Discours* [En ligne]. <https://doi.org/10.4000/aad.2711>
- Skiba, S., Skiba, M, 2008. Properties of the desert soils of the Mhamid area. *Prace Geograficzne, zeszyt* 118, 43-49.
- Skounti, A., Zampetti D., Oulmakki, N., Ponti, R., Bravin, A., Tajeddine, K., Nami, M., 2010. Rock Art and Archaeology in Ifran-n-Taska (Eastern Jebel Bani, Morocco): First Results of the Moroccan-Italian Research Project. In Huyge, D., Van Noten, F. and Swinne, D. (Eds), *The Signs of Which Times? Chronological and Palaeoenvironmental Issues in the Rock Art of Northern Africa*, Royal Academy for Overseas Sciences, Brussels, 3–5 p 109–136.
- Slomka, T., Kicinska-Swidorska, A. 2004. Geotourism – the basic concepts. *Geoturystyka* 1:2-5.
- Smart, J., 2000. Seismic expressions of depositional processes in the upper Ordovician succession of the Murzuq Basin, SW Libya. In: Sola M, Worsley D (Eds) *Geological exploration in Murzuq Basin*, Elsevier, Amsterdam p 397-415.
- Snape, M.G., 1993. A palynological study of the Ordovician to Devonian sediments of the Anti Atlas, Morocco. PhD Thesis, University of Sheffield, pp. 337. <http://etheses.whiterose.ac.uk/id/eprint/3536>
- Soulaimani, A., Ouanaïmi, H., Saddiqi, O., Baidder, L., Michard, A. 2018. The Anti-Atlas Pan-African Belt (Morocco): Overview and pending questions. *Comptes Rendus Geoscience* 350, 279-288.
- Stampfli, G.M., Borel, G.D., 2002. A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored syn-thetic oceanic isochrones: *Earth and Planetary Science Letters* 196, 17-33.
- Stephens, M. 2020. Geoconservation for Sustainable Development. In: Leal Filho, W., Azul, A., Brandli, L., Lange Salvia, A., Wall, T. (eds) *Life on Land. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71065-5_140-1
- Strasser A., Heitzmann P., Jordan P., Stapfer A., Stürm B., Vogel A., Weidmann M. (1995). *Géotopes et la protection des objets géologiques en Suisse : un rapport stratégique*, Fribourg, Groupe suisse pour la protection des géotopes.
- Sutcliffe, O.E., Harper, D.A.T., Ait Salem, A., Whittington, R.J., Craig, J., 2001. The development of an atypical Hirnantian brachiopod fauna and the onset of glaciation in the Late Ordovician of Gondwana. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences* 92: 1-14.
- Sutcliffe, O.E., Dowdeswell, J.A., Whittington, R.J., Theron, J.N., Craig, J., 2000. Calibrating the Late Ordovician glaciation and mass extinction by the eccentricity cycles of Earth's orbit. *Geology* 28: 967-70

- Szepesi, J., Ésik, Z., Soós, I., Németh, B., Sütő, L., Novák, T.J., Harangi, S., Lukács, R., 2020. Identification of Geoheritage Elements in a Cultural Landscape: a Case Study from Tokaj Mts, Hungary. *Geoheritage* 12 (89). <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00516-w>
- Soulaimani, A. & Burkhard, M., 2008. The Anti-Atlas chain (Morocco) : the southern margin of the Variscan belt along the edge of the West African Craton. In: N. Ennih & J.-P. Liégeois, Eds., *The boundaries of the West African Craton*. Geol. Soc, London, Spec. Publ., 297, 429-448.
- Tansley, A.G. 1935. The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*. 16: 284-307.
- Theobald, D.M., Harrison-Atlas, D., Monahan, W.B., Albano, C.M. 2015. Ecologically-relevant maps of landforms and physiographic diversity for climate adaptation planning. *Planning. PLoS ONE* 10(12): e0143619. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143619>
- Thomas RJ, Gresse PG, Harmer RE, Eglinton BM, Armstrong RA, de Beer CH, Chevallier LC, Martini JE, de Kock GS, Fick T, Macey PH, Ingram BA. 2002. Precambrian evolution of the Sirwa window, Anti-Atlas orogen, Morocco. *Precambrian Res* 137:1–57
- Thorp, J.H., Flotemersch, J.E., Delong, M.D., Casper, A.F., Thoms M.C., Ballantyne, F., Williams, Bradley, S., O'Neill, B.J., Stephen Haase, C. 2010. Linking Ecosystem Services, Rehabilitation, and River Hydrogeomorphology. 60: 67-74.
- Tirsch, D. 2015. Barchanoid Ridge. In *Encyclopedia of Planetary Landforms* (pp. 134-137). New York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3134-3_13
- Toutain G., Dollé V., Ferry M., 1990. Situation des systèmes oasiens en régions chaudes. Les systèmes agricoles oasiens. In : Dollé V. and Toutain G. (eds.). *Les systèmes agricoles oasiens*. Montpellier, CIHEAM IAMM, pp. 7-18. Options Méditerranéennes, A 11.
- Tournier, F., Pagel, M., Portier, E., Wazir, I., Fiet, N., 2010. Relationship between deep diagenetic quartz cementation and sedimentary facies in a Late Ordovician glacial environment (Sbaa Basin, Algeria). *Journal of Sedimentary Research* 80 (12): 1068-1084.
- Turner, B.R., Makhoulouf I.M., Armstrong, H.A., 2005. Late Ordovician (Ashgillian) glacial deposits in southern Jordan. *Sedimentary Geology* 181, 73-91.
- Unjah, T., Abdul Halim, S. 2017. Connecting legend and science through geomorphology: case of langkawi UNESCO global geopark. *Kajian Malaysia*, 35:77-89.
- Vaccaro, I., Beltran, O., 2010. Conservationist governmental technologies in the Western European mountains: the unfinished transformation of the Pyrenees", *Journal of Political Ecology* 17(1), p.29-41. <https://doi.org/10.2458/v17i1.21697>
- Valdez, F., 2018. Geoheritage: Obtaining, Explaining and Transmitting Archaeological Knowledge. *International Journal of Geoheritage and Parks*, Darswin Publishing House 6 (2), 86-102. <https://doi.org/10.17149/ijgp.j.issn.2577.4441.2018.02.006>
- Van Roy, P., Briggs, D.E.G., Gaines, R.R., 2016. The Fezouata fossils of Morocco; an extraordinary record of marine life in the Early Ordovician. *Journal of the Geological Society* 172, 541-549. <https://doi.org/10.1144/jgs2015-017>
- Van Roy, P., Orr, P.J., Botting, J.P., Muir, L.A., Vinther, J., Lefebvre, B., El Hariri, K., Briggs, D.E.G., 2010. Ordovician faunas of Burgess Shale type. *Nature* 465, 215-218.
- Vaslet, D., 1990. Upper Ordovician glacial deposits in Saudi Arabia. *Episodes*. 13, 147-161.
- Vernhet E., Youbi N., Chellai E.H., Villeneuve M., El Archi A. 2012. The Bou-Azzer glaciation: Evidence for an Ediacaran glaciation on the West African Craton (Anti-Atlas, Morocco). *Precambrian Research* 196– 197, 106– 112.
- Vidal, M., 1998. Le modèle des biofaciès à trilobites: un test dans l'Ordovicien inférieur de l'Anti-Atlas, Maroc. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* 327, 327 – 333. [https://doi.org/10.1016/S1251-8050\(98\)80051-7](https://doi.org/10.1016/S1251-8050(98)80051-7)
- Videt, B., Paris, F., Rubino, J.L., Boumendjel, K., Dabard, M.P., Loi, A., Ghienne, J.F., Marante, A., Gorini, A., 2010. Biostratigraphical calibration of third order Ordovician sequences on the northern Gondwana platform. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 296: 359–375.
- Villas, E., Vizcaíno, D., Álvaro, J.J., Destombes, J., Vennin, E., 2006. Biostratigraphic control of the latest-Ordovician glaciogenic unconformity in Alnif (Eastern Anti-Atlas, Morocco), based on brachiopods. *Geobios* 39, 727-737. <https://doi.org/10.1016/j.geobios.2005.05.003>
- Veevers, J.J., 2005. Gondwanaland and Gondwana. In: Selley, R.C., Cocks, L.R.M., Plimer, I.R. (Eds.), *Gondwanaland and Gondwana*. Elsevier, Oxford p 128-155.
- Walder, J.S., Fowler A., 1994. Channelized subglacial drainage over a deformable bed. *Glaciology* 40, 3-15.
- Wasson, R.J., Hyde, R. 1983 Factors determining desert dune type. *Nature* 304: 337-339.
- Watson, E., Slaymaker, O. 1966. Mid-Wales, a survey of geomorphological sites. Department of Geography, University College of Wales, Aberystwyth, 92.

- Wazir, I, 2014. Contrôles sédimentaires et diagénétiques sur les propriétés pétrophysiques des réservoirs gréseux à gaz des bassins de Sbaa, Algérie, et des Palmyrides-Sud, Syrie. PhD thesis. Université Paris Sud, pp 394.
- Wendt, J., 1985. Disintegration of the continental margin of north-western Gondwana: Late Devonian of the eastern Anti-Atlas (Morocco). *Geology* 13, 815-818.
- Wiedenbein, F.W. 1994. Origin and use of the term 'geotope' in German-speaking countries. In: O'Halloran D, Green C, Harley M, Stanley M, Knill S (eds) *Geological and landscape conservation*. The Geological Society, London, pp 117–120
- Williams, M., McHenry, M. 2020. The increasing need for Geographical Information Technology (GIT) tools in Geoconservation and Geotourism. *Geoconservation Research*. 3(1): 17-32. <https://doi.org/10.30486/gcr.2020.1901102.1019>
- Wimbledon, W.A., 1999. Geosites: An International Union of Geological Sciences initiative to conserve our geological heritage. *Polish Geological Institute Special Papers*. 2:5-8.
- Wimbledon W A, Benton M J, Black R E, Bridgeland D R, Cleal C J, Cooper R G & May V J 1995 The development of a methodology for the selection of British geological sites for conservation. Part 1. *Modern Geology* 20: 159.
- Yazidi, M., Kaid Rassou, K., Razoki, B., Benziane, F., Yazidi, A., Chakiri, S., Bejjaji, Z., Allouza, M., El Hadi, H., Ettazarini, S. 2019. Reconsideration of the Lower Cambrian Extension in the Anti-Atlas Belt, Morocco. *International Journal of Civil Engineering and Technology* 10(5), 910-929.
- Zainabi, T.A., 2004. Gravures, peintures et tumuli d'un énigmatique passé. In MARSAM (Ed), *Trésors et merveilles de la vallée du Drâa* p 33-41.
- Zouros, N., 2004. The European Geoparks Network. *Geological heritage protection and local development*. *Episodes* 27(3), 165– 171.
- Zwoliński, Z., Najwer, A., Giradino, M., 2018. Methods for assessing geodiversity. In: Reynard, E., Brilha, J. (Eds.), *Geoheritage: Assessment, Protection, and Management*. Elsevier, pp. 27–52.
- Zwoliński, Z., 2009. The routine of landform geodiversity map design for the Polish Carpathian Mts. *Landf. Anal.* 11: 79–87.

Résumé

Zagora, au sud-est du Maroc, est un musée à l'air libre où on rencontre différents éléments à valeurs patrimoniales, de type culturel et naturel et une longue histoire humaine qui remonte au paléolithique. Ce patrimoine naturel compte une géodiversité héritée de la chaîne de l'Anti-Atlas et son évolution géomorphologique notamment au cours du Quaternaire. On parle de vastes terrains qui datent du Précambrien au Quaternaire. Parmi ceux-ci, on spécifie les terrains ordoviciens qui abritent des sites à reconnaissance internationale regardant leur valeur paléobiogéographique, justifiant ainsi d'importante valeur scientifique, géo-éducative et géotouristique. Toutefois, de plus du vandalisme enregistré affectant certains de ces sites, lesdites valeurs restent méconnues. Dans la perspective de mettre en valeur et communiquer ce géopatrimoine dans un cadre managérial qu'est un géoparc, il a été prévu de faire intégrer Zagora au projet du géoparc Bani du sud du Maroc. Pour ce faire, ce travail fournit un inventaire des géosites et sites à géodiversité potentiels tout en évaluant qualitativement et quantitativement leur valeurs scientifiques, éducatives et touristiques selon la méthode de Brilha (2016). Le résultat obtenu décrit la grande valeur scientifique des géosites retenus qui est en relation avec leurs rôles dans la compréhension de l'histoire de la Terre et l'évolution géomorphologique de la zone d'étude. En outre, il met l'accent sur le grand potentiel éducatif et touristique des sites. L'analyse quantitative liée à l'évaluation du degré de dégradation des sites à valeur a permis de dégager les sites à prioriser dans la future stratégie de géoconservation à mettre en œuvre dans le cadre du projet du géoparc.

Mots- clés: Géopatrimoine, Géodiversité, Zagora, Bani Geopark, Géoconservation, Géotourisme, Géo-éducation

Abstract

Zagora, south-east of Morocco, is an open-air museum where one can meet various elements of heritage value, cultural, natural and a long human history that goes back to the Palaeolithic Period. This natural heritage includes geodiversity inherited from the Anti-Atlas chain and its geomorphological evolution, particularly during the Quaternary. We are dealing with vast terrains dating from the Precambrian to the Quaternary Period. Among these, the Ordovician terrains are particularly highlighted as they host sites of internationally recognised regarding paleo-biogeographic value. Thus, they justify important scientific, geo-educational and geotourism values. However, in addition to the recorded vandalism that has affected some of these sites, these values remain unrecognised. In order to promote and communicate this geoheritage and geodiversity within the framework of a geopark, it was planned to include Zagora province into Bani Geopark Project of the south of Morocco. For this purpose, this research provides an inventory of potential geosites and geodiversity-sites assessing, qualitatively and quantitatively, their scientific, educational and tourism values, according to the criteria of Brilha's (2016) quantitative method. The obtained result describes the high scientific value of the selected geosites which is related to their contribution to the understanding of the Earth's history and the geomorphological evolution of the study area. Furthermore, it emphasises the high educational and tourism potential of the geosites and geodiversity-sites. The quantitative risk degradation degree assessment carried out has made it possible to decide on the priority of sites in the geoconservation strategy to be undertaken within the framework of the geopark project.

Key Words: Geoheritage, Geodiversity, Zagora, Bani Geopark, Geoconservation, Geotourism, Geo-education