

Le Patrimoine Géologique du Maroc

Entre identité, savoir et développement



Chennaoui-Aoudjehane H., El Hariri K & El Hassani A.
(Editeurs)

© Hassan II Academy Press
2025

Le Patrimoine Géologique du Maroc **Entre identité, savoir et développement**

Chennaoui-Aoudjehane H., El Hariri K. & El Hassani A.
(Editeurs)

© Hassan II Academy Press
2025

Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Km 4, Avenue Mohammed VI (ex Route des Zaers), 10100 - Rabat
Royaume du Maroc
© Hassan II Academy Press

<http://www.academiesciences.ma>

Titre :

**Le Patrimoine Géologique du Maroc
Entre identité, savoir et développement**

Éditeurs : Hasnaa Chennaoui-Aoudjehane, Khadija El Hariri & Ahmed El Hassani

hassna.chennaoui@univh2c.ma
k.elhariri@uca.ac.ma
a.elhassani@academiesciences.ma

Dépôt Légal : 2025MO3860
ISBN : 978-9954-716-31-1

Achevé d'imprimer : Septembre 2025
Rabat, Maroc

Note : Les opinions exprimées dans cette publication sont celles des auteurs des chapitres et ne reflètent pas nécessairement celles de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques ni celles des éditeurs.

Sommaire

Avant-Propos Ahmed El Hassani	5
Introduction Khadija El Hariri & Hasnaa Chennaoui-Aoudjehane	7
Géotourisme et développement durable au sud de la ville de Tétouan, Rif septentrional, Maroc Bouamama Cherai & Ali Maâté	15
La vallée du Bou Regreg, zone de Rabat-Tiflet, Meseta marocaine nord-occidentale : un site patrimonial à protéger Ahmed El Hassani	29
Les montagnes de l’Atlas au Maroc : Valorisation et conservation d’un patrimoine géologique et touristique Hassan Ibouh	59
Géomorphosites du Sud marocain : Le cas des « Cœurs de Tata » comme ressources pour un géotourisme durable Driss Fadli, Mohamed El Wartiti, Mohamed Zahraoui, Felice Di Gregorio & Sanae Berred	103
Les “Doigts de Singe” de Boumalne-Dadès (Sud marocain) : entre science et fascination, un joyau du patrimoine géologique éocène Driss Fadli, Mohamed El Wartiti, Mohamed Zahraoui, Felice Di Gregorio & Sanae Berred	119
Les terres volcaniques du Causse moyen atlasique : Mise en valeur et appropriation patrimoniale Toufik Remmal, Kawtar Lakroud, Sara Mountaj, Pierre Boivin, Christine Montoloy, François Dominique De Larouzière, Fouad El Kamel, Iz-Eddine El Amrani – El Hassani, Yves Lacot, Samira Makhoukhi, Fouad Amraoui, Hasna Chennaoui, Mohamed Soufi & Halima Jounaid	145
Le patrimoine minéralogique du Maroc entre le marteau de la promotion et l’enclume de la préservation Addi Azza	177
Les météorites messagères du ciel : L’Expo-musée : une contribution de ‘ATTARIK Foundation’ à la valorisation du patrimoine géologique du Maroc Hasnaa Chennaoui-Aoudjehane, Mohamed Aoudjehane, Omar Berrada, Soukaina Arif, Fatimaezzahra Jadid, Nawal Larouci, El Mehdi El Hachimi	189

Remerciements

Les éditeurs de cet ouvrage tiennent à exprimer leur profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, par leur expertise, leur rigueur et leur bienveillance, à l'amélioration et à la validation des chapitres de ce livre consacré au patrimoine géologique du Maroc. Leurs lectures attentives, leurs suggestions éclairées et leurs remarques constructives ont permis d'enrichir les contributions, d'en affiner le contenu et d'en assurer la qualité scientifique. Nous remercions tout particulièrement les professeurs et spécialistes suivants pour leur engagement et leur appui : Mohamed Aoudjehane (Agrokit Morocco) ; Hassan Aouraghe (Université Mohammed Premier, Oujda) ; Ali Azzdimoussa (Faculté Polydisciplinaire de Nador) ; Abderrazak El Albani (Université de Poitiers, France) ; Kahdija El Hariri (Université Cadi Ayyad de Marrakech) ; Ahmed El Hassani (Académie Hassan II des Sciences et Techniques) ; Hassan Ibouh (Université Cadi Ayyad de Marrakech) ; Moha Ikenne (Université Ibn Zohr d'Agadir) ; Abdelouahed Lagnaoui (Université Hassan Premier de Settat) ; Azza Addi (expert des mines) et Abderrahman Soulaïmani (Université Cadi Ayyad de Marrakech). Leur contribution à cet ouvrage, au-delà de l'appui scientifique, témoigne de leur attachement à la promotion et à la sauvegarde du patrimoine géologique marocain. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre reconnaissance sincère.

Avant-Propos

Le Maroc constitue un véritable musée à ciel ouvert de l'histoire géologique de la Terre. Par la diversité et la richesse de ses formations, il suscite à la fois l'intérêt des scientifiques et la curiosité des voyageurs en quête de découvertes et du savoir. Des plaines littorales atlantiques aux sommets majestueux de l'Atlas, en passant par les plateaux du Moyen Atlas jusqu'aux confins sahariens de l'Anti-Atlas, le Royaume offre une mosaïque de paysages et de structures géologiques d'une beauté remarquable et d'une valeur scientifique incontestable. Roches anciennes, plissements, failles, couches fossilifères, intrusions magmatiques, formations volcaniques, minéraux rares ou encore météorites : autant de témoins d'une longue histoire géodynamique, couvrant plusieurs centaines de millions d'années et retraçant les grandes étapes de l'évolution de notre planète.

Souvent qualifié de « paradis des géologues », notre pays offre un terrain d'étude privilégié pour la recherche académique, tout en constituant une ressource vivante pour l'éducation, la culture et le développement durable. Ce patrimoine, aussi vaste que varié, ne se limite pas à sa seule dimension scientifique : il représente une richesse nationale inestimable, un vecteur de connaissance, un marqueur d'identité territoriale, une mémoire naturelle, ainsi qu'un levier potentiel pour le géotourisme, l'éducation à l'environnement et le dynamisme économique local. Loin d'être un simple inventaire de curiosités naturelles, il appelle à être reconnu, protégé, valorisé et transmis aux générations futures. Il incarne à la fois la beauté du monde, l'exigence de la science et l'urgence d'une vision durable face aux défis contemporains.

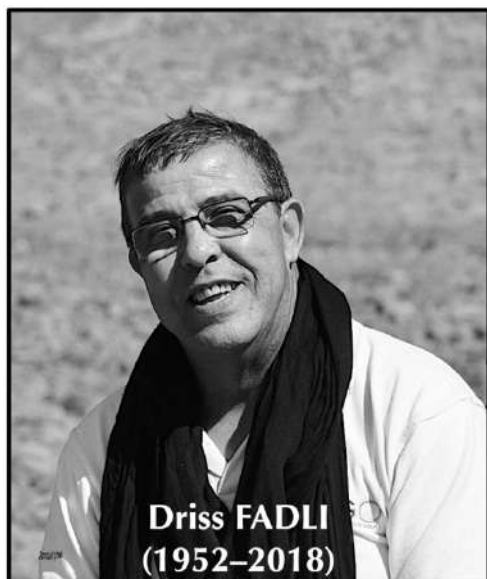
Néanmoins, ce patrimoine demeure encore largement méconnu, parfois menacé, et trop souvent négligé. Face aux pressions multiples : prélèvements anarchiques, urbanisation parfois désordonnée, insuffisance de cadre réglementaire ou manque de sensibilisation, il devient impératif d'adopter une approche intégrée, alliant valorisation, préservation et transmission. Une telle dynamique requiert l'engagement concerté des chercheurs, des institutions, des pouvoirs publics, mais aussi celui des citoyens, acteurs essentiels de la protection durable de ce bien commun.

C'est dans cet esprit que s'inscrit le présent ouvrage. Il réunit une série de contributions scientifiques centrées sur des sites ou des aspects emblématiques du patrimoine géologique marocain. Qu'il s'agisse de paysages spectaculaires comme les « Cœurs de Tata » ou les « Doigts de Singe » de Boumalne-Dadès, de vallées chargées d'histoire géologique comme celle du Bou Regreg, des terres volcaniques du causse moyen atlasique, des montagnes de l'Atlas, de gisements minéralogiques remarquables ou encore des météorites devenues objets de science et de médiation, ces études permettent de saisir à la fois l'intérêt scientifique et le potentiel éducatif, culturel et touristique de ces géosites. Car le patrimoine géologique n'est pas l'apanage exclusif des spécialistes : il doit être un moteur du développement durable, au service des territoires, des populations, de l'éducation et de l'économie. Pour y parvenir, il est indispensable de poursuivre l'inventaire des sites, de renforcer leur reconnaissance institutionnelle à travers des cadres législatifs adaptés, des mesures de protection effectives et une réglementation claire. Il convient aussi de promouvoir une culture géologique accessible à tous. L'introduction de la géologie dans les programmes scolaires dès le plus jeune âge, la structuration de réseaux de géosites, la formation des acteurs locaux au géotourisme, ou encore la création de musées régionaux et de géoparcs, constituent autant d'actions nécessaires. À ce titre, les géoscientifiques ont une responsabilité centrale : faire connaître, faire aimer et faire respecter ce patrimoine, en faire un objet de fierté partagée et un pilier d'un patriotisme éclairé.

Enfin, ce livre, sans prétendre à l'exhaustivité, se veut à la fois une synthèse scientifique, un plaidoyer pour la valorisation et un appel à la responsabilité collective. Préserver le patrimoine géologique du Maroc, c'est préserver un pan essentiel de l'histoire de la Terre, et donc, de notre propre humanité.

Prof. Ahmed El Hassani
Membre Résident
Académie Hassan II des Sciences et Techniques

In memoriam Driss Fadli et Toufik Remmal



Le 25 août 2018, la communauté des géologues marocains perdait l'un de ses brillants chercheurs : **Driss Fadli**. Structuraliste de vocation, enseignant passionné et mélomane discret, il laisse le souvenir d'un homme profondément enraciné dans la nature, épris de science, de beauté et de transmission. Natif de Settat, il entame en 1973 des études de biologie-géologie à la Faculté des Sciences de Rabat, puis intègre l'École normale supérieure pour devenir enseignant de Lycée. Mais son goût du savoir le conduit bientôt vers la recherche. En 1980, il débute une thèse sur la chaîne hercynienne du Maroc central, et ses premières recherches, dans les terrains complexes du massif des Khatouat, révèlent déjà son courage, sa rigueur et sa curiosité infatigable. Docteur en 1983, il rejoint la Faculté des Sciences de Rabat, où il enseigne pendant près de trente années. En 1990, il soutient son doctorat d'État et devient Professeur de l'enseignement supérieur. Il y forme des générations d'étudiants avec constante bienveillance, en alliant clarté, patience et exigence.

Driss était un chercheur prolifique : il a publié de nombreux travaux en stratigraphie, tectonique et cartographie, et a encadré de nombreux étudiants. Défenseur passionné du patrimoine naturel, il s'est investi avec conviction dans le projet du Géoparc du Jbel Bani, qu'il considérait comme un lien entre science, culture et développement. Enfin, Driss était aussi un artiste. Violoniste et luthiste, il cultivait la musique comme un écho discret à sa quête d'harmonie, perceptible dans toutes ses actions. Homme de science, de cœur et de culture, il laisse une empreinte durable dans les esprits et les cœurs. Qu'il repose en paix, sous les cieux étoilés qu'il aimait tant contempler. Puisse Dieu lui accorder Sa miséricorde infinie.

Le 31 décembre 2022 marquait la disparition d'un éminent pétrographe marocain, figure reconnue de la communauté scientifique nationale : **Toufik Remmal**. Son départ, à la veille du Nouvel An, laisse un vide profond chez ses collègues, étudiants et amis. Né à Meknès le 8 mai 1958, il y effectue sa scolarité jusqu'au baccalauréat, avant de poursuivre des études en biologie-géologie à la Faculté des Sciences de Rabat. Il s'oriente ensuite vers la recherche scientifique et rejoint l'École nationale supérieure de géologie de Nancy, où il obtient son doctorat en 1989. De retour au Maroc, il intègre la Faculté des Sciences Ain Chock à Casablanca en tant qu'enseignant et soutient un doctorat d'État en 2000, pour devenir Professeur de l'enseignement supérieur. Spécialiste du Moyen Atlas, notamment du volcanisme quaternaire et de ses structures, il a allié travail de terrain, analyse rigoureuse et synthèse, contribuant à une meilleure compréhension géologique du Maroc central. Excellent pédagogue, il se distinguait par la clarté de ses cours et sa disponibilité. Par sa rigueur scientifique, sa passion pour les sciences de la Terre et son humanité, il a marqué plusieurs générations de chercheurs. Ainsi, il a permis la formation de plusieurs promotions de jeunes géologues marocains et africains par la création et le suivi rigoureux du Master « Gestion et Valorisation des Géoressources ». Toujours à l'écoute, exigeant, il éveillait la curiosité et stimulait l'excellence. Pour lui, transmettre le savoir était une mission essentielle. Toufik fut aussi un fervent défenseur du patrimoine géologique, œuvrant à la valorisation des géosites volcaniques du Moyen Atlas, convaincu que leur connaissance pouvait nourrir l'éducation, le tourisme et la conscience écologique. Homme discret, droit et respecté, il laisse le souvenir d'un collègue généreux et engagé. Son œuvre scientifique et humaine perdurera dans les mémoires. Que la terre qu'il a tant étudiée lui soit légère. Que Dieu l'accueille en Sa sainte miséricorde.



Introduction

Patrimoine Géologique du Maroc : Concrétisations et Perspectives

Khadija El Hariri¹ & Hasnaa Chennaoui-Aoudjehane²⁻³

1. Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences et Techniques, Marrakech ; Maroc, email : k.elhariri@uca.ac.ma

2. Laboratoire GeoPEN, Université Hassan II de Casablanca UH2C, Faculté des Sciences Ain Chock, Maroc,

3. ATTARIK Foundation for Meteoritics and Planetary Science, Faculté des Sciences Ain Chock, UH2C
chennaoui.hasnaa@gmail.com

1. Introduction

L'illustration du riche et imposant patrimoine géologique du Maroc a fait l'objet d'une première publication en 2018, à travers un numéro spécial des *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc (NMSGM)*. Cette initiative s'inscrivait dans la continuité des efforts déployés par le Ministère de l'Énergie, des Mines et de l'Environnement (El Hariri & Chennaoui-Aoudjehane, 2018), l'Association pour la Protection du Patrimoine Géologique du Maroc (APPGM), ainsi que par la communauté universitaire, en vue de promouvoir et de valoriser ce patrimoine d'exception.

Ce numéro spécial a été publié à la suite de la conférence internationale RALI 2015, organisée sous le Haut Patronage de Sa Majesté le Roi Mohammed VI, et dont l'un des moments forts fut un symposium dédié au patrimoine géologique national. Il représente le fruit d'une collaboration étroite entre les trois acteurs majeurs cités ci-dessus, engagés dans une dynamique collective de préservation et de sensibilisation.

Le numéro avait rassemblé les contributions de chercheurs marocains de renom, portés par une profonde conviction quant à l'importance de ce patrimoine pour la science, l'éducation et le développement durable. Les articles, basés sur des travaux de recherche rigoureux et innovants, avaient été rédigés dans un langage volontairement accessible, conciliant exigence scientifique et clarté de présentation, afin d'être compris tant par le grand public que par les décideurs.

Le présent ouvrage, édité par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques dans le cadre de sa collection *Hassan II Academy Press*, s'inscrit pleinement dans la dynamique de promotion et de diffusion du savoir scientifique. Le groupe éditorial tient à exprimer sa profonde gratitude au Professeur Omar Fassi-Fehri, Secrétaire perpétuel de l'Académie, pour son soutien constant et son engagement éclairé en faveur de cette initiative. Fidèle à sa mission de rayonnement scientifique, de transmission des connaissances et de valorisation du patrimoine naturel et culturel national, l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques accorde une attention particulière à toute entreprise visant à placer la science au cœur des enjeux sociétaux, au service du bien commun, de l'éducation, et du développement durable.

Ce livre, sans prétendre à l'exhaustivité, met en lumière une nouvelle sélection représentative du patrimoine géologique marocain. À travers les différentes contributions qui le composent, il invite le lecteur à un véritable voyage au cœur du « paradis des géologues » que constitue le Royaume du Maroc, territoire à la fois riche de son histoire géologique et exceptionnel par la beauté de ses paysages (El Hassani, 2022).

Dans cette introduction, nous présenterons d'abord un aperçu des actions menées pour la valorisation et la protection du patrimoine géologique marocain, avant de proposer une synthèse des contributions réunies dans cet ouvrage.

2. Réalisations notables depuis la parution du numéro spécial des NMSGM

Depuis la publication en mai 2018 du numéro spécial des *Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc*, dédié au patrimoine géologique national, plusieurs actions ont été menées, témoignant d'un intérêt croissant pour sa valorisation et sa protection. Bien que la liste présentée ci-après ne soit pas exhaustive, elle reflète l'engagement soutenu d'acteurs institutionnels, associatifs et académiques dans ce domaine.

2.1. Une dynamique nationale : Journée du Patrimoine Géologique du Maroc

La prise de conscience nationale autour de la nécessité de préserver et de valoriser le patrimoine géologique du Maroc s'est concrétisée par l'instauration, le 14 novembre, de la **Journée Nationale du Patrimoine Géologique**, dont la date symbolique a été retenue comme référence annuelle. Bien que les éditions ne puissent être organisées chaque année, pour des raisons de logistique ou de coordination nationale et internationale, les célébrations tenues en 2017, 2019 et 2022 ont marqué des étapes majeures dans la structuration de cette dynamique.

- **La première édition**, organisée le 14 novembre 2017 à la Bibliothèque Nationale du Royaume du Maroc à Rabat, a marqué un tournant en rassemblant des acteurs issus des secteurs étatique, académique et associatif, sous le thème « *Le patrimoine géologique, levier du développement durable du Maroc* ».
- **La deuxième édition**, tenue le 22 novembre 2019 au Musée Mohammed VI d'Art Moderne et Contemporain de Rabat, placée sous le thème « *Éducation et sensibilisation* », a renforcé cette dynamique. Elle a connu un fort retentissement auprès de la communauté géologique nationale et internationale, des ONG et des décideurs. À cette occasion, un événement marquant fut la signature de la déclaration pour le lancement du premier Réseau africain des géoparcs mondiaux de l'UNESCO, en présence de représentants du Global Geoparks Network et d'autres institutions internationales (Fig. 1).
- **La troisième édition**, organisée à Zagora du 22 au 24 octobre 2022 (en lien avec la réunion du programme IGCP735 tenue à Marrakech), fut dédiée au thème « *Les Géoparcs africains* ». Elle visait à rapprocher les acteurs territoriaux des enjeux liés au patrimoine géologique local et à promouvoir sa valorisation comme levier du développement territorial.



Figure 1 : Signature de la déclaration pour le lancement du premier réseau africain des géoparcs mondiaux de l'UNESCO.

Un hommage appuyé doit être rendu à feu Monsieur Abdeljalil El Hassani, ex-président de l'APPGM, dont l'engagement pionnier en faveur de cette cause a laissé une empreinte durable. Son décès, survenu durant la pandémie de COVID-19, représente une perte majeure pour la communauté géoscientifique marocaine. Que Dieu l'ait en Sa Sainte Miséricorde.

Cet ouvrage se veut également un hommage à deux figures de la géologie du Maroc qui nous ont quittés de façon inattendue en laissant un grand vide derrière eux à savoir feu les Professeurs Driss Fadli et Toufik Remmal. Les deux ont contribué à cet ouvrage par des articles présentant des régions sur lesquelles ils se sont investis pour la valorisation du patrimoine géologique. Leurs travaux représentent une contribution importante et marquante à la géologie du Maroc et à son riche patrimoine.

2.2. Cadre juridique : entre lois fondatrices et avancées réglementaires

La protection juridique du patrimoine géologique marocain demeure un enjeu majeur. À ce titre :

- La loi-cadre n° 99-12 relative à la Charte nationale de l'environnement et du développement durable (2014) constitue un socle législatif fondamental. Elle vise notamment la préservation des ressources naturelles, de la biodiversité, du patrimoine culturel, et la lutte contre les pollutions.
- Une loi spécifique dédiée au patrimoine géologique a fait l'objet de nombreuses sollicitations exprimées par la communauté scientifique. Toutefois, une avancée notable avait été réalisée avec la publication et l'entrée en vigueur du décret n°116 relatif à la loi des mines n° 33-13 en août 2019 (Chennaoui-Aoudjehane et al., 2024). Ce texte précise les modalités juridiques encadrant l'extraction, la collecte et la commercialisation des éléments du patrimoine géologique marocain (fossiles, minéraux, météorites).
- Plus récemment, une étape décisive a été franchie avec la promulgation de la loi n° 33.22 relative à la protection du patrimoine naturel, publiée en version arabe dans le Bulletin Officiel n° 7415 du 23 juin 2025 (Dahir n° 1.25.48 du 6 juin 2025). Cette nouvelle législation inclut désormais explicitement le patrimoine géologique dans son champ d'application, lui conférant un statut juridique officiel¹.

2.3. Éducation et diffusion : circuits pédagogiques et promotion

Dans un objectif de sensibilisation et d'éducation, un dossier pédagogique a été publié dans le magazine *Géochronique* (édité par la Société Géologique de France), accompagné d'un carnet de terrain détachable intitulé *Réalité terrain*, coordonné par Khadija El Hariri (Lefebvre et al., 2020).

Ce dossier met en valeur les affleurements emblématiques du Néoprotérozoïque supérieur et du Cambro-Ordovicien de l'Anti-Atlas central, suivant un itinéraire de terrain allant de Ouarzazate à Tazzarine via Zagora. Il constitue un outil pédagogique de premier plan, destiné à un large éventail de publics : chercheurs, enseignants, étudiants, amateurs éclairés et décideurs.

Outre sa valeur scientifique, cet ouvrage participe activement à la promotion du patrimoine géologique du Maroc, qualifié à juste titre de « *Paradis des géologues* ». Il offre un support adapté à la conception :

- de circuits géo-touristiques et éducatifs ;
- de manuels scolaires et universitaires... ;
- de contenus multimédias, tels que des émissions télévisées valorisant les paysages géologiques et la diversité naturelle du territoire marocain.

¹ Le Patrimoine géologique : Il s'agit des formations géologiques, des sites géologiques, des échantillons minéraux, des fossiles, des météorites et des documents géologiques d'importance patrimoniale pour l'histoire naturelle, les sciences de la Terre et la vie en général, appartenant aux périodes géologiques de l'ère pré-quaternaire, en particulier les squelettes de vertébrés et les fossiles d'animaux, ainsi que les gisements minéraux et les schémas stratigraphiques décrits au Maroc (Bulletin Officiel, version arabe N°7415 du 23 juin 2025°).

2.3. Autres publications consacrées au patrimoine géologique du Maroc

Outre les travaux déjà mentionnés, plusieurs publications et ouvrages récents ont largement contribué à la valorisation scientifique du patrimoine géologique marocain. On peut en retenir les exemples marquants suivants :

a) Numéro spécial des **Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc** (2018) :

Ce volume, édité par El Hariri K. et Chennaoui-Aoudjehane H., rassemble les actes du symposium dédié au patrimoine géologique du Maroc organisé en marge de la conférence internationale RALI 2015, tenue à Marrakech du 5 au 11 octobre 2015, intitulé *"The Rise of Animal Life : Cambrian and Ordovician biodiversification events – Promoting geological heritage: challenges and issues"*. Ce numéro met en lumière les contributions scientifiques sur la biodiversité du Paléozoïque inférieur et les enjeux liés à la valorisation du patrimoine géologique.

b) Deux numéros de la revue **Géochronique** :

- **Numéro 153 (2020)** : Consacré au Cambro-Ordovicien de l'Anti-Atlas et à la Faune de Fezouata, ce numéro revient sur les découvertes paléontologiques majeures effectuées dans cette région. Il met en évidence le rôle clé de la biota de Fezouata en tant que *Lagerstätte* exceptionnel, comblant le fossé entre l'explosion cambrienne et la Grande Biodiversité ordovicienne, et propose un contexte géologique et historique richement illustré (Lefebvre et al., 2020).
- **Numéro 194 (2017)** : Intitulé *"Le Maroc, paradis des géologues"*, ce numéro spécial réunit plusieurs articles décrivant une partie significative du patrimoine géologique national, soulignant la diversité des affleurements, fossiles et contextes géodynamiques du territoire marocain.

c) Ouvrages de Patrice Lebrun sur les **Fossiles du Maroc** :

- **Volume I – Fossiles du Maroc (2018)** : Sous-titré *"Emblematic Localities from the Palaeozoic of the Anti-Atlas"*, cet ouvrage, publié par « Les Éditions du Piat et la revue *Minéraux & Fossiles* », propose une exploration détaillée des sites fossilifères paléozoïques de l'Anti-Atlas, du sud d'Agadir jusqu'à Erfoud. Il comprend une riche iconographie de trilobites, échinodermes, céphalopodes, poissons dévoniens, etc., accompagnée d'une introduction synthétique sur la géologie du Maroc et l'histoire de la paléontologie dans cette région.
- **Volume IIa – Fossiles du Maroc (2020)** : Intitulé *"Emblematic Localities from the Mesozoic and the Paleogene"*, ce volume couvre les périodes mésozoïque et paléogène. Il décrit des sites emblématiques tels que le bassin des phosphates d'Oulad Abdoun, Kem Kem, Amellago, El Mers ou encore les plaines du Haut Atlas, et présente une diversité de fossiles allant des ammonites et oursins aux vertébrés continentaux tels que les dinosaures, ptérosaures, mosasaures et mammifères archaïques. Le **Volume IIb**, à paraître, devrait traiter du Néogène et d'autres zones encore peu explorées.

d) Numéro spécial de la revue **Geobios** sur les fossiles ordoviciens :

Ce volume comprend un article majeur portant sur les Stylophores, un groupe éteint d'échinodermes énigmatiques. Longtemps débattue, leur position évolutive est réévaluée grâce à l'utilisation de techniques modernes de cartographie élémentaire, révélant des traces de tissus mous analogues au système aquifère des échinodermes. Cette découverte conforte leur appartenance au groupe des échinodermes, au détriment d'hypothèses les rapprochant des chordés ou des hémichordés (Lefebvre et al., 2019).

e) Numéro spécial de **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** (Vol. 460, 2016) :

Ce numéro est entièrement dédié à l'Ordovicien de l'Anti-Atlas, et plus particulièrement à la formation de Fezouata dans la région de Zagora (Lefebvre et al., 2016). Il met en lumière la richesse paléontologique de cette formation, aujourd'hui reconnue comme un *Konservat-Lagerstätte* exceptionnel du Paléozoïque.

Découverte au début des années 2000 par Mohamed ‘Ou Saïd’ Ben Moula, la biota de Fezouata témoigne de la persistance d’organismes non biominéralisés typiques de l’explosion cambrienne, à travers la Grande Radiation de la biodiversité de l’Ordovicien. Ce numéro revient également sur les travaux fondateurs de Jacques Destombes et les avancées récentes en biostratigraphie et paléoenvironnements.

f) Article publié dans la revue **Nature** (Vol. 465, Issue 7295, 13 mai 2010) :

Cet article traite des faunes ordoviciennes de type Burgess Shale découvertes dans la formation de Fezouata. Il remet en question l’hypothèse d’une disparition soudaine des faunes à corps mous à la fin du Cambrien, en révélant la préservation exceptionnelle de taxons à morphologies cambriennes au sein des formations inférieure et supérieure de Fezouata. Ces découvertes démontrent la continuité évolutive des biotas de type Burgess Shale jusqu’à l’Ordovicien inférieur et soulignent leur rôle dans la transition vers les écosystèmes plus diversifiés de la Grande Radiation Ordovicienne (Van Roy et al., 2010).

g) L’Académie Hassan II des Sciences et Techniques, grâce à sa maison d’édition : **Hassan II Academy Press**, a contribué à la valorisation du patrimoine géologique du Maroc par la publication, sous la plume de l’un de ses membres, le Professeur Ahmed El Hassani, de l’ouvrage intitulé « *A Geologist's Paradise, Tracing Morocco's Geological History, from Early Explorers to the Modern Era* » (El Hassani, 2023). Ce livre consacre une partie importante à la richesse du patrimoine géologique marocain, à sa valorisation ainsi qu’aux enjeux de sa protection.

3. Contenu du présent ouvrage

Le Maroc, Grâce à ses paysages spectaculaires, ses roches variées, ses minéraux rares, ses météorites exceptionnelles et ses fossiles impressionnants, offre une lecture continue de plus de quatre milliards d’années d’histoire de la Terre. Souvent qualifié de « paradis des géologues », le Royaume se distingue par l’ampleur et la variété de son patrimoine géologique, tant sur le plan scientifique que par la beauté et la complexité de ses paysages. Présent sur l’ensemble du territoire national et couvrant l’ensemble des ères géologiques, ce patrimoine unique justifie pleinement que le Maroc soit devenu le premier pays d’Afrique et du monde arabe à disposer d’un Géoparc mondial UNESCO : le Géoparc de M’Goun.

Cet ouvrage présente une sélection de huit contributions scientifiques, organisées selon une progression géographique du Nord au Sud du Royaume. Il s’ouvre sur les terrains récents du Rif, traverse la zone calédonohercynienne de Rabat-Tiflet et les chaînes du Haut Atlas central, pour aboutir aux formations plus anciennes de l’Anti-Atlas. Deux chapitres sont ensuite consacrés au patrimoine minéralogique, avant de clore sur une présentation de l’Expo-Musée « Les météorites messagères du ciel » de ATTARIK Foundation, une entité unique en son genre située à Casablanca.

4. Présentation des contributions

4.1. Le géotourisme dans la région de Tétouan

Par Bouamama Cherai et Ali Maâté

Cet article propose un inventaire des géosites et géomorphosites du Rif septentrional. Cette région présente un fort potentiel en matière de promotion scientifique et de développement touristique durable. Les auteurs soulignent néanmoins la nécessité de renforcer les infrastructures locales et de sensibiliser les acteurs régionaux à valoriser et protéger ce patrimoine.

4.2. La zone de Rabat-Tiflet

Par Ahmed El Hassani

La région de Rabat-Tiflet, au nord-ouest de la Meseta, constitue un secteur clé de l’édifice hercynien marocain. Elle se compose du bloc métamorphique des Sehoul au nord et du bassin sédimentaire du Bou Regreg au sud.

Ces unités témoignent d'une histoire sédimentaire complexe, marquée par des événements tectoniques majeurs (phases calédonienne et hercynienne), conférant à la région une forte valeur patrimoniale.

4.3. Le Haut Atlas central

Par Hassan Ibouh

Les montagnes atlasiques, issues de l'évolution intracontinentale entre le Trias et le Cénozoïque, offrent un patrimoine géologique d'une grande richesse. L'auteurs en détaille le potentiel géologique, hydrique, économique et touristique. Il met en lumière l'importance de préserver ces paysages façonnés par l'ouverture et la fermeture des bassins atlasiques, générateurs de géosites d'exception.

4.4. Les "Cœurs de Tata"

Par Driss Fadli et coll.

Situées dans la zone présaharienne, ces structures géomorphologiques spectaculaires résultent de l'érosion différentielle de plis, formant des dépressions en forme de cœur. Elles représentent 80 % des géomorphosites identifiés de la région et constituent un support pédagogique et touristique original à valoriser.

4.5. Les formations en "doigts de singe" de Boumalne-Dadès

Par Driss Fadli et coll.

Dans le bassin tertiaire de Ouarzazate, les auteurs décrivent des formations éocènes argilo-gréseuses modelées en formes évocatrices de "doigts de singe". Ces paysages, résultats d'une dynamique sédimentaire particulière, nécessitent une mise en valeur à travers des outils de médiation scientifique accessibles.

4.6. Les terres volcaniques du Moyen Atlas

Par Toufik Remmal et coll.

Les édifices volcaniques entre Azrou et Timahdite, dans le Moyen Atlas, se présentent sous forme de cônes bien préservés et morphologiquement variés. Les coulées basaltiques, notamment celles de l'oued Guigou, offrent des affleurements spectaculaires. Ce patrimoine volcanique est porteur d'un potentiel touristique et scientifique considérable.

4.7. Le patrimoine minéralogique du Maroc

Par Addi Azza

Le Maroc abrite plus de 145 espèces minérales, dont certaines spécifiques telles que la Marokite. Cette richesse s'explique par la diversité géologique du pays. L'auteur souligne l'insuffisance de collections publiques et appelle à la sensibilisation, à la création de collections privées, et à un encadrement juridique renforcé pour protéger ce patrimoine.

4.8. L'Expo-Musée de ATTARIK Foundation

Par Hasnaa Chennaoui-Aoudjehane et coll.

L'initiative de l'Expo-Musée « *Les météorites, messagères du ciel* », implantée à Casablanca, offre une médiation scientifique multilingue autour des météorites, du système solaire, des fossiles et des minéraux. Grâce à une scénographie immersive et à l'appui d'un comité scientifique, l'exposition a attiré plus de 35.000 visiteurs depuis 2021.

En définitive, à travers ces huit contributions, les auteurs – spécialistes des sciences de la Terre – mettent en lumière la richesse, la diversité et le potentiel éducatif, scientifique et touristique du patrimoine géologique du Maroc. Ces travaux convergent vers une recommandation commune : la nécessité d'une stratégie nationale intégrée, fondée sur la poursuite rigoureuse de l'inventaire des géosites et des composantes du patrimoine géologique du Maroc, leur valorisation durable et équitable, ainsi que leur protection effective au bénéfice des

générations futures. Ce Patrimoine peut être un levier de développement territorial et un moteur de développement du Maroc par la promotion des sciences en général auprès des jeunes.

Conclusion

Le patrimoine géologique du Maroc constitue une richesse exceptionnelle, tant par sa diversité que par son intérêt scientifique, éducatif, culturel et économique. Les avancées réalisées au cours de la dernière décennie témoignent d'une dynamique croissante en matière de reconnaissance, de valorisation et de protection de ce patrimoine unique à l'échelle continentale et internationale. La publication du numéro spécial des *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc* (2018), les multiples initiatives de diffusion scientifique, les travaux de recherche sur les sites fossilifères majeurs comme la formation de Fezouata, ainsi que la mise en valeur des géomorphosites emblématiques, illustrent l'ampleur des efforts engagés.

La récente promulgation de la loi n°33.22 relative à la protection du patrimoine naturel, incluant désormais le patrimoine géologique, marque un tournant décisif et ouvre la voie à une meilleure gouvernance en la matière. Il conviendra toutefois de veiller à la mise en œuvre effective de cette législation, en lien avec les collectivités territoriales, les acteurs scientifiques et les communautés locales.

Le territoire marocain, véritable « laboratoire à ciel ouvert », recèle de trésors géologiques : fossiles emblématiques, minéraux rares, météorites mondialement reconnues, structures volcaniques spectaculaires, paysages paléozoïques, mésozoïques ou cénozoïques d'une grande beauté. Ce potentiel, associé à un ciel propice à l'observation astronomique, renforce l'intérêt pour un développement cohérent et durable du géotourisme. Dans cette dynamique, le développement de géoparcs nationaux s'impose comme une priorité stratégique pour la valorisation du patrimoine géologique marocain. À la suite de la labellisation UNESCO du Géoparc de M'Goun, plusieurs projets émergents méritent un appui renforcé. Parmi eux figurent notamment le projet du Géoparc de Chefchaouen, dans le Rif, bénéficiaire du *UNESCO Geoparks Grant* en 2022, ainsi que ceux du Siroua, du Bani et des Hautes Plaines orientales. Le soutien à ces initiatives contribuerait à renforcer l'ancrage territorial du géopatrimoine tout en promouvant un développement durable fondé sur la connaissance, l'éducation et l'attractivité géotouristique. Ces géoparcs doivent non seulement servir à la préservation des géosites, mais également à la création de retombées socio-économiques pour les populations locales, notamment par l'éducation, la sensibilisation environnementale, la création d'emplois et la valorisation de produits locaux.

La création, en 2019 à Rabat, du Réseau Africain des Géoparcs, intégré au Réseau mondial des Géoparcs UNESCO, constitue à cet égard une avancée majeure pour la promotion de la culture des géoparcs sur le continent africain. Elle confère au Maroc un rôle de leadership régional dans la valorisation du patrimoine géologique.

Solliciter tous les acteurs du patrimoine, à célébrer la Journée nationale du patrimoine géologique, fixée au 14 novembre de chaque année, offrirait une opportunité forte de sensibilisation, de mobilisation et de célébration collective de cette richesse commune.

Enfin, il est fondamental que les citoyens marocains, et en particulier les jeunes générations, s'approprient ce patrimoine naturel exceptionnel. Ceci ne peut. À ce titre, Ainsi, la reconnaissance et la valorisation du patrimoine géologique marocain ne doivent pas être perçues comme un luxe scientifique, mais comme un levier structurant de développement durable, d'identité nationale et de rayonnement international.

Références

Chennaoui-Aoudjehane H. (2024) : An overview of the new Moroccan regulation on collection and export of meteorites: a geoheritage to promote and preserve. *Meteoritics and Planetary Science*. doi.org/10.1111/maps.14126

- El Hariri K. & Chennaoui-Aoudjehane H. (2018) : La conférence internationale RALI 2015 Marrakech 05-11 octobre 2015, "The Rise of Animal Life: Cambrian and Ordovician biodiversification events Promoting geological heritage: challenges and issues". Numéro spécial des Notes & Mém. Serv. Géol. Maroc, 180 p.
- El Hassani A. (2022) : Le paradis des géologues : Un voyage à travers les temps dans le Royaume du Maroc. Première Edition, Hassan II Academy Press, Morocco, ISBN: 978-9920-9056-3-3. 340 p.
- El Hassani A. (2023) : A Geologist's Paradise, Tracing Morocco's Geological History from Early Explorers to the Modern Era. Hassan II Academy Press, Morocco. ISBN:978-9954-716-22-9 ; e-ISBN: 978-9954-716-23-6, 384 p.
- Lefebvre B. , Akodad M., El Hariri K., Gutiérrez-Marco J.C., Kouraïss K., Pittet B. , Saleh F. , Servais T. & Vidal M. (2020) : Les Fezouata : le Burgess Shale ordovicien du Maroc, *Géochronique* N° 153, pp : 37-44.
- Lefebvre B., El Hariri K., Rudy Lerosey-Aubril, Thomas Servais & Van Roy P. (2016) : The Fezouata Shale (Lower Ordovician, Anti-Atlas, Morocco) : a historical review. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*. 460. Pp:7-23.
- Lefebvre B., Thomas A., Guensburg E. Emmanuel B. L.O., Martin L.O., Rich A., Mooi R., Nardin E., Nohejlová M., Saleh F., Kouraïss K., El Hariri K. & David B. (2019) : Exceptionally preserved soft parts in fossils from the Lower Ordovician of Morocco clarify stylophoran affinities within basal deuterostomes. *Geobios*, Vol 52, pp :27-36.
- Van Roy, P., Orr, P., Botting, J. *et al.* (2010) : Ordovician faunas of Burgess Shale type. *Nature* 465, 215–218. <https://doi.org/10.1038/nature09038>

Géotourisme et développement durable au sud de la ville de Tétouan, Rif septentrional, Maroc

Bouamama Cherai¹ & Ali Maâté²

¹ Equipe de recherche : Environnement, Education et Enseignement-Apprentissage des Sciences et Technologie, Centre Régional des Métiers de l'Education et de la Formation Tanger-Tétouan-Al Hoceima, Maroc.

² 182, Avenue Khartoum, 93040 Tétouan, Maroc

Auteur correspondant : Bouamama Cherai : bcherai05@yahoo.fr

Résumé

Ce travail a pour objectif l'identification, la reconnaissance et la valorisation des géosites et géomorphosites situés au sud de Tétouan, dans un but de vulgarisation scientifique, de pédagogie et de développement géotouristique. La région est dominée par la Dorsale calcaire, située entre les terrains paléozoïques à l'est et les flyschs à l'ouest, et se caractérise par une grande diversité géologique, notamment karstique (lapiaz, dolines, grottes). Parmi les sites remarquables figure la source Zarka, résurgence importante située au contact faillé entre la Dorsale calcaire et les terrains paléozoïques, illustrant bien l'interaction entre géologie et hydrologie. On y trouve aussi des structures plissées, des affleurements fossilifères (ammonites, nummulites), ainsi que des vestiges culturels comme des fours à chaux ou des fortifications espagnoles. Le Jbel Ghorghiz, culminant à 931 m, offre des vues panoramiques exceptionnelles sur le Rif interne et jusqu'aux côtes espagnoles. L'ensemble de ces éléments constitue un fort potentiel pour un géotourisme éducatif et scientifique, à condition d'un aménagement adapté et d'une mise en valeur médiatique efficace.

Mots clés : Géosite, géotourisme, développement durable, sud de Tétouan, Rif septentrional.

Abstract

This work aims to identify, document, and promote the geosites and geomorphosites located south of Tétouan, with the goal of scientific outreach, educational use, and the development of geotourism. The Calcareous Dorsal, between Paleozoic terrains to the east and flysch formations to the west, dominate the region. It features significant geological diversity, particularly in its karst formations, including karst pits, dolines, and caves. Among the most notable sites is the Zarka Source, an important resurgence at the faulted contact between the Calcareous Dorsal and Paleozoic rocks. This regeneration clearly illustrates the relationship between geology and hydrology. Other highlights include folded structures, fossiliferous outcrops (ammonites, nummulites), and cultural heritage remains such as lime kilns and Spanish fortifications. Jbel Ghorghiz, rising to 931 meters, offers exceptional panoramic views over the internal Rif and even the Spanish coast. Tourism developers can unlock the strong potential of these features for educational and scientific geotourism by putting appropriate infrastructure in place and ensuring effective media promotion.

Key words : Geosite, geotourism, sustainable development, south of Tetouan, northern Rif.

Introduction

Le patrimoine géologique, qui fait partie intégrante du patrimoine naturel, constitue une immense richesse scientifique et économique potentielle. Sa diversité est une composante fondamentale de l'attractivité géologique et géo-touristique du Maroc et son intégration dans les processus de développement durable à l'échelle locale, est une nécessité absolue pour assurer l'enjeu majeur du développement territoriale (Bouayad, 2013 ; Angela et al., 2016 ; Mirari, 2021 ; Lahmidi, 2022). À l'instar de tous les pays du monde, le Maroc a entamé récemment des débats autour d'un développement régional durable et le concept de patrimoine y est considéré comme un élément fondateur (Aoulad Sidi Mhend, 2014 ; El Ansari, 2013).

La région de Tétouan, de par sa situation géographique et son climat privilégié, est devenue un véritable pôle d'attraction touristique estival au nord du Maroc. Cependant, ce développement touristique s'appuie majoritairement sur les atouts de mise en valeur du littoral. Par ailleurs, beaucoup de richesses naturelles et culturelles restent non exploitées dans la région et nécessitent des processus de patrimonialisation, d'émergences et de mobilisation pour lutter contre les clivages ville-compagne. À cet égard, il importe de s'engager dans une réflexion de diversification des offres de produits touristiques, y compris le géotourisme

qui combine entre la mise en valeur du patrimoine naturel d'un endroit géographique et le bien-être de ses habitants (Gomes et al., 2025).

Dans cette perspective, la présente étude se concentre sur la partie sud de la ville de Tétouan, choisie comme exemple d'une région dotée de richesses naturelles et paysagères pouvant être valorisées pour générer un développement économique au bénéfice direct des populations rurales locales. L'objectif est de contribuer à l'exploration de nouvelles pistes de développement touristique, notamment à travers les axes suivants :

- **Sensibiliser** le grand public ainsi que les décideurs (gestionnaires, élus, etc.) au potentiel de la région de Tétouan en matière de géotourisme et de tourisme de montagne (Aoulad Sidi Mhend, 2014) ;
- **Identifier**, caractériser et valoriser les atouts géologiques et géomorphologiques du secteur afin d'envisager leur intégration dans une offre touristique ;
- **Fournir** aux professionnels du tourisme des éléments pour développer une approche fondée sur la nature et le patrimoine, intégrant aussi bien les aspects culturels et historiques que l'histoire géologique de la région ;
- **Encourager** les communautés locales à valoriser leur patrimoine naturel tout en développant une culture de la protection, de la gestion durable et de la mise en valeur de leurs ressources naturelles et culturelles.

La partie sud de la ville de Tétouan abrite des sites d'un grand intérêt géologique et géomorphologique, reconnus pour leur valeur pédagogique et leur capacité à illustrer de manière claire divers phénomènes géologiques. Ces sites correspondent aux premiers reliefs de la Dorsale calcaire qui dominent la ville par le sud. Ils offrent un aperçu fascinant de l'histoire géologique de la région, marquée par une organisation complexe des faciès, témoins d'une évolution sédimentaire et tectonique caractéristique du Rif.

Les affleurements rocheux spectaculaires de cette zone constituent de véritables terrains d'étude pour les scientifiques, des supports d'apprentissage pour les enseignants, ainsi que des lieux d'exploration captivants pour les randonneurs. Les paysages y sont particulièrement attrayants, offrant des panoramas saisissants sur l'ensemble de la région, y compris sur la ville de Tétouan et son développement urbain.

Présentation de la zone d'étude

Le secteur d'étude fait partie du Rif septentrional au nord-ouest du Maroc, et concerne une portion de la Dorsale calcaire centrale aux abords méridionaux de la ville de Tétouan (Fig. 1). Il offre une très grande variété de faciès et de paysages dans les terrains sédimentaires et les massifs montagneux carbonatés qui font face à la ville de Tétouan, en dominant du côté sud la plaine de l'oued Martil.

Avec des altitudes avoisinant les 1000 mètres, les reliefs situés au sud de Tétouan s'organisent, par la disposition topographique de leurs crêtes, en quatre chaînons parallèles orientés selon un axe nord-sud (Fig. 2a et 2b). De l'est vers l'ouest, ces chaînons, illustrés dans la figure 2a, se déclinent comme suit :

- A : Le chaînon oriental, composé des reliefs du Jbel El Bourja, de Koudiat en Nich, de Hafa Farkennix, de Sidi Temim et du Jbel Bou Zaitoun ;
- B : Le chaînon Centro-oriental, formé par les massifs du Jbel Ajnane et du Jbel Ghorghiz ;
- C : Le chaînon Centro-occidental, représenté par la Hafa es Sérir ;
- D : Le chaînon occidental, constitué des massifs karstiques de Hafa en Nator, prolongés vers le nord par la Cobba del Qescas.

Ces chaînons résultent de l'empilement de nappes tectoniques juxtaposées et d'écailles, composées principalement de formations carbonatées datant du Trias supérieur au Lias inférieur (Griffon, 1966 ; Wildi et al., 1977 ; El Kadiri, 1991 ; Maâté et al., 1993b ; Maâté, 1996 ; Hlila, 2005 ; Skakni, 2020).

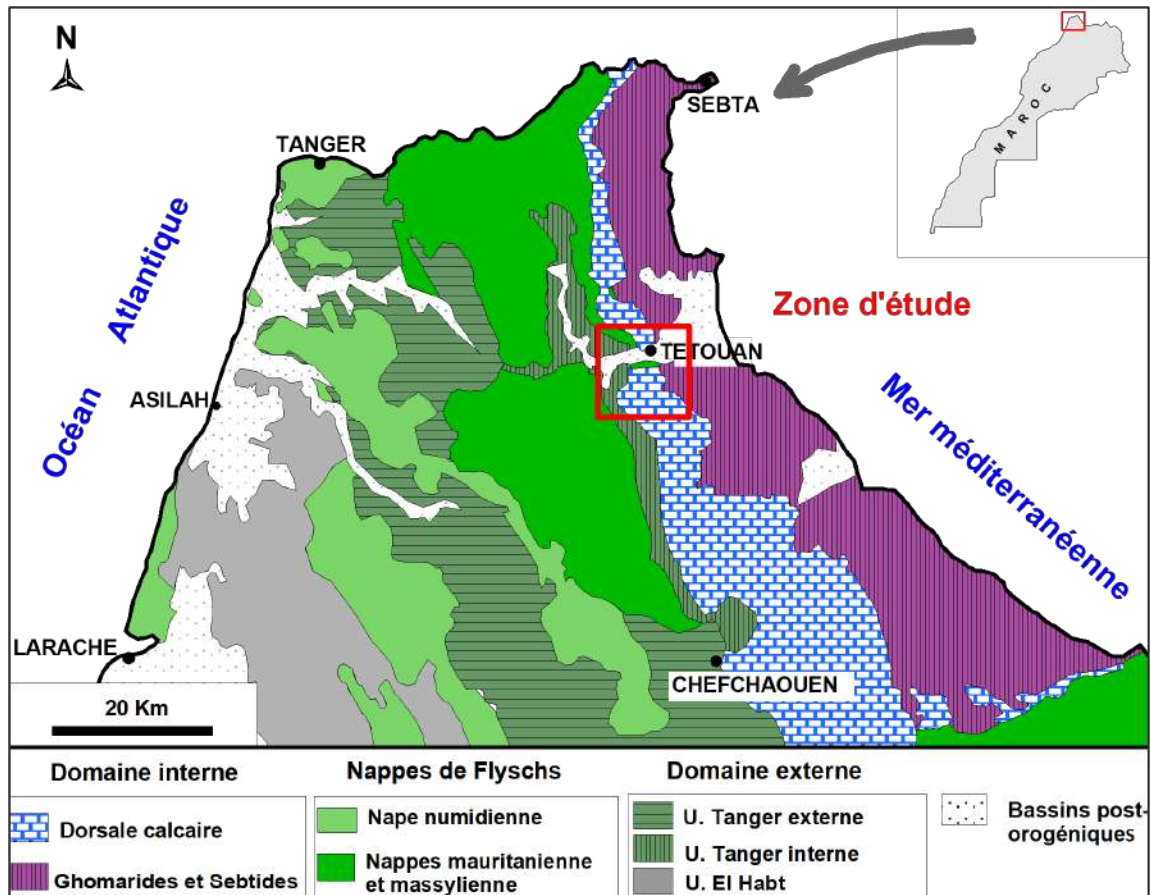


Figure 1 : Les grands domaines géologiques rifains (Wildi, 1983, Modifiée) et situation de la zone d'étude.



Figure 2a : Vue panoramique de la Dorsale calcaire au sud de Tétouan, prise depuis le Jbel Dersa, montrant la cluse de Tétouan en direction du sud.

Depuis le Jbel Dersa, situé au nord de Tétouan, une vue panoramique offre une coupe géologique d'ensemble de ce secteur (Fig. 2a et 2b). Celle-ci révèle trois grandes unités structurales distinctes, disposées d'est en ouest comme suit (Fig. 3) :

- **Les Ghomarides** représentées essentiellement par les formations paléozoïques des deux unités de Beni Hozmar et de Kodiât Tizian, couronnées par une série détritique rouge du Permo-Werfénien (Kornprobst, 1974 ; Chalouan, 1986). Elles chevauchent vers l'ouest la Dorsale calcaire ;
- **La Dorsale calcaire** composée d'un empilement d'écailles tectoniques chevauchantes l'une sur l'autre. Ces écailles sont organisées stratigraphiquement en deux unités distinctes (Figs. 2a, 2b et 3) :

- La **Dorsale interne**, regroupant deux composantes : la nappe d'El Babat-Ghorghiz et la nappe de la Hafa Ferkennix, où les dolomies grises massives du Trias supérieur passent sans discontinuité à des calcaires massifs blancs du Lias inférieur (Griffon, 1966) ;
 - La **Dorsale externe**, représentée par la nappe de la Hafa en Nator qui chevauche sur les zones des flyschs externes dominant la cluse de Tétouan au nord et à l'ouest. Dans cette unité les dolomies à stromatolithes du Carnien-Norien passent à une série complexe d'alternances marno-calcaro-dolomitiques du Rhétien (Griffon, 1966).
- **Le Prédorsalien, les flyschs et le domaine externe** forment à l'ouest la semelle de chevauchement de la Dorsale calcaire.

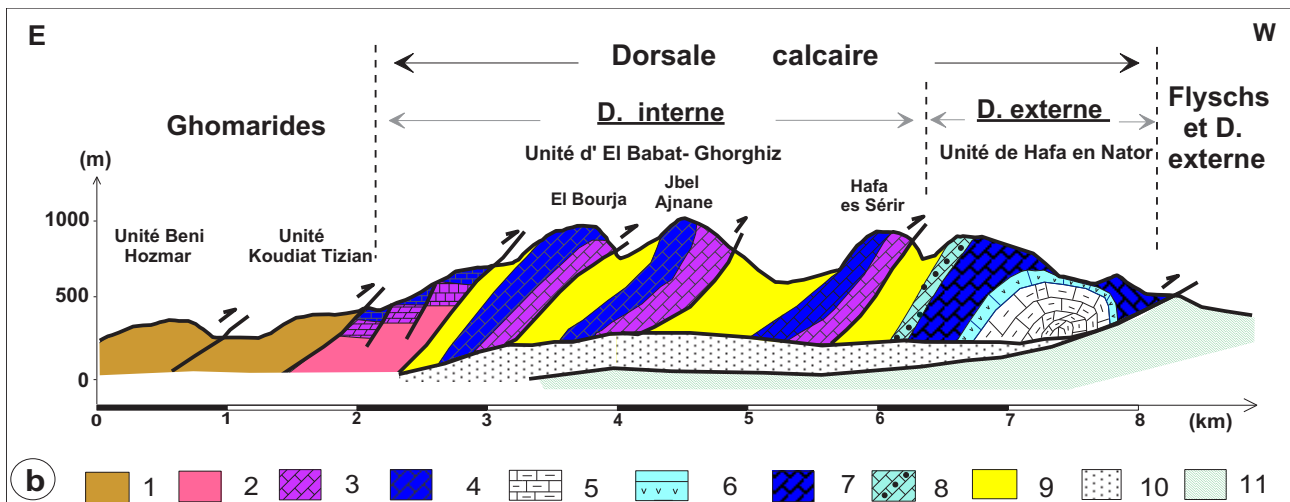


Figure 2b : Coupe structurale interprétative E-W montrant les unités de la Dorsale calcaire au sud de Tétouan, inspirée de la coupe de Wildi et *al.*, 1977, redessinée et complétée par les données de la carte géologique (Fig. 3). 1 : Terrains paléozoïques des Ghomarides ; 2-4 : **Dorsale calcaire interne** : 2 : Formations détritiques rouges permo-werfénienues ; 3 : Dolomies grises du Trias supérieur-Hettangien ; 4 : Calcaires massifs blancs de l'Hettangien-Sinemurien ; 5-8 : **Dorsale calcaire externe** : 5 : Dolomies à stromatolithes du Carnien-Norien ; 6 : Alternances calcaréo-dolomitiques du Rhétien ; 7 : Formations carbonatées massives de l'Hettangien ; 8 : Calcaires à silex du Sinémurien-Pliensbachien ; 9 : Formations tertiaires ; 10 : Unité prédorsalienne ; 11 : Domaine externe et nappes des flyschs.

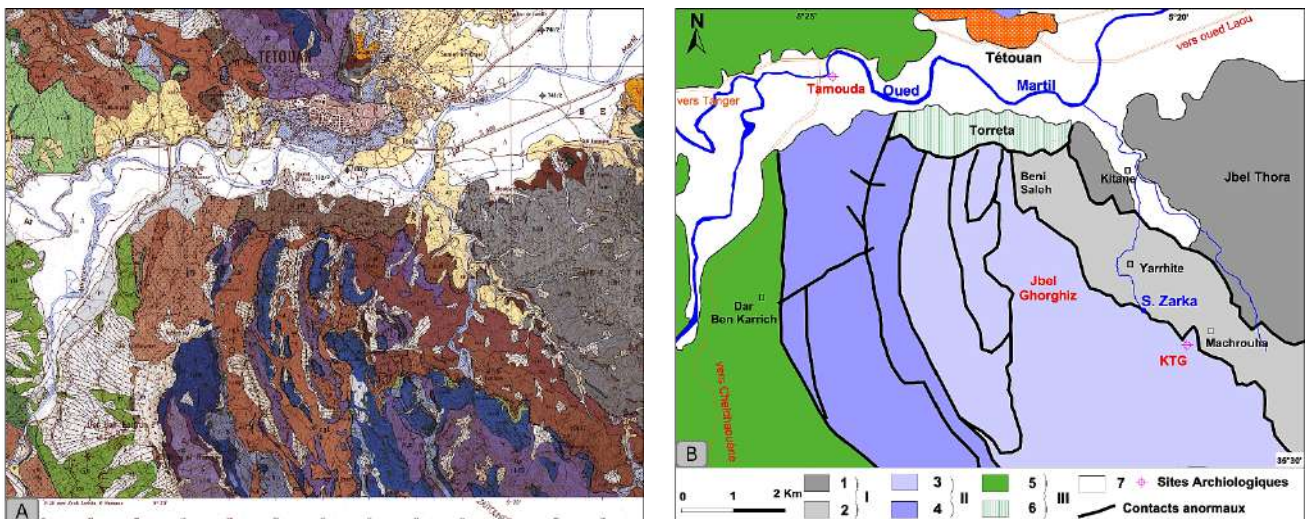


Figure 3 : A : Extrait de la carte géologique au 1/50 000, feuille de Tétouan-Ras Mazari (Kornprobst & Durand Delga, Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, 292-1985). B : Esquisse géologique de la zone d'étude d'après la carte géologique au 1 : 50.000, feuille de Tétouan-Ras Mazari et situation des sites à intérêts archéologiques. **Nappes Ghomarides** (1 : Beni Hozmar ; 2 : Koudiat Tizian) ; **Dorsale calcaire** (3 : Dorsale interne ; 4 : Dorsale externe) ; **Flyschs et domaine externe** (5 : Flyschs et zones externes ; 6 : Unité Prédorsalienne) ; 7 : Terrains quaternaires.

Sur le plan géomorphologique, la Dorsale calcaire située au sud de Tétouan constitue une zone karstique par excellence (El Gharbaoui, 1986 ; El Morabiti *et al.*, 2009). Cette formation géologique donne naissance à de nombreuses sources, qui émergent principalement au niveau de contacts anormaux et de chevauchements (Aluni *et al.*, 2008 ; Aluni, 2012). Ces derniers mettent en relation directe les formations carbonatées karstiques, abritant l'aquifère, avec des terrains imperméables constitués de grès-pélites et de schistes des unités ghomarides, ainsi que de marnes et de pélites des unités externes et prédorsaliennes. L'abondance de ces sources a favorisé le développement d'activités agricoles chez les populations rurales environnantes.

Méthodologie

Pour atteindre les objectifs de cette étude, nous avons adopté une approche méthodologique reposant sur plusieurs étapes complémentaires. Dans un premier temps, une révision approfondie des documents cartographiques existants (cartes topographiques et géologiques du secteur étudié) a été réalisée, en parallèle avec l'analyse des travaux géologiques et géomorphologiques antérieurs portant sur la région. Cette phase documentaire a permis de mieux cerner le cadre géologique général et d'orienter la suite de l'étude.

La deuxième étape a consisté en un travail de terrain destiné à explorer la région, sélectionner les itinéraires pertinents et identifier les géosites potentiels au sein des massifs de la Dorsale calcaire. Lors de cette phase, un inventaire des caractéristiques géologiques et géomorphologiques de la zone d'étude a été établi, permettant de dégager trois secteurs présentant un intérêt multiple, notamment en matière de valorisation géotouristique.

Résultats

Dans l'objectif de vulgariser les connaissances géologiques et géomorphologiques au profit d'un large public passionné de la nature, et dans le but d'offrir aux randonneurs et touristes de montagne, des informations et des explications sur les faits géologiques, les successions de faciès et leur disposition suivant la structure géologique complexe telle qu'elle caractérise la chaîne de la Dorsale calcaire au sud de la ville de Tétouan, nous avons mis en évidence plusieurs secteurs susceptibles d'intéresser aussi bien les scientifiques, que les pédagogues et les randonneurs (Fig. 4).

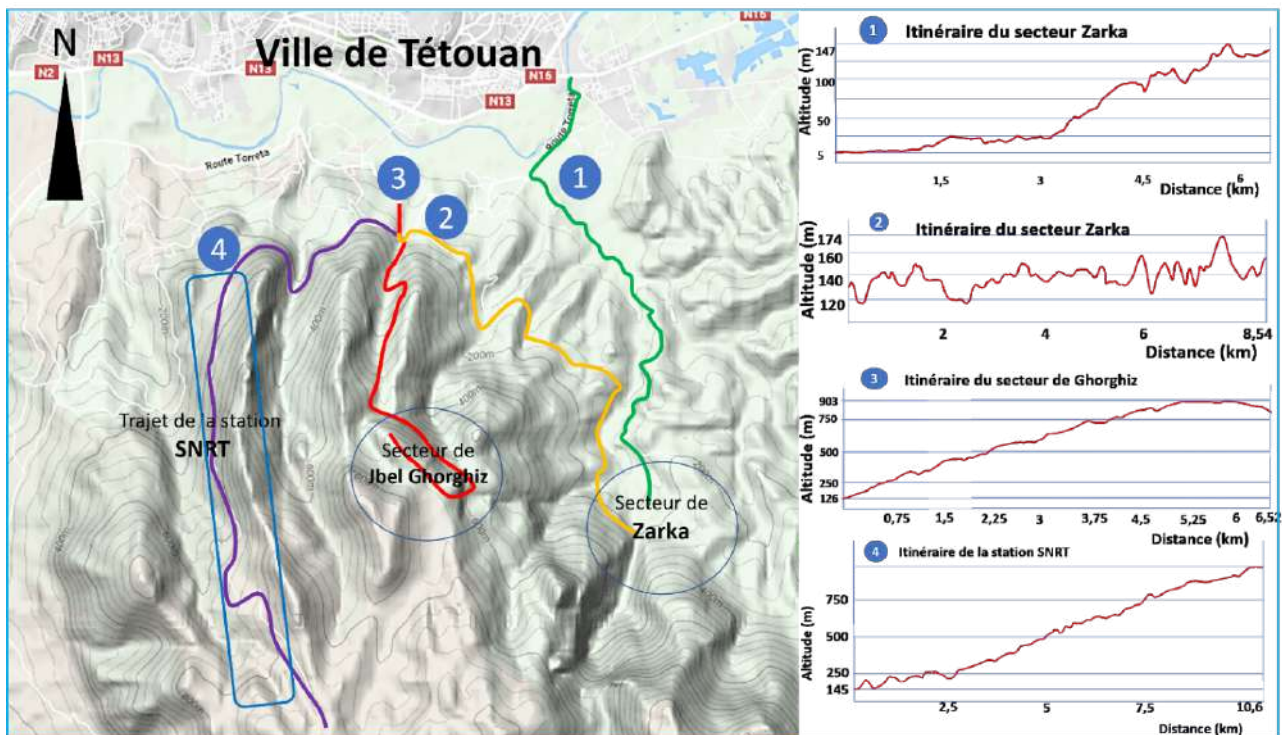


Figure 4 : Secteurs d'intérêt géotouristique dans la Dorsale calcaire au sud de Tétouan et itinéraires proposés.

Trois secteurs ont été choisis dans le cadre de cette étude. Nous les présentons dans ce travail comme endroits abritant des exemples de géosites et des géomorphosites à maintenir et à valoriser pour des fins géotouristiques et pédagogiques. Ces secteurs ont un intérêt potentiel pour la recherche, l'éducation et la connaissance de la géologie par un grand public. En fait, nous avons proposé des accès et des itinéraires qui permettent de s'approcher des principaux secteurs choisis dans les massifs de la Dorsale calcaire au sud de Tétouan et qui peuvent être d'un grand intérêt de point de vue du patrimoine géologique et du paysage naturel dans la région (Fig.4).

Le secteur de Zarka

Sur la bordure Est de la Dorsale calcaire et à 7 km au Sud-Est de la ville de Tétouan sur la route menant aux villages de Kitane et Yarrichte, la localité Zarka forme par sa source, son climat rafraîchi, l'aspect de ses terrains géologiques et ses formes géomorphologiques, un secteur à grands atouts touristiques dans la région. Deux itinéraires ont été choisis pour accéder à ce secteur. Le premier (Fig. 4, itinéraire 1) est plus facile et suit la route vers la source sur presque 7 km à partir du pont de « Coelma », avec possibilités de faire des arrêts pour voir et prendre des photos des magnifiques paysages liés à la fois au flanc Est du massif carbonaté de la Dorsale calcaire et à l'unité de Beni Hozmar (Fig. 5, photos a, b et c). Il s'agit de s'approcher des divers faciès de la nappe des Ghomarides faisant partie du Rif interne.

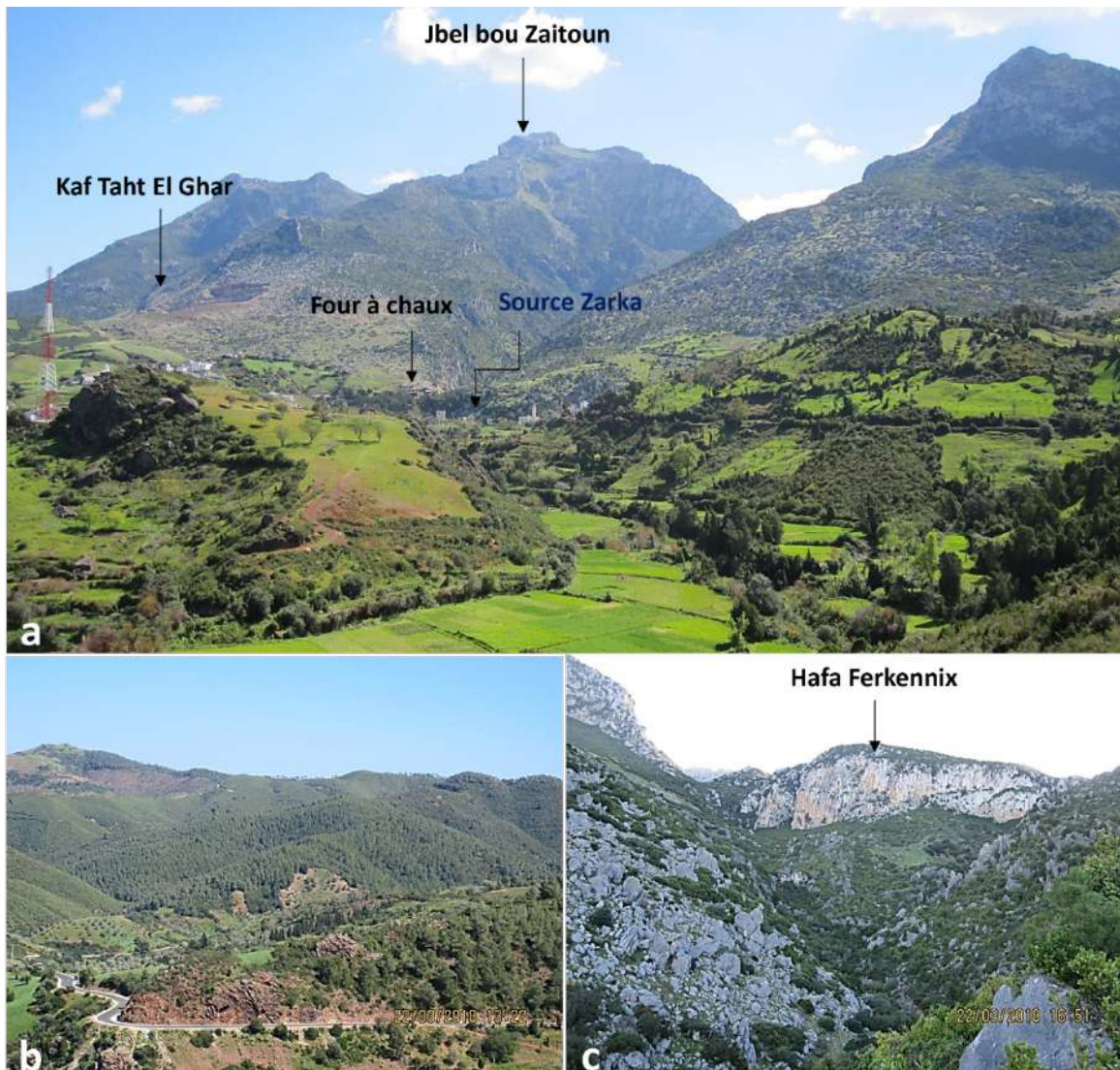


Figure 5 : Vues panoramiques des terrains Ghomarides et de la Dorsale calcaire dans le secteur de Zarka (a) : Vue générale vers le sud dans le secteur de Zarka ; (b) : Vue panoramique sur les terrains Ghomarides du secteur de Beni Maâdène : Formations schisto-gréseuses imperméables ; (c) : Vue panoramique de la Dorsale calcaire (Hafa Ferkennix) à l'Ouest de Zarka : paysage Karstique.

Le deuxième itinéraire permettant d'accéder au secteur de Zarka peut se faire à pied, en partant de Torreta. Il emprunte une ancienne piste qui traverse Beni Salah avant d'atteindre Zarka. (Fig. 4, itinéraire 2).

- **Présentation du secteur**

Au pied du massif carbonaté de la Hafa Ferkennix, principalement constitué de dolomies grises du Trias et de calcaires massifs blancs du Lias inférieur (Griffon, 1966), la source Zarka jaillit au contact presque vertical des terrains ghomarides, composés essentiellement de formations paléozoïques alternant grès et pélites (Fig. 6). Elle émerge le long du front de chevauchement E-W des nappes Ghomarides sur la dorsale calcaire (El Morabiti et al., 2009 ; Skakni, 2020). Située dans un site remarquable à fort potentiel touristique, cette source s'insère dans un paysage varié, mêlant reliefs karstiques carbonatés contrastés et étroites plaines alluviales. Ces dernières sont occupées par une agriculture artisanale pratiquée sur de petites parcelles en terrasses, le long de la vallée de l'oued Zarka (Fig. 5a). Cette agriculture, axée sur les agrumes, les arbres fruitiers et diverses cultures, représente une richesse locale et offre des opportunités de valorisation sous forme de produits du terroir.



Figure 6 : Source de Zarka.

- **Le potentiel géologique**

La localité de Zarka se trouve à cheval entre deux grandes unités géologiques distinctes, les Ghomarides et la Dorsale calcaire. Les Ghomarides sont formés, dans ce secteur, par une diversité lithologique de faciès paléozoïques, essentiellement des grès et pélites (Fig. 7d) couonnés par une série détritique composée à sa base par des conglomérats rouges à galets grossiers de quartz blanc d'âge Trias moyen-supérieur (Maâté et al., 1993c) Fig. 7a). Ces conglomérats sont surmontés par un épais complexe gréseux de teinte rouge violacée avec la présence de structures sédimentaires bien préservées, en l'occurrence des stratifications entrecroisées (Fig. 7b) ; suivi d'horizons argileux rouges et verdâtres du Trias (Fig. 7c), le sommet de cette série est représenté au niveau de Beni Salah par des dolomies en plaquettes légèrement marneuses suivies par un conglomérat monogénique jaunâtre qui remobilise ces dolomies (Maâté, 1996).

- **Activités et occupations humaines**

Le secteur de Zarka abrite diverses activités et occupations humaines, notamment un four à chaux encore en activité situé à proximité de la source. Témoignage d'un savoir-faire architectural et artisanal traditionnel, ce patrimoine mériterait d'être valorisé en l'intégrant dans un circuit touristique, afin d'attirer l'intérêt des géotouristes (Fig. 8). Construit dans les années 1990, le four à chaux situé à proximité de la source est toujours en activité. La production de chaux repose sur la calcination de pierres calcaires extraites localement, issues de la formation de calcaires massifs blancs du Lias inférieur affleurant dans le massif de la Hafa Ferkennix.

À moins de deux kilomètres au sud-est de la localité de Zarka se trouve la grotte de Kaf Taht El Ghar qui revêt un intérêt archéologique et préhistorique. Les fouilles menées dans cette grotte ont permis de nombreuses découvertes, aujourd'hui exposées au musée archéologique de la ville de Tétouan (Daugas et al., 2008 ; Dominguez Bella et Maâté, 2008). Les découvertes faites dans la grotte de Kaf Taht El Ghar sont principalement constituées de fragments de céramique ainsi que d'objets issus de l'industrie lithique et osseuse.

Les sondages réalisés en 1984, suivis de campagnes de fouilles en 1989 et 1994, ont révélé une occupation humaine remontant aux périodes préhistorique et protohistorique. Ce site se distingue par la diversité de ses phases d'occupation, allant du Néolithique ancien cardial au Néolithique récent, en passant par le Campaniforme, l'âge du Bronze, jusqu'à la période historique.

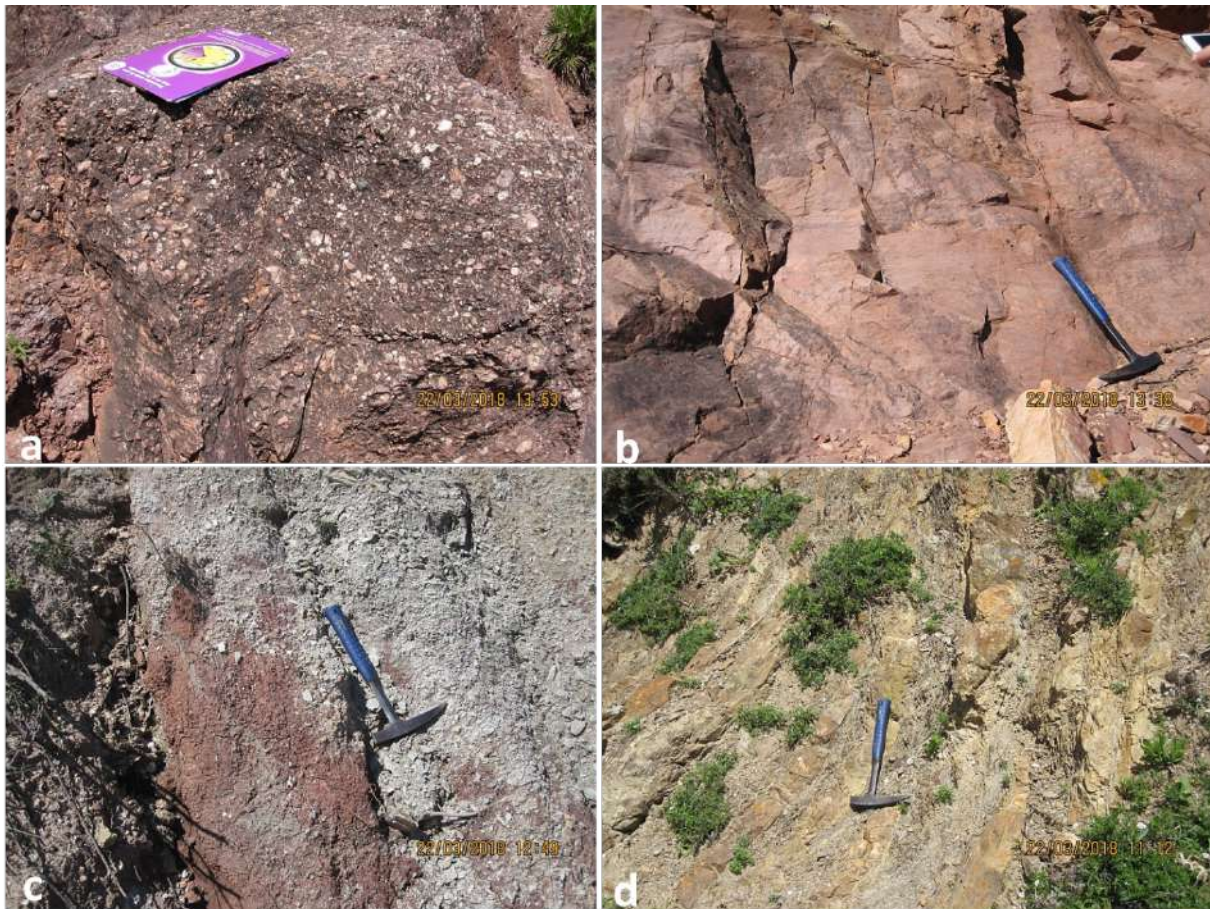


Figure 7 : Faciès dominants des terrains ghomarides au niveau du secteur Zarka à l'Est de la Dorsale calcaire. Faciès détritiques rouges du Permo-Werfenien : (a) : Aspect général des conglomérats ; (b) : Grès rouges à stratifications entrecroisées ; (c) : Intercalation d'argiles rouges et vertes ; (d) : Alternances grésopélitiques du Paléozoïque au niveau de Beni Salah.



Figure 8 : Four à chaux à proximité de la source Zarka.



Figure 9 : Grotte Kaf Taht El Ghar (KTG) au Sud-Est de la localité de Zarka.

Le secteur du Jbel Ghorghiz

Au centre du massif carbonaté, le Jbel Ghorghiz culmine à 931m et forme avec le Jbel Ajnane le chaînon central de la Dorsale calcaire au sud de Tétouan. C'est un relief particulier qui permet une vue générale sur la région avec ses unités géologiques du Rif septentrional. Il domine vers l'Est le plateau karstique de Dar el Kholf (Fig. 10, photo a), allongé N-S et formant l'extrémité nord du synclinal karstique de Tazarin (Fig.10, photo b). Ce plateau est drainé par l'oued Tazarin, dont les dépôts recouvrent partiellement les affleurements karstiques. D'autres formes karstiques telles que les lapiaz (Fig. 10, photo c) et les dolines (Fig. 10, photo d), sont développées au sommet de Jbel Ghorghiz à ossature carbonatée. Ces Lapiaz de grandes dimensions et dont la profondeur des fentes est d'ordre métrique par endroits, témoignent d'une érosion karstique intense qui a affecté les roches carbonatées calcaro-dolomitiques formant l'ossature des principaux reliefs de la Dorsale calcaire et par conséquent la formation d'importants réservoirs hydrogéologiques. Ces réservoirs assurent le maintien des ressources hydriques pérennes qui s'écoulent en surface par les sources qui jaillissent au long des contacts anormaux majeurs sur les bordures Est, Nord et Ouest du massif calcaire au sud de Tétouan (ABHL, 2008 ; El Morabiti et al., 2009).

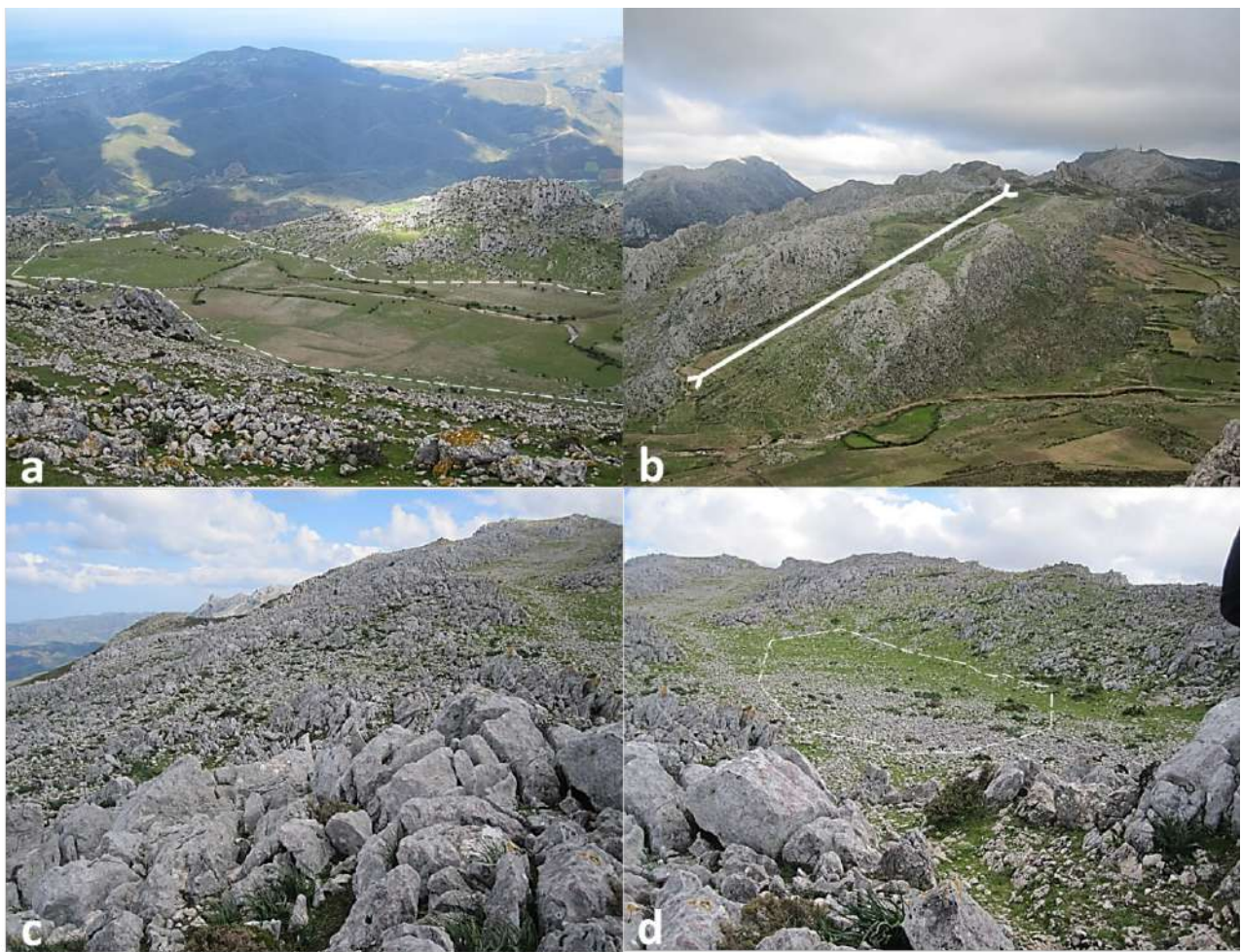


Figure 10 : Les formes karstiques du secteur de Jbel Ghorghiz : (a) : Plateau karstique de Dar El Kholf ; (b) : Synclinal de Tazarin ; (c) : Karst en forme de Lapias au sommet de Jbel Ghorghiz ; (d) : Petite doline en formation au sommet de Jbel Ghorghiz.

Outre leur intérêt géomorphologique, les roches carbonatées du Jbel Ghorghiz présentent également une grande valeur paléontologique, renfermant de nombreux fossiles. Au sommet du Jbel, on observe un gisement remarquable de grandes nummulites datant de l'Éocène, bien visibles dans des blocs de calcaires massifs. Ces derniers sont associés à des horizons minces de lumachelle contenant les mêmes types de faunes, ainsi qu'à des gastéropodes (Fig. 11). Ce gisement a été minutieusement décrit par Griffon et Muylaert (1962), qui en a précisé les localisations exactes ainsi que les formations géologiques correspondantes.

Par ailleurs, le sommet du célèbre Jbel Ghorghiz conserve les vestiges d'anciennes fortifications espagnoles (Fig. 12), rappelant le rôle stratégique de ce relief dans le contrôle militaire du territoire durant la période du protectorat espagnol au Maroc (1912-1956).

La richesse et la diversité des éléments à observer dans le secteur — entre patrimoine géologique et historique — font du Jbel Ghorghiz un géotope emblématique, porteur d'un fort potentiel pour le développement du géotourisme dans la région.

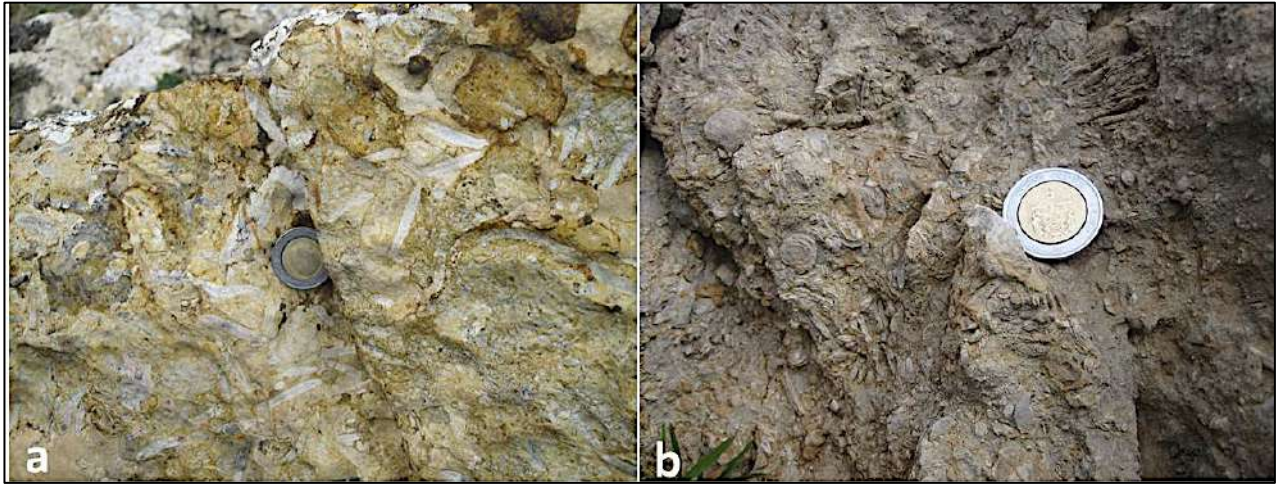


Figure 11 : Gisement de Nummulites au sommet de Jbel Ghorghiz : (a) : Calcaires à patine jaunâtre à grandes Nummulites ; (b) : Lumachelle de Nummulites dans un horizon mince.



Figure 12 : Restes des fortifications espagnoles au sommet de Jbel Ghorghiz.

Le trajet de la station de la SNRT

En direction du sud-ouest de la ville de Tétouan, l'itinéraire empruntant la piste menant à la station de la Société Nationale de Radiodiffusion et de Télévision (SNRT) offre aux randonneurs et visiteurs une véritable immersion dans des paysages d'une grande richesse géologique et géomorphologique (Fig. 13). Dès la Cobba del Qescas, qui marque l'extrémité nord de la Hafa en Nator, on bénéficie d'une vue panoramique imprenable vers le nord, notamment sur les méandres de l'oued Martil à l'entrée ouest de Tétouan. Cette perspective permet également d'observer une ancienne surface d'abrasion villafranchienne ainsi que plusieurs carrières en activité dans la zone de Saddina. Ces dernières exploitent les formations carbonatées de la chaîne calcaire située au nord de Tétouan, principalement pour la production de ciment et de granulats (Fig. 13, photo a).



Figure 13 : Terrains et paysages à attrait géologiques et géomorphologiques sur le Trajet de la SNRT. (a) : vue panoramique vers le N sur les méandres de l'oued Martil et le massif de Jbel Dersa ; (b) : Ancienne carrière de la cimenterie dans les calcaires massifs ; (c) : Faille de Dar El Halka dans les calcaires massifs blancs de Hafa Nator ; (d) : Plis affectant une alternance de grès et de marnes sableuses du Tertiaire de Saâden ; (e) : Cicatrice de mouvement de terrain dans les marnes tertiaires de l'unité de Saâden.

Une remarquable ancienne carrière apparaît du côté ouest de la piste et montrant une coupe verticale dans l'affleurement des calcaires massifs en reflétant l'effet de l'action anthropique sur la morphologie des terrains (Fig. 13, photo b). Sur le même trajet, on peut voir une structure géologique très pédagogique correspondant à la faille de Dar El Halka bien visible à l'affleurement et affectant les calcaires massifs blancs de l'Hettangien de la Hafa Nator (Fig. 13, photo c). C'est une faille normale de direction N65 à rejet décimétrique qui se trouve affectée par un décrochement senestre de direction N 140 à rejet également décimétrique.

Plus au sud, beaucoup d'autres structures géologiques en failles et plis sont à voir dans les formations tertiaires (Maâté et al., 1993a) beaucoup plus diversifiées le long de la piste menant vers la station de la SNRT. Ce sont essentiellement des plis métriques déversés vers l'WSW, affectés par des failles à rejet centimétrique, dont certaines sont des failles normales synsédimentaires (Fig. 13, photo d). Ces formations à dominance lithologique friable présentent, par endroit, des figures remarquables de mouvements de terrain accentués par l'action anthropique engendrée essentiellement par la déforestation (Fig. 13, photo e).

Un gisement d'ammonites est également présent à l'ouest du village de Sâaden dans les calcaires à silex et mérite d'être mis en valeur et visité.

Discussions et conclusion

La Dorsale calcaire située au sud de Tétouan se distingue par une remarquable géodiversité ainsi qu'un riche patrimoine géologique et géomorphologique. Ces caractéristiques en font une destination privilégiée pour le développement du tourisme de montagne, avec un fort potentiel scientifique et pédagogique. Ce secteur offre ainsi une alternative originale et durable aux stations balnéaires, en particulier pour les touristes locaux et nationaux en quête de découvertes naturelles et culturelles.

Cependant, malgré ces atouts majeurs, les potentialités géotouristiques de cette région restent largement méconnues et insuffisamment valorisées. Une meilleure mise en lumière de ces richesses permettrait non seulement de diversifier l'offre touristique de la région de Tétouan, mais également de contribuer activement au développement économique et social des zones rurales et périphériques avoisinantes.

Dans cette région montagneuse située au sud de Tétouan, la promotion du géotourisme représente une réelle opportunité pour impulser un développement durable, à la fois respectueux de l'environnement et bénéfique pour les populations locales. En effet, cette zone réunit la majorité des critères nécessaires à l'implantation d'un tourisme à vocation géo-scientifique et pédagogique :

- Une grande diversité de phénomènes géologiques et géomorphologiques, propices à l'interprétation scientifique et à la vulgarisation auprès du grand public ;
- Une bonne accessibilité aux sites d'intérêt, facilitant leur découverte et leur intégration dans des circuits touristiques organisés ;
- Une population locale bien répartie le long des itinéraires proposés, dont l'implication active peut jouer un rôle central dans la valorisation, la préservation et la gestion des sites, tout en leur permettant de bénéficier directement des retombées économiques d'une telle activité.

Cependant, un important travail reste à accomplir pour intégrer pleinement le géotourisme dans les stratégies locales de développement. Cela nécessite une sensibilisation accrue des acteurs concernés et une planification rigoureuse, fondée sur une approche participative et multisectorielle (Cayla et al., 2013 ; Aoulad Sidi Mhend, 2014 ; Aoulad Sidi Mhend et al., 2023). Dans cette optique, les recommandations suivantes sont proposées :

- **Aménagement des infrastructures de base** : développement du réseau routier (routes goudronnées), accès à l'eau potable, à l'électricité et à d'autres services essentiels ;
- **Mobilisation et formation des populations locales** : les impliquer dans le développement d'activités touristiques (création de gîtes et maisons d'hôtes, restauration, services d'accompagnement) afin de favoriser leur autonomisation économique ;
- **Renforcement de la communication et de la médiatisation** : organisation d'ateliers, de séminaires et de journées d'étude pour diffuser le concept de géotourisme et en faire un vecteur reconnu de développement territorial ;

- **Création d'itinéraires géotouristiques balisés** : réalisation de sentiers équipés de panneaux explicatifs, de signalisation adaptée, et production de supports d'information (cartes, dépliants) détaillant les sites à intérêt géo-scientifique, éducatif et esthétique ;
- **Mobilisation des décideurs et institutions** : implication active des ministères du Tourisme, de la Culture, des collectivités locales ainsi que des autres acteurs régionaux dans la mise en œuvre d'un projet structuré de développement géotouristique.

Références

- Agence Du Bassin Hydraulique Du Loukkos (2008) : Atlas des sources et des lacs, 130 p (rapport interne inédit).
- Aluni K. (2012) : Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimiques des sources karstiques de la région de Tétouan (Rif septentrional, Maroc). Thèse de doctorat nationale, 219p.
- Aluni K., El Morabiti K., Pulido-Bosch A., El Kharim Y., & Benmakhlouf M. (2008) : Consideraciones sobre la hidrogeología y la hidrogeoquímica de la Dorsal Calcárea de la región de Tetuán (Rif septentrional, Marruecos). *Geogaceta*, 44, 2008. <file:///C:/Users/az/Downloads/Article%20-Geogaceta.pdf>
- Angela B., Yves A., & Sylviane B.M. (2016) : L'éducation au patrimoine, un outl pour un développement local durable, ou une instrumentalisation de l'éducation au service de la labellisation des territoires. *Revue francophone du développement durable*, Éd. Oeconomia (Clermont-Ferrand), 2016. hal-02471993
- Aoulad Sidi Mhend A. (2014) : Implication des autorités locales, de la population et des associations pour la protection du patrimoine géologique et archéologique, *Arabian journal of Earth Sciences*, vol 1 – issue 3, pp. 90-93.
- Aoulad Sidi Mhend A., Martín-Martín, M., Hlila, R., Maaté, A., Chakiri, S., Achab, M., ... & Mohammadi, M. (2023) : Methodology for a Moroccan inventory and assessment of geological sites: a proposal to be applied in other African regions. *Revista de la Sociedad Geológica de España* 36 (1). <https://doi.org/10.55407/rsge.98204>
- Bouayad A. (2013) : Le rôle du patrimoine dans le développement des territoires en reconversion : cas des anciennes mines d'Ahouli et Mibladen (Midelt – Maroc). 50ème colloque de l'ASRDLF : « Culture, Patrimoine et Savoirs », Mons du 8 au 11 Juillet 2013.
- Cayla N., & Duval-Massaloux M. (2013) : Le géotourisme : patrimoines, pratiques, acteurs et perspectives marocaines. In: Collection EDYTEM. Cahiers de géographie, numéro 14, 2013. Ressources patrimoniales et alternatives touristiques, entre oasis et montagne. pp. 101-116; doi : <https://doi.org/10.3406/edyte.2013.1228>; https://www.persee.fr/doc/edyte_1762-4304_2013_num_14_1_1228;
- Chalouan A. (1986) : Les nappes ghomarides (Rif septentrional, Maroc). Un terrain varisque dans la chaîne alpine. *Thèse ès-Sci., Univ. Louis Pasteur*, Strasbourg, 371 p.
- Daugas J.P., El Idrissi A., Ballouche A., Marinval Ph. & Ouchaou B. (2008) : Le Néolithique ancien au Maroc septentrional : données documentaires, sériation typo chronologique et hypothèses génétiques, *Bulletin de la Société préhistorique française*, 105-4, pp.787-812. <https://doi.org/10.3406/bspf.2008.13785>
- Domínguez Bella S. & Maate A. (2008) : La geología del entorno de la Cueva de Caf Taht el Ghar y las materias primas líticas del Norte de Marruecos, región del Estrecho de Gibraltar. Editores Científicos y coordinadores de "Geología y geoturismo en la orilla sur del estrecho de Gibraltar", Edita, UCA, servicio de Publicaciones Aula Universitaria del Estrecho.
- El Ansari R. (2013) : Patrimoine et développement régional au Maroc. 50ème colloque de l'ASRDLF : « Culture, Patrimoine et Savoirs », Mons du 8 au 11 Juillet 2013.
- El Gharbaoui A. (1986) : L'homme et la montagne dans la Dorsale calcaire du Rif (Maroc septentrional). In : *Revue de l'Occident musulman et de la Méditerranée*, n°41-42, 1986. Désert et montagne au Maghreb. pp. 197-208. http://www.persee.fr/doc/remmm_0035-1474_1986_num_41_1_2118

- El Kadiri Kh. (1991) : La Dorsale calcaire (Rif interne, Maroc). Stratigraphie, sédimentologie et évolution géodynamique d'une marge alpine durant le mésozoïque. Thèse de doctorat d'État ès-Sciences, Tétouan, 400p.
- El Morabiti K., El Kharim Y., Aluni K., Fdil F., & Ben Makhoul M. (2009) : Étude hydrogéologique et hydrogéochimique des principales sources karstiques dans les environs de la ville de Tétouan. *Revue AFN Maroc*, N° double 4-5, décembre 2009, pp.58-69. <https://revue-afnm.org/Num%C3%A9ro%204-5/4%20RAFM.pdf>
- Gomes I.P., & Motta Garcia, M.d. (2025) : Methods of Evaluating Geological Sites with Tourism Potential: An Overview. *Geoheritage* 17, 86. <https://doi.org/10.1007/s12371-025-01121-5>
- Griffon J.C. (1966) : La dorsale calcaire au sud de Tétouan. *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc*, n° 184. pp. 149-224.
- Griffon J.-C., & Muyleart J. (1962) : Les grandes foraminifères du Jebel Gorguès (Dorsale calcaire, Rif). *Not. Mém. Serv. Géol. Maroc*, Tome n°2, 21, 156, 105-128.
- Hlila R. (2005) : Évolution tectono-sédimentaire tertiaire au front ouest du domaine d'Alboran (Ghomarides et Dorsale calcaire). Thèse de Doctorat, Univ. Abdelmalek Essaâdi de Tetouan, 351p.
- Kornprobst J. (1974) : Contribution à l'étude pétrographique et structurale de la zone interne du Rif (Maroc septentrional). *Not. Mém. Serv. Géol. Maroc*, 251, 226 p.
- Kornprobst J. & Durand-Delga M. (1985) : Carte géologique du Rif au 1:50.000. Feuille de Tétouan. *Notes & Mém. Serv. Géol. Maroc*, 294.
- Lahmidi S. (2022) : Caractérisation et valorisation du patrimoine géologique pour un développement durable de la région de Zagora (Anti-Atlas Central, Maroc). Thèse de doctorat, Univ. Mohammed V de Rabat, 212p.
- Maâté A. (1996) : Estratigrafía y evolución paleogeografía alpina del dominio Ghomarides (Rif interno, Marruecos). Tesis doctoral, departamento de estratigrafía y paleogeografía, instituto andaluz de ciencias de la tierra, universidad de granada. 317p.
- Maâté A., Martín-Algarra A. & Serrano F. (1993a) : El Terciario de la unidad de Saaden ("Dorsal" externa, Rif septentrional, Marruecos). *Geogaceta*, 14, 91-93.
- Maâté A., Martín-Algarra, A., O'dogherty, L., Sandoval, J. & Baumgartner, P.O. (1993b) : Découverte du Dogger dans la Dorsale calcaire interne au Sud de Tétouan (Rif septentrional, Maroc). Conséquences paléogéographiques. - *C.R. Acad. Sci. Paris*, 317, Ser. II, pp. 227-233.
- Maâté A., Solé De Porta N. & Martín-Algarra A. (1993c) : Données paléontologiques nouvelles sur le Carnien des séries rouges Maghrebides (Ghomarides et Dorsale calcaire du Rif septentrional, Maroc). *C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 316, Série II, p. 137-143.
- Mirari S. (2021) : Développement du tourisme durable à travers l'approche du marketing territorial dans les Oasis de l'Oued Noun (Province de Guelmim-Maroc). Thèse de doctorat, Univ. Mohammed V de Rabat, 172p.
- Skakni O. (2020) : Etude de la déformation durant le tertiaire et apport de la géomatique et de la télédétection dans la cartographie de la fracturation dans la dorsale calcaire au sud de Tétouan (Rif interne septentrional, Maroc, Thèse de doctorat, Univ. Abdelmalek Essaâdi de Tetouan, 209p.
- Skakni O., Hlila R., Beiranvand Pour A., Martín Martín M., Maate A., Maate S, M. Muslim A. & Shawkat Hossain M. (2021) : Integrating remote sensing, GIS and in-situ data for structural mapping over a part of the NW Rif belt, Morocco, *Geocarto International*, 37:11, 3265-3292, DOI: <https://10.1080/10106049.2020.1852611>
- Wildi W., 1983. La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. *Revue de géologie dynamique et de géographie physique*, 24, pp. 201-297.
- Wildi W., Nold M. & Uttinger J., 1977 : La Dorsale calcaire entre Tétouan et Assifane (Rif interne, Maroc), *Eclogae Geologicae Helvetiae*, Vol. 70/2, pp.371-415.

La vallée du Bou Regreg, zone de Rabat-Tiflet, Meseta marocaine nord-occidentale : un site patrimonial à protéger

Ahmed El Hassani

Académie Hassan II des Sciences et Techniques
a.elhassani@academiesciences.ma

Résumé

La zone de Rabat-Tiflet, localisée au nord-ouest de la Meseta marocaine, représente un secteur-clé du Maroc hercynien en raison de l'ancienneté de sa structuration et de sa richesse géologique. Elle se divise en deux entités majeures : le bloc métamorphique des Sehoul, au nord, et l'axe sédimentaire du Bou Regreg, au sud, séparés par un contact chevauchant. Le bloc des Sehoul se distingue par une série détritique cambrienne interprétée comme un système deltaïque, dont l'âge, initialement estimé au Cambrien moyen, s'étend potentiellement à l'Ordovicien inférieur, comme l'indique une faune fossile variée. L'Ordovicien du Bou Regreg, à faciès grésopélitique avec intercalations volcaniques, est daté de l'Arenig moyen au Llanvirn inférieur. La série de Tiflet montre une séquence rétrogradante liée à une régression. Une lacune sédimentaire de 45 Ma précède une transgression silurienne, marquant l'édification d'une plateforme carbonatée durable jusqu'au Givétien, malgré des instabilités dès le Lochkovien. Du Famennien au Viséen, l'ouverture du bassin de Sidi Bettache est marquée par une sédimentation distensive chaotique, puis une évolution vers des dépôts plus réguliers. La région a subi une phase calédonienne compressive, avec un métamorphisme ordovicien (~450 Ma) dans les Sehoul, et une schistosité évolutive. La phase hercynienne, plus modérée, affecte principalement la bordure nord de la Meseta avec des plis E–W déversés au sud, une schistosité localisée et des structures chevauchantes réactivées. L'ensemble confère à la région une valeur patrimoniale majeure, comparable à d'autres provinces paléozoïques du Maroc, comme le Môle côtier ou l'Anti-Atlas.

Mots clés : Meseta, Bloc Sehoul, Akrech, Rabat-Tiflet, Ordovicien inférieur, Dévonien, Calédonien, Hercynien

Abstract

The Rabat-Tiflet zone, located in the northwest of the Moroccan Meseta, represents a key area of Hercynian Morocco due to the oldness of its structuration and its geological wealthiness. It is divided into two major parts: the Sehoul metamorphic Block to the north and the Bou Regreg sedimentary axis to the south, separated by a thrust fault. The Sehoul block is distinguished by a Cambrian detrital series interpreted as a deltaic system whose age, initially estimated to be Middle Cambrian, potentially extends to the Lower Ordovician, as indicated by a varied fossil fauna. The Bou Regreg Ordovician, characterized by sandstone-pelitic facies with volcanic intercalations, spans the Middle Arenig to Lower Llanvirn. The Tiflet series exhibits a retrograde sequence associated with a regression. A 45 Ma sedimentary gap precedes a Silurian transgression, marking the construction of a carbonate platform that lasted until the Givetian, despite instabilities during the Lochkovian. From the Famennian to the Viséan, the opening of the Sidi Bettache basin is marked by chaotic, distensive sedimentation, followed by an evolution towards more regular deposits. The region underwent a compressive Caledonian phase, with Ordovician metamorphism (~450 Ma) in the Sehoul and the development of an evolutionary schistosity. The Hercynian phase, which is more moderate, mainly affects the northern edge of the Meseta, characterized by E–W folds that are overturned to the south, localized schistosity, and reactivated thrust structures. The whole region holds a significant heritage value, comparable to other Paleozoic provinces in Morocco, such as the Coastal Block or the Anti-Atlas.

Keywords: Meseta, Sehoul Block, Akrech, Rabat-Tiflet, Lower Ordovician, Devonian, Caledonian, Hercynian

1. Introduction

La région de Rabat, située dans la partie occidentale de la zone Rabat-Tiflet et représentant l'extrémité nord de la Meseta occidentale marocaine, présente une composition stratigraphique et des caractéristiques structurales remarquables. Bien que n'affleurant que sur une superficie limitée de quelques kilomètres carrés, cette zone se distingue par une exceptionnelle diversité de faciès, essentiellement du Paléozoïque, une richesse paléontologique notable et une variété de structures géologiques, qui en font un véritable conservatoire naturel de l'histoire géologique régionale. À ce titre, elle pourrait être considérée comme un « mini-géoparc » à haute valeur scientifique, patrimoniale et pédagogique (El Hassani, 2022, 2025 ; El Hassani & Zahraoui, 1984).

Note : Le contenu de ce chapitre correspond à la version française enrichie du livret guide de l'excursion – encadrée par l'auteur – dans la région du Bou Regreg (au Sud-Est de Rabat), organisée à l'occasion du 57^e Congrès Annuel de l'AASP – The Palynological Society, tenu à Rabat du 22 au 26 avril 2025 (El Hassani, 2025).

Cependant, ce patrimoine géologique d'exception est aujourd'hui gravement menacé par l'exploitation intensive des calcaires dévoniens, destinés au concassage, dans les carrières situées de part et d'autre de l'Oued Bou Regreg. Cette activité extractive altère profondément l'intégrité des affleurements, compromettant ainsi leur valeur scientifique, pédagogique et patrimoniale. Il est dès lors impératif que les autorités administratives interviennent pour encadrer rigoureusement, voire interdire, ces pratiques destructrices qui compromettent un héritage naturel irremplaçable.

Il convient de saluer, à cet égard, la décision éclairée ayant conduit à la fermeture des carrières miocènes de l'Oulja à Salé, motivée par des considérations esthétiques et de qualité de vie pour les habitants des deux villes Rabat et Salé. Dans la même logique, la protection du site du Bou Regreg s'impose comme une priorité. Ce dernier possède toutes les qualités pour être érigé en laboratoire géologique à ciel ouvert, offrant un cadre idéal pour l'enseignement des sciences de la Terre, aussi bien au niveau de l'enseignement secondaire qu'à celui de l'université et de la recherche scientifique.

Les formations paléozoïques affleurent dans une zone structurale orientée est-ouest s'étendant sur une cinquantaine de kilomètres (Figs. 1, 2 et 3).

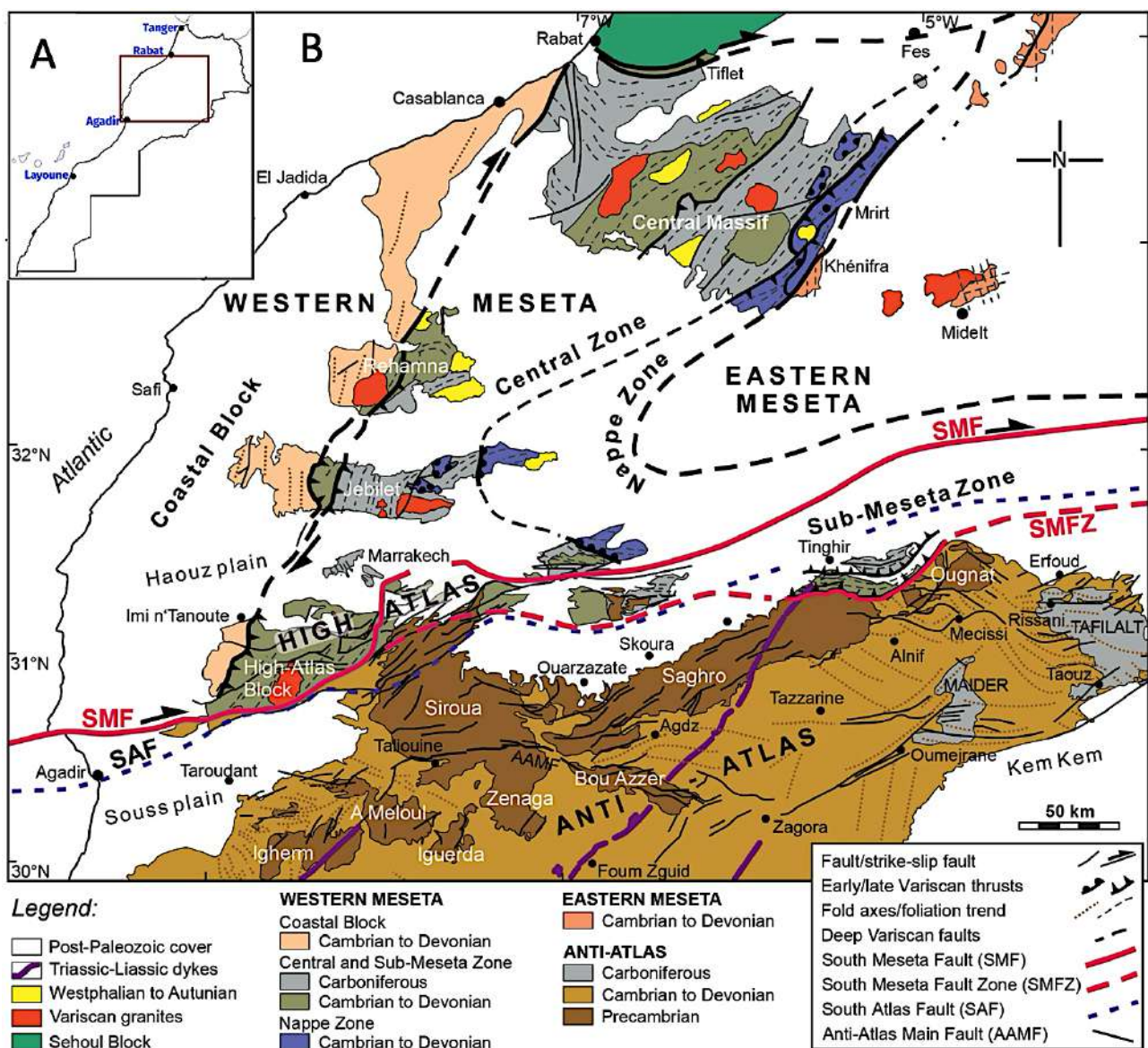


Figure 1 : A: Carte de situation; B: Carte structurale simplifiée de la Meseta marocaine et la partie NW de l'Anti-Atlas (Hoepffner et al., 2005, modifiée by Gibb et al., 2025), montrant les différentes zones. RTFZ: Rabat-Tiflet Fault Zone; WMSZ: Western Meseta Shear Zone; MMFZ: Middle Meseta Fault Zone; SMFZ: South Meseta Fault Zone.

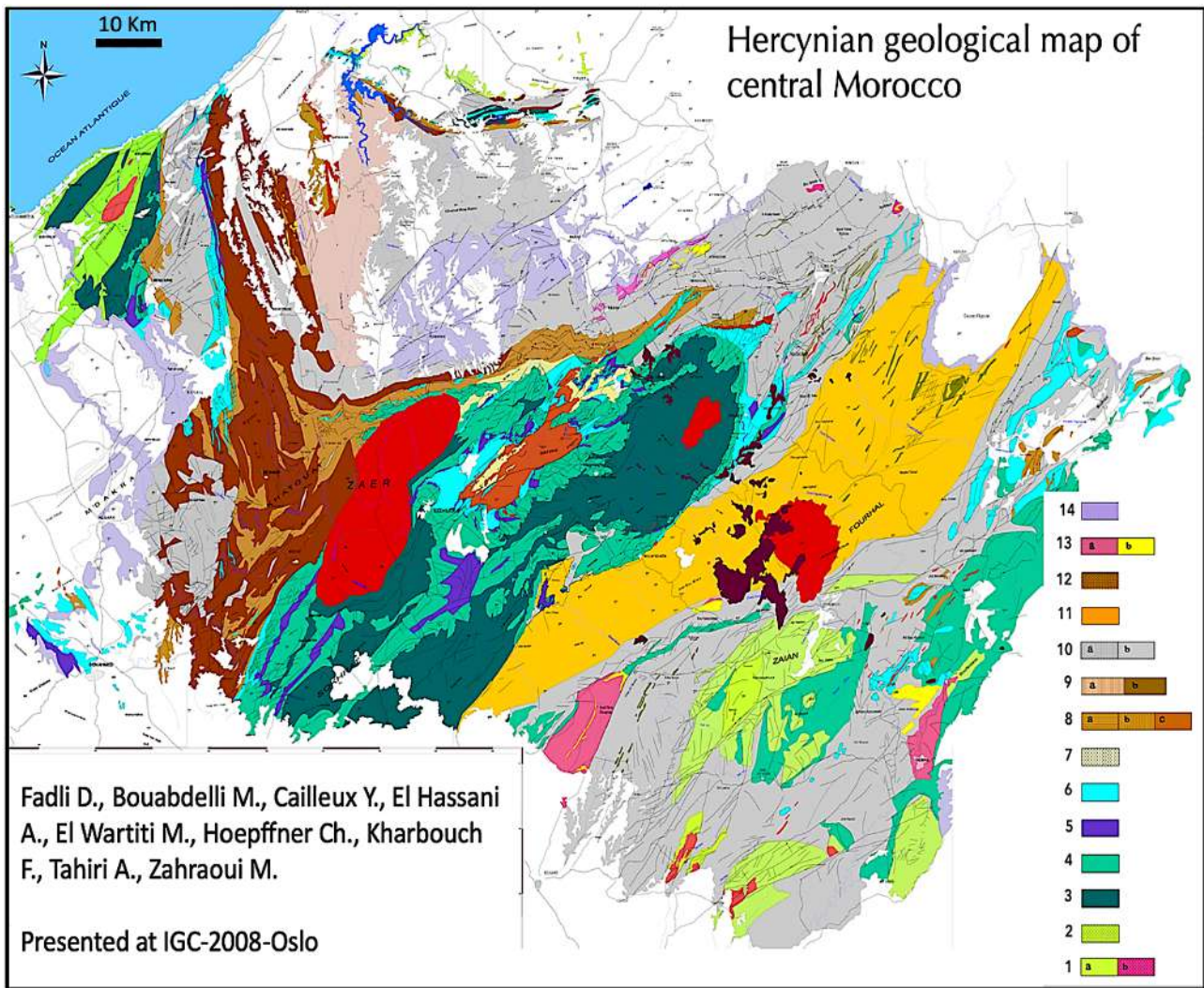


Figure 2 : Carte géologique du Maroc central (Fadli et al., 2008). 1. Cambrien (a : grauwackes, siltstones et quartzites ; b : trachyandésites et rhyolites) ; 2. Cambrien-Ordovicien (quartzites de Zain et phyllades du bloc de Sehoul) ; 3. Ordovicien inférieur ; 4. Ordovicien supérieur ; 5. Silurien ; 6. Dévonien inférieur-moyen ; 7. Dévonien indifférencié ; 8. Dévonien supérieur et Tournaisien ; 9. Viséen inférieur ; 10. Viséen moyen, supérieur et Namurien inférieur ; 11. Namurien supérieur – Westphalien inférieur ; 12. Westphalien supérieur ; 13. Stéphanien – Permien ; 14. Trias.

Trois unités structurales ont été identifiées du nord au sud (El Hassani, 1990). Des marnes miocènes recouvrent ces formations en discordance angulaire.

- Le bloc de Sehoul est considéré comme un « terrain suspect » qui affleure à la limite nord-ouest de la Meseta nord-ouest dans une zone restreinte, mais est surtout recouvert par les marnes miocènes-pliocènes de l'avant-pays du Rif. Ce bloc est principalement constitué de roches du Cambrien et de l'Ordovicien inférieur.
- La zone sédimentaire de Bou Regreg est constituée de grès et de schistes de l'Ordovicien inférieur alternant avec des roches volcaniques. Ces roches sont recouvertes transgressivement par des calcaires et des schistes du Silurien au Dévonien moyen. Il existe une rupture sédimentaire majeure de Llandeilo jusqu'au Wenlock inférieur au moins. Les successions siluriennes et dévoniennes de la région de Rabat-Tiflet sont similaires à la série coïncidente de Bohême (Alberti, 1969, 1968).
- La bordure nord du bassin de Sidi Bettache comprend des coulées de débris et des conglomérats du Dévonien supérieur et du Carbonifère inférieur.

Cette région était structurée au Calédonien pour le bloc de Sehoul, et par la suite, toute la zone a été affectée par des événements hercyniens.

attribués au Permien par Savornin (1921), ont été reclassés au Viséen inférieur par Cogne et Danzé-Corsin (1960). Parallèlement, Rousselle (1961) s'est penché sur le Silurien de la même région, proposant un lien faunique entre le Maroc et la Bohême, hypothèse affinée par Alberti et al. (1966). Ce dernier a par la suite décrit plusieurs faunes de trilobites dans cette région et qui ont une affinité bohémienne (Alberti, 1968, 1969, 1970, 1971 et 1977).

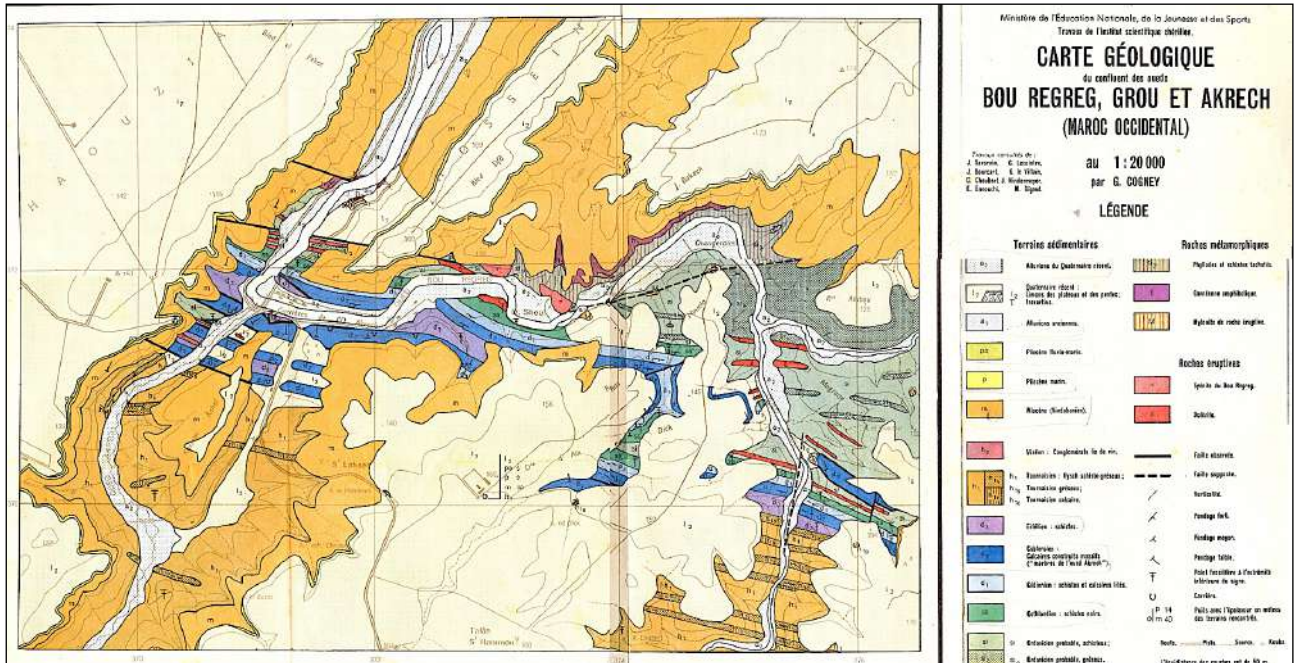


Figure 4 : Carte géologique du confluent des oueds Bou Regreg, Grou et Akrech, Maroc occidental (Cogney, 1957).

Les études micropaléontologiques de Rahmani (1978) ont révélé, dans les séries ordoviciennes de Rabat, une association d'Acritarches et de Chitinozoaires témoignant d'âges arénigien et llanvirnien. Les recherches d'El Hassani (1987) et El Hassani et al. (1988a, 1988b) ont ensuite permis d'identifier des assemblages de trilobites et de graptolites, précisant l'attribution de ces dépôts à l'Arenig moyen.

L'étude géologique du Dévonien dans cette région a connu une évolution importante tout au long du XXe siècle. Dès 1921, Savornin identifia les calcaires massifs de Rabat, qu'il attribua au Carbonifère inférieur, et reconnut une structure synclinale au confluent des oueds Akrech et Bou Regreg. En 1933, Lecoindre, puis Lecoindre et Delépine, identifièrent pour la première fois des affleurements dévoniens dans les gorges de Khaloua et au sud de Tiflet, attribuant ces calcaires au Gothlandien (Silurien), ainsi que les pélites sus-jacentes (shistes carton). Cette interprétation fut révisée par Choubert et Hindermeier (1948), qui découvrirent des brachiopodes du genre *Hercynella*, indiquant un âge lochkovien. La cartographie effectuée par Cogney (1957) à l'échelle 1:20.000, combinée à l'inventaire des sites fossilifères, permit une datation plus fine: les calcaires de l'oued Akrech furent classés comme coblenciens, et les pélites sus-jacentes comme eiféliennes.

Un cadre stratigraphique plus détaillé émergea avec les travaux d'Alberti, Hollard et Willefert (1966), puis d'Alberti (1977), notamment dans les coupes de l'oued Bou Regreg. On y retrouva *Monograptus hercynicus* Perner, des Tentaculites et des trilobites caractéristiques du Lochkovien supérieur et du Praguén inférieur. Ces fossiles ont permis d'établir des corrélations avec les faunes de Bohême, du Harz et du Massif schisteux rhénan. Bien qu'Alberti ait proposé, entre 1971 et 1977, d'établir la rive droite du Bou Regreg comme stratotype de la limite Silurien-Dévonien, cette proposition fut rejetée en raison de la complexité tectonique polyphasée de la région et de l'exploitation industrielle des calcaires.

Parallèlement, d'importants changements paléo-environnementaux furent mis en évidence. Gendrot (1973) observa une transition sédimentaire majeure au cours du Dévonien inférieur et moyen sur une grande partie du Maroc. Les influences sahariennes du Paléozoïque inférieur laissèrent place à une vaste plateforme carbonatée

favorable au développement récifal. Cette plateforme s'étendait de l'actuelle côte atlantique à la région d'Oulmès à l'est, et plus au sud vers les Rehamna et les Jébilet, comme le montrent les travaux de Hollard (1967), Hollard et al. (1982) et Destombes et al. (1985).

Sur le plan structural, Piqué (1979) a proposé un modèle pour la Meseta nord-occidentale, suggérant que le bassin de Sidi Bettache s'est individualisé par subsidence relative à partir du Dévonien supérieur, entre des zones émergées formant des crêtes. La région de Rabat-Tiflet constituerait ainsi la bordure nord de ce bassin.

Les variations de faciès à l'échelle du Maroc témoignent néanmoins d'une importante diversité paléo-environnementale. Par exemple, dans la Meseta orientale, les recherches de Hoepffner (1977 ; 1978) dans la région de Tazekka ont identifié des dépôts détritiques composés de grauweekes, de microbrèches et de microconglomérats. Marhoumi et al. (1983) ont décrit des dépôts de flysch dans la boutonnière de Debdou. Plus tard, Hoepffner (1987) a reconnu des olistolites récifaux datant du Dévonien inférieur et moyen dans le Viséen de Zekkara et Jerrada, similaires à ceux de la Meseta occidentale.

Sur la base de ces observations, Piqué (1983), puis Piqué et Michard (1989), ont proposé un modèle paléogéographique distinguant quatre grandes zones durant le Dévonien inférieur et moyen dans la Meseta marocaine (Fig. 5) :

- le bloc de Sehoul, probablement émergé à l'époque, bordé au sud par un complexe récifal allant de Rabat à Tiflet ;
- une plateforme carbonatée dans la Meseta occidentale ;
- une deuxième plateforme carbonatée au sud-est de la Meseta oranaise/orientale ;
- une fosse profonde orientée NE–SW, dite « fosse d'Oujda–Marrakech », séparant les deux plateformes et caractérisée par des dépôts pélagiques et détritiques.

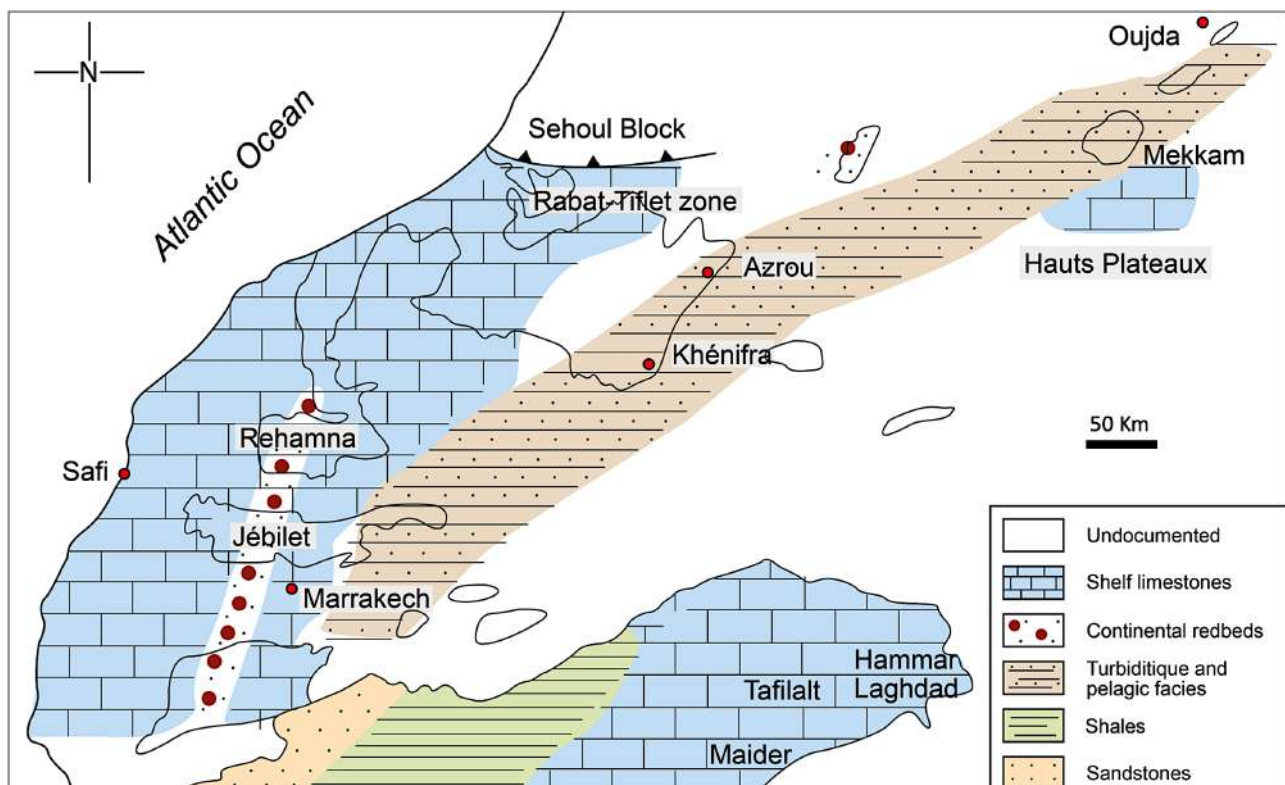


Figure 5: Faciès sédimentaires du Dévonien inférieur du nord du Maroc ; les séries sont dessinées à leurs emplacements actuels (d'après Piqué & Michard, 1989 ; El Hassani 2023, modifié).

Dans les travaux récents, les subdivisions stratigraphiques proposées par Alberti (1969) pour le Dévonien restent globalement suivies, à l'exception de l'Eifelien, désormais intégré à l'Emsien supérieur, d'après des comparaisons avec les « schistes de Daleje » en Bohême (selon une communication orale du professeur O.H.

Walliser). Ces contributions successives ont permis d'affiner considérablement la compréhension du Dévonien dans la région de Rabat-Tiflet, illustrant l'évolution progressive des interprétations géologiques à travers le temps (El Hassani & Zahraoui, 1984, El Hassani, 1990 ; El Hassani, 2022).

3. Traits majeurs de la zone de Rabat-Tiflet

3.1. Le Bloc des Sehoul : cadre géologique, lithostratigraphie et évolution tectono-métamorphique

La zone des Sehoul, également désignée sous le nom de Bloc de Sehoul (Piqué, 1979), représente l'extrémité nord-ouest de la Meseta occidentale marocaine. Située à la limite nord de la région Rabat-Tiflet, elle affleure sur une étroite bande visible dans les vallées des oueds Bou Regreg, El Hama et Tiflet. Au nord, cette zone est constituée de phyllades et quartzophyllades, qui s'enfouissent progressivement sous les dépôts tertiaires et quaternaires du bassin du Gharb (Figs. 7 et 8). Ces roches, actuellement métamorphiques, sont issues de séquences détritiques gréso-pélitiques épaisses de plusieurs centaines de mètres. Elles sont interprétées comme des dépôts deltaïques formés au Cambrien, voire à l'Ordovicien inférieur, et témoignent d'un métamorphisme régional de faible à moyen degré et d'une déformation associée à un événement orogénique calédonien (El Hassani, 1990).

La polarité sédimentaire, orientée du nord vers le sud, est mise en évidence par la préservation de structures sédimentaires primaires telles que granoclassements, laminations obliques et rides de courants à la base des bancs (ripple-marks). Les corrélations lithostratigraphiques avec les séries cambriennes de la Meseta, notamment les « schistes à trous », permettent une attribution au Cambrien moyen (Piqué, 1979), confirmée par les découvertes paléontologiques d'El Hassani & Willefert (1990). Ces derniers ont identifié deux sites fossilifères : l'un contenant des trilobites de la famille des Solenopleuridae (*Parasolenopleura* sp.), l'autre des traces d'*Oldhamia* associées à des Lingules, Hyolithidés et fragments de trilobites. La possibilité d'une extension vers l'Ordovicien inférieur demeure toutefois ouverte.

Le Bloc des Sehoul est constitué de plusieurs lentilles granitiques de tailles variées, principalement sous forme de lentilles tectoniques. Certaines affleurent dans la région de Rabat, notamment à Bled Dfa et dans le déversoir du Barrage Sidi Mohamed Ben Abdellah. D'autres sont submergées par les eaux du barrage, comme le granite de Sidi Ahmed (Garcia, 1960), et ont également été signalées dans des sondages au nord de Tiflet par la SCP (Fig. 6). Deux générations de granite déjà évoquées par Wipperf (1955) sont présentes dans cette région :

- **Les granites de Rabat :** Ce sont des roches grenues identifiées dans la série azoïque, initialement désignées sous le terme de syénites par Lecointre (1933), une appellation reprise plus tard par Cogney (1957). Dans une étude plus récente, Garcia (1961) a requalifié ces roches en les décrivant soit comme des granites pauvres en quartz, à prédominance de feldspaths potassiques (granite de Mechra Nouala), soit comme des granites calco-alcalins à biotite (granite de Sidi-Ahmed situé en $x=377,2$ et $y=372,6$, actuellement submergé par les eaux du barrage). Ces formations se trouvent dans le Bloc des Sehoul et présentent un métamorphisme de contact à Biotite et andalousite (El Hassani, 1990). Les granites de la région de Rabat ont fait l'objet d'une datation géochronologique préliminaire par Charlot et al. (1973), qui ont obtenu un âge de 430 ± 2 Ma pour le granite de Sidi Ahmed, situé à la limite Ordovicien-Silurien. Ce site étant désormais submergé, il ne permet malheureusement plus de vérification ou d'analyses actualisées. Plus récemment, Tahiri et al. (2010) ont repris l'étude des lentilles tectoniques de Rabat et ont proposé des âges avoisinant 367 ± 8 Ma, correspondant à la fin du Dévonien supérieur (limite Frasnien-Famennien).
- **Le granite de Tiflet** a été initialement décrit par Lecointre (1933) sous l'appellation de granite de Taïcha, puis attribué à une période anté-ordovicienne par Wipperf (1955). À l'exception de la lentille granitique de l'oued El Atchane, située dans le Bloc des Sehoul, l'ensemble des autres affleurements granitiques, notamment ceux de Taïcha et de Sidi Bou Jemaa, se localisent au sein de l'axe sédimentaire du Bou Regreg, où aucun métamorphisme de contact n'a été observé dans les formations encaissantes, ce qui suggère une mise en place antérieure à l'Ordovicien (El Hassani, 1990). Cette interprétation a été

corroborée par Tahiri et al. (2010), qui proposent pour ces granites un âge plus ancien, remontant au Néoprotérozoïque (605 ± 4 Ma).

La déformation calédonienne s'est traduite par la formation de plis isoclinaux d'échelle variable : décimétriques à l'échelle régionale, centimétriques à Kern Nesrani, et millimétriques dans la zone du barrage Sidi Mohammed Ben Abdellah. Ces structures, généralement orientées entre N 50° et N 70°, présentent une inclinaison ou un renversement vers le sud-est. Elles sont contemporaines d'une schistosité qui évolue, du nord au sud, d'un clivage pression-solution espacé à une foliation pénétrative.

Parallèlement à cette évolution structurale, un gradient métamorphique croissant vers le sud-est a été observé. Une datation isotopique K/Ar sur micas indique un âge de 450 ± 10 Ma, correspondant à l'Ordovicien moyen (El Hassani, 1990). Toutefois, cet âge pourrait être légèrement surestimé, en raison du caractère hérité des minéraux analysés (El Hassani et al., 1991).

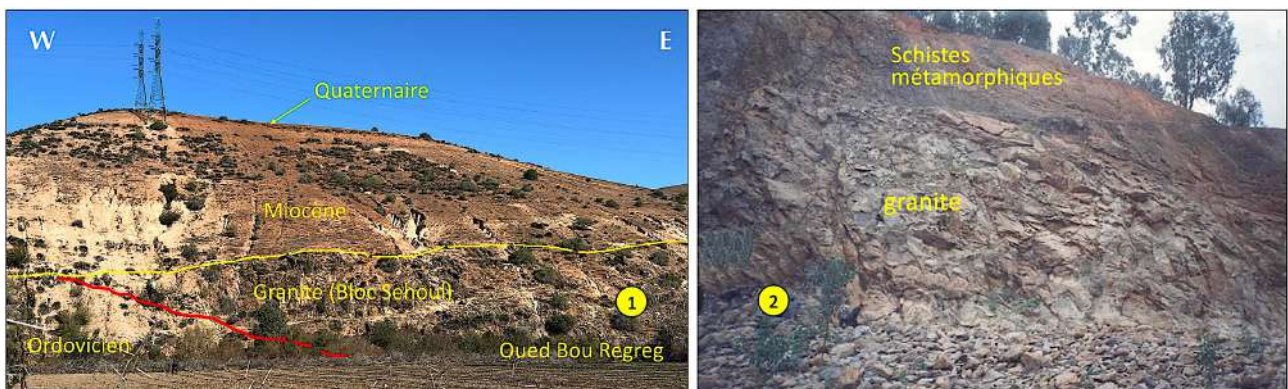


Figure 6 : Les granites de Rabat : 1. Lentille granitique du Bloc des Sehoui à Bled Dfa, en contact tectonique chevauchant mylonitisé avec l'Ordovicien (la ligne rouge marque le chevauchement des granites sur l'Ordovicien du Bou Regreg, tandis que la ligne jaune représente la transgression miocène recouvrant le Paléozoïque de la région de Rabat) ; 2. Lentille tectonique du granite dans le déversoir du Barrage de Rabat montrant plusieurs fractures, entouré de schistes à andalousite et biotite du Bloc des Sehoui.

Sur le plan régional, l'extension du Bloc de Sehoui vers le nord sous l'avant-pays rifain occidental est envisageable. Ainsi, le sondage MAM1, foré à une dizaine de kilomètres au sud de Kénitra, a révélé une série paléozoïque composée de schistes chloriteux verts à noirs, plissés, avec des intercalations de grès chloritiques et de quartzites (Wdowiarz, 1987). Ces données suggèrent la présence du socle mésetien sous la plaine du Gharb. Des indices de granites, probablement intrusifs, ont également été détectés près de Sidi Kacem. Ces affleurements sont à rattacher au Bloc des Sehoui (El Hassani, 1990).

Plus à l'est, dans la région de Fès, l'existence de galets granitiques et rhyolitiques dans les conglomérats dévoniens de l'Emsien (synclinal d'Imouzer Kandar) indique la possible extension du socle néoprotérozoïque de la zone Rabat-Tiflet (Charrière & Regnault, 1989 ; Aboussalam et al., 2020 ; Tahiri et al., 2022). Néanmoins, aucune preuve formelle ne permet d'affirmer que cette extension concerne spécifiquement le bloc de Sehoui.

Dans la zone du barrage de Rabat, au sein du bloc des Sehoui, le métamorphisme de contact résulte de l'intrusion granitique tardi-ordovicienne qui a affecté les phyllades et quartzophyllades préexistantes. Ce métamorphisme se manifeste par la formation de porphyroblastes d'andalousite, de cordiérite, de biotite et de chlorite. La cordiérite, souvent pseudomorphosée en pinnite, montre une cristallisation post-cinématique alignée sur la schistosité régionale.

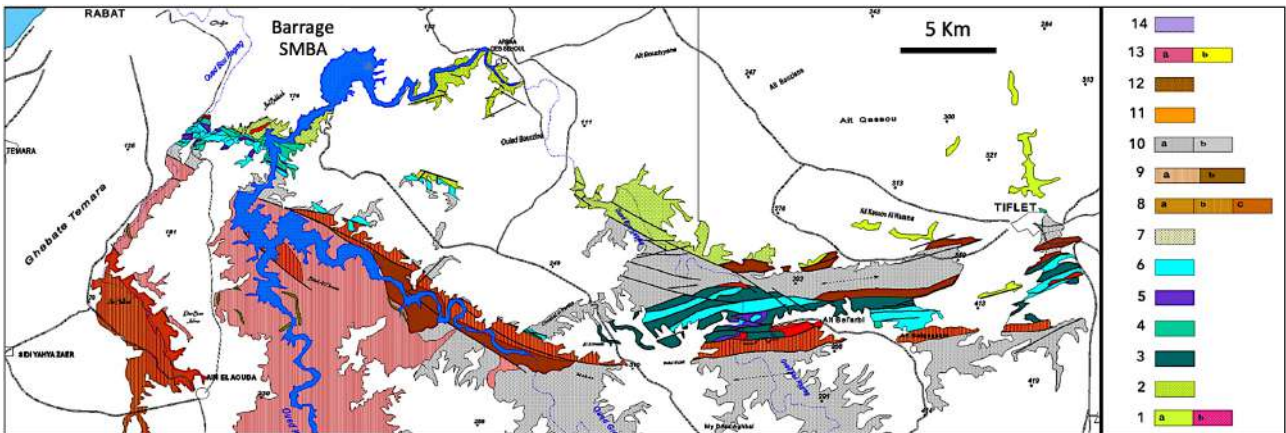


Figure 7 : Carte de la région de Rabat-Tiflet montrant les affleurements métamorphiques du bloc de Schoul (Calédonien) et le Couloir sédimentaire de Bou Regreg comme frontière nord du bassin de Sidi Bettache.

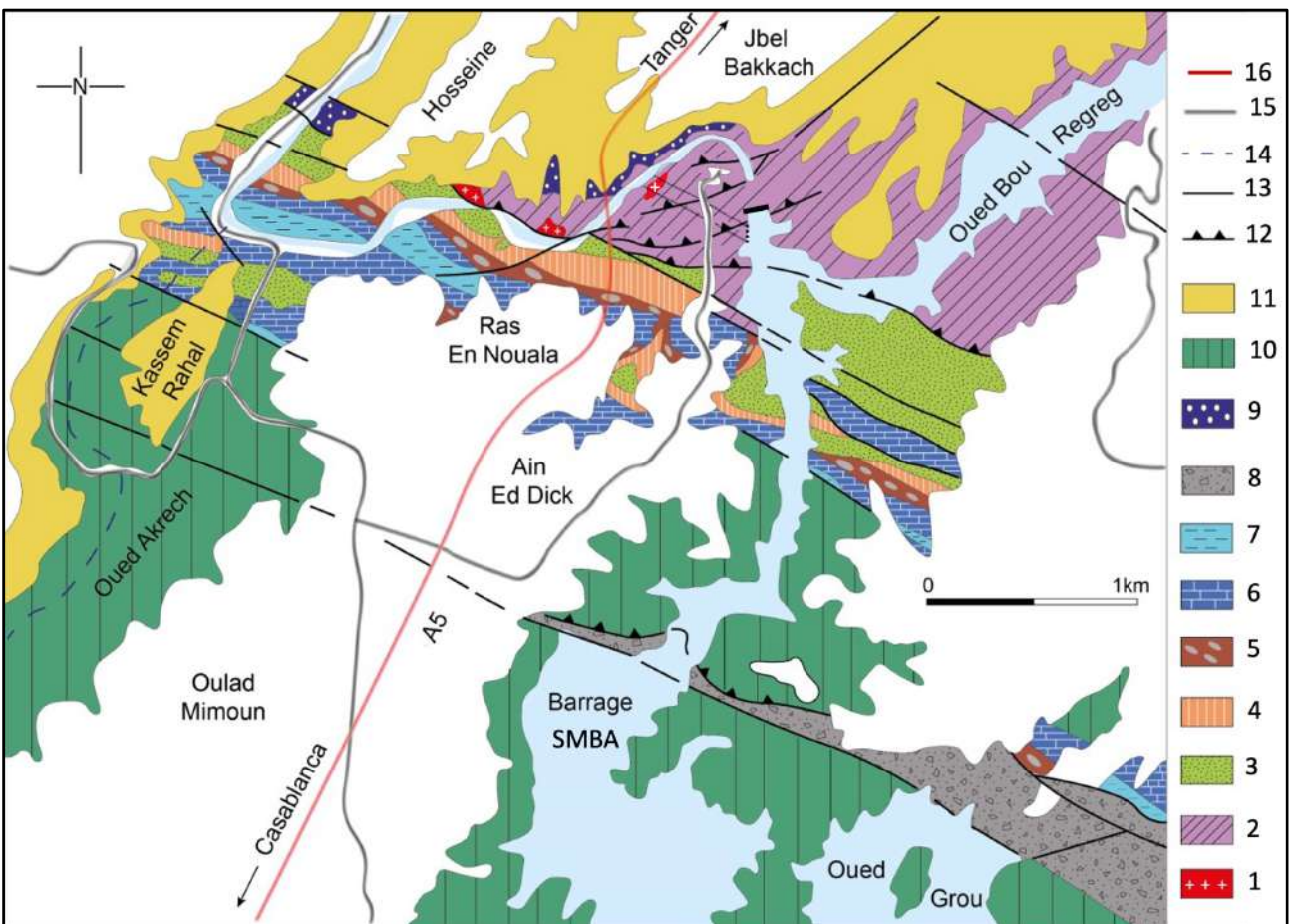


Figure 8 : Carte géologique simplifiée du Paléozoïque de la région de Rabat (El Hassani, 1990) : 1. Granitoïdes « calédoniens », 2. Cambrien du Bloc des Sehoul, 3. Ordovicien inférieur (Arenig/Llanvirn), 4. Silurien supérieur et Lochkovien, 5. Praguien, 6. Emsien calcaire, 7. Emsien supérieur (Dalejien), 8. Faménno-Tournaisien (coulée boueuse), 9. Viséen inférieur (conglomérats du Jbel Bakkach), 10. Tournaisien et Viséen, 11. Couverture Miocène et quaternaire, 12. Contact de chevauchement, 13. Failles (normale ou inverse), 14. Oued, 15. Route, 16. (A5). Autoroute Casablanca-Tanger, SMBA : Barrage Sidi Mohammed Ben Abdellah.

L'andalousite, quant à elle, présente des caractéristiques syncinématiques, notamment des ombres de pression dissymétriques et une schistosité interne courbe, et elle est fréquemment altérée en biotite ou en chlorite. La biotite apparaît soit en pseudomorphose, soit en cristaux indépendants recoupant la schistosité, ce qui traduit une croissance post-cinématique. Enfin, la chlorite est présente à la fois en remplacement rétrograde des autres minéraux et sous forme de porphyroblastes autonomes. L'ensemble de ces transformations met en évidence

l'importance de ce secteur comme témoin d'un métamorphisme thermique superposé à une structuration tectonique antérieure, faisant du site un remarquable exemple de métamorphisme de contact à haute valeur scientifique et pédagogique.

3.2. La zone sédimentaire du Bou Regreg

La série sédimentaire du Bou Regreg débute par des formations de l'Ordovicien inférieur, surmontées, après une lacune stratigraphique marquée, par le Silurien supérieur et le Dévonien. Ce dernier constitue un témoin significatif de la plateforme carbonatée de la Meseta occidentale, dont la fragmentation débute au cours du **Dévonien supérieur**, comme en témoignent les conglomérats de même âge. Ces conglomérats annoncent l'installation d'une nouvelle série sédimentaire attribuée au Dinantien, représentée par la Formation de l'oued Kourifla.

3.2.1. L'Ordovicien

Une bonne représentation de cette époque peut être observée sur la rive droite du Bou Regreg est facilement accessible depuis la route P4027 reliant Oulja (Salé) aux carrières d'Akrech, à proximité de l'ancienne ligne ferroviaire (c'est la coupe classique de Hosseine). Elle constitue le pendant structural de la coupe affleurant sur la rive opposée, bien que la base de cette dernière soit largement masquée par des formations récentes. Du nord vers le sud, en suivant une faille orientée N130°, la succession stratigraphique observée est la suivante (Figs. 9 et 10) :

- Couches volcaniques verdâtres fortement altérées.
- Barre de grès sub-verticale de 2 mètres d'épaisseur à patine beige, surmontée d'une séquence grésopélitique de 3 mètres, présentant des laminations entrecroisées orientées vers le sud ;
- Roches volcaniques en pillow-lavas, intercalées dans la série sédimentaire, sur une épaisseur d'environ 4 mètres ;
- Banc de quartzite, suivi d'un microgabbro intercalé, puis de pélites et de grès surmicacés bioturbés, formant un ensemble de près de 10 mètres ;
- Ensemble de roches basiques, comprenant gabbros altérés, spilites et pillow-lavas basaltiques, ces derniers sont enrobés dans une brèche volcano-sédimentaire ;
- Pélites micacées broyées, à structure amygdalaire, sur environ 3 mètres ;
- Filon-couche de gabbro altéré en boules, d'une épaisseur de près de 10 mètres
- Alternance de bancs ou lentilles de grès et de pélites surmicacées bioturbées. Ces niveaux présentent un plissement centimétrique et sont traversés par plusieurs systèmes de fractures, compliquant l'estimation de leur épaisseur réelle (Fig. 9-3) ;
- Enfin, pélites micacées fines, ponctuées de rares bancs gréseux vert foncé à noirs, atteignant une épaisseur cumulée de 20 mètres. Des niveaux fossilifères sont présents au sommet de cette séquence.

El Hassani (1990) a mis en évidence une macrofaune, au sein du dernier niveau de grès micacés clairs interstratifiés de niveaux pélitiques gris-noirs à beiges, situés environ 2 mètres sous le microconglomérat du Silurien supérieur, aux coordonnées $x = 371,7$ et $y = 371,95$. Cette macrofaune comprend plusieurs spécimens de brachiopodes, notamment *Orthambonites tifletensis* Havlíček, ainsi qu'un pygidium de trilobite plyoméridé (*Placoparia* sp., identifié par J. Destombes), confirmant que le sommet de la série appartient au Llanvirn. Ces dernières unités sont recouvertes par une alternance de schistes et de calcaires à graptolites datée du Silurien supérieur (Gorstien inférieur).

Notons par ailleurs que les intrusions volcaniques interstratifiées ne sont présentes que dans la zone de Rabat-Tiflet, au sein des couches argilo-silteuses de cette série sédimentaire. Les analyses chimiques indiquent que ces roches sont des basaltes indifférenciés, fortement altérés par spilitisation, dont la composition géochimique ressemble fortement à celle des laves calco-alcalines. Ces roches magmatiques distinguent cette région du reste de la Meseta marocaine durant l'Ordovicien inférieur (El Hassani, 1990).

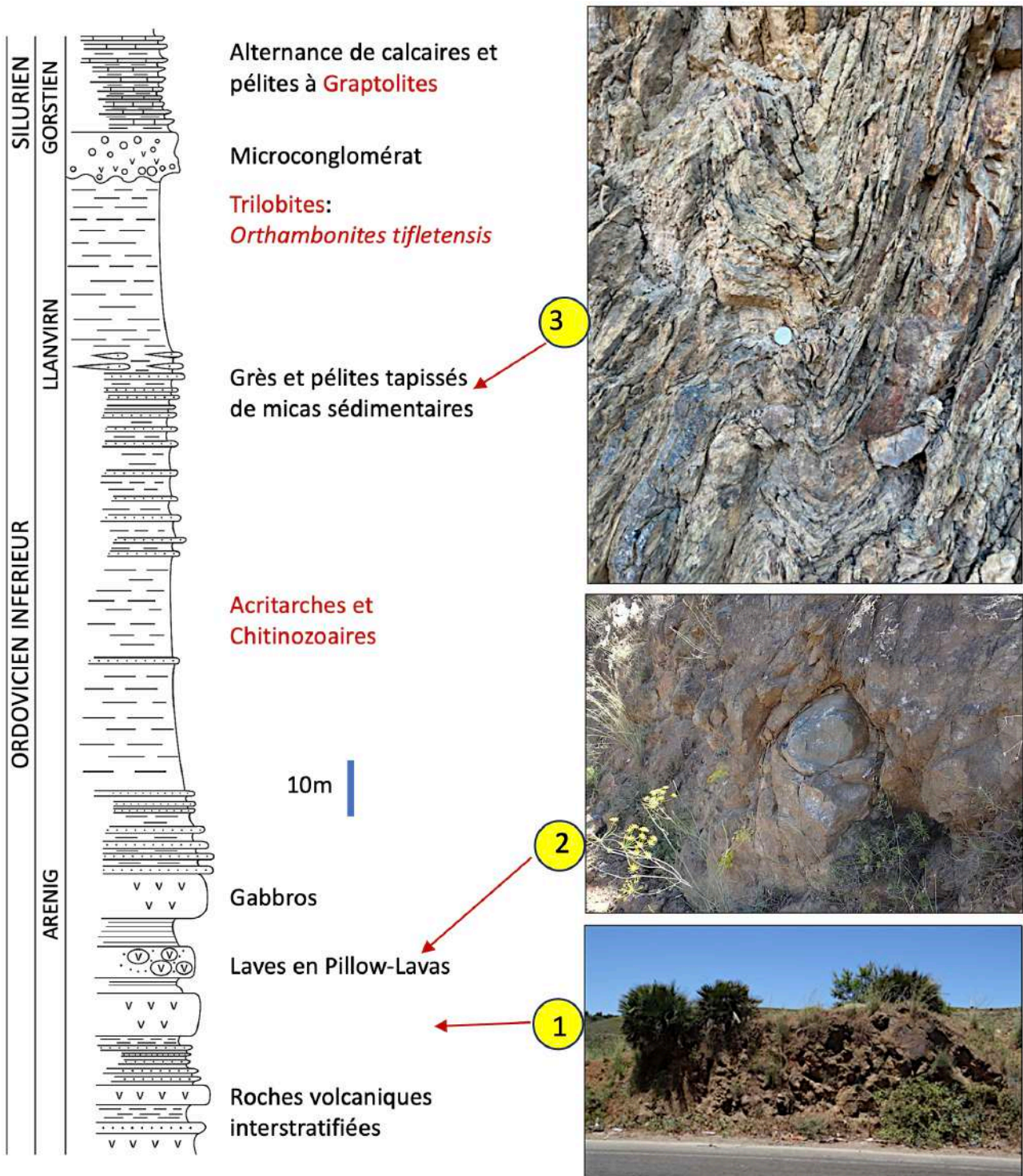


Figure 9 : Coupe ordovicienne de Hosseine, sur la rive droite du Bou Regreg (El Hassani, 1990). 1- Roches volcaniques interstratifiées ; 2- Structures en coussinets de laves ; 3- Alternance de grès micacés et de schistes, avec deux phases de plissement

Dans la coupe de Bled Dfa, située aux coordonnées $x = 372,3$ et $y = 372,17$, affleurent à la base des grès-pélites micacées, qui évoluent progressivement vers le sommet en pélites finement gréseuses, de teinte gris-vert sombre, finement micacées. C'est au sein de cette unité sommitale qu'a été mise en évidence une macrofaune remarquablement bien conservée. A cet égard, il faut signaler que ces formations ont été initialement attribuées à l'Ordovicien par Cogne (1957), bien qu'aucune preuve paléontologique n'ait alors été apportée pour en étayer la datation. Rahmani (1978) a tenté de dater cette coupe à travers les Acritarches et les Chitinozoaires ; ses recherches lui ont permis de distinguer deux zones dans la coupe de Hosseine :

- Dans la partie inférieure, une microflore comprenant des *Acanthodiacrodium* COMB., *Goniosphaeridium adligans* TIM., et *Baltisphaeridium brevispinosum* EIS. Cette association est caractéristique de la période arenigienne.
- Dans la partie supérieure, elle l'auteur a trouvé *Cyathochitina cf. calix* EIS., *Euconochitina cahydaea* JENK., *Goniosphaeridium cf. uncinatum* DOWN, et *Baltisphaeridium longispinosum* EIS. Cette association présente de fortes analogies avec celles du Llanvirn européen, permettant de l'attribuer au Llanvirn.



Figure 10 : Panorama montrant les affleurements de l'Ordovicien inférieur, le long de la route secondaire P4027.

Les travaux ultérieurs d'El Hassani et al. (1988) ont permis de combler la lacune chronostratigraphique en identifiant plusieurs niveaux fossilifères à macrofaune caractéristique de l'**Ordovicien**, dans la région de Rabat. Deux sites principaux ont été mis en évidence :

- Le premier, situé à Bled Dfa, a livré une association riche en trilobites, graptolites et ostracodes ;
- Le second, localisé à Hosseine, sur la rive droite de l'oued Bou Regreg, a fourni un trilobite ainsi que plusieurs brachiopodes ;
- D'autres niveaux fossilifères ont également été signalés à proximité de l'oued Tiflet (El Hassani, 1990).

Les premières récoltes de fossiles, effectuées par El Hassani (1987) et ultérieurement enrichies, ont révélé une association diversifiée de trilobites, déterminés par Jacques Destombes. L'assemblage est dominé par *Ampyx* cf. *spongiosus* (famille des Rhaphiophoridae), accompagné de quelques céphalons de *Placoparia* (*Placoparia*) cf. *cambriensis* (*Pliomeridae*), d'un céphalon de *Prionocheilus* sp. (*Calymenidae*), ainsi que de restes fragmentaires attribués à cf. *Myttonia* sp. (*Trinucleidae*) et à un représentant indéterminé des *Asaphidae* (un pygidium). En complément de cette faune benthique, quatre spécimens de graptolites planctoniques, identifiés comme *Didymograptus* (*Didymograptellus*) gr. *protobifidus* (dét. S. Willefert), ont été observés. L'association comprend également des brachiopodes indéterminés, écrasés, ainsi que des ostracodes et des conularidés.

3.2.2. La période siluro-dévonienne

Dans la région de Rabat-Tiflet, la succession stratigraphique révèle une discontinuité majeure marquée par une lacune estimée à environ 45 millions d'années, correspondant à un hiatus allant du Llanvirn (Ordovicien moyen) à la fin du Gorstien (Silurien supérieur). Cette interruption sédimentaire est généralement attribuée

aux mouvements tectoniques calédoniens, responsables de l'émergence de la zone et de l'arrêt de la sédimentation durant une grande partie de l'Ordovicien moyen et supérieur ainsi que du Silurien inférieur (El Hassani, 1991). La lacune s'exprime clairement dans les coupes de Rabat-Tiflet par une discordance cartographique entre les niveaux ordoviciens inférieurs (Arenig) et les dépôts siluriens qui les recouvrent (Figs. 11 et 12).

a. Le Silurien

Les premières formations post-lacune, datées du Silurien supérieur (Gorstien et Ludfordien), consistent en une alternance de pélites et de calcaires à graptolites, déposées dans des conditions relativement calmes, témoignant d'une reprise progressive de la sédimentation marine. Ces formations marquent le début d'une transgression qui inaugure le cycle varisque (hercynien) dans cette partie de la Meseta. Cette reprise sédimentaire s'exprime dans les coupes régionales, notamment entre Rabat et Tiflet, par un niveau basal microconglomératique, suivi de dépôts fins comprenant schistes et calcaires avec une faune riche en Graptolithes, Trilobites, Orthocères et Brachiopodes.



Figure 11 : Panorama montrant la séquence siluro-dévonienne de la rive droite de l'oued Bou Regreg (Coupe Hosseine)

Les faciès siluro-dévonien de Rabat-Tiflet, dominés par une sédimentation pélagique, évoquent ceux d'une mer ouverte et stable, comparables à ceux décrits dans le Barrandien (Bohême). Cependant, dès le Lochkovien, les premiers signes d'instabilité apparaissent, et les mouvements tectoniques précurseurs deviennent bien individualisés au Praguien, notamment par la présence de slumps dans les coupes du Bou Regreg et de Tiflet. Le milieu marin devient progressivement moins profond, favorisant, à l'Emsien, le développement d'une vaste plateforme carbonatée, connue à l'échelle de la Meseta occidentale (El Hassani, 2022, 2023 et 2025).

b. Le Dévonien

Le Lochkovien

Le Lochkovien est en continuité stratigraphique avec le Silurien supérieur. La coupe type est celle de Bled Dfa qui se compose des unités suivantes (Fig. 12) :

- Les premières couches sont constituées de calcaires noirs, laminés, contenant des crinoïdes. Ces niveaux, d'épaisseur comprise entre 20 et 40 cm, sont disposés en bancs plats et alternent avec des niveaux pélitiques noirs contenant *Monograptus uniformis* ;

- Des pélites noires laminées, riches en graptolites (*Monograptus microdon*), présentent dans leur partie supérieure des morphologies nodulaires ou lenticulaires associées à des bancs de calcaires plats ;
- Des alternances de bancs de calcaire noir laminé (10 à 20 cm d'épaisseur) et de niveaux pélitiques noirs plus épais à structure en plaquettes ;
- Enfin, la série lochkovienne se termine par des alternances de calcaires noirs laminés, de 10 à 30 cm d'épaisseur, à fracturation en plaquettes, intercalés de bancs pélitiques.

Les premières manifestations d'une tectonique synsédimentaire apparaissent à la base du Lochkovien, sous forme de failles normales à rejet centimétrique. La transition entre les calcaires laminés du Lochkovien et les calcaires nodulaires du Praguien est rapide, rendant cette limite facilement cartographiable. Elle reflète un changement paléogéographique significatif.

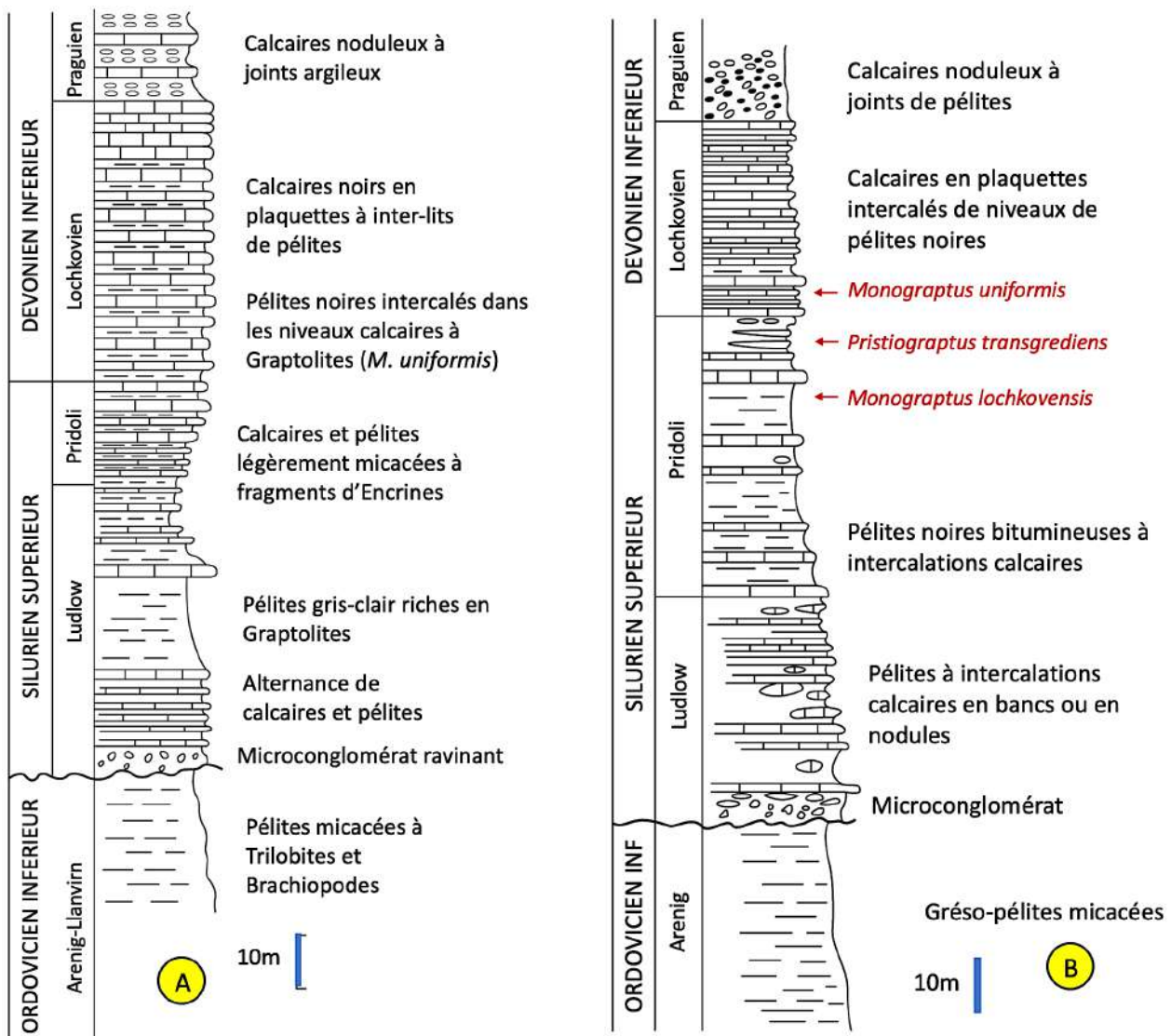


Figure 12 : La série siluro-dévonienne du Bou Regreg : A- coupe de Hosseine et B- coupe de Bled Dfa.

Le Praguien

Du bas vers le haut, le Praguien est constitué de la série suivante (Fig. 13) :

- Calcaires fins (microsparites), aplatis et inclus dans une matrice pélitique verdâtre ou noirâtre, formant des nodules centimétriques. Ces pélites représentent 10 à 20 % du volume total de la roche. L'ensemble constitue des « calcaires griottes » ;

- Bancs centimétriques et nodules calcaires présentant des signes de glissements synsédimentaires (slumps) ;
- Bancs lenticulaires gris clair, contenant des Tentaculites et des empreintes fossiles, probablement de Brachiopodes, séparés par des joints pélitiques millimétriques ;
- Calcaires noduleux bien différenciés, avec des joints pélitiques centimétriques, verts ou noirs.

Les niveaux praguïens situés sur la rive gauche de l'oued Bou Regreg (au nord de l'oued Akrech) présentent des surfaces d'érosion (« ravinements ») soulignées par des croûtes ferrugineuses minces.

L'Emsien

La transition entre le Praguïen et l'Emsien est nette, marquée par la disparition des calcaires griottes et l'apparition de calcaires à éléments siliceux sous forme de nodules ou bancs centimétriques (cherts). Les couches calcaires affleurent le long de la route P4025, sur la rive gauche de l'oued Bou Regreg, surmontées par de vastes affleurements pélitiques de l'Emsien supérieur (schistes de Daleje). Toutefois, le contact entre ces deux unités peut être stratigraphique, érosif ou tectonique. Les nombreuses carrières du synclinal de Bou Regreg permettent l'observation de cette série en coupes perpendiculaires à la stratification (Fig. 13), on distingue ainsi :

- Calcaires litées, en bancs atteignant parfois un mètre d'épaisseur, pour une épaisseur totale conservée de 30 mètres. Des niveaux ou nodules siliceux sont intercalés entre les bancs calcaires.
- Calcaires massifs ou à structure bâtie, d'épaisseur réelle difficile à évaluer sur ce site. Ils sont souvent tronqués sur plusieurs dizaines de mètres par une érosion antérieure à l'Emsien supérieur ou par la tectonique hercynienne. Les données issues des coupes voisines suggèrent une épaisseur d'environ 100 mètres.
- Calcaires litées, de quelques centimètres à plusieurs décimètres d'épaisseur, séparés par des joints pélitiques vert-gris. Le sommet de ces unités, ainsi que les schistes noirs sus-jacents, contiennent des goniatites (*Anarcestes lateseptatus* BEYRICH, détermination : O. Walliser), ce qui permet d'attribuer ces niveaux à l'Emsien supérieur (communication orale d'O. Walliser), et non à l'Eifélien comme proposé auparavant par Alberti (1969).

Les pélites gris-noir, qualifiées de « schistes carton », forment le cœur du « synclinal des carrières », avec quelques Goniatites (*Anarcestes lateseptatus*) et Trilobites (*Phacops* sp.). Toutefois, dans plusieurs coupes, la limite calcaire/pélite correspond à une discontinuité sédimentaire soulignée par des niveaux de ravinement riches en fer. Cette transition traduit le passage de la plateforme carbonatée emsienne à des dépôts pélagiques à faune pélagique de l'Emsien supérieur (Dalejien).

Après l'ouverture du bassin de Sidi Bettache, le remplissage de celui-ci s'effectue du Famennien supérieur au Viséen supérieur (Piqué, 1979). Les marqueurs de cette ouverture sont présents dans la région de Rabat-Tiflet, qui constitue la bordure nord de ce bassin. C'est ce que Piqué (1979) a appelé la « Révolution famennienne ». Selon cet auteur, elle est marquée par une configuration de horsts et grabens. Dans la région de Rabat-Tiflet, un système de failles verticales orientées vers le Sud contrôle les pentes du bassin. La sédimentation qui caractérise la bordure sud de la région de Bou Regreg, à cette époque, est chaotique. En effet, on observe plusieurs cycles conglomératiques, des blocs d'avalanche, des cônes de dépôts de boues grossières, des coulées de boues fines, des olistolithes, des effondrements,... Des blocs de différentes tailles de calcaire récifal dévonien font partie de ces conglomérats (Figs. 8 et 15).

Au Viséen moyen, le bassin de Sidi Bettache s'est approfondi avec le développement de séquences grésopélitiques en régime subsident. La transgression du Viséen supérieur au cours des périodes précédentes correspond au remplissage final de ce bassin. Cette phase est marquée par des sédiments très peu profonds (notamment des sables et des microconglomérats, qui alternent avec des calcaires oolithiques en séquences décimétriques à métriques).

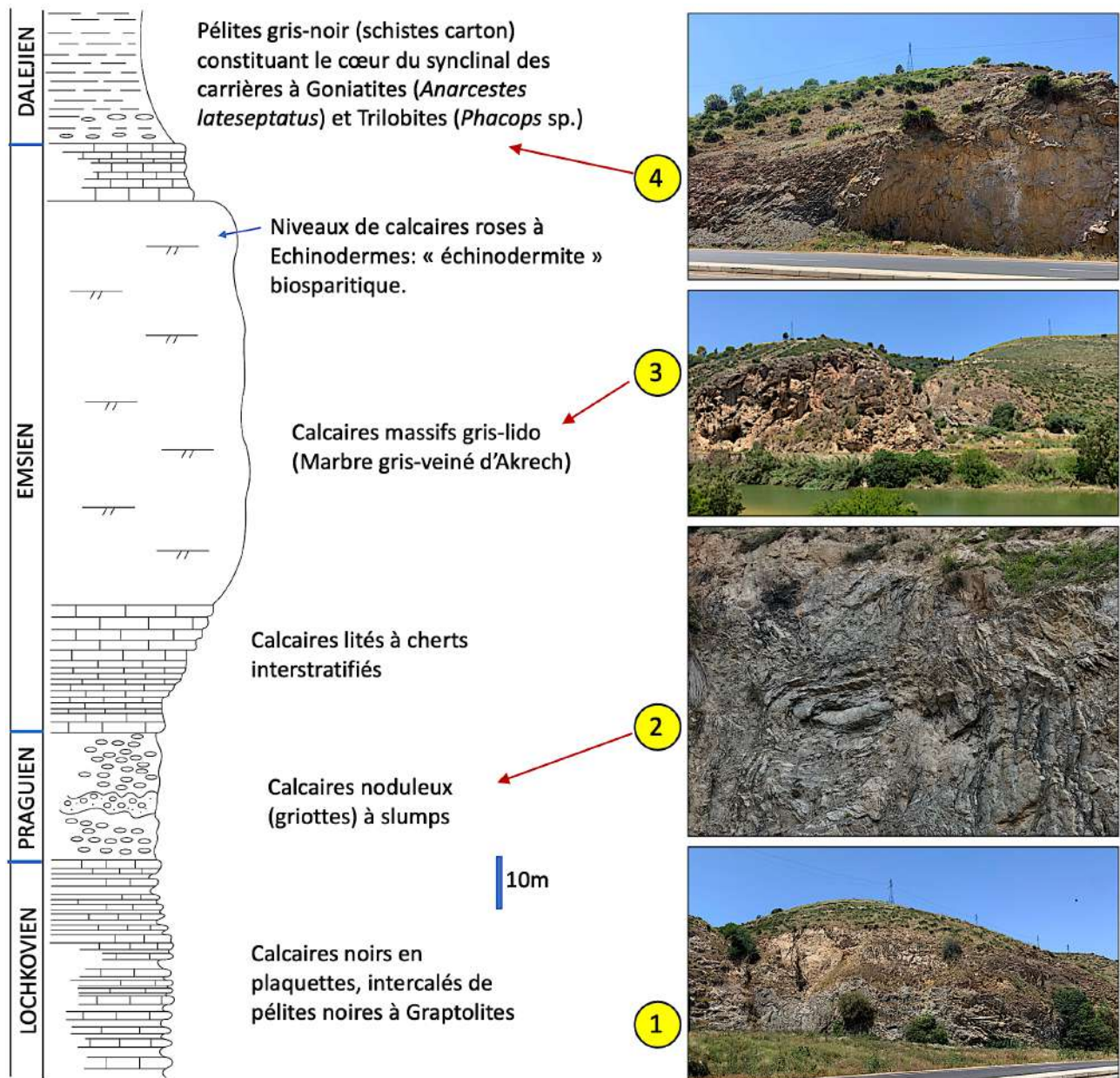


Figure 13: Coupe du Dévonien de la rive gauche du Bou Regreg (El Hassani, 1990). 1- Vue générale ; 2- Les calcaires nodulaires, griottes du Praguien à slumps ; 3- Les calcaires massifs de l'Emsien ; 4- Passage progressif entre les calcaires roses massifs de l'Emsien et les schistes cartons (Daleje-Shales) formant le cœur du synclinal des carrières.

Cette évolution des milieux de dépôt s'accompagne d'une transformation de la faune : d'abord pélagique, marquée par l'abondance des graptolites au Silurien et au Lochkovien, elle devient progressivement néritique, avec l'apparition d'encrinites, d'échinodermes, de polypiers, de bryozoaires et de tentaculites. À l'Emsien supérieur, des perturbations synsédimentaires sous forme de failles provoquent des variations latérales de faciès, avec des dépôts argileux dominants à Rabat et calcaires à Tiflet. La plateforme emsienne semble s'étendre jusqu'au Givétien (Gouwy et al., 2000), où elle donne lieu à la formation de calcaires récifaux, encore visibles aujourd'hui dans les carrières de l'oued Tiflet (El Hassani et al., 2025). Ces instabilités tectono-sédimentaires annoncent l'individualisation progressive du bassin de Sidi Bettache au cours du Dévonien supérieur et du Dinantien, dont la région de Rabat-Tiflet constitue la bordure septentrionale.

c. Le Famenco-Tournaisien et le Viséen inférieur dans la région de Rabat-Tiflet

Dans la région de Rabat-Tiflet, plusieurs coupes illustrent ce cycle sédimentaire. Nous décrirons ici les affleurements de l'Aïn Hallouf à l'ouest et ceux de l'oued Tiflet à l'Est.

Formation d'Aïn Hallouf : Les conglomérats famenno-tournaisiens affleurent dans la région d'Aïn Hallouf, au sud de Rabat, notamment le long de la route nationale menant vers Aïn El Aouda (Fig. 14 et 15). La coupe d'Aïn Hallouf, située à environ 20 km au sud de Rabat, s'étend le long de la vallée de l'oued Akrech, entre Sidi Bou Zekri au nord et Aïn El Aouda au sud.

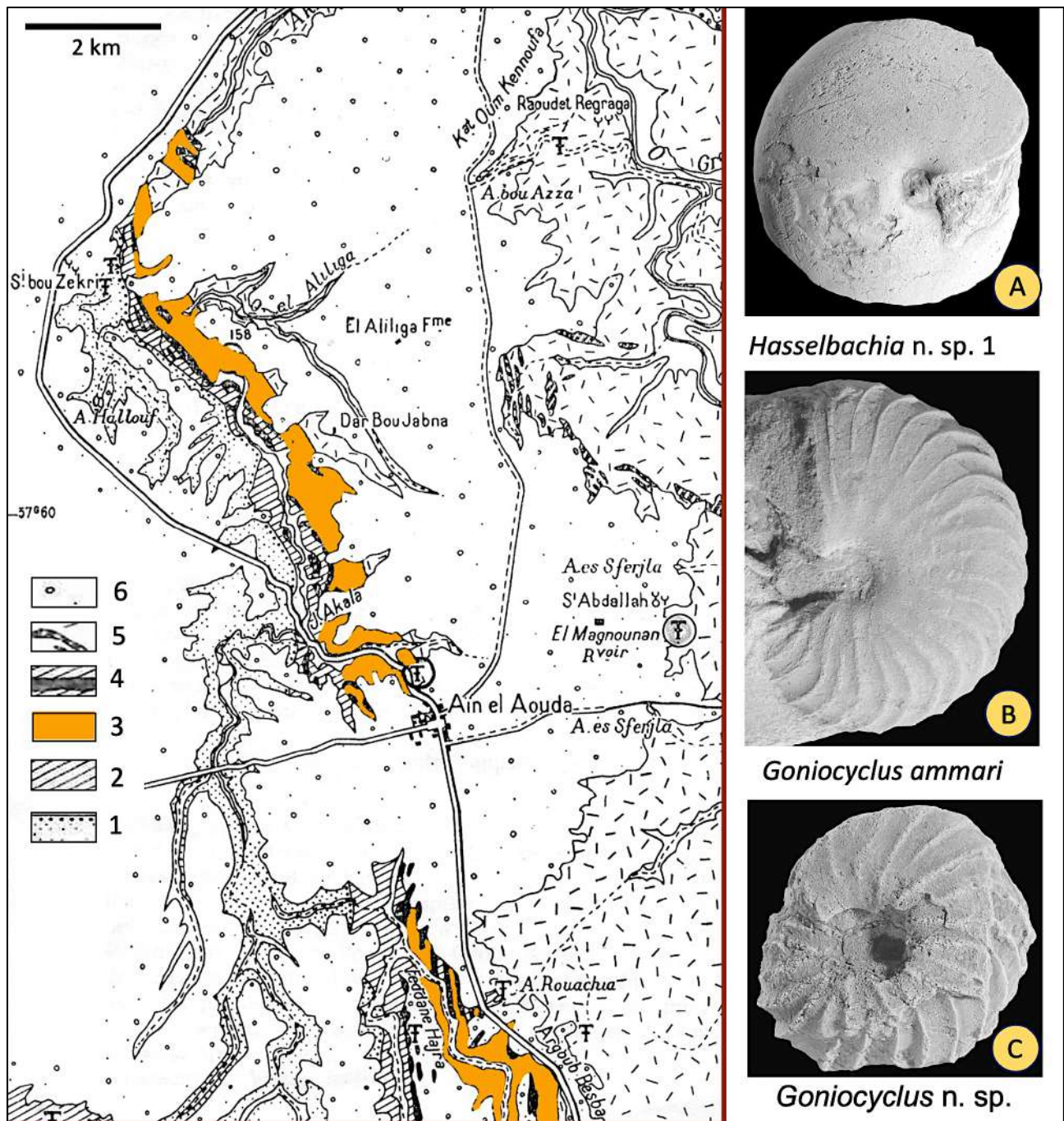


Figure 14 : Carte géologique de la région d'Aïn Hallouf au sud de Rabat (d'après Bolelli et al., 1953, modifiée). 1. les arkoses et conglomérats du Famennien, incluant un gisement fossilifère ; 2. Grésopélites du Tournaisien ; 3. Schistes gris, verts et rouges à concrétions de Goniatis (*Goniocyclus*) du Tournaisien (Formation de l'Oued Korifla) ; 4. Quartzites du Jbel Akala, équivalents du Hangenberg Sandstone ; 5. Roches volcaniques ; 6. Couverture quaternaire. Les Goniatis indiquant un âge tournaisien moyen (Becker et al., 2006) : A- *Hasselbachia* n. sp. avec un diamètre de 25 mm, B- *Goniocyclus ammari* avec un diamètre de 13 mm et C- *Goniocyclus* n. sp. Avec un diamètre de 15 mm.,

La coupe montre une succession de quatre grandes unités stratigraphiques, recouvertes par un épais flysch, illustrant l'évolution sédimentaire du Dévonien supérieur au Carbonifère inférieur (Fig. 14) :

- Arkoses et conglomérats du Dévonien supérieur (Famennien) : Ce complexe basal est constitué d'alternances de schistes, arkoses et conglomérats, souvent redressés ou renversés. Daté du Famennien (zone IV), il a livré des fossiles comme *Platyclymenia protracta* et *Phacops* sp., témoignant d'une phase tectonique marquée ;
- Schistes de l'oued Akrech (sommet du Famennien) : Une épaisse série schisteuse, occupant le fond de la vallée, contient des polypiers de type *Zaphrentis*, signalant un retour à un environnement marin calme.
- Quartzites du Jebel Akala (Strunien) : Ces barres de quartzites, souvent plissées et disloquées, se trouvent principalement sur la rive droite de l'oued Akrech. Fossilifères par endroits, elles présentent des affinités tournaisiennes. Leur contact irrégulier avec les conglomérats suggère une discordance stratigraphique ou des déformations tectoniques.
- Schistes à Goniates (Tournaisien supérieur – Waulsortien) : Ce niveau, riche en *Goniates* (tels que *Pericyclus* et *Munsteroceras*), se situe près d'Aïn El Aouda. Il marque la transition vers le Viséen et reflète des influences similaires à celles observées en Irlande (facies waulsortien). Les travaux de Becker et al. (2013) ont confirmé ces âges, identifiant une faune diversifiée comprenant des *Goniates* comme *Hasselbachia n. sp.*, *Goniocyclus ammari* et *Goniocyclus n. sp.*. Ces recherches se poursuivent pour affiner la compréhension de la paléogéographie de la région au Carbonifère (Fig. 15-4).



Figure 15 : Arkoses et conglomérats, de la première unité, du Famennien d'Ain Hallouf (1, 2 et 3) et les pélites à Goniates du Tournaisien de la quatrième unité (4).

Les arkoses et conglomérats siliceux à structures gravitaires (glissements, chenaux) de la région d'Aïn Hallouf, intercalés de schistes contenant *Platyclymenia protracta* et *Phacops*, sont datés du Famennien terminal (Famennien IV selon Choubert et Faure-Muret, 1961). Ces dépôts sont corrélés, pour le conglomérat calcaire, à la formation de Bir En-Nasr et à celle du Fouisir, situées toutes deux au sud-ouest du Bassin de Sidi Bettache (Fadli, 1990). On observe ensuite des pélites à *Zaphrentis*, suivies d'une barre quartzitique à *Retispora lepidophyta* (Famennien terminal – Tournaisien inférieur). La succession continue avec la formation de l'Oued Korifla, qui renferme des fossiles tels que *Pericyclus*, *Munsteroceras* et *Asterocalamites scrobiculatus* (Tournaisien supérieur – Viséen inférieur), atteignant une épaisseur de 1000 à 2000 m (Bolelli, 1953; Cogney & Danzé-Corsin, 1960; Choubert & Faure-Muret, 1961; Piqué, 1979).

La série conglomératique se retrouve également le long de l'oued Tiflet, aussi bien au sud qu'au nord du pont situé sur la route nationale N° 6, à l'est de la ville de Tiflet. Cette formation résulte de l'érosion de roches plus anciennes, probablement mises en place jusqu'au Givétien (Benfrika et al., 2007), qui représentent les derniers affleurements visibles dans les coupes géologiques de la zone de Rabat-Tiflet (Chabet Elharcha, Bou Ghachoua et oued Tiflet).

Formation de l'oued Tiflet : Dans cette région, les formations famenno-tournaisiennes présentent la succession stratigraphique suivante (Fig. 16) :

Après une période d'interruption des dépôts, incluant le Frasnien et une bonne partie du Famennien (I à III) et l'émersion généralisée de la région de Rabat-Tiflet, la série sédimentaire reprend par le dépôt d'un **conglomérat calcaire** transgressif, décrit par Lecointre et Delépine (1933) et El Hassani (1990), reposant en discordance de ravinement sur des formations de l'Ordovicien inférieur à Dévonien moyen. Il est constitué d'un ciment calcaire et d'éléments mal classés (pélites, dolérites, granites, calcaires à Orthocères, nodules siliceux, Stromatopores givétiens). Ce conglomérat est suivi du **poudingue siliceux**, à éléments gréseux arrondis, stratifiés, témoignant d'un transport fluvial ou côtier. La diversité des éléments (Arenig au Givétien) et la superposition de niveaux tournaisiens permettent d'attribuer l'ensemble conglomérat-poudingue au Famennio-Tournaisien.

Les niveaux sus-jacents du Tournaisien comprennent des grès avec poches lumachelliques contenant des Encrines, Lamellibranches, *Spirifer verneuilli*, et des débris végétaux. Ces dépôts évoluent progressivement vers des séquences grésopélitiques cycliques du Viséen inférieur, avec alternance de grès à stratification oblique, niveaux carbonatés lumachelliques (à *Spirifer* et Encrines) et pélites.

Plus haut dans la série, au-delà d'une zone masquée, on retrouve des calcaires à *Gigantoproductus* et Encrines, typiques du Viséen moyen (cf. Sidi Bou Sedra), puis des calcaires oolithiques à poches conglomératiques du Viséen supérieur.

Les Conglomérats Viséens du Jbel Bakkach et de la vallée d'Akrech

Les conglomérats du Jbel Bakkach affleurent au nord de l'axe synclinal du Bou Regreg, en aval de l'oued Akrech, et le long de la rive droite de l'Oued Bou Regreg (Jbel Bakkach). Ces conglomérats représentent une séquence transgressive sur le Bloc Cambro-Ordovicien des Sehoul (près du barrage de Rabat, localité du Jbel Bakkach) et sur l'Ordovicien inférieur au nord d'Akrech, où ils sont affectés par des failles. Des affleurements analogues ont également été identifiés en aval du pont menant à Larba Sehoul (route régionale 407), sur la rive droite de l'oued Bou Regreg. Compte tenu de leur position stratigraphique et structurale similaire à celle des conglomérats du Jbel Bakkach, il est fortement probable qu'ils partagent une même évolution géologique. L'ensemble de ces conglomérats est systématiquement surmonté par des marnes attribuées au Miocène supérieur (Figs. 17 et 18).

Ces conglomérats, non triés, sont composés de clastes hétérométriques insérés dans une matrice siliceuse, représentant 5 à 35 % du volume total. Les clastes incluent des quartzites, des phyllades, des roches volcaniques, des granites et des gneiss, tous issus du Bloc du Sehoul et de l'Ordovicien inférieur. Par contre on note l'absence de clastes de calcaire dévonien, malgré la présence d'affleurements calcaires à proximité. Ces

conglomérats ont probablement été formés dans une zone éloignée, puis tectoniquement transportés comme l'atteste le contact entre eux-ci et leur substratum ordovicien. Par endroits, ces conglomérats présentent des structures en chenaux, de tailles allant du mètre au décamètre, leur conférant une origine détritique, probablement continentale. L'épaisseur totale de cette séquence est d'environ 100 mètres.

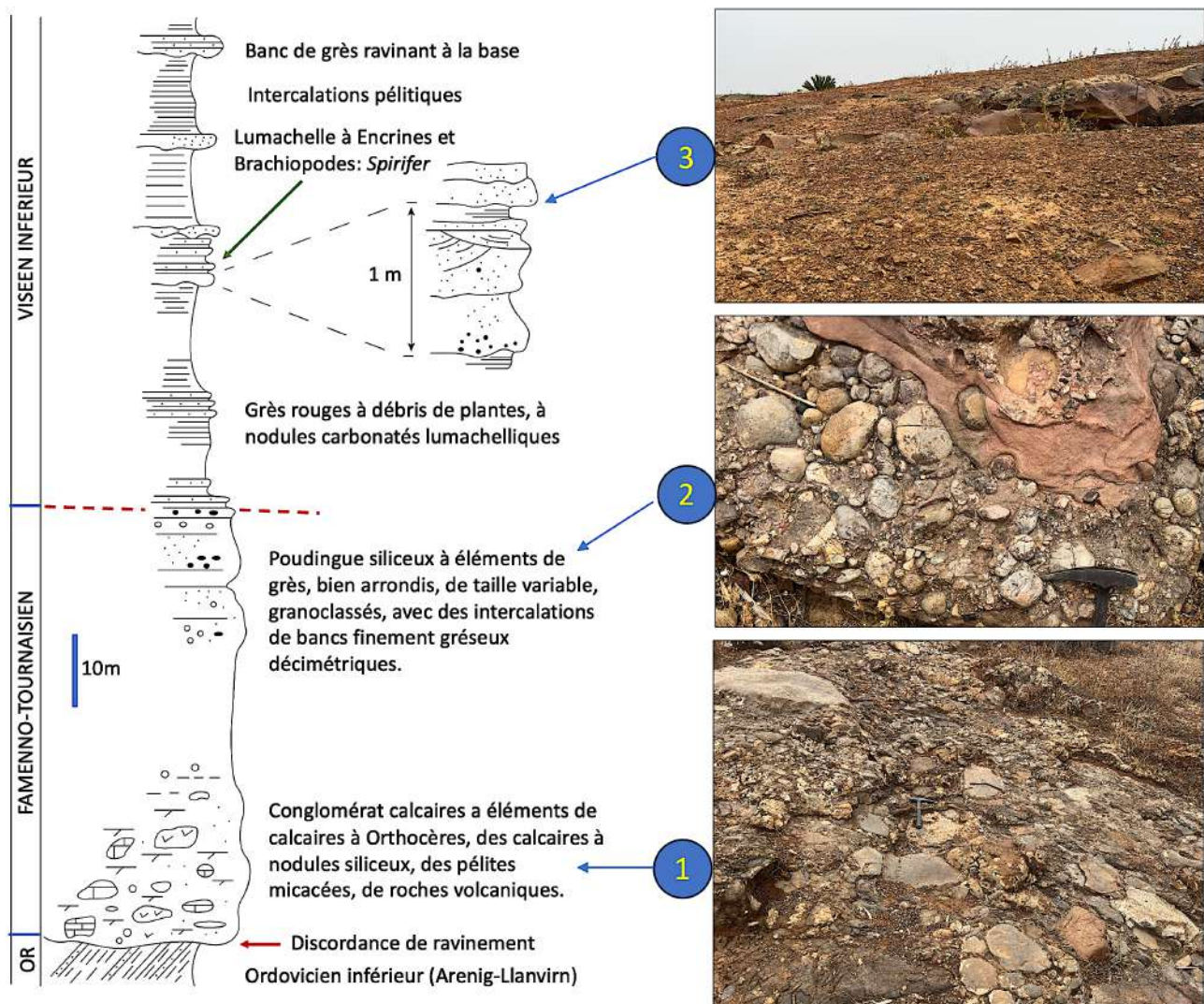


Figure 16 : Colonne stratigraphique du Famennio-Tournaisien et du Viséen inférieur de l’oued Tiflet (El Hassani, 1990). 1. Conglomérat calcaire ; 2. Poudingue siliceux ; 3. Bancs de grès à bases ravinantes du Viséen inférieur.

Savornin (1921) a initialement attribué ces conglomérats au Permien, tandis que Lecointre (1926 ; 1933) les a placés dans le Tournaisien. Cependant, la découverte d’une flore lépidodendroïde dans une couche sableuse-pélitique en contrebas du Jbel Bakkach par Cogne et Danzé-Corsin (1960) suggère un âge viséen, probablement inférieur. Cette flore comprend des espèces telles que *Sphenopteridium dissectum*, *Rhacopteris*, *Asterocalamites scrobiculatus* et *Triphylopteris cf Collombiana* (Fig. 18-5 et 18-6).

Les récents travaux de voirie dans la vallée de la rive gauche de l’Oued Bou Regreg ont exposé des coupes fraîches de conglomérats, comprenant des couches sableuses-pélitiques interstratifiées, similaires à celles du Jbel Bakkach, montrant des empreintes de plantes (El Hassani et al., travaux en cours). Les mêmes travaux de voirie ont permis d’examiner l’environnement sédimentaire du Miocène (Tortonien-Messinnien), notamment la présence d’une série de chenaux et leur remplissage subséquent par des marnes jaunes. Les niveaux rouges indiquent probablement des discontinuités dans la sédimentation, témoignant d’un environnement marin peu profond (Fig. 21).



Figure 17 : Panorama des conglomérats (rive gauche du Bou Regreg) montrant le chevauchement des conglomérats du Viséen inférieur sur l'Ordovicien inférieur (ligne rouge) ; l'étoile orange : les grés-pélites à plantes fossiles.

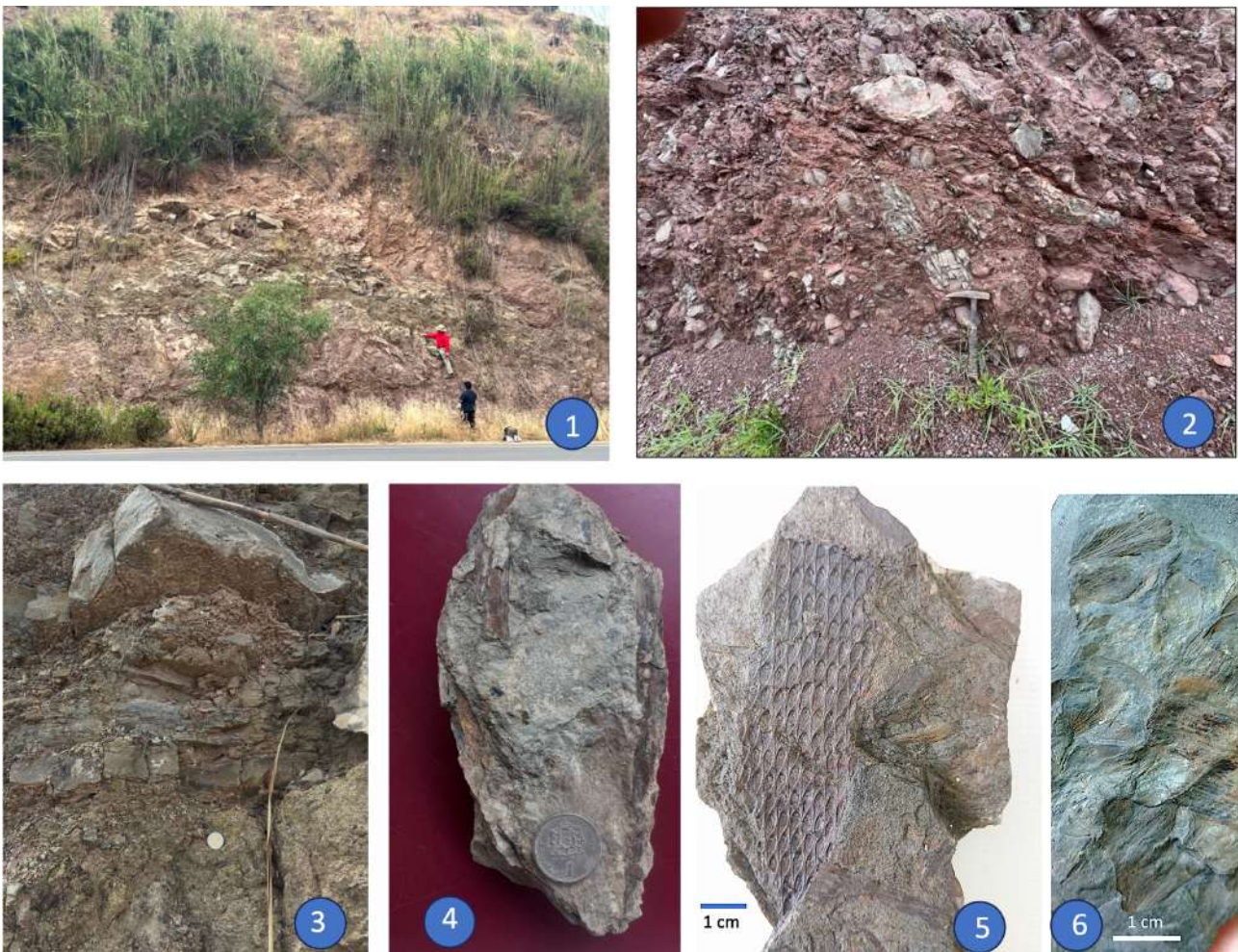


Figure 18 : Conglomérat du Viséen inférieur chevauchant l'Ordovicien inférieur : 1. Nouveaux affleurements de grès et pélites fossilifères interstratifiés dans les conglomérats, identiques à ceux du Jbel Bakkach ; 2. Structure des conglomérats généralement mal classés ; 3. Photo montrant le passage progressif des conglomérats vers les grès et pélites à plantes ; 4. Échantillon de pélites légèrement consolidées à plantes. Plantes du Viséen inférieur (Cogney & Danzé-Corsin, 1960, Collections Institut Scientifique) : 5. *Prelepidodendron rhomboidale* et *Asterocalamites scrobiculatus* ; 6. *Triphyllopteris cf Collombiana*.

La zone de Rabat-Tiflet est caractérisée par une déformation hercynienne relativement faible comparée aux autres régions de la Meseta occidentale (Figs. 19 et 20). La phase de plissement dans la région de Bou Regreg se traduit par des structures orientées approximativement est-ouest et plongeant vers le sud. Un clivage de fracture apparaît uniquement dans les niveaux pélitiques, sans recristallisation métamorphique.



Figure 19 : Vue panoramique du synclinal hercynien des carrières de la vallée du Bou Regreg, vu de l'ouest, avec le pont Mohammed VI (sur l'autoroute A5) visible au loin.

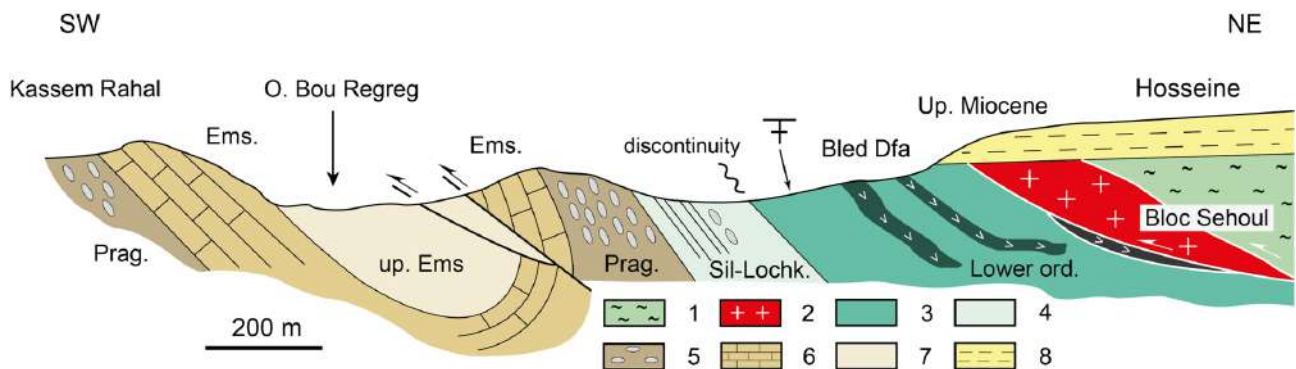


Figure 20 : Coupe dans le « synclinal des carrières », vallée de Bou Regreg, au SE de Rabat (El Hassani, 2023).

1. Bloc des Sehoui : phyllades et quartzophyllades ; 2. Granite ; 3. Schistes de l'Ordovicien inférieur et coulées basaltiques interstratifiées ; 4. Silurien supérieur – Lochkovien : schistes et lits calcaires ; 5. Praguien : calcaires griottes ; 6. Emsien calcaires ; 7. Schistes de Daleje (Emsien supérieur) ; 8. Marnes du Miocène supérieur.

4. Les Formations Miocène de couverture à la confluence des Oueds Akrech et Bou Regreg

4.1. La couverture miocène

Du fait de leur accessibilité, les formations miocènes de la région de l'oued Akrech (Fig. 21) ont fait l'objet de nombreuses études géologiques (Choubert et al., 1964 ; Feinberg & Lorenz, 1970 ; Bossio et al., 1976 ; Moreau et al., 1985 ; Wernli, 1988 ; Benson et al., 1991, 1995 et 1996 ; Hodell et al., 1989, 1994 ; Hilgen et al., 2000). La synthèse de ces travaux permet de résumer les principales caractéristiques de ces formations.

- **Formation de la molasse basale du Tortonien** : La séquence miocène débute par une formation de sable biométrique jaune de 5 à 6 mètres d'épaisseur recouvrant transgressivement le socle paléozoïque. Cette formation est communément appelée dans la littérature « calcarénite basale du Tortonien ». Les sables biométriques de cette unité sont principalement composés de fragments de coquillages, d'organismes marins et de débris organiques, indiquant un dépôt en milieu marin peu profond.

- **Transition vers les marnes grises** : Au-dessus de la molasse basale, une transition vers les marnes grises se produit, marquée par une couche durcie identifiée par Wernli (1988) comme le « lit corallien ». Les marnes grises, attribuées au Messinien, une période du Miocène supérieur, forment une unité stratigraphique homogène. Cependant, l'absence de turbiditiques (dépôts associés aux courants sous-marins) suggère un dépôt dans un environnement de plus faible énergie.

- **Caractéristiques des marnes et évolution vers le Pliocène** : Les marnes grises évoluent progressivement vers le sommet de la formation, notamment dans la région de la Mamora. La fraction sableuse devient plus importante, passant à des marnes sableuses et des sables très fins, souvent glauconitiques. Ce changement représente un épisode plus terrigène, survenu à la fin du Miocène et au début du Pliocène inférieur. Les zones à *Globorotalia puncticulata* (foraminifères planctoniques) caractérisent le sommet du Pliocène inférieur, tandis que les zones à *Globorotalia crassaformis* correspondent au Pliocène moyen.

- **Discontinuité sédimentaire et lacune stratigraphique** : La séquence se termine par une discontinuité sédimentaire significative marquée par une surface d'érosion. Cette discontinuité est associée à une lacune stratigraphique régionale, où une grande partie du Pliocène inférieur et potentiellement une partie du Pliocène moyen est absente. Des études de la microfaune planctonique ont identifié cette lacune, ce qui montre l'absence de couches stratigraphiques clés dans la région.



Figure 21 : Vue montrant les conglomérats du Viséen inférieur, sorte de haut-fond, surmontés par les marnes du Miocène. La présence de nombreuses structures chenalisantes traduit une dynamique sédimentaire instable caractéristique d'un environnement sublittoral peu profond, marqué par des phases successives de régression et d'érosion.

À l'échelle régionale, les marnes bleues de l'oued Akrech font partie du bassin du Gharb, qui représente l'extension occidentale et l'ouverture vers l'Atlantique du Couloir sud rifain. Ce couloir a joué le rôle d'avant-bassin d'extension durant le Miocène supérieur et le Pliocène inférieur, séparant les nappes alpines du Pré-Rif de la partie nord-ouest de la Meseta marocaine. Après sa structuration par l'orogénèse hercynienne, la Meseta a subi une phase d'érosion de longue durée (du Trias au Miocène inférieur), conduisant à son érosion en un bloc plat, cratonisé et relativement stable (Benson et al., 1996 ; El Hassani, 2023). Ce bassin représente l'une des deux connexions atlantiques-méditerranéennes durant le Néogène, l'influence marine ayant cessé au Messinien. Les dépôts de marnes bleues dans le bassin du Gharb se sont poursuivis jusqu'au Pliocène (Benson et al., 1996). D'un point de vue minéralogique, la fraction argileuse des marnes de la région de l'oued Akrech est dominée par l'illite et la kaolinite, avec des apports variables de chlorite et de smectite. Ces marnes sont

largement exploitées dans la région de Rabat-Salé pour la production de céramique et la fabrication de briques en raison de leurs propriétés argileuses et de leur facilité de mise en forme.

4.2. Le Stratotype de l'Oued Akrech: Stratigraphie et contexte géologique

Le stratotype de l'oued Akrech, situé à la limite Tortonien/Messinien, se trouve à environ 10 km au sud-sud-est de Rabat, dans la vallée de l'oued Akrech (coordonnées : 33°56'13"N, 6°48'45"W), sur la feuille topographique NI-29-XII-3C, entre les coordonnées 370.2-370 et 371 (Figs. 22 et 23).

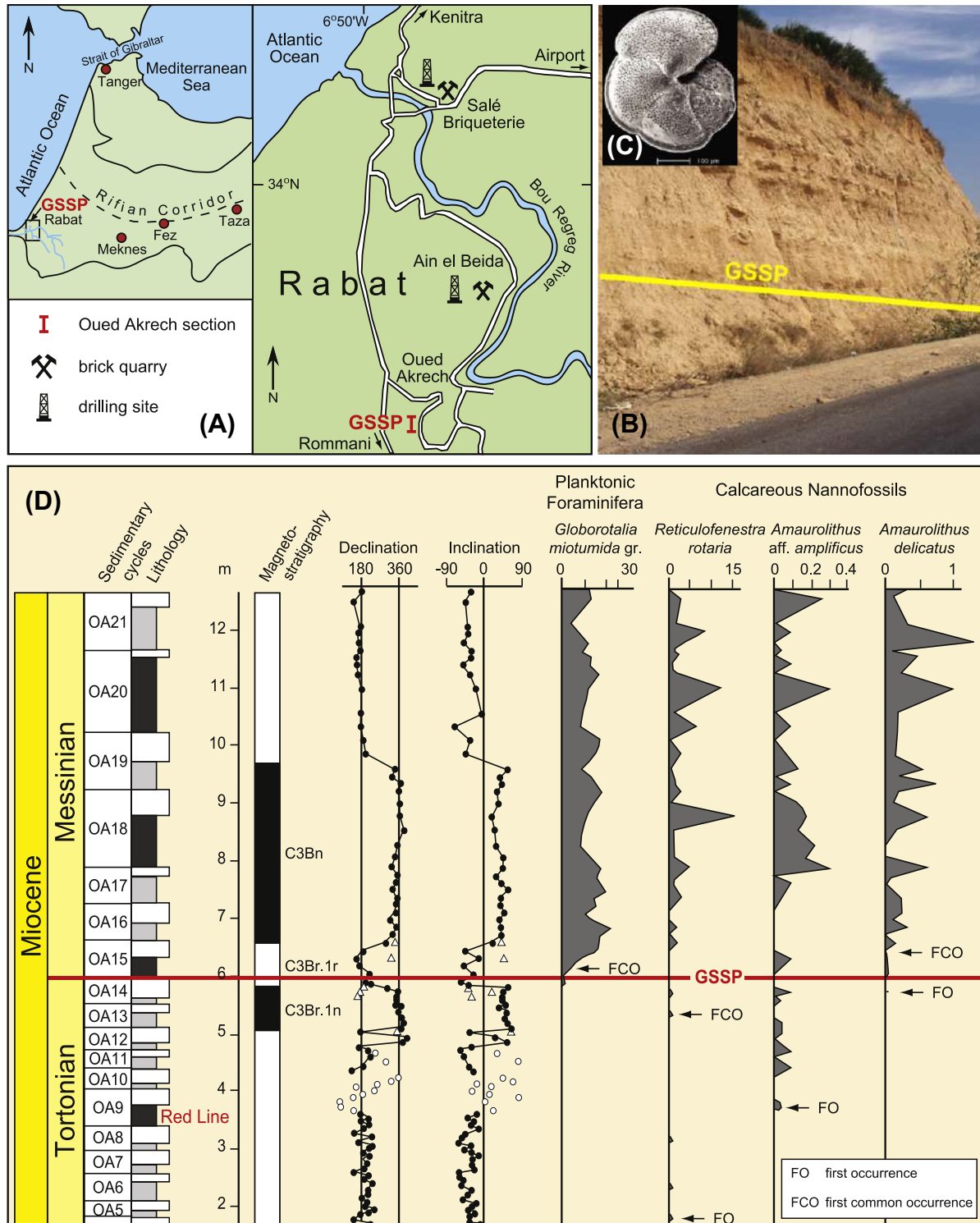


Figure 22 : Coupe de limite globale (GSSP) pour l'étage Messinien de l'Oued Akrech, Maroc

A. Localisation, B. Section, C. Espèce marqueur *Globorotalia miotumida*, et D. Données lithologiques et magnéto-bio-cyclostratigraphiques (Hilgen et al., 2012, chapitre de Gradstein et al., Geological Time Scale, 2012, vol. 2, p. 932).

Cet affleurement est situé le long de la route reliant la RP4014 de Rabat à Ain El Ouda. L'oued Akrech, affluent de l'oued Bou Regreg, forme une vallée profonde lorsqu'il s'incurve vers l'est.

La succession néogène de l'oued Akrech débute par une formation de grès glauconitiques jaunâtres, d'une épaisseur de 5 à 6 mètres, représentant un environnement sédimentaire marin peu profond datant du Tortonien supérieur. Cette formation, localement appelée « molasse ou calcarénite de base », repose en discordance sur des formations paléozoïques, structurées lors de l'orogénèse hercynienne. Au-dessus des grès, se trouve une couche phosphatée durcie, signe d'un ralentissement significatif dans l'accumulation sédimentaire (Fig. 23). Les marnes glauconitiques et sableuses marines, d'une épaisseur d'environ 2 mètres, surmontent la couche phosphatée. Ces marnes, riches en éléments biogéniques, sont également connues sous le nom de « zone corallienne » en raison de la présence du corail solitaire *Flabellum*. La coupe de l'Oued Akrech qui représente le stratotype messinien (GSSP) commence directement au-dessus de cette zone corallienne (Fig. 22). Elle est composée de marnes marines de sédimentation profonde, souvent désignées sous le terme « marnes bleues » en raison de leur couleur bleu frais caractéristique. Cependant, les marnes exposées dans cette coupe présentent une couleur altérée, jaune-beige, parsemée de bandes brun-rougeâtre. Selon Benson et Rakic-El Bied (1996), la microfaune benthique au niveau de la couche phosphatée témoigne d'un environnement de dépôts en évolution rapide, passant du sublittoral au bathyal supérieur, avec des paléop profondeurs estimées entre 500 et 700 mètres.

Le Messinien débute par des marnes jaune-beige foncé présentant des bancs rougeâtres. Au niveau de la couche phosphatée, l'environnement du dépôt marin évolue rapidement (microfaune benthique). Le GSSP de la base du Messinien est formellement défini au niveau rougeâtre de la base de la couche 15 dans la coupe de l'Oued Akrech (Hilgen et al., 2000). Ce point coïncide avec la première occurrence régulière (FRO) du groupe des foraminifères planctoniques (*Globorotalia miotumida*) et la première occurrence (FO) de calcaires nannofossiles à *Amaurolithus delicatus*. La limite entre le Tortonien supérieur et le Messinien a été datée de 7,251 Ma par Hilgen et al. (2000).



Figure 23 : Stratotype GSSP du Messinien basal de l'oued Akrech (Sud de Rabat).

5. Conclusion : la région Rabat-Tiflet, un secteur clé du Maroc hercynien

La zone de Rabat-Tiflet constitue un segment majeur du Maroc hercynien, en raison tant de l'ancienneté de sa structuration que de sa situation stratégique au nord-ouest de la Meseta marocaine. Elle se divise en deux unités principales, séparées par un contact anormal de type chevauchement : au nord, le bloc métamorphique des Sehoul, et au sud, l'axe sédimentaire du Bou Regreg. Le bloc des Sehoul se distingue par une puissante série détritique cambrienne, interprétée comme un système deltaïque polarisé nord-sud, dont l'épaisseur résulte d'une subsidence marquée. Initialement attribués au Cambrien moyen par analogie régionale, ces dépôts ont livré une faune variée incluant Trilobites, Oldhamia, Lingules et Hyolithidés, suggérant un âge cambrien avec une extension possible jusqu'à l'Ordovicien inférieur. Plus au sud, l'Ordovicien de l'axe du Bou Regreg se caractérise par des alternances grésopélitiques à intercalations volcaniques, nettement distinctives par rapport au reste de la Meseta. Deux gisements fossilifères majeurs, Bled Dfa et Hosseine, permettent de dater ces niveaux de l'Arenig moyen au Llanvirn inférieur. La série mieux conservée de Tiflet, datée de l'Arenig, montre une séquence rétrogradante à double gradient, sédimentaire et diagénétique, en lien avec une régression de l'Arenig supérieur.

Après une lacune sédimentaire régionale d'environ 45 millions d'années, la sédimentation reprend au Silurien supérieur avec une transgression progressive. Elle débute par des microconglomérats, suivie de dépôts pélitiques et calcaires à faunes marines ouvertes (Graptolithes, Orthocères, Trilobites, Brachiopodes). Cette reprise sédimentaire marque le début de l'installation d'une plateforme carbonatée, qui se développe jusqu'au Givétien au moins, avec un passage progressif d'assemblages pélagiques à des communautés néritiques à encrines et polypiers. Néanmoins, des signes d'instabilité tectonique apparaissent dès le Lochkovien et s'accroissent au Praguien, entraînant des variations latérales de faciès. La plateforme, bien développée dans la région de Rabat-Tiflet, persiste probablement jusqu'au Givétien, bien qu'elle se prolonge au-delà dans d'autres secteurs de la Meseta occidentale.

Du Famennien supérieur au Viséen supérieur, la région connaît l'ouverture du bassin de Sidi Bettache, structurée par une tectonique distensive en horsts et grabens, contrôlée par des failles normales. Cette évolution se traduit d'abord par une sédimentation chaotique (conglomérats, slumps, coulées boueuses, olistolithes), issue du démantèlement des calcaires dévoniens, puis par une sédimentation de plus en plus fine et ordonnée. Au Viséen moyen, le bassin s'approfondit avec des dépôts grésopélitiques témoignant d'un contexte subsident actif, tandis que le Viséen supérieur marque son comblement avec des séquences métriques de conglomérats, microconglomérats et calcaires oolithiques.

Sur le plan structural, la région de Rabat-Tiflet a enregistré à la fois une phase compressive calédonienne et les événements varisques, notamment l'éovarisque et la phase majeure hercynienne. Dans les Sehoul, les phyllades et quartzophyllades présentent des plis isoclinaux souples, millimétriques à décimétriques, orientés N50–70° et déversés au sud-est. Cette déformation est accompagnée d'une schistosité évolutive, allant d'un style par dissolution au nord à une schistosité de flux au sud-ouest, notamment dans la zone du barrage de Rabat. Le métamorphisme associé est daté par la méthode K/Ar à environ 450 Ma, soit un Ordovicien moyen. Dans l'axe du Bou Regreg, cette phase compressive se manifeste par une importante lacune sédimentaire couvrant le Llanvirn au Silurien supérieur, concordant avec d'autres régions de la Meseta occidentale.

La phase hercynienne, relativement modérée, affecte la bordure nord de la Meseta occidentale par des plis orientés E–W, déversés vers le sud, accompagnés d'une schistosité discrète, fracturée et confinée aux pélites, sans métamorphisme associé. Sur la bordure sud des Sehoul, les formations sont reployées selon un axe N110°, avec un clivage localisé au contact avec les séries sédimentaires. Un chevauchement modéré vers le sud, réactivant la zone, affecte les conglomérats viséens et les calcaires dévoniens. Des structures analogues sont observées dans l'axe du Bou Regreg, où les granites calédoniens apparaissent cataclastés. Ces déformations confèrent à la bordure nord de la Meseta des traits géodynamiques comparables à ceux du Môle côtier et de l'Anti-Atlas, où la phase principale de plissement hercynien s'étend du Viséen au Westphalien inférieur, traduisant une structuration à un niveau crustal supérieur à moyen.

Enfin, la zone de Rabat-Tiflet mérite d'être préservée en tant que patrimoine géologique de grande valeur, à la fois pour son intérêt scientifique exceptionnel et sa proximité avec la capitale. Elle constitue un véritable laboratoire naturel, idéal pour l'enseignement de la géologie et la recherche, tout en offrant un espace de découverte, de culture et de sensibilisation pour le grand public.

Remerciements

L'auteur tient à exprimer sa profonde gratitude, ainsi que son amitié, au Professeur Ralph Thomas Becker (Université de Münster, Allemagne) pour la qualité des échanges constants et éclairants autour de cette région géologiquement stratégique. Il remercie également le Docteur Amine Talih pour son aide précieuse et les discussions menées sur le terrain, ainsi que le Professeur Hamid Slimani (Institut Scientifique, Université Mohammed V de Rabat) pour avoir intégré la visite de la région du Bou Regreg dans une excursion encadrée par l'auteur, à l'occasion du 57^e congrès annuel de l'AASP – The Palynological Society, tenu à Rabat du 22 au 26 avril 2025. Leurs contributions respectives ont considérablement nourri la réflexion et enrichi la rédaction du présent article.

Références

- Aboussalam S.Z., Becker R.T., Richter J., Hartenfels S., El Hassani A. & Eichholt S. (2020) : The unique Devonian of Immouzer-du-Kandar (Middle Atlas basement) – biostratigraphy, faunas, and facies development. Hassan II Academy Press; *Frontiers in Science and Engineering*, Vol. 10 - n° 1, pp : 127-173.
- Alberti GKB (1968) : Sur l'âge des schistes carton à Trilobites (Eifélien) au SE de Rabat (Maroc septentrional). *Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc*, 211, pp : 17-18.
- Alberti GKB (1969) : Trilobiten des jüngeren Silurium sowie des Unter-und Mitteldevons. I. Mit Beiträgen zur Devon-Stratigraphie einiger Gebiete Marokko und Oberfranken. *Abh. Senckenb. Naturforsch. Ges. Frankfurt am Main*, 520, 692p.
- Alberti GKB (1970) : Trilobiten des jüngeren Silurium sowie des Unter-und Mitteldevons. II. *Abh. Senckenb. Naturforsch. Ges. Frankfurt am Main*, 525, 233p.
- Alberti GKB (1971) : Preliminary submission for the selection of a type-section for the Silurian-Devonian boundary in the Rabat-Tiflet area of northwestern Morocco.
- Alberti, G.K.B. (1977) : Rabat-Tiflet area in Morocco. The Silurian-Devonian boundary. *IUGS, series A*, Stuttgart, pp : 159-167.
- Alberti, G ; Hollard, H ; Willefert, S (1966) : Couches de base du Dévonien et présence de *Monograptus hercynicus* dans la région de Rabat à Tiflet.. *Notes & Mém. Serv. Géol. Maroc*, 188, pp : 21-27.
- Becker R.T., Kaiser S. & Aboussalam S.Z. (2006) : The Lower Alum Shale Event (Middle Tournaisian) in Morocco - faunal and faunal changes. *Kölner Forum Geol. Paläont.*, 15 (2006) - Aretz M. & Herbig H.-G. (Eds.) *Carboniferous Conference Cologne. From Platform to Basin* ; pp : 7-8 (Abstract).
- Becker R.T., Aboussalam S.Z., Hartenfels S., El Hassani A. & Baidder L. (2013) : The global carbonate crisis at the Devonian–Carboniferous transition in Morocco. “*Palaeobiology & Geobiology of Fossil Lagerstätten through Earth History*” – Göttingen, 2013 Abstract Reitner et al. (Eds); p : 19.
- Benfrika El. M., Bultynck P. & El Hassani A. (2007) : Upper Silurian to Middle Devonian conodont faunas from the Rabat-Tiflet area (northwestern Moroccan Meseta). *Geological Quarterly*, 51(4), pp : 393–406.
- Benson R.H. & Rakic-El Bied K. (1996) : The Bou Regreg section, Morocco: Proposed Global Boundary Stratotype Section and Point of the Pliocene: *Notes & Mém. Serv. géol. Maroc.*, v. 383, pp : 51-150.
- Benson, R.H., Hayek, L.-A., Hodell, D.A., and Rakic-El Bied, K., (1995) : Extending the climatic precession curve back into the late Miocene by signature template comparison: *Paleoceanography*, v. 10, pp : 5-20.
- Benson, R.H., Rakic-El Bied, K., and Bonaduce, G., (1991) : An important current reversal (influx) in the Rifian Corridor (Morocco) at the Tortonian-Messinian boundary: The end of Tethys Ocean: *Paleoceanography*, v. 6, pp : 164-192.
- Bolelli E., Destombes J. & Karpoff R. (1953) : Découverte du Tournaisien à Goniatis dans la Meseta côtière marocaine. *C.R. Acad. Sci, Paris*, 4 mai, publ. 11 mai, t. 236, N° 19, pp : 1906-1908.

- Bossio, A., Rakic-El Bied, K., Gianelli, L., Mazzei, R., Russo A., and Salvatorini, G., (1976) : Correlation de quelques sections stratigraphiques du bassin Méditerranéen sur la base des Foraminifères planktoniques, nannoplankton calcaire et ostracodes : *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat. Mem.*, v. 83, pp : 121-137.
- Charlot R., Rhalib M. & Tisserant D. (1973) : Étude géochronologique préliminaire des granites de la région de Rabat-Tiflet (Maroc occidental). *Notes & Mém. Serv. géol. Maroc*, 249, pp: 55-58.
- Charrière A. & Regnault S. (1989) : Stratigraphie du Dévonien de la boutonniere d'Immouzer du Kandar (sud de Fes, Maroc); conséquences paléogéographiques. *Notes & Mém. Serv. Géol. Maroc*, 335, pp : 25-35.
- Choubert G. & Hindermeyer J. (1948) : Sur l'âge des "marbres" de l'oued Akrech. *Notes et Mém. Srv. Hgéol. Maroc*, 71, pp :31-35.
- Choubert G. & Faure-Muret A. (1961) : Introduction stratigraphique in Danzé-Corsin P.: Note sur une flore du Carbonifère inférieur de l'oued Korifla (région sud de Rabat). *Notes & Mém. Serv. géol. Maroc*, n° 152, pp : 81-85.
- Choubert, G., Hottinger, L., Marcais, J., and Suter, G., (1964) : Stratigraphie et micropaléontologie du Néogène au Maroc septentrional: *Inst. "Lucas Mallada", C.S.I.C. (Espana), Curs. Y Conf.*,v. 9, pp : 229-257.
- Cogney G. (1957) : Recherches géologiques au confluent des oueds Bou Regreg, Grou et Akrech (Maroc occidental). *Trav. Institut. Sci. Chérif.; sér. Géol. et Géogr. Phys.*, 6, 56p.
- Cogney G. et Danzé-Corsin P. (1960) : Les conglomérats du bas oued Bou-Regreg et la flore du Carbonifère inférieur du Jebel Bakach, région de Rabat (Maroc). *Trav. Inst. sci. chérif., Rabat, série Géol. St Géogr. phys.*, n° 8, 54 p.
- Destomes J. (1954) : Sur la présence du Llanvirn à minerai de fer oolithique dans l'anticlinal de Tiflet (Maroc). *C. R. Somm. Soc. géol. Fr.*, 13, pp : 294-296.
- Destombes J., Hollard H. & Willefert S. (1985) : Lower Palaeozoic rocks of Morocco. in *Lower Palaeozoic of north-western and west central Africa*, Edited by C. H. Holland. John Wiley & Sons Ltd.; pp : 91-336.
- El Hassani, A. (1987) : Les structures calédonno-hercyniennes dans la zone de Rabat-Tiflet, Meseta marocaine septentrionale. *Bulletin de l'Institut Scientifique Rabat*, 11, pp : 37-46.
- El Hassani A. (1990) : La bordure nord de la chaîne hercynienne du Maroc, chaîne "calédonienne" des Sehoul et plateforme nord-mesétienne. Thèse de Doctorat ès-Sciences, Univ. Louis Pasteur de Strasbourg, France ; 208 p.
- El Hassani A. (1991) : La Zone de Rabat-Tiflet : Bordure nort de la Chaîne Calédonno-Hercynienne du Maroc. *Bulletin de l'Institut Scientifique*, 15 , pp :1-132.
- El Hassani A. (2022) : Le paradis des géologues : Un voyage à travers les temps dans le Royaume du Maroc. First Edition, Hassan II Academy Press, Morocco, ISBN: 978-9920-9056-3-3. 340 p.
- El Hassani A. (2023) : A Geologist's Paradise, Tracing Morocco's Geological History from Early Explorers to the Modern Era. Hassan II Academy Press, Morocco. ISBN: 978-9954-716-22-9 ; e-ISBN: 978-9954-716-23-6, 384 p.
- El Hassani A. (2025) : A geological overview of the Bou Regreg Valley, Rabat, Northwestern Moroccan Meseta. Field trip Guidebook. 57th Annual Meeting AASP-The Palynological Society, Rabat, April 22-26, 2025; 32p.
- El Hassani, A. & Zahraoui, M. (1984) : Structure des terrains paléozoïques au sud-est de Rabat, Meseta côtière – Maroc. *Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique*, 16, 30 pages.
- El Hassani A. & Willefert S. (1990) : La zone cambrienne à Oldhamia des Sehoul (Maroc septentrional). *Géologie Méditerranéenne*, 17(3), pp : 229-241.
- El Hassani A., Destombes J. & Willefert S. (1988-a) : Le problème de l'Arenig-Llanvirn (Ordovicien), la discordance calédonienne et la préparation de l'orogénèse hercynienne dans la région de Rabat-Tiflet (Maroc occidental). *Bulletin de l'Institut Scientifique Rabat*, 12, pp : 27-45.
- El Hassani A., El Wartiti M., Zahraoui M., Destombes J. & Willefert S. (1988-b) : Découverte d'une macrofaune arénigienne (Ordovicien inférieur) à Trilobites et Graptolithes dans la région de Rabat, Meseta côtière nord-occidentale (Maroc). *Comptes Rendus Académie des Sciences Paris*, 307, II, pp : 1589-1594
- El Hassani, A., Huon, S., Hoepffner, C., Whitechurch, H., & Piqué, A., (1991) : Une déformation d'âge ordovicien moyen dans la zone des Sehoul (Meseta marocaine septentrionale). *Regard sur les segments "calédoniens" au NW de l'Afrique. Comptes Rendus Académie des Sciences Paris*, 321 (II), pp : 1027–1032.

- Fadli D. (1990) : Évolution sédimentaire et structurale des massifs de Mdakra et des Khatouat : deux segments hercyniens de la Meseta marocaine nord-occidentale. Thèse de Doctorat ès-Sciences, Univ. Mohammed V de Rabat, 316 p.
- Feinberg, H. & Lorenz, H.G. (1970) : Nouvelles données stratigraphiques sur le Miocene supérieur et le Pliocene du Maroc Nord Occidental : Notes & Mém. Serv. Geol. Maroc, v. 30, pp. 21-26.
- Garcia C. (1961) : Roches éruptives et métamorphiques de la région de Rabat. Trav. Inst. sci. chérif., sér. Géol. & Géogr. phys., n° 12, 42 p.
- Gendrot C. (1973) : Environnements du Dévonien récifal au Maroc. Notes et Mém. Serv. géol. Maroc, 254, pp: 55-86.
- Gibb M.A., Hüneke H., Pingel N., Gibb L.M., Rihter C., Mayer O., Aboussalam Z.S., Becker R.T., El Hassani A. & Baidder L. (2025) : Early Devonian bioclastic contourites in the High Atlas: a plastered drift recording the convergence between Gondwana and Laurussia (Sub-Meseta Zone, Morocco). Geol. Soc. Lond. Spec. Publ. 553. <https://doi.org/10.1144/SP553-2023-80>
- Gouwy S., Benfrika EM, Helsen S. & Bultynck P. (2000) : Late Emsian to early Givetian Conodont succession in the Tiflet area (north-western Meseta, Central Morocco). Travaux de l'Institut scientifique Rabat, série géologie et géographie physique, 20, pp :1-10.
- Hilgen F.J., Iaccarino S., Krijgsman W., Villa G. Langereis C.G. & Zachariasse W.J. (2000) : The Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) of the Messinian Stage (uppermost Miocene). Episodes, Vol. 23, 3, pp : 172-178.
- Hodell, D.A., Benson, R.H., Kennett, J.P., Boersma, A., and Rakic-El Bied, K., (1989) : Stable isotope stratigraphy of latest Miocene sequences in northwest Morocco: The Bou Regreg section: Paleoceanography, v. 4, pp : 467-482.
- Hodell, D.A., Benson, R.H., Kent, D.V., Boersma, A., and Rakic-El Bied, K., (1994) : Magnetostratigraphic, biostratigraphic, and stable isotope stratigraphy of an Upper Miocene drill core from the Salé Briqueterie (northwestern Morocco): A high-resolution chronology for the Messinian stage: Paleoceanography, v. 9, pp : 835-855.
- Hoepffner Ch. (1977) : Données nouvelles sur le Paléozoïque de la bordure occidentale du massif de Tazekka (Maroc oriental). C. R. Acad. Sci. Paris, 284, D, pp: 1635-1637.
- Hoepffner Ch. (1978) : Le massif paléozoïque du Tazekka (Maroc). Analyse des déformations liées à un linéament tectonique. Sci. Géol. Bull. Strasbourg, 31, 1, pp: 33-44.
- Hoepffner Ch. (1987) : La tectonique hercynienne dans l'Est du Maroc. Thèse ès Sciences, U.L.P. Strasbourg, 280p.
- Hoepffner Ch., Soulaïmani A. & Piqué A. (2005) : The Moroccan hercynides. *Journal of African Earth Sciences*, 43, pp : 144-165.
- Hollard H. (1967) : Le Dévonien du Maroc et du Sahara nord occidental. Int. Sympos. Devonian Syst., Calgary, Publ. Alberta Soc. Petrol. Geol, 1, pp : 203-244.
- Hollard H., Michard A., Jenny P., Hoepffner Ch. & Willefert S. (1982) : Stratigraphie du Primaire de Mechra ben Abbou. Notes et Mém. Serv. géol. Maroc, 303, pp:13-34.
- Lecointre G. & Delepine G. (1933) : Étude géologique dans la région paléozoïque comprise entre Rabat et Tiflet. (stratigraphie par G. Lecointre; Fossiles carbonifères, par Delepine G.). Notes & Mém. Serv. géol. Maroc, 28, 80 p.
- Lecointre G. (1926) : Recherches géologiques dans la Meseta marocaine. M. Soc. Sci. natur. Maroc. Rabat, n° 14, 158 p. (Thèse sciences, Paris, 25 mars 1926).
- Lecointre G. (1934) : Carte géologique provisoire de la région comprise entre Rabat et Tiflet (Sehoul et Aït-Belkassam) au 1/100.000ème. Notes & Mém. Serv. Mines & Carte géol Maroc, N° 35.
- Marhoumi M.R., Hoepffner Ch., Doubinger J. & Rauscher R. (1983) : Données nouvelles sur l'histoire hercynienne de la Meseta orientale au Maroc: l'âge dévonien des schistes de Debdou et du Mekam. C. R. Acad. Sci. Paris, 297, II, pp: 69-72.
- Moreau, M.G., Feinberg, H., and Pozzi, J.P., (1985) : Magnetobiostratigraphy of a Late Miocene section from the Moroccan Atlantic margin: Earth Planet. Sci Lett., v. 76, pp. 167-175.

- Piqué A. (1979) : Évolution structurale d'un segment de la chaîne hercynienne: la Meseta marocaine nord-occidentale. Sci. géol. Mém., Strasbourg, 56, 243p.
- Piqué A. (1983) : Structural domain of the Hercynian belt in Morocco. In: SCHENK P.E. ed., Regional trends in the geology of the Appalachian Caledonian - Hercynian - Mauritanides Orogen. Riedel, pp: 339-345.
- Piqué A. & Michard A. (1989) : Moroccan Hercynides: a synopsis. The paleozoic sedimentary and tectonic evolution at the northern margin of West Africa. Amer. Jour. Sci., vol. 288, pp: 286-330.
- Rahmani K. (1978) : Étude palynologique du Paléozoïque de la région de Rabat (Maroc). Thèse 3^e cycle ; Univ. P. et M. Curie & Notes et Mém. Serv. géol. Maroc, 324, 132p.
- Rousselle L. (1961) : Les graptolites gothlandiens au confluent des oueds Bou-Regreg et Akrech (Maroc occidental). Travaux de l'Institut scientifique chérifien ; série Géologie et Géographie physique, 11, 58 pages.
- Savornin J. (1921) : Observations sur le Paléozoïque de Rabat (Maroc). C. R. Acad. Sci. Paris, 172, pp :1587-1589.
- Tahiri A., Montero P., Elhadi H., et al. (2010) : Geochronological data on the Rabat–Tiflet granitoids: Their bearing on the tectonics of the Moroccan Variscides. Journal of African Earth Sciences, 57 (1), pp:1-13
- Tahiri A., El Hadi H., Pouclet A., Poyatos D.M. et al. (2022) : U–Pb age dating and geochemical fingerprints of Cambrian granites in the North Moroccan Meseta. Implication for the continental rift opening in the Northwest Gondwana margin. Journal of African Earth Sciences. Volume 195, 104644
- Wernli R. (1988) : Micropaléontologie du Néogène post-nappes du Maroc septentrional et description systématique des foraminifères planctoniques. Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc, 331, 270 p.
- Wipperf J. (1955) : Sur le granite de Taïcha, près de Tiflet (Meseta marocaine). Notes et Mém. Serv. géol. Maroc, 125, pp: 81-85.
- Wdowiarz S. (1987) : État de la reconnaissance géologique de la structure profonde du Rif. Notes & Mém. Serv. géol. Maroc, 321, pp : 233-253.

Les montagnes de l'Atlas au Maroc : Valorisation et conservation d'un patrimoine géologique et touristique

Hassan Ibouh

Faculté des Sciences Techniques, Université Cadi Ayyad, Marrakech
h.ibouh@uca.ac.ma

Résumé :

Les chaînes de l'Atlas marocain constituent un système orogénique intracontinental formé à la suite d'une longue évolution géodynamique post-hercynienne. Après une phase de pénéplanation ayant nivelé les reliefs paléozoïques, l'ouverture des bassins sédimentaires débute au Trias, dans le contexte de la dislocation de la Pangée. Ce processus est marqué par l'ouverture de l'océan Atlantique central à l'ouest (divergence Afrique–Amérique du Nord) et de la Néotéthys à l'est (divergence Afrique–Europe). Le remplissage de ces bassins comprend des dépôts détritiques continentaux rouges triasiques, des séries marines marno-calcaires et calcaires du Jurassique inférieur et moyen, puis des formations continentales jurassiques supérieures et crétacées inférieures. Ces unités sont surmontées par des alternances de marnes, silts phosphatés et calcaires crétacés et tertiaires, coiffées en discordance par des dépôts d'érosion néogènes et quaternaires. Cet ensemble sédimentaire est ponctué par des événements magmatiques successifs, du Trias au Quaternaire. La phase tectonique compressive, responsable de la surrection des reliefs atlasiques, débute au Crétacé supérieur, sous l'effet de la convergence nord-sud entre l'Afrique et l'Europe, induite par l'ouverture de l'Atlantique sud. Cette convergence, toujours active, est à l'origine de l'activité sismique actuelle observée dans le nord du Maroc. Ce contexte géodynamique confère aux montagnes de l'Atlas une grande richesse en ressources naturelles : gisements métallifères, substances utiles, matériaux de construction variés, ainsi qu'un patrimoine hydrique important. S'y ajoutent des géosites spectaculaires et un patrimoine paléontologique remarquable (fossiles de dinosaures, ammonites, empreintes), faisant de cette chaîne une région stratégique à la fois sur les plans scientifique, économique et touristique.

Mots clés : Atlas marocain ; Géodynamique post-hercynienne ; Bassins sédimentaires ; Ressources naturelles ; Patrimoine paléontologique ; Géosites.

Abstract :

The Moroccan Atlas ranges constitute an intracontinental orogenic system formed following a long post-Hercynian geodynamic evolution. Following an erosional phase that levelled the Paleozoic reliefs, the opening of the sedimentary basins began in the Triassic, in the context of the breakup of Pangea. This process is marked by the opening of the central Atlantic Ocean to the west (Africa-North America divergence) and of the Neotethys to the east (Africa-Europe divergence). The filling of these basins includes Triassic red continental detrital deposits, Lower and Middle Jurassic marine marl-limestone and limestone series, then Upper Jurassic and Lower Cretaceous continental formations. These units are overlain by alternating marls, phosphate silts, and Cretaceous and Tertiary limestones, and they are capped unconformably by Neogene and Quaternary erosion deposits. Successive magmatic events punctuate this sedimentary complex from the Triassic to the Quaternary. The compressive tectonic phase, responsible for the uplift of the Atlas reliefs, began in the Upper Cretaceous, under the effect of the north-south convergence between Africa and Europe induced by the opening of the South Atlantic. This convergence, still active, is at the origin of the current seismic activity observed in northern Morocco. This geodynamic context gives the Atlas Mountains a wealth of natural resources: metal deposits, valuable substances, varied construction materials, and a significant water heritage. Added to this are spectacular geosites and a remarkable paleontological heritage (dinosaur fossils, ammonites, footprints), making this chain a strategic region from a scientific, economic and tourist perspective.

Keywords: Moroccan Atlas; Post-Variscan geodynamics; Sedimentary basins; Natural resources; Paleontological heritage; Géosites

1. Introduction

Le domaine atlasique constitue une chaîne de montagnes intracontinentale qui s'étend à travers le Maghreb, depuis l'océan Atlantique jusqu'à l'axe nord-sud tunisien. Dans sa portion marocaine, ce domaine est délimité au sud par la faille sud-atlasique, qui le sépare du craton ouest-africain, et au nord par le front sud de la chaîne rifaine. Il se caractérise par deux alignements morphostructuraux majeurs : le Moyen Atlas et le Haut Atlas

(Fig. 1). L'éclatement du supercontinent Pangée, survenu il y a environ 240 millions d'années (Ma), a initié deux grands systèmes de divergence : l'un orienté est-ouest entre l'Amérique du Nord et l'Afrique, à l'origine de l'ouverture de l'Atlantique central, et l'autre orienté nord-sud entre l'Afrique et l'Eurasie, lié à l'ouverture du rift téthysien. Les marges de ces systèmes extensifs se prolongent dans le nord-est de l'Afrique, où elles ont engendré la formation des bassins atlasiques. Ces derniers comprennent deux branches principales : une branche orientée NE-SW localisée dans le Moyen Atlas, et une autre orientée E-W à ENE-WSW dans le Haut Atlas. Les bassins sont encadrés par des zones relativement stables et surélevées : la Meseta marocaine au nord, et la marge septentrionale du craton ouest-africain au sud (Fedan & El Hassani, 2018).

Bien que le domaine atlasique marocain soit généralement interprété comme le résultat d'un rift avorté n'ayant pas évolué jusqu'au stade océanique, contrairement au rift atlantique, la datation précise de cet avortement reste sujette à débat (Laville et al., 2004). Selon la typologie des rifts proposée par Perrodon (1988), le développement d'une plateforme carbonatée, succédant à des dépôts volcano-sédimentaires, marque le stade ultime d'un système de rifting. Dans cette optique, les dépôts détritiques continentaux rouges et les évaporites triasiques, les basaltes verts de la Province Magmatique de l'Atlantique Central (CAMP) (Marzoli et al., 1999), ainsi que les carbonates du Lias inférieur et moyen observés dans le Haut et le Moyen Atlas, sont interprétés comme des dépôts syn-rifts. Les formations sédimentaires comprises entre le Lias supérieur et le Crétacé supérieur sont quant à elles considérées comme post-rifts.

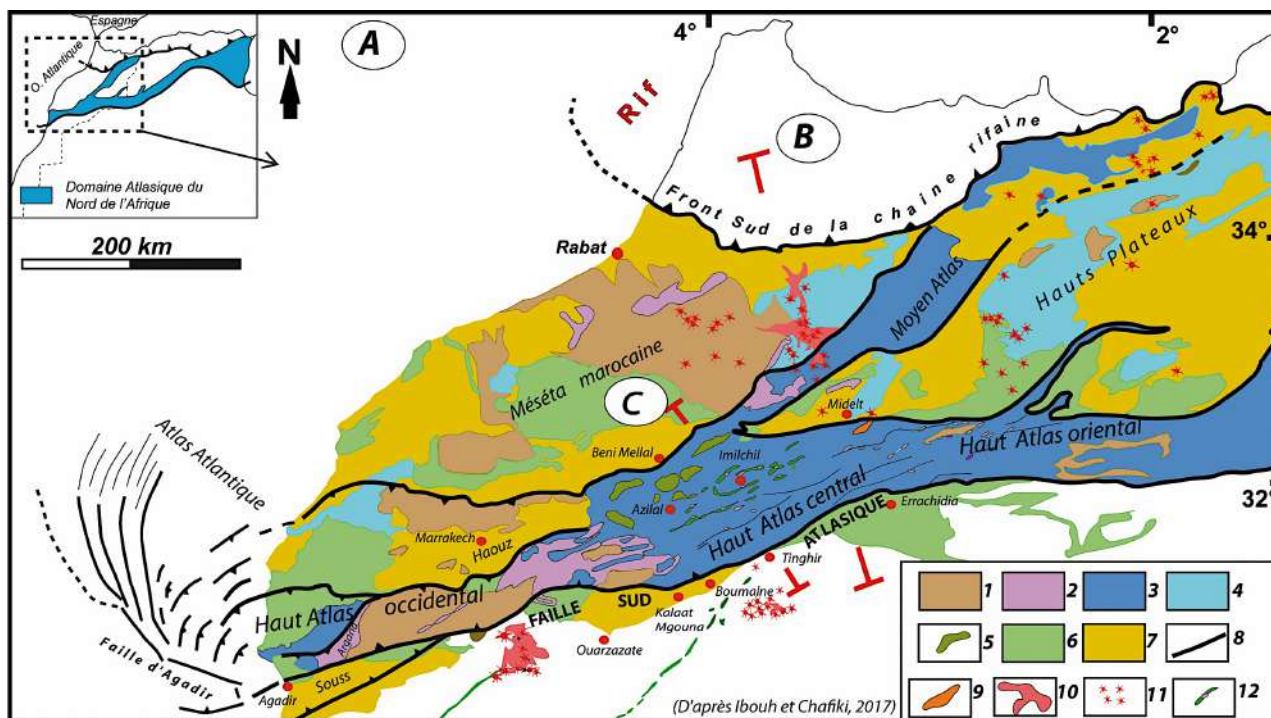


Figure 1-A : Carte géologique du Nord du Maroc montrant les montagnes de l'Atlas. 1: Socle paléozoïque; 2: Basaltes et argiles roses du Trias; 3: Jurassique plissé ; 4: Jurassique tabulaire; 5: synclinaux à remplissage de couches rouges du Jurassique et Crétacé; 6: Crétacé; 7: Tertiaire; 8: Faille ; 9: Massif de carbonatite de Tamazert; 10: Roches volcaniques néogènes; 11: Principaux appareils volcaniques néogènes et quaternaires; 12: Rides diapiriques à cœur gabbroïque dans le Haut Atlas central.

À la suite de l'arrêt de l'activité extensif vers la fin du Lias moyen, les bassins intracontinentaux du domaine atlasique marocain se développent sous l'effet de la subsidence thermique, provoquée par le refroidissement du manteau lithosphérique antérieurement chauffé durant les phases pré-rift et syn-rift. Cette subsidence est ensuite relayée par une subsidence gravitaire, puis tectonique, caractéristique du stade post-rift. Le maximum de subsidence est enregistré au cours de la transition Domérien-Toarcien, marqué par une importante variabilité lithologique verticale, traduite par le passage des calcaires lités du Lias moyen à des marnes détritiques interstratifiées de niveaux calcaires turbiditiques. Ce maximum de subsidence coïncide également

avec le début d'une individualisation marquée des sous-bassins, qui constitue une étape majeure dans l'évolution structurale du domaine atlasique marocain (Fig. 2-A).

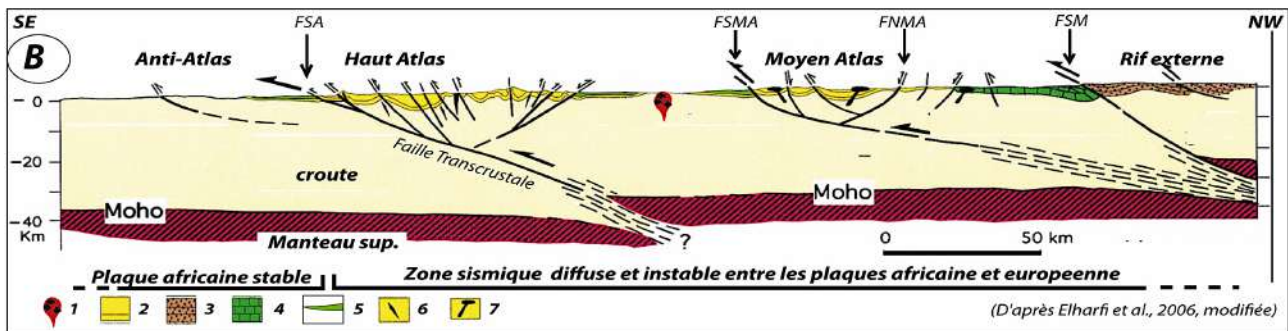


Figure 1-B : Coupe orientée NW-SE montrant les failles crustales à l'origine des montagnes atlasiques du Maroc.

1. granite hercynien de Moulouya; 2. couverture méso-cénozoïque du domaine atlasique ; 3. dépôts méso-cénozoïques du rif externe; 4. bassin crétacé et tertiaire d'avant pays de la chaîne rifaine; 5. bassins d'avant pays crétacés et tertiaires du Haut et du Moyen Atlas; 6. intrusions gabbroïques du Jurassique; 7. basaltes tertiaires et quaternaires.

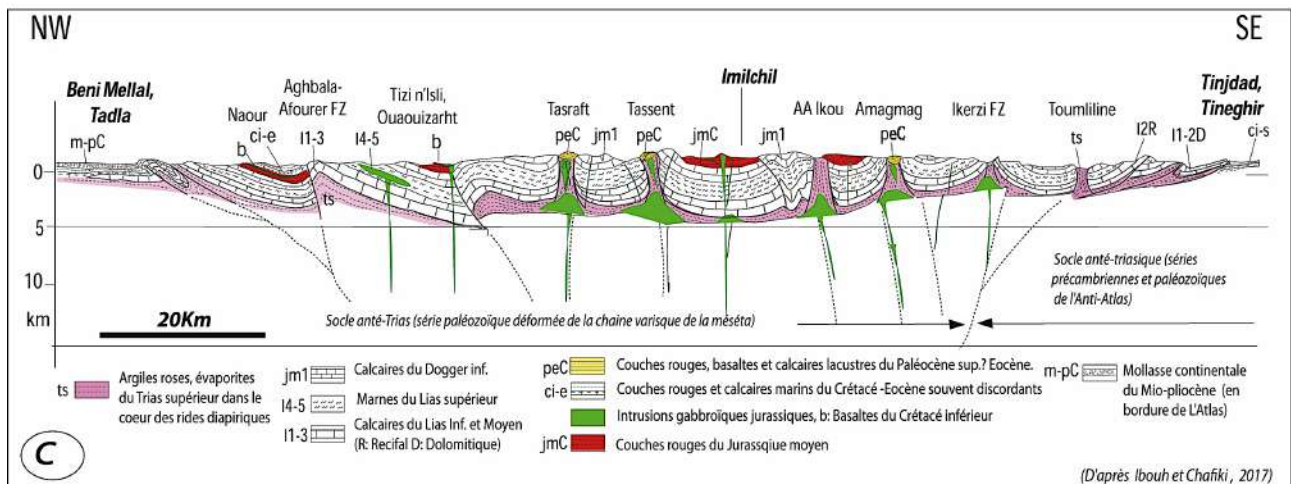


Figure 1-C : Coupe structurale NW-SE montrant l'alternance des rides anticlinales diapiriques étroites et des synclinaux larges à fond plat, caractéristiques du Haut Atlas.

2. Nature et âge des roches des montagnes atlasiques marocaines

Les roches affleurant dans les montagnes atlasiques du Maroc peuvent être classées en deux grands ensembles : un ensemble sédimentaire, comprenant des carbonates, des marnes, des grès et des argiles, et un ensemble magmatique, incluant des gabbros, des basaltes et des carbonatites. Les paragraphes suivants présentent et discutent succinctement la nature et l'âge de ces roches constituant les deux ensembles.

2.1. Les roches sédimentaires

Les roches sédimentaires se présentent sous forme de strates parallèles continues latéralement, visibles dans le paysage comme des plans parallèles. Ces dépôts se sont sédimentés et formés dans les bassins atlasiques lors de leur ouverture sous forme de strates horizontales, puis ont été déformés et soulevés en relief lors de la fermeture et de la surrection des bassins au Tertiaire. Malgré les variations de faciès et d'épaisseur des formations géologiques méso-cénozoïques, âgées de 245 à 1,6 Ma, affleurant dans les montagnes atlasiques marocaines, les discontinuités principales et les grands ensembles sédimentaires restent relativement identiques dans tout le domaine atlasique (Ibouh, 1995 et 2004 ; Souhel, 1996 ; Chafiki et al., 2001 et 2004 ; Ait Addi, 2002 ; El Hariri, 1998 ; Ellouz et al., 2003 ; Elharfi et al., 2006) (Fig. 2-A).

Dans le Moyen Atlas et le Haut Atlas centre-oriental, le remplissage sédimentaire des bassins débute par des dépôts volcano-détritiques rougeâtres à niveaux évaporitiques (sel et gypse) et des basaltes tholéitiques d'âge triasique (-200 Ma), discordants sur le socle paléozoïque. Ensuite, les dépôts carbonatés se présentent sous

forme de grandes barres calcaires et/ou dolomies, formant la plateforme liasique, actuellement visible en grandes falaises marquant les principaux reliefs de l'Atlas. À la fin du Lias moyen (passage Domérien-Toarcien), la dislocation de cette plateforme entraîne l'individualisation de sous-bassins avec un changement de faciès et l'amorce d'un dispositif paléogéographique avec des zones surélevées appelées « rides » et des zones subsidentes appelées « dépo-centres ». Ainsi, la sédimentation se poursuit par les marnes détritiques toarciennes (dépôts continentaux vers l'Ouest entre Demnate et Zaouit Ahansal et marins vers l'Est), qui scellent par endroit le dispositif paléogéographique préétabli avec un soulèvement synsédimentaire continu des « rides » et un affaissement des « dépo-centres », attesté par des discordances progressives et des éventails sédimentaires ouverts vers les « dépo-centres ». Le comblement du bassin se poursuit par les marnes et les calci-turbidites aaléniennes et les carbonates de la plateforme bajocienne à récifs coralliens, comme ceux de Jbel Assameur sur la transversale de Midelt-Errachidia.

Durant le Bajocien supérieur-Bathonien, la sédimentation change brutalement et se manifeste par une épaisse série détritique continentale rouge à bois fossile, fossiles d'animaux et traces de pas de dinosaures. Cette série rouge est baptisée « Couches rouges » (Jenny et al., 1981 ; Charrière & Haddoumi, 2016). C'est dans ces « Couches rouges » de la région de Tillouguite, province d'Azilal, que le géologue suisse Michel Monbaron a découvert en 1999 le squelette d'un grand dinosaure nommé *Atlasaurus imelakei* (Monbaron et al., 1999 ; Fig. 2-B). Il s'agit du squelette âgé de 164 Ma, long d'environ 16 m et haut de plus de 8 m. Ce squelette a été longtemps exposé dans le hall du Ministère de l'Énergie et des Mines à Rabat. Il a été retiré pendant une longue période pour réapparaître de nouveau dans le nouveau musée de ce Ministère en 2015. Un moulage (copie) de ce squelette est exposée dans le musée d'Azilal, dédié au patrimoine géologique et faisant partie du Géoparc du Mgoun (Fig. 2-C). Les couches rouges continentales s'observent dans plusieurs régions des montagnes de l'Atlas marocain. Elles sont préservées dans des cuvettes synclinales du Moyen Atlas (El Mers) et du Haut Atlas (Ait Attab, Ouaouzert, Tagleft, Naour, Imilchil, M'Semrir et Agalgal, etc.). Par endroits, ces couches rouges fossilisent et scellent le dispositif paléogéographique antérieur, marqué par la coexistence de rides en soulèvement synsédimentaire et de bassins en subsidence. Ce phénomène de soulèvement synsédimentaire est attesté, sur les flancs des rides, par des discordances progressives dans les couches rouges et, par endroits, des discordances angulaires des couches rouges sur les carbonates du Bajocien (Ibouh, 2004) (Fig. 2-D et Fig. 3). Dans la littérature, ces discordances ont été interprétées précédemment comme résultat d'une compression jurassique (Studer & Du Dersnay, 1980 ; Laville, 1985 ; Ibouh, 1995 ; Moussaid et al., 2014 ; Cavallina et al., 2018) sans fondements géologiques solides. Nous reviendrons en détail sur ce problème de discordances et de la compression jurassique dans la partie structuration de l'Atlas.

Le reste de la série sédimentaire, d'âge crétacé et tertiaire, est absent partout dans le Haut Atlas central, à l'exception des argiles rouges et des calcaires blancs de la Formation de Tasraft (Ibouh, 1995) discordants sur la ride anticlinale de Tasraft au NW d'Imilchil et la Formation de Timzourht discordante sur la ride anticlinale de Tassent au niveau de Bab n'Ouayyad au Nord d'Imilchil (Fig. 4).

Les âges précédemment attribués au Jurassique supérieur et au Crétacé pour ces formations (Piqué et al., 2002 ; Gomez et al., 2000 et 2002 ; Laville, 2002) ont été révisés sur la base d'études sur les ostracodes et les charophytes, indiquant un nouvel âge allant du Paléocène supérieur à l'Éocène inférieur (Charrière et al., 2009 ; Michard et al., 2011). Les discordances progressives et les glissements gravitaires observés dans les dépôts jurassico-crétacés du domaine atlasique marocain (Charroud, 1990 ; Medina et al., 2011 ; Ibouh et al., 2011a) résultent en réalité d'une activité diapirique. Cela signifie que le mouvement ascensionnel synsédimentaire des rides était dû à des diapirs¹. Dans le domaine atlasique marocain, cette activité diapirique a entraîné la mobilisation des argiles et/ou des évaporites triasiques le long des failles principales orientées N45, N70 à E-W et N120, limitant ainsi des mini-bassins (cuvettes limitées entre deux diapirs). Selon nos données de terrain, le phénomène diapirique dans le domaine atlasique marocain a été actif du Lias moyen jusqu'au Bathonien.

¹ Un diapir étant une apophyse de sel et/ou d'argile remontant le long d'une faille extensive sous l'effet de la charge des sédiments sus-jacents.

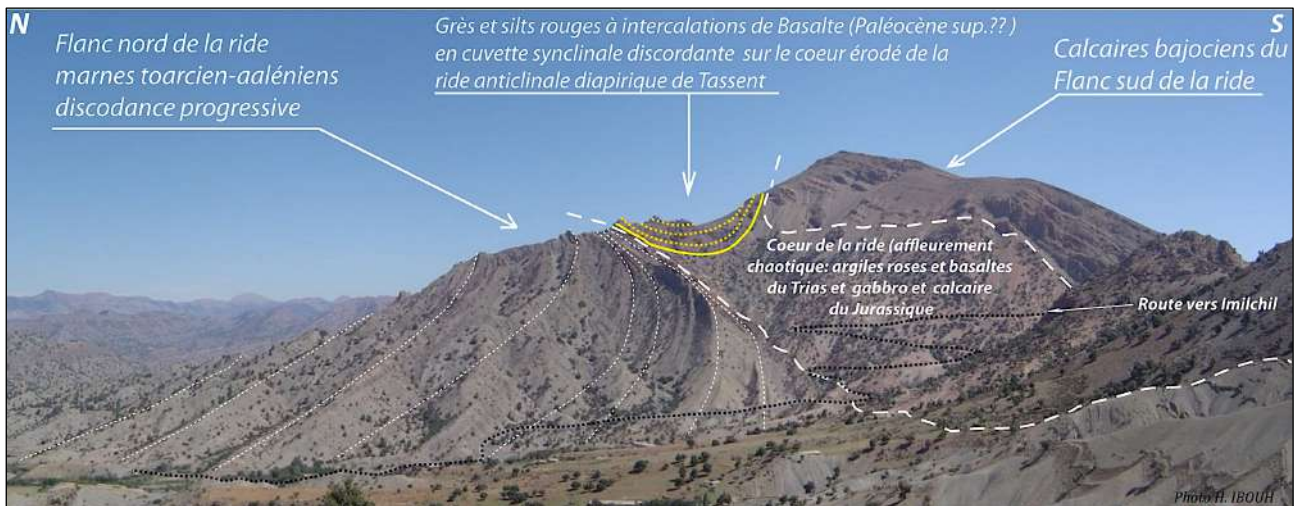
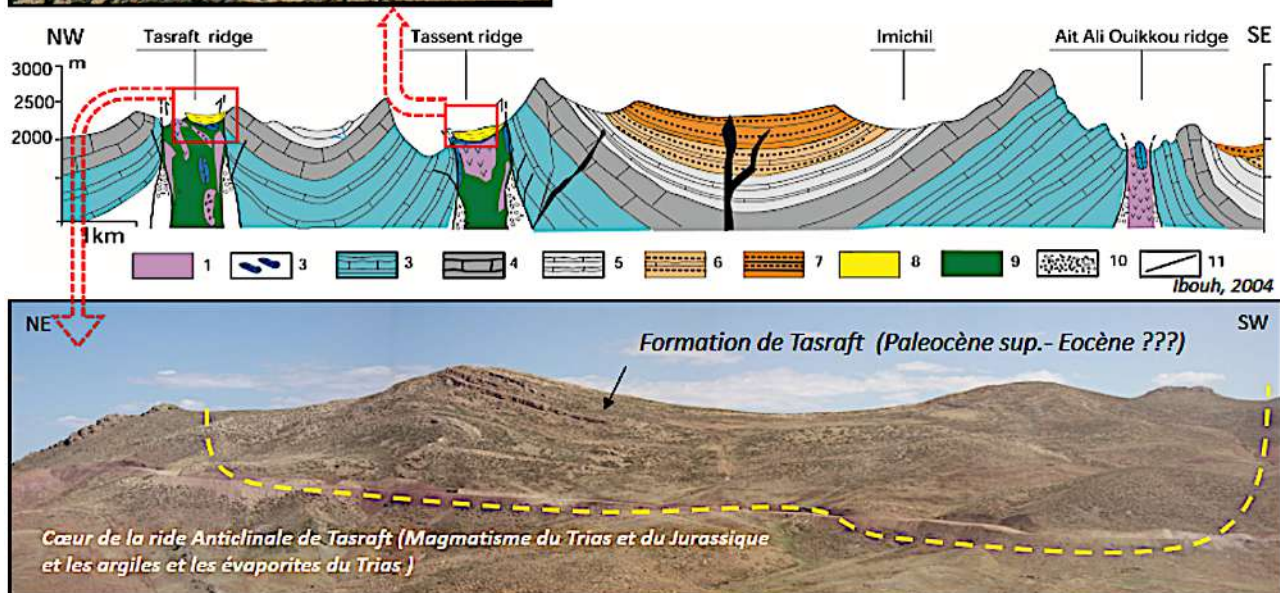


Figure 3 : Exemple de ride anticlinale diapirique du Haut Atlas central (Ride de Tassent, région d'Imilchil).



Figure 4 : Coupe structurale NW-SE dans la région d'Imilchil, montrant des rides diapiriques anticlinales, fossilisées par les couches rouges de la formation de Timzought et les calcaires blancs de Tasraft du Paléocène supérieur.

1 – Trias ; 2 – Enclave de Lias dans les cœurs diapiriques des rides ; 3 – Aalénien ; 4 – Bajocien inférieur ; 5 – Bajocien moyen à supérieur ; 6 – Bajocien-Bathonien ; 7 – Couches rouges du Bathonien ; 8 – Paléocène discordant sur les cœurs des rides ; 9 – Magmatisme jurassique des cœurs des rides ; 10 – Brèche de contact entre les cœurs et les flancs des rides ; 11 – Failles.



La remontée des diapirs s'est faite de manière continue dans le temps ; en termes géologiques, cette remontée est dite *syngénétique* et est attestée par des discordances progressives et angulaires (Figs. 2-D et 3). Ce phénomène a également accentué la structuration de cette zone en « rides », correspondant à des diapirs croissants, et en « dépocentres », correspondant à des mini-bassins subsidés depuis le Lias moyen jusqu'au Crétacé. Ces mêmes rides diapiriques, installées sur des failles du socle, ont été intrudées par des intrusions gabbroïques au Jurassique supérieur (Fig. 4 et Fig. 8). Les diapirs magmatiques percent les diapirs de sel et/ou d'argiles, particulièrement dans le Haut Atlas central et probablement dans les rides du Moyen Atlas. Des

exemples de ces diapirs magmatiques jurassiques intrudent et affleurent dans le socle paléozoïque et la série jurassique dans le Haut Atlas oriental, particulièrement dans et aux alentours de la boutonnière de Mouguer (Allouban, 2019).

Les affleurements sédimentaires du Crétacé se limitent actuellement aux bordures atlasiques et au domaine mésétien. Ces dépôts commencent par des terrigènes du Crétacé inférieur et se poursuivent par des carbonates cénomano-turonien. Ils se terminent par des marno-calcaires et des argiles à gypse du Sénonien. Les dépôts phosphatés, très développés dans les bassins d'Oulad Abdoun et de Gantour (Meseta occidentale), commencent au Maastrichtien et atteignent leur apogée à l'Éocène moyen (Fig. 2-A). Les dépôts tertiaires commencent par les terrigènes paléocènes, se poursuivent par les dépôts phosphatés de l'Éocène inférieur et moyen, et se terminent par les molasses continentales de l'Éocène supérieur et du Mio-Pliocène au centre et sur les bordures de la chaîne (Fig. 2-A).

L'absence de dépôts tertiaires dans la partie centrale du Haut Atlas est due à une érosion postérieure à la mise en relief de la chaîne. Des traces de leur présence sont encore préservées, notamment les dépôts paléocènes discordants sur le cœur diapirique des rides de Tasraft et de Tassent dans la région d'Imilchil, et le rocher Cathédrale d'âge mio-pliocène discordant sur le flanc NW de la ride diapirique de Tazoult dans la province d'Azilal (Fig. 4 et 5). Le Tertiaire discordant sur les rides diapiriques à cœur magmatique au centre du Haut Atlas central l'est aussi en bordure nord du Haut Atlas de Marrakech sur le Crétacé supérieur (Fig. 6).



Figure 5 : Le Rocher Cathédrale (Bourcart, 1934) – un conglomérat mio-pliocène formant une butte témoin d'une érosion intense au centre du Haut Atlas, en discordance sur le flanc nord de la ride diapirique anticlinale de Tazoult, entre Tillouguite et Zaouït Ahansal (province d'Azilal).



Figure 6 : Discordance Paléocène–Éocène sur le Sénonien, surmontée d'un chevauchement vers le nord du socle paléozoïque du massif d'Erdouz (Haut Atlas de Marrakech).

Les montagnes atlasiques marocaines, de la frontière maroco-algérienne jusqu'à l'océan Atlantique, présentent une homogénéité des affleurements et des structures avec quelques légères différences. Néanmoins, le Haut Atlas occidental (marge atlantique) se singularise par plusieurs points :

- Le Jurassique est représenté par une série très réduite rouge à évaporites, discordante sur le socle paléozoïque dans le Haut Atlas de Marrakech. La série se poursuit par les dépôts détritiques crétacés à évaporites et à intercalations carbonatées ;
- L'absence des dépôts continentaux jurassico-crétacés dits « Couches rouges » dans la partie occidentale du Haut Atlas atlantique, où la sédimentation littorale se poursuit durant cette époque ;
- Contrairement au Haut Atlas central, les rides diapiriques du Haut Atlas atlantique sont dépourvues d'intrusions gabbroïques d'âge jurassique (par exemple, le diapir de Tdsi, qui est une ride anticlinale à cœur érodé où le sel triasique affleure à la surface et est exploité de manière artisanale, comme les salines de Simmou entre Agadir et Essaouira).

Dans ce qui suit, nous nous intéresserons davantage au Haut Atlas central pour lequel nous disposons de plus de données sur les étapes de structuration. Une description magmatique, structurale, métallogénique et géotouristique y sera présentée de manière succincte.

2.2. Les roches magmatiques des montagnes atlasiques du Maroc

Au cours de l'histoire géologique de l'Atlas, durant le Méso-Cénozoïque, plusieurs épisodes magmatiques se sont produits, laissant des traces significatives dans les montagnes atlasiques du Maroc. Ces épisodes, du plus ancien au plus récent, incluent : les basaltes triasiques de la CAMP, les intrusions gabbroïques des cœurs des rides diapiriques jurassico-crétacées, les coulées basaltiques intercalées dans les couches rouges jurassico-crétacées, les roches magmatiques tertiaires, et enfin le volcanisme miocène et quaternaire (Fig. 2- A). Des études géologiques approfondies du Haut Atlas marocain, accompagnées de datations géochronologiques, ont permis de distinguer ces différents épisodes (Tableau 1).

2.2.1. Les basaltes verts de la transition du Trias-Lias (200 Ma)

Les basaltes verts de la transition du Trias-Lias, datant d'environ 200 Ma, sont des roches basaltiques verdâtres qui affleurent fréquemment au cœur des rides anticlinales diapiriques au centre des chaînes atlasiques. Elles se présentent sous forme de coulées interstratifiées entre les séries détritiques rouges du Trias et les calcaires du Lias inférieur et sont particulièrement répandues sur les bordures du Moyen Atlas (Ouarhache et al., 2012), dans le Haut Atlas de Marrakech et dans le couloir d'Argana.

Ces roches sont principalement représentées par des horizons de dolérites et des basaltes de couleur verte (Fig. 7-A), caractérisés par une affinité tholéiitique. Localement, les coulées basaltiques sont séparées par des niveaux sédimentaires centimétriques (Baudelot et al., 1990 ; Lachkar et al., 2000 ; Ibouh et al., 2002 ; Youbi et al., 2003). Ces basaltes sont le résultat de la rupture de la croûte continentale il y a environ 200 millions d'années. Cette rupture, située à l'emplacement actuel de la chaîne atlasique marocaine, a permis la remontée à la surface des coulées basaltiques provenant du manteau lors des premiers stades du rifting atlasique, marquant ainsi la mise en place des bassins sédimentaires des Atlas.

2.2.2. Les intrusions gabbroïques jurassiques (de 160 à 145 Ma)

Le magmatisme jurassique dans le domaine atlasique marocain est représenté par des massifs gabbroïques qui se mettent en place généralement au cœur des rides anticlinales diapiriques dans le Haut Atlas. Ces massifs affleurent sous forme d'une ou plusieurs intrusions à l'intérieur d'une même ride anticlinale. Chaque intrusion se distingue par trois unités pétrographiques : l'unité basique, composée de troctolites et de gabbros ; l'unité intermédiaire, formée de diorites et de diorites quartziques ; et l'unité différenciée, représentée par des syénites et des syénites quartziques (Fig. 7-B, 7-C et 7-D).

Tableau 1 : Âges isotopiques des roches magmatiques du Haut Atlas central publiés dans la littérature (*âge défini par la méthode Rb/Sr -**âge défini par la méthode K/Ar).

a. Complexe de Tamazert :

Age isotopique (Ma)	Période	Localité	Échantillon Analysé	Références
42±2 à 42.5±2	Éocène	Gisement Anougal	Biotite	Tisserant et al. (1976)
44±4 *		Gisement Anougal	Biotite, Roche totale	Tisserant et al. (1976)
40.5±2 à 43±2 **		Gisement Anougal	Roche totale	Tisserant et al. (1976)
44.8±1.6			Roche totale	Lancelot & Allegre (1974)
47 à 35		Massif Tamazirt	Zircon dans les syenite et les lamprophyres	Achmani et al. 2025

b. Intrusions alcalines au cœur des anticlinaux diapiriques et coulées basaltiques dans les couches rouges

Age isotopique (Ma)	Période	Localité	Échantillon Analysé	Références
119±3	Crétacé	Tassent (dyke)	Roche totale	Hailwood & Mitchel (1971)
119±3 120		Talat n'Bordj (coulée) Basalte coulée Tinghr-Dades	Plagioclase et Roche totale	Westphal et al. (1979) Morraati et al. (2018)
121±3		Tassent (dyke)	Roche totale	Hailwood et Mitchel (1971)
125±2		Ouzoud (coulée)	Plagioclase	Westphal et al. (1979)
131±3		Tassent (dyke)	Roche totale	Hailwood & Mitchel (1971)
134±3		Tassent (dyke)	Roche totale	Hailwood & Mitchel (1971)
144±7		Imiter (gabbro)	Roche totale	Hailwood & Mitchel (1971)
145±0.5	Jurassique	Tirrhist (Gabbro)	Biotite	Armando (1999)
151.3±0.5		Tirrhist (Troctolite)	Biotite	Armando (1999)
151±7		Imiter (Gabbro)	Biotite	Smith & Pazzobon (1979)
155±3 ; 152±3		Tassent (Gabbro)	Biotite	Hailwood et Mitchel (1971)
157±2 ; 154±2		Tassent (Gabbro)	Biotite	Hailwood & Mitchel (1971)
160±3 ; 158±3		Tassent (Gabbro)	Hornblende	Smith & Pozzobon (1979)
166±3		Naour (coulée sup.)	Plagioclase	Westphal et al. (1979)
169±9		BinElouidane- (coulée)	Plagioclase	Westphal et al. (1979)
173±4	Lias	Naour (coulée inf.)	Plagioclase	Westphal et al. (1979)
163 à 153	Jurassique sup	Tirrhist, Anefgou et Anemzi	Zircon dans les Syénites	Ahechach 2025

c. Basaltes et dykes Tholeiitiques

Age isotopique (Ma)	Période	Localité	Echantillon Analysé	Références
211.4±6.8 **	Trias	Haut Atlas central	Plagioclase	Fiechtner et al., (1992)
204.2± 0.3 **		Haut Atlas central	Plagioclase	Fiechtner et al., (1992)
195.4 ± 6.5 **		Haut Atlas central	Plagioclase	Fiechtner et al., (1992)
199.9 ± 0.5 **		Haut Atlas	Plagioclase	Knight et al., (2004)

Selon certains auteurs, les trois unités sont issues d'un même magma, et le passage entre elles est progressif (Zayane et al., 2002). Cependant, d'autres écoles de pensée suggèrent que l'origine des deux premières unités (basique et intermédiaire) diffère de celle de l'unité différenciée, qui les recoupe (Beraâouz et al., 1994 ; Armondo, 1999 ; Allouban, 2019). Toutes ces roches magmatiques jurassiques présentent une affinité alcaline à transitionnelle, dans un contexte anorogénique. Elles sont issues d'une différenciation magmatique par cristallisation fractionnée dans une chambre magmatique située à une profondeur de 10 à 15 kilomètres, avec une température de cristallisation variant entre 980 et 1253°C (Zayane et al., 2002).

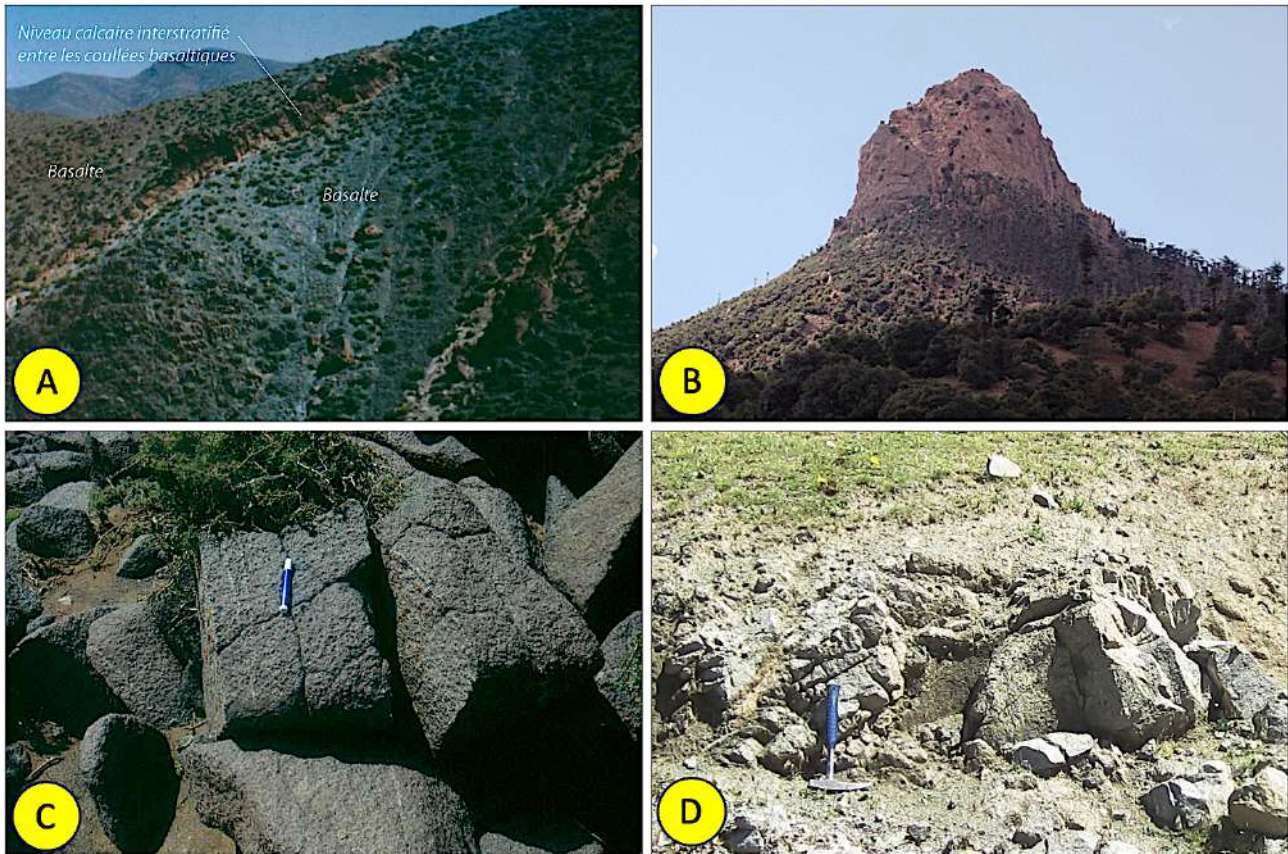


Figure 7 : Roches magmatiques des montagnes atlasiques. **A-** Coulées basaltiques vertes du Trias, séparées par des niveaux calcaires noirs laminés au cœur de la ride d'Ait Ali ou Ikkou (Imilchil) ; **B-** Sommet syénitique de l'intrusion magmatique de Jbel Hayim au cœur de la ride d'Anefgou (Imilchil) ; **C-** Gabbro jurassiques au cœur des rides ; **D-** Diorite jurassiques au cœur des rides.

2.2.3. Les coulées basaltiques du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur intercalées dans les couches rouges (de 160 à 130 Ma)

Les coulées basaltiques du Jurassique supérieur et du Crétacé sont intercalées dans les couches rouges de ces périodes géologiques. Un exemple notable est celui des basaltes intercalés dans les couches rouges du synclinal d'Ait Attab dans la région d'Azilal (Fig. 8). Ces coulées sont très répandues dans la bordure nord du Haut Atlas, mais elles sont également présentes sur la bordure sud (Moratti et al., 2018).

Sur la bordure nord du Haut Atlas central, ces coulées basaltiques s'organisent en deux séquences principales, désignées B1 et B2. Les datations réactualisées des couches rouges qui les contiennent (Haddoumi et al., 2010) ont révélé que la séquence B1 est proche de la limite Jurassique moyen-Jurassique supérieur, tandis que la séquence B2 date du Crétacé inférieur (Barrémien).

Les données géochimiques (Bensalah et al., 2013) indiquent que la séquence B1 présente une affinité modérément alcaline, alors que la séquence B2 montre une affinité transitionnelle.

2.2.4. Le magmatisme éocène (entre 47 et 30 Ma)

Les manifestations magmatiques de l'Éocène dans les montagnes atlasiques marocaines sont représentées par un exemple unique : les carbonatites. Ces roches sont issues du refroidissement d'une lave contenant au moins 50 % de carbonates. Les magmas carbonatitiques, très pauvres en silice et riches en carbonates, sont extrêmement fluides et se caractérisent par une température relativement faible, comprise entre 500 et 550 °C.

Dans le Haut Atlas, le magmatisme tertiaire est illustré par le massif alcalin de Tamazert, datant de l'Éocène moyen-supérieur. Ce massif est situé au sud-ouest de la ville de Midelt, sur le bord nord du Haut Atlas central, et abrite les plus grandes occurrences de carbonatites en Afrique du Nord. Le massif de Tamazert se compose de carbonatites, de roches ultramafiques sous-saturées, ainsi que de syénites alcalines et peralcalines. Ces carbonatites se sont mises en place dans un contexte compressif (Bouabdli & Liotard, 1992 ; Bouabdellah et al., 1988 et 2010). Selon ces auteurs, les carbonatites de Tamazert proviennent de la délamination de la lithosphère sous-continentale suite à la collision entre l'Afrique et l'Europe.

Les datations radiométriques de ces roches ont donné des âges variant de 44 à 40 Ma (Tisserant et al., 1976 ; Lancelot & Allegre, 1974). Selon d'autres auteurs, les carbonatites de Tamazert se sont mises en place en trois émissions successives, datées respectivement de 32,4 Ma, 23,3 Ma et 12,6 Ma (Ziad et al., 2001).

2.2.5. Le volcanisme miocène supérieur et quaternaire

L'activité magmatique du Miocène et du Plio-Quaternaire dans les montagnes de l'Atlas marocain est représentée par des appareils volcaniques bien conservés dans le paysage. Cette activité est principalement observée dans le Moyen Atlas et se divise en deux épisodes distincts, datés respectivement de 14,6 à 5,9 Ma (Miocène supérieur) et de 1,8 à 0,5 Ma (El Azzouzi et al., 2010). Elle se manifeste par plus de 60 appareils volcaniques circulaires et coniques, ainsi que des maars, qui se concentrent dans le Moyen Atlas tabulaire (Fig. 9). Les cônes volcaniques sont alignés autour d'un axe de direction moyenne N170. La nature pétrographique des roches volcaniques est dominée par des basaltes alcalins et, plus rarement, de néphélinites (Mhiyaoui et al., 2016 ; Amine et al., 2019).

Ce volcanisme alcalin intraplaque est attribué à une extension locale associée à l'orogénèse alpine et/ou à la Moroccan Hot Line (MHL), qui est une anomalie thermique mantellique recoupant en oblique la partie nord-ouest du Maroc depuis le Miocène (Frizon de Lamotte et al., 2009). C'est dans ce même contexte que le massif de Sirwa, composé de coulées volcaniques et de dépôts de cinérite, s'est mis en place dans la partie nord de l'Anti-Atlas.

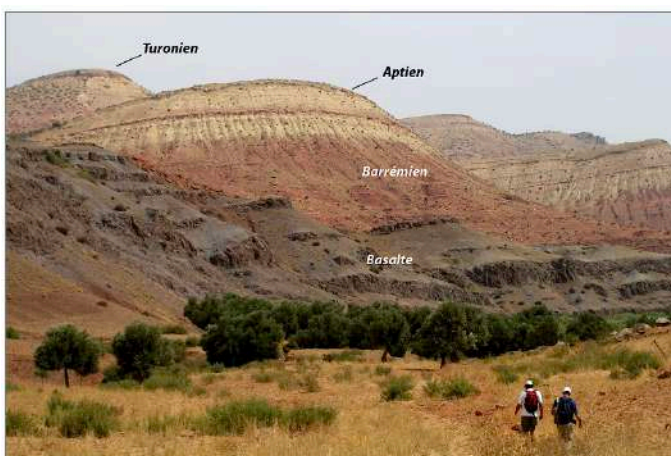


Figure 8 : La série sédimentaire du Crétacé du flanc sud du synclinal d'Ait Attab (Azilal) montrant des basaltes à sa base



Figure 9 : Image satellite oblique montrant les cratères volcaniques quaternaires et les maars du causse moyen atlasique (Google earth).

3. Structuration et modèles tectoniques des montagnes de l'Atlas marocain

La structuration des bassins sédimentaires ayant donné naissance aux montagnes atlasiques du Maroc a fait l'objet de nombreuses discussions depuis les années cinquante du siècle dernier. Plusieurs modèles ont été proposés pour reconstituer le scénario d'évolution de ces montagnes, depuis l'ouverture des bassins jusqu'à leur fermeture et la mise en relief des chaînes atlasiques. Dans cette section, nous distinguons les modèles géodynamiques, qui tentent d'interpréter l'évolution globale des bassins, des modèles structuraux, qui expliquent la formation des structures principales au sein de la chaîne atlasique, en particulier les rides anticlinales caractéristiques de ces montagnes.

Les études géophysiques menées dans le nord-ouest du Maroc, notamment le long d'un transect reliant l'Anti-Atlas au Moyen Atlas, ont grandement amélioré notre compréhension de la structure crustale dans un contexte de réversion tectonique (Schwarz & Wigger, 1988). Les anomalies gravimétriques de Bouguer montrent deux minima distincts, dont l'un, centré sur le Haut Atlas, s'étend jusqu'à la Haute Moulouya. Cela suggère la présence d'une racine crustale significative, bien que le contraste gravimétrique reste modéré, de l'ordre de 70 mgal. Cependant, les travaux de Miller et Becker (2013) ont montré que la chaîne des Atlas ne peut être en équilibre isostatique d'Airy. Ceci signifie que la racine sous les montagnes atlasiques et très réduite est n'est pas symétrique avec la topographie. La croûte et la lithosphère sont nettement plus minces sous l'Atlas que sous la plateforme saharienne ; le décalage dans la croûte est d'environ 9 km et celui dans la lithosphère d'environ 26 km, au niveau la bordure sud du Haut Atlas. À la marge nord de l'Atlas, la lithosphère présente un échelon significatif d'environ 23 km à la limite du Moyen-Atlas tabulaire. Cependant, les coupes transversales basées sur la géologie structurale et les données de sismique réflexion couvrant les limites de l'Atlas ne révèlent que des failles de chevauchement à faiblement inclinées, en particulier le long des flancs du Haut Atlas (Beauchamp et al., 1999 ; Frizon de Lamotte et al., 2009). Ce même travail, montre également une variation brutale des épaisseurs lithosphérique (~10 km) et crustale (~16 km) à la limite entre le Moyen Atlas plissé et la plateforme de la Haute Moulouya, non détectée auparavant par d'autres méthodes d'imagerie géophysique.

Les récentes investigations géophysiques, en particulier les expériences sismiques RIFSEIS et SIMA, ont permis d'affiner considérablement notre compréhension de la structure profonde de la croûte sous les montagnes de l'Atlas (Carbonell et al., 2013). Les modèles sismiques et de vitesses obtenus mettent en évidence une topographie irrégulière de la discontinuité de Mohorovičić (Moho) sous les systèmes orogéniques du Haut Atlas et du Moyen Atlas. Le Haut Atlas est notamment caractérisé par une croûte modérément épaisse, avec une profondeur maximale du Moho atteignant 40 à 41 km, décalée légèrement vers le nord par rapport à l'axe topographique de la chaîne.

Ces résultats confirment la présence d'une racine crustale due à une imbrication au sein de la croûte inférieure, où la croûte saharienne semble s'enfoncer sous la marge marocaine. Toutefois, malgré cet épaississement localisé, l'ensemble de la croûte reste relativement mince sous l'Atlas, ce qui suggère que le raccourcissement crustal ne suffit pas, à lui seul, à expliquer l'élévation actuelle de la chaîne. Les données sismiques appuient plutôt l'hypothèse d'un bombement mantellique comme mécanisme additionnel contribuant de manière significative au maintien de la topographie atlasique (El Hassani, 2023).

Par ailleurs, les données issues des transects sismiques révèlent une architecture crustale emboîtée et fournissent de nouvelles informations sur la répartition spatiale de la sismicité dans la région. Ces résultats corroborent les travaux antérieurs d'Ayarza et al. (2005), fondés sur des modèles gravimétriques, qui avaient déjà suggéré un décalage vers le nord de la racine crustale par rapport au point culminant du Haut Atlas. L'ensemble de ces études souligne la complexité des interactions entre la déformation crustale, la structure lithosphérique et les dynamiques mantelliques dans la genèse et l'évolution des chaînes atlasiques.

Les études magnétotelluriques révèlent une zone de forte conductivité électrique, commençant dans la croûte supérieure sous la bordure sud du Haut Atlas et plongeant vers le nord, atteignant la croûte moyenne ou

inférieure sous le Moyen Atlas. Cette anomalie pourrait correspondre à une zone de faiblesse mécanique, interprétée comme un niveau de décollement ou un plan de chevauchement majeur, bien que cette interprétation reste débattue en raison des incertitudes liées à l'inversion des données.

Sur la base de ces résultats, Giese et Jacobshagen (1992) proposent un modèle tectonique où le Haut Atlas et le Moyen Atlas sont décrits comme deux rifts asymétriques, hérités de la phase d'extension mésozoïque, chacun contrôlé par une faille de détachement à faible pendage nord (Fig. 10). Leurs coupes structurales illustrent les états tectoniques successifs : l'ouverture des bassins et leur remplissage sédimentaire pendant le Trias et le Jurassique (Fig. 10-A), suivis d'une inversion tectonique compressive à partir de l'Oligocène (Fig. 10-B).

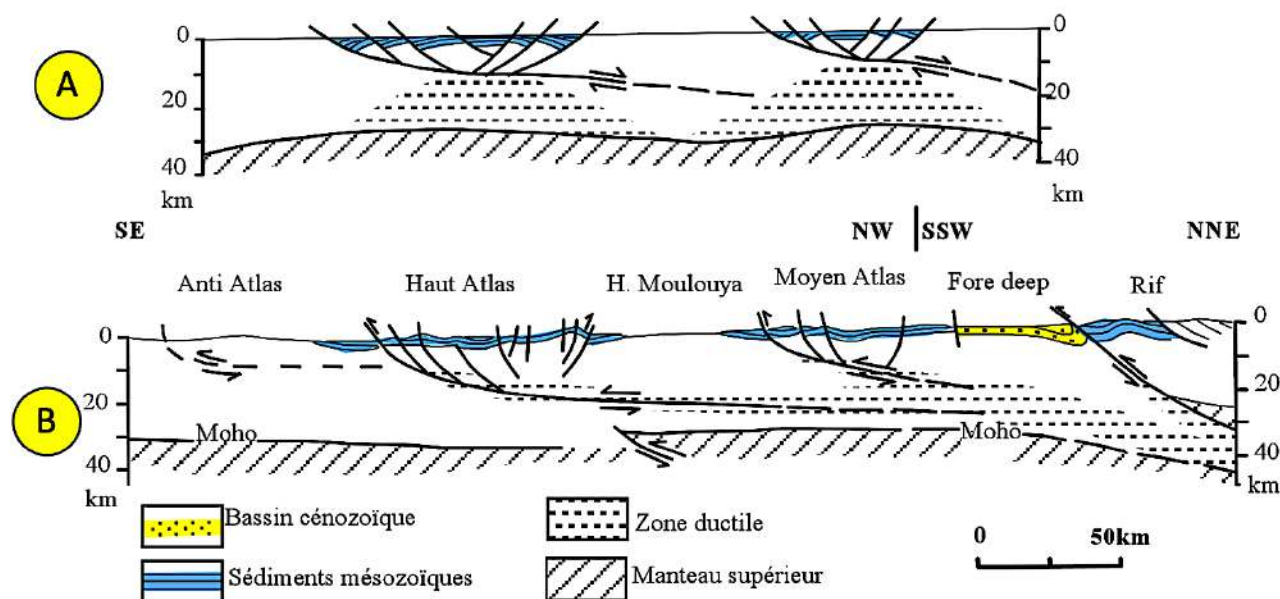


Figure 10 : Modèle géotectonique : **A**- Rifting au Jurassique inférieur ; et **B**- Inversion cénozoïque des bassins intracratoniques des Atlas (Giese & Jacobshagen, 1992).

Durant la phase d'extension, deux zones de cisaillement distinctes sont supposées, respectivement sous le Haut Atlas et le Moyen Atlas. Ce schéma est repris pour la phase compressive. Ainsi, sous le Haut Atlas, le décollement serait localisé dans les unités paléozoïques de la croûte supérieure. Plus au nord, sous la Haute Moulouya, le cisaillement s'approfondirait le long d'une rampe structurale plongeante dans les croûtes moyenne et inférieure, interprétées comme des domaines ductiles. Un nouveau plan de décollement, également à pendage nord, caractériserait le Moyen Atlas. De plus, un troisième système de chevauchement est supposé en avant du Rif, responsable de la tectonique compressive récente affectant les piémonts sud-rifains.

L'ensemble de cette structuration rampante du nord-ouest marocain résulte d'une alternance entre des blocs rigides non déformés (Anti-Atlas, Haute Moulouya, Meseta) et des domaines plus déformables (Haut et Moyen Atlas), chacun étant affecté par son propre système de chevauchement (Giese & Jacobshagen, 1992).

Dans une étude détaillée d'une coupe transversale des montagnes de l'Atlas marocain, Du Dresnay (1979) a suggéré que le Haut Atlas se présentait sous la forme d'un graben symétrique, délimité par des failles normales est-ouest pendant le Trias et le Jurassique (Fig. 11). Après le remplissage sédimentaire du bassin, accompagné d'événements magmatiques, ces failles normales ont été réactivées en failles inverses lors de la compression de l'Atlas au cours du Tertiaire.

Laville (1985) a proposé un autre modèle décrivant le domaine de l'Atlas marocain (Haut Atlas) comme résultant d'un système de relais multiples sur des décrochements senestres orientés est-ouest, se déroulant en deux étapes (Fig. 12). Lors de la première étape, au Toarcien-Bajocien, les principales structures de l'Atlas se sont formées. La seconde étape, au Bathonien-Jurassique supérieur, toujours influencée par des décrochements

senestres est-ouest, a structuré les sous-bassins (dépo-centres) et les crêtes (étroites crêtes anticlinales synsédimentaires). Fedan (1988) a également suggéré ce modèle de relais sur décrochements pour le Moyen Atlas.

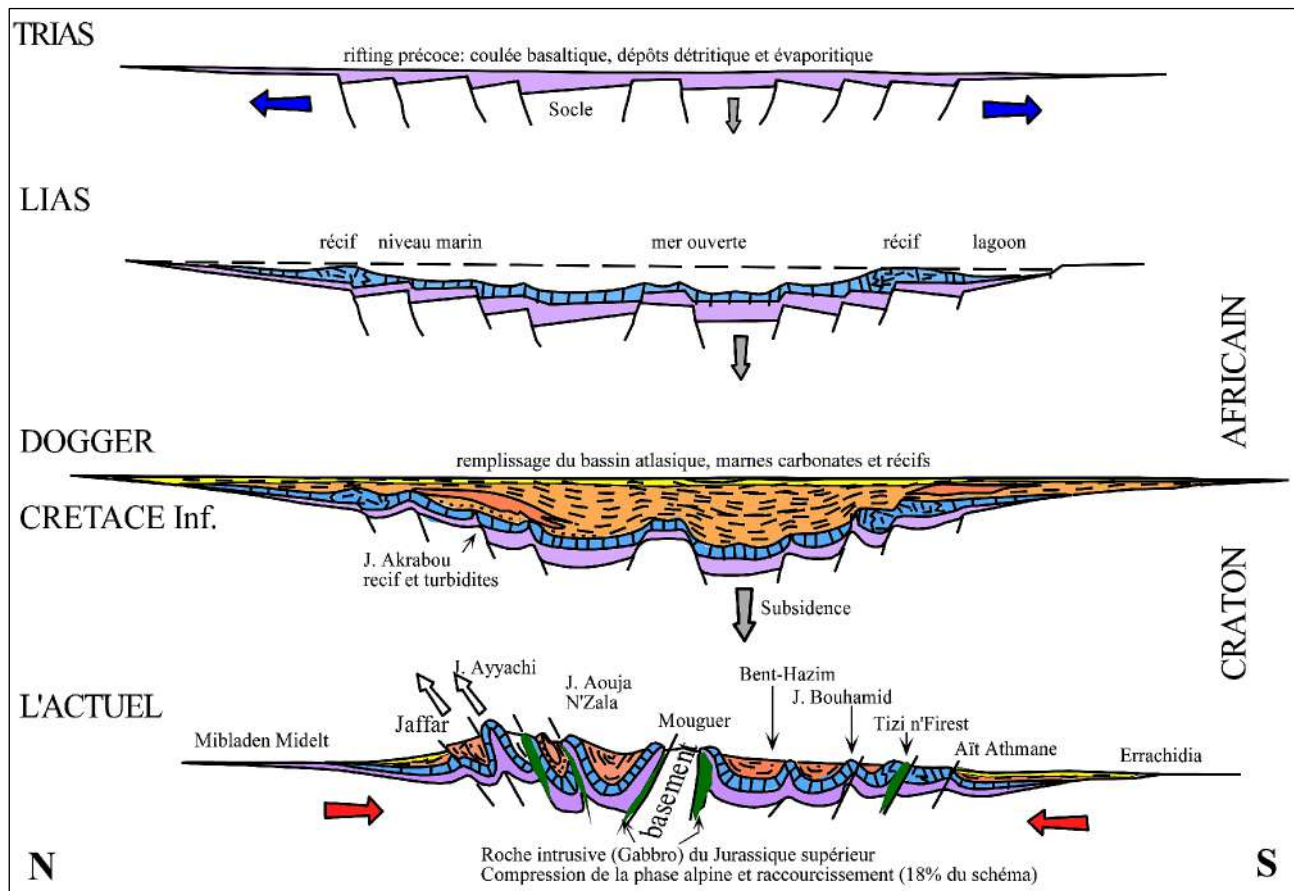


Figure 11 : Coupes N-S montrant les stades d'ouverture, du remplissage sédimentaire et de fermeture du bassin haut atlasique depuis le Trias jusqu'à l'actuel (Du Dresnay, 1979)

Warne (1988), à travers une étude géologique sur l'une des coupes transversales les plus accessibles et documentées des montagnes de l'Atlas, située à la frontière entre le Haut Atlas oriental et central, a proposé que la transversale Midelt-Errachidia corresponde à un rift symétrique. Ce rift serait délimité par des failles synthétiques et antithétiques orientées est-ouest, organisées autour d'une grande faille de détachement est-ouest à pendage nord. Cette faille marquerait la limite entre le craton saharien et le domaine atlasique marocain (Fig. 13).

El Kochri et Chorowicz (1996) ont suggéré que les deux bassins du Haut Atlas central marocain et de l'Atlas Saharien en Algérie ont subi une extension oblique de part et d'autre d'une faille de transfert senestre orientée N120, parallèle au Haut Atlas oriental (Fig. 14). La distension, initialement orientée WNW-ESE au Trias-Lias, est devenue N-S à NNW-SSE au Jurassique. L'inversion structurale et tectonique au Tertiaire a été causée par une compression N-S résultant de la collision Afrique-Eurasie.

Sur la coupe transversale de Midelt-Errachidia, Ibouh (2004) a montré que la structuration du Haut Atlas central s'est effectuée par une extension asymétrique au Jurassique inférieur. Cette asymétrie se manifeste par une extension diachronique, précoce et intense dès le Sinémurien au sud, se propageant ensuite vers le nord pour atteindre le bord nord de l'Atlas au Carixien-Domérien. Conformément au modèle de Wernicke (1985), l'asymétrie du bassin est liée à une faille trans-crustale à faible pendage nord sous les Atlas du Maroc.

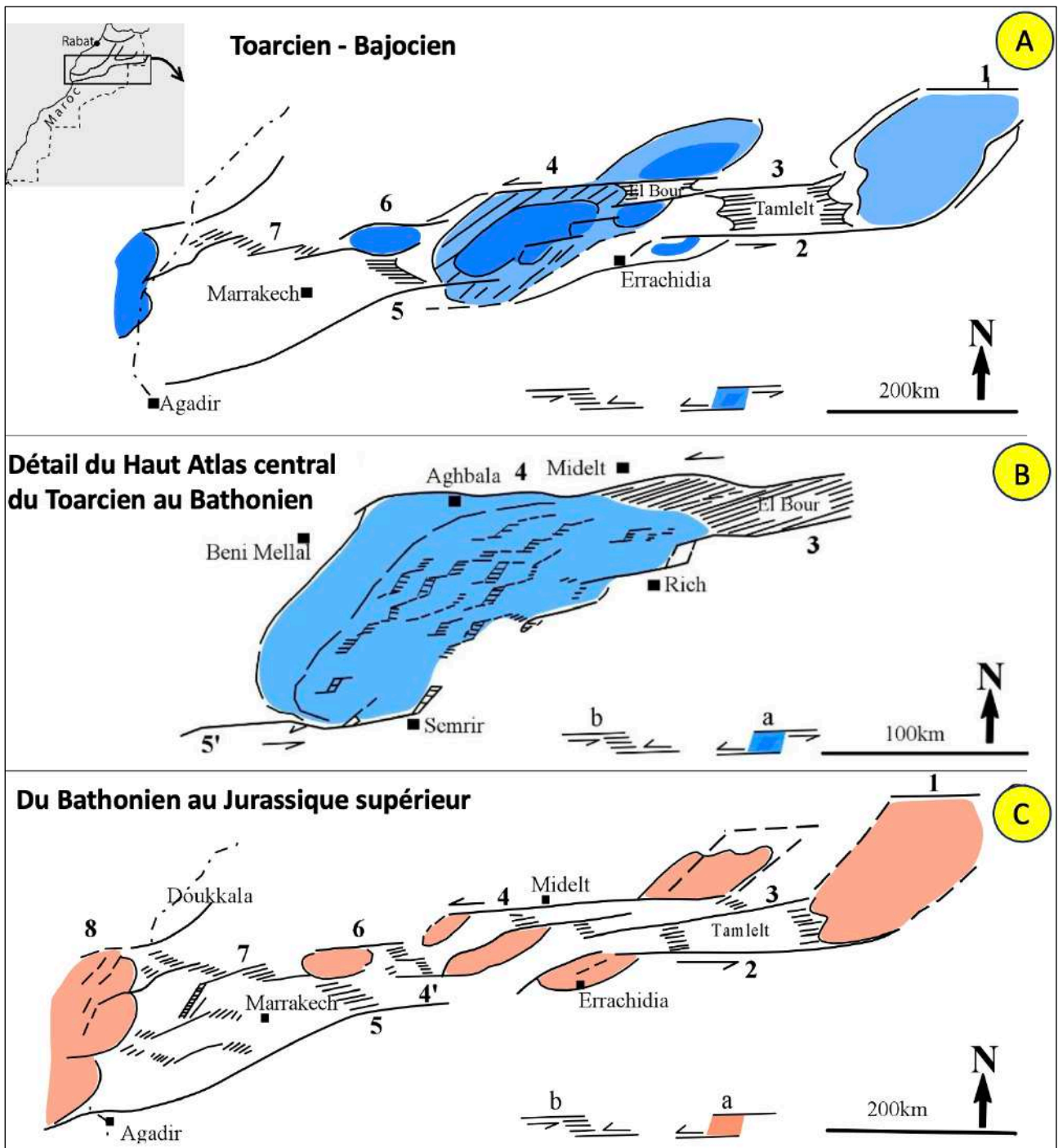


Figure 12 : Le modèle géodynamique proposé pour le Haut Atlas par Laville (1985). **A**- Période du Toarcien au Bajocien : 1. Accident E-W bordant au Nord l'Atlas Saharien ; 2. Accident E-W séparant le seuil de Tamlelt du sillon préafricain ; 3. Ligne structurale E-W bordant à l'Est le seuil du Tamlelt du côté Nord et à l'Ouest la boutonnière d'Elbour vers le Sud ; 4. Ligne structurale majeure séparant le bassin du Haut Atlas central de la moyenne et haute Moulouya ; 5. Prolongement oriental E-W de l'Accident de Tizi n'Test jusqu'à Msemrir ; 6. Ligne structurale séparant à l'Ouest de Beni Mellal, la bordure nord du Haut Atlas de la plaine du Tadla ; 7. Accident bordant au Nord le massif des Jébilites orientales. **B**- Alternance de la période du Toarcien au Bathonien qui gouverne le Haut Atlas central : **a**. Petits bassins losangiques en relais distensifs sur décrochements senestres ; **b**. Zones de relais compressifs sur décrochements senestres. **C**- Période du Bathonien au Jurassique supérieur.

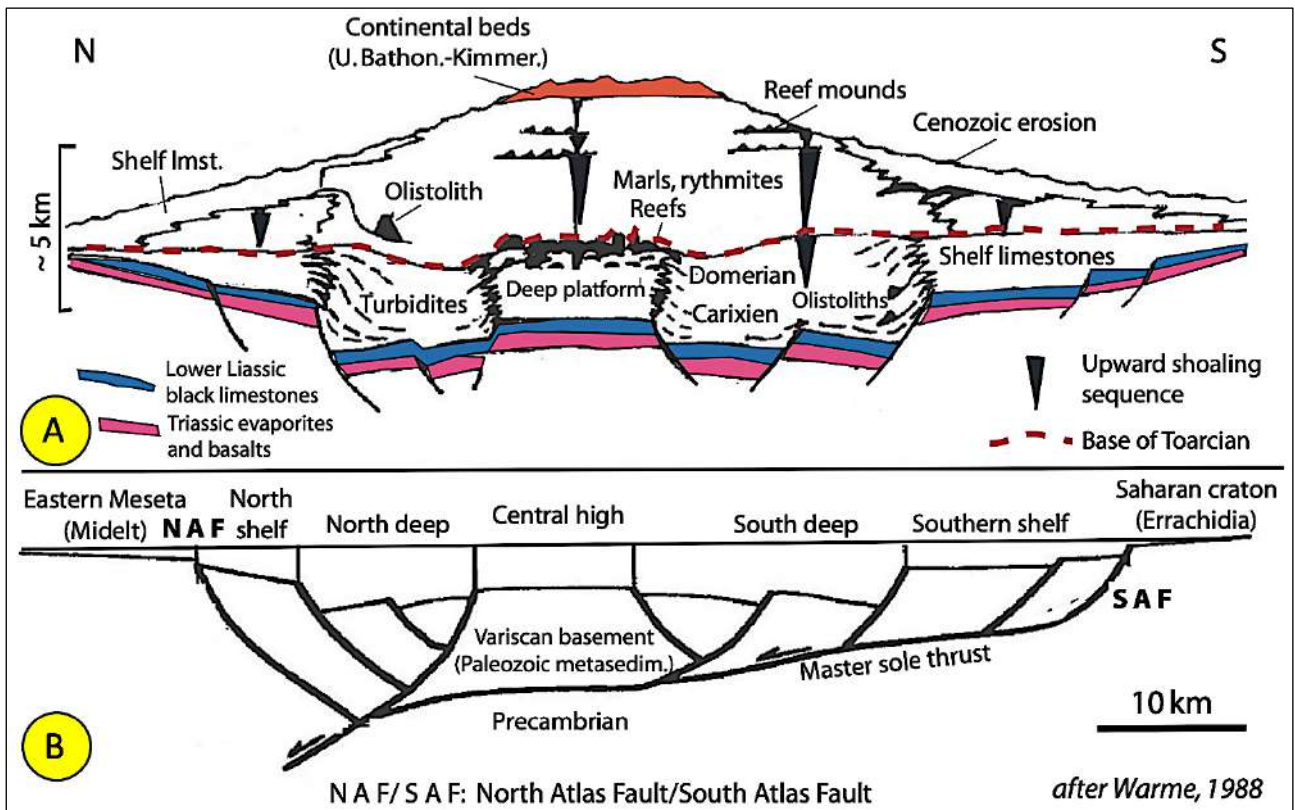


Figure 13 : Modèle d'ouverture du bassin (rift) du Haut Atlas oriental contrôlée par une faille de détachement à pendage nord. A– Coupes schématiques illustrant l'organisation générale des faciès sédimentaires ; B– Géométrie de la faille avant inversion tectonique le long du transect Midelt–Errachidia (d'après Warme, 1988, modifié).

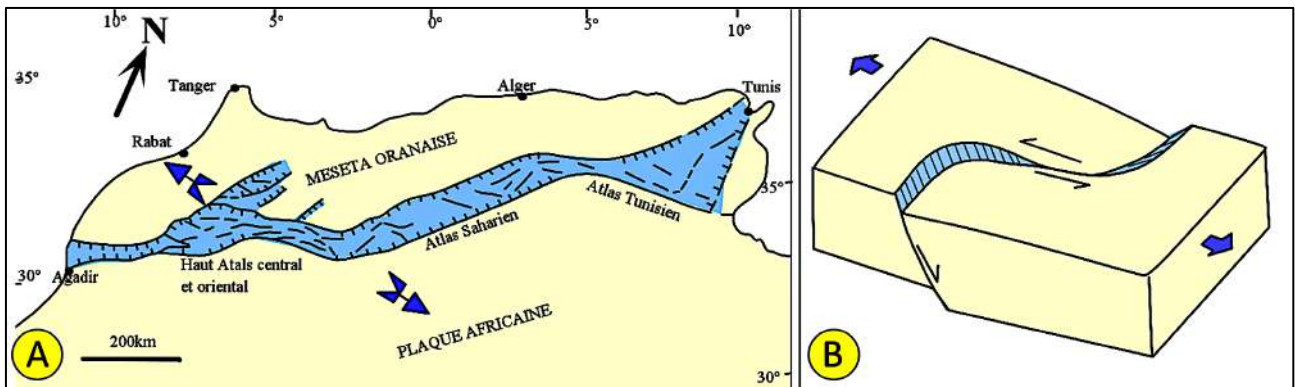


Figure 14 : Modèle proposé par El Kochri et Chorowicz (1996) se basant sur une faille de transfert N120 parallèlement au Haut Atlas oriental. A– Bassins nord africains, les flèches montrent le sens du mouvement entre les blocs mésétiens et la plaque africaine au Jurassique ; B– Modèle de double courbure d'une faille de transfert.

3.1. Structuration interne des montagnes atlasiques par des rides anticlinales

Les montagnes du Haut Atlas et du Moyen Atlas sont caractérisées par une alternance latérale de reliefs linéaires orientés NE-SW à E-W et de larges replats. Les reliefs linéaires correspondent à des structures de plis anticlinaux parfois à charnière érodée, désignées sous le terme de « rides ». En certains endroits, l'érosion des charnières de ces plis révèle un cœur de rides composé d'un mélange chaotique d'affleurements de roches magmatiques jurassiques et triasiques, d'argiles roses du Trias et de lambeaux de calcaires jurassiques inférieurs. Les replats, quant à eux, représentent des structures synclinales, se présentant sous la forme de larges cuvettes à fond plat, parfois remplies de sédiments détritiques des couches rouges continentales (Fig. 3, 4 et 15).

Avant d'aborder les modèles géologiques expliquant la formation de ces structures, il est essentiel de clarifier l'origine et la signification du terme « rides ». Ce terme a été initialement utilisé dans l'Atlas marocain par Dubar (1938), puis repris par d'autres géologues pour désigner des axes paléogéographiques surélevés, ou hauts-fonds, caractérisés par une sédimentation réduite ou lacunaire. Ces rides sont bordées de zones subsidentes relativement larges et plates, situées de part et d'autre, appelées dépocentres (Laville, 1985 et Feddan 1989), mini bassin entre deux rides diapiriques (Saura et al., 2014 et Martin, et al. 2016) ou localement ombilics (Elmi et Benshili, 1987). La déformation anticlinale étant focalisée au niveau des rides, celles-ci sont désignées sous le terme de « rides anticlinales ». Elles sont majoritairement orientées N60 à N70 dans le Haut Atlas et N45 dans le Moyen Atlas, et sont associées à des rides ou à des failles transverses (N120 ou N-S), correspondant également à d'anciennes limites paléogéographiques. La reconstitution de l'histoire géologique et la formation des rides ont fait l'objet de nombreuses publications.

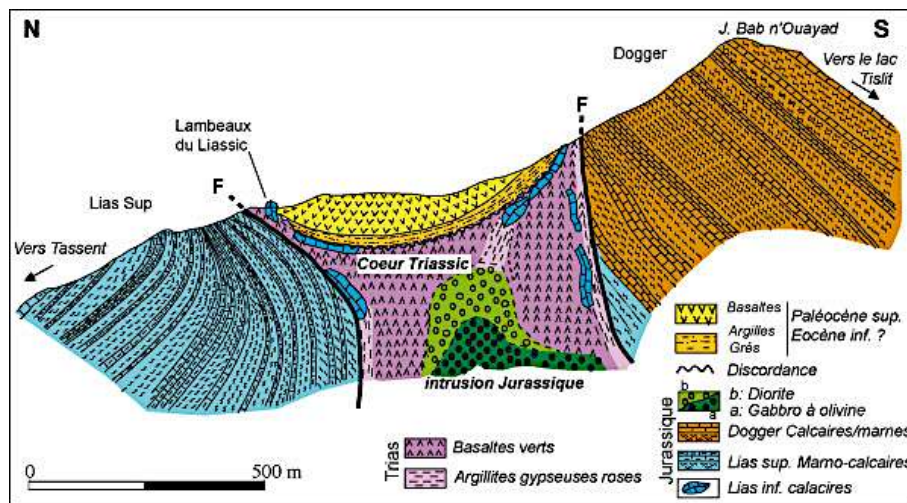


Figure 15 : Coupe transversale d'une ride diapirique anticlinale dans la région d'Imilchil, illustrant des flancs jurassiques encadrant un cœur chaotique constitué de basaltes verts et d'argiles roses triasiques, d'une intrusion gabbroïque jurassique et de blocs de calcaire du Lias inférieur, le tout fossilisé par les argiles rouges du Paléocène.

3.2. Formation des rides de l'Atlas et l'interférence du diapirisme, des intrusions magmatiques et de la tectonique.

Le mode de formation des rides anticlinales et des dépocentres adjacents a été sujet à controverses depuis le siècle dernier. Les interprétations proposées dans la littérature peuvent être classées en trois catégories principales :

- Les rides correspondent à des zones hautes caractérisées par une sédimentation réduite. Il s'agit des têtes de blocs basculés, constituées de carbonates du Lias, situés entre différentes failles lors de la distension jurassique (Poisson et al., 1998).
- Les rides sont interprétées comme des plis de compression d'âge jurassique, associés à la mise en place de corps magmatiques jurassiques. Les discordances progressives observées sur leurs flancs attestent d'un soulèvement synsédimentaire continue dans le temps (Studer & Du Dresnay, 1980 ; Laville & Piqué, 1992) ou de plis éjectifs (Chorowicz et al., 1982).
- Les rides sont considérées comme des structures anticlinales diapiriques (Roch, 1950 ; Bouchouata et al., 1995 ; Ettaki et al., 2007 ; Ibouh et al., 2011a ; Michard et al., 2011).

Dans cette étude, l'analyse des structures et de la géométrie des dépôts sur les deux flancs des rides révèle des discordances progressives et angulaires locales, ainsi que des glissements gravitaires dans la série sédimentaire allant du Lias au Crétacé. Ces observations soutiennent une hypothèse expliquant les rides par un phénomène de diapirisme non exclusif, c'est-à-dire associé à une extension, probablement polyphasée dans l'espace et continue dans le temps. Les déformations précédemment initiées par le double réseau de failles directionnelles

N70 à E-W et transverses N45 constituent des zones de faiblesse empruntées par les diapirs. Ce réseau dessine par endroits des bassins de forme losangique, dont les limites constituent des zones de faiblesse qui seront utilisées par les argiles et les évaporites du Trias pour monter comme diapirs. Par exemple, le bassin losangique d'Azag n'Oufoullousene (Ibouh et al., 2008).

Les rides du Haut Atlas central sont progressivement initiées par la mobilité des argiles et/ou des dépôts évaporitiques (sel et/ou gypse) triasiques sous l'effet de la charge lithostatique des séries jurassiques sus-jacentes (Ettaki et al., 2007 ; Ibouh et al., 2011a ; Martin et al., 2016). Ce diapirisme se produit dans un contexte d'extension polyphasée continue et d'intensité variable dans le temps et dans l'espace. Cette mobilité diapirique se poursuit du Lias moyen jusqu'au Crétacé. Dans le paysage actuel, les rides se présentent comme des anticlinaux étroits, parfois sans charnières et à ossature de calcaires liasiques ou bajociens selon les régions. Leur cœur est souvent occupé par un mélange chaotique d'argiles roses et de basaltes triasiques, de blocs de calcaires dolomitiques liasiques (cipolinisés et ferruginisés) et d'intrusions subvolcaniques jurassiques (Fig. 15).

3.3. Pourquoi l'hypothèse de compression jurassique n'est-elle pas retenue ?

L'hypothèse d'une compression post-jurassique anté-Crétacé a été initialement proposée par Mattauer et al. (1977) et a ensuite été soutenue par d'autres auteurs (Laville & Piqué, 1992 ; Ait Brahim et al., 2002 ; Piqué et al., 2002). Cette hypothèse se base principalement sur une structure célèbre et unique située dans la région d'Imilchil, que nous avons nommée STARS (Syncline-Topped Anticlinal Ridges ; Michard et al., 2011). Cette structure, en forme de synclinal perché et constituée de la formation de Tasraft (Ibouh, 1995), supposée d'âge crétacé, est discordante sur l'extrémité nord-est de la ride diapirique anticlinale de Tasraft (région d'Imilchil, Haut Atlas central). Les partisans de cette hypothèse de compression post-jurassique s'appuient également sur le changement radical de la sédimentation, passant d'un milieu marin à un milieu continental à la fin du Bathonien, marqué par le dépôt des couches rouges continentales succédant aux marnes et aux calcaires marins. Ainsi, deux arguments convaincants, l'un d'ordre structural et l'autre d'ordre sédimentologique, semblaient attester d'un soulèvement indiscutable du Haut Atlas par une compression post-jurassique et anté-crétacée.

Cependant, une nouvelle datation micropaléontologique de la formation de Tasraft, attribuée au Paléocène supérieur (Charrière et al., 2009), a remis en cause l'âge de cette compression. De plus, Frizon de Lamotte et al. (2009) ont mis en évidence une anomalie mantellique sous le domaine atlasique marocain, engendrant un mouvement vertical et jouant un rôle dans le soulèvement précoce du Haut Atlas au Jurassique et au début du Crétacé. Ce mouvement vertical a permis d'expliquer le changement du régime sédimentaire au Bathonien. Ce soulèvement, dû à une anomalie mantellique englobant la Meseta occidentale marocaine et initialement définie comme la « Terre des Almohades » (Choubert & Faure Muret, 1962), est actuellement élargi et rebaptisé « West Moroccan Arch » (WMA) (Frizon de Lamotte et al., 2009). Ce soulèvement est à l'origine du retrait de la mer et de l'installation de la sédimentation continentale à partir du Bathonien, représentée par les « couches rouges continentales » (Jenny et al., 1981 ; Jenny, 1985).

En fin de compte, la géométrie des dépôts et les structures enregistrées sur les flancs montrent une formation synsédimentaire des rides anticlinales du domaine atlasique. Ces rides sont le résultat de montées diapiriques progressives des dépôts argilo-évaporitiques du Trias. L'anomalie mantellique WMA, à l'origine du passage de la sédimentation marine à la sédimentation continentale, serait également à l'origine de la mise en place des intrusions gabbroïques, des filons doléritiques au Jurassique et des coulées basaltiques jurassico-crétacées. La mise en place des intrusions magmatiques est guidée par la structure des rides diapiriques à cœur argileux, facile à percer par des apophyses gabbroïques (Fig. 4 et 15).

Après le remplissage sédimentaire des bassins atlasiques, accompagné de la croissance des rides diapiriques depuis le Lias jusqu'au Crétacé, une inversion tectonique a engendré la mise en relief de la chaîne atlasique. Il s'agit d'une tectonique compressive affectant le domaine atlasique en plusieurs stades successifs depuis la fin du Crétacé supérieur jusqu'à la fin du Tertiaire. Ces stades de compression sont à mettre en relation avec la

cinématique d'ouverture de l'Atlantique Sud, qui a dévié le mouvement de l'Afrique vers le nord et sa collision avec la plaque eurasiatique par la suite. La direction, qui oscille entre le NW-SE et le NNE-SSW, et l'âge de cette compression sont largement discutés (Ait Brahimi et al., 2002 ; Amrhar, 2002 ; Leprêtre et al., 2015 ; Domènech et al., 2015 ; Ibouh & Chafiki, 2017). Les premiers indices de cette compression atlasique s'expriment par des discordances progressives dans le Sénonien (Benvenuti et al., 2017) et ensuite par la discordance angulaire de l'Éocène sur le Crétacé (Fig. 6). La continuité de cette compression atlasique dans le temps s'enregistre par des discordances progressives dans l'Éocène supérieur régressif, la discordance sur des plis et des chevauchements de dépôts continentaux non datés (Formation Aït Ouglif, Oligocène ?) sur le versant sud du Haut Atlas. Dans ce contexte, on note surtout la discordance généralisée du Miocène sur l'ensemble de la chaîne et enfin les déformations du Mio-Plio-Quaternaire sur les bordures du Haut Atlas et du Moyen Atlas. Le relief du domaine atlasique a été accentué (d'environ plus de 1000 m d'altitude) à partir du Miocène par une nouvelle anomalie mantellique (Teixell et al., 2003) définie comme « Moroccan Hot Line » (MHL) par Frizon de Lamotte et al. (2009). Cette anomalie est également responsable du volcanisme miocène et quaternaire précédemment évoqué.

Enfin, tous ces événements géologiques (sédimentation, magmatisme et tectonique) ont contribué de manière variable non seulement à la formation de la chaîne atlasique marocaine, mais aussi à la production de richesses naturelles telles que les métaux, les substances utiles, et divers matériaux de construction ainsi que des réservoirs d'eau qui constituent une richesse économique inestimable des Atlas marocains. Les structures géologiques et les paysages pittoresques y constituent un patrimoine naturel unique à promouvoir et à protéger. Une partie de ce patrimoine naturel, dans son aspect économique (mines et carrières), hydrique (rivières et lacs), géologique (sites géo-touristiques), sera décrite brièvement dans les parties suivantes.

4. Minéralisations et substances utiles des Atlas du Maroc

Les montagnes de l'Atlas marocain renferment un potentiel économique significatif sous forme de minéralisations (telles que le plomb, le zinc, le cuivre, le fer, le manganèse, le nickel, etc.) et de substances utiles (comme le sel, le gypse, la calcite, la barytine, la fluorine, le marbre, les argiles et les matériaux de construction, entre autres).

4.1. Les minéralisations et les principaux indices miniers

Les minéralisations dominantes du domaine atlasique marocain sont principalement constituées de plomb, de zinc et de cuivre. Elles s'inscrivent dans la province à Pb-Zn du "Circum Méditerranéen et de l'Europe Alpine", telle que définie par Routhier (1980). Les principaux indices et mines sont principalement situés dans le Haut Atlas, formant ainsi une véritable province minière polymétallique. Les gisements du Haut Atlas oriental ont été répertoriés par Ovtracht (1977), témoignant de l'importance de l'activité minière dans cette partie du domaine atlasique. En revanche, le Haut Atlas central et le Moyen Atlas restent encore peu prospectés, malgré l'exploitation en cours de quelques mines, telles que la mine de Tazoult et la mine d'Aït Ali Ou'Daoud dans le Haut Atlas central (Ibouh & Mouguina, 2011 ; Mouguina & Ibouh, 2011). D'autres indices éparpillés dans le Haut Atlas sont exploités de manière artisanale. Dans la plupart des cas, ces indices sont généralement nommés selon les noms berbères des localités. Par exemple, Tazoult signifie « Galène » en berbère, et Boumaâden signifie « l'endroit où se situe le minerai ». Plusieurs minerais sont présents dans cette province, et les plus exploités seront cités ci-dessous.

4.1.1. Le plomb et le zinc

La distribution de la majorité des indices et gisements de plomb-zinc (Pb-Zn) dans le Haut Atlas central est directement liée à la zone des rides diapiriques à cœur magmatique d'âge jurassique supérieur (Ahechach et al., 2025 et Achmani et al., 2025). Ces minéralisations sont généralement encaissées dans les barres calcaires et marno-calcaires du Lias et/ou du Bajocien, qui constituent l'ossature orographique des principales structures géologiques, notamment les rides anticlinales, dans le Haut Atlas centro-oriental et le Moyen Atlas. Ces rides sont souvent ancrées sur des failles profondes orientées N45 à N70.

En plus des indices miniers situés sur les flancs des rides, d'autres minéralisations sont localisées dans les cœurs des rides. Par exemple, on observe des lentilles de magnétite pyrométasomatique (de type skarns à magnétite) dans les lambeaux carbonatés du cœur de la ride de Tasraft dans la région d'Imilchil (Fig. 16-A). Des sulfures cupro-nickélifères, disséminés ou rarement en filonnets, sont également présents dans des bandes de gabbros à olivine au niveau de la partie ouest de la ride diapirique anticlinale de Tassent (indices de Bou Maâden), située au nord du village d'Imilchil dans le Haut Atlas central.

Les mines de plomb-zinc répertoriées dans le Haut Atlas central incluent la mine de Tazoult, la mine d'Aït Ali ou Daoud (zinc sous forme de calamine) et la mine de Tirrhist (plomb-zinc et strontium). D'autres gisements de zinc sont localisés dans le Haut Atlas oriental, notamment les mines de Boudhar, de Bou Arhous, d'Aït Labbass, de Toulal et de Beni Tajite (Choulet et al., 2014), où le minerai exploité est principalement la galène (plomb) et/ou la calamine pour le zinc. À ces mines s'ajoutent des indices disséminés à différents endroits dans le Haut Atlas.

Parmi les indices les plus importants, on note ceux de Tizi n'Firest et Tabarhout, localisés au nord de la province d'Errachidia, ainsi que tous les indices de la CADETAF (Centrale d'Achat et de Développement dans la région de Tafilalet et Figuig), et les indices de Zaouit Ahansal, d'Aït Bou Oulli et d'Aït Abbas dans le Haut Atlas central, province d'Azilal. Le minerai de zinc non sulfuré, également appelé "calamine" ou "carbonate de zinc" (Fig. 16-B), constitue la principale source de zinc métal dans la région. Dans le Haut Atlas, les minerais non sulfurés de zinc comprennent également les carbonates de zinc (smithsonite), les carbonates hydratés (hydrozincite), les silicates (willemite) et les silicates hydratés (hémimorphite, argiles à Zn).

4.1.2. Le cuivre

Le cuivre est présent dans de nombreux indices connus dans l'Atlas de Beni Mellal, et certains d'entre eux ont permis de découvrir des gisements importants, tels que l'ancienne mine de Tansrift et le gisement de Naour dans l'Atlas d'Afourer-Ouaouizert, province d'Azilal. Les indices connus se présentent généralement sous forme de mouchetures ou d'imprégnations d'azurite ou de malachite dans la roche et sont disséminés dans toute la série stratigraphique, depuis la base du Lias jusqu'à la base de l'Aptien marin.

Le cuivre se présente sous forme de malachite, azurite, chalcosine, bornite et de cuivre natif dans des niveaux gréseux des couches rouges continentales d'âge jurassique et crétacé (Ibough et al., 2011b). En plus des mines de Tansrift et de Naour, d'autres mines ont été signalées dans la littérature, notamment le gisement de Tabaroucht sur la ride du Jebel El Abadine (province d'Azilal) et des indices dans les couches rouges crétacées du synclinal d'Aït Attab sur le bord nord du Haut Atlas central (Subra, 1970). D'autres gisements sont connus (Caïa, 1969) dans des terrains analogues dans la zone des plis marginaux, au nord du Haut Atlas oriental.

Dans l'Atlas de Beni Mellal, l'ancienne mine fermée de Tansrift présente une minéralisation de cuivre de type « Red-beds ». Elle est située dans la province d'Azilal, à 9 km au nord-est de Ouaouizert, sur la route de Taguelft. La minéralisation, représentée par de la malachite, est encaissée dans des grès rouges ou blancs ou des conglomérats à la base des couches rouges du Crétacé inférieur (Fig. 16-C). Le gisement de Tabaroucht, quant à lui, montre un remplissage paléokarstique cuprifère (Subra, 1980). Le minerai se présente également dans les argiles du mur de la formation rouge crétacée ; il s'agit principalement de malachite et accessoirement de chalcosine, finement cristallisée dans une argile feuilletée discordante sur les calcaires du Dogger.

4.1.3. Le fer

Le fer se présente sous forme de lentilles de magnétite de type skarns dans les rides, comme par exemple les lentilles de magnétite des rides de Tasraft et de Tassent ; L'indice Bou Ouzal au niveau l'extrémité NE de la ride Tassent et l'indice d'Imin Takkat au niveau de l'extrémité SW de la même ride dans la région d'Imilchil, province de Midelt (Fig. 16-A). Le fer peut également se présenter sous forme de filons d'ankérite dans les carbonates du Lias inférieur, comme le filon d'Aït Taguella, exploité de manière artisanale dans la province d'Azilal sur la route de la cascade d'Ouzoud. Dans certains endroits, le fer est associé au manganèse.

Par ailleurs, d'autres mines de fer, de zinc, de plomb et de cuivre sont situées dans le massif ancien du Haut Atlas, notamment dans le Haut Atlas de Marrakech, où la majorité des mines se trouvent dans le socle précambrien et paléozoïque. Certaines de ces mines sont encore en cours d'exploitation, comme les mines d'Amensif et de Tighadine (Al Ansari et al., 2009 ; Ilmen et al., 2015, El Bakhouch et al., 2024). D'autres sont fermées, comme la mine d'Assif Elmal (Bouabdellah et al., 2009) et la mine d'Azegour, connue pour son molybdène (Ibouh et al., 2011c). Cette région est également connue pour ses mines de barytine, exploitées dans plusieurs sites.

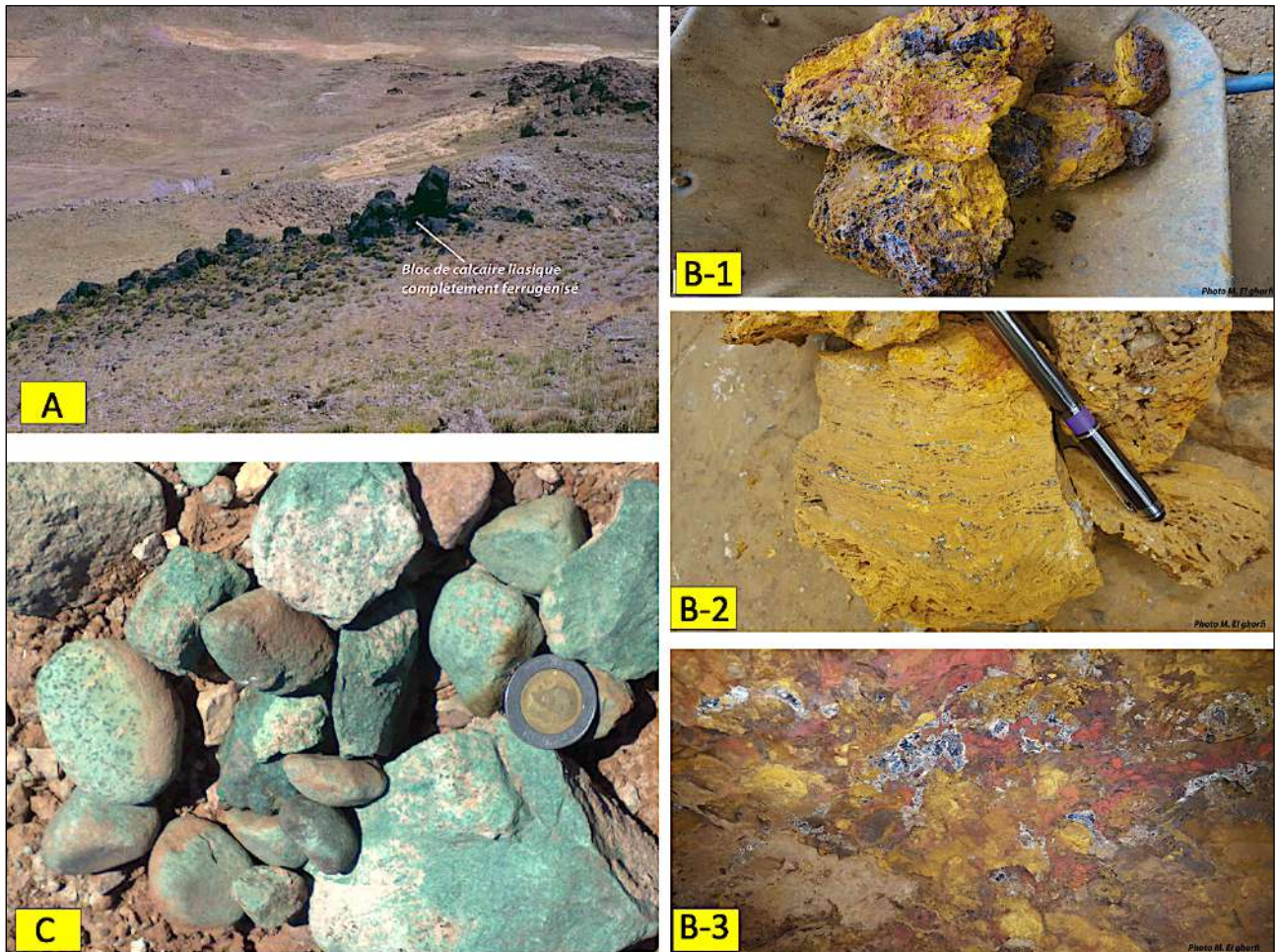


Figure 16 : Les minéralisations et les principaux indices miniers. A- Cœur de la ride Tasraft (NW d'Imilchil) montrant un bloc de calcaire liasique complètement ferruginisé. ; B1 et B2- échantillons montrant le minerai de zinc calamine (en jaune et blanc) et du plomb (galène noire bleutée métallique) et du fer (rose) de la mine de Tazoult (province d'Azilal) ; B3- bordure de galerie montrant les mêmes minerais (Photos El Ghorfi M.) ; C- Le minerai de cuivre dans la mine de Tansrift, province d'Azilal, galets verts (malachite) du conglomérat d'âge Barrémien.

4.2. Les substances utiles

En plus du potentiel minier, les montagnes de l'Atlas marocain renferment un important potentiel de substances utiles, exploitées depuis longtemps de manière artisanale. Certaines de ces substances sont exploitées de façon industrielle depuis peu, tandis que d'autres restent à l'état d'indices en attendant la découverte de sites plus prometteurs. Les principales substances utiles incluent le sel gemme, le gypse, la barytine, la calcite, la fluorite, les argiles, les marbres et les matériaux de construction. La description ci-dessous se concentrera sur les substances utiles les plus importantes du Haut Atlas.

4.2.1. Le sel gemme

Le sel gemme, ou chlorure de sodium (NaCl), est présent dans certaines zones du Haut Atlas marocain. Il s'agit d'une roche évaporitique d'âge triasique, formée il y a plus de 200 millions d'années. Le sel gemme se présente

sous forme d'horizons de couleur rosâtre, intercalés dans des argiles et des silts rouges du Trias (Fig. 17-A). Ces faciès constituent les premiers dépôts mésozoïques après la formation des bassins atlasiques. Le sel est exploité dans plusieurs sites des montagnes de l'Atlas. Trois mines principales sont connues dans le Haut Atlas : la mine de Telouet, située au nord-ouest de la ville de Ouarzazate, la mine de Toulilil, également appelée mine d'Aït Daoud, située à environ 70 km au nord de la ville de Tinghir sur la route d'Imilchil, et la mine de Marigha dans le Haut Atlas de Marrakech, au sud de Marrakech sur la route entre Tahanaout et Taroudant. D'autres petits indices sont souvent associés aux argiles rouges du Trias dans le cœur des rides diapiriques ou ailleurs dans tout l'Atlas, comme l'exploitation artisanale du site de Mellaha dans le Moyen Atlas tabulaire, à 8 km au sud d'El Menzel, et le site de Smimou dans le Haut Atlas occidental sur la route côtière entre Essaouira et Agadir.

4.2.2. La barytine

La barytine est un sulfate de baryum de formule BaSO_4 , contenant des traces de strontium (Sr), de calcium (Ca) et de plomb (Pb). Ce minéral, d'origine hydrothermale, incolore ou blanc laiteux, est largement utilisé dans l'industrie du papier, du plastique, de la peinture et des vernis. Dans l'industrie pétrolière, la barytine est également employée comme boue lourde dans les forages, et en médecine dans le domaine de la radiologie. Ce minéral est extrait dans plusieurs gisements du socle paléozoïque du massif ancien du Haut Atlas de Marrakech et de la boutonnière d'Aït Tamlelt dans le Haut Atlas oriental.

4.2.3. Le gypse

Le gypse est une substance utile de formule chimique CaSO_4 (sulfate de calcium). Il s'agit d'une roche sédimentaire d'origine chimique (évaporite). Ce minéral constitue la matière première pour la production de plâtre par chauffage et déshydratation. Le plâtre est utilisé depuis très longtemps dans l'industrie du bâtiment, apprécié pour ses caractéristiques d'isolant et pour sa couleur blanche. Il est également utilisé en médecine. Ce minéral évaporitique se rencontre dans les dépôts d'âge triasique et également dans les couches rouges du Jurassique moyen au Crétacé inférieur (Fig. 17-B). Le gypse est exploité de manière importante dans les dépôts du Crétacé du Haut Atlas occidental.

4.2.4. La fluorine

La fluorine est une substance utile qui peut être exploitée dans les montagnes du Haut Atlas. Il s'agit d'un fluorure de calcium (CaF_2) constitué théoriquement de 51,1 % de calcium et de 48,9 % de fluor. Elle est utilisée dans l'industrie de l'acier et de l'aluminium, en chimie et en pharmacie. Dans le Moyen Atlas, la fluorine est exploitée dans la mine d'El Hammam, située à 60 km au sud de Meknès. Dans cette mine, la fluorine est extraite principalement sous forme de filons, associée à d'autres minéralisations liées aux skarns, avec des concentrations de sulfures de plomb, de zinc et de cuivre. Les filons de fluorine sont encaissés dans les séries de schistes gréseux, de pélites et de niveaux de calcaires paléozoïques métamorphisés du socle du Moyen Atlas. D'autres indices de fluorine existent dans les montagnes de l'Atlas marocain, dont les plus importants sont le gisement d'Aghbala, au nord d'Imilchil et à deux kilomètres à l'est du village d'Aghbala, dans la province de Beni Mellal (Fig. 17-C), et le gisement de Zaouit Sidi Hamza, au nord-est du village de Rich sur la coupe transversale Midelt-Errachidia. Dans ces deux derniers gisements, la fluorine est exploitée dans des remplissages de karst dans les calcaires du Lias.

4.2.5. L'apatite

L'apatite est un minéral phosphaté verdâtre (Fig. 17-D). C'est le même minéral, formé dans d'autres conditions géologiques, qui est exploité sous forme de sable dans les gisements de phosphates de Khouribga, Benguerir et Youssoufia. L'apatite de l'Atlas du Maroc est liée à des intrusions magmatiques et a pour formule chimique $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{Cl}, \text{F})$, et cristallise sous le système hexagonal. Elle est présente dans la région d'Imilchil, surtout dans les rides à cœur magmatique jurassique. L'apatite est associée en particulier aux roches

magmatiques alcalines de type syénites néphéliniques. Les gisements actuellement connus se localisent au niveau de la rive d'Anemzi, située entre Imilchil et Tounfite.



Figure 17 : Exemples de substances utiles au Maroc. (A) Bloc de sel gemme inclus dans les argiles rouges du Trias, région de Telouet (NW de Ouarzazate). (B) Niveau de gypse interstratifié dans les couches rouges du Bajocien supérieur, même région. (C) Échantillon de fluorine provenant du gisement d'Aghbala, province de Béni Mellal (source : azuritecompagnie.wordpress.com). (D) Cristaux d'apatite de la région d'Anemzi, à l'est d'Imilchil (source : ecologie.ma/apatite-dimilchil).

4.3. Les matériaux de construction et le marbre

Selon un inventaire du Ministère de l'Équipement et du Transport en 2012, plus de 250 carrières de matériaux de construction sont répertoriées dans les montagnes de l'Atlas marocain. Ces carrières exploitent du sable, des argiles, des matériaux tout-venant, du marbre et du gravier. Les barres carbonatées du Lias et du Dogger dans le Haut et le Moyen Atlas représentent une richesse naturelle pour l'industrie des matériaux de construction, notamment pour le gravier et le marbre. Par ailleurs, les principales rivières et vallées, au nombre de plus de dix réparties sur les versants nord et sud du Haut Atlas, constituent des sources inépuisables pour l'exploitation de sable fluvial et de tout-venant, utilisés dans l'industrie du bâtiment (El Amrani, 2025).

À titre d'exemple de carrière de marbre, on peut citer celle située entre la ville d'Azilal et le village d'Aït Mhamed dans le Haut Atlas central. Dans cette carrière, les calcaires gris fossilifères d'âge bajocien sont exploités comme marbre et pierre ornementale dans le bâtiment artisanal. Ces calcaires sont naturellement découpés par deux familles de diaclases (orientées NS et EW) et sont exploités comme pierres ornementales. Ils sont découpés en blocs et transportés pour leur utilisation dans l'industrie du marbre (Fig. 18).



Figure 18 : (ex-29) Photo de terrain montrant les calcaires corniches, du Bajocien inférieur, découpés naturellement par deux familles de diaclases (NS et EW) exploités comme matériaux de construction (marbre noir d’Azilal).

5. Les ressources hydriques des montagnes de l’Atlas marocain

Les montagnes de l’Atlas jouent un rôle fondamental dans le cycle hydrologique du Maroc et sont qualifiées, à juste titre, de principal château d’eau du pays. Elles abritent une diversité remarquable de ressources hydriques, comprenant des nappes phréatiques, des sources, des rivières, des barrages, des lacs naturels ainsi que des nappes d’eau souterraine.

Du fait de leur altitude élevée et de leur climat montagnard, ces massifs permettent l’accumulation de réserves importantes d’eau sous forme de neige. Entre 2000 et 2011, la surface maximale d’enneigement a été estimée entre 18.882 et 33.600 km² (Hanich et al., 2003 ; Marchane et al., 2013 ; Boudhar et al., 2016). Les sommets les plus fréquemment enneigés incluent le Toubkal, le M’goun, le Jbel Azourki, le Jbel Mourik et Michlifène.

Les principaux fleuves du Maroc prennent naissance dans ces montagnes, tels que l’Oum Errabia, le Sebou et le Tensift sur le versant nord, ainsi que le Ziz, le Drâa et le Souss sur le versant sud.

Les chaînes de l’Atlas accueillent plus de 30 barrages établis sur les affluents des principaux cours d’eau (Gourfi et al., 2018). Parmi les plus notables figurent :

- le barrage de Bin El Ouidane, situé dans la province d’Azilal (Fig.19-A), avec une capacité de 1400 Mm³ ;
- le barrage Hassan Adakhil, au nord d’Errachidia, avec environ 350 Mm³ de capacité ;
- le barrage Ahmed El Hansali, au nord-est de Béni Mellal, d’une capacité d’environ 750 Mm³.

Les ressources hydriques de l’Atlas incluent également une grande variété de sources naturelles :

- La célèbre source minérale de Sidi Hrazem, située à 10 km à l’est de Fès dans le Moyen Atlas tabulaire, émerge à travers les marnes sableuses miocènes à une température de 33°C. Reconnue pour ses vertus thérapeutiques, notamment pour les affections rénales, elle constitue une eau potable de qualité (Benmakhlouf, 2001).
- La source d’Aïn Asserdoune, située au sud de Béni Mellal sur le bord nord du Haut Atlas central (Fig. 19-B) , jaillit à travers les calcaires liasiques (Bouchaou et al., 1995).
- Les sources de l’Oum Errabia, situées à environ 30 km au nord-est de Khénifra, présentent une dualité chimique (eaux douces et salées) et émergent à la limite entre les calcaires liasiques et les argiles évaporitiques triasiques (Fig. 19-C).
- La source du Sebou, à 15 km au sud-est de Ribats El Kheir, constitue une résurgence vaclusienne permanente à fort débit, issue des calcaires du Lias moyen.

Par ailleurs, les montagnes de l’Atlas sont le siège de sources thermales, telles que celles de Moulay Ali Chrif (Hammat Moulay Ali Chrif), situées au nord d’Errachidia, au sein de formations marno-calcaires du Jurassique inférieur. Ces sources, réputées pour leurs effets bénéfiques sur les maladies dermatologiques et rhumatismales, témoignent d’un potentiel géothermique encore peu exploité.



Figure 19 : Ressources hydriques des montagnes de l'Atlas marocain : **A.** Le lac de retenue du barrage de Bin El Ouidane, occupant le cœur de la cuvette synclinale de Ouauizert, province d'Azilal ; **B.** La source de Aïn Asserdoune, émergeant des calcaires du Lias inférieur sur le bord nord du Haut Atlas central, près de Béni Mellal ; **C.** Les sources de l'Oum Errabia, localisées à proximité de Khénifra ; **D.** Les lacs naturels de Tiglmamine, situés dans le Moyen Atlas ; **E.** Le lac d'Isli, au cœur de la région d'Imilchil, dans le Haut Atlas central ; **F.** Vue vers le sud montrant le lac Ifni, situé sur le versant sud du Haut Atlas de Marrakech : il s'agit du seul lac d'origine glaciaire identifié au Maroc.

En outre, les chaînes de l'Atlas marocain abritent plus d'une vingtaine de lacs naturels, notamment dans le Moyen Atlas tabulaire. Parmi les plus connus, on cite : Afennourir, Abakhane, Aziza, Sidi Ali, Daït Afouragh, Daït Aoua, Daït Iffer, Daït Ifrah, Aguelmame N'Miaami, Tiguelmamine et Tifounassine. La majorité de ces lacs sont d'origine tectono-karstique, associés à des effondrements dans les calcaires du Jurassique inférieur. Certains, tels que Sidi Ali ou Afennourir, sont également liés à des phénomènes volcaniques sous forme de «*maars*» (cratères d'explosion remplis d'eau) (Fig. 19-D). Dans le Haut Atlas central, la région d'Imilchil abrite deux lacs emblématiques, Isli et Tislit (signifiant respectivement « le fiancé » et « la fiancée » en berbère), associés à une tradition orale locale (Fig. 19-E). Installés dans les couches rouges du Jurassique

moyen, leur origine tectono-karstique a été confirmée par Ibough et al. (2014), en réponse à une hypothèse antérieure d'origine météoritique non validée sur le terrain (Ibhi et al., 2013). Enfin, le lac d'Ifni, situé au nord de la haute vallée de Tifnoute (Fig. 19-F), dans la commune de Toubkal (province de Taroudant), constitue un cas unique au Maroc. Il s'agit du seul lac glaciaire du pays, formé par l'accumulation d'eau au pied d'une moraine qui obstrue un affluent de la vallée. Ce barrage naturel est constitué de matériaux érodés issus de formations précambriennes cristallines situées sur le versant sud de l'Atlas de Marrakech (Célerier & Charton, 1923 ; Hughes et al., 2018).

6. Les principaux sites géotouristiques de l'Atlas du Maroc

Au-delà de la richesse de ses ressources naturelles, tant minières qu'hydriques, les massifs atlasiques du Maroc se distinguent par un patrimoine géotouristique remarquable, où se conjuguent formes géologiques spectaculaires et paysages d'érosion saisissants. La bordure sud du Haut Atlas central, en particulier, abrite quatre grandes vallées verdoyantes, enchâssées dans des formations géologiques aux teintes variées, conférant aux lieux un caractère paysager unique. Ces vallées se singularisent non seulement par la richesse de leur architecture vernaculaire, illustrée par des villages berbères traditionnels harmonieusement intégrés à leur environnement, mais également par la valeur scientifique et esthétique de leur substrat géologique. Ces sites constituent de véritables laboratoires à ciel ouvert et attirent chaque année un nombre croissant de visiteurs, chercheurs et amateurs de nature venus du monde entier. Ainsi, sept coupes transversales permettent d'explorer une traversée du Haut Atlas pour admirer et contempler les reliefs variés et les beaux paysages géologiques des montagnes de l'Atlas, dont cinq sont accessibles par des routes goudronnées, permettant une découverte aisée en voiture. D'ouest en est, il s'agit des routes suivantes :

- La route reliant Essaouira à Agadir.
- La traversée du couloir d'Argana par la nationale reliant Marrakech à Agadir.
- La traversée du Haut Atlas de Marrakech du col de Tizi n'Test, par la route reliant Tahanaout à Taroudant.
- La traversée du col de Tichka, par la route reliant Marrakech à Ouarzazate.
- La traversée par la route reliant Tanant-Demnate à Skoura et Ouarzazate.
- La traversée par la route reliant Beni Mellal, Imilchil et Tinghir.
- La traversée par la route reliant Midelt à Errachidia.

D'autres traversées pédestres peuvent être effectuées, dont la plus prisée par les randonneurs est celle qui débute au nord du Haut Atlas à Beni Mellal vers le barrage de Bin El Ouidane et Zaouit Ahansal, jusqu'à la belle vallée des Aït Bouguemaz en voiture. Ensuite, de la vallée des Aït Bouguemaz vers les gorges de l'Oued M'goun jusqu'à Kelaat M'gouna au sud du Haut Atlas, cette partie est à faire en randonnée sur une durée de trois jours.

L'une des coupes transversales du Haut Atlas la plus empruntée s'effectue le long de la route reliant Marrakech à Ouarzazate. Un arrêt obligatoire s'impose à mi-chemin au col de Tichka, situé sur le socle paléozoïque schisteux (Cambrien et Ordovicien) de la zone axiale de la chaîne, offrant une vue panoramique vers les deux versants de l'Atlas de Marrakech. La zone axiale, limitée par des failles inverses à fort rejet vertical (plus de 2000 mètres), est encadrée au nord et au sud par les zones subatlasiques où affleurent les formations silto-gréseuses rougeâtres mésozoïques et les basaltes verdâtres du Trias. Aux panoramas verdoyants du versant nord s'opposent les paysages semi-désertiques et fortement colorés du versant sud. La présentation des grands géosites de ce dernier se fera d'ouest en est avec les vallées du M'goun, du Dadès, du Todra et du Ziz.

6.1. La vallée du Dadès

Au nord de la ville de Boumalne, la vallée du Dadès traverse une zone à tectonique complexe, caractérisée par la présence de failles inverses et d'écailles chevauchantes orientées vers le sud. Ce secteur se distingue par une mosaïque de paysages spectaculaires, où la diversité des couleurs géologiques est rehaussée par la présence de kasbahs traditionnelles, conférant à l'ensemble une forte valeur patrimoniale et paysagère. En progressant vers

le nord, on parvient à l'un des géosites les plus emblématiques de la région : les « Doigts de Singe », formations issues d'une érosion différentielle affectant une dalle gréseuse de la Formation d'Aït Arbi, datée de l'Éocène supérieur (56 à 33 Ma). Ces formes sont contrôlées par un réseau de fractures orthogonales, et la dalle concernée est inclinée vers le nord, ce qui accentue les effets de la désagrégation différentielle (Fig. 20 A et B). Plus en amont, la vallée s'encaisse brutalement dans une série de gorges spectaculaires, creusées par l'oued Dadès dans les falaises calcaires massives du Jurassique inférieur, offrant un paysage d'érosion verticale saisissant et un intérêt géologique de premier ordre.



Figure 20 (ex. 36) : La vallée du Dadès. **A** – Vue vers l'est de la vallée montrant des chevauchements tectoniques où les formations carbonatées jurassiques surmontent les formations détritiques tertiaires. **B** – Détail des formations détritiques tertiaires affectées par une érosion guidée par un réseau de diaclases orthogonales. Les formes spectaculaires ainsi dégagées sont connues dans le secteur touristique sous le nom de « Doigts de Singe ».

6.2. La vallée de M'Goun

Située au nord de la ville de Kelaat M'Gouna, également connue sous son nom berbère *Tighremt N'Imgounen*, la vallée de M'Goun se caractérise par une large dépression au relief ouvert, traversée par l'oued éponyme. Elle présente un paysage pittoresque, où affleurent des formations géologiques d'âge Crétacé et Tertiaire (Fig. 21-A). Le contraste saisissant entre les teintes géologiques vives, rouge intense des argiles et grès, jaune pâle des marnes et calcaires, et le vert luxuriant de la végétation riveraine confère à cette vallée une qualité esthétique remarquable. Ce cadre naturel est enrichi par la chaleureuse hospitalité des communautés locales.

Chaque année, au mois de mai, la vallée devient le théâtre de la célèbre « Fête des Roses », célébration emblématique de la région, marquant la période de cueillette. Cet événement met en valeur non seulement la culture des roses de Dadès, mais aussi l'ensemble des activités économiques, artisanales et culturelles liées à la transformation et à la commercialisation de produits dérivés (eaux florales, parfums, huiles, etc.).

6.3. La vallée de Todra

La vallée de Todra prend naissance au sud, à hauteur de la ville de Tinghir, construite sur des argiles silteuses rouges du Sénonien (Crétacé supérieur, entre 100 et 66 Ma). En rive droite, une colline couronnée par l'ancienne kasbah du Pacha Laglaoui domine le paysage, témoignant de l'importance historique et stratégique du site. En remontant vers le nord, la vallée traverse une succession tabulaire de calcaires et de marnes datés

du Paléocène et de l'Éocène, formations qui ont livré des faunes de vertébrés fossiles remarquables, parmi lesquelles figure le plus ancien primate connu d'Afrique. En amont, la vallée s'encaisse brutalement pour former les célèbres gorges de Todra, véritables canyons sculptés dans des falaises calcaires imposantes (Fig. 21-B). Ces calcaires, déposés au Jurassique inférieur (environ 190 Ma), correspondaient à une plateforme carbonatée à constructions récifales à spongiaires, édifiées sur la bordure sud de blocs basculés au sein du Haut Atlas central (Fig. 21-C ; Ibouh, 2004). Les gorges, encadrées par des parois verticales dépassant les 300 mètres de hauteur, offrent un spectacle géologique saisissant : les teintes ocres des falaises contrastent fortement avec le vert profond des palmiers de la palmeraie. À leur pied, plusieurs sources pérennes jaillissent, alimentant l'oued Todra. Ce site est aujourd'hui reconnu comme l'un des spots d'escalade majeurs du Maroc, prisé par les alpinistes du monde entier pour ses parois abruptes et ses conditions naturelles exceptionnelles.

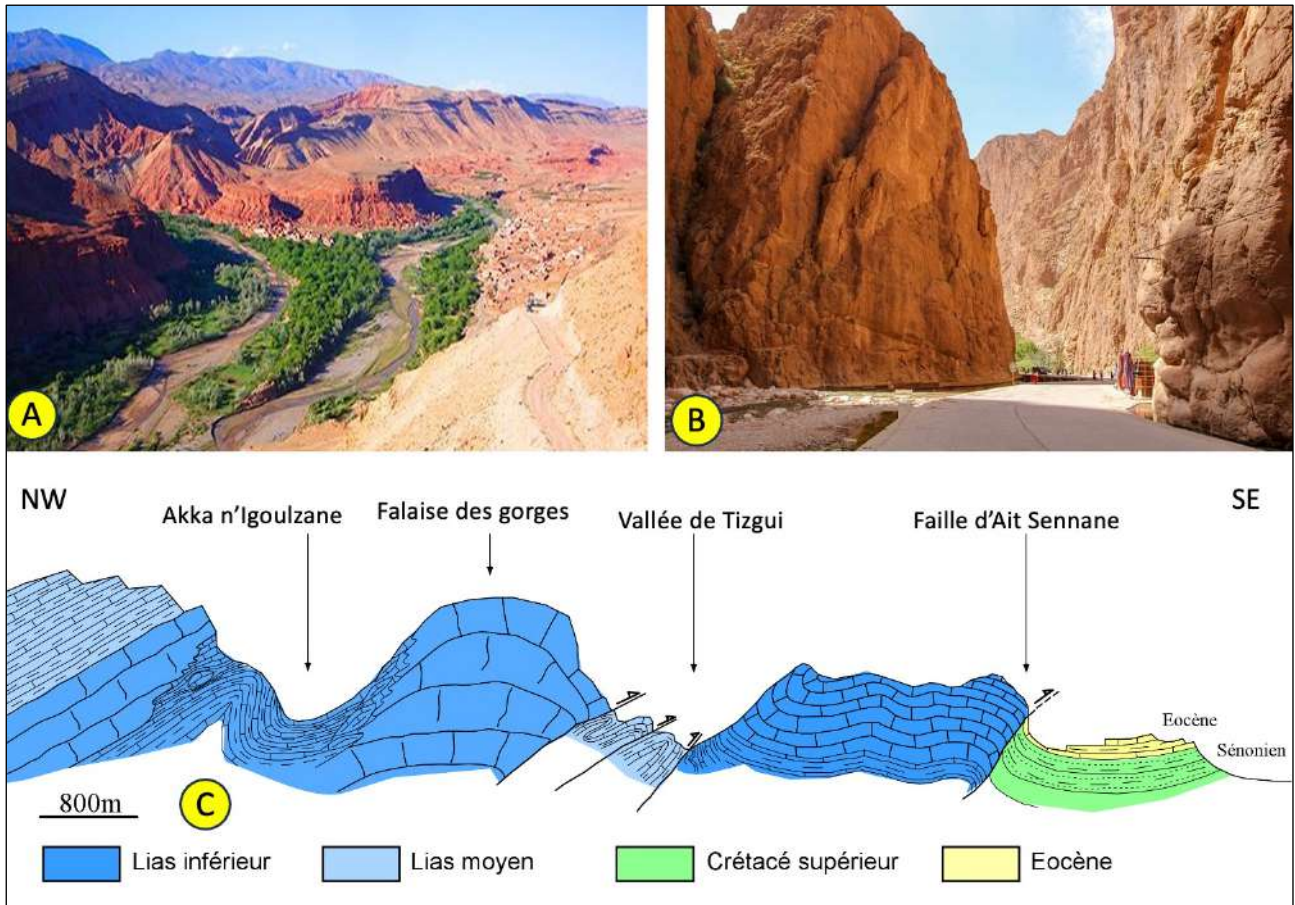


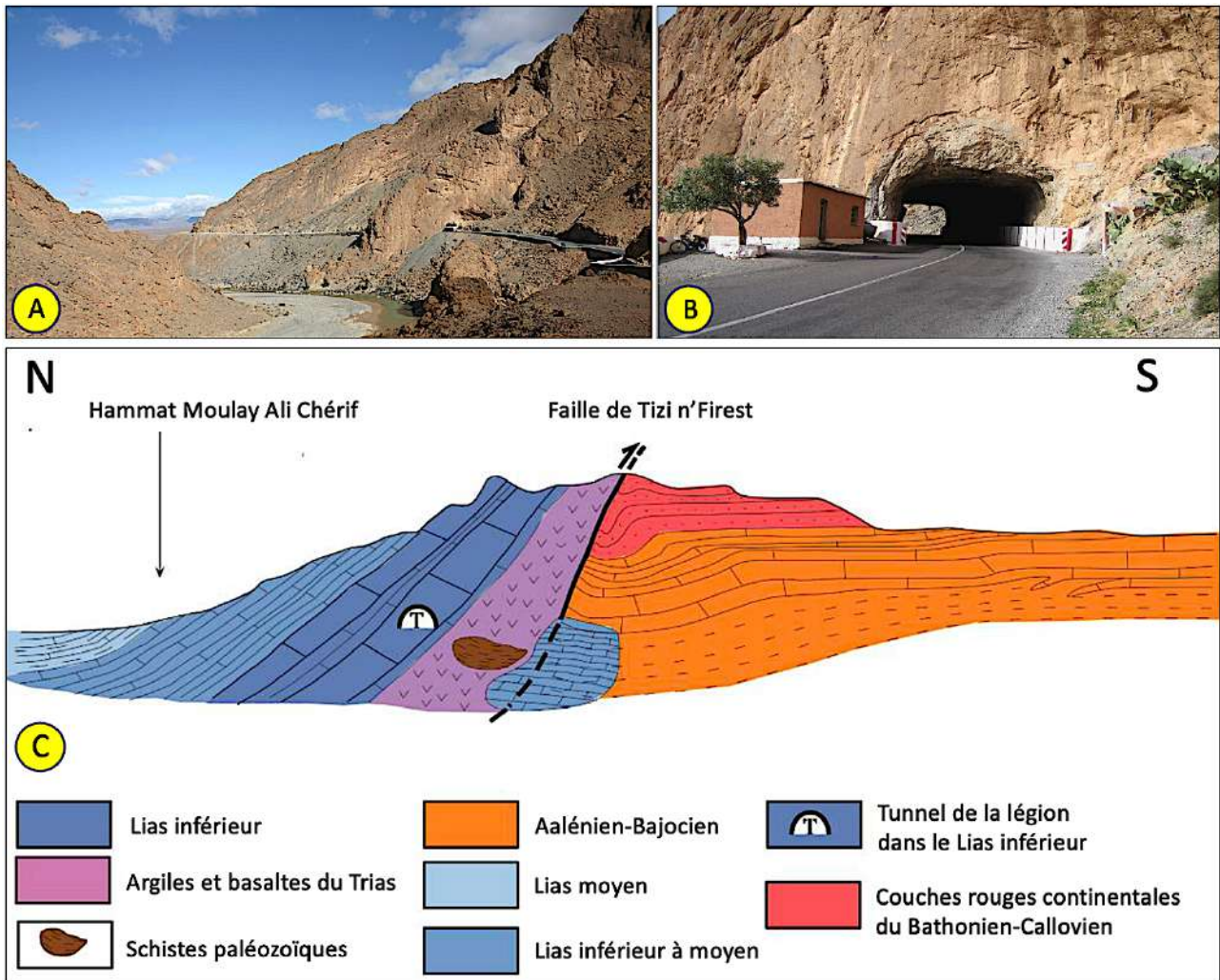
Figure 21 (ex :35 – 37 – 38) : Paysages et contexte géologique des vallées de M'Goun et de Todra. **A** – Vue générale de la vallée du M'Goun, située sur le versant sud du Haut Atlas central. **B** – Vue orientée vers le nord des gorges de Todra, profondément entaillées dans les calcaires à spongiaires du Lias inférieur. **C** – Coupe géologique illustrant le contexte structural des gorges de Todra (modifié d'après Ibouh, 2004).

6.4. La vallée du Ziz

Contrairement aux trois vallées précédemment décrites, où les formations géologiques mésozoïques présentent des déformations marquées, caractérisées par des plissements, des failles chevauchantes et parfois même des nappes de charriage (comme la nappe de Toundoute définie par Laville en 1985 dans la partie nord de la vallée de M'Goun), la vallée du Ziz traverse principalement des zones faiblement déformées, entrecoupées d'étroites bandes de déformation.

Au nord de la ville d'Errachidia, les premiers reliefs abritent la retenue du barrage El Hassan Eddakhil. En amont, l'oued Ziz entaille sur plusieurs kilomètres une structure géologique tabulaire dans les épaisses formations calcaires du Jurassique moyen (170 à 160 Ma). Ce paysage rocheux se termine au niveau du Tunnel

de la Légion (Ghar Fom Zaabel), qui traverse des calcaires du Jurassique inférieur (195 à 175 Ma) (Fig. 22 A, B et C).



plusieurs critères d'exception, tels que la rareté, la valeur scientifique, la vulnérabilité ou le caractère non renouvelable».



Figure 23 : Pinacles récifaux dans les calcaires du Bajocien inférieur de Jebel Assameur à l'Est du village de Rich, sur la transversale de Midelt-Errachidia (Photo Ahmed El Hassani) .

Selon l'UNESCO (<https://www.unesco.org/fr/igpp/geoparks/about>), un Géoparc mondial est une zone géographique unique et unifiée, dans laquelle les sites et paysages d'importance géologique internationale sont gérés selon un concept holistique de protection, d'éducation et de développement durable. Un Géoparc mondial UNESCO utilise son patrimoine géologique, en lien avec l'ensemble des autres composantes du patrimoine naturel et culturel de la région, afin de renforcer la sensibilisation et la compréhension des enjeux majeurs auxquels la société est confrontée, tels que l'utilisation durable des ressources de la planète, l'atténuation des effets du changement climatique, ou encore la réduction des risques de catastrophes naturelles.

Ce faisant, en mettant en lumière l'importance du patrimoine géologique dans l'histoire et la société contemporaines, le Géoparc mondial UNESCO contribue à renforcer le sentiment de fierté des populations locales pour leur territoire et leur attachement à celui-ci. Par ailleurs, la création d'entreprises locales innovantes, la génération de nouveaux emplois et la mise en place de formations de qualité sont encouragées, grâce au développement du géotourisme, tout en assurant la protection des ressources géologiques de la région.

Dans la région centrale de la chaîne du Haut Atlas, un ensemble significatif de géosites a été identifié. Les plus remarquables d'entre eux se trouvent au sein du géoparc mondial UNESCO du M'Goun, dont les limites sont indiquées à la figure 24-A, et environs (Région d'Imilchil notamment, Fig. 24-B).

6.5.1. Le géoparc du M'goun : un site de référence en Afrique

Le Géoparc du M'Goun a obtenu le label « UNESCO Global Geopark » (UGGP) en 2014, reconduit en 2015, puis renouvelé en avril 2019. À cette date, l'Afrique ne comptait que deux géoparks officiellement reconnus par l'UNESCO : *M'Goun Global Geoparc*, au Maroc, et un second *Ngorongoro Lengai Global Geopark*, situé en Tanzanie. Le Géoparc du M'Goun constitue ainsi le seul représentant de cette initiative au Maghreb, en Afrique du Nord et dans le monde arabe. Ces deux sites font partie du Réseau mondial des géoparks de l'UNESCO, qui regroupe actuellement 177 géoparks répartis dans 46 pays. S'étendant sur une superficie de plus de 5730 km², le Géoparc du M'Goun couvre 15 communes de la province d'Azilal (Fig. 24-A). Il constitue un territoire protégé remarquable, caractérisé par une diversité de géosites présentant un intérêt multiple : géologique, économique, écologique, archéologique, scientifique, climatique, historique et culturel. Une synthèse particulièrement riche des patrimoines géologiques du site a été proposée par le couple Monbaron (2015) dans leur ouvrage intitulé *La Route des Dinosaurés*. Des informations complémentaires sont consultables sur le site officiel du géoparc : <http://www.geoparc-mgoun.ma>. Une description et un historique de création et de labélisation de ce géoparc ont été bien détaillés par Ibough et al. (2024) et un essai de

valorisation numérique du géopatrimoine le long d'un itinéraire touristique du Géoparc UNESCO du M'Goun (Haut Atlas central, Maroc) et analyse de la typologie des visiteurs ont été publié par Kchikach (2024).

Dans ce qui suit, nous présentons brièvement quatre géosites emblématiques du Géoparc du M'Goun : les empreintes de pas de dinosaures d'Iouaridène, les cascades d'Ouzoud, la « vallée heureuse » d'Aït Bouguemaz, et le Rocher Cathédrale. Ces sites ont été décrits en détail par Boutakiout (2018), cofondateur du Géoparc du M'Goun et de l'Association pour la Protection du Patrimoine Géologique du Maroc (APPGM), principal concepteur et promoteur de ce projet depuis sa conception.

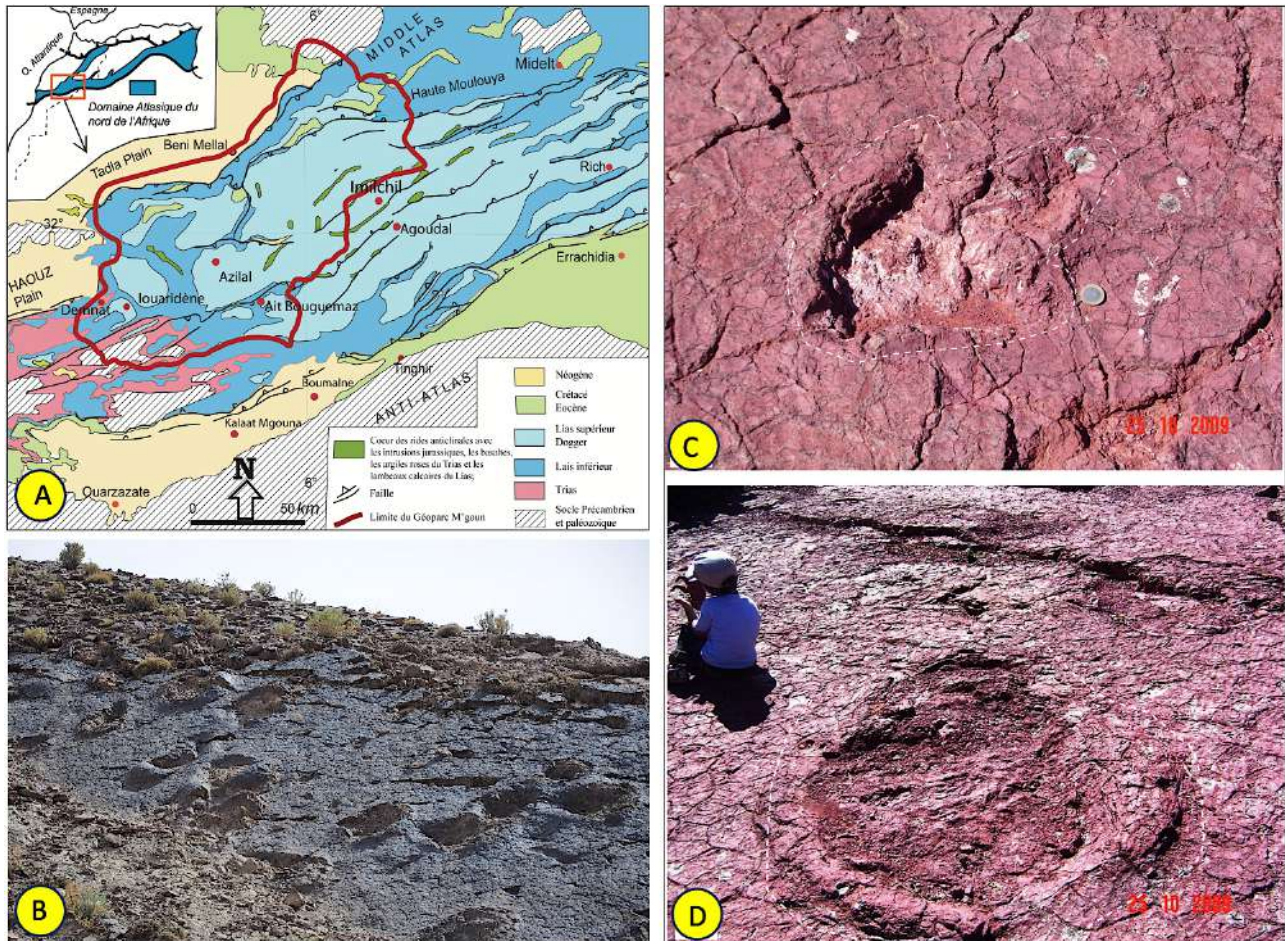


Figure 24 : Localisation du géoparc du M'Goun et sites de pistes de dinosaures du Haut Atlas central. **A** – Carte géologique du Haut Atlas central indiquant les limites géographiques du géoparc du M'Goun et la position du village d'Imilchil; **B** – Surface inclinée près d'Imilchil présentant diverses pistes de dinosaures, dont des traces de sauropodes alignées accompagnées de bourrelets de déplacement cohérents (Oussou et al., 2023) ; **C** – Trace tridactyle fossile attribuée à un dinosaure carnivore ; **D** – Empreinte circulaire fossile d'un dinosaure herbivore dans les grès rouges continentaux de la formation d'Iouaridène, région de Demnat (province d'Azilal).

a. Le géosite d'Iouaridène

Le géosite d'Iouaridène est localisé à environ 4 kilomètres à l'est de la ville de Demnate, le long de l'axe routier reliant cette dernière à Aït Boulli. Il s'inscrit dans le contexte géologique d'une large cuvette synclinale, connue sous le nom de synclinal d'Iouaridène, qui constitue une structure tectonique majeure de la région. Cette structure est caractérisée par l'empilement stratigraphique de trois formations continentales appartenant à l'ensemble lithostratigraphique des « Couches rouges », largement répandues dans le Haut Atlas central. La formation intermédiaire, identifiée comme la Formation d'Iouaridène, présente une dominante pélitique, témoignant de conditions de dépôt relativement calmes en milieu continental fluviatile ou lacustre. Dans sa partie inférieure, cette formation est marquée par l'intercalation de niveaux silto-gréseux, qui constituent des niveaux de condensation sédimentaire favorables à la conservation de structures biogéniques. C'est à la surface

de ces bancs silto-gréseux que l'on observe des empreintes fossiles de dinosaures, remarquablement préservées.

Le site offre une série de pistes de dinosaures attribuées à des espèces carnivores, dont les empreintes sont tridactyles, ainsi qu'à des espèces herbivores, reconnaissables à leurs empreintes circulaires. Ces traces déforment parfois des fentes de dessiccation fossilisées (mud cracks), formées peu de temps avant le passage des dinosaures (Fig. 24- C et D). Les empreintes sont réparties sur une surface de plus de 50 km², couvrant plus de 30 sites, où près de 2000 traces ont été inventoriées. Les pistes identifiées sont attribuées à des théropodes, des sauropodes — notamment *Breviparopus taghbaloutensis* — ainsi qu'à des ornithopodes (Belvedere & Mietto, 2010 ; Boutakiout et al., 2009 ; Díaz-Martínez et al., 2009). Ces traces sont localisées en dessous d'un niveau lacustre daté du Jurassique supérieur (Oxfordien à Kimméridgien), sur la base de microfossiles identifiés par Charrière et al. (2005).

b. Les cascades d'Ouzoud

Le géosite des cascades d'Ouzoud est situé dans la commune d'Aït Taguella, relevant de la province d'Azilal, dans le Haut Atlas central. Ce site remarquable se caractérise par d'impressionnantes chutes d'eau d'environ 100 mètres de hauteur, alimentée par l'oued Tissekht. Les cascades s'écoulent du sommet d'une falaise formée par les calcaires jurassiques de la formation de Bin El Ouidane, datée du Jurassique moyen (170 Ma). Cette formation constitue l'ossature géologique du synclinal d'Ouzoud, dont le remplissage est composé de couches rouges continentales. La morphologie actuelle du site résulte de l'action conjuguée de la tectonique atlasique et de l'érosion, qui ont sculpté la falaise calcaire. L'écoulement continu de l'eau au fil du temps a favorisé la précipitation de carbonates récents sous forme de travertins quaternaires. Ces dépôts travertineux ont progressivement recouvert la roche calcaire d'origine, masquant en grande partie la structure lithologique initiale de la falaise (Fig. 25-A).

c. La vallée des Aït Bouguemaz

Surnommée la « vallée heureuse », la vallée des Aït Bouguemaz est située à environ 80 kilomètres à l'est de la ville d'Azilal, dans le Haut Atlas central. Sur le plan géologique, il s'agit d'une structure synclinale encadrée par deux rides diapiriques faillées : la ride de Tizal Azourki au nord et celle de Waougoulzat au sud (Ibough et al., 2001). Les formations affleurantes sont principalement constituées de calcaires et de marnes datés du Jurassique inférieur. L'érosion a façonné la vallée en une morphologie en « Y », marquée par une bifurcation orientée vers l'est, donnant naissance à deux sous-vallées : la vallée d'Aït Hkim au nord et celle d'Aït Bouguemaz proprement dite au sud. Le paysage est dominé par de vastes terrasses agricoles verdoyantes, qui renforcent le caractère pittoresque de la vallée (Fig. 25-B).

Sur le plan paléontologique, la vallée est réputée pour la présence d'empreintes fossiles de dinosaures remarquablement bien préservées dans les calcaires du Jurassique inférieur (Fig. 25-C). Ces traces sont réparties sur plusieurs sites, désignés d'après les localités ou villages avoisinants : Ibaquallioun (dans la vallée sud), Agourd n'Ouzrou (dans la vallée nord), Ighrem n'Sidi Moussa (colline à l'entrée de la vallée, surmontée du grenier traditionnel de Sidi Moussa ; Fig. 25-D), ainsi que dans les environs occidentaux du village de Tabant. Les empreintes découvertes dans la vallée des Aït Bouguemaz présentent plusieurs différences notables par rapport à celles observées dans le synclinal d'Iouaridène. D'une part, elles sont plus anciennes d'environ 30 Ma ; d'autre part, elles sont imprimées dans des carbonates durs, conférant une meilleure résistance à l'érosion par rapport aux empreintes d'Iouaridène, qui sont conservées dans des grès fins plus friables (<http://www.prehistoire-du-maroc.com>).



Figure 25 : Les Cascades d'Ouzoud (A) et la double Vallée heureuse des Ait Bouguemaz (B), dans la province d'Azilal, Haut Atlas central (<http://www.prehistoire-du-maroc.com>). C- Traces de pas de dinosaures sur les calcaires du Lias (Ait Bouguemaz, Azilal) ; D- Le grenier (ou Ighrem) de Sidi Moussa au sommet de la vallée d'Ait Bouguemaz.

d. Le Rocher de Mastfrane, dit « la Cathédrale »

Le rocher de la Cathédrale, qui dans la tradition locale est appelé *Mastfrane*, un mot berbère signifiant « ils sont quittes », a été décrit pour la première fois par Bourcart (1934). Cet auteur lui attribue un âge du Crétacé au Miocène et l'a rattaché à une formation conglomératique qu'il nomme les « conglomérats de l'Arhembo et de la Cathédrale ». Ce site se situe à environ 1 800 mètres d'altitude, au centre de la chaîne de Zaouiat Ahansal (province d'Azilal), tandis que des formations équivalentes sont observées en marge de la chaîne, à des altitudes comprises entre 400 et 1 400 mètres. Ce monolithe remarquable (Fig. 5), dont la silhouette évoque celle d'une cathédrale, constitue un vestige emblématique de l'érosion intense ayant affecté la partie centrale du Haut Atlas central au cours du Tertiaire, notamment durant le Mio-Pliocène (entre 23 et 5 Ma).

Il s'agit de poudingues déposés au cœur d'un synclinal lors de la phase principale de soulèvement de la chaîne, en lien avec la tectonique majeure de la fin du Miocène au Pontico-Pliocène (Monbaron, 1981). Ces dépôts reflètent à la fois l'ampleur du soulèvement atlasique, l'expression d'une tectonique cassante marquée, et l'activité de puissants systèmes fluviaux riches en charge détritique à la fin du Tertiaire. Les conglomérats se présentent sous forme de couches subhorizontales, relativement homogènes et bien consolidées. Leur granulométrie est majoritairement centimétrique, bien que des blocs de plusieurs dizaines de centimètres soient également présents. Cet affleurement, considéré comme le plus étendu à l'intérieur de la chaîne du Haut Atlas central (Couvreur, 1981), revêt un intérêt scientifique majeur pour l'étude de l'évolution géomorphologique durant l'orogénèse atlasique. Sculpté à son tour par l'érosion, ce dépôt n'a conservé qu'une butte imposante de plus de 300 mètres de hauteur. Elle domine le paysage environnant ainsi que le village de Tamga, situé sur la rive droite de l'oued Ahansal. L'ensemble géologique repose en discordance angulaire sur le flanc nord-ouest de la ride diapirique de Tazoult et se compose d'un empilement de couches conglomératiques et gréseuses subhorizontales.

Au-delà de son importance géologique, le rocher de Mastfrane possède une forte valeur symbolique et culturelle. Sa position dominante et la vue panoramique qu'il offre ont probablement favorisé son rôle ancestral de lieu de rassemblement, de médiation et de réconciliation entre les tribus berbères. Selon la tradition orale, son sommet, où se trouve un arbre entouré d'ustensiles de cuisine laissés à disposition, est perçu comme un marabout. On y partage symboliquement un repas, en signe de paix. Une légende locale affirme que tout rêve fait sur place durant la nuit est destiné à se réaliser.

6.5.2. Le district d'Imilchil : entre géodiversité et patrimoine culturel

Située à l'est du Géoparc du M'Goun, dans le Haut Atlas central, la région d'Imilchil (ou Imilkil) se distingue par une richesse exceptionnelle en géosites et en patrimoine naturel et culturel. Très prisée par les visiteurs nationaux et internationaux, cette zone présente une diversité remarquable de formations géologiques et de traditions ancestrales.

Parmi les principaux géosites recensés dans ce district figurent les gorges tectoniques d'Aït Ali ou Ikkou, les cônes de percussion (*shatter cones*) associés à la structure d'impact d'Agoudal, la grotte d'Akhiam, les lacs d'Isli et Tislit, les mines artisanales d'apatite d'Anemzi, les empreintes de pas de dinosaures, ainsi que les récentes découvertes de fossiles de limulidés (Oukassou et al., 2019). Le patrimoine culturel repose notamment sur la richesse des coutumes des tribus Aït Hdidou, dont le célèbre festival des fiançailles – également connu sous les noms de *Souk Aam*, *Agdoud n'Imilchil*, ou *Agdoud n'Oulmaghni* – organisé autour du marabout de Sidi Ahmed Oulmaghni à Aït Amer. S'y ajoutent l'architecture traditionnelle des kasbahs et la tenue vestimentaire des femmes, caractéristiques de l'identité berbère locale.

Deux sites géologiques majeurs, à forte valeur scientifique et patrimoniale, font l'objet d'une attention particulière : les lacs d'Isli et Tislit, et la structure d'impact d'Agoudal.

a. Les lacs d'Isli et de Tislit

Les lacs jumeaux d'Isli et de Tislit – dont les noms signifient « fiancé » et « fiancée » en berbère – constituent l'un des sites emblématiques de la région. Le lac de Tislit se trouve à 4 km au nord d'Imilchil, tandis que celui d'Isli est situé à 8 km à l'est. Le lac Isli couvre une surface de 2,55 km², avec un diamètre oscillant entre 1 200 et 1 500 mètres et une profondeur atteignant 95 m (Lamb et al., 1994 ; Zeroual, 1995). Alignés est-ouest, les deux lacs occupent le fond plat d'un synclinal appelé le « plateau des lacs », encadré par deux structures anticlinales diapiriques : la ride de Tassent au nord et celle d'Aït Ali Ou Ikkou–Msadrid au sud (Fig. 4 et Fig. 26). Ils reposent respectivement sur des formations jurassiques : le Bajocien supérieur pour Tislit et les couches rouges bathonien-callovien pour Isli (Ibough et al., 2014).

b. Le géosite de la structure d'impact d'Agoudal

À environ 20 km au sud d'Imilchil, le géosite d'Agoudal est localisé à 4 km à l'ouest du village éponyme, sur la piste reliant Boumalne-Dadès. Ce site, unique au Maroc, présente des *shatter cones* – cônes de percussion striés – bien conservés dans les calcaires marneux du Jurassique moyen (Fig. 27). Il s'agit d'une preuve directe de l'impact d'un objet extraterrestre. Découvert en 2013 par une équipe russo-marocaine à la suite de la publication officielle de la météorite « Agoudal » (Chennaoui, 2013), ce site a fait l'objet de recherches approfondies dirigées par le Professeur Hasnaa Chennaoui (Université Hassan II, Casablanca).

Ces travaux, poursuivis notamment par El Kerni et al. (2019), ont permis d'estimer le diamètre du cratère entre 1,4 et 4,2 km, et de dater l'impact entre 0,3 et 1,9 Ma, soit entre le Pléistocène inférieur et moyen. La région environnante est par ailleurs connue pour sa concentration exceptionnelle en météorites ferreuses, dont plusieurs dizaines d'échantillons ont été collectés.

Dans le but de valoriser et de préserver ce patrimoine géologique unique, l'équipe du professeur Chennaoui propose d'engager une procédure de protection du site. Parmi les recommandations figurent l'interdiction d'extraction des *shatter cones*, la création d'un musée de site, et l'inscription d'Agoudal au registre national des géosites protégés.

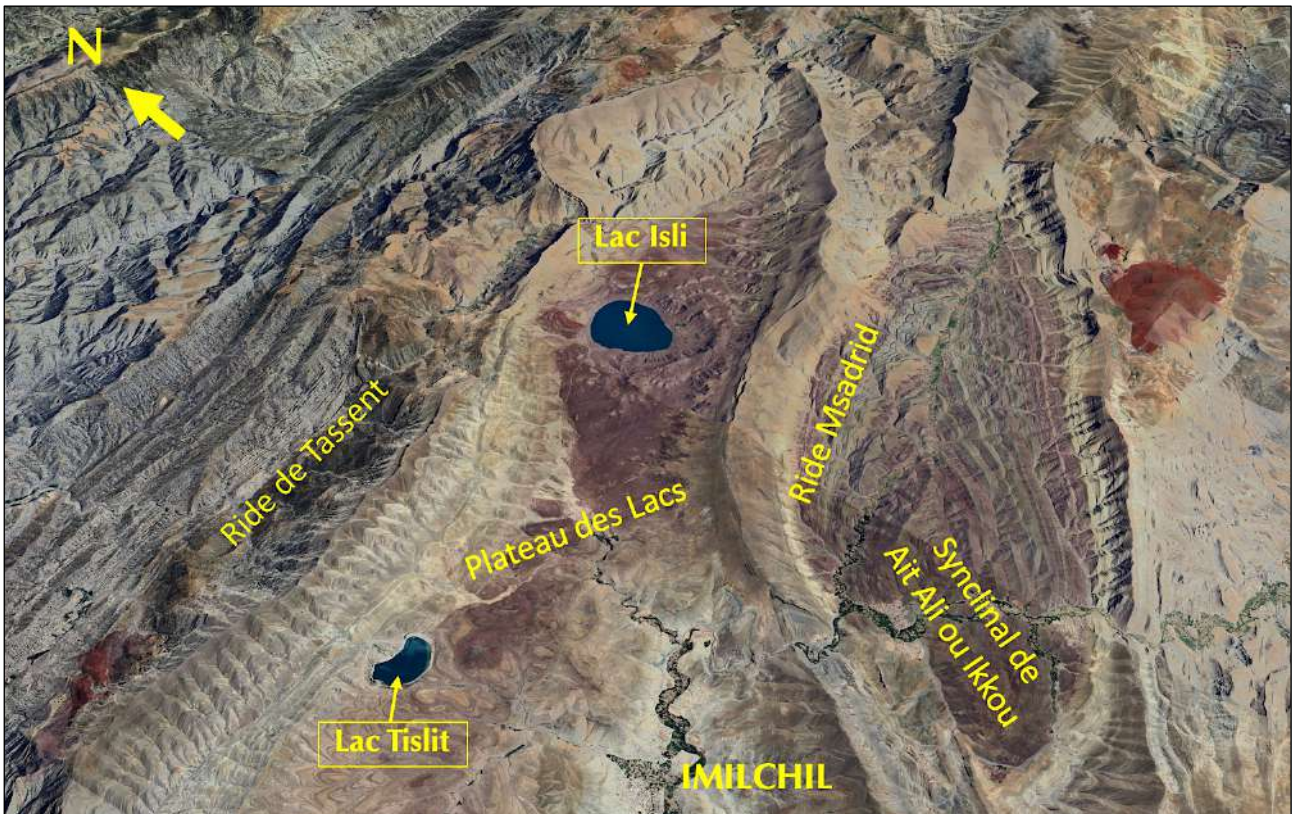


Figure 26 : Image satellite (Google earth) des lacs Isli et Tislit, situé dans la région d'Imilchil, Haut Atlas central.

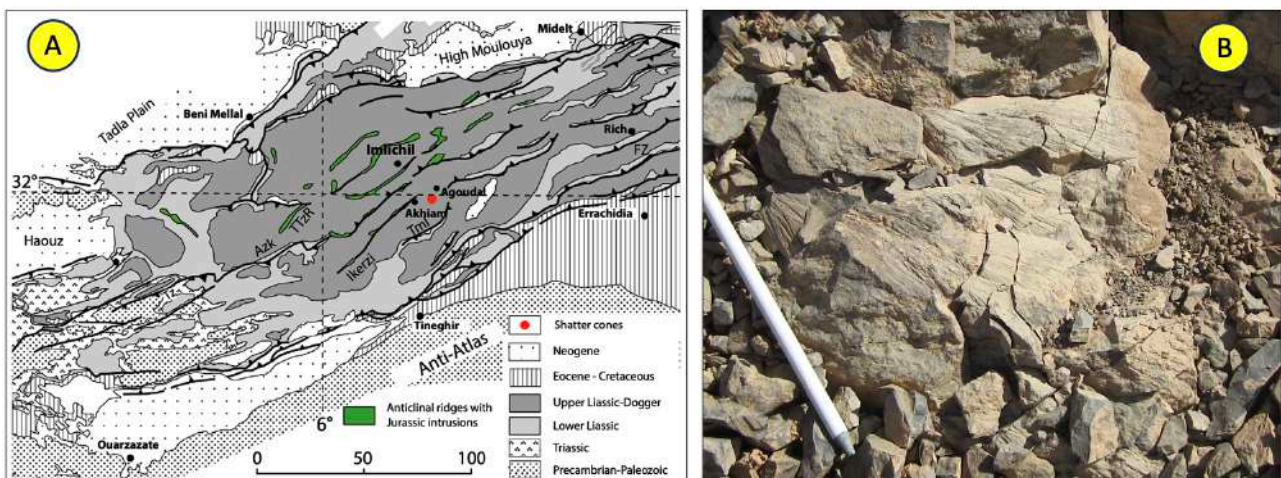


Figure 27 : Le géosite d'Agoudal – A : Carte de localisation du site d'impact (modifiée d'après Chennaoui et al., 2016), avec indication en rouge de la zone des *shatter cones* ; B : Exemple de cônes de percussion (*shatter cones*) observés dans les calcaires jurassiques du site d'Agoudal, au sud d'Imilchil (Haut Atlas central), unique affleurement connu au Maroc et en Afrique du Nord présentant ce type de structure.

7. Conclusion

Sur le plan géologique, le domaine atlasique marocain représentait, au début du Mésozoïque (250 Ma), une zone frontière entre les plaques africaine et eurasiatique. Il se présentait alors comme un vaste couloir tectonique, caractérisé par des zones subsidentes, notamment le Haut Atlas et le Moyen Atlas, encadrées par des blocs relativement stables : la Meseta orientale et la Meseta occidentale, ainsi que la marge nord du craton ouest-africain au sud. L'ouverture de bassins sédimentaires à partir du Trias est associée à la fragmentation de la Pangée, en lien avec les systèmes de rifting de l'Atlantique central à l'ouest et de la néo-Téthys au nord-est. Cette phase d'extension a perduré jusqu'à la fin du Crétacé.

Le remplissage de ces bassins s'est d'abord effectué par des dépôts terrigènes rouges, suivis de séquences évaporitiques surmontées de coulées basaltiques tholéiitiques, datées du Trias supérieur–Lias inférieur. Durant le Jurassique, la sédimentation s'est accompagnée d'une activité diapirique des argiles et d'évaporites triasiques, poursuivie jusqu'au Crétacé. Par ailleurs, des intrusions gabbroïques ont traversé ces diapirs au Jurassique supérieur, traduisant une activité magmatique contemporaine.

La fermeture des bassins sédimentaires et la mise en relief des chaînes atlasique résultent du déplacement vers le Nord de la plaque africaine, lié à l'ouverture de l'Atlantique Sud et par la suite à sa collision avec la plaque eurasiatique. Ce contexte tectonique compressif, actif depuis la fin du Crétacé supérieur, a été amplifié par des mouvements verticaux d'origine mantellique au Tertiaire et au Quaternaire, responsables de l'élévation et l'accentuation actuelle des reliefs.

D'un point de vue économique, les chaînes atlasiques recèlent d'importantes ressources naturelles. Elles abritent divers gisements métalliques (plomb, zinc, fer, cuivre, etc.), dont la genèse est étroitement liée aux interactions sédimentaires, magmatiques et tectoniques propres au Haut Atlas. À ces ressources s'ajoutent plusieurs substances utiles, telles que le sel, le gypse, la fluorine ou encore les argiles. En outre, sur le plan hydrique, les montagnes de l'Atlas jouent un rôle stratégique, constituant le principal réservoir d'eau du Maroc grâce aux importantes accumulations de neige en altitude et à la présence de nombreuses sources et cours d'eau.

Enfin, ces montagnes offrent un patrimoine géologique d'exception, matérialisé par une diversité de géosites remarquables. La majorité d'entre eux sont accessibles via un réseau de routes et de pistes, ce qui renforce leur potentiel de valorisation dans une perspective de développement durable des territoires. Toutefois, leur protection demeure indispensable afin d'en assurer la préservation et la transmission aux générations futures.

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mes deux encadrants, le Professeur F. Zargouni (Université de Tunis, Tunisie) et le Professeur M. Bouabdelli (Université Cadi Ayyad de Marrakech, Maroc), pour m'avoir guidé dans mes premiers pas sur le terrain et initié à la lecture des paysages géologiques, m'aidant ainsi à développer une compréhension fine des éléments de la nature. Mes remerciements sincères vont également aux Professeurs A. El Hassani, A. Soulaïmani, Kh. El Hariri, H. Chennaoui-Aoudjehane et A. Charrière pour leurs relectures attentives, leurs remarques constructives et leurs suggestions éclairantes, qui ont grandement contribué à l'amélioration de la version finale de ce manuscrit.

Je remercie chaleureusement l'ensemble des collègues et amis géologues, marocains et étrangers, avec lesquels j'ai eu le privilège de parcourir les chaînes de l'Atlas au cours de ces trente-trois années de terrain, ou avec qui j'ai échangé de manière fructueuse au laboratoire sur les problématiques géologiques de cette région. Je pense en particulier à A. Charrière, A. Michard, A. Piqué, E. Laville, J. Canerot, E. Erjimati, D. Chafiki, M. Ettaki, F. El Bchari, A. Souheil, M. Mouguina, N. E. Youbi, M. Amrhar, H. Haddoumi et D. Ourhache. A. Essaifi, R. Zayane H. Admou, A. Boumehdi, E. H. Chellai et B. Bougadir.

Enfin, j'adresse mes sincères remerciements au Professeur Ahmed El Hassani, membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, dont le savoir-faire et l'engagement ont permis l'édition de ce travail au sein de la maison d'édition de l'Académie (Hassan II Academy Press), contribuant ainsi de manière déterminante à l'amélioration et à la concrétisation de ce projet.

Références

Achmani J., Blaise T., Chraïbi I., Barbarand J. & Cogné N. (2025) : Two interconnected stages in the formation of the Tamazeght magmatic complex (Moroccan central High Atlas) determined by apatite, zircon and titanite U-Pb geochronology. *Journal of African Earth Sciences* 227, 105623. doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2025.105623

- Ahechach Y. (2025) : Alkaline Intrusive Magmatism-Hosted Syenites in The Jurassic Central High Atlas: Remote Sensing And Petrochronological Implications For Tectonic. PhD thesis, UM6P, Benguerir, Morocco, 216p.
- Ait Addi, A. (2002) : Les séries du Dogger du Haut Atlas marocain (Nord d'Errachidia/Boudnib) : Lithostratigraphie, sédimentologie, Cyclostratigraphie, stratigraphie séquentielle et évolution géodynamique. Thèse es-sciences, Univ. Ibn Tofail, Kénitra, 242p.
- Ait Brahim L. Chotin P. Hinaj S. Abdelouafi A. El Adraoui A. Nakcha C. Dhont D. Charroud M. Sossey Alaoui F. Amrhar, M. Bouaza A. Tabyaoui H. & Chaouni A. (2002) : Paleostress evolution in the moroccan african margin from triassic to present. *Tectonophysics* 357, pp :187–205.
- Al Ansari A., Bajddi A. & Zouhair M. (2009) : Mise en évidence d'une évolution verticale dans la minéralogie et la typologie des minéralisations à Cu-Zn-Pb-Ag-Ba de Tighardine: Apport à l'exploration minière dans le Haut Atlas Occidental (Maroc). *Notes & Mém. Serv. Géol. Maroc*, n° 530, pp : 31-44.
- Allouban, M. (2019) : Cartographie et étude pétrologique et géochimique du magmatisme mésozoïque du Haut Atlas oriental (Axe Rich-Talsint, Maroc) : Implications géodynamiques. Thèse de doctorat National. Univ. Moulay Ismail, Meknès, Maroc, 238p.
- Amine A. El Amrani El Hassani Iz. Remmal T. El Kamel F. Van Wyk De Vries B. & Boivin P. (2019) : Geomorphological classification and landforms inventory of the Middle-Atlas volcanic Province (Morocco): Scientific value and educational potential. *Quaestiones Geographicae* 38(1), Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, pp : 107–129.
- Amrhar M. (2002) : Paléocontraintes et déformation syn- et post- collision Afrique-Europe identifiées dans la couverture mésozoïque et cénozoïque du Haut Atlas occidental (Maroc). *C. R. Geoscience* 334, pp: 279-285.
- Armondo, G. (1999) : Intracontinental alkaline magmatism: Geology, petrography, Mineralogy and geochemistry of the Jebel Hayim Massif (Central High Atlas – Morocco). *Mémoires de Géologies (Lausanne)*, n° 31, 106 p.
- Ayarza P., Alvarez-Lobato F., Teixell A., Arboleya M.L., Teson E., Julivert M. & Charroud M. (2005) : Crustal structure under the central High Atlas Mountains (Morocco) from geological and gravity data. *Tectonophysics* 400, 18.
- Baudelot S., Charrière A., Ouarhache D. & Sabaoui A. (1990) : Données palynologiques nouvelles concernant l'Ordovicien et le Trias - Lias du Moyen-Atlas (Maroc). *Géologie Méditerranéenne*, 17 (3-4), pp : 263-277
- Baudelot S., Colin J.P. & Ouarhache D. (1986) : Le niveau sédimentaire associé aux basaltes triasiques sur la bordure septentrionale du Causse d'El Hajeb (Maroc) : données palynologiques et micropaléontologiques. *Rev. paléobiol.*, Genève, 5, 2, pp : 281-287.
- Beauchamp, W., Allmendinger, R.W., Barazangi, M., Demnati, A., El Alji, M., and Dahmani, M., 1999, Inversion tectonics and the evolution of the High Atlas Mountains, Morocco, based on a geological-geophysical transect: *Tectonics*, v. 18, p. 163–184, doi:10.1029/1998TC900015.
- Belvedere M. & Mietto P. (2010): First evidence of *Stegosaurian deltapodus* footprints in North Africa (Iouaridène Formation, Upper Jurassic, Morocco). *Palaeontology* 53(1), pp: 233-240. doi.org/10.1111/j.1475-4983.2009.00928.x
- Benmakhlouf M. (2001) : les sources thermales du Maroc septentrional : relation entre la tectonique et le thermalisme. Thèses de doctorat d'état, Univ. Mohammed V- Agdal. Rabat, Maroc.
- Bensalah M.,K., Youbi N., Mata J., Madeira J., Martins L., El Hachimi H., Bertrand H., Marzoli A., Bellieni G., Doblas M., Font E., Medina F., Mahmoudi A., Berraâouz E.H., Miranda R. Verati, C. De Min A., Ben Abbou M. & Zayane, R. (2013) The Jurassic Cretaceous basaltic magmatism of the Oued El-Abid syncline (High Atlas, Morocco): physical volcanology, geochemistry and geodynamic implications. *Journal of African Earth Sciences*, 81, pp: 60-81.
- Benvenuti M., Moratti G. & Algouti, A. (2017): Stratigraphic and structural revision of the Upper Mesozoic succession of the Dadès valley, eastern Ouarzazate Basin (Morocco), *Journal of African Earth Sciences* doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.01.018
- Beraâouz E.H., Platevoet B. & Bonin, B., (1994) : Le magmatisme mésozoïque du Haut Atlas (Maroc) et l'ouverture de l'Atlantique central. *C. R. Acad. Sci. Paris* 318, 1079–1085.
- Bouabdellah M., Beaudoin G., Leach D.L., Cardellach E. & GrandiaF. (2009) : Genesis of the Assif El Mal Zn–Pb (Cu, Ag) vein deposit. An extension-related Mesozoic vein system in the High Atlas of Morocco; Structural,

- mineralogical and geochemical evidence. *Mineralium Deposita*, 44 (6) pp :689-704. doi.org/10.1007/s00126-009-0232-8
- Bouabdellah M., Hoernle K., Kchit A., Duggen S., Hauff F., Klügel A., Lowry D. & Beaudoin G. (2010) : Petrogenesis of the Eocene Tamazert continental carbonatites (Central High Atlas, Morocco): implications for a common source for the Tamazert and Canary and Cape Verde Island carbonatites. *J. Petrology*, 51, 8, pp: 1655-1686.
- Bouabdli A., Dupuy C. & Dostal J. (1988) : Geochemistry of Mesozoic alkaline lamprophyres and related rocks from the Tamazert massif, High Atlas (Morocco). *Lithos*, 22, (1), pp : 43-58
- Bouabdli, A. & Liotard, J.M. (1992) : Affinité kimberlitique des lamprophyres ultrabasiques du massif carbonatitique de Tamazert (Haut Atlas marocain). *C. R. Acad. des Sci. Paris*, 314(II) pp : 351-357.
- Bouchaou L., Chauve P., Mania J., Mudry J. & Michelot J. L. (1995) : Contribution of artificial and natural tracers to the knowledge of flow and recharge in a semi-arid region: the case of Beni Mellal Atlas (Morocco). *Revue des sciences de l'eau*, 8 (1), pp. 43-55.
- Bouchouata A., Canérot J., Souhel A. & Gharib A. (1995) : Stratigraphie séquentielle et évolution géodynamique du Jurassique de la région Talmest-Tazoult (Haut Atlas central, Maroc). *C. R. Acad. Sci. Paris, Série II* 320, pp : 749-756.
- Boudhar A., Gilles B., Hanich L., Chehbouni A. & Sicart J.E. (2016): Energy fluxes and melt rate of a seasonal snow cover in the Moroccan High Atlas. *Hydrological Sciences Journal*. doi.org/10.1080/02626667.2014.965173
- Bourcart J. (1934) : la tectonique de l'Atlas central (Territoire du Tadla). *C. Bull. Soc. Géol. Fr.*, 8, P : 100.
- Boutakiout M. (2018) : Le Géoparc M'Goun : Territoire, patrimoine, protection et développement intégré. (El Hariri K. & Chennaoui Aoudjehane H. Eds). *Notes & Mém. Serv. Géol. Maroc (Numéro Spécial)*, pp :33-59.
- Boutakiout M., Ladel L., Díaz-Martínez I. & Pérez-Lorente F. (2009) : (Prospecciones paleoicnológicas en el sinclinal de Iouaridène (Alto Atlas, Marruecos). 2 : Parte oriental. *Geoacta* 47.
- Caña J. (1969) : Les minéralisations plombo-cupro-zincifères stratiformes de la région des plis marginaux du Haut Atlas oriental : un exemple de relations entre des minéralisations et une sédimentation déritique continentale. *Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc* 29 213, 107 - 120.
- Carbonell R., Ayarza P., Gallart J., Diaz J., Harnafi M., El Hassani A., Levander A. & Teixell A. (2013): From the Atlas to the Rif, A crustal seismic image across Morocco. *Actes Session Plénière Académie Hassan II des Sciences et Techniques*, pp : 381-394.
- Cavallina C., Papini M., Moratti G. & Benvenuti M. (2018): The late Mesozoic evolution of the Central High Atlas domain (Morocco): Evidence from the paleo-drainage record of the Adrar Aglalal syncline. *Sedimentary Geology*. doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.08.003
- Célerier J. & Charton A. (1923) : Un lac d'origine glaciaire dans le Haut Atlas (lac d'Ifni). *Hespéris* 3, pp: 501-513.
- Chafiki D., Canérot J. Souhel A. ElHariri Kh. & TajEddine K. (2004) : Show more The Sinemurian carbonate mud-mounds from central High Atlas (Morocco): stratigraphy, geometry, sedimentology and geodynamic patterns. *J. African Earth Sci.* 39 (3-5), pp: 337-346. doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2004.07.063
- Chafiki D., Souhel A., Canerot J. Ibough H., El Hariri K. & Taj-Eddine K. (2001) : The Liassic mud-mound from Central High Atlas (Morocco). *Stratigraphic and geodynamic settings. Géologie Méditerranéenne*, tome XXVIII, n° 1-2, pp : 49-52
- Charrière A. & Haddoumi, H. (2016) : Les «Couches rouges» continentales jurassico-crétacées des Atlas marocains (Moyen Atlas, Haut Atlas central et oriental): bilan stratigraphique, paléogéographies successives et cadre géodynamique. *Boletín Geológico y Minero*, 127 (2/3) pp : 407-430
- Charrière A., Haddoumi H. & Mojon P.O. (2005) : Découverte du Jurassique supérieur et d'un niveau marin du Barrémien dans les "couches rouges" continentales du Haut Atlas central marocain : implications paléogéographiques et structurales. *C. R. Palevol.* 4, pp : 385-394.
- Charrière A., Haddoumi H., Mojon P.-O., Ferrière J., Cuche D. & Zili L. (2009) : Mise en évidence par ostracodes et charophytes de l'âge paléocène des dépôts discordants sur les rides anticlinales de la région d'Imilchil (Haut Atlas, Maroc) ; conséquences paléogéographiques et structurales. *C. R. Palevol.* 8, pp : 9-19.

- Charroud M. (1990) Évolution géodynamique de la partie Sud- Ouest du Moyen-Atlas durant le passage Jurassique-Crétacé, le Crétacé et le Paléogène : un exemple d'évolution intraplaque. Thèse 3ème cycle, Univ. Mohammed V Agdal, Rabat. 234 p.
- Chennaoui Aoudjehane H., Garvie L. A. J., Herd C. D. K., Chen G., and Aboulahris M. (2013) Agoudal: The most recent iron meteorite from Morocco (abstract #5025). *Meteoritics & Planetary Science* 48, (Abstract #5025).
- Chennaoui-Aoudjehane H., El Kerni H., Reimold W., Baratoux D., Koeberl C., Bouley S. & Aoudjehane M. (2016) The Agoudal (High Atlas Mountains, Morocco) shatter cone conundrum: a recent meteorite fall onto the remnant of an impact site. *Meteoritics & Planetary Science*, 1–22, doi.org/10.1111/maps.12661
- Chorowicz, J., Alem, E.M. Bahmad, A. Chariai, H. El Kochri, A., Medina F. & Tamain G. (1982) Les anticlinaux éjectifs du Haut Atlas : résultat de tectoniques atlasiques superposées. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences série II*, 294: 271 -274.
- Choubert, G. & Faure-Muret, A. (1960-62) Evolution du domaine atlasique marocain depuis les temps paléozoïques. In *Livre à la Mémoire de P. Fallot*, Mém. Soc. Géol. France, I, 447-527.
- Choulet F., Charles N., Barbanson L., Branquet Y., Sizaret S., Ennaciri A., Badra L. (2014) Non-sulfide zinc deposits of the Moroccan High Atlas: Multi-scale characterization and origin *Ore Geology Reviews* 56, pp: 15–140. dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.08.015
- Couvreur G. (1981) : Essai sur l'évolution morphologique du Haut Atlas central calcaire (Maroc). Thèse de doctorat, Université de Strasbourg (France).
- Díaz-Martínez I., Ladel L., Martín D., Saadani S, Buzzi J., Ghadbane S, Luján A.H., Moussa D., Martínez V., Elazzouzi Y. & García-Ortiz de Landaluce E. (2009) : Nuevas huellas terópodos en el yacimiento 4AM en Aït Mimoun (Sinclinal de Iouaridène, Alto Atlas, Marruecos). *Paleolusitana* n° 1, pp : 151-159.
- Domènech M., Teixell A., Babault J. & Arboleya M. L. (2015): The inverted Triassic rift of the Marrakech High Atlas: A reappraisal of basin geometries and faulting histories, *Tectonophysics*. Vol. 663, pp : 177-191 doi.org/10.1016/j.tecto.2015.03.017
- Du Dresnay R. (1979) : Sédiments jurassiques du domaine des chaînes atlasiques du Maroc, in Symposium "Sédimentation jurassique W européenne", A.S.F. Publ. Spéciale, pp: 345–365.
- El Azzouzi M., Maury R. C., Bellon H., Youbi N., Cotten J. & Kharbouch F. (2010) : Petrology and K-Ar chronology of the Neogene-Quaternary Middle Atlas basaltic province, Morocco. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 2010, t. 181, no 3, pp: 243-257.
- El Bakhouch N., Ibouh H. Touil A. & Chafiki D. (2024) : Structural and mineralogical mapping using multispectral satellite data (Aster, Landsat 8 OLI, and Sentinel 2B) combined with field work in the Western High Atlas, Morocco. *May 2024Geologos* 30(2):119–136. <https://doi.org/10.14746/logos.2024.30.2.11>
- El Harfi A., Guiraud M. & Lang J. (2006) : Deep-rooted "thick skinned" model for the High Atlas Mountains (Morocco). Implications for the structural inheritance of the southern Tethys passive margin. *ournal of Structural Geology* 28 (11) pp : 1958-1976
- El Hariri K. (1998) : Le signal morphologique de l'évolution chez les ammonites du Lias inférieur et moyen dans les contextes stratigraphique, paleobiogéographique et paleoécologique du Haut Atlas central (Maroc). Thèse d'état, Univ. Cadi Ayyad, Marrakech, 211 p.
- El Hassani A. (2023) : A Geologist's Paradise, Tracing Morocco's Geological History from Early Explorers to the Modern Era. Hassan II Academy Press, Morocco. ISBN: 978-9954-716-22-9 ; e-ISBN: 978-9954-716-23-6, 384 p.
- El Kerni H., Chennaoui Aoudjehane H., Rochette P., Quesnel Y., Uehara M., Baratoux D., Charrière A., Ibouh H., Kenkmann T., Wulf G., Poelchau M., Aboulahris M., Nguyen B., Aoudjehane M., Makhoukhi S., Aumaitre G., Bourlès D., & Keddadouche K. (2019) : Geological and geophysical studies of the Agoudal impact structure (Morocco): Further evidence for crater size and age. *Meteoritics & Planetary Science*, pp:1–27. doi.org/10.1111/maps.13347
- El Kochri A. & Chorowicz J. (1996) : Oblique extension in the Jurassic trough of the central and eastern High Atlas (Morocco), *Can. J. Earth Sci.* 33, pp: 84–92.
- Ellouz N., Patriat M., Gaulier J.-M. Bouatmani R. & Sabounji S. (2003) : From rifting to Alpine inversion. Mesozoic and Cenozoic subsidence history of some Moroccan basins. *Sedimentary Geology* 156, pp: 185–212.

- Elmi S. & Benshili K. (1987) : Relation entre la structuration tectonique, la composition des peuplements et l'évolution : Exemple du Toarcien du Moyen-Atlas méridional (Maroc). *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 26 (1-2), pp : 47-62.
- Ettaki, M. Ibouh, H., Chellai E.H. & Milhi, A. (2007) Les structures « diapiriques » liasiques du Haut-Atlas central Maroc : exemple de la ride d'Ikerzi. *Africa Geosci. Rev.*, 14, pp : 73–99.
- Fedan B. (1988) : Évolution géodynamique d'un bassin intraplaque sur décrochements : le Moyen Atlas (Maroc) Durant le Méso- Cénozoïque. Thèse es-science, Univ. Med V. Rabat, 335p..
- Fedan B. & El Hassani A. (2018) : The Jurassic of the Atlas Domain (Morocco). *Field Guidebook 10th International Symposium "Cephalopods – Present and Past"*. *Münster. Forsch. Geol. Paläont.*, 110, pp : 119-144.
- Fiechtner L. Friderichsen H. & Hammerschmidt K. (1992): Geochemistry and geochronology of early mesozoic tholeiite from central Morocco. *Geol Rundsch.* 81, pp: 45-62.
- Frizon de Lamotte D., Leturmy P., Missenard Y., Khomsi S. Ruiz, G. Saddiqi O. Guillocheau F. & Michard A. (2009): Mesozoic and Cenozoic vertical movements in the Atlas system (Algeria, Morocco, Tunisia): an overview. *Tectonophysics* 475, pp: 9–28.
- Giese P. & Jacobshagen V. (1992)- Inversion tectonics of intracontinental ranges: High and Middle Atlas, Morocco. *Geol. Rdsch. Stuttgart*; 81/1, pp: 249-259.
- Gomez F., Beauchamp W. & Barazangi M. (2000): Role of the Atlas Mountains (northwest Africa) within the African–Eurasian plate boundary zone, *Geology* 28, pp: 775–778.
- Gomez F., Beauchamp W. & Barazangi M. (2002) : Reply to Laville' comment. *Geology*, 30 (1), p.96.
- Gourfi A., Daoudi L. & Shi Z. (2018): The assessment of soil erosion risk, sediment yield and their controlling factors on a large scale: Example of Morocco. *Journal of African Earth Sciences*, 147, pp : 281-299
- Guezal J., El Baghdadi M., Barakat A. & Rais J. (2011) : Le magmatisme jurassique crétacé de Béni-Mellal (Haut-Atlas central, Maroc) : géochimie et signification géodynamique. *Bull. Inst. Sci., Rabat, section Sci. Terre*, n°33, pp : 17-23
- Haddoumi H., Charrière A. & Mojon P.O. (2010) : Stratigraphie et sédimentologie des « Couches rouges » continentales du Jurassique- Crétacé du Haut Atlas central (Maroc) : implications paléogéographiques et géodynamiques. *Geobios*, 43, pp: 433–451
- Hailwood E.A. & Mitchell. J.C. (1971) : Paléomagnetic and radiometric dating results from Jurassic intrusion in south Morocco. *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 24, pp : 351-364.
- Hanich L., De Solan B., Duchemin B., Maisongrande Ph. Chaponnière A., Boulet G. & Chehbouni A. (2003) : Snow cover mapping using SPOT VEGETATION with high resolution data: application in the Moroccan Atlas Mountains. Conference: Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '03. Proceedings. IEEE Vol. 4, doi.org/10.1109/IGARSS.2003.1294600
- Hughes P. D., Fink D., Rodés A., Fenton C. R. & Fujioka T. (2018) : Timing of Pleistocene glaciations in the High Atlas, Morocco: New ¹⁰Be and ³⁶Cl exposure ages. *Quaternary Science Reviews* 180, pp: 193-213. doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.11.015
- Ibhi A., Nachit E. H., Abia E. H., Ait Touchant & Vaccaro C. (2013) : Isli and Tislit: The First Dual Impact Crater Discovered in Morocco. *International Journal of Astronomy and Astrophysics* 3(2A):1-4. doi.org/10.4236/ijaa.2013.32A001
- Ibouh H. (1995) : Tectonique en décrochement et intrusions magmatiques au Jurassique ; tectogenèse polyphasée des rides jurassiques d'Imilchil (Haut Atlas central, Maroc). Thèse de 3ème cycle, Univ. Cadi Ayyad, Marrakech, 225 p (déposée à la bibliothèque de SGF).
- Ibouh H. (2004) : Du rift avorté au bassin sur décrochement, contrôles tectonique et sédimentaire pendant le Jurassique (Haut Atlas central, Maroc). Thèse d'état Es-Sciences, Univ. Cadi Ayyad, Marrakech, 224 p. (déposée à la bibliothèque de SGF).
- Ibouh H. & Chafiki D. (2017) : La tectonique de l'Atlas : âge et modalités. *S. G. F. Géologues* 194, pp : 24-28.
- Ibouh H. & Mouguina E.M. (2011c) : Aguerd n'Tazoult, une mine Zn- Pb du Haut Atlas central: Nouveaux Guides Géologiques et Miniers du Maroc. Volume 9 : Les Principales Mines du Maroc : A. Mouttaqi, E.C. Rjmati, L. Maacha, A. Michard, A. Soulaimani & H. Ibouh Eds. *Note et Mém. Serv. Géol. N° 564*, pp : 293-296.

- Ibough H., Charriere A. & Michard A. (2011a) : Middle Jurassic unsteady sedimentation in the High Atlas Basin (Imilchil area, Morocco): evidence for halokinetic movements. Excursion 2011, MAPG-AAPG Search Discov., #90137
- Ibough H., El Bchari F., Bouabdelli M. Souhel A. & Youbi N. E. (2001) : L'accident Tizal-Aזורki: Haut Atlas central (Maroc). manifestations synsédimentaires liasiques en extension et conséquence du serrage atlasique. Estudios Geologicos, volume 57, n° 1-2, pp : 15-30
- Ibough H., Laville E., Amrhar M. & Bouabdelli M. (2008) Migrations des aires de sédimentation au cours du Dogger dans le Haut Atlas central (Maroc) : exemples des synclinaux d'Azag n'Ouffoulloussene et de Michlifène. Notes et Mém. Serv. géol. Maroc, n° 527, pp : 73 - 82, 9 fig.
- Ibough H., Michard A., Charrière A., Benkaddour A., & Rhoujjati A. (2014): Tectonic–karstic origin of the alleged “impact crater” of Lake Isli (Imilchil district, High Atlas, Morocco). Comptes Rendus Geosciences 346, pp: 82–89.
- Ibough H., Michard A., Hibti M. & El Amari K. (2011b) : Le cuivre des Couches Rouges de Tansrift (Atlas d'Azilal): Nouveaux Guides Géologiques Et Miniers Du Maroc. Volume 9 Les Principales Mines Du Maroc : A. Mouttaqi, E.C. Rjimati, L. Maacha, A. Michard, A. Soulaïmani & H. Ibough eds. Note et Mém. Serv. Géol. N° 564, pp: 281-286.
- Ibough H., Saidi A., Bouabdelli M., Youbi N, Boummane Kh. & Aït Chayeb E. H. (2002) : Les roches volcaniques triasico-liasiques du Maroc ; Exemple de la ride de Tasraft (Haut Atlas Central) données pétrologiques, géochimiques et implications géodynamiques. Africa Géoscience Review Paris, vol. 9 (1), pp: 75-92.
- Ibough H., Akboub M., El Wahidi F. et Kchikach N. (2024) : Géparc: un concept de valorisation du patrimoine géologique, exemple du géoparc de M'goun, Haut Atlas central. Chapitre d'ouvrage collectif: “Patrimoine du Maroc (Formes natures et Canaux de Valorisation)” ISBN: 978 - 9920 - 541 - 05 – 3 (IMIST edition, LIRI-CNRST, 2024). Pp193-215.
- Ilmen S., Alansari A., Baidada B., Maacha L. & Bajddi A. (2015) : Minerals of the Ag-Bi-Cu-Pb-S system from the Amensif carbonate replacement deposit (Western High Atlas, Morocco). Journal of Geochemical Exploration 161(85):97. doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.11.008
- Jenny J. (1985) : Dynamique de la phase tectonique synsédimentaire du Jurassique moyen dans le Haut Atlas central. Eclogae géoleogique 77, pp : 143-152.
- Jenny J., Le Marrec A. & Monbaron M. (1981) : Les Couches rouges du Jurassique moyen du Haut Atlas central (Maroc) corrélations lithostratigraphiques, éléments de datations et cadre tectono- sédimentaire. Bulletin de la Société géologique de France 23 (6), pp: 627–639.2024-
- Kchikach N., Ibough H., Benali A., Charbaoui A. & El Alaoui El Fels A. (2024) : Digital Promotion of Geoheritage along a Tourist Route in M'Goun UNESCO Geopark (Central High Atlas, Morocco) and Visitor Typology Analysis. Geosciences 2024, 14(6), 141; <https://doi.org/10.3390/geosciences14060141>
- Knight K.B., Nomade S., Renne P.R., Marzoli A., Bertrand H., & Youbi N. (2004) : The Central Atlantic Magmatic Province at the Triassic–Jurassic boundary: paleomagnetic and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ evidence for brief, episodic volcanism. Earth and Planetary Science Letters 228, pp : 143–160.
- Lachkar G., Ouarhache D. & Charrière A. (2000) : Nouvelles données palynologiques sur les formations sédimentaires associées aux basaltes triasiques du Moyen Atlas et de la Haute Moulouya (Maroc). Revue Micropal., 43 (4), pp :281-299.
- Lamb H.F., Duigan C.A., Gee J.H.R., Kelts K., Lister G., Maxted R.W., Merzouk A., Niessen F., Tahri M., Whittington R.J. & Zeroual E. (1994) : Lacustrine sedimentation in a high altitude, semi-arid environment: the palaeolimnological record of Lake Isli, High Atlas, Morocco. In: A.C. Millington, K. Pye (Eds.), Environmental Change in Drylands, J. Wiley & Sons Ltd, pp: 147–161.
- Lancelot, J. R. & Allegre, C. J. (1974) : Origin of carbonatitic magma in the light of the Pb-U-Th isotope system. Earth and Planetary Science Letters. Vol. 22 (3), pp : 233-238
- Laville E. (1985) : Évolutions sédimentaire, tectonique et magmatique du bassin jurassique du Haut Atlas, Maroc : modèle en relais multiples de décrochements. Thèse Doct. Univ. Montpellier II, 166 p.
- Laville E. (2002): Comment to “Role of the Atlas mountains (northwest Africa) within the African–Eurasian plate-boundary zone” by F. Gomez, W. Beauchamp, M. Barazangi, Geology 28 (2000), pp: 775–778.

- Laville E. & Piqué A. (1992) : Jurassic penetrative deformation and Cenozoic uplift in the Central High Atlas (Morocco): A tectonic model. Structural and orogenic inversions: *Geologische Rundschau*, v. 81, pp: 157–170.
- Laville E., Piqué A., Amrhaz M. & Charroud M. (2004) : A restatement of the Mesozoic Atlas rifting (Morocco). *J. Afr. Earth Sci.* 38, pp: 145–153.
- Leprêtre R., Missenard Y., Saint-Bezar B., Barbarand J., Delpech G., Yans J., Dekoninck A. & Sadiqi O. (2015) : The three main steps of the Marrakech High Atlas building in Morocco: Structural evidences from the southern foreland, Imini area. *Journal of African Earth Sciences* ; Volume 109, pp : 177-194.
- Marchane A., Jarlan L., Hanich L. & Boudhar A. (2013) : Caractérisation de l'enneigement sur l'atlas marocain par le capteur MODIS et relation avec le climat (période 2000-2011). *Revue française de photogrammétrie et de télédétection*, (204), pp :13-22.
- Martin J. D., Vergés J., Saura E., Moragas M., Messenger G., Baqués V., Razin R., Grélaud C., Malaval M., R. Joussiaume R., Casciello E., Cruz-Orosa I., & D. W. Hunt D.W. (2016): Diapiric growth within an Early Jurassic rift basin: The Tazoult salt wall (central High Atlas, Morocco). *Tectonics*, 36, 2–32, doi:10.1002/2016TC004300.
- Marzoli A., Renne P. R., Piccirillo E. M., Ernesto M., Bellieni G. & De Min A. (1999): Extensive 200-million-year-old continental flood basalts of the Central Atlantic Magmatic Province. *Science* 284, pp : 616-618.
- Mattauer M., Tapponnier P. & Proust F. (1977) : Sur les mécanismes de formation des chaînes intracontinentales. L'exemple des chaînes atlasiques du Maroc. *Bull. Soc. Géol. France*, 1977, (7), t.XIX, n° 3, pp : 521-526.
- Medina F., Et-Touhami M., Olsen P. E., Bouaouda M.S., Hafid M. & Ettachfin E.M. (2011) : Haut Atlas Occidental Circuit C11. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, n° 562, 2011, pp. 9-62, 53 fig.
- Mhiyaoui H., Manar A., Remmal T., Boujamaoui M., El Kamel F., Amar M., Mansour M. & El Amrani El Hassani I. (2016) : Structures profondes du volcanisme quaternaire du Moyen Atlas central (Maroc) : Apports de la cartographie aéromagnétique. *Bull. Inst. Sci., Rabat, Section Sci. Terre*, 2016, n° 38, pp :111-125.
- Michard A., Ibouh H. & Charrière, A. (2011) : Syncline-topped anticlinal ridges from the High Atlas: a Moroccan conundrum, and inspiring structures from the Syrian Arc. *Terra Nova* Vol. 23 (5), pp : 314-323 <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2011.01016.x>
- Miller M. S & Becker T.W. (2013): Reactivated lithospheric-scale discontinuities localize dynamic uplift of the Moroccan Atlas Mountains. *Geology*, 42 (1) (2014), pp. 35-38. <https://doi.org/10.1130/G34959.1>
- Monbaron M. (1981): Sédimentation, tectonique synsédimentaire et magmatisme basique : l'évolution paléogéographique et structurale de l'Atlas de Beni Mellal (Maroc) au cours du Mésozoïque : ses incidences sur la tectonique tertiaire. *Eclogae geologicae Helvetiae*, 74 (3), 625–638.
- Monbaron M. & Monbaron J. (2015) : La Route des Dinosaures ; Itinéraires à travers le Géoparc M'Goun, Haut Atlas, Maroc, Editions d'autre Part. 142 p.
- Monbaron M., Russell D. A. & Taquet Ph. (1999): *Atlasaurus imelakei* n.g., n.sp., a brachiosaurid-like Sauropod from the Middle Jurassic of Morocco. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 329, pp : 519-526.
- Moratti G., Benvenuti M., A. P. Santo A. P., Laurenzi M. A., E. Braschi E. & Tommasini S. (2018) : New ⁴⁰Ar–³⁹Ar dating of Lower Cretaceous basalts at the southern front of the Central High Atlas, Morocco: insights on late Mesozoic tectonics, sedimentation and magmatism. *International Journal of Earth Sciences*. doi.org/10.1007/s00531-018-1609-7
- Mouguina E.M. & Ibouh H. (2011) : La mine de zinc d'Ali-ou- Daoud (Imilchil, Haut Atlas central): Nouveaux Guides Géologiques et Miniers du Maroc. Volume 9 Les Principales Mines du Maroc: A. Mouttaqi, E.C. Rjmati, L. Maacha, A. Michard, A. Soulaïmani & H. Ibouh eds. Note et Mém. Serv. Géol. N° 564, pp : 287-292.
- Moussaid B., Villalain J. J., Casas-Sainz A. M., El-Ouardi H., Oliv- Urcia B., Soto R., Román-Berdiel T. and Torres-López S. (2014): Primary vs. secondary curved fold axes: Deciphering the origin of the Aït Attab syncline (Moroccan High Atlas) using paleomagnetic data. doi.org/10.1016/j.jsg.2014.11.004
- Ouarhache D., Charrière A., Chalot-Prat F. & El Wartiti M. (2012) : Chronologie et modalités du rifting triasico-liasique à la marge sud- ouest de la Téthys alpine (Moyen Atlas et Haute Moulouya, Maroc) ; corrélations avec le rifting atlantique : simultanéité et diachronisme. *Bull. Soc. géol. France*, 183 (3), pp: 233-249.
- Oukassou M., Lagnaoui A., Charriere A., Saber H., Bel Haouz W., Gierliński G., Hendrik Klein H., Ibouh H. (2019) New evidence of xiphosurids from the Middle Jurassic of Morocco: Palaeoenvironmental, palaeoecological and

- palaeobiogeographical implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 516, pp : 268–283. doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.11.034
- Oussou A, Falkingham PL, Butler RJ, Boumir K, Ouarhache D, Ech-charay K, Charrière A, Maidment SCR. 2023 New Middle to ?Late Jurassic dinosaur tracksites in the Central High Atlas Mountains, Morocco. *R. Soc. Open Sci.* 10: 231091. doi.org/10.1098/rsos.231091
- Ovtracht A. (1977) : Province plombo-zincifère du Haut Atlas central. *Revue Mines, Géologie et Énergie*, n°44, pp : 103-109.
- Perrodon A. (1988) : Bassins sédimentaires, provinces pétrolières et tectonique globale. *Bull. centres rech. Explor. Pord. Elf-Aquitane*, 12 (2), pp: 493-512.
- Piqué A., Tricart P., Guiraud R., Laville E., Bouaziz S., Mostafa, Amrhar M. & Ait Ouali R. (2002): The Mesozoic-Cenozoic Atlas belt (North Africa): An overview. *Geodinamica Acta*. 15. 185-208. doi.org/10.1080/09853111.2002.10510752.
- Poisson A., Hadri M., Milhi A., Julien M., and Andrieux J. (1998) : The central High Atlas (Morocco). Litho- and chrono-stratigraphic correlations during Jurassic times between Tinjdad and Tounfite. Origin of subsidence. In *Peri-Tethys Memoire 4: Epicratonic basins of Peri-Tethyan platforms*, edited by Crasquin-Soleau S. and Barrier E. *Mémoire du Musée National d'Histoire Naturelle*, 179, pp: 237–256.
- Roch E. (1950) : Histoire stratigraphique du Maroc. *Notes Mém. Serv. Géol. Maroc*, 80, 440 p.
- Routhier P. (1980) : Où sont les métaux pour l'avenir ? Les provinces métallogéniques. *Essai de métallogénie globale*. *Mém. BRGM*, n° 105, vol. 1, 409 p.
- Sadilenko D.A., Lorenz C.A., Ivanova M.A., Roshina I.A., & Korochantsev, A.V. (2013) A new small impact crater in the High Atlas, in the Agoudal iron strewn field. 76th Annual Meteoritical Society Meeting, Abstr. vol, 5215.
- Saura E., Vergés J, Martín-Martín, J. D., Messenger G. Moragas M., Razin Ph., Grélaud C., Joussiaume R., Malaval M., Homke S. and Hunt D. W: (2014), The central High Atlas Jurassic diapiric province: A snapshot of an incipient diapiric passive margin, *J. Geol. Soc.*, 171, 97–105.2014). <https://doi.org/10.1144/jgs2013-079>
- Schwarz G. & Wigger P.J. (1988):: Geophysical studies of the earth's crust and upper mantle in the Atlas system of Morocco. In: Jacobshagen, V.H. (eds) *The Atlas System of Morocco. Lecture Notes in Earth Sciences*, vol 15. Springer, Berlin, Heidelberg, pp: 340-357. doi.org/10.1007/BFb0011600
- Smith T. E. & Pozzobon J. G. (1979) : The Imiter gabbroic Complex, High Atlas Mountains, Morocco. *The Journal of Geology* 87, no. : 317-324. doi.org/10.1086/628420
- Souhel, A. (1996) : Le Mésozoïque dans le Haut-Atlas de Beni-Mellal (Maroc). *Stratigraphie, sédimentologie et évolution géodynamique*. *Strata*, Toulouse, 2, 27: 1-249.
- Studer M. & Du Dresnay R. (1980) : Déformations synsédimentaires en compression pendant le Lias supérieur et le Dogger, au Tizi n'Irhil (Haut Atlas central de Midelt, Maroc). *Bulletin de la Société Géologique de France* S7-XXII(3):391-397. doi.org/10.2113/gssgfbull.S7-XXII.3.391
- Subra A. (1970) : Contribution à l'étude métallogénique du cuivre : étude d'un gisement filonien (Padern) et d'un gisement stratiforme (Tansrift). Thèse 3ème cycle, Univ. Paul Sabatier, Toulouse, inédit, 170 p.
- Subra A. (1980) : Émersions anté-crétacées et minéralisations dans l'Atlas de Béni-Mellal. Le gisement de Tabaroucht, un remplissage paléokarstique cuprifère. *Mines Géol. Energie*, n°47, 43-70.
- Teixell A., Arboleya M.L., Julivert M. & Charroud, M. (2003): Tectonic shortening and topography in the central High Atlas (Morocco). *Tectonics*, Vol. 22, No. 5, 1051, doi/10.1029/2002TC001460/
- Tisserant D., Thuizat R. & Agard J. (1976) : Données géochronologiques sur le complexe de roches alcalines du Tamazeght (Haut Atlas de Midelt, Maroc). *Bull. BRGM*, 3, 279–283.
- Warne J.E. (1988): Middle Jurassic history and the Bajocian reef tracts. In: Warne, J.E., Crevello, P.D., Hazlet, B.A., Atmane, F., Benbouziane, M. (Eds.), *Evolution of the Jurassic High Atlas Rift, Morocco: Transtention, Structural and Eustatic Controls on Carbonate Facies, Tectonic Inversion*. AAPG Mediterranean Basins Conference, Field Trip 9, Nice 1988, pp.XI/1–XI/19.
- Wernicke B. (1985): Uniform-sense normal simple shear of the continental lithosphere. *Can. J. Earth Sci.*, 22, pp. 108-125.

- Westphal M., Montigny R., Thuizat R., Bardong., Bossert A., Hamzen R., Rolley J.P. (1979) : Paleomagnetisme et datation du volcanisme permien, triasique et crétacé du Maroc. *Can. J. Earth Sci*, 16, 2150-2164.
- Youbi N., Martins L., Munhá J. M., Ibough H., Madeira J., Aït Chayeb E. H., & El Boukhari A. (2003) The Late Triassic-Early Jurassic Volcanism of Morocco and Portugal in the framework of the Central Atlantic Magmatic Province, In *The Central Atlantic Magmatic Province: Insights From Fragments of Pangea*. Edited by W. E. Hame, J. M. McHone, P.R. Renne, and C. Ruppel. *Geophysical Monographs Series 136*, American Geophysical Union), pp: 179-207.
- Zayane R, Essaifi A., Maury R., Piqué A., Laville E. & Bouabdelli M. (2002) : Cristallisation fractionnée et contamination crustale dans la série magmatique jurassique transitionnelle du Haut Atlas central (Maroc). *C. R. Géoscience*, 334, pp : 97-104.
- Zeroual S. (1995) Enregistrements climatiques dans les sédiments du lac Isli (Haut Atlas du Maroc) ; variations des influences climatiques sahariennes et méditerranéennes (de 34 000 ans B.P à nous jours). PhD thesis, Université de Neuchâtel, Suisse, 201 p.
- Ziad, N., Khazrouni, S. Tayebi, M. Bouabdli, A. & Poupeau, G (2001) Fission track and petrostructural analysis of carbonatic massif of Tamazert (High central Atlas, Morocco) and neogene reactivation of the north-atlasic fault. *Journal Maghrebin de Physique*; Volume: 1; Issue: 2. pp-39-48.

Géomorphosites du Sud marocain : Le cas des « Cœurs de Tata » comme ressources pour un géotourisme durable

Driss Fadli¹, Mohamed El Wartiti¹, Mohamed Zahraoui¹, Felice Di Gregorio² &
Sanae Berred¹

1. Faculté des Sciences, Université Mohammed V de Rabat, Maroc,

2. Université de Cagliari, Sardaigne, Italie.

Auteur correspondant : Mohamed El Wartiti, e-mail : wartiti.mohamed@gmail.com

Résumé

En empruntant les principaux circuits routiers de la région de Tata, dans le Sud marocain, certains versants de la chaîne hercynienne montrent des dépressions décamétriques à hectométriques dont le contour, souligné par certaines couches géologiques saillantes, dessine une forme de cœur, ayant la pointe dirigée vers le bas. Ces dépressions, uniques dans leur genre, présentent une sculpture naturelle particulièrement éloquente très répandue dans cette région. Il s'agit de véritables chefs d'œuvres de la nature qu'on appellera les "cœurs de Tata", dont la valorisation commence d'abord par faire connaître ses composantes à travers un inventaire ; puis, par expliquer leur mode de formation et enfin la raison de leur concentration dans cet espace géographique. La morphogenèse de ces structures a été conditionnée par plusieurs paramètres (nature lithologique des roches, le style de plis, la densité et la superposition des familles de réseaux de diaclases, la diversité des processus d'érosion et d'altération, les étages bioclimatiques), ayant affecté une série plissée, au niveau des zones les plus vulnérables que sont les points d'intersection entre les diaclases transversales et les diaclases longitudinales ; ce qui aboutit à la formation de ce genre de structures en forme de cœurs.

Mots clé : Anti-Atlas ; cœurs de Tata ; géomorphosites ; géotourisme ; géomorphologie.

Abstract

By borrowing the main road circuits of Tata region, in southern Morocco, some slopes of the Hercynian range show decametric to hectometric depressions whose outline, underlined by some protruding geological layers, draws a heart shape, with the point directed down. These depressions, unique in their kind, present a particularly eloquent natural sculpture very widespread in this region. These are true masterpieces of nature that we will call the "Tata hearts", the valuation of which begins by making known its components through an inventory; then, by explaining their mode of formation; and finally, the reason for their concentration in this geographical space. The morphogenesis of these structures was conditioned by several parameters (lithological nature of the rocks, the style of folds, the density and the superposition of joints networks families, the diversity of erosion and weathering processes, bioclimatic stages), having affected a folded series, at the level of the most vulnerable zones, which are the points of intersection between the transverse joints and the longitudinal joints; which results in the formation of this kind of heart-shaped structures.

Keywords: Anti-Atlas; Tata hearts; geomorphosites; geotourism; geomorphology.

Introduction

Le Géoparc du Jbel Bani (Fig. 1), que nous avons initié en 2013, fait partie de l'Anti-Atlas marocain (Gentil, 1929 ; Destombes, 1960). Ce dernier correspond à une chaîne montagneuse au Sud du Haut-Atlas qui s'étend sur environ 750 km de long et 250 km de large, suivant une direction SW-NE, depuis l'océan Atlantique à l'ouest jusqu'en Algérie au sud-est (Fig. 2). Il est limité au Nord par une zone de fractures dite accident majeur sud-atlasique (AMSA) et au Sud et SSE par le bassin paléozoïque de Tindouf. L'Anti Atlas constitue la bordure nord du craton ouest-africain avec un soubassement éburnéen et panafricain qui affleure au niveau de plusieurs boutonnières de taille variable (Bas Dra, Ifni, Kerdous, Ighrem, Zenaga, Bou Azzer, Saghro, Ougnat) représentant le prolongement septentrional du Craton ouest-africain et une épaisse couverture paléozoïque, déformée lors de l'orogénèse hercynienne. Il correspond à un vaste anticlinorium dissymétrique de direction ENE-WSW. La couverture mésozoïque constitue les Hamadas restées tabulaires (Fadli, 2014 ; Fadli et al., 2015).

L'un des traits remarquables du Géoparc du Jbel Bani réside dans la présence de sculptures naturelles façonnées par l'érosion. Sur certains versants de cette chaîne hercynienne, en bordure des oasis, on observe des dépressions de taille décamétrique à hectométrique. Leur contour, souligné par des couches géologiques de lithologies contrastées, dessine des formes évoquant un cœur, dont la pointe est orientée vers le bas. Ces dépressions, véritables sculptures naturelles, se distinguent par leur forme évocatrice et sont particulièrement répandues dans la région de Tata. Uniques en leur genre, elles constituent de véritables chefs-d'œuvre géomorphologiques que l'on propose de désigner sous le nom de « *cœurs de Tata* ». Leur valorisation en tant que monuments géologiques à vocation géotouristique commence par leur identification et leur inventaire dans l'espace géographique régional. Plusieurs interrogations émergent alors : comment les localiser et les recenser ? Pourquoi une telle concentration dans la région de Tata ? Quels processus ont présidé à leur formation ? Quels paramètres géodynamiques ont influencé leur morphogenèse ? Existe-t-il des liens entre ces formes en cœur et d'autres géomorphosites locaux ? Enfin, quels bénéfices peut-on attendre de leur valorisation en termes d'éducation, de culture et de développement socio-économique pour le sud marocain ? Autant de questions auxquelles ce travail s'efforcera d'apporter des réponses.

Aperçu géomorphologique

Le relief actuel de l'Anti-Atlas est relativement jeune; résultant d'un soulèvement intervenu au Mio-Pliocène, il y a environ 11 Ma. Ce mouvement tectonique, associé à la mise en place de la chaîne atlasique (Bourkhard et al., 2006), s'est accompagné d'émissions volcaniques localisées notamment dans les massifs du Sirwa et du Saghro (Missenard et al., 2006). Ce soulèvement a permis l'installation du réseau hydrographique actuel, amorçant une profonde dissection du relief et activant l'action des agents d'érosion, à l'origine des formes variées que l'on observe aujourd'hui. Dans la région de Tata, ces processus ont sculpté de vastes vallées et bassins récents, creusés dans des formations tendres, tandis que les roches plus résistantes ont conservé des formes de collines arrondies ou de *cuestas* dominant les dépressions. L'ensemble des grands traits géomorphologiques de la région s'organise selon une disposition orientée du Sud et du Sud-Est vers le Nord et le Nord-Ouest, en cinq unités morpho-structurales distinctes (Choubert, 1952 ; Choubert et al., 1963 ; Hollard, 1967 ; Destombes, 1971 ; Becker et al., 2004 ; El Hassani, 2004) (Fig. 3).

- **La plaine du Drâa et les Richs :** La plaine du Drâa se caractérise par de vastes étendues planes et caillouteuses, appelées *regs*, ponctuées de crêtes rocheuses discontinues et plus ou moins émoussées, dont l'orientation suit généralement l'alignement du Jbel Bani. Ces élévations, localement appelées « *Rich* », sont formées de roches carbonatées et détritiques datant du Siluro-Dévonien (Destombes et al., 1985). Elles émergent du paysage en contrastant avec la monotonie apparente des *regs*, apportant une diversité géomorphologique notable à la plaine.
- **Le Jbel Bani et les Foum :** Le Jbel Bani est une chaîne montagneuse subrectiligne qui présente un relief de type appalachien en modèle réduit (Hollard, 1967 ; Destombes, 1971, 1976). Il s'agit d'une longue élévation étroite, aux flancs abrupts et à la crête relativement continue. Son altitude dépasse les 600 mètres et atteint un maximum de 1641 mètres au niveau de Foum Zguid. Constitué principalement de formations ordoviciennes, le massif présente une succession de schistes et de pélites à sa base, surmontés par des grès et des quartzites au sommet. Il s'étend sur environ 400 kilomètres au sud de l'Anti-Atlas. Le Jbel Bani est entaillé perpendiculairement à sa direction générale par de nombreux cours d'eau, qui y ont creusé des cluses appelées localement « *Foums* ». Parmi les plus connues, d'ouest en est, on trouve : Foum El Hisn (ou Foum El Hassane), Foum Icht, Aït Ouabelli, Foum Akka, Foum Addis, Foum Tata, Foum Tissint et Foum Zguid. Ces points de passage, situés au cœur des vallées, concentrent les principales agglomérations de la région de Tata, en raison de la fertilité des sols, de la disponibilité en eau souterraine et de la présence de nappes phréatiques alimentées par les cours d'eau. Le niveau piézométrique y est généralement proche de la surface et peut même émerger grâce à la présence de seuils hydrogéologiques. Ces conditions ont favorisé, au fil du temps, l'installation d'oasis de type « *Foum* », véritables foyers de vie abritant certaines des plus importantes palmeraies d'Afrique du Nord ;

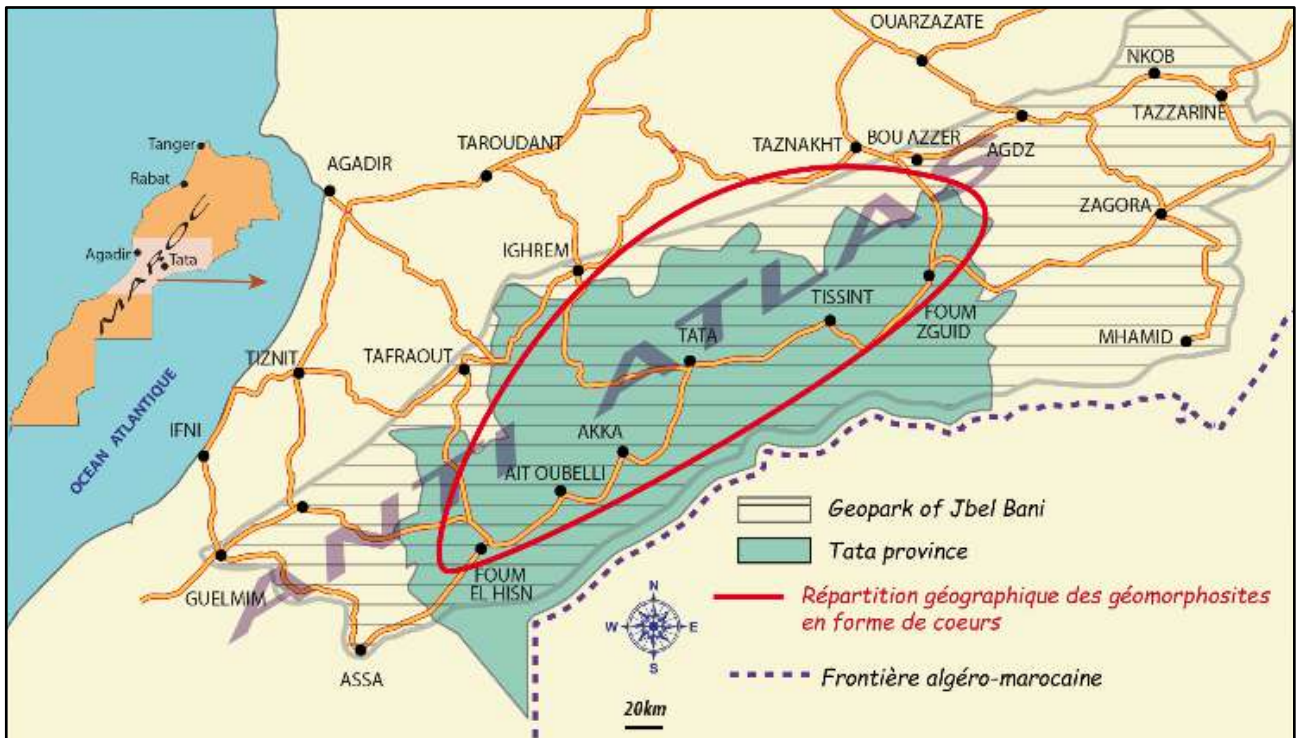


Figure 1 : Situation du géoparc Jbel Bani et répartition des géomorphosites en forme de cœurs dans la région Tata

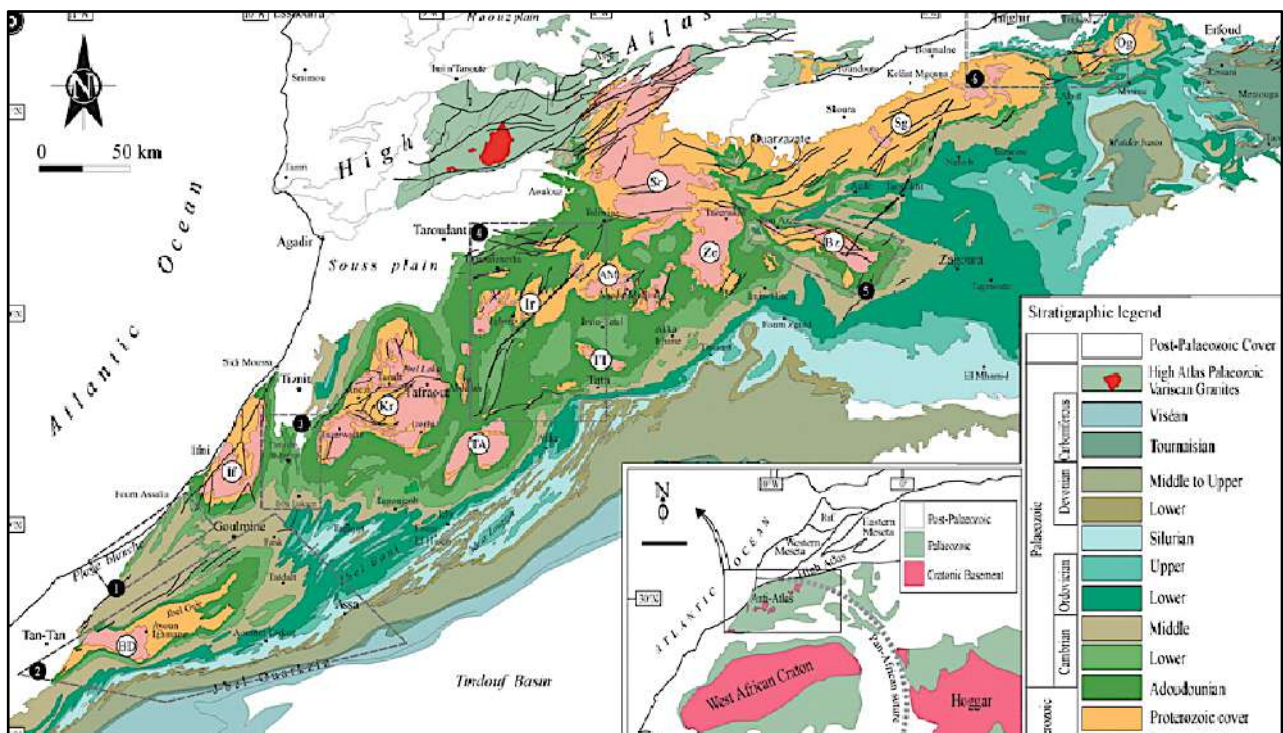


Figure 2 : Carte géologique simplifiée du domaine de l'Anti Atlas (d'après Soulaïmani et Burkhard, 2008) qui montre un ensemble de boutonnières précambriennes recouvertes par les séries du Paléozoïque.

- **Les Feijas :** Les *Feijas* sont de vastes cuvettes synclinales, planes et relativement rectilignes, remplies de sédiments quaternaires tels que les limons, conglomérats, travertins et calcaires lacustres. Ces dépôts reposent en discordance angulaire sur un substratum pélique d'âge cambrien à ordovicien. Dans plusieurs secteurs, ces plaines sont traversées par des crêtes rectilignes, parallèles à l'orientation du Jbel Bani, qui les subdivisent en *Feijas* internes et externes. Ces crêtes sont formées de grès connus sous le

nom de « Grès du Tabanit ». Les *Feijas* abritent des aquifères alluvionnaires exploités en aval des *Foums* pour irriguer les palmeraies. Ces nappes sont principalement alimentées par l'infiltration des eaux de crue, par les sous-écoulements des oueds à leur sortie des reliefs, ainsi que par les infiltrations issues des formations carbonatées karstiques des montagnes voisines. Ce contexte hydrogéologique favorable a permis l'installation de petites palmeraies dans ces dépressions fertiles (Ouanaimi & Soulaïmani, 2011). ;

- **Les reliefs montagneux de Tata** : Le domaine des reliefs montagneux correspond à de vastes élévations topographiques qui façonnent des paysages variés, rares et d'un grand intérêt esthétique. Ces reliefs, parfois spectaculaires, sont entaillés par de grands cours d'eau qui ont creusé des vallées étroites et profondément encaissées dans les formations cambriennes et infracambriennes encadrant la boutonnière précambrienne de Tagragra d'Akka. Ces gorges impressionnantes offrent un caractère visuel remarquable. Les altitudes atteignent jusqu'à 1300 mètres au nord d'Akka et culminent à 1650 mètres au nord de Tata. Le relief se compose de collines plus ou moins émoussées, présentant fréquemment des formes escarpées, ponctuées de mini-falaises et de sommets tabulaires qui dessinent des *cuestas* bien marquées ;
- **Les boutonnières précambriennes** se composent de roches protérozoïques à teinte sombre, en grande partie en raison de la patine désertique qui les recouvre. Ces affleurements anciens contrastent nettement avec les terrains plus clairs de l'Ediacarien terminal et du Paléozoïque inférieur qui les surmontent. Leurs bordures sont souvent marquées par de puissants escarpements, soulignant leur importance morphostructurale dans le paysage (Thomas, et al., 2004).

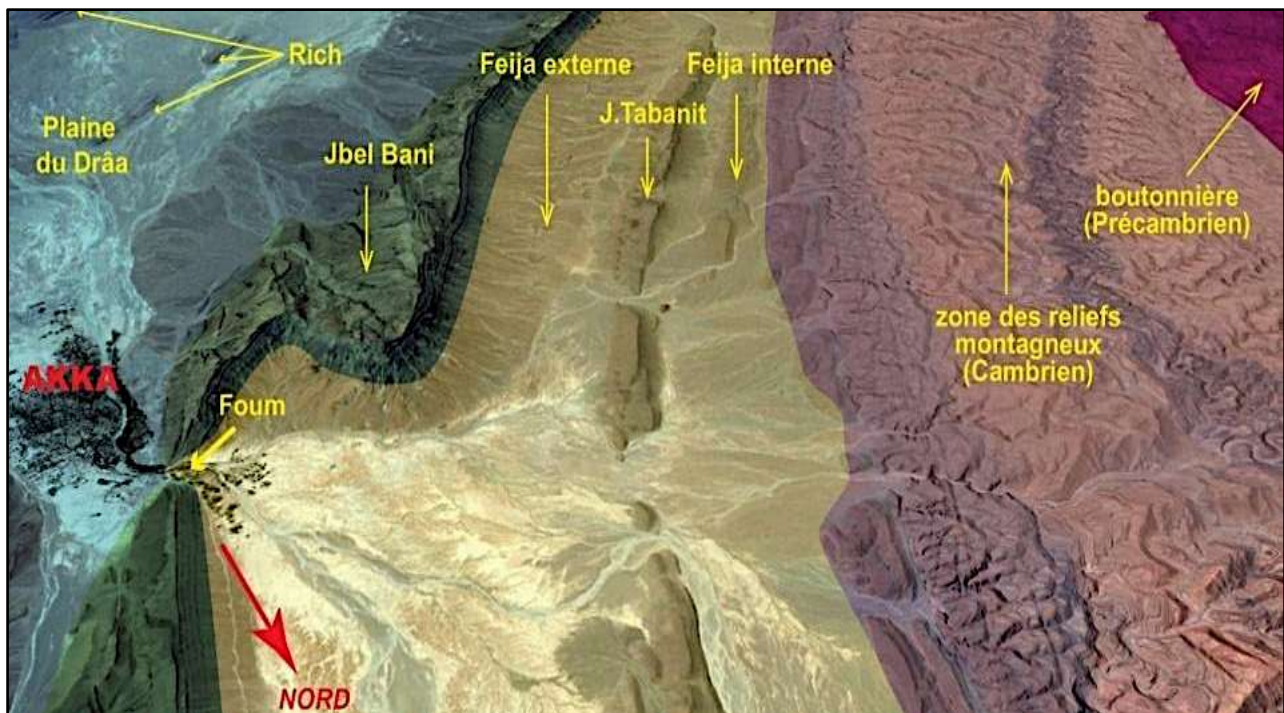


Figure 3 : Vue aérienne des différentes unités géomorphologiques de la région d'Akka

Caractères morpo-structuraux

Les dépressions en forme de cœur sont sculptées sur des versants alignés suivant la direction du plan de la stratification des couches (Fig. 4). Ces dernières sont horizontales ou subhorizontales (H) au sommet des «cœurs de Tata» alors qu'au niveau des pentes, elles sont inclinées vers l'observateur (I). La zone axiale «cœurs de Tata» (A) se localise généralement au 1/3 supérieur de la pente du versant ; elle marque le passage du plan de stratification horizontal à celui du plan incliné vers l'observateur.

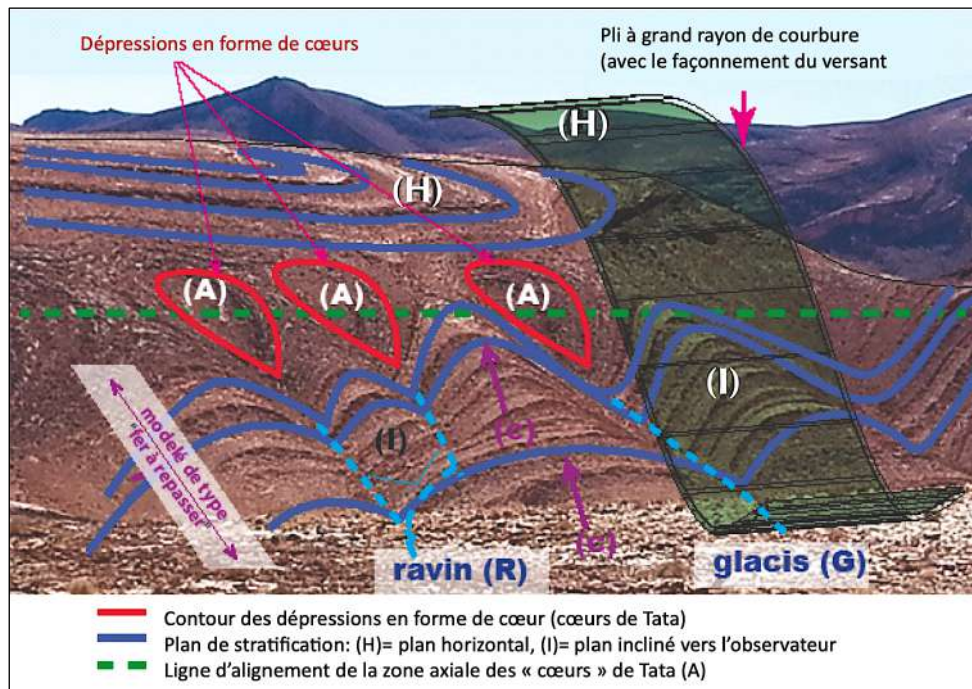


Figure 4: Morpho-structure des dépressions en forme de cœur la région d'Igouliz dans la région de Tata

Les « cœurs de Tata » se développent dans des roches sédimentaires faiblement plissées ou flexurées, caractérisées par un grand rayon de courbure (Fig. 4). Leur repérage repose sur l'observation du pendage des couches géologiques par rapport aux versants. Ces formes sont intimement liées à des structures plissées : il suffit d'observer l'évolution du pendage depuis le sommet jusqu'à la base d'un versant pour en déduire la direction de la structure, généralement parallèle à l'axe des dépressions en forme de cœur. La pointe des « cœurs de Tata » se termine par un ravin (R) qui assure le drainage des produits d'érosion vers la base du versant. Ces matériaux s'accumulent au fil du temps en formant des cônes de déjection, dont la coalescence donne naissance à un glacis (G), fertile et favorable à l'installation de palmeraies. Ces formations sont souvent associées à un autre type de modelé remarquable, dit « fer à repasser ». Celui-ci est constitué de chevrons rocheux (C) séparés par des vallées transversales en "V", qui découpent les versants. Vu de face, ce relief évoque une succession de plis ; pourtant, il s'agit d'un effet d'optique. Une observation de profil révèle que les couches géologiques sont monoclinales ou légèrement arquées, et que l'aspect plissé est simplement le résultat d'une érosion transversale à leur direction. La présence de ce modelé « fer à repasser » constitue un bon indicateur de la possible existence de « cœurs de Tata » à proximité. Ces derniers peuvent être isolés, parfois tronqués à leur sommet, ou alignés horizontalement suivant la direction des plis et du versant. Ils sont particulièrement bien visibles en vue aérienne grâce aux outils de navigation virtuelle comme Google Maps.

En groupe, les "cœurs de Tata" sont plus ou moins régulièrement espacés avec une envergure décamétrique à hectométrique. Ils sont isométriques (Fig. 5) ou hétérométriques (Fig. 6). Dans un alignement horizontal, ils ne sont pas forcément uniformes et homogènes ; leur géométrie et leur taille dépendent de l'état d'avancement des processus de l'altération et de l'érosion du versant. Dans beaucoup d'affleurements, les "cœurs de Tata" ont une disposition étagée. L'étagement peut être topographiquement latéral, ou vertical avec une composante latérale ; il est étroitement lié à la répétition des plis (Figs. 7 et 8).

Conditions morphogénétiques

Nature lithologique des roches

Les "cœurs de Tata" sont façonnés dans les roches appartenant à l'Ediacarien terminal et au Paléozoïque inférieur, en particulier dans les séries carbonatées et gréseuses (Fig. 9). Ces roches s'organisent en bancs durs et souvent épais admettant des intercalations de roches tendres telles que les argilites ou les pélites, dont la présence facilite la plasticité de l'ensemble rocheux au moment de la déformation ductile.



Figure 5 : Exemples de dépressions en forme de Cœur isolée de la région de Tata.
A- Région d'Aigou ; B- Région d'Imitek ; C- Nord de la ville de Tata, arasé au sommet

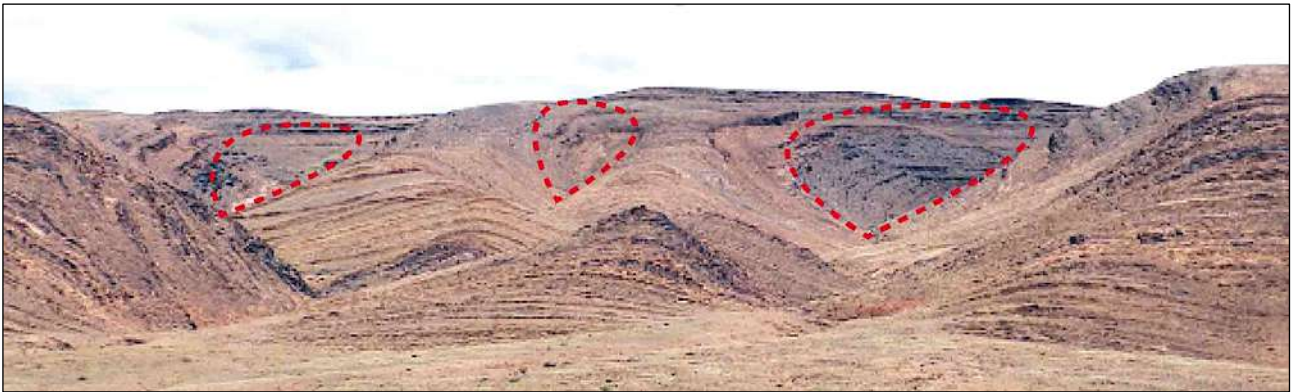


Figure 6 : Alignement de dépressions hétérométriques en forme de cœurs.

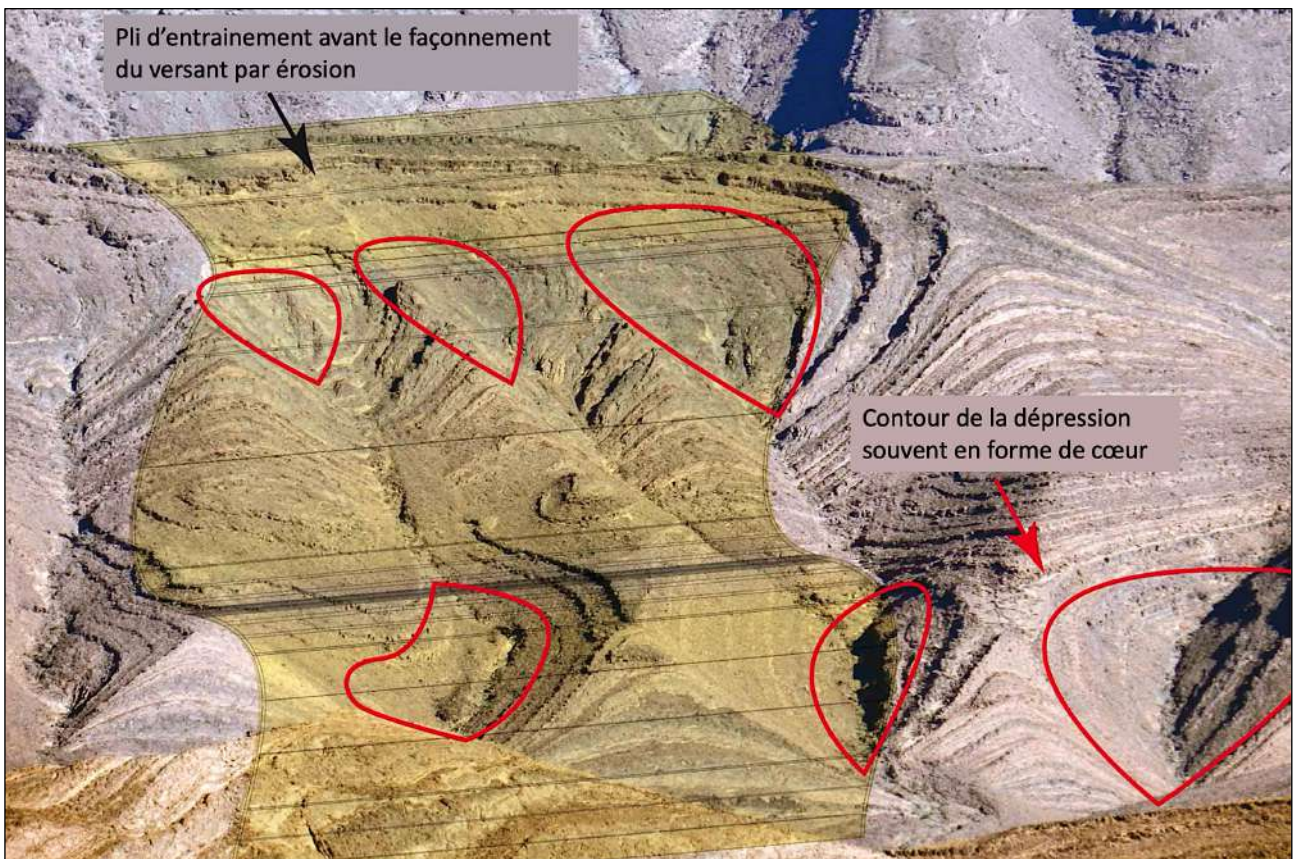


Figure 7 : Étagement vertical des dépressions en forme de cœurs

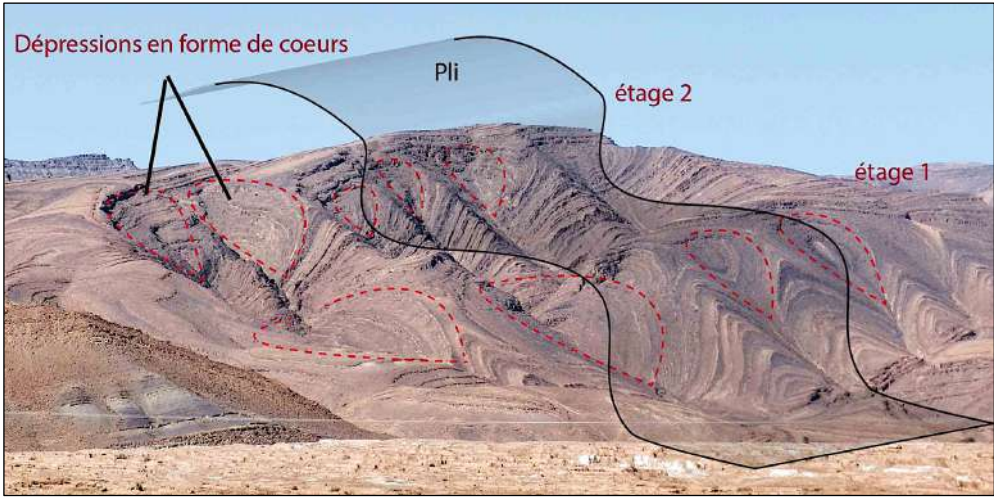


Figure 9 : Étagement latéral des dépressions en forme de cœurs

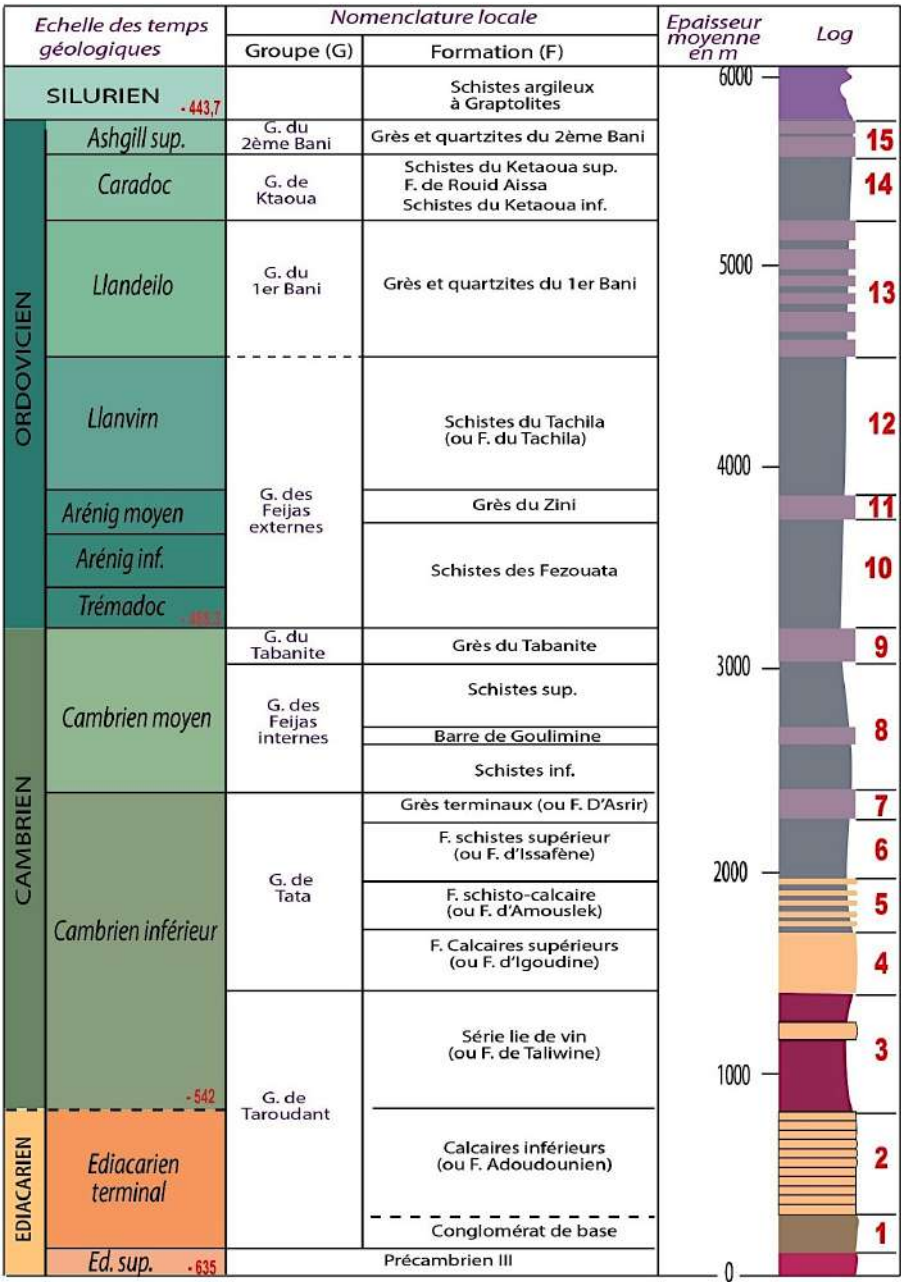


Figure 9 : Colonne lithostratigraphique des roches du Paléozoïque inférieur de l’Anti-Atlas

Style des plis

Le cycle orogénique hercynien de la région de Tata est caractérisé par deux phases de déformation ductiles qui correspondent à deux phases de plissement de direction successivement subéquatoriale et subméridienne. Les plis sont généralement isopaques droits ou déjetés, ouverts et à grand rayon de courbure. Ce style change, pour la première génération de plis, au fur et à mesure qu'on s'approche des boutonnières précambriennes. Les plis présentent progressivement un déversement de plus en plus important alors que leur rayon de courbure diminue (Michard et al., 2008). Les observations effectuées sur le terrain montrent que les «cœurs de Tata» sont façonnés là où les plis sont dissymétriques, assez ouverts ou bien au niveau des flexures (figs.7 et 8). Ces géomorphosites sont sculptés aussi au niveau des dômes, en fait une structure plissée qui résulte de l'interférence des deux phases de plissement. Ce motif structural, typique de la région de Tata, est connu sous le nom "carton d'œufs", formé de dômes et de cuvettes.

Densité des diaclases

Les diaclases sont définies comme étant *des fractures ouvertes sans mouvement relatif des deux compartiments qu'elles séparent et ne montrent aucun signe de broyage ou d'écrasement* (Ramsay et al.1997). Il s'agit d'éléments structuraux très répandus dans les roches mais peu étudiés par la communauté géologique. La genèse des réseaux de diaclases est étroitement liée aux cycles orogéniques et à des événements tectoniques qui les ont accompagnés (distensions, compressions, exhaussements, subsidence...). Elle est facilitée par des facteurs externes tels que la pression fluide, la contraction thermique, les contraintes résiduelles (Engelder, 1987 ; Suppe, 1985). Leur expression dépend, entre autres, de la compétence des roches.

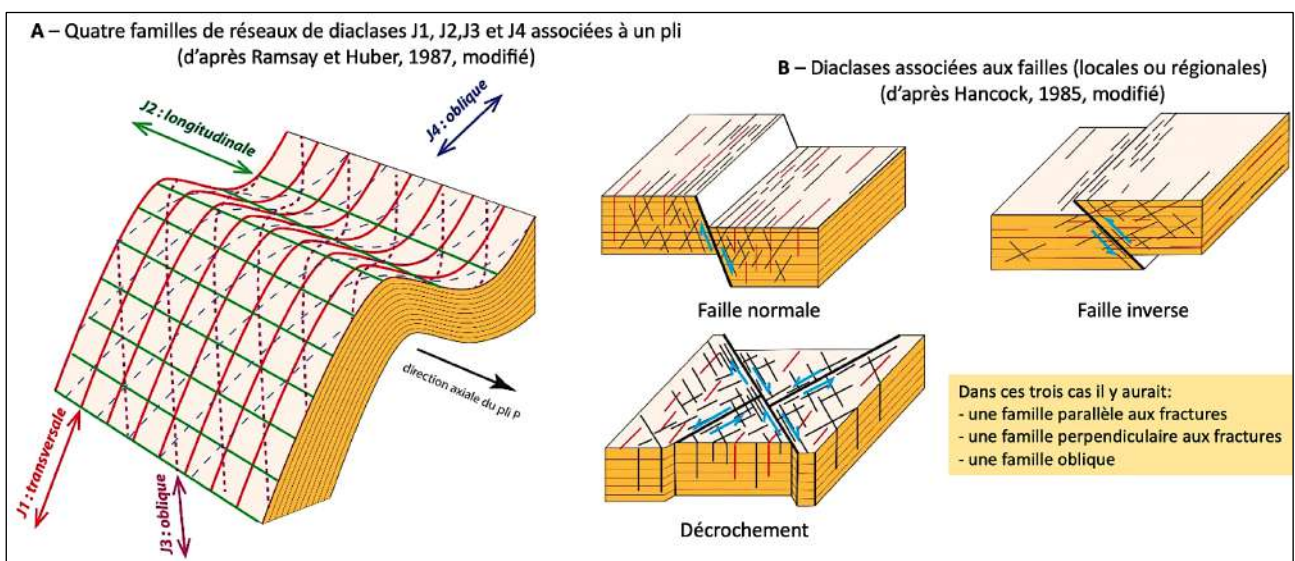


Figure 10 : Schémas théoriques des réseaux de diaclases

Dans la région de Tata on remarque une très grande densité de diaclases qui s'organisent en plusieurs familles directionnelles et qui se superposent. Les fractures de chaque famille sont en général quasi-parallèles, planes, avec un espacement généralement assez régulier. Parmi ces familles on peut distinguer celles qui sont liées aux plissements régionaux et celles liées à des fractures locales (Fig. 10). Par convention, chaque direction d'une famille de diaclases est notée J. Si la roche présente quatre familles de diaclases, on utilise la nomenclature J1, J2, J3 et J4. Chaque direction est désignée par une couleur donnée afin d'en simplifier la lecture. La famille J1, perpendiculaire à l'axe du pli, correspond aux diaclases transversales ; tandis que la famille J2, parallèle à la direction axiale correspond aux diaclases longitudinales. L'étude de la distribution des réseaux de diaclases dans le sud marocain et particulièrement en relation avec les orogénèses hercynienne et atlasique (Ounaimi, 2004). Ce dernier a mis en évidence 6 familles de diaclases, J1 à J6, qui existent dans les deux chaînes et qui sont plus ou moins marquées selon les endroits. Les directions majeures dépendent

uniquement des directions structurales, donc, du raccourcissement local ou régional. L'une des importantes conclusions de l'auteur est que ces 6 familles de diaclases (3 réseaux orthogonaux) *semblent être présents et mémorisés dans les roches stratifiées, à l'état latent, et c'est l'un d'eux qui va s'exprimer et s'extérioriser sous forme de familles de diaclases principales, en fonction de telle ou telle direction de plis et de tel ou tel raccourcissement. Les autres réseaux latents apparaîtront plus tard, sous forme secondaire. C'est une notion qui dépasse même celles de l'héritage structural et du "défaut" initiateur de joints* (Ounaimi, 2004). Les diaclases ont joué un rôle fondamental dans la morphogenèse des paysages caractéristiques de l'Anti-Atlas ; on les rencontre un peu partout dans la région de Tata. Leur densité et leurs empreintes sont très remarquables dans la région de Tata (Fig. 11). Elles ont contribué non seulement à différencier les "cœurs de Tata" mais aussi à guider la sculpture de beaucoup de paysages de la région. On peut même observer ces diaclases à l'échelle métrique et décimétrique dans les roches carbonatées. En effet à l'affleurement, les couches géologiques montrent des sculptures linéaires multidirectionnelles qui correspondent à l'altération de la roche le long des diaclases. Ce façonnement a généré de véritables chefs d'œuvres de la nature, qui sont aussi emblématiques que les "cœurs de Tata". Ces roches fossilisent donc en grande partie les familles de diaclases qui ont affecté la région.

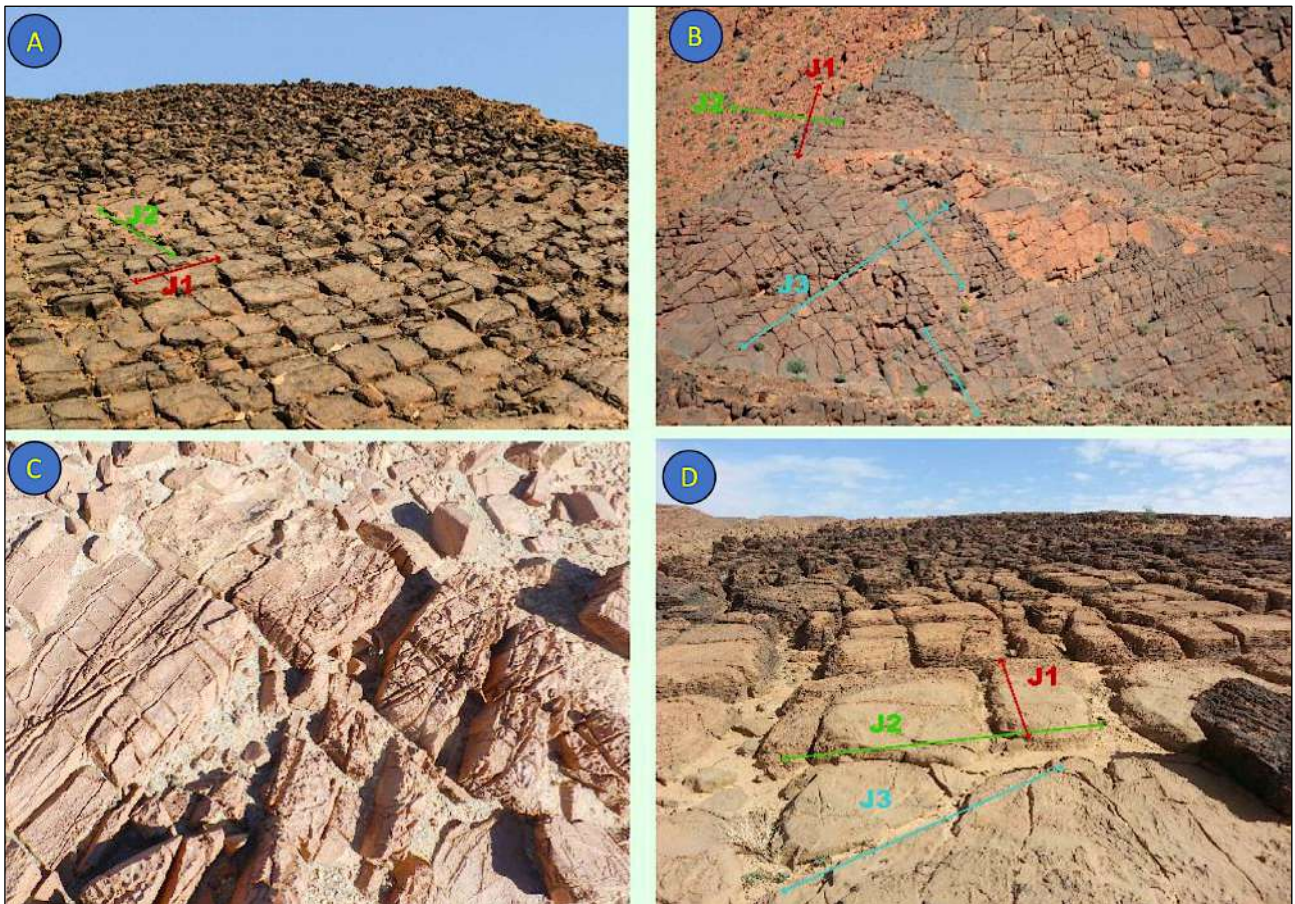


Figure 11 : Quelques exemples de réseaux de diaclases dans la région de Tata

Processus de l'altération et de l'érosion

Les diaclases peuvent s'élargir et ménager un sillon bien marqué par les processus de l'altération et de l'érosion. Autrement-dit, toutes ces fissures sont autant de points de pénétration pour l'eau météorique, qui vient dissoudre et ronger la roche peu à peu et dont leur géométrie peut se répercuter directement sur la morphogenèse. Les zones les plus vulnérables qui sont privilégiées par ces processus correspondent aux points d'intersection des familles des diaclases qui se croisent. Les processus de l'altération et de l'érosion, responsables de la morphogénèse de l'Anti-Atlas sont très divers ; ils se sont succédés dans le temps depuis le Mio-pliocène jusqu'à ce jour. Parmi ces processus, on cite :

- *l'altération physique* (gel-dégel, cristallisation à l'intérieur des fissures et éclatement de la roche, turbulence de l'eau torrentielle,...) ;
- *l'altération biologique* (plantes, mousses, bactéries, microbes,...) ou de l'action mécanique de plantes (déformation des roches par les racines en croissance) ou d'animaux fouisseurs ;
- *l'altération chimique* qui est un processus géologique majeur impliquant plusieurs types de réactions chimiques dont les plus significatives : la dissolution des carbonates, l'hydratation et la déshydratation, l'hydrolyse, l'oxydation et la réduction ;
- *l'érosion éolienne et la corrosion*, agent efficace d'altération physique. Le pouvoir de la corrosion des vents du sud marocain est actuellement important. Le vent permet le façonnement des roches par des grains de sable transportés. Il provoque souvent une érosion différentielle qui met en évidence le contraste de dureté ;
- *l'érosion et le transport torrentiels* très important surtout pendant les crues, depuis le cirque où se rassemblent les eaux de ruissellement, jusqu'au chenal d'écoulement, souvent étroit et à pente forte et le cône de déjection où s'est déposée une partie des matériaux mobilisés en formant une *plaine d'épandage avec chenaux en tresse*.
- *Le ruissellement et l'érosion fluviale* qui se déclenche si les précipitations sont supérieures à la capacité d'infiltration.

Morphogenèse

Stade d'initiation de l'érosion

Dans la région de Tata, les familles de diaclases les plus fréquentes sont les diaclases transversales, perpendiculaires aux axes des plis (qui sont plus ou moins régulièrement répétitives) et les diaclases longitudinales ayant la même direction que les axes des plis. Les points d'intersection de ces deux familles de fractures constituent les zones les plus vulnérables aux processus de l'altération et de l'érosion qui accentuent la porosité des couches géologiques. La vulnérabilité peut être exagérée lorsque ces zones croisent les ouvertures de l'intrados d'un pli. Rappelons que lors d'une déformation ductile, les séries plissées présentent souvent des ouvertures au niveau de la charnière qui favorisent la circulation de l'eau météorique et par conséquent l'accélération des processus de l'érosion (Fig. 12A). Ces ouvertures peuvent fusionner avec les diaclases longitudinales au niveau de la charnière des plis ouverts, ce qui rend les points d'intersection cités plus haut encore plus vulnérables. La morphogénèse des "cœurs de Tata" s'initie, donc, au niveau de ces points particuliers qui permettent de piéger dans un premier temps l'eau météorique. Cela permet de favoriser et d'accélérer l'altération physique, chimique et biologique de la roche et par conséquent l'apparition de petites crevasses au 1/3 supérieur du versant. Ainsi on explique pourquoi la zone axiale des cœurs de Tata se trouve dans un alignement horizontal en se localisant toujours au niveau de la moitié supérieure des versants. Le produit de l'érosion de ces crevasses sera acheminé par gravité vers le bas en empruntant le chemin des diaclases transversales : c'est le début de la formation de ravins drainant les particules érodées au pied du versant pour en former des lobes colluvionnaires.

Façonnement de la roche

Le processus de la morphogénèse débute par la naissance de crevasses de forme généralement lenticulaire et parallèle à la direction des diaclases transversales. Suite à une érosion régressive, la première couche façonnée laisse apparaître la strate de dessous (Fig. 12B). Ce processus se poursuit au fil du temps ; il est accompagné d'altérations et d'érosions régressives latérales, transversales et verticales, permettant ainsi aux crevasses d'évoluer en dépressions. Ces dernières vont donc s'élargir et s'approfondir en découvrant des couches géologiques de plus en plus anciennes et en dessinant au sein du versant des formes en cœur (Fig. 12C). Ainsi on explique aussi pourquoi les "cœurs de Tata" se localisent dans un même alignement "*rotule du pli en genou*" qui se trouve généralement au 1/3 supérieur de la topographie du versant. Parallèlement à ce processus, l'eau météorique piégée dans ces dépressions tente de s'échapper par gravité le long des zones de faiblesse en privilégiant les diaclases transversales. A ce niveau la roche est vulnérable à l'érosion et il en résulte le

développement d'un ravin permettant de drainer les produits de l'érosion. Cela fait augmenter la turbulence et la dynamique de l'eau véhiculée et par conséquent l'accélération de l'érosion mécanique à ce niveau. Ce processus, guidé par la présence de diaclases transversales, pourrait expliquer pourquoi les "cœurs de Tata" sont plus ou moins régulièrement espacés lorsqu'ils sont en groupe. Les produits de l'érosion s'accumulent au pied des versants à l'embouchure des ravins en formant ce qu'on appelle des cônes de déjection de piedmont. Ces derniers sont plus ou moins étalés et ils se superposent au fil du temps en se mélangeant avec d'autres éléments détritiques issus d'autres sources d'apport (acheminés par des cours d'eau). Les accumulations des produits de l'érosion finissent par donner naissance à une surface plane appelée glacis. La plupart des petites palmeraies de la région de Tata se sont installées dans ces glacis riches en limons.

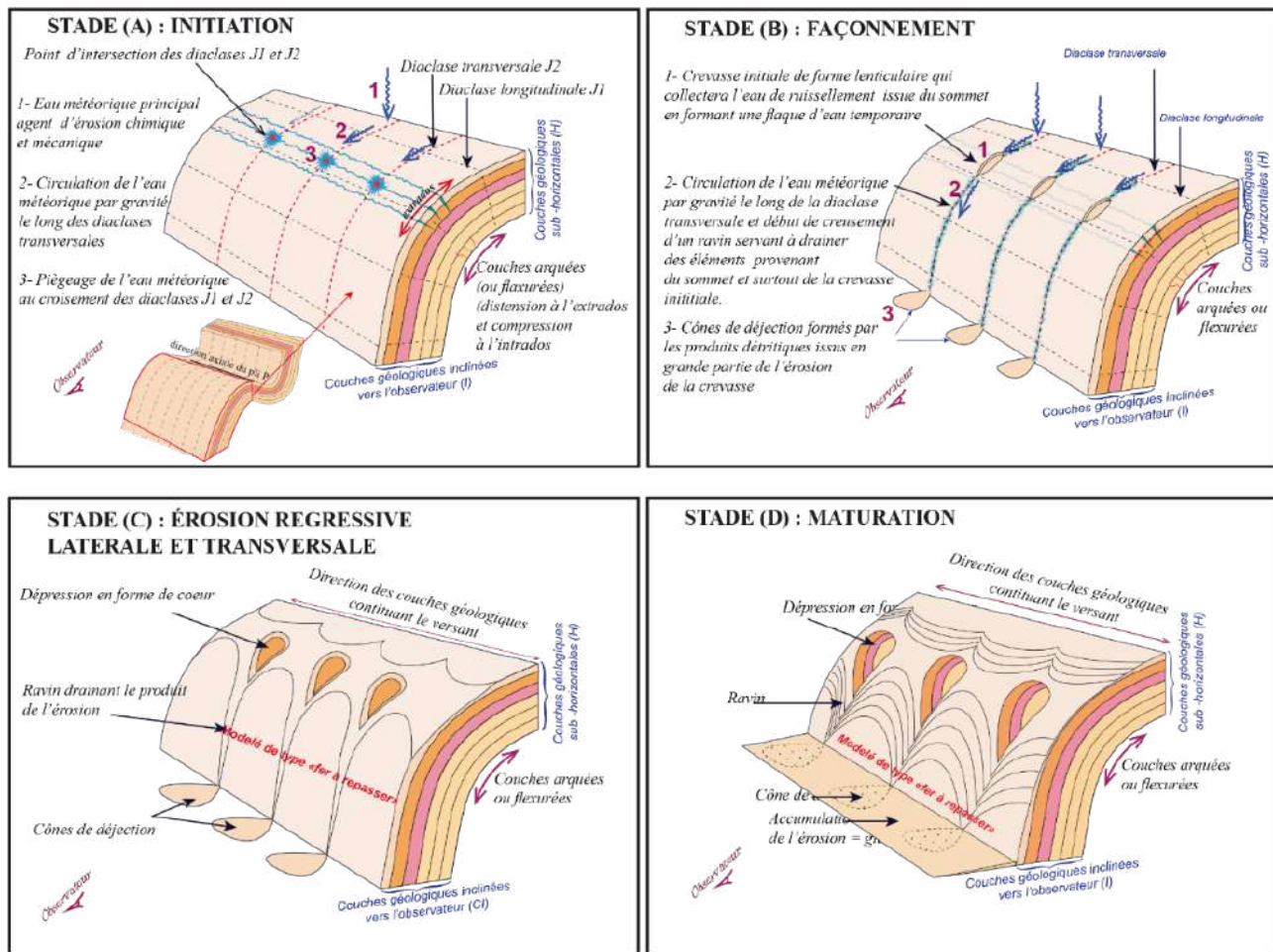


Figure 12 : Les différentes étapes de la morphogénèse des « cœurs de Tata » montrant les quatre stades de formation.

Stade de maturation

On entend par stade de maturation des "cœurs de Tata", l'étape où la dépression en forme du cœur se différencie nettement sur les versants suite aux longs processus de l'érosion (Fig. 12D). Le façonnement résulte d'un mécanisme d'érosion régressive ; c'est-à-dire une érosion qui se propage de proche en proche de l'aval vers l'amont et qui correspond ici à la zone axiale (A) de la dépression en forme de cœur. Il s'agit donc d'une érosion qui s'opère dans le sens inverse de l'écoulement de l'eau. Théoriquement, à partir du stade de maturation les "cœurs de Tata" se présentent sous forme de dépressions plus ou moins profondes, plus ou moins larges et presque équidistantes. Elles se comportent en bassins de réception des produits de l'érosion qui seront par la suite acheminés vers le glacis. Souvent cette morphogénèse est avortée en certains points en se limitant au stade 1 et/ou 2 et en donnant naissance à des dépressions qui adoptent une forme géométrique quelconque irrégulière (Figs.8 et 9). Ce phénomène résulte en partie de l'hétérogénéité de la roche "passage

latéral de faciès" impliquée dans les processus de l'érosion. Dans d'autres endroits, le stade de maturation correspond à un alignement de dépressions hétérométriques en forme de cœurs (Fig. 12A, B et C). Cette architecture est liée à l'état d'avancement des processus de l'érosion à l'échelle locale. En effet l'enchaînement des événements érosifs présente de nombreuses particularités au sein d'un même ensemble lithologique à cause de l'hétérogénéité texturale de la roche et de sa résistance locale à la fracturation (diaclasses) qui ont guidé ces événements. Enfin il faut noter que la vitesse des processus de l'érosion qui se manifestent à partir des zones de faiblesse et qui correspondent à l'intersection des diaclasses longitudinales et transversales n'est pas la même. En effet dans beaucoup d'endroits on peut observer au sein d'un même versant les différents stades de la morphogenèse des cœurs de Tata ; à savoir le stade d'initiation, de façonnement et de maturation qui peut être même dépassé en donnant naissance à de vastes dépressions en forme de cœurs plus ou moins dénaturées par l'érosion (Fig. 9).

Formes dérivées

A des stades très avancés de l'érosion par rapport au stade de maturation, le modelé en forme de cœur peut aussi évoluer vers d'autres entités topographiques et géomorphologiques qui sont également typiques de l'Anti-Atlas et dont les grandes lignes structurales correspondent à ceux des "cœurs" de Tata. Il s'agit de formes dérivées nombreuses et diverses.

Les "Cœurs évasés"

La forme évasée des cœurs de Tata est très fréquente et impressionnante. Il s'agit d'un type de géomorphosite qui correspond à une large dépression hectométrique où le contour de la forme du cœur est préservé et perceptible (Fig. 13). Sa constante morpho-structurale, matérialisée par des couches horizontales au sommet par des couches inclinées vers l'observateur, est toujours présente. Sa morphogénèse résulte d'un stade d'érosion plus avancé que le stade de maturation précédemment décrit. Elle nécessite des composantes érosives latérale, transversale et verticale importantes et dans les mêmes proportions.

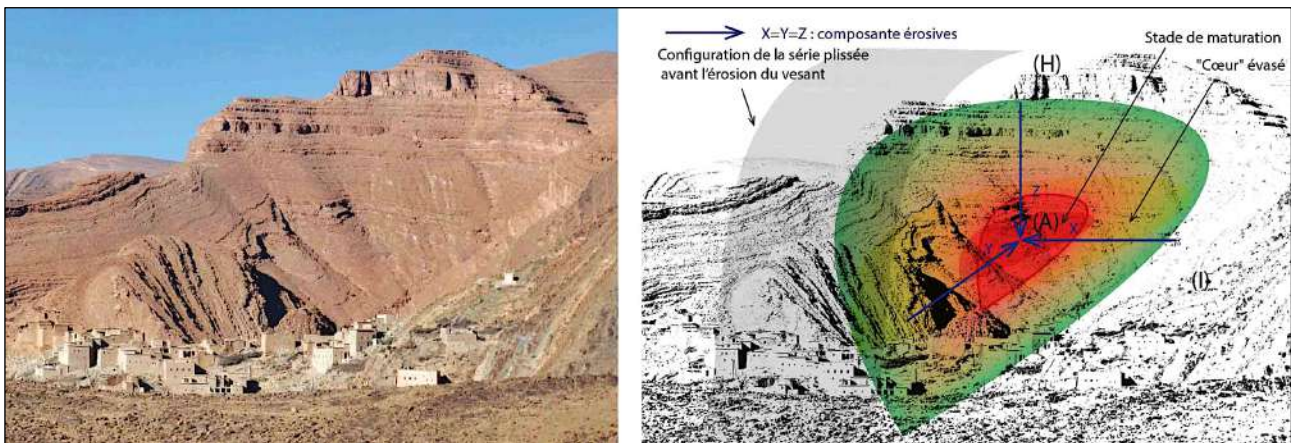


Figure 13 : Exemple de forme évasée des « cœurs de Tata » suite à une érosion régressive proportionnelle dans l'espace

Les "Gouffres d'Ait Oubelli"

Les "Gouffres d'Ait Oubelli" sont des géomorphosites qui peuvent être considérés comme étant des monuments géologiques parce qu'ils sont esthétiquement spectaculaires aussi bien sur le terrain qu'en vue aérienne (Fig. 14). Ils correspondent à de nombreuses dépressions plus ou moins profondes, sculptées au niveau des certains versants d'une colline qui émerge dans la plaine du Drâa dans la région dite d'Addana. Celle-ci est située à environ 12 km à vol d'oiseau au SSE de la commune du village d'Ait Oubelli. Les "Gouffres d'Ait Oubelli" sont sculptés dans des roches de l'Ordovicien supérieur constituées de quartzites, de grès et de pélites qui dessinent un anticlinal hercynien droit, dissymétrique, à grand rayon de courbure, de direction axiale NE-SW et allongé sur plusieurs kilomètres. Les plis de la région d'Addana sont affectés par plusieurs réseaux de diaclasses qui s'organisent en familles J1, J2, J3 et J4 (Ounaimi, 2004). Par rapport à l'axe

A Vue panoramique des Gouffres d'Ait Oubelli

Couches géologiques horizontales
Couches géologiques inclinées vers l'observateur

B Vue aérienne des Gouffres d'Ait Oubelli

Cônes de déjection
Gouffres d'Ait Oubelli
axe du pli antiformel

C Vue panoramique du premier stade de la formation des Gouffres d'Ait Oubelli

D Vue panoramique du premier stade de la formation des Gouffres d'Ait Oubelli

Dépression en forme de gouffre
Couches horizontales
Dépression en forme de feuille
Tranchées des Morts de la gabelle parallèles aux dépansons en forme de feuilles et de gouffres
Dépression intermédiaire entre gouffre « feuille » et cône
Couches géologiques inclinées vers l'observateur

E Morphogénèse des gouffres d'Ait Oubelli

Petit schématisation de la diagenèse transverse avec la diffusion longitudinale qui conduit aux courbes catodiques de la roche.
C'est le point le plus initial où les processus d'érosion sont actifs.

Diagenèse transverse
Diffusion longitudinale
Rafle d'argile
Diagenèse transversale
Diagenèse longitudinale
Couches géologiques inclinées vers l'observateur

(1)

(2)

(3)

Les familles J1 et J2 sont les mieux exprimées (dans cette localité) par rapport aux diaclases diagonales (Fig.5). Les processus morphogénétiques de ces géomorphosites sont associés à des plis très ouverts, à la densité de ces diaclases dans la région et à la diversité des processus de l'érosion. Ils présentent donc les mêmes caractères morpho-structuraux que les géomorphosites dits "cœurs de Tata". Cela indique que les conditions et les processus morphogénétiques sont similaires pour ces deux types de sculptures. A un stade plus avancé des processus de l'érosion ayant généré les "cœurs de Tata", le façonnement du versant va se poursuivre avec des composantes d'érosions régressives transversales (Y) et verticales (Z) plus importantes que la composante longitudinale (X), donnant naissance dans un premier temps à des dépressions peu profondes en forme de feuilles (Fig. 14C). Ce processus érosif se poursuit au fil du temps et s'accroît en laissant apparaître des couches géologiques de plus en plus anciennes. Il en résulte la formation progressive de dépressions un peu plus profondes allongées dans la direction transversale. Ce sont les "Gouffres d'Ait Oubelli". Ce caractère

morphogénétique progressif peut être illustré par la figure 14E. A noter que les roches de l'Ordovicien, sculptées en dépressions en forme de cœurs et de gouffres de la région d'Addana, étaient le siège d'injections de fluides hydrothermaux profonds riches en minéraux sulfurés (il y a environ 180 million d'années). Cette injection va s'opérer le long des diaclases surtout transversales pour engendrer des minéralisations de plomb, en particulier de la galène (Fig. 14D).

La forme en banane

La forme en banane correspond à des gouffres (Fig. 15) ou bien à des vallées encaissées d'envergure hectométrique. Selon les endroits lorsque les diaclases obliques sont bien exprimées dans la roche, cette forme apparaît au niveau des versants. Elle résulte de l'érosion régressive en relais le long d'une diaclase transversale et d'une diaclase oblique. L'évolution des "cœurs de Tata" en forme de banane est bien perceptible à partir du ciel dans plusieurs endroits, en particulier dans la région d'Oudad.

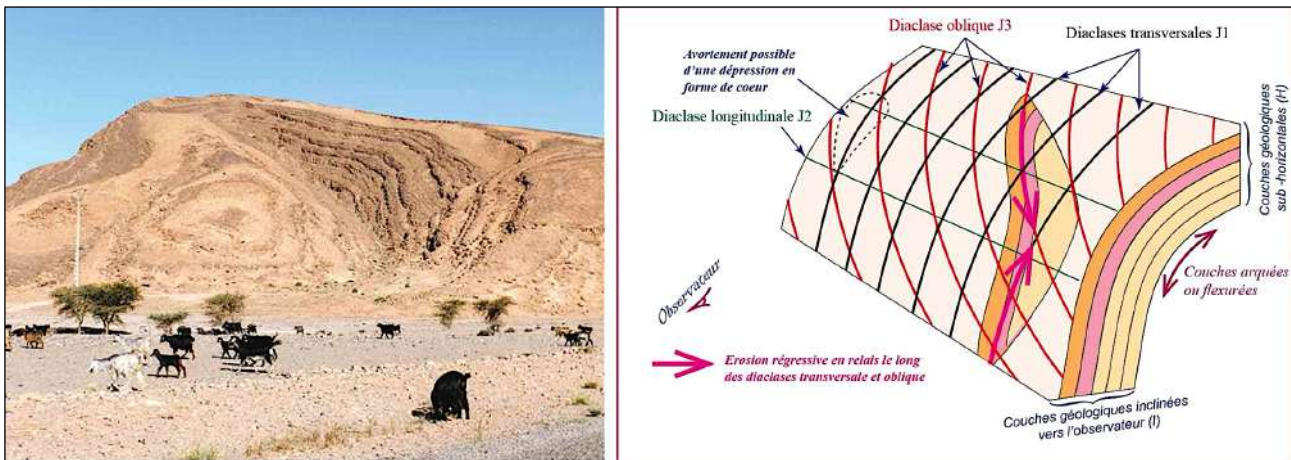


Figure 15 : Forme morphologique en « Banane », dérivée des « cœurs de Tata »

Conclusion

Du point de vue scientifique, l'étude des cœurs de Tata constitue une importante illustration en géomorphologie, le façonnement érosif des reliefs est en relation étroite avec la structure géologique et les changements climatiques au fil des temps géologiques. Par leurs caractères paysagers remarquables : esthétiques, symboliques, scientifiques et culturels, les "cœurs de Tata" peuvent être considérés comme étant des géomorphosites emblématiques du sud marocain. Ils correspondent à l'expression visuelle de surface d'un patrimoine géologique collectif pittoresque, unique dans son genre, qu'il faudra valoriser dans un esprit simpliste non coûteux pour une large contribution à l'identification de l'image spécifique attractive de la région de Tata. Les "cœurs de Tata" sont des paysages identitaires qui incarnent des particularités pouvant attiser la sensibilité et la curiosité du grand public en lui offrant une nouvelle perception des paysages du sud marocain. En plus du caractère géomorphologique et esthétique, l'étude des "cœurs de Tata" permet au grand public de faire une lecture paysagère scientifique et pédagogique d'environ 80% des géomorphosites de la région. Pour leur valorisation, il convient de les recenser, de les rendre plus attractifs, de les protéger et de les faire connaître par le biais de divers supports de communication convaincants et opérationnels. Cela permettra une augmentation significative du nombre de visiteurs dans le sud marocain. Toute personne ayant l'opportunité de passer dans ces lieux, ne peut pas s'empêcher de les admirer en se posant la profonde question sur leur genèse ?

Références

Becker R.T., Jansen U., Plodowski G., Schindler E., Aboussalam S.Z. & Weddige K. (2004) : Devonian of the western Anti-Atlas: correlations and events. Doc. Inst. Sci, Rabat, 19, pp : 3-18

- Burkhard M., Caritg S., Helg U., Robert Ch., Charrue Ch. & Soulaïmani A. (2006) : Tectonics of the Anti- Atlas of Morocco, in Frizon de Lamotte D., Saddiqi O., Michard A. (Eds.), Recent Developments on the Maghreb Geodynamics. C. R. Geoscience 338, pp.11–24.
- Choubert G. (1952) : Livret guide de l'excursion 136 Anti-Atlas occidental -Rabat 1952. Congrès géologique international XIX session, Alger 1952-série Maroc, n°10.
- Choubert G et al., (1963) : Histoire géologique du Précambrien de l'Anti-Atlas. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, n°162, 352p.
- Destombes J. (1960) : Stratigraphie de l'Ordovicien de la partie occidentale du Jbel Bani et du Jbel Zini (Anti-Atlas occidental), Maroc. Bulletin de la Société géologique de France, série 7, (2), pp :747-751.
- Destombes J. (1971) : L'Ordovicien au Maroc. Essai de synthèse stratigraphique. Mémoires du BRGM, 73, pp :237-263.
- Destombes J. (1976) : The Ordovician of the Moroccan Anti-Atlas, in : M.G. Bassett (Ed.), The Ordovician System, Univ. Wales Press and Natl. Mus. Wales, pp. 411-413
- Destombes J., Hollard H. & Willefert S. (1985) : Lower Palaeozoic rocks of Morocco. in Lower Palaeozoic of north-western and west central Africa, Edited by C. H. Holland. John Wiley & Sons Ltd.; pp: 91-336.
- El Hassani A. (Ed.) – (2004) : Devonian neretic-pelagic correlation and events in the Dra Valley (Western Anti-Atlas, Morocco). International Meeting on Stratigraphy, Rabat, March 1-10, 2004. Documents de l'Institut Scientifique, Rabat, 19, 100 p.
- Engelder T. (1987) : Joints and shear Engelder fractures in rock. In: Fracture Mechanics of Rock, Atkinson B. K. (eds), Academic Press Inc., pp.27-69.
- Fadli D. (2014) : Les "cœurs de Tata" et leurs dérivés : Géomorphosites emblématiques pour un tourisme incontournable du Sud marocain. Ouvrage. MO : 0888/2014, Eds. Fac.Sci., Univ. Mohammed V, Rabat 183p.
- Fadli D., El Wartiti M. & Zahraoui M. (2015) : Valorisation du patrimoine géologique du Géoparc du Jbel pour un développement éco-sociétal du territoire de l'arrière-pays Souss, Anti-Atlas et Sahara atlantique marocain ; 22ème Colloque International des Bassins Sédimentaires, 18, 19 et 20 Déc., Fac. Sci. Dhar El Mehraz, Univ. Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, Protection de l'Environnement et Gestion durable des Ressources Naturelles.
- Gentil L. (1929) : L'Anti-Atlas et de djebel Bani (Exploration de 1923). – Rev. Géogr. Phys. & Géol. Dynam., 2 (1): 5-66 + 68-69.
- Hollard H. (1967) : Le Devonien du Maroc et du Sahara nord-occidental. – In: Oswald D.H. (ed.): International Symposium on the Devonian System, Calgary 1967, I pp: 203-244.
- Michard A., Frizon de Lamotte D, Saddiqi O. & Chalouan A. (2008) : “Continental Evolution : The Geology of Morocco”. Lecture Notes in Earth Sciences 116, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp.1-33.
- Missenard Y., Zeyen H., Frizon de Lamotte D., Leturmy P., Petit C., Sébrier M. & Saddiqi O. (2006). Crustal versus asthenospheric origin of relief of the Atlas Mountains of Morocco. Journal of Geophysical Research 111: doi: 10.1029/2005JB003708.
- 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 orogénèses hercynien et atlasique. Thèse d'Université, Montpellier II, 228p.
- Ouanaimi H. & Soulaïmani A. (2011) : Anti-Atlas central, circuit C5. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, N°558, pp: 73-122.
- Ramsay J.G. & Huber M.L. (1997) : The techniques of modern structural geology. Vo1.2, Folds and Fractures. Academic Press, first edition, 700 p.

- 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. Geological Society, London, Special Publications. 2008; v. 297; p. 433-452, doi:10.1144/SP297.20
- Stuppe J. (1985) : Principles of structural Geology. Prentice-Hall, 537 p.
- Thomas, R. J., Fekkak, A., Ennih, N., Errami, E., Loughlin, S. C., Gresse, P. G., Chevakier, L. P. et Liegeois, J. P. (2004) : A new lithostratigraphic framework for the Anti-Atlas Orogen, Morocco. J. African Earth Sci., 39 : 217-226.

Les "Doigts de Singe" de Boumalne-Dadès (Sud marocain) : entre science et fascination, un joyau du patrimoine géologique éocène

Driss Fadli¹, Mohamed El Wartiti¹, Mohamed Zahraoui¹, Felice Di Gregorio² & Sanae Berred¹

1. Faculté des Sciences, Université Mohammed V de Rabat, Maroc,

2. Université de Cagliari, Sardaigne, Italie.

Auteur correspondant : Mohamed El Wartiti : wartiti.mohamed@gmail.com

Résumé

Les documents promotionnels du tourisme sud-marocain mentionnent fréquemment un site paysager connu sous le nom de « doigts de singe », situé dans la vallée du Dadès. Cependant, cette désignation populaire s'accompagne rarement d'un cadre géologique descriptif ou explicatif. Ce géomorphosite correspond à une formation continentale rouge à dominante argilo-gréseuse et conglomératique, datée de l'Éocène supérieur, appartenant au bassin tertiaire d'Ouarzazate. Ce bassin d'avant-pays, localisé entre le Haut Atlas méso-cénozoïque au nord et l'Anti-Atlas précambrien et paléozoïque au sud-est, a joué un rôle clé comme zone de sédimentation continentale sous contrainte tectonique active. Le dépôt de ces formations résulte d'un environnement lagunaire influencé par des apports fluviaux grossiers issus de l'Anti-Atlas, transportés vers le nord sous forme de cônes de déjection. L'histoire sédimentaire est contemporaine de la surrection progressive du Haut Atlas, amorcée au Cénomano-Turonien, qui induit une érosion accrue et un basculement structural vers le sud. Ces processus ont alimenté la gouttière éocène en matériaux détritiques, avec des discordances progressives témoignant d'une forte interaction tectono-sédimentaire, également enregistrée dans les formations néogènes du bassin. L'évolution tectonique s'est accompagnée de la formation de six familles de diaclases, dont l'intensité dépend de la lithologie. Ces fractures ont favorisé une circulation préférentielle des eaux météoriques, à l'origine d'une érosion différentielle marquée. Cette dynamique a sculpté les morphologies emblématiques de la zone, interprétées localement comme les « doigts de singe ». Dans une perspective de valorisation géoscientifique, notre démarche consiste à produire des fiches synthétiques accessibles, permettant une lecture vulgarisée mais rigoureusement contextualisée de ces géomorphosites, en les intégrant pleinement dans le patrimoine géologique régional.

Abstract

Southern Moroccan tourism promotional materials frequently mention a landscape site known as "monkey fingers," located in the Dades Valley. However, promoters rarely support this popular designation with a descriptive or explanatory geological framework. This geomorphosite belongs to the Tertiary Ouarzazate Basin and corresponds to an Upper Eocene red continental formation, characterised by a dominant composition of clayey sandstone and conglomerate. This foreland basin, situated between the Meso-Cenozoic High Atlas to the north and the Precambrian and Paleozoic Anti-Atlas to the southeast, played a crucial role as an area of continental sedimentation under active tectonic stress. The deposition of these formations results from a lagoonal environment influenced by coarse fluvial inputs from the Anti-Atlas, transported northward in the form of alluvial fans. The sedimentary history is contemporary with the progressive uplift of the High Atlas Mountains, initiated in the Cenomano-Turonian, which induced increased erosion and a structural tilting towards the south. These processes fed the Eocene trough with detrital materials, as evidenced by progressive unconformities that testify to a strong tectono-sedimentary interaction, also recorded in the Neogene formations of the basin. The formation of six families of joints accompanied the tectonic evolution, and their intensity depends on the lithology. These fractures favored the preferential circulation of meteoric waters, leading to a marked differential erosion. This dynamic sculpted the emblematic morphologies of the area, interpreted locally as the "monkey fingers". With a view to geoscientific valorization, our approach involves producing accessible summary sheets that allow for a popularized yet rigorously contextualized reading of these geomorphosites, fully integrating them into the regional geological heritage.

Mots clés: Eocène supérieur, Patrimoine géologique, géomorphosite, géotourisme, doigts de singe, Boumalne-Dadès

Key words: Upper Eocene, Geological heritage, geomorphosite, geotourism, monkey fingers, Boumalne-Dades

I. Introduction

Dans les brochures touristiques du Maroc, ainsi que sur de nombreux sites web nationaux et internationaux, les composantes de l'industrie touristique mettent en avant les paysages emblématiques du sud marocain. Parmi les sites les plus fréquemment cités figurent les géomorphosites de la région de Boumalne-Dadès, dont certains portent le nom évocateur de « doigts de singe ». Ces formations géologiques, constituées de matériaux argileux, gréseux et conglomératiques de couleur rouge, datent de l'Éocène supérieur.

Malgré leur grande visibilité médiatique, ces formations sont généralement présentées sans explication scientifique approfondie. L'analyse des supports promotionnels révèle l'absence d'une contextualisation géologique rigoureuse ; on y trouve principalement des descriptions imagées et superficielles telles que : «versant recouvert de rochers rouges aux formes voluptueuses, évoquant une coulée solidifiée : ce sont les "doigts de singe"», ou encore : «conglomérats façonnés par l'érosion», accompagnées de remarques esthétiques telles que «il est étonnant de voir des styles de roches aussi différents si proches les uns des autres».

Par ailleurs, les guides touristiques locaux interrogés sur la nature géologique de ces formations témoignent d'une méconnaissance quasi-totale de leur origine et de leur histoire géodynamique. Pour certains, ces formes naturelles sont également appelées « cerveau de l'Atlas » ou « corps humain », et sont perçues avant tout comme des curiosités naturelles et un patrimoine à préserver, sans qu'aucune connaissance scientifique ne soit mobilisée pour les expliquer.

Les visiteurs, quant à eux, se limitent souvent à prendre quelques clichés souvenirs (voir planches I et II), sans bénéficier d'éléments d'information sur la valeur scientifique, culturelle ou patrimoniale du site. Cette situation s'explique notamment par l'absence d'outils de médiation efficaces et identifiables, susceptibles de mobiliser les différentes parties prenantes autour de la valorisation de ce type de patrimoine géologique.

Dans cette perspective, l'objectif est de faire connaître ces géomorphosites au grand public, en mettant en lumière leur valeur scientifique, culturelle, esthétique et économique. La mise en avant de ces éléments permettrait de renforcer l'identité des sites situés dans l'arrière-pays marocain et d'encourager leur intégration dans une dynamique de développement durable. Ce positionnement viendrait ainsi compléter les circuits touristiques classiques centrés sur le balnéaire et les villes impériales, en offrant de nouvelles motivations et opportunités de visite.

La démarche proposée pour la valorisation de ces géomorphosites repose sur l'élaboration de fiches d'identité accessibles non seulement aux spécialistes, mais également au grand public. Celles-ci intègreraient une contextualisation géologique régionale, accompagnée d'une explication simplifiée de la genèse et de l'évolution des formations étudiées. Concernant spécifiquement le site des « doigts de singe », une approche pédagogique et didactique, fondée sur un modèle explicatif vulgarisé, est envisagée afin de fournir aux visiteurs une meilleure compréhension de ce patrimoine naturel remarquable.

II. Contexte morphostructural

La région de Boumalne-Dadès, secteur touristique très fréquenté, est caractérisée par des paysages modelés dans des formations éocènes rouges argileuses, gréseuses et conglomératiques dites les "*doigts de singe*". Elle est située à 150 km à l'ENE de la ville d'Ouarzazate en empruntant la route nationale N10 jusqu'à la ville de Boumalne et en tournant au Nord de cette ville sur une distance de 15km (Fig. 1). Elle est constituée de quatre unités morphostructurales qui sont, du nord vers le sud, le Haut Atlas central, la zone subatlasique, le bassin d'Ouarzazate et le massif du Sagro (Fig. 2).

1. Le Haut Atlas Central

Le Haut Atlas Central est une chaîne de montagnes de direction ENE-WSW, qui s'étend sur une longueur de 800 km et une largeur de 35 à 100 km. Il est dominé par des plateaux atteignant 2500 m d'altitude en moyenne, avec des crêtes pouvant culminer à plus de 4000m. Ces reliefs sont modelés par un important réseau hydrographique donnant naissance à des gorges et des canyons plus ou moins encaissés, parmi lesquels on cite ceux de Dadès et du Toudgha. Les formations rocheuses paléozoïques et mésozoïques dessinent des méga plis de direction NE-SW avec une allure localement chevauchante vers le Sud en direction de la zone Sub-Atlasique (Fig. 3).

2. La zone subatlasique

Cette zone se présente sous la forme d'une bande étroite, orientée selon un axe ENE-WSW, dont la largeur varie entre 3 et 5 kilomètres. Elle est caractérisée par une série de collines atteignant une altitude maximale

d'environ 2500 mètres. Géologiquement, cette bande est constituée de formations appartenant au Crétacé, au Néogène et au Quaternaire. Sur le plan structural, elle est intégrée dans les plis situés à la bordure méridionale du Haut Atlas et se distingue par la présence d'un chevauchement vers le sud (fig. 3), affectant les dépôts néogènes et quaternaires subtabulaires de l'unité géologique adjacente (Choubert & Faure-Muret 1962; Laville et al., 1977; Errarhaoui 1997; Beauchamp et al., 1999).

Le relief du Haut Atlas a été initié dès l'Eocène supérieur entre -37 et -34 millions d'années (Missenard, 2006 ; Frizon de Lamotte & al., 2008).

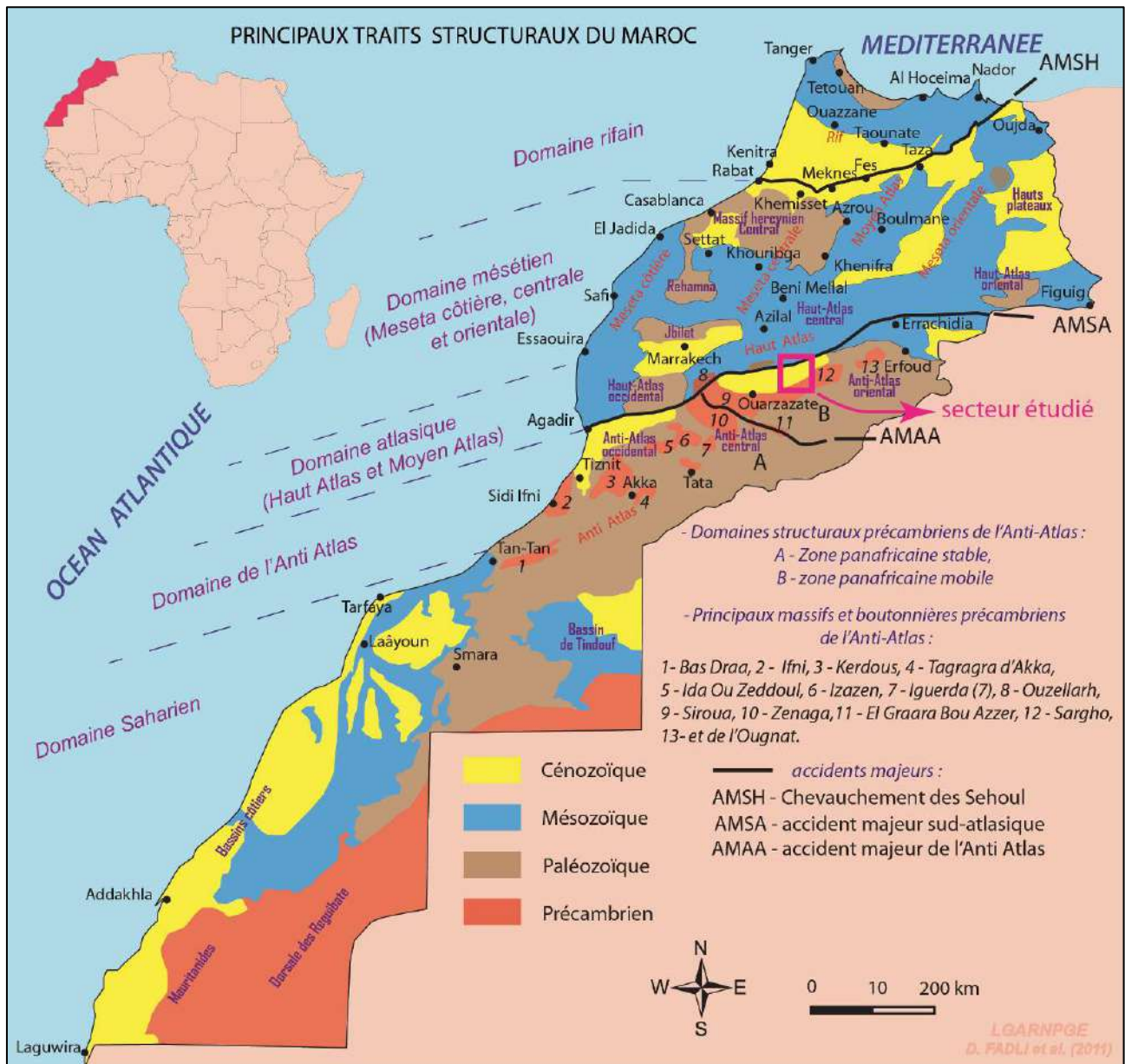


Figure 1 : Situation géographique et cadre structural du secteur étudié

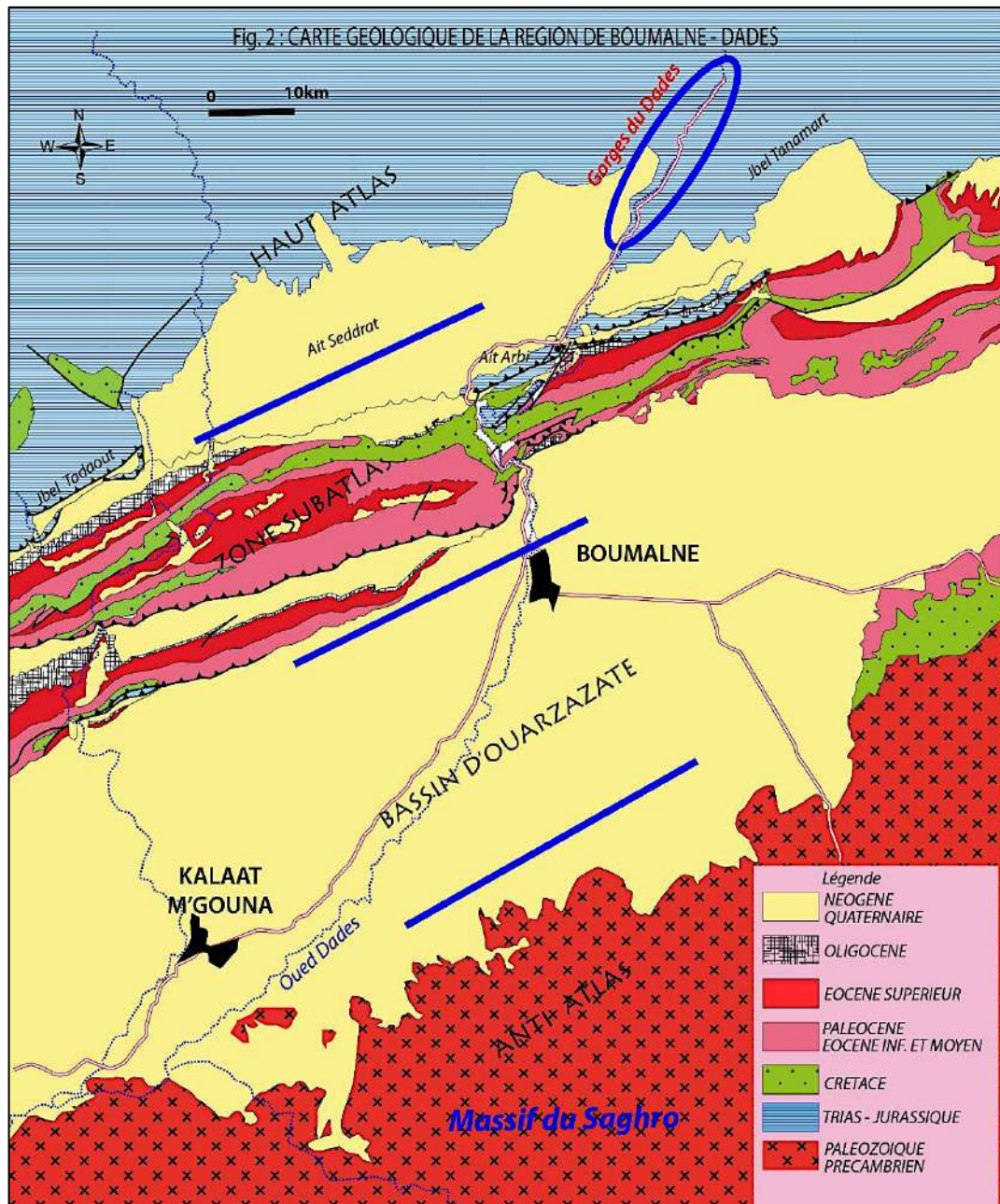


Figure 2 : Schéma cartographique simplifié de la Région de Boumalne

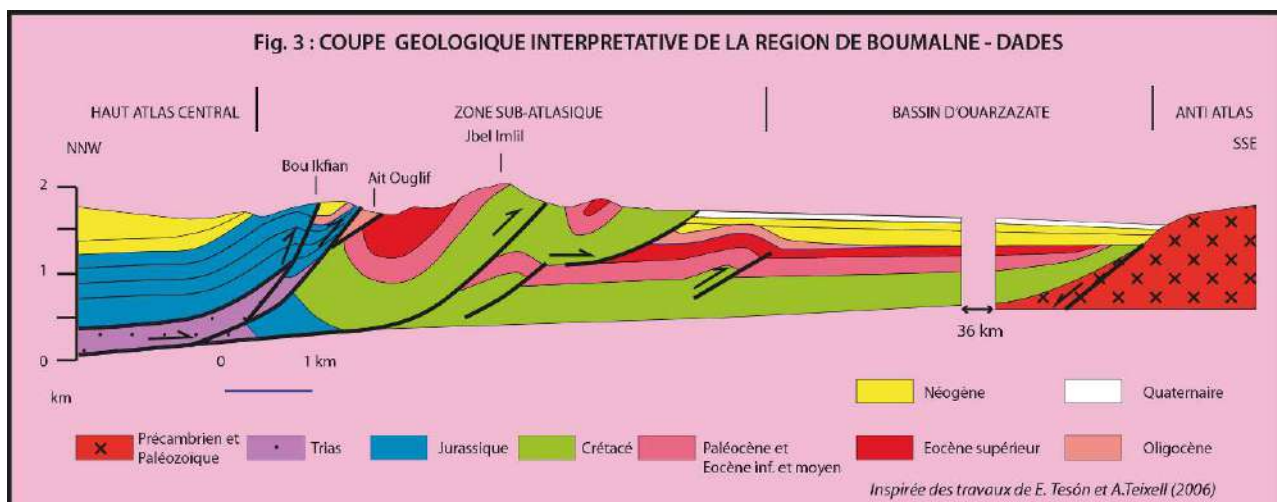


Figure 3 : Coupe géologique interprétative de la région de Boumalne (d'après Tesón & Teixell, 2006)

3. Le bassin d'Ouarzazate

Il se présente sous forme d'un couloir ovoïde constitué de plaines et de plateaux, de direction ENE-WSW, allongé sur une longueur de 160 km avec une largeur maximale de 40 km à Skoura. Sa surface est dans l'ensemble plane, entaillée par les Oued Dadès, Toudgha et Mgoun dont les ramifications drainent le flanc sud du Haut Atlas. Les différents villages sont localisés, pour la plupart, le long de ces cours d'eau. Son altitude moyenne varie entre 1100 et 1500 m. Le climat de ce bassin est aride à semi-aride, caractérisé par des précipitations irrégulières très faibles de 200 mm/an, des écarts importants de température et une forte évaporation en moyenne de 2800 mm/an (Agoussine et al., 2004).

Le bassin d'Ouarzazate est dominé par des formations détritiques continentales mio-plio-quaternaires subtabulaires qui masquent l'ensemble des terrains plus anciens à l'exception des dépôts crétacés et paléocènes qui affleurent à ses extrémités orientale et occidentale.

Les épandages, surtout quaternaires, varient selon leur âge et leur position géomorphologique ; ils sont constitués de conglomérats (poudingues et cailloutis) plus ou moins consolidés ou encroûtés aux bancs sablo-limono-argileux plus ou moins friables.

4. Le massif du Jbel Saghro

Le massif du Saghro constitue la limite nord de la chaîne de l'Anti-Atlas. Il s'agit d'une crête anticlinale orientée ENE-WSW, formée principalement de roches précambriennes et paléozoïques. Ces dernières comprennent des schistes, des grès et des quartzites avec des niveaux conglomératiques, mais surtout des roches volcaniques et plutoniques. Les roches les plus dures, comme les granites, peuvent atteindre des altitudes supérieures à 2500 mètres. En revanche, les formations plus tendres, d'origine sédimentaire ou magmatique, ont été érodées pour former de vastes plaines d'altitude, généralement situées entre 1300 et 1500 mètres.

En fonction de la répartition géométrique des diaclases, de la texture et de la composition minéralogique, les plutons présentent deux types de modelé : celui de massifs élevés en dômes, aiguilles, éboulis de blocs et celui de plaines à inselberg, chaos de boules, dos de baleine.

Le massif du Saghro offre des paysages ouverts, façonnés par de vastes vallées et de larges bassins creusés dans les formations tendres. Les formations rocheuses plus résistantes, telles que les calcaires, les grès et les quartzites, dominent ces dépressions en formant des crêtes et des cuevas. L'alternance entre couches dures et tendres a favorisé l'émergence d'une grande variété de formes structurales.

L'évolution morphologique actuelle du massif résulte d'un processus lent d'aridification, ponctué par des épisodes humides de plus en plus courts. Cette dynamique est principalement façonnée par le ruissellement, qui joue un rôle dominant, tandis que la gélifraction, encore active au-dessus de 2300 mètres d'altitude, intervient de manière plus marginale. Le ruissellement commence de façon diffuse sur les versants et les plaines, puis se concentre rapidement pour former des torrents lors des orages et des crues. Dans les grands lits d'oueds, ces crues entraînent le transport de galets et de coulées boueuses, soumis ensuite à la déflation éolienne. Ce processus contribue également à l'étagement des formations quaternaires et à la formation des glacis.

III. Synthèse géologique régionale

La région de Boumalne-Dadès est une zone charnière entre les deux grandes chaînes de montagnes du Haut Atlas et de l'Anti-Atlas. Elle constitue un bon registre géologique permettant de reconstituer les événements orogéniques précambriens, hercyniens et alpins. Presque tous les terrains de l'échelle internationale des temps géologiques y sont représentés, depuis le Précambrien jusqu'à l'actuel.

1. Le Précambrien

L'Anti Atlas constitue la zone méridionale du Craton Ouest-Africain. Ce dernier comporte les roches les plus anciennes ; il a été structuré il y a environ deux milliards d'années lors de l'orogénèse éburnéenne (Rocci et al., 1991). Il correspond au support d'un second cycle orogénique polyphasé dit *panafricain*, représenté par une chaîne de montagne qui s'est formée entre 760 et 550 Ma : c'est la chaîne panafricaine. Les vestiges de ces deux chaînes orogéniques précambriennes se localisent au niveau des massifs et des boutonnières où ils sont recouverts par une épaisse série paléozoïque elle-même déformée par l'orogénèse hercynienne.

Le Précambrien marocain a fait l'objet de nombreuses études et de divers découpages. Pour simplifier on retient celui de Leblanc et Lancelot (1980) qui, sur des bases lithostratigraphiques et géodynamiques, a subdivisé les formations précambriennes en Précambrien I, Précambrien II inférieur (PII¹), Précambrien II supérieur (PII²) et Précambrien III. La corrélation de ce découpage avec l'échelle stratigraphique internationale est indiquée sur la figure 4 : Le Paléoprotérozoïque correspond au Précambrien I, le Néoprotérozoïque regroupe le Précambrien II¹ (850-685Ma), le Précambrien II² (685-630Ma) et le Précambrien III (630-542Ma); tandis que le Mésoprotérozoïque, longtemps considéré comme absent dans l'Anti Atlas, a été identifié récemment dans la région d'Ighrem (Ikene et al., 2017).

Dans le massif du Saghro le Précambrien I est presque absent ; tandis que le Précambrien II est représenté par un complexe ophiolitique, qui s'étend jusqu'à Bou Azzer, et par des sédiments d'eau profonde de type flysch d'origine surtout volcanique (tufs) entrecoupés de basaltes tholéitiques comme les basaltes en coussins. Il s'agit de la série volcano-sédimentaire de Bleida contemporaine du système des calcaires et quartzites de l'Anti-Atlas occidental. L'ensemble de ces roches est affecté par des intrusions de microdiorites, diorites et gabbros calco-alkalins de l'Ougnat, du Saghro et du Siroua syn- à tardi-orogéniques des différentes phases de l'orogénèse panafricaine.

Le Précambrien III correspond à l'Édiacarien (Néoprotérozoïque terminal). Il est associé à une extension ayant permis le développement de demi-grabens, liée à une intense activité volcanique. Il est matérialisé par deux grands groupes lithologiques successifs recoupés par de nombreux dykes de rhyolite, microgranite, andésite et dolérite : la *Série d'Ouarzazate* et l'*Adoudounien*.

La série d'Ouarzazate, définie par Choubert (1952), affleure largement dans l'Anti-Atlas; elle est datée dans le massif du Saghro et ailleurs de l'Édiacarien (Thomas et al., 2004 ; Hawkins et al., 2001). Il s'agit de successions molassiques syn- à tardi-orogéniques (Hassenforder, 1987). Leur environnement sédimentaire reste peu différent de celui du Précambrien II supérieur. La coupure établie entre le Précambrien III et le Précambrien (PII²) est caractérisée par l'existence d'une discordance angulaire (Leblanc, 1975), attribuée à la phase tardive de l'orogénèse panafricaine.

L'Adoudounien est un terme défini par Choubert (1952) le long de l'oued Adoudou au Sud de Tiznit dans l'Anti-Atlas occidental. Il marque le passage lithostratigraphique entre le Précambrien et le Paléozoïque. Il correspond donc à l'Édiacarien terminal.

A la fin de l'Édiacarien, vers environ 545 Ma (Gasquet et al., 2005; Maloof et al., 2005), une transgression venant du NW, envahit d'abord l'Anti-Atlas occidental et progresse en direction de l'Est pour atteindre une zone située entre Ouarzazate et Tazarine. La série sédimentaire est subdivisée en deux unités lithostratigraphiques : la *Série de base* conglomératique et les *Calcaires inférieurs*.

2. Le Paléozoïque

Les terrains paléozoïques, concordants sur l'Adoudounien, forment une couverture de plateforme ; leur structuration pendant l'orogénèse hercynienne y imprimera la forme actuelle de l'Anti-Atlas. Ils ont fait l'objet de nombreuses études thématiques dont celles de Destombes et al. (1985) ; Belfoul (1991) ; Bensaou et al. (1994) ; Soulaïmani et al. (1997) ; Farazdaq (1997) ; Destombes (2006). La figure 5 résume les principaux repères stratigraphiques de ces terrains.

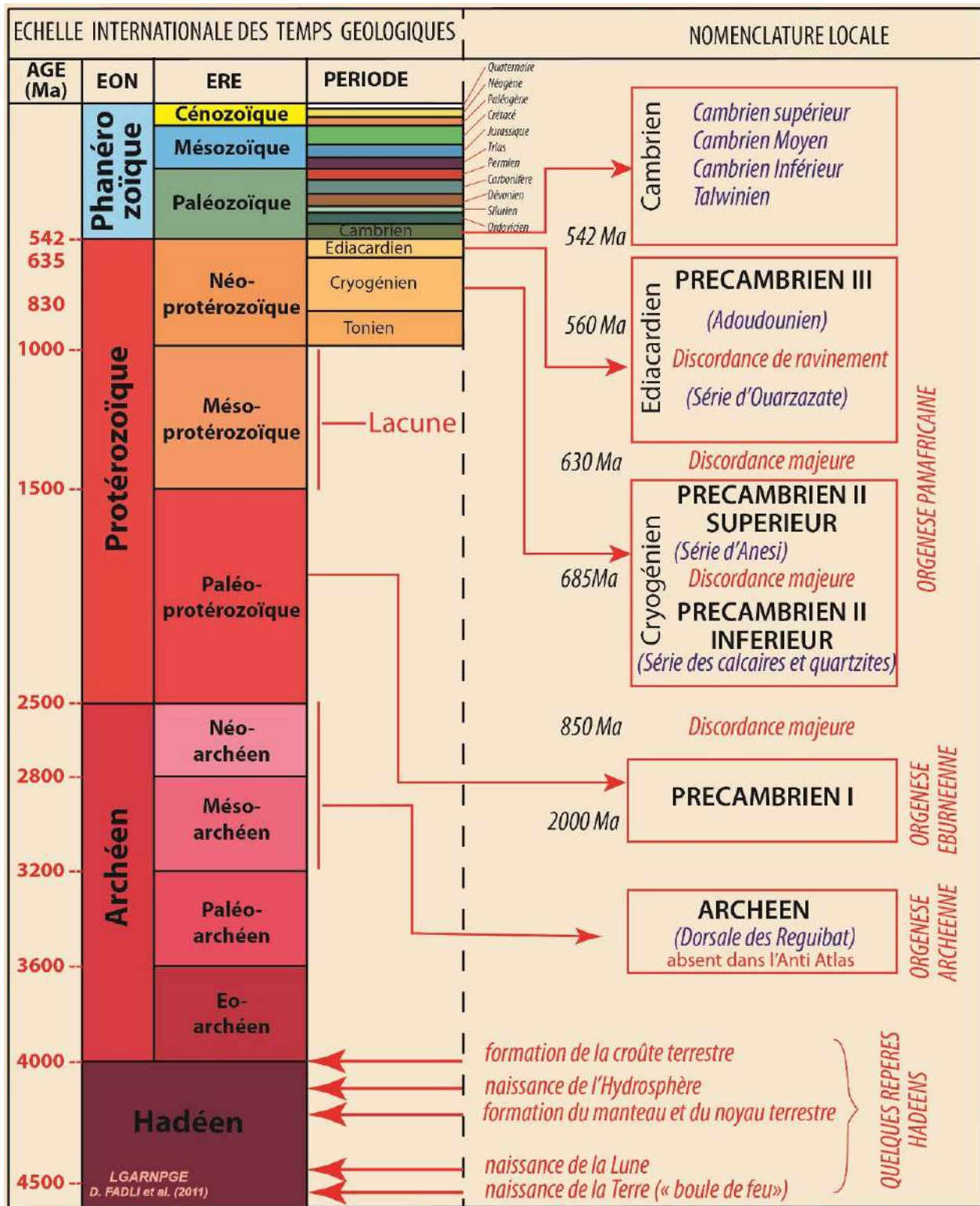


Figure 4 : Subdivision simplifiée des formations du Précambrien et du Cambrien de l'Anti-Atlas

3. Le Mésozoïque

3.1. Le Trias

Le Trias est représenté dans le Haut Atlas, où il marque le début de la genèse de cette chaîne. Cette période est caractérisée par la fragmentation du socle précambrien et paléozoïque, donnant naissance à des bassins structurés en horsts et grabens. Ces dépressions reçoivent d'épaisses séries détritiques silico-clastiques rouges, d'origine continentale, qui présentent d'importantes variations latérales d'épaisseur.

ERE	PERIODE	ETAGE LOCAL	LITHOLOGIE		EPAISSEUR	FIGURES
PALEOZOIQUE	CABONIFERE	Westphalo-Stéphanien	- pélites et argiles continentaux alternant avec des barres de grès de la série de Mercala		500 à 700m	
		Namurien	- grès continentaux du Jbel Reouina		500m	
			- calcaires bleus à Lithostrotion		150 à 200m	
			- marnes à gypse		60m	
		Viséen	- calcaires bleus à passées dolomitique et marneux du Jbel Ouarkziz		500 à 600m	
	- schistes et grès de la Betaina		800 à 1000m			
	Tournaisien	- schistes et grès du J. Tazout		150m		
	DEVONIEN	Famennien	- grès à brachiopodes de la barre inférieure de J. Tazout		100m	
			- argilites, lumachelles et schistes gréseux (plaine du Draa)		2000m	
		Frasnien	- marnes et calcaires noirs		200m	
		Givétien	- calcaires marneux noirs à Goniatites et Trilobites		65m	
		Eifélien	- schistes et grès fins quartzeux, grès du Rich 4		300m	
		Emsien	- schistes marneux et noduleux Rich 3		60m	
			- calcaires, schistes gréseux et grès Rich 2		160m	
		Siegénien sup.	- calcaires, schistes gréseux et grès Rich 1		200 à 300m	
		Gédinien et Siegénien inf.	- schistes et grès calcaireux		450m	
	SILURIEN	- schistes argileux à Graptolites de la plaine d'At Torkoz		600m		
	ORDOVICIEN	Ashgil et Caradoc	- grès et quartzites gréseux du deuxième Bani		100m	
			- schistes du Ketaoua sup., argileux microconglomératiques			
			- schistes du Ketaoua inf., argileux microconglomératiques			
		Llandeilo	- grès et quartzites du premier Bani		200 à 250m	
		Llanvirn	- schistes gris argileux du Tachila	schistes des feijas externes	150 à 200m	
		Arénig moyen	- grès et quartzites du Zini		200m	
Trémadoc et Arénig		- schistes de Fezouata inf. et sup.	300 à 400m			
CAMBRIEN	Cambrien moyen	- grès du Tabanit à Concoryphe et Lingules		480m		
		- schistes à Paradoxidès (schistes des feijas internes)		850m		
	Cambrien inférieur	- grès et tufs terminaux		400m		
		- formation schisto-calcaire		200m		
		- calcaires supérieurs à Archéocyathus et Trilobites		350m		
	Talwinien	- pélites gréseux à intercalations carbonatées (série lie de vin)		0 à 200m		
NEOPROTEROZOIQUE	EDIACARDIEN	Adoudounien	- calcaires inférieurs à Stromatolites		0 à 100m	
		- conglomérat de base		0 à 100m		
	CRYOGENIEN	Série d'Ouarzazate	- dépôts continentaux (molasses) et complexe volcanique surtout rhyo-ignimbritique		plus de 1000m	
		- phase panafricaine B2 PII 2	- série de plate-forme (Anti Atlas occidental) - série volcano-détritique de type flych (AA occidentale) - série volcanique et granitoïdes		plus de 5000m	
PALEOPROTEROZOIQUE (PI)	CRYOGENIEN	- phase panafricaine B1 PII 1	- série schisto-quartzitique (AA occidentale) - complexe ophiolitique (AA oriental) - complexe volcanique et granitoïdes		plus de 4000m	
		- micaschistes, gneiss, migmatites, granitoïdes				

Figure 5: Principales formations géologiques paléozoïques de l'Anti-Atlas

Les principaux faciès triasiques, pouvant atteindre une épaisseur maximale d'environ 1000 mètres, sont constitués de conglomérats, de grès, ainsi que d'argiles rouges ou violacées, souvent entrecoupés de niveaux gypseux. Ces formations s'organisent en une série sédimentaire massive, au sein de laquelle s'intercalent des coulées de basaltes doléritiques datées de l'Infra-Lias (Bertrand & Westphal, 1977), en lien avec le processus de rifting associé à l'ouverture de l'océan Atlantique.

3.2. Le Jurassique

Au Jurassique, les dépôts sont contrôlés par un système de failles décrochantes réactivées suite à des distensions saccadées (Laville et al., 1977 ; Ibouh, 2004 ; Jossen et al., 1988). Ils se présentent en deux grands groupes de faciès dans le versant sud du Haut Atlas : les faciès carbonatés du Jurassique inférieur et la base du Jurassique moyen, pouvant atteindre 1500 m d'épaisseur, et les dépôts continentaux formés de grès et de conglomérats du Jurassique moyen sommital.

Les études sédimentologiques et stratigraphiques des terrains jurassiques réalisées sur la frange méridionale du Haut-Atlas central ont permis de mettre en évidence un très grand nombre de formations (Dresnay, 1976a et 1976b ; 1979 ; Ettaki, 2003 ; Ettaki et al., 2000 ; Mehdi et al., 2003 ; Ibouh, 2004 ; Ettaki et al., 2005 et 2007). Les variations latérales de faciès et d'épaisseur de ces formations compliquent leur nomenclature et rendent leur corrélation difficile. Cela a conduit à une multitude d'interprétations paléobiogéographiques. Pour clarifier la présentation, une synthèse est proposée en distinguant trois grands ensembles lithologiques selon leur âge (Fig. 6).

3.2.1. Les formations de la base du Jurassique inférieur

La base du Jurassique, représentée par la **formation d'Aït Ras**, débute par des calcaires dolomitiques et des dolomies gréseuses en plaquettes, alternant avec des marnes gréseuses. Cet ensemble, d'une épaisseur maximale d'une vingtaine de mètres, est attribué à l'Hettangien-Sinemurien. Par endroits, cette séquence est surmontée, sur environ une centaine de mètres, par des bancs massifs de dolomie et de calcaire bioclastique à oncolithes, laminites et structures en tepee (**formation d'Imin'Ifri**). Ces dépôts évoluent latéralement vers des calcaires massifs bioconstruits (base de la **formation de Chboucht**), puis vers des faciès hémipélagiques composés de calcaires noirs lités contenant brachiopodes, spongiaires, lamellibranches et restes d'échinodermes (**formation d'Aberdouz**).

Cet ensemble, daté du Sinémurien au Carixien, est recouvert, dans le secteur de Todrha, par une centaine de mètres de dépôts carbonatés gravitaires riches en débris remaniés de lamellibranches, ostracodes, échinodermes, algues et foraminifères (**formation de Todrha**). Au Jbel Rat, cette série est remplacée par des bancs plurimétriques de calcaire ou de dolomie présentant des « bird eyes », des oolithes, des pisolithes, ainsi que du calcaire oolithique à stratification oblique et de la dolomie à oncoïdes (**formation du Jbel Rat**).

3.2.2. Les formations du sommet du Jurassique inférieur

La série du Jbel Rat est recouverte par une formation épaisse, d'environ 300 mètres, appelée **formation d'Aganane**. Elle se compose de marnes versicolores alternant avec des calcaires lités riches en foraminifères et en algues, ainsi que de dolomies métriques. Cette formation passe latéralement à des calcaires massifs bioconstruits appartenant à la **formation de Chboucht** et à la **formation d'Ouchbis**. Cette dernière, d'une épaisseur variante entre 140 et 300 mètres, correspond à une alternance rythmique calcaréo-marneuse déposée en environnement circalittoral à bathyal, évoluant latéralement, sur la plate-forme, vers un milieu médiolittoral proche d'une pente récifale.

Ces formations sont surmontées par la **formation de Tagoudite**, qui marque un tournant majeur dans la sédimentation liasique. Elle présente d'importantes variations latérales de faciès et d'épaisseur, avec un net épaississement d'ouest en est. Cette formation est caractérisée par des dépôts hémipélagiques constitués d'une alternance de marnes gréseuses et de grès calcaires, se terminant au sommet par des carbonates de plateforme formés de calcaires construits et bioclastiques.

Enfin, ces dépôts sont recouverts par une série littorale appartenant à la **formation de Tafraout**. Celle-ci est constituée d'une alternance de marnes silteuses, verdâtres à versicolores, et de calcaires oolithiques et biodétritiques à stratifications entrecroisées. Ces dépôts sont organisés en chenaux et barres décimétriques à métriques, avec la présence de niveaux lenticulaires de microconglomérats et de grès vers le sommet.

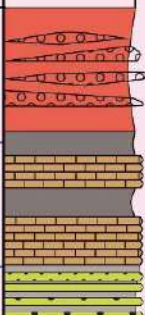
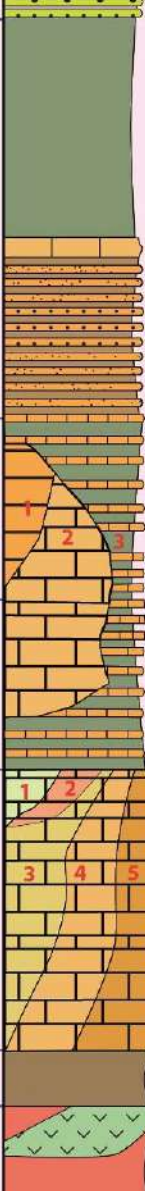
ERE	PERIODE	ETAGE LOCAL	LITHOLOGIE	EPAISSEUR	FIGURES
JURASSIQUE	MOYEN	Bathonien	- Grès, pélites gréseuses, silts, rouge brique; et conglomérats intraformationnels plus ou moins lenticulaires : <i>F. Guettoua</i>	300m	
		Bajocien	- Marnes versicolores, avec des passées calcaires basales et sommitales : <i>F. Tilougguit</i> - Calcaires beiges fossilifères à oncolites - Alternance marnes et marno-calcaires : <i>F. Bin el Ouidane</i> - Calcaires bleus à beiges, à birds-eyes	10 à 200m	
		Aalenien	- Alternance de marnes brunes avec des grès, de conglomérats et de dolomies : <i>F. d'Azilal</i>	40 à 80m	
	INFÉRIEUR	Toarcien	- Lentilles de microconglomérats et de grès vers le sommet : <i>F. Tafraout</i> - Dépôts hémipélagiques de marnes versicolores en alternance avec du grès calcaire : <i>F. Tafraout</i>	60 à 480m	
		Domérien	- Calcaires bioconstruit et bioclastiques : <i>F. Tagoudite</i> - alternance de marnes gréseuses et de grès calcaires : <i>F. Tagoudite</i>	0 à 230m	
			1 - Alternance de marnes versicolores et de calcaires lités et de dolomies : <i>F. d'Aganane</i> 2 - Calcaires massifs bioconstruits : <i>F. Chbouch 2</i>		
		Carixien	3 - Alternance rythmique de marnes et de calcaires de milieu circalittoral à bathyal : <i>F. Ouchbis</i>	140 à 300m	
		Sinémurien	1 - Calcaire massif oolithique : <i>F. du Jbel Rat</i> 2 - Calcaire massifs bioclastique gravitaire : <i>F. de Todrha</i> 3 - Bancs massifs de dolomie et de calcaire bioclastique à oncolithes : <i>F. d'Imin'Ifri</i>	50 à 350m	
			4 - calcaire massif bioconstruit : <i>F. de Chbouch 1</i> 5 - calcaires noirs lités brachiopodes, de spongiaires, de lamellibranches et des restes d'échinodermes : <i>F. Aberdouz</i>		
	Hettangien	- Alternance de marnes gréseuses et carbonatées : <i>F.d'Aït Ras</i>	20 à 40m		
TRIAS			- Formation rouge : argiles, grès et conglomérat - Dolérites		

Figure 6: Principales formations géologiques mésozoïques du Haut-Atlas central

3.2.3 - Les formations du Jurassique moyen.

Elles débutent par la **formation d'Azilal**, constituée de silts, grès-calcaires et dolomies à lamellibranches et à gastéropodes surmontés par la **formation de Bin El Ouidane**. Cette dernière comprend deux barres de calcaires en plaquettes, à faune naine de lamellibranches et brachiopodes, séparées par une unité marneuse versicolore.

Vers le sommet, la sédimentation marine s'arrête et laisse place à des dépôts continentaux rouges formés de grès, silts et microconglomérats bruns chenalisés avec dominance de la fraction grossière vers le sommet (**formation de Tilougguit**). Ce niveau est surmonté de lentilles hétérométriques de conglomérats, grès, silts et argiles rouges contenant des ossements de vertébrés et de bois fossile (**formation de Guettioua**).

3.2.4. Conclusion

L'évolution spatio-temporelle des dépôts jurassiques dans le Haut Atlas central se manifeste par des variations d'épaisseur et par la mise en place de divers types de faciès, reflétant une large diversité des environnements de dépôt. Cette dynamique sédimentaire résulte de l'interaction entre plusieurs facteurs : les oscillations eustatiques, la subsidence différentielle, l'activité tectonique synsédimentaire, ainsi que la structuration en blocs basculés le long de failles orientées NE-SW à E-W.

3.3. Le Crétacé

Les affleurements du Crétacé supérieur bordent l'Accident sud-atlasique de façon continue d'ouest en est. Au nord et à l'extrémité occidentale du bassin d'Ouarzazate, leur épaisseur varie de 100 à 500 mètres. Ces dépôts reposent en discordance directe sur le socle paléozoïque, ou en légère discordance angulaire sur les roches triasiques (y compris les basaltes) et les formations jurassiques. Ils sont subdivisés en trois formations principales (Gauthier, 1957, 1960 ; Laville, 1980) :

- **L'Infra-Cénomanién** (ou **complexe rouge inférieur**), constitué de grès et de conglomérats rouges contenant des éléments lithologiques similaires à ceux du socle de l'Anti-Atlas, et parfois des éléments calcaires d'origine jurassique. Ce complexe comprend également des intercalations de basaltes doléritiques, spilites, gypses, lignites et calcaires dolomitiques.
- **Le Cénomanién-Turonien** (Gauthier, 1957 ; Ettachfini & Andreu, 2004), aussi appelé **formation des calcaires lités à silex**, représente un bon niveau repère régional. Dans la vallée de l'Oued Dadès, cette unité présente une épaisseur moyenne d'environ 30 mètres. Elle est composée de calcaires massifs, plus ou moins dolomitiques et compacts, renfermant des exogyres et des astartes, séparés par des lits marneux, et surmontés par des calcaires marneux lités contenant des rognons de silex.
- **Le Sénonien** (ou **série rouge supérieure**) : formé de grès, d'argiles rouges à gypses fibreux, de marnes gréseuses jaune-verdâtre, ainsi que de bancs de calcaire gréseux et de dolomies interstratifiées. Ces dépôts traduisent le début du retrait de la mer mésogéenne.

Sur le plan tectonique, les calcaires cénomano-turonien se sont déposés au cours d'une période relativement calme. En revanche, le Sénonien est marqué par une phase tectonique active, ayant entraîné la reprise de la subsidence du bassin et un retour à une sédimentation détritique, conséquence du soulèvement progressif de la région, déjà affectée par l'érosion. Laville (1980) associe à cette phase la mise en place de la nappe de Toundoute. L'évolution structurale de la région de Boumalne-Dadès se caractérise par une longue phase de transtension anté-crétacée, liée à l'ouverture de l'océan Atlantique, et scellée par une discordance au Crétacé. Par la suite, une période de sédimentation et de subsidence cénozoïque est suivie par un serrage tectonique majeur, actif depuis l'Oligocène jusqu'à l'époque actuelle.

4. Le Cénozoïque

Les paysages de la région de Boumalne-Dadès sont dominés en grande partie par des formations cénozoïques. Leur étude stratigraphique et leur relation géodynamique avec le Haut Atlas central ont été mises en évidence, entres-autres, par Herbig (1986, 1991) ; Trappe (1991) ; Brede et al. (1992) et par El Harfi et al. (2001).

Les formations du Cénozoïques forment, en fonction de leur environnement sédimentaire, deux grands ensembles litho-stratigraphiques (Fig.7): Le premier est constitué de dépôts marins transgressifs concordants sur le Crétacé marin ; le second présente des dépôts de nature continentale dans un bassin qui s'est individualisé entre le Haut Atlas central et l'Anti-Atlas. Ce bassin est contrôlé par les événements tectoniques responsables de la structuration du Haut Atlas (Gauthier 1960 ; Görler & Zucht, 1986 ; Fraissinet et al., 1988 ; Görler et al., 1988). Cette transition de lithologie, coïncide également avec une baisse eustatique, à long terme, du niveau de la mer depuis le milieu du Crétacé et une transition climatique à partir d'un Crétacé supérieur-Eocène inférieur «mode chaud» à un Eocène supérieur-Quaternaire «mode cool». Les variations de faciès y sont très fréquentes, pouvant varier d'un environnement carbonaté et sableux côtier à un milieu de calcaires lacustres.

4.1. Les Formations marines

4.1.1. *Formation d'Asseghmou*

La série-type a été décrite à 5 km au sud du village d'Asseghmou, situé au NNE de Ouarzazate. Elle repose en concordance sur les formations rouges du Crétacé et elle se compose à la base de siltstones gris-vert à minces lits dolomitiques et des intercalations de paléosols. Au sommet, elle est constituée principalement de dolomies calcaires ou calcaires (mudstones) avec des gastéropodes marins et des intercalations de cherts.

4.1.2. *Formation du Jbel Guersif*

La formation-type a été décrite au nord du Jbel Guersif dans la région de Qalaa't Mgouna. Elle commence généralement par un conglomérat, de 36 mètres d'épaisseur maximale, constitué de clastes de mudstones calcaires blancs provenant de la formation d'Asseghmou sous-jacente. Ce faciès est surmonté par des dépôts marins peu profonds, de calcaires bioclastiques à lumachelles et biostromes ; il daté du Thanétien inférieur et moyen.

4.1.3. *Formation de Ta'iouit Jbel*

Datée de l'Eocène Inférieur (Yprésien), cette formation est décrite au Nord du Jbel Talouit dans la région de Kelaât M'Gouna, le long de la route menant vers Bou Tahar (Herbig, 1991). Il s'agit d'un ensemble détritique reposant en discordance de ravinement sur la formation précédente, d'une centaine de mètres d'épaisseur maximale, constitué à la base par des silts gris verdâtres à intercalations de grès fins, surmonté par un niveau blanchâtre formé de calcaire à huîtres plus ou moins sableux. La série se termine par des grès rouges plus ou moins carbonatés.

4.1.4. *Formation d'Ait Ouarhitane*

Elle est décrite à 8,5 km à l'Ouest de la ville de Tinerhir près du village d'Ait Ouarhitane au pied sud du Jbel Tagount. D'âge Eocène Inférieur et d'épaisseur variable, entre 5 et 52 m, la formation Ait Ouarhitane est constituée de calcaires finement lités à lits marneux et à nodules et des intercalations de siltstones, de calcaires oolithiques et de lumachelles.

4.1.5. *Formation du Jbel Tagount*

La formation type a été décrite à 8,5 km à l'ouest de Tinerhir, au pied du Jbel Tagount (Herbig, 1991). Elle est composée de lits de calcaires marins (wackestones, packstones et grainstones bioclastiques) de faible profondeur avec des intercalations de niveaux silicoclastiques à grains fins, constitués de siltites gris-vert. Son épaisseur moyenne varie entre 100 et 150 mètres et son âge se situe entre le Lutétien et le Bathonien.

4.2. Les Formations continentales

A la fin de l'Éocène moyen, la bordure sud du Haut Atlas Central a connu une importante baisse du niveau de la mer d'origine eustatique (Haq et al., 1987 ; Vail, 1987), marquée par un grand changement de faciès (Herbig 1986, 1991). Cette régression est matérialisée par l'apparition de dépôts lagunaires boueux avec des huîtres, évaporitiques et silicoclastiques pendant l'Éocène supérieur représentés par la formation d'Ait-Arbi.

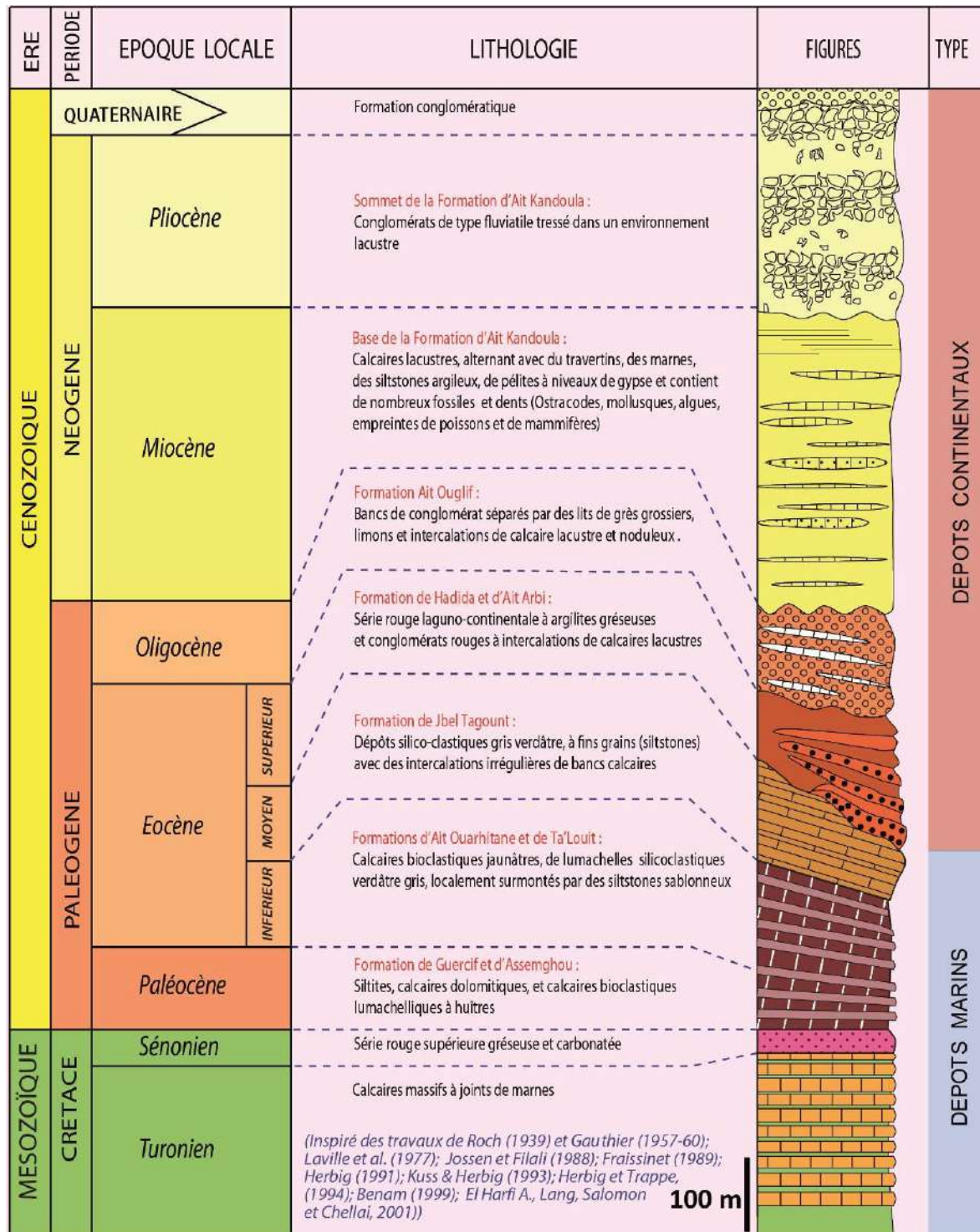


Figure 7 : Principales formations géologiques cénozoïques du bassin de Ouarzazate

4.2.1. Formation d'Aït Arbi

La formation d'Aït Arbi (Trapp et al., 1994) dite « doigts de singe » est décrite dans la littérature géologique régionale sous différents noms : *Formation de Hadida* (Görler & Zucht, 1986), *Argiles à gypse* (Roch, 1939), *Couches rouges de Boumalne* (Choubert, 1945), *Couches des Aït Arbi* (Gauthier, 1960), *Formation Rouge Aznag* et *Formation NW Toundout* (Fraissinet et al., 1988), *Formation conglomératique de Aït Arbi* (Gauthier, 1960), *Membre Aït Arbi conglomératique* (Herbig, 1991). Cette formation, d'âge Eocène supérieur (Trapp et al., 1994 ; El Harfi et al., 2001), repose en concordance sur la formation du Jbel Tagout et présente une

épaisseur variable entre 300 et 600 m. Elle s'organise en bancs métriques et décimétriques de roches rouges argileuses et gréseuses (Fig. 8) et présente souvent des lentilles de gypse primaire, silteuses, gréseuses et conglomératiques, montrant de nombreuses variations latérales.

Les conglomérats sont lenticulaires, constitués d'éléments anguleux à subanguleux, hétérométriques (d'une taille pouvant atteindre une dizaine de centimètres) et de natures lithologiques volcaniques et plutoniques (rhyolites, dacites, andésites, basaltes, dolérites, granites, ignimbrites et quartzites), provenant de terrains précambriens de l'Anti-Atlas (Fig. 9). La taille et la nature de ces éléments indiquent que la principale source d'apport correspond aux paléoreliefs du Bloc ancien du Haut Atlas et que leur transport était relativement court (Herbig & Trappe, 1994 ; El Harfi et al., 2001).



Figure 8: Conglomérats polygéniques mal classés



Figure 9: Conglomérats rouges argileux et gréseux

Les grès sont massifs et contiennent occasionnellement de rares lentilles conglomératiques. Ils présentent des stratifications entrecroisées, accompagnées de structures de courant à leur base. Leur granulométrie varie de grossière à moyenne, et ils sont généralement friables, avec une matrice composée d'argile et de limon.

La formation d'Aït Arbi est interprétée comme le résultat de dépôts en milieu alluvial de plaine, entrecoupée de chenaux appartenant à un système fluvial distal de type tressé (Fig. 10), avec des incursions marines initiales (El Harfi et al., 2001). En d'autres termes, durant l'Éocène supérieur, la zone subatlasique et le bassin de Ouarzazate constituaient une nouvelle zone de sédimentation continentale reposant sur un substratum de roches marines. Ce milieu était caractérisé par des dépôts lagunaires boueux, des évaporites typiques d'une sebkha côtière (notamment le gypse), ainsi que des vases silico-clastiques, alimentées par des graviers et cailloux plus ou moins grossiers, transportés par un réseau fluvial enchevêtré.

L'émergence du Haut Atlas au cours du Cénomano-Turonien s'est accompagnée d'un basculement structural vers le sud, accentuant son érosion. Ce processus a renforcé l'alimentation en sédiments continentaux de la zone subatlasique et du bassin de Ouarzazate.

4.2.2. *Formation Aït Ouglif*

Cette formation, d'épaisseur moyenne de 30 à 40 m, est décrite près du village d'Aït Ouglif et attribuée à l'Oligocène (Fraissinet et al., 1988 ; El Harfi et al., 2001). Elle est concordante sur la formation d'Aït Arbi, mais à de nombreux endroits elle est discordante sur les premières structures plissées du Jurassique et du Crétacé (Fig.11). Cela constitue une des preuves montrant que les premiers événements tectoniques compressifs, liées à la formation du Haut Atlas, se sont amorcés pendant l'Éocène supérieur ; c'est-à-dire au moment du dépôt de la formation d'Aït Arbi.

Cette formation est constituée de bancs massifs de conglomérats polygéniques à galets hétérométriques de taille pouvant atteindre 1,20 m. les éléments sont arrondis et émoussés et proviennent de l'érosion de terrains essentiellement jurassiques et crétacés.

4.2.3. Formation Aït Kandoula

La Formation Aït Kandoula, d'âge Miocène moyen-Pliocène (Benammi et al., 1995, 1996 ; Benammi & Jaeger, 2001) comporte deux parties : l'unité d'Aït Ibrirn et l'unité d'Aït Sedrat :

- Le partie inférieure ou **Unité d'Aït Ibrirn**, d'épaisseur moyenne de 400 m, est composée de calcaires lacustres, de travertins, de marnes, d'argiles, de siltstones avec quelques intercalations de niveaux conglomératiques et de gypse primaire. Elle est riche en fossiles : Ostracodes, Diatomées, Gastéropodes, Bivalves, Algues (charophytes, oncolites, stromatolites), dents de Poissons et os de Mammifères.

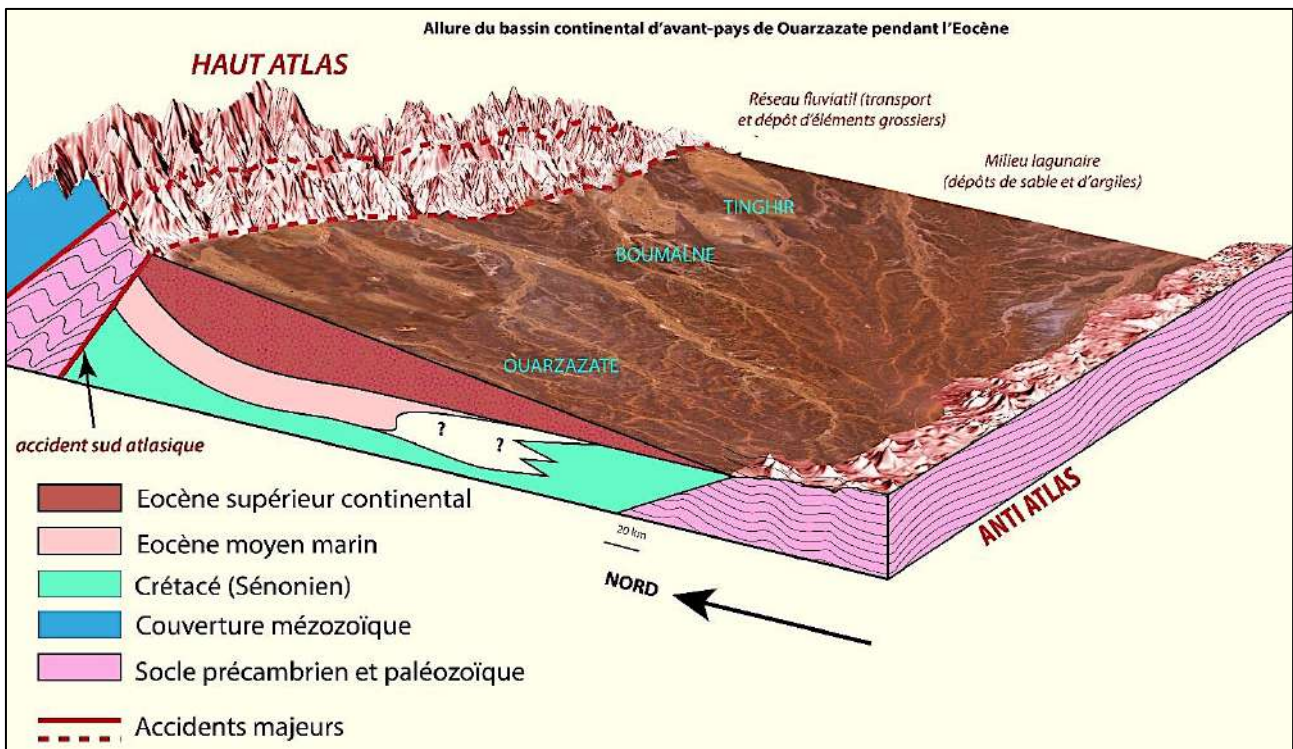


Figure 10: Bloc-diagramme illustrant l'environnement sédimentaire de la zone dite « doigts de singe » à l'Éocène.

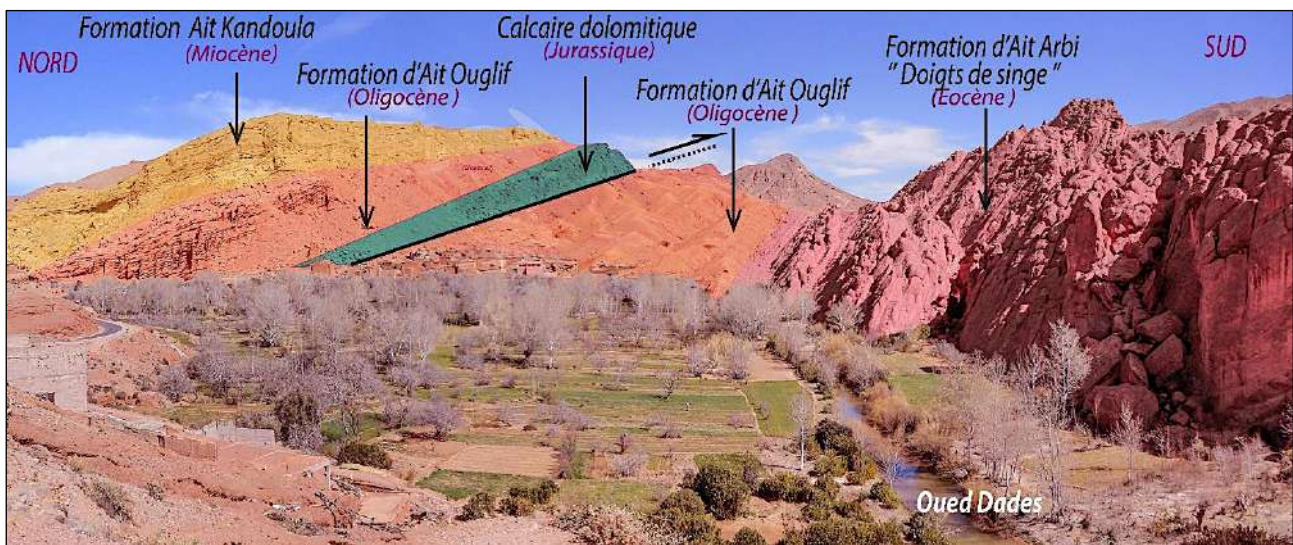


Figure 11 : Environnement sédimentaire des « doigts de singe » pendant l'Éocène

La dominance des calcaires palustro-lacustres et les fossiles trouvés indiquent qu'un grand lac continental s'est installé dans le bassin d'Ouarzazate. Celui-ci s'étend vers le Nord à Aït Kandoula et Aït Sedrat du Miocène moyen au Pliocène (Görler et al. 1988). Il s'agit d'un système de plaine alluviale palustro-lacustre qui a évolué vers le Nord en un système de cônes alluviaux provenant du Haut Atlas et vers le Sud, du côté de l'Anti-Atlas, en dépôts fluviaux.

- La partie supérieure, ou *Unité Aït Sedrat*, repose en discordance angulaire sur les formations du Jurassique, du Paléogène, de la formation éocène d'Ait Arbi et du Crétacé. Elle domine la plupart des paysages de la vallée de l'Oued Dadès sur une épaisseur comprise entre 300 et 400 m. Du point de vue sédimentaire, cette Unité correspond à des méga-séquences positives formées de conglomérats, grès grossiers, grès fins, siltites, argilites et calcaires lacustres (Benammi et al., 1995). Les conglomérats sont massifs, constitués d'éléments hétérométriques (de taille pouvant atteindre 1,20 m), arrondis à subanguleux, dans une matrice de sable limono-argileux. Les éléments sont issus surtout de calcaire du Jurassique, grès, quartzites et rhyolites.

Sur la bordure nord du bassin, les données sédimentologiques de la Formation de Aït Kandoula mettent en évidence la progradation de cônes alluviaux au sein d'un système de plaines alluviales à influence lacustre (El Harfi, 1994 ; El Harfi et al., 1996).

4.2.4. *Formations quaternaires*

Les formations du Quaternaire ancien, d'une épaisseur avoisinant les 30 mètres, reposent en discordance angulaire sur les unités mio-pliocènes de la Formation d'Aït Kandoula et du bassin d'Aït Sedra. Ces dépôts sont principalement constitués de conglomérats bien différenciés et consolidés, en contact net avec les niveaux sous-jacents. Les éléments conglomératiques présentent une hétérométrie marquée et une granulométrie plus grossière. Ces dépôts fluviaux anciens sont disposés en terrasses situées à des altitudes inférieures à la surface du Mio-Pliocène dans la vallée de l'oued Dadès. Ils forment une plaine relativement continue, d'extension supérieure à celle de la plaine alluviale actuelle.

Les terrasses hautes et basses témoignent de plusieurs cycles d'érosion et de sédimentation s'étendant du Quaternaire ancien au Quaternaire récent. Elles sont caractérisées par l'accumulation de graviers fluviaux grossiers en lien avec la surrection continue du Haut Atlas (Görler et al., 1988). Chaque cycle d'érosion et de dépôt est associé à des épisodes climatiques glacio-pluviaux, marqués par une augmentation significative des précipitations dans les massifs du Haut Atlas et de l'Anti-Atlas (Riser, 1988).

Actuellement, les rivières traversant les plaines alluviales poursuivent l'érosion des vallées du Haut Atlas en direction de l'oued Dadès, principal cours d'eau du bassin. Ces réseaux hydrographiques récents sont associés à des cycles d'érosion plus jeunes. Ils ont profondément incisé la partie méridionale des dépôts de bassin, et ont laissé plusieurs mètres de sédiments détritiques sur les surfaces planes des terrasses durant les phases tardives de chaque cycle pluvial.

La transition vers des climats arides interglaciaires, caractérisés par une diminution significative de l'apport hydrique, s'accompagne de dépôts de clastes grossiers sous forme d'épandages fluviaux localisés à proximité des fronts montagneux (Riser, 1988).

Enfin, des colluvions d'une épaisseur variant de 1 à 3 mètres apparaissent de manière discontinue le long des collines basses, notamment en bordure des lits actifs des rivières traversant les plaines alluviales.

4.3. - Tectonique synsédimentaire

L'analyse des différents faciès et la disposition verticale et latérale des faciès des dépôts de la série continentale du bassin d'Ouarzazate et de la zone subatlasique sont révélatrices de l'évolution tectonique et géodynamique affectant la chaîne du Haut Atlas. Sur la base des discordances entre les principales formations sédimentaires et les flux conglomératiques dans le bassin d'Ouarzazate, deux phases compressives liées à la formation du Haut Atlas ont été mises en évidence (Frizon de Lamotte et al., 2000). La première aurait débuté dès l'Eocène

supérieur, c'est-à-dire au moment du dépôt de la formation d'Aït Arbi, et la seconde au cours du Pléistocène inférieur, au moment du dépôt de la partie supérieure de la formation d'Aït Kandoula.

IV. Processus génétique

Dans la région de Boumalne-Dadès, les formations de l'Eocène supérieur dites « *doigts de singe* » résultent du façonnement des formations rouges conglomératiques, le long des plans de diaclases selon différentes façons.

1 – Les diaclases

Les diaclases sont définies comme étant des fractures ouvertes sans mouvement relatif des deux compartiments qu'elles séparent et ne montrent aucun signe de broyage ou écrasement. Elles s'organisent en réseaux composés de plusieurs familles, dont chacune est constituée par des diaclases parallèles de même direction. Par convention, chaque direction d'une famille de diaclases est notée J. Si la roche présente quatre familles de diaclases, on utilise la nomenclature J1, J2, J3 et J4 (fig.12).

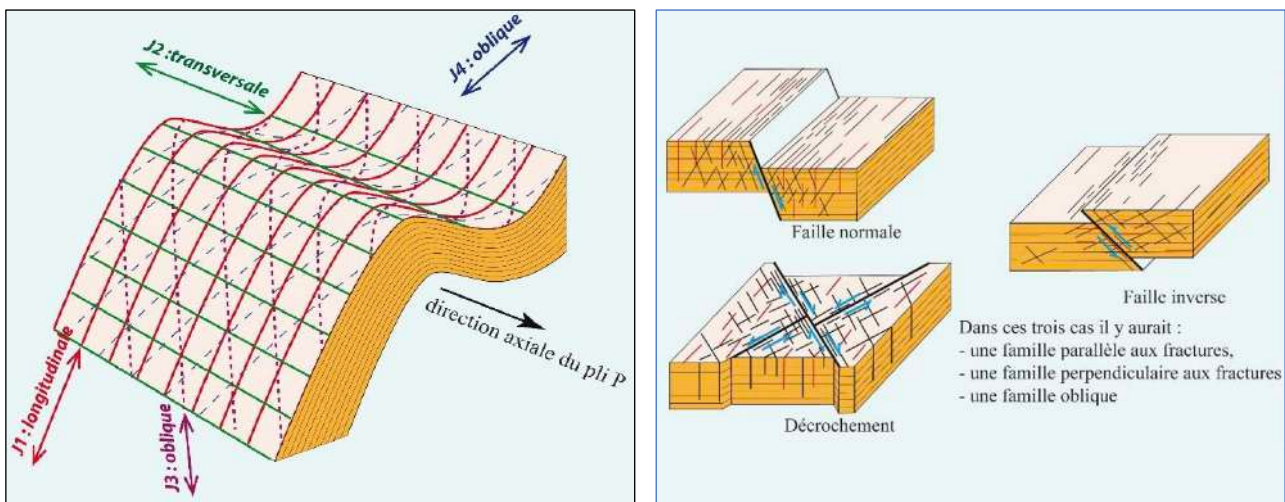


Figure 12: Schémas théoriques des diaclases. A : quatre familles de réseaux de diaclases J1, J2, J3 et J4 associées à un pli (d'après Ramsay & Huber, 1987, modifié) ; B : Diaclases associées aux failles locales ou régionales (d'après Hancock, 1985, modifié).

La genèse des réseaux de diaclases est étroitement liée aux cycles orogéniques et aux événements tectoniques qui les accompagnent, tels que les phases de distension, de compression, d'exhaussement ou encore de subsidence. Ces fractures se développent en cohérence avec le plan des contraintes principales, et leur formation est favorisée par divers facteurs externes, notamment la pression des fluides, la contraction thermique ainsi que les contraintes résiduelles (Engelder, 1985 ; Suppe, 1985). Leur manifestation dans les roches dépend en grande partie de la compétence mécanique de ces dernières.

A chaque événement tectonique (local ou régional) correspondrait un ou plusieurs événements générant les diaclases. De ce fait, dans une région donnée, qui a connu plusieurs événements tectoniques, on doit s'attendre à une grande diversité directionnelle de générations de diaclases superposées. Ainsi, dans le Haut Atlas et son avant-pays méridional, Ouanaimi (2004) a identifié six familles de directionnelles de diaclases: J1, J2, J3, J4, J5 et J6 liées au plissement atlasique dont chaque direction est désignée par une couleur donnée afin d'en simplifier la lecture.

Dans la région de Boumalne-Dadès les principaux réseaux de diaclases identifiés sont les suivantes :

- **la famille J1** de direction N150 à N160, perpendiculaire aux plis (famille transversale), régulière, linéaire, souvent très continue sur des dizaines de mètres et espacée.

- **la famille J2** de direction N60 à N70, parallèle aux axes des plis (famille axiale ou longitudinale) est relativement régulière, non linéaire et anastomosée, avec une géométrie localement en lentilles à cause de l'hétérogénéité du matériel affecté.
- **la famille J3** oblique, de direction N120 à N135, très espacée, présentant une faible continuité et à peine visible dans les faciès compétents, ou encore perturbée par le caractère non linéaire et anastomosé de la famille J2
- **la famille J4** oblique, de direction N40 à N60, fruste, souvent inaperçue du fait d'un grand espacement ou d'une faible continuité.

Les familles J1 et J2 sont plus précoces que les autres ; elles sont dominantes, toujours présentes dans la région et localement peuvent exister seules en réseau orthogonal. Elles sont liées au plissement ENE-WSW, lors du serrage majeur, donc au champ de contrainte régional (N150/160), parfois N-S, ou à un champ local N120/130 (Ouanaimi, 2004) ; tandis que les familles J3 et J4 sont probablement tardives rapportées aux plis NE-SW du raccourcissement atlasique.

2 – Processus architecturaux

La formation d'Aït Arbi est fracturée par un réseau de diaclases désignées J1, J2, J3 et J4, qui constituent des zones de faiblesse favorisant les processus d'altération. L'eau d'infiltration s'introduit dans ces fractures, où elle circule en continu, entrant en contact avec les multiples faces cristallines des minéraux. Cette interaction entraîne des réactions mécaniques et chimiques, principalement avec les minéraux les moins résistants.

Les produits de cette altération sont ensuite mobilisés par les eaux de ruissellement, soit sous forme dissoute, soit à l'état solide. Ces eaux, en raison de leur conductivité hydraulique nettement supérieure à celle de la matrice rocheuse environnante, présentent un fort pouvoir érosif.

L'ouverture des diaclases a également été favorisée par les cycles de gel et de dégel associés à la contraction thermique durant le Quaternaire. Trois facteurs principaux ont ainsi joué un rôle déterminant dans la genèse des formes sculptées à la surface du niveau conglomératique de l'Éocène supérieur (Planches 1 et 2-A), connu sous le nom de « doigt de singe » : l'hétérogénéité de la roche, la géométrie des diaclases et la dynamique des fluides météoriques circulant à travers celles-ci.

Parmi les structures morphologiques observables, on note la présence de formes en « amandes », résultant d'une érosion différentielle selon les directions J1 et J3, tandis que l'altération le long de J2 demeure limitée (Planche 2-B). Localement, l'altération mécanique et chimique progresse en profondeur à l'intérieur des blocs conglomératiques, principalement selon les directions J1 et J2. Cette évolution débute par l'isolement de formes cubiques, qui, sous l'effet de l'érosion, s'émoussent progressivement pour adopter une morphologie sphérique au niveau des plans de stratification (Planche 3-A).

Avec le temps, ces sphères évoluent verticalement en structures appelées « demoiselles coiffées », témoignant d'un phénomène d'érosion différentielle. Ce processus s'explique par une variation de la compétence mécanique des matériaux, le sommet de ces formes étant constitué d'un faciès conglomératique plus résistant, surmontant un faciès gréseux plus friable (Planche 3-B).

V. Conclusion

Les dépôts continentaux de l'Éocène supérieur, communément appelés « *doigts de singe* », situés dans la région de Boumalne-Dadès, représentent un géomorphosite d'un grand intérêt géotouristique. Leur originalité morphologique, contrastant nettement avec les formations avoisinantes, constitue un attrait paysager majeur. Ces formes s'intègrent harmonieusement au cadre naturel des oasis ainsi qu'à l'architecture contemporaine locale (Planche 1).

Dans une optique de valorisation géotouristique, l'intérêt de ces géomorphosites réside dans la mise en place de supports de médiation scientifique accessibles au grand public. Il s'agit notamment de fiches identitaires

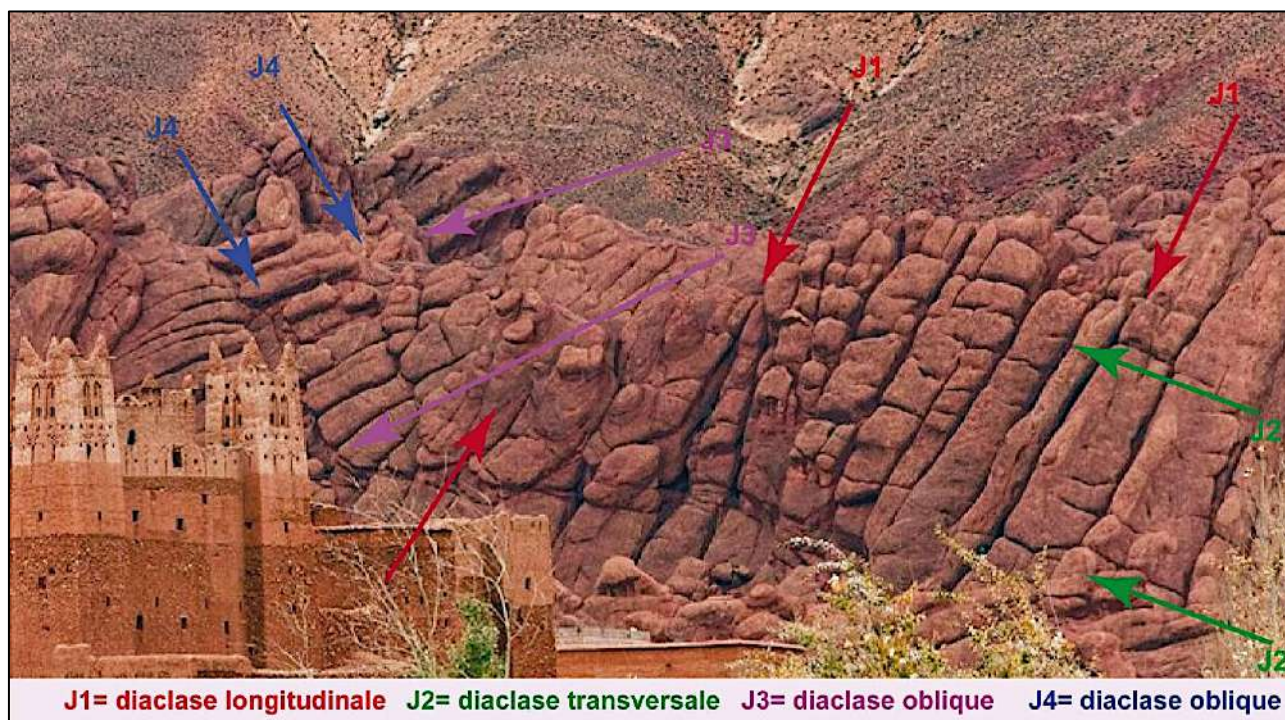
claires, illustrées, intégrant des éléments de vulgarisation scientifique. Ces documents devraient proposer une lecture simplifiée de l’histoire géologique de la formation, en utilisant l’échelle des temps géologiques et en soulignant les aspects géodynamiques et sédimentologiques suivants :

- **Âge des dépôts** : Ces formations datent de l’Éocène supérieur, plus précisément du Priabonien, une période comprise entre 37,8 et 33,9 millions d’années (selon la charte chronostratigraphique de l’IUGS, 2019), soit un intervalle de temps de 3,9 millions d’années.
- **Contexte géodynamique régional** : Les dépôts se sont mis en place dans un cadre tectonique marqué par l’émergence progressive du Haut Atlas, amorcée dès le Cénomano-Turonien, suivie d’un basculement structural vers le sud.
- **Dynamique d’érosion et sédimentation** : L’intensification de l’érosion des reliefs atlasiques a alimenté les bassins sédimentaires de la gouttière éocène de Boumalne-Dadès en matériaux détritiques d’origine continentale.
- **Structuration fracturale** : La formation est affectée par un réseau de six familles de diaclases, dont la présence et l’expression varient en fonction de la nature lithologique des roches.
- **Évolution morphogénique** : À partir du Mio-pliocène, les processus d’érosion ont été guidés par ces structures fracturales, donnant naissance à des formes paysagères caractéristiques, notamment les célèbres « doigts de singe ».

Cette approche de valorisation, à la croisée des dimensions culturelle, éducative et scientifique des géosciences, permet une meilleure compréhension de la genèse et de l’évolution spatio-temporelle de ces formations continentales. Elle favorise également une sensibilisation du public au patrimoine géologique local tout en renforçant l’attractivité touristique du territoire.

Planche 1 : Panoramas montrant les géomorphosites dits « doigts de singe » dans la région de Boumalne-Dades.



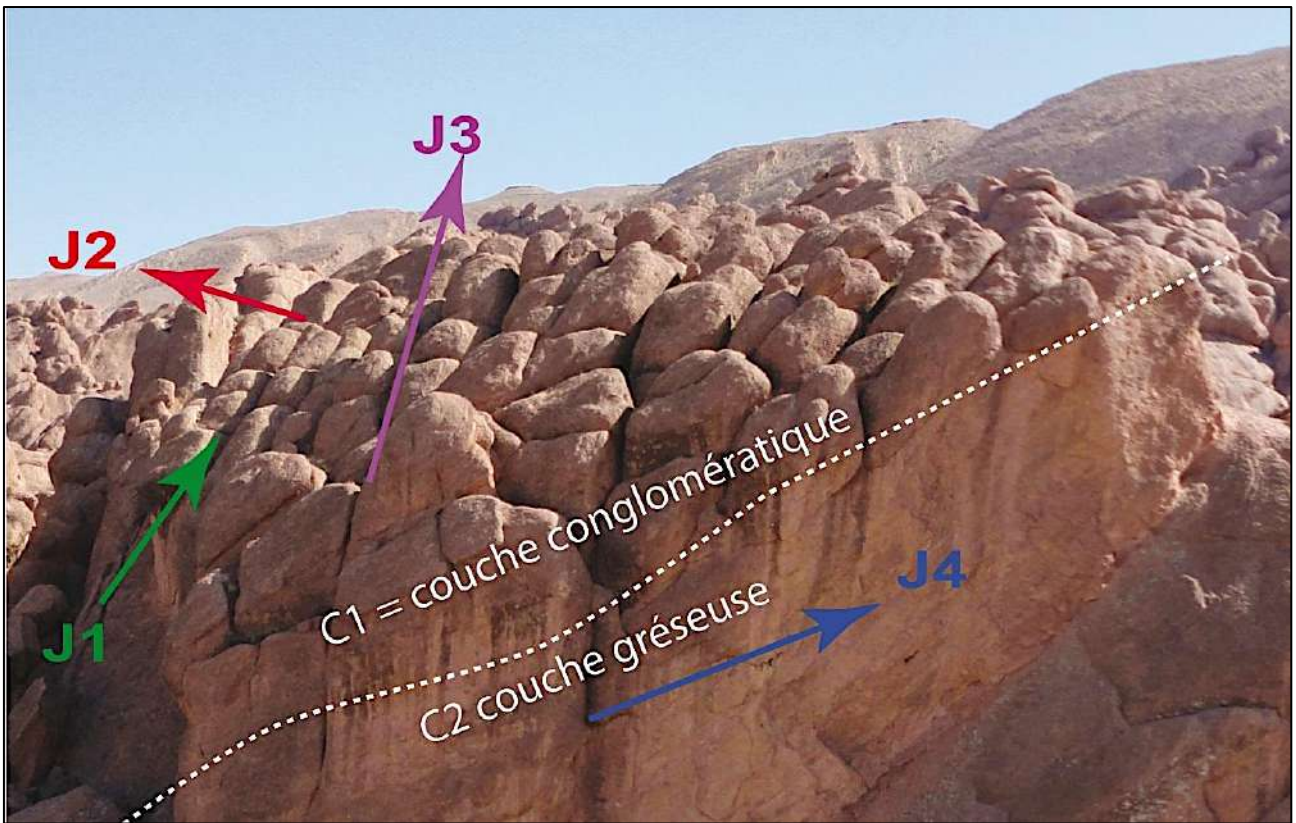
Planche 2 : La fracturation dans les faciès du géomorphosite des « doigts de singe »

A : Différents types de réseaux de diaclases

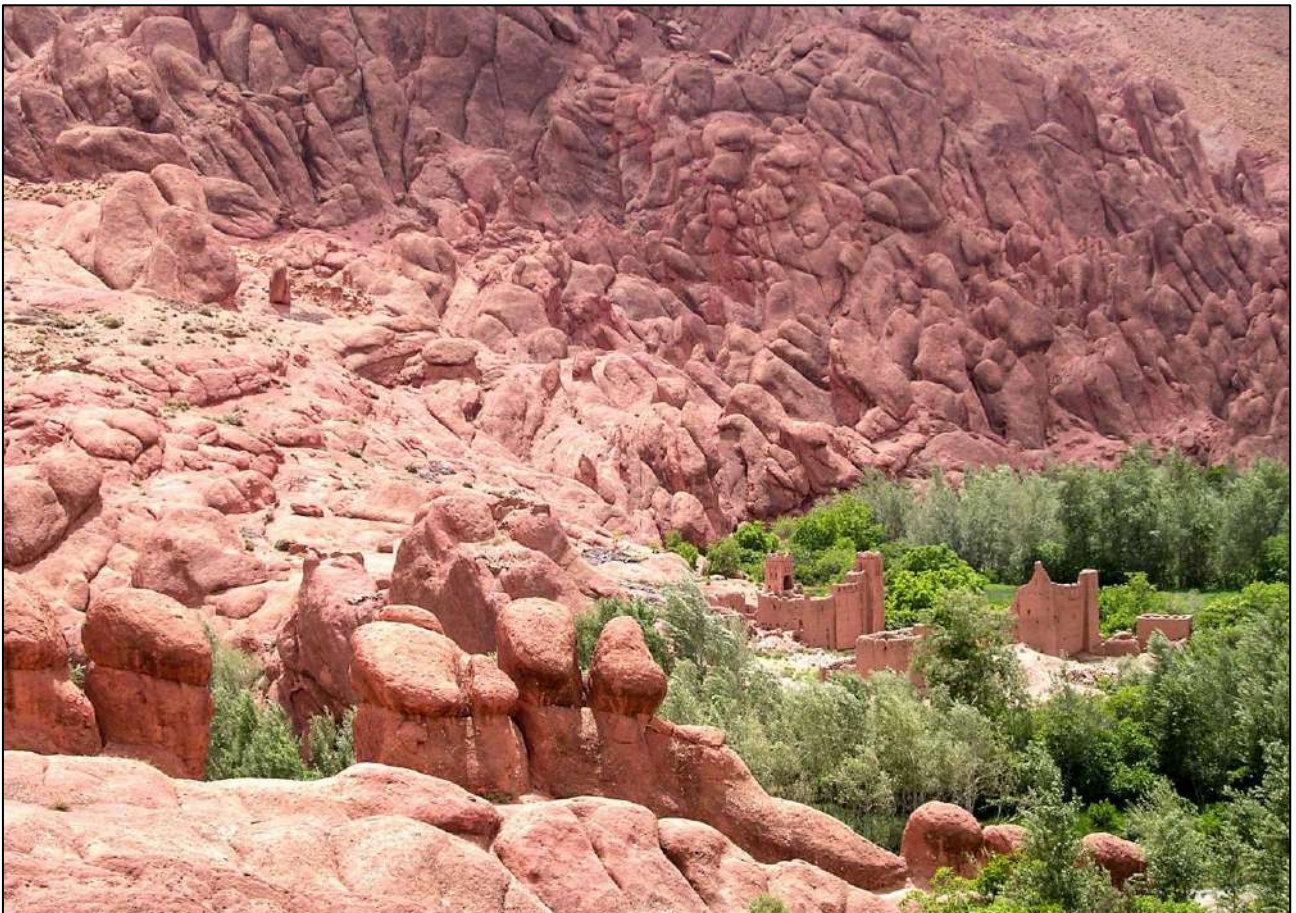


B : Érosion sélective en relais.

Planche 3 : Différentes formes de relief observées dans le géosite des « doigts de singe »



A : Géomorphosite en boules



B : Au premier plan, érosion différentielle et naissance du relief dit des "demoiselles coiffées"

Références

- Agoussine M., Saidi M.E.M., & Igoullan B. (2004): Reconnaissance des ressources en eau du bassin d'Ouarzazate (sud-est marocain). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre*, n°26, 81-92.
- Beauchamp W, Allmendinger RW, Baranzagi M, Demnati A, El Alji M & Dahmani M (1999): Inversion tectonics and the evolution of the High Atlas Mountains, Morocco, based on a geological-geophysical transect. *Tectonics* 18:163-185.
- Belfoul M. (1991): La structuration hercynienne dans région de Labiar-oued Boussafene (Guelmim, Anti-Atlas sud-occidental). *Thèse 3^e cycle, Univ. Mohamed V, Rabat*, 162p.
- Benammi M., Calvo M, Prevot M. & Jaeger J.J. (1996): Magnetostratigraphy and paleontology of Ait Kandoula Basin (High Atlas, Morocco) and the African-European late Miocene terrestrial fauna exchanges. *Earth Planet Sci Lett* 145:15–29.
- Benammi M, Orth B, Vianey-Liaud M, Chaimanee Y, Suteethorn V, Feraud G, Hernandez J. & Jaeger J.J. (1995): Micromammifères et biochronologie des formations néogènes du flanc sud du Haut-Atlas Marocain; implications biogéographiques, stratigraphiques et tectoniques. *Afr Geosci Rev* 2:279–310.
- Benammi M. & Jaeger J.J. (2001): Magnetostratigraphy and palaeontology of the continental Middle Miocene of the Ait Kandoula Basin, Morocco. *J Afr Earth Sci* 33:335–348.
- Bensaou M., Laaouar R., De Sanjose M.A., Aramburu C., El Archi A. Ezzouhairi H. & Lakhoulfi A. (1994): Early Paleozoic evolution in NW Gondwana, *guide book, 2nd Intern. Meet. Morocco, I.G.C.P. 351*, 118p
- Bensaou, M. (1991): Le Protérozoïque terminal-Cambrien inférieur de l'Anti-Atlas occidental (Maroc) : un rift intracontinental établi au voisinage d'une zone de suture panafricaine. *Thèse 3^{ème} cycle*.
- Bertrand H. & Westphal M. (1977): Comparaisons géologiques et paléomagnétiques des tholeites du Maroc et de la côte orientale de l'Amérique du nord : implications pour l'ouverture de l'Atlantique. *Bulletin Société Géologique France*, 7 (3): 513-520
- Brede R., Hauptmann M. & Herbig H.G. (1992): Plate tectonics and the intracratonic mountain ranges in Morocco—The Mesozoic-Cenozoic development of the Central High Atlas and the Middle Atlas: *Geologische Rundschau*, v. 81, p. 127–141.
- Choubert G. (1945): Note préliminaire sur le Pontien au Maroc (Essai de synthèse orogénique du Maroc atlasique).— *Notes & Mém. Serv. Géol. Maroc*, N°65, et *Bull. Soc. Géol. France* (5) 15: 677–764.
- Choubert G. (1952) : Le volcan géorgien de la région d'Alougoum (Anti-Atlas). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Série D*, 234, pp. 350- 352.
- Choubert G. & Faure-Muret A. (1962) : Evolution du domaine atlasique marocain depuis les temps paléozoïques. Livre à la Mémoire du Professeur Paul Fallot, *Mémoire hors-série 1, Société géologique de France 1, Paris*, pp 447–527.
- Destombes J. (2006) : Carte géologique au 1/200 000 de l'Anti-Atlas marocain. Feuille Todrha-Maïder. Mémoire explicatif. *Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc. n° 243 bis*.
- Destombes J. (2006) : Carte géologique au 1/200000 de l'Anti-Atlas marocain. Feuille jbel Saghro-Dades. Mémoire explicatif. *Notes & Mém. Serv. Géol. Maroc, N°161bis*.
- Destombes J., Hollard H. & Willefert S. (1985): Lower Paleozoic rocks of Morocco, *In: Lower Paleozoic rocks of the World, Holland C.H. eds, 4, p.91-336*.
- Dresnay Du R. (1976-a) : Les structures en « Tipis » liées aux faciès carbonatés intertidaux et supratidaux du Lias inférieur, dans le domaine des chaînes atlasiques du Maroc. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 282: 2059-2062.
- Dresnay Du R. (1976-b) : Signification paléoclimatique et paléogéographique de la présence de structure en Tipis, au Lias inférieur, dans le domaine des chaînes atlasiques du Maroc. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 282: 2147-2149.
- El Harfi A. (1994) : Dynamique sédimentaire des séries continentales tertiaires au Sud du Haut Atlas central (bassins d'Ouarzazate et Anzal, Maroc). Faciès et milieux de dépôts. Evolution diagénétique et pédogénétique. *Thèse, Univ Bourgogne, Dijon*, pp 1-314.
- El Harfi A., Lang J., Salomon J. & Chellai E.H. (2001): Cenozoic sedimentary dynamics of the Ouarzazate foreland basin (Central High Atlas Mountains, Morocco). *International Journal of Earth Sciences*, vol. 90, n° 2, pp. 393-

411.

- El Harfi A., Lang J. & Salomon J. (1996) : Le remplissage continental cénozoïque du bassin d'avant-pays d'Ouarzazate. Implications sur l'évolution géodynamique du Haut Atlas central (Maroc). *CR Acad Sci Paris* 323:623-630.
- El Harfi A., Lang J., Salomon J. & Chellai E.H. (2001): Cenozoic sedimentary dynamics of the Ouarzazate foreland basin (Central High Atlas Mountains, Morocco), *Int. J. Earth Sci* 90, pp: 393–411.
- Engelder T. (1985): Loading paths to joint propagation during a tectonic cycle: an example from the *Appalachian Plateau, U.S.A.*, *J. Str. Geol.*, 7, 3-4, p.459-476.
- Errorhaoui K. (1997) : Structure du Haut Atlas: Plis et chevauchements du socle et de couverture (interprétations des données géophysiques et géologiques). *These Doctorale, University of Paris-Sud, Orsay*, pp 1–378.
- Ettachfni E.M. & Andreu B. (2004): The Cenomanian and Turonian of the Preafrican Platform. *Cretac Res* 25:277–302.
- Ettaki M. (2003) : Etude sédimentologique et stratigraphique du Liasdébut du Dogger de la région de Todrha-Dadès (Versant sud du Haut Atlas central, Maroc) - Implications géodynamiques. - Thèse de Doctorat, Univ. Cadi Ayyad, Marrakech, 429 p.
- Ettaki M., Ibouh H. & Chellai E.H. (2007) : Événements Tectono-Sédimentaires au Lias-Dogger de la frange méridionale du Haut-Atlas central, Maroc. *Estudios Geologicos* 63 (2), 103-125.
- Ettaki M. (2003) : Etude sédimentologique et stratigraphique du Lias-début du Dogger de la région de Todrha-Dadès (versant sud du Haut-Atlas central, Maroc)-Implications géodynamiques. *PhD thèse Université Cadi Ayyad de Marrakech*, 429 p.
- Ettaki M. & Chellaï E. H. (2005) : Le Toarcien inférieur du Haut-Atlas de Todrha-Dadès (Maroc) : sédimentologie et lithostratigraphie. *C. R. Géosciences, Paris*, 337: 814-823.
- Ettaki M., Chellaï E. H., Milhi A., Sadki D. & Boudchiche L. (2000a) : Le passage Lias moyen-Lias supérieur dans la région de Todrha-Dadès : événements bio-sédimentaires et géodynamiques (Haut Atlas central, Maroc). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 331: 667-674.
- Ettaki M., Milhi A., Chellaï E. H., Boudchiche L. & Sadki D. (2000b) : Mise en évidence de la limite Pliensbachien-Toarcien par les ammonites, les foraminifères et l'interaction tectono-eustatique dans la région de Todrha-Dadès, (Haut-Atlas central, Maroc). *Revue Paléobiol.*, 19: 299-317.
- Ettaki M., Sadki D., Chellaï E. H. & Milhi A. (2007) : Interaction eustatisme-tectonique dans le contrôle de la sédimentation au Jurassique inférieur et moyen dans la région de Todrha-Dadès (versant sud du Haut-Atlas central, Maroc). *Notes & Mém. Serv. Géol. Maroc*, n° 527, pp. 55-64,.
- Farazdaq R. (1997) : Cartographie satellitaire et topographie numérique : Application aux hercynides marocaines (Jebilet, Zaër et Bas-Drâa). *Thèse d'Université Rennes I*.
- Fraissinet C.E.; Zouine M., Morel J.L., Poisson A., Andrieux J. & Faure-Muret A. (1988): Structural evolution of the southern and northern central High Atlas., In: *The Atlas System of Morocco (Jacobshagen, V., Ed.)*, Springer-Verlag, Berlin, 273-291.
- Frizon de Lamotte D, Saint Bezar B. & Bracène R (2000): The two main steps of the atlas building and geodynamics of the Western Mediterranean. *Tectonics* 19:740–761.
- Frizon de Lamotte D., Zizi M., Missenard Y., Hafid M., El Azzouzi M., Maury R.C., Charrière A., Taki Z., Benammi M. & Michard A. (2008): The Atlas System, The Geology of Morocco. *Lecture Notes in Earth Sciences* 116, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008
- Gasquet D., Levresse G., Cheilletz A., Azizi-Samir M.R. & 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*, vol. 140, n° 3-4, pp. 157-182.
- Gauthier H (1957) : Contribution à l'étude géologique des formations post-liasiques des bassins du Dades et du haut Todra (Maroc méridional). *Notes & Mém. Serv. Géol. Maroc*, 119, Rabat, pp 1-137
- Gauthier H (1960) : Contribution à l'étude géologique des formations post-liasiques des bassins du Dadès et du Haut Todra (Maroc méridional). *Notes & Mém. Serv. Géol. Maroc*, 119:1-212

- Görler K. & Zucht M. (1986) : Stratigraphie und Tektonik des continentalen Neogens im Suden des sentralen Hohen Atlas, Provinz Ouarzazate (Marokko). *Berl. Geowiss. Abh.*, (A), 66, pp. 471-494.
- Görler K., Helmdach, F., Gaemers P., Heissig K., Hinsch W., Mèdler, K.; Schwarzhans W. & Zucht M. (1988).: The uplift of the Central Atlas as deduced from Neogene continental sediments of the Ouarzazate province, Morocco. In: *The Atlas System of Morocco (Jacobshagen, V., Ed.)*, Springer-Verlag, Berlin, 361-404.
- Hancock, P.L. (1985): Brittle microtectonics: principles and practice. *Journal of Structural Geology*, 7: 437-457.
- Haq BU, Hardenbol J. & Vail PL (1987): Chronology of fluctuating sea levels since the *Triassic*. *Science* 235:1156-1167
- Hassenforder B. (1987) : La tectonique panafricaine et varisque de l'Anti-Atlas dans le massif de Kerdous (Maroc). *Thèse Doctorat ès-Sci. Univ. Strasbourg*, 249 p.
- Hawkins M.P. Beddoe-Stephens B., Gillepie M.R., Loughlin S., Barron H.F., Barnes R.P., Powell J.H., Waters C.N. & Williams M. (2001) : Carte géologique du Maroc au 1/50 000, feuille Tiwit. *Notes & Mém. Serv. Géol. Maroc*, 404.
- Herbig HG (1986): Lithostratigraphisch-fazielle Untersuchungen im marinen Alttertiar südlich des zentralen Hohen Atlas (Marokko). *Berliner Geowiss Abh* 66:343-380
- Herbig H.G. (1991): Das Paläogen am Südrand des zentralen Hohen Atlas und im Mittleren Atlas Marokkos. Stratigraphie, Fazies, Paléogeographie und Paläotektonik. *Berliner geowissenschaften Abhandlungen (A)*. 135, pp. 1-289, pls. 40.
- Herbig H.G. & Trapp J. (1994): Stratigraphy of the Subatlas Group (Maastrichtian-Middle Eocene, Morocco). *Newslet. Stratigr* 30. pp. 125-165.
- Ibough, H. (2004) : Du Rift avorté au bassin sur décrochement, contrôle tectonique et sédimentaire pendant le Jurassique (Haut-Atlas central, Maroc). *Thèse Université Cadi Ayyad de Marrakech*, 212 p.
- Ikenne M., Souhassou M. & Arai S. (2017) : Magmatism, metamorphism and associated mineralization in North Africa and related areas, *Journal of African Earth Sciences*, Volume 127, Pages 1-252
- Jossen J.A. & Filali Moutei J. (1988) : Bassin d'Ouarzazate, synthèse stratigraphique et structurale : contribution à l'étude des aquifères profonds - Projet PNUD - DRPE (Direction de la Recherche et de la planification de l'Eau) MOR /86/004- *Exploration des eaux profondes. Rapp. Inédit.*, 38 p., 1 carte, 3 coupes.
- Laville E (1980) Tectonique et microtectonique d'une partie du versant sud du Haut Atlas marocain (Boutonnière de Skoura, Nappe de Toundout). *Notes & Mém. Serv. Géol. Maroc*, 285:81-183
- Laville E, Lesage J.L. & Seguret M. (1977) : Géométrie et cinématique (dynamique) de la tectonique sur le versant sud du Haut Atlas marocain. Aperçu sur les tectoniques hercyniennes et tardi-hercyniennes. *Bulletin de la Société géologique de France* 7(XIV):527-539
- Leblanc M. (1975) : Ophiolites Precambrian et gîtes arséniés de cobalt (Bou-Azzer, Maroc). *Thèse Univ. Sci. Tech. Languedoc, Cent. Géol. Géophys., Montpellier, France*. 329 p.
- Leblanc M. & Lancelot J.R. (1980) : Interprétation géodynamique du domaine panafrican (Précambrian terminal) de l'Anti-Atlas (Maroc) à partir de données géologique et géochronologique : *Canadien Journal of Earth Science*, vol. 17, pp. 142-155.
- Maloof A.C., Shragd.P., Crowley J.L. & Bowrings A. (2005) An expanded record of Early Cambrian carbon cycling from the Anti-Atlas margin, Morocco. *Canadian Journal of Earth Sciences*; vol. 42, n° 12, pp. 2195-2216.
- Mehdi M., Neuweiler F. & Wilmsen M. (2003): Les formations du Lias inférieur du Haut Atlas central de Rich (Maroc) : précisions lithostratigraphiques et étapes de l'évolution du bassin. *Bull. Soc. géol. Fr.*, t. 174, n 3, pp. 227-242.
- Missenard Y. (2006): Le relief des Atlas Marocains : Contribution des processus asthénosphériques et du raccourcissement crustal, aspects chronologiques, Thèse de Doctorat, Université de Cergy-Pontoise, France.
- 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 d'Université, Montpellier II*, 228p
- Ramsay J.G. & Huber M.L. (1987): The techniques of modern structural geology. Vol.2, *Folds and Fractures*. Academic Press, 700 p.

- Riser J. (1988) : Le jbel Sarhro et sa Retombée Saharienne (sud-est Marocain) Etude Géomorphologique. *Notes et Mém., Serv. Géol. Maroc*, n° 317. 361 p.
- Rocci G, Bronner G, Deschamps M (1991) Crystalline basement of the West African Craton. In: Dallmeyer RD, Lécroché JP (eds). Springer-Verlag, Berlin, pp 31–61
- Roch E (1939) : Histoire stratigraphique du Maroc. *Notes & Mém. Serv. Géol. Maroc*, 51:1-483
- Saquaque A. (1992) : Un exemple de suture-arc : le Précambrien de l'Anti-Atlas centre-oriental. *Thèse Doctorat ès-Sciences. U.C.A. Marrakech*, 348 p.
- Soulaimani A., LeCorre Cl. & Farazdaq R. (1997): Déformation hercynienne et relation socle/couverture dans le domaine du Bas-Drâa (Anti-Atlas occidental, Maroc). *Jour. Afr. Ear. Sci.*, 24, 3, p.271-284.
- Suppe J. (1985): Principles of structural Geology. *Prentice-Hall*, 537 p.
- Sutcliffe O.E. & Dowdeswell J.A., Whittington R.J., Theron J.N. & Craig, J. (2000 a): Calibrating the Late Ordovician glaciation and mass extinction by the eccentricity cycles of Earth 's orbit. *Geology*, v. 28, p.967-970.
- Thomas R.J., Fekkak A., Ennih N., Errami E., Loughlin S.C., Gresse P.G., Chevalier L.P. & Liegeois J.P. (2004) : A new lithostratigraphic framework for the Anti-Atlas Orogen, Morocco. *Journal of African Earth Sciences*, vol. 39, pp. 217-226.
- Trappe J (1991) : Stratigraphy, facies distribution and paleogeography of the Marine Paleogene from the western High Atlas, Morocco. *N. Jahrb Geol Palaontol Abh* 180:279-321
- Trapp, S., Mc Farlane, C., Matthies, M., 1994. Model for uptake of xenobiotic into plants: validation with bromacil experiments. *Environmental Toxicology and Chemistry* 13, 413-422.
- Vail PR (1987) : Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. *Am Assoc Petrol Geol Stud Geol* 7:1
 Vail PR (1987) : Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. *Am Assoc Petrol Geol Stud Geol* 7:1

Les terres volcaniques du Causse moyen atlasique : Mise en valeur et appropriation patrimoniale

Toufik Remmal, Kawtar Lakroud¹, Sara Mountaj¹, Pierre Boivin², Christine Montoloy³, François Dominique De Larouzière⁴, Fouad El Kamel¹, Iz-Eddine El Amrani – El Hassani⁵, Yves Lacot⁶, Samira Makhoukhi¹, Fouad Amraoui¹, Hasna Chennaoui¹, Mohamed Soufi¹ & Halima Jounaid¹

1. Faculté des Sciences Ain Chock, Université Hassan II de Casablanca
2. Laboratoire Magma et Volcan, Université de Clermont Auvergne, France
3. Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne (PNRVA), France
4. Parc européen du volcanisme VULCANIA, Puy de dômes, France
5. Institut Scientifique, Université Mohammed V de Rabat
6. Entreprise de Recherche et d'Exploitation des Géomatériaux (CERF)

Auteur correspondant : Iz-eddine El Amrani – El Hassani : izdinelamrani@gmail.com

Résumé

Le Causse moyen atlasique constitue une vaste aire naturelle protégée, englobant une part importante des terrains volcaniques situés principalement entre les localités d'Azrou et de Timahdite. Ces formations se manifestent dans le paysage par de larges coulées de basalte, au sein desquelles émergent des édifices volcaniques monogéniques remarquablement bien conservés. Par sa forte présence visuelle et géomorphologique, ce patrimoine naturel offre un potentiel considérable pour le développement du tourisme géologique. Il peut ainsi être mobilisé comme levier de valorisation territoriale et de développement local durable. Dans cette perspective, un plan d'action est proposé afin de promouvoir la mise en valeur et l'appropriation patrimoniale de ce géosite, dans le cadre d'un projet intégrateur fondé sur les ressources naturelles et humaines de la région.

Abstract

The Middle Atlas Causse constitutes a vast protected natural area, encompassing a significant portion of the volcanic terrain located mainly between the localities of Azrou and Timahdite. These formations are displayed in the landscape by large basalt flows, within which exceptionally well-preserved monogenic volcanic edifices emerge. With its strong visual and geomorphological presence, this natural heritage offers considerable potential for the development of geological tourism. Actors involved in geological tourism can thus leverage this natural asset to promote territorial enhancement and foster sustainable local development. With this in mind, an action plan is proposed to promote the development and heritage appropriation of this geosite, within the framework of an integrative project based on the region's natural and human resources.

1. Introduction

Le plateau d'Azrou-Timahdite, situé au piémont du Moyen Atlas, abrite un ensemble remarquable de volcans récents, dont les formes sont particulièrement bien préservées. Les dernières manifestations éruptives de cette région ne remontent qu'à quelques milliers d'années. Ce territoire se distingue par la diversité et la densité des édifices volcaniques sur une superficie restreinte et facilement accessible, la fraîcheur de ses morphologies, la linéarité de la chaîne, ainsi que par une variabilité pétrographique allant des basaltes subalcalins aux néphélinites. L'ensemble constitue ainsi une véritable "encyclopédie" du volcanisme, tant par sa richesse géologique que par sa lisibilité scientifique.

Toutefois, cette lisibilité n'est pleinement perceptible que pour un public initié, capable d'identifier les formes caractéristiques des volcans monogéniques et les structures liées aux dépôts volcaniques. Cela souligne la nécessité d'une mise en valeur appropriée du site, accompagnée d'une démarche d'appropriation patrimoniale.

C'est dans cette optique que le développement du territoire, fondé sur l'attractivité géotouristique de ses géosites, a fait l'objet d'un projet de recherche soutenu par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques. Ce projet réunit des équipes pluridisciplinaires, incluant des chercheurs marocains et français, autour d'une démarche intégrée de valorisation scientifique, pédagogique et touristique:

Note : Cet article s'inscrit dans le cadre du projet de recherche financé par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, intitulé : *“Recherche pluridisciplinaire sur les géomatériaux et les géosites volcaniques du Maroc : nécessité de leur valorisation et de leur exploitation dans les perspectives d'un développement durable.”*

- Faculté des Sciences Ain Chock, Université Hassan II de Casablanca ;
- Institut Scientifique, Université Mohammed V de Rabat ;
- Le Laboratoire Magma et Volcan (LMV) de l'Université Clermont Auvergne ;
- Le Parc européen du volcanisme "l'aventure de la terre (VULCANIA) ;
- Le parc naturel régional des volcans d'Auvergne (PNRVA) ;
- L'Entreprise de recherche et d'exploitation des géomatériaux (CERF).

La présente étude propose une analyse de certains aspects du potentiel paysager de la région, mis en évidence par son héritage volcanique. L'objectif est d'engager une réflexion sur les modalités de valorisation de ce patrimoine naturel exceptionnel — unique à l'échelle nationale — en tant que levier stratégique pour le développement du tourisme. Cette démarche repose sur une idée centrale et porteuse : faire découvrir et interpréter les volcans *in situ*, c'est-à-dire au cœur même de ces paysages volcaniques, en tirant parti de leur puissance évocatrice et pédagogique.

2. Cadre géologique et morpho-structural du Moyen Atlas

Le Moyen Atlas constitue une chaîne intracontinentale orientée globalement NE-SW. Sur le plan structural, il se divise en deux grands ensembles séparés par l'Accident Nord Moyen Atlasique (ANMA), tel que défini par Martin (1981), Hollard et al. (1985), et Charrière (1990).

À l'ouest, le **Causse moyen atlasique** forme les hauts plateaux du Moyen Atlas, dont l'altitude varie entre 1400 et 2000 mètres. Ce secteur se caractérise principalement par la présence de séries calcaires subhorizontales d'âge jurassique et crétacé. Une large partie de ces formations est recouverte par des épanchements de basaltes alcalins, au sein desquels émergent des édifices volcaniques datés du Plio-Quaternaire.

À l'est, le **Moyen Atlas plissé** présente un relief plus accentué, avec des altitudes allant de 900 à 2800 mètres. Cette unité est encadrée par deux failles principales de direction NE-SW : l'Accident Nord Moyen Atlasique (ANMA) et l'Accident Sud Moyen Atlasique (ASMA). Ces structures majeures définissent un système complexe de failles en duplex à vergence sud-est, induisant un débordement de la chaîne vers les bassins sud-orientaux adjacents.

À l'intérieur de ce domaine plissé, plusieurs rides anticlinales bien individualisées sont associées à des failles majeures, délimitant de vastes dépocentres crétacés à paléogènes. Parmi les plus notables figurent les sous-bassins de Guigou-Timahdite, Bou Anguer, Aïn Nokra, Bekrite et Boulmane (Fig. 1).

La modélisation de la structure lithosphérique du Maroc à partir de données gravimétriques, du géoïde, du flux de chaleur et de la topographie a mis en évidence l'influence d'un composant asthénosphérique dans la formation du relief de la chaîne atlasique (Tadili & Ramdani, 1983 ; Missenard et al., 2006 ; Fullea Urchulutegui et al., 2010). Les profils géophysiques révèlent un amincissement de la lithosphère à moins de 100 km d'épaisseur, le long d'une bande orientée NE-SW, large d'environ 150 km et s'étendant sur plus de 600 km. Cette structure, connue sous le nom de *Moroccan Hot Line* (Frizon de Lamotte et al., 2009), traverse l'Anti-Atlas occidental, le Haut et le Moyen Atlas, jusqu'au front rifain (Fig. 2). La quantification de l'impact de cet amincissement sur le relief indique que plus de la moitié de l'altitude actuelle du Moyen Atlas — soit environ 1200 m sur un maximum de 2000 m — résulte de cette remontée asthénosphérique (Zeyen et al., 2005 ; Missenard, 2006).

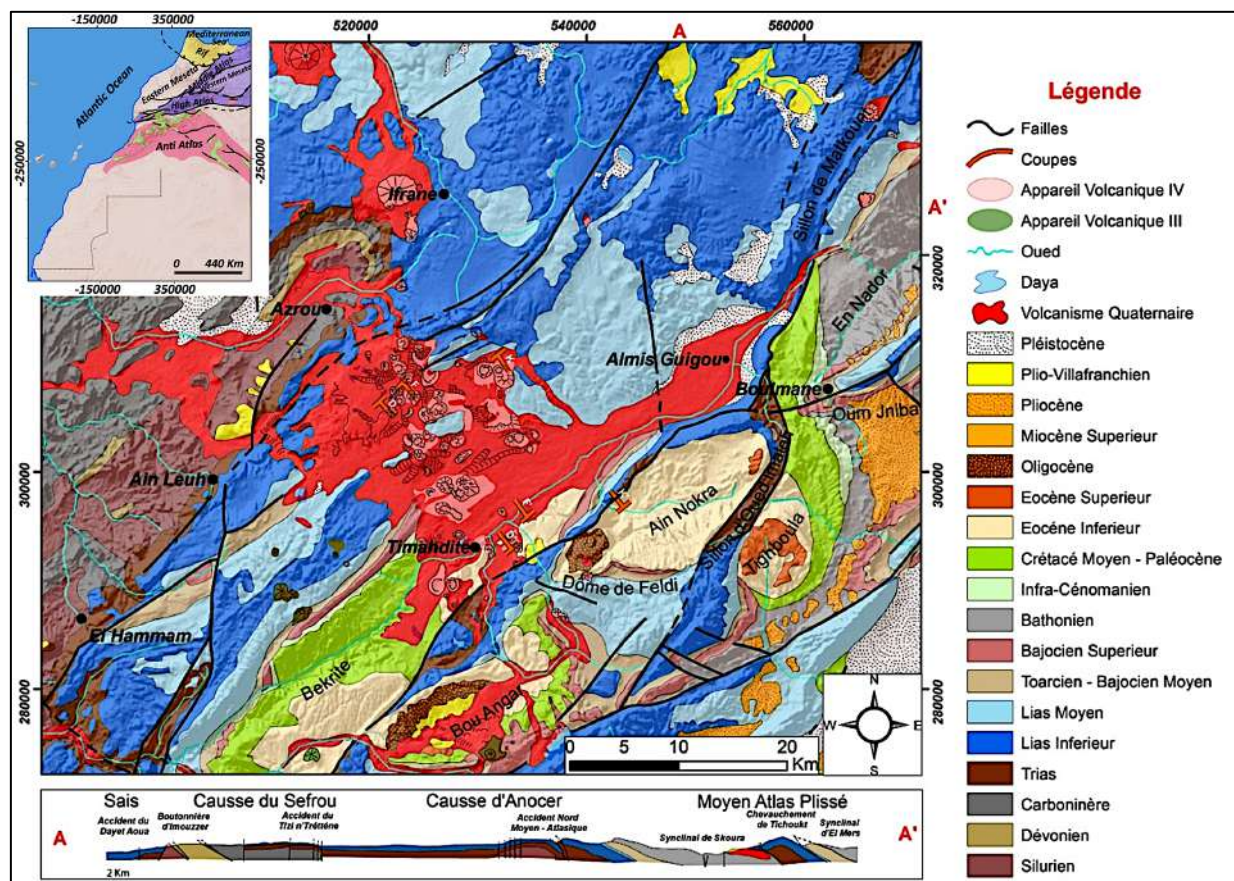


Figure 1 : Carte géologique du domaine volcanisé de la chaîne du Moyen Atlas (d'après Martin, 1981, modifié). AA': Coupe à travers les ensembles structuraux du Moyen Atlas (d'après Charrière, 1990)

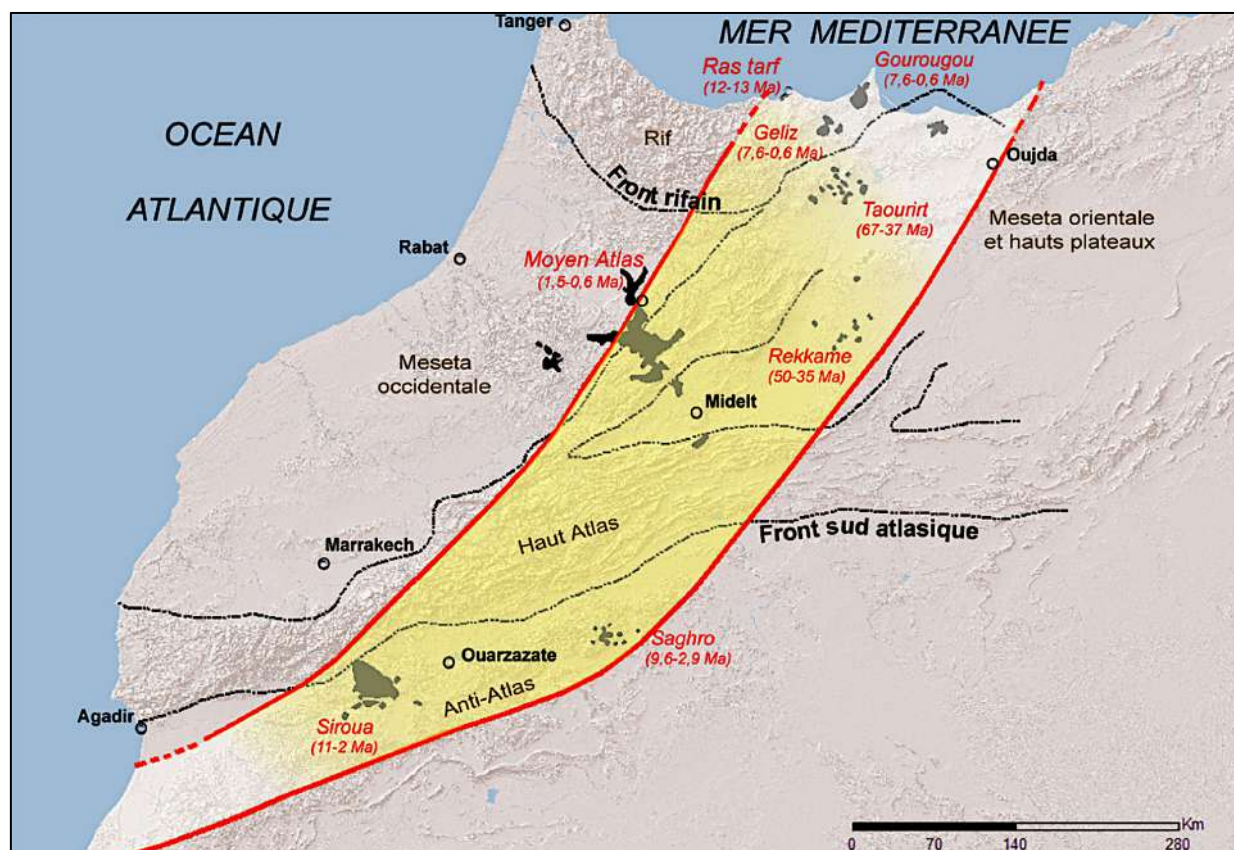


Figure 2 : Emplacement des affleurements du volcanisme alcalin cénozoïque par rapport aux différents systèmes de l'Atlas marocain.

3. Le modelé volcanique du Moyen Atlas

La chaîne volcanique du Moyen Atlas, considérée au sens large, englobe les édifices du plateau carbonaté situé entre Azrou et Timahdite, ainsi que ceux du domaine plissé, notamment au nord de Boulemane, le long de l'accident médio-moyen atlasique (Fig. 1). L'ensemble de la couverture volcanique représente un volume d'environ 80 km³, couvrant une surface estimée à 1500 km², soit plus de 7 % de la superficie totale de la région. La majorité des points d'émission (environ 80 %) se concentre sur le causse d'Azrou-Timahdite, où les édifices volcaniques s'alignent selon deux traînées orientées NNW-SSE sur une longueur de 50 km (Fig. 1). On y recense 105 volcans monogéniques, dont 15 datés du Néogène et 90 du Quaternaire. Parmi ceux-ci, environ 70 % sont des cônes stromboliens et 30 % correspondent à des maars, certains étant relayés par une activité strombolienne secondaire.

Les événements volcaniques sont localisés le long de fractures du socle (Harmand & Moukadiri, 1986 ; Mhiyaoui et al., 2016 ; Menjour et al., 2017 ; Amine et al., 2019 ; Lakroud et al., 2019), au sein d'une vaste nappe de coulées basaltiques qui débordent largement sur les formations quaternaires anciennes, atteignant jusqu'à la plaine de Saïs au nord (Fig. 3). Ces coulées sont canalisées à l'est par la dépression de l'oued Guigou et à l'ouest par les vallées des oueds Beht et Oum Rbia.

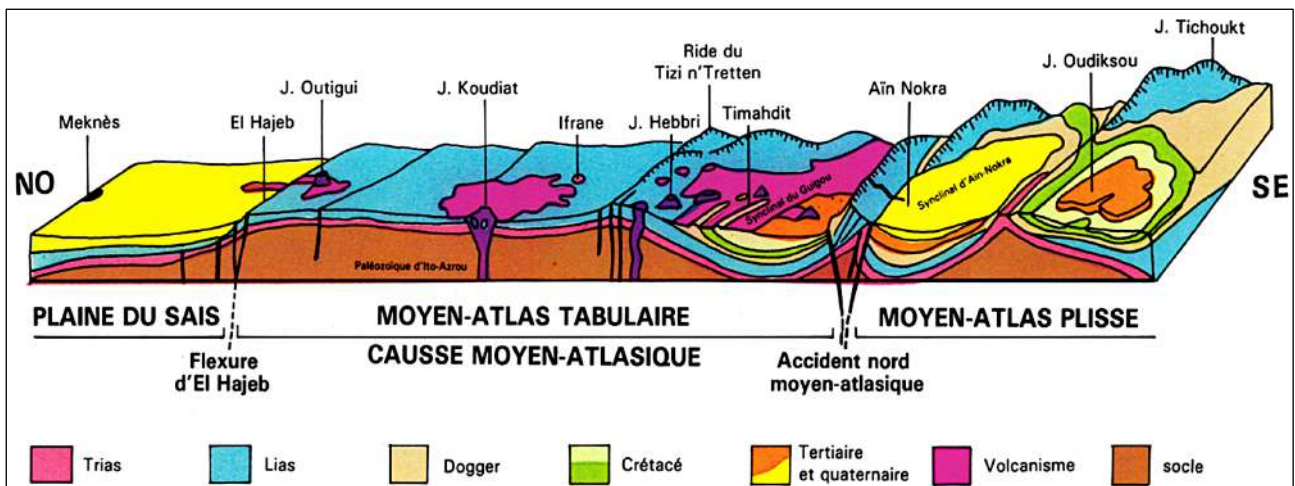


Figure 3 : Bloc diagramme d'une partie du Moyen Atlas montrant la position et le contexte structural du volcanisme dans le causse moyen atlasique

Sur la base de données minéralogiques et géochimiques quatre faciès pétrographiques peuvent être distingués : des basaltes alcalins formant l'essentiel de l'entablement volcanique, des basanites, néphélinites et basaltes subalcalins qui arment la structure des édifices volcaniques. Les datations K-Ar sur roche totale ont révélé des âges Miocène moyen et supérieur (16.25-5.87 Ma) et Plio-Quaternaire (3.92-0.67 Ma) (Harmand & Cantagrel, 1984 ; El Azzouzi et al., 2010, Bosch et al., 2014). Sur le terrain la distinction entre ces différentes catégories de laves est difficile ; elles présentent dans l'ensemble un faciès basaltique et une teinte qui va du noir au gris.

Dans la chaîne du Moyen Atlas, le dynamisme volcanique est principalement de type strombolien, responsable de la formation de la majorité des édifices volcaniques. Les cônes stromboliens se caractérisent par un cratère bien individualisé. L'arrivée explosive des bulles de gaz issus du magma basaltique à la surface entraîne la projection de bombes et de lapilli. L'accumulation de ces projections forme un cône dont la pente correspond à celle d'un talus d'éboulis. Plusieurs phénomènes peuvent complexifier la structure de l'édifice, tels que l'effusion de coulées, l'effondrement du cratère ou l'intrusion de filons (Fig. 4). Toutefois, dans certains cas, le magma basique, générant une quantité anormale de gaz par vaporisation de l'eau superficielle, peut provoquer des manifestations bien plus explosives. Ce phénomène, qualifié de phréatomagmatique, est à l'origine de la formation de maars.

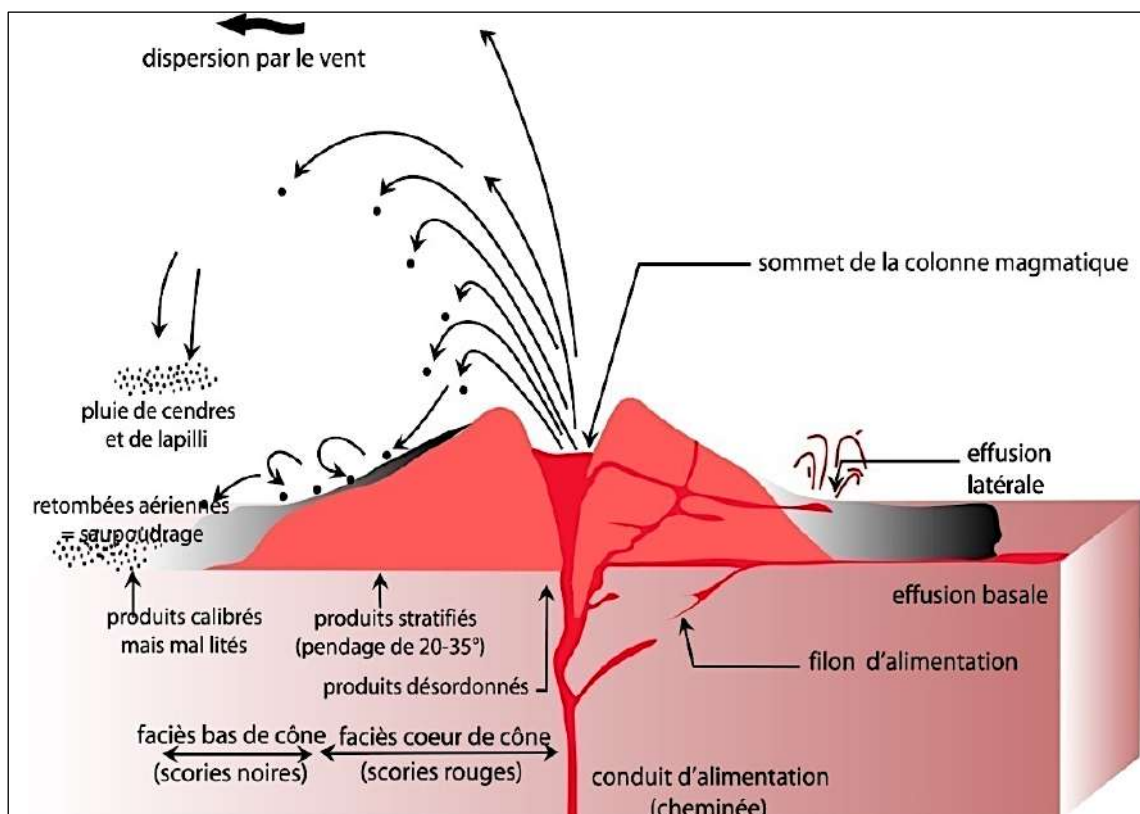


Figure 4 : Fonctionnement d'un appareil strombolien (d'après de Goër et al., 1985)

Pour mieux ressortir le cachet volcanique qui fait l'originalité du Causse moyen atlasique, nous avons donné la priorité aux informations dynamiques, telles que la structure des appareils, la morphologie de surface des coulées, les caractères des projections et l'extension des nappes de recouvrement des éruptions latérales ou des retombées aériennes. Le choix est porté sur les sites d'accès facile et qui offrent les meilleures conditions d'observation (Fig.5).

3.1 Les cônes de scories stromboliens

La plupart des volcans du Moyen Atlas sont des cônes de scories de forme et de taille différentes. L'alignement et l'aspect morphologique de ces édifices dits "monogéniques" suggèrent que certains d'entre eux furent construits en même temps lors d'une même éruption de courte durée (quelques jours à quelques semaines). Les cônes peuvent atteindre 100 à 200 m de hauteur. Jbel Hebri, le plus majestueux d'entre eux dépasse de 300 m la surface du plateau sur lequel il possède un diamètre d'environ 2000 m. Les formes naturelles des cônes conservent une grande fraîcheur avec des pentes entre 20° et 30°; la pente d'équilibre théorique d'un talus d'éboulis est de 35° pour un cône strombolien en activité (Boivin et al. 2009). Plusieurs types morphologiques peuvent être distingués à partir des caractères du cratère encore bien dessiné :

Cratère simple

Quelques volcans possèdent un cratère simple, régulier, complètement fermé. Le cratère du volcan de Mijmouane, à l'ouest de la RP 21 au pied du J. Hebri, est une petite cuvette de 100 m de diamètre pour 10 m de profondeur, émoussée par l'érosion et masquée par les colluvions (Fig. 6).

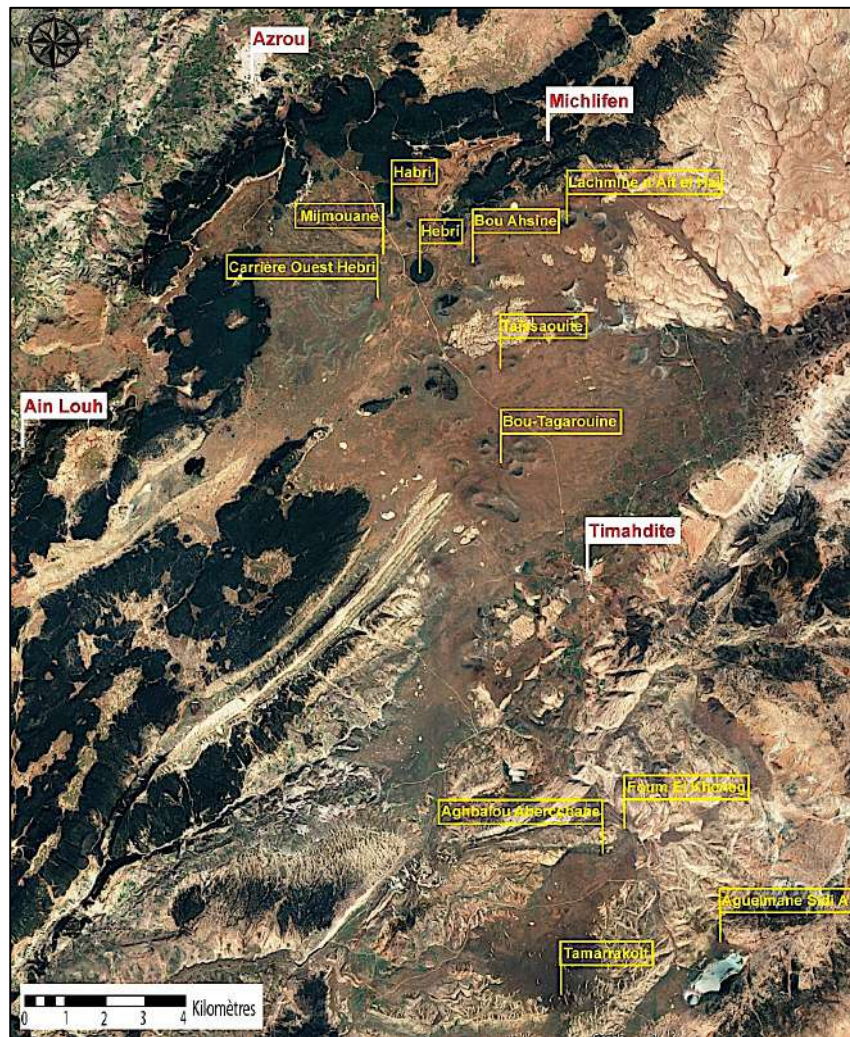


Figure 5 : Localisation des sites d'observations décrites dans le texte

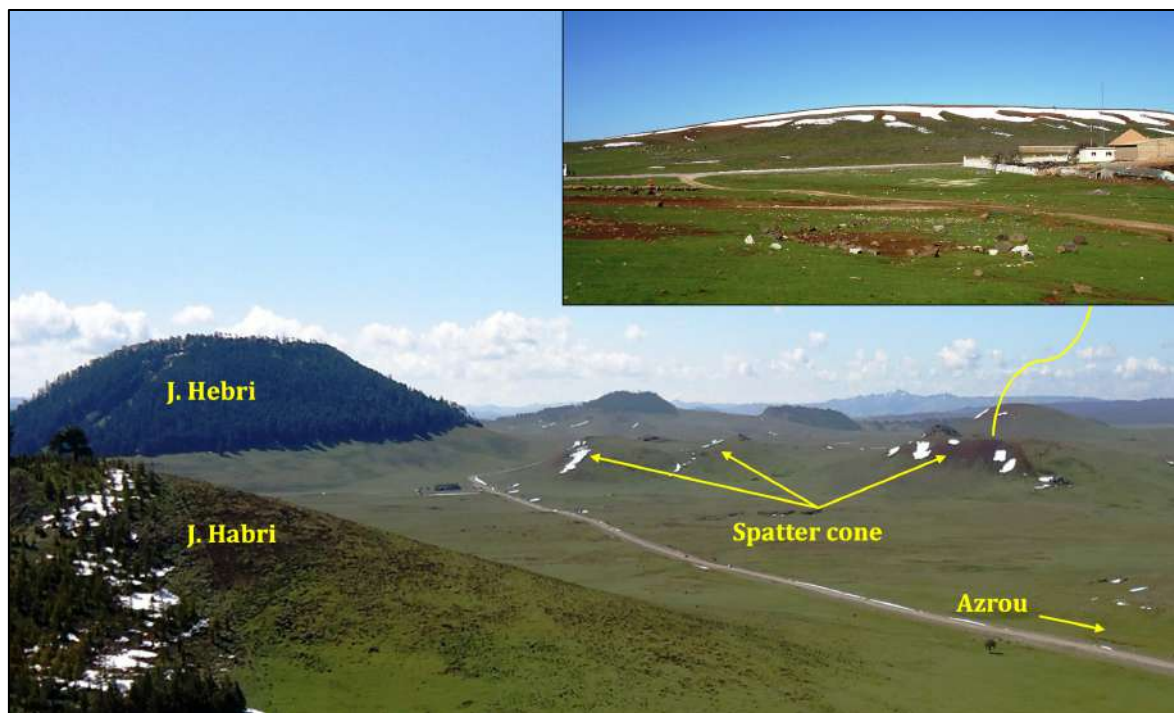
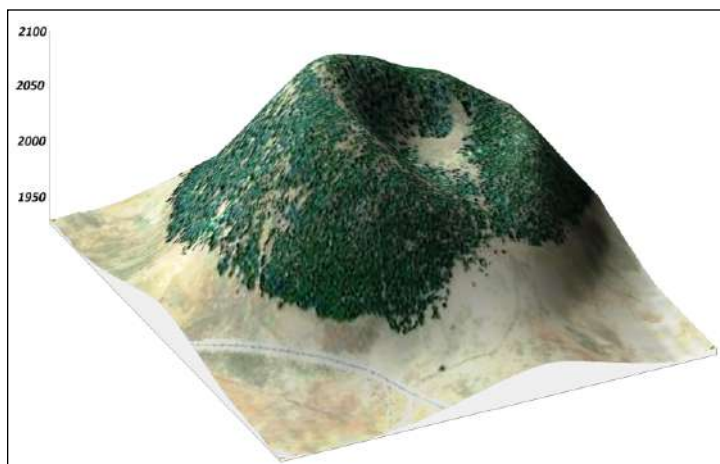


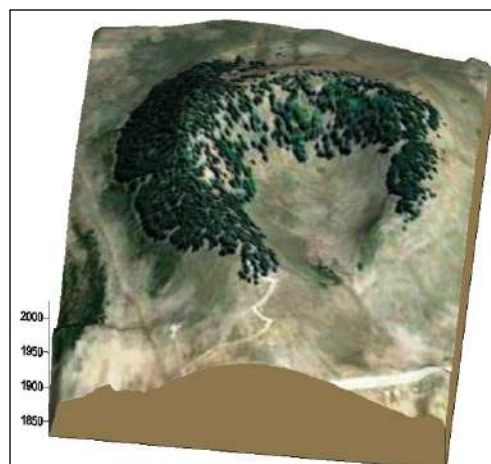
Figure 6 : Alignement de cônes volcaniques (spatter cones) dans le secteur de Mijmouane. Noter la différence de taille et de forme avec les volcans de J. Hebri et J. Habri

Cratère égueulé

Les volcans à cratère ouvert ou égueulés sont plus nombreux et de grande taille. Le cratère est généralement plus profond et largement ébréché d'un côté. Cette morphologie provient de la contemporanéité de l'émission d'une coulée et des explosions projetant les scories. Les scories qui retombent sur la coulée en mouvement sont emportées par le flux créant une ouverture dans le cône en construction. Les prototypes en sont Jbel Hebri et Jbel Habri (Fig. 7).



Jbel Hebri



Jbel Habri

Figure 7 : Cônes stromboliens égueulés des Jbels Habri et Hebri. Noter la forme de vasque sommitale ouverte par les émissions scoriacées

Complexe cratérique

Il s'agit d'un ensemble composite de cônes volcaniques et de maars de taille variable ayant fonctionnés simultanément ou traduisant plusieurs stades d'activité avec déplacement ou non des événements. Ainsi le cratère de Boutagrouine s'ordonne autour de trois édifices contigus de 200 m au-dessus du plateau, flanqués de cratères adventifs égueulés (Fig. 8).

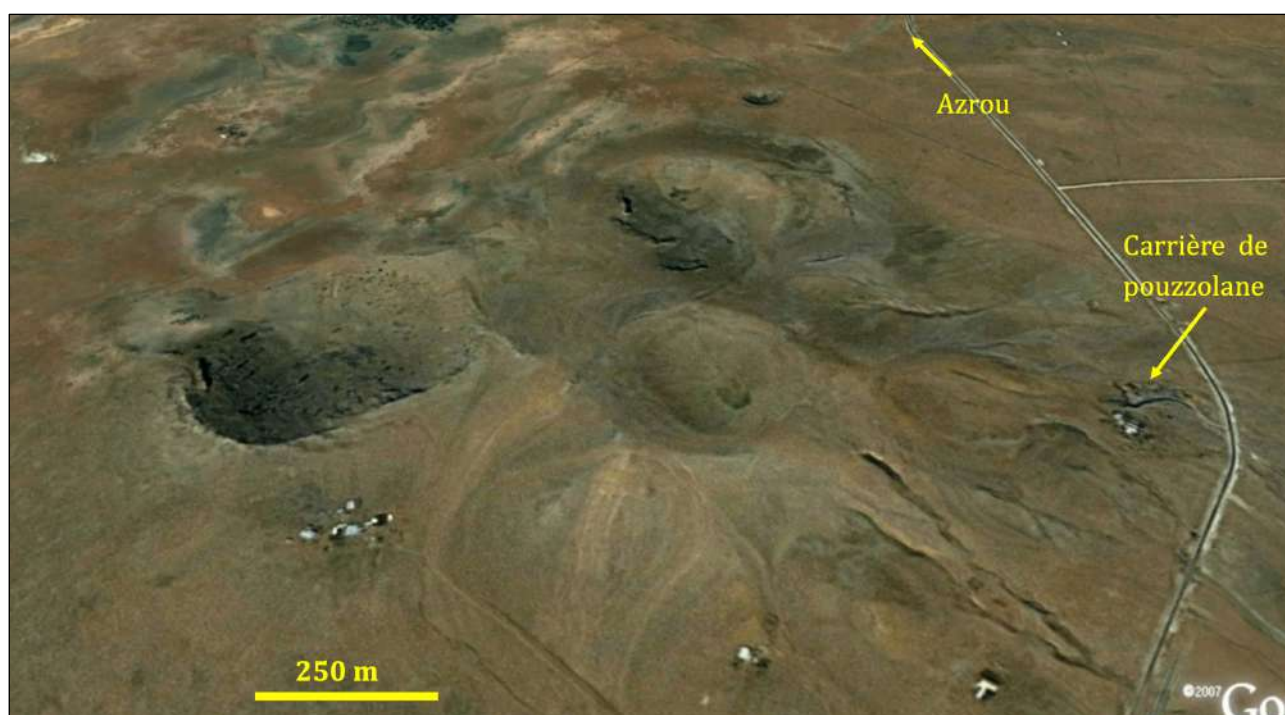


Figure 8 : Complexe cratérique de Boutagrouine avec trois édifices principaux flanqués d'événements adventifs.

3.2 Les projections stromboliennes

À l'intérieur du cône, les produits sont disposés de manière plus ou moins concentrique par rapport au point d'émission, avec les éléments les plus lourds proches du centre et les plus légers à la périphérie (Fig. 4). Toutefois, peu d'appareils volcaniques présentent cette organisation idéale, la régularité de la structure étant souvent perturbée par divers facteurs tels que la topographie anté-volcanique, les événements adventifs, les failles de tassement, les effondrements intra-cratériques, les coulées de lave, l'inclinaison des conduits volcaniques, ainsi que la configuration et le nombre des bouches explosives au fond du cratère (Rose-Koga et al., 2017). Selon leur distance par rapport au cratère (facies du cœur du cône et du bas du cône), les projections peuvent différer en termes de granulométrie (bombes, blocs, lapilli, cendres), de texture (ponce, scorie, lave bulleuse ou compacte) et de morphologie (bombes en forme de fuseau, de bouse de vache, ou de croûte de pain).

Le spatter cone

Les retombés près du point d'émission présentent un caractère chaotique. Les produits encore chauds plus ou moins pâteux, peuvent se souder localement et former des accumulations coniques de scories (Spatter cone), de blocs de laves empilées, cordées ou bulleuses et d'énormes bombes en bouse de vache (Fig. 9). La dimension des éléments varie de quelques centimètres à quelques mètres. Les blocs étant toutefois majoritaires.

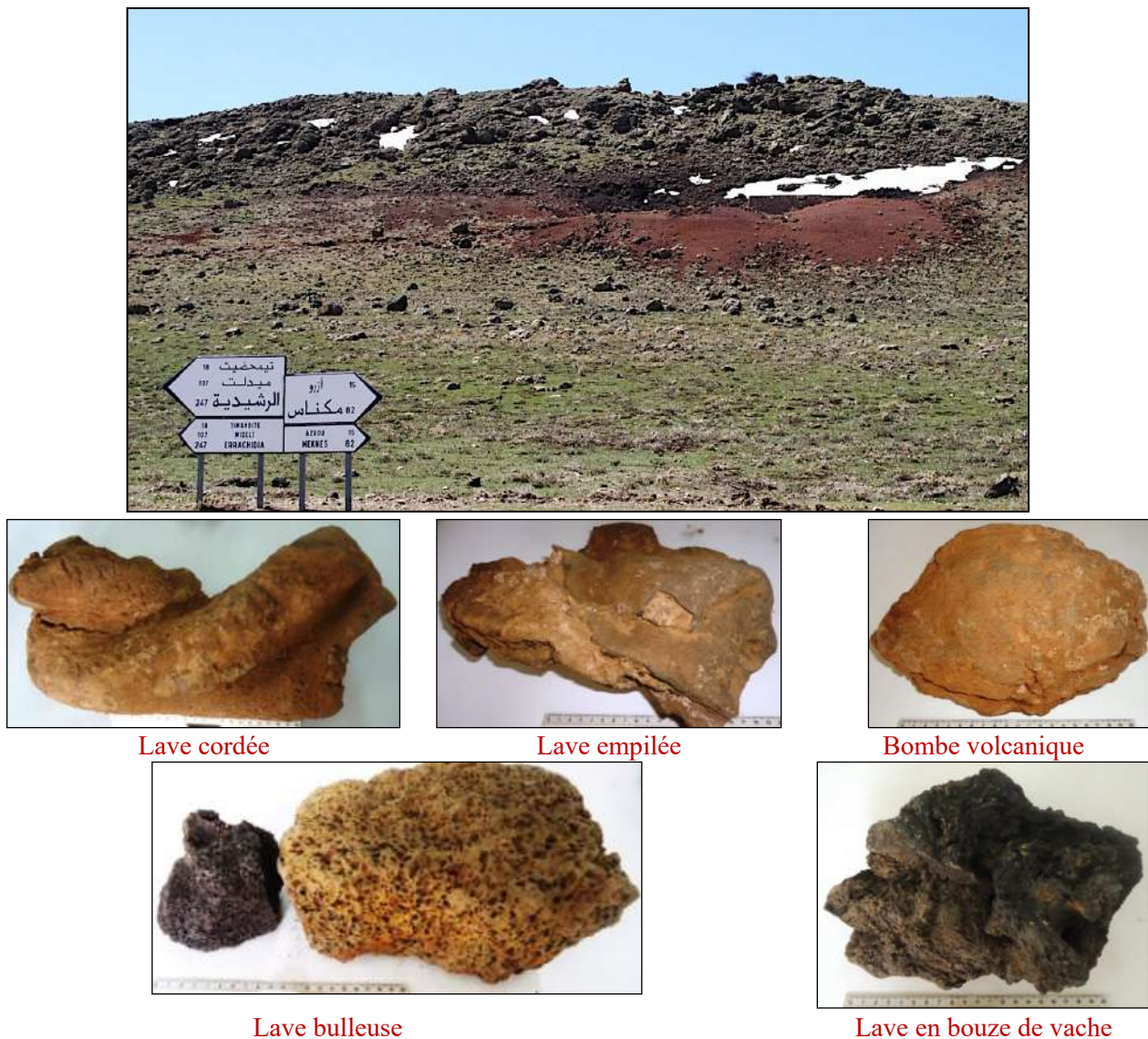


Figure 9 : Dépôts chaotiques grossiers constitués de blocs de toutes dimensions à proximité d'un spatter cones du secteur de Mijmouane entre Azrou et Timahdit.

Les faciès de cœur de cône et de bas de cône

Les parements ouverts dans la grande carrière de pouzzolane au pied ouest du Jbel Hebri, permettent de suivre particulièrement, un rougissement progressif des dépôts pyroclastiques du bas vers le cœur du cône (points 1 à 3, Fig. 10). Les projections constituant le cœur du cône retombent suffisamment chaudes et sont maintenues assez longtemps à une température élevée pour pouvoir s'oxyder au contact des circulations d'air.

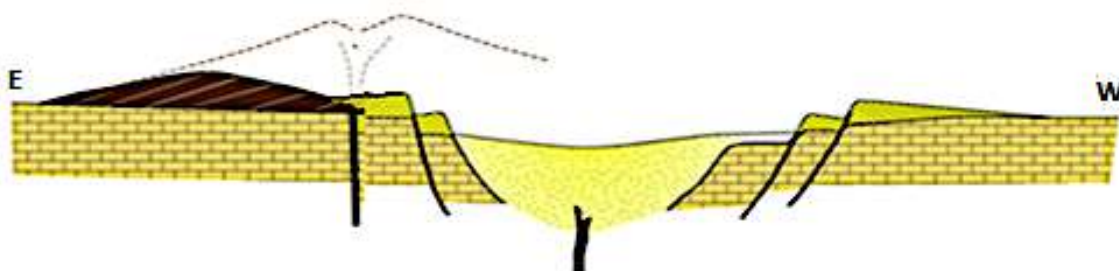
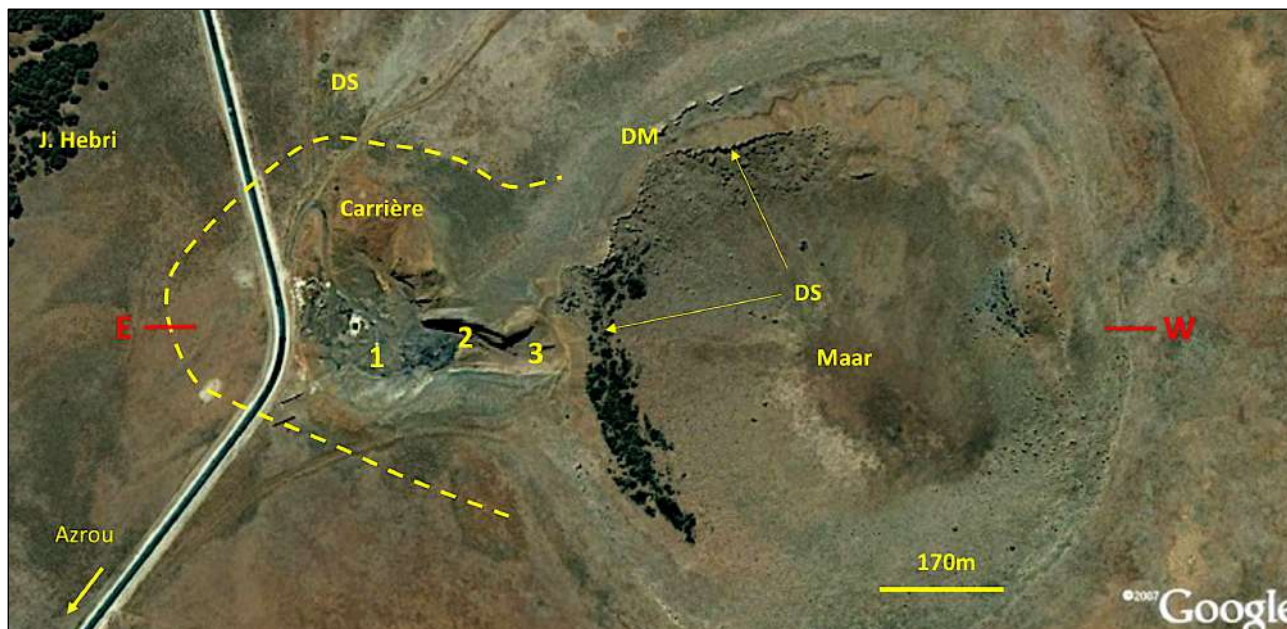


Figure 10 : Coupe E-W dans la carrière de pouzzolane au pied de Jbel Hebri. La carrière est creusée sur le flanc est d'un cône strombolien réactivé par une éruption phréatomagmatique.

Point 1 : En contrebas, à l'entrée de la carrière, affleurent les formations les plus anciennes de bas de cône. Elles correspondent à des retombées pyroclastiques stratifiées, de teinte noire. Trois niveaux peuvent être facilement repérés à partir de leur variation granulométrique (Fig. 11) :

- Le niveau "a" correspond à un lit hétérométrique composé d'une matrice de lapilli centimétriques, bien classés, denses et anguleux, dans laquelle sont dispersées de nombreuses bombes, elles aussi denses, avec une croûte relativement fine et lisse. Ce dépôt se serait formé à une distance modérée d'une bouche éruptive : assez éloignée pour ne pas subir l'effet direct de la chaleur (absence de teinte noire), mais suffisamment proche pour permettre la présence de bombes de grande taille. Les lapilli résultent de retombées aériennes issues d'un panache éruptif, tandis que les bombes, réparties de manière irrégulière, ont été projetées selon des trajectoires balistiques indépendantes. L'hétérométrie de ce niveau s'explique donc par la combinaison de ces deux mécanismes de dépôt. Tous les éléments sont denses et pauvres en bulles, et les bombes à surface lisse présentent souvent des fragments, ce qui suggère un magma fluide, peu chargé en gaz, ayant subi un refroidissement rapide.
- Le niveau "b" est principalement composé de lapilli noirs à verdâtres, centimétriques, bien classés et présentant un degré variable de vésicularité. La base du niveau présente localement une teinte rouille,

résultant d'un début d'altération, tandis que le sommet arbore une couleur plus grise. Ce niveau correspond à des retombées aériennes issues d'un panache volcanique. L'absence de bombes indique une bouche éruptive relativement éloignée. Les variations de couleur, qui témoignent d'une altération naissante, suggèrent que les pyroclastites étaient humides au moment du dépôt. Le niveau "c", riche en bombes et donc encore chaud lors de son émission, semble avoir provoqué le dessèchement ou la cuisson de la partie supérieure du niveau "b", ce qui expliquerait sa teinte grise.

- Le niveau "c" se caractérise par une forte concentration de bombes et une quasi-absence de lapilli. Il a été en grande partie érodé par l'exploitation de la carrière. Une grosse bombe, visible à l'avant de la coupe, semble avoir déformé le niveau "b" sous-jacent lors de son impact. Les bombes, encore très chaudes au moment de leur chute, présentent un début d'oxydation de surface, identifiable par des teintes brun-rouge. Cette observation indique une proximité immédiate de la bouche éruptive au moment du dépôt.

D'énormes bombes, probablement rattachées aux niveaux "a" ou "c", ont été dégagées par l'exploitation de la carrière et laissées sur place (Fig. 12). Elles constituent une véritable curiosité géologique, révélée par une observation attentive. Ces bombes sont en réalité des xénolithes, c'est-à-dire des blocs de lave plus ancienne, très riches en olivine, enrobés d'un mince film de lave juvénile. Ce revêtement est fortement vésiculé au contact de la lave ancienne, qui a conservé sa chaleur plus longtemps. Cette configuration a permis à la fois la croissance progressive des bulles, suivant un gradient de taille, et le développement d'une couche d'oxydation brun-rouge depuis la zone de contact entre la xénolithe et le film de lave.



Figure 11 : Dépôts pyroclastiques du bas (1 et 2) au cœur (3) de cône strombolien

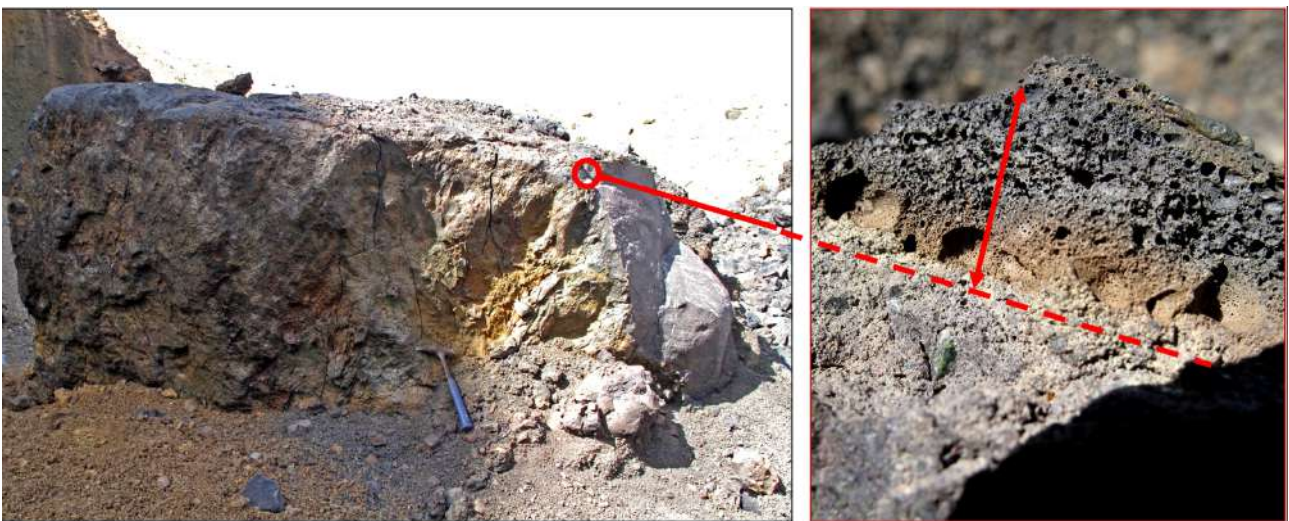


Figure 12 : Bloc de lave ancien enrobé par un film de magma juvénile.

Point 2 : La coupe, à gauche de l'entrée de la carrière, poursuit vers le haut celle du point 1. La formation de pouzzolane exposée a constitué l'objet principal de l'exploitation. Elle est présente sur la quasi-totalité des fronts de taille de la carrière et est formée d'un mélange de lapilli et de petites bombes aplaties dont les proportions variables permettent de définir des lits frustres. L'ensemble est globalement homogène avec des teintes variées liées à l'altération (jaune à verdâtre) ou à l'oxydation à chaud (rougeâtre). De grandes fentes d'extension sont localement visibles.

Le dépôt est celui d'une éruption au régime globalement régulier, mais avec quelques explosions un peu plus puissantes (niveaux plus riches en bombes). La bouche éruptive est relativement éloignée à moins que le cône en train de se construire ne joue le rôle d'écran pour empêcher la chute des grosses bombes.

Point 3 : Il s'agit du dernier front de taille situé au fond de la carrière. À l'image de la coupe observée au point 2, dont il constitue la continuité latérale, cette section est composée d'un mélange de lapilli et de petites bombes aplaties. La variation de leur proportion permet de distinguer des lits frustres. Toutefois, l'ensemble de la coupe se caractérise par une teinte brun-rouge uniforme, résultant de l'oxydation à chaud des pyroclastites, survenue après leur mise en place. Cette oxydation peut être expliquée par deux sources de chaleur : d'une part, la conduction thermique à partir du conduit d'alimentation situé sous l'édifice volcanique ; d'autre part, un effet de "four", rendu possible par l'accumulation dense et durable de projections encore chaudes au cœur du cône.

3.3 Morphologie et dimension des coulées

Les épanchements de lave sont suffisamment abondants pour constituer une couverture continue noyant environ 20% de la totalité du CMA. Ils forment un entablement monotone de couleur gris-sombre à brun-jaunâtre dont la configuration dépend de la topographie prévolcanique. Les coulées filiformes canalisées par le réseau hydrographique et larges de quelques centaines de mètres peuvent s'avancer sur plus de 20 km (coulée de l'oued Guigou). Deux types d'épanchements peuvent être distingués selon la nature et l'orientation des laves :

Les Coulées de laves à blocs (*Blocky lava*), les plus répandues, sont plates et très fluides et ne montrent pas de direction préférentielle visible. La surface est formée par l'amoncellement de blocs anguleux de lave massive roulant les uns sur les autres sur une semelle de lave pâteuse qui s'insinue parfois entre les blocs (Fig. 13).

Les coulées prismées, résultant d'une rétraction thermique par refroidissement différentiel entre le toit et le plancher de la coulée une fois celle-ci est immobilisée. Les prismes de grand diamètre apparaîtront dans des coulées s'étant peu rétractées. Les laves qui couvrent la plaine de l'oued Guigou souvent bulleuses ne montrent pas de prismation spectaculaire (Fig. 14). La richesse en gaz explique l'aspect fruste des colonnades (Boivin et al. 2009).



Figure 13 : Coulées de laves à blocs au niveau du lac Aguelmame Sidi Ali



Figure 14 : Coulées prismées longeant la plaine de l'Oued Guigou

Coulées pahoehoe

Elles se rencontrent à proximité du cratère ou en aval décrivant des courants parallèles ou divergents. Elles se caractérisent par une surface lisse et montrent des figures d'écoulement particulières : plans unis ou empilés, cordes, tubes et des tumuli.

Le site de Bou Ahsine montre une petite dépression dont les bordures sont composées de matériaux magmatiques déformés et plissés avec un peu plus loin, un petit cône volcanique à cratère égueulé composé d'une alternance de niveaux de basalte massif et bréchifié (Fig. 15A). Cet affleurement montre une belle coupe dans une coulée à surface lisse (pahoehoe). Ces coulées basaltiques fluides sont classiques des volcans bouclier, d'Hawaii en particulier où elles ont été définies (Bourdier, 1994). Lors de leur mise en place, elles progressent en émettant des doigts et des digitations peu épaisses. Leur surface comporte généralement de grandes dalles lisses. Elle se plisse fréquemment en donnant des formes ondulées (Fig. 15B), en draperies (Fig. 15C), cordes, tripes, etc. En coupe, la coulée est un empilement de nombreuses petites unités d'extension latérale limitée, avec des surfaces et des semelles figées et un intérieur montrant des gradients de tailles de bulles plus ou moins complexes (Fig. 15D).

Le site de Bou Tejettouite montre une coulée plus fluide pauvre en matériel scoriacé, épanchée sur une surface plane et peu accidentée, dans le prolongement du volcan éponyme à cratère égueulé. Une augmentation de la pression au sein de la lave encore fluide peut provoquer l'apparition d'intumescences apparentées aux tumuli des coulées pahoehoe (Fig. 16). Il s'agit de bourgeonnement en forme de lames épaisses, d'amendes ou de furoncles de laves compactes qui percent parfois en la rebroussant la croûte superficielle en voie de solidification (Boivin et al, 2009).

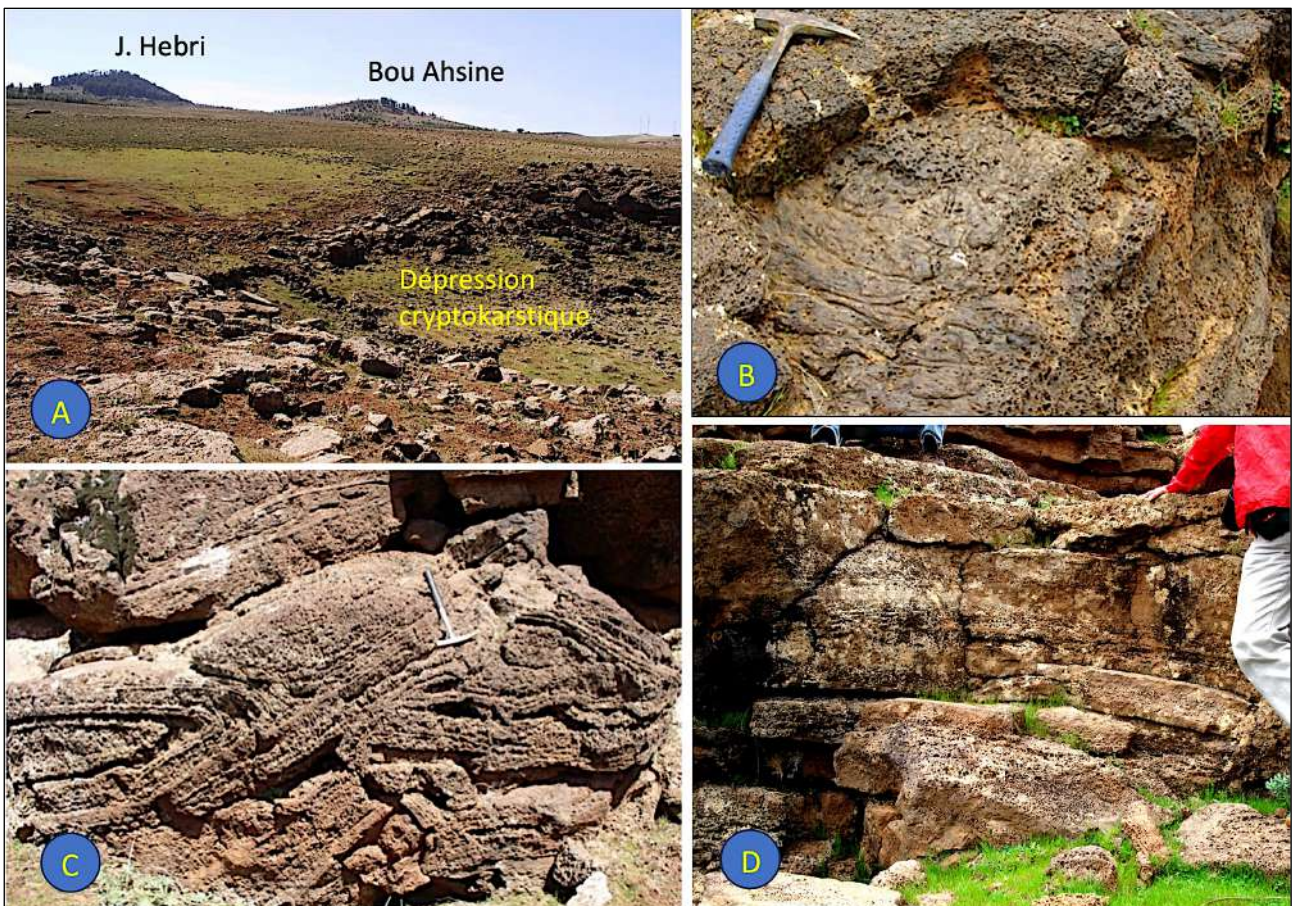


Figure 15 : Coulée de lave pahoehoe provenant du volcan de Taïssaouite



Figure 16 : Tumuli (a) sur la coulée de basaltes dans le prolongement du volcan égueulé de Bou Tejettouite (b).

Les particularités

Des phénomènes particuliers peuvent se surimposer par endroit à ces morphologies générales. Ainsi la coulée grossièrement prismée qui nappe la plaine alluviale de l'Oued Guigou montre des cavités de type blister (Fig. 17). Il s'agit de bulles créées par la vaporisation d'eau du substratum lors de la mise en place de la coulée. Ces bulles de vapeur peuvent rester emprisonnées sous la coulée ou s'élever au sein de la lave encore liquide et constituer près de la surface des pustules creuses, fermées ou éclatées. Au niveau de la source d'Aghbalou Aberchane, qui émerge des fractures de la coulée de basalte longeant le cours de l'oued Guigou (Fig. 18A), des observations particulièrement intéressantes peuvent être réalisées concernant la structure interne et la fracturation de cette épaisse coulée basaltique. Ce site offre également une bonne exposition du contact entre le basalte et les calcaires liasiques sous-jacents, permettant d'analyser les relations de mise en place entre les deux formations. La coulée basaltique visible à ce point, a été canalisée par le paléotalweg de l'oued Guigou qui l'a depuis ré-entaillé pour retrouver plus ou moins son cours initial (Fig. 18B). Vers l'aval au niveau de Foug El Kheneg, le talweg de l'oued s'encaisse dans un passage étroit pour franchir une ride anticlinale faillée (Fig. 18). Cette étroiture pourrait avoir provoqué une retenue de la coulée qui s'est épaissie de 10 m environ.



Figure 17 : Grotte sous-basaltique (blister)

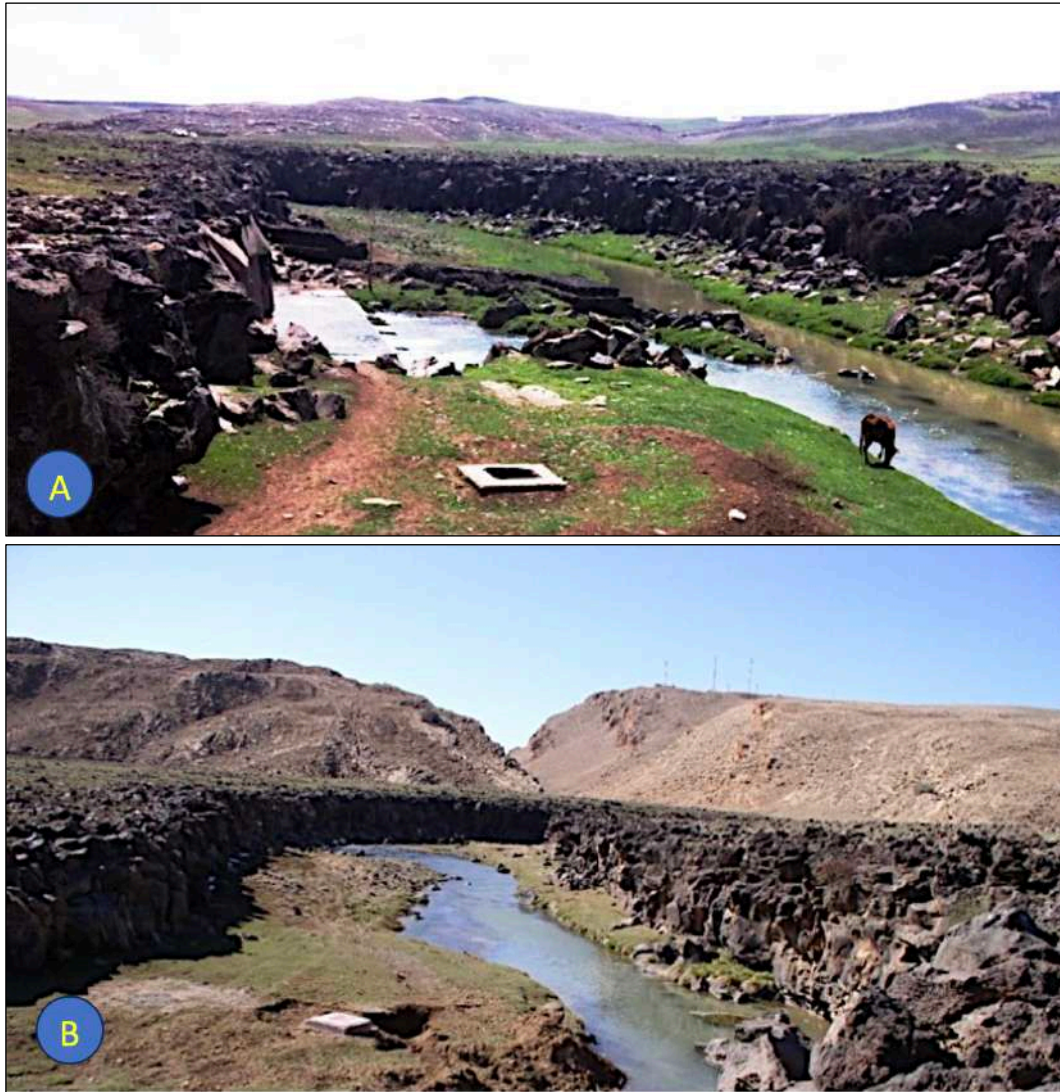


Figure 18 : Coulées prismée de la plaine de Oued Guigou. A : Source d'Aghbalou Aberchane ; B : Foum El Keneg

Néanmoins la lave était manifestement très fluide avec une surface lisse et une semelle bréchique réduite : au passage de la petite gorge, la coulée (β), qui s'amincit sur ses bords, est en contact direct avec les bancs de calcaires (c) qui sont moulés dans leurs moindres détails (Fig. 19A).

Au-dessus de la source, la surface de la coulée est accidentée par l'émergence de nombreux **protofilons** (F) issus de son intérieur (leur enracinement est visible à leur aplomb, dans la coupe de la coulée entaillée par l'oued). Ces extrusions sont vraisemblablement à mettre en rapport avec la surpression liée à l'épaississement de la coulée (Fig. 19B et C). Au cours de leur refroidissement, des fentes de rétraction thermiques s'ouvrent transversalement aux épontes (Fig. 19C).

Les cryptokarsts correspondent à des cavités d'effondrement (dolines) crevant la coulée basaltique (Fig. 20). Les plus spectaculaires sont des gouffres cylindriques ou de parfaits entonnoirs dépassant parfois 40 m de profondeur sur 200 m de diamètre, avec des hauts de versants abrupts dominant des talus de gros blocs de basaltes éboulés et des bords nettement francs. D'autres cavités se présentent en baquets à fond plat, plus large que profond de 5 à 10 m de diamètre sur plus de 2 m de dénivellation (Malaki, 2006 ; De Waele et al., 2009 ; De Waele & Melis, 2009).

Toutes ces structures seraient le résultat d'un affaissement brusque ou progressif de la couverture de basalte au-dessus d'effondrements de galeries karstiques sous-jacentes. Les arguments en faveur de cette origine

cryptokarstique tiennent compte des critères de localisation, de la présence d'alignements et de preuves d'effondrements du substrat calcaire (Martin 1981).

L'abondance et la variété des enclaves dans les basaltes permettent d'apporter des informations fondamentales et directes à même de remonter à la structure profonde du domaine atlasique, source de ce volcanisme. Les enclaves de péridotites présentées en l'occurrence sont formées d'olivine, pyroxènes et spinelle. L'enclave portée par le magma chaud va gonfler jusqu'à rupture, les fissures subséquentes sont infiltrées par le magma de la roche hôte (Fig. 21).

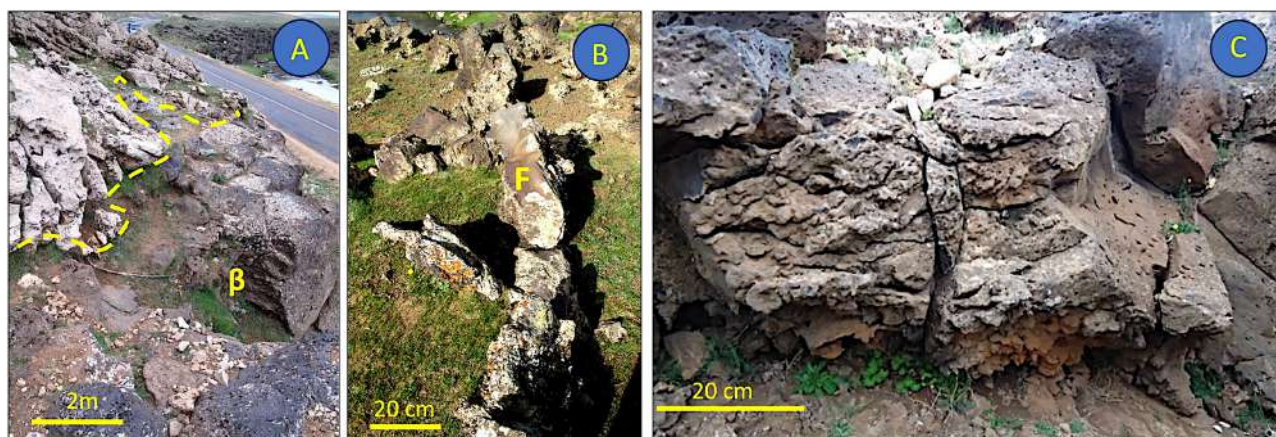


Figure 19 : Écoulement de basalte au contact des calcaires encaissants (A) et protofilon de lave fluide issu de la coulée de basalte refroidi et vésiculé (B). Noter la prismation transversale par rapport aux épontes du protofilon (C).



Figure 20 : Dolines d'origine cryptokarstique au pied du cratère du Tit-Ougmar (A et B) localement transformées en lac au pied des monoclinaux calcaires au Sud de Michlifén (C).

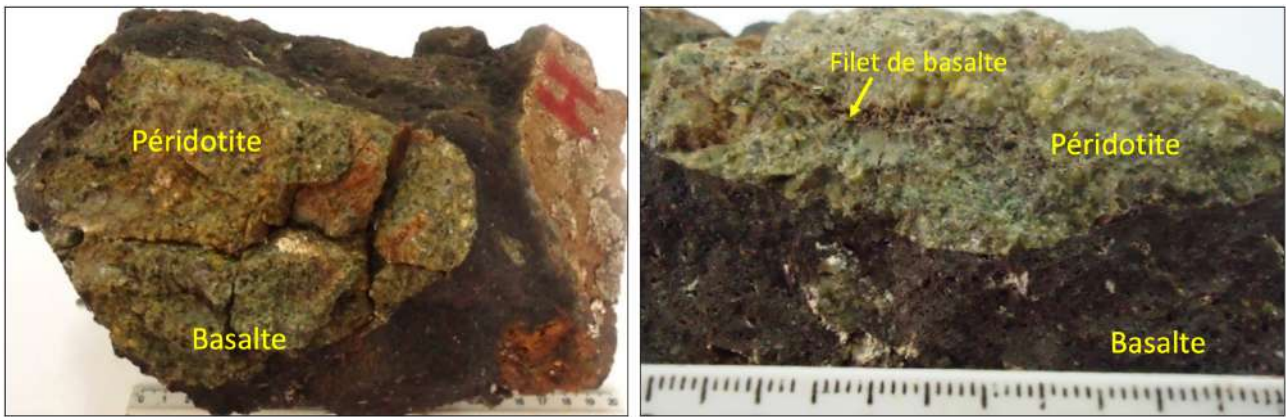


Figure 21 : Enclave de péridotite dans une lave de basalte scoriacé récoltée au pied du versant nord de Jbel Hebri

3.4 Maars et phréatomagmatisme

Les maars sont produits lorsque de faibles quantités d'eau entrent au contact du magma. Les explosions deviennent très violentes et dévastatrices tandis que les volcans prennent des formes nouvelles (Fig. 22). Le moteur de l'hydromagmatisme est le transfert de la chaleur du magma à l'eau superficielle. Les paramètres déterminants sont la composition du magma et la quantité d'eau disponible, tandis que la nature et la structure des formations géologiques traversées ainsi que la morphologie du substratum, viennent compliquer le morphotype principal représenté par l'évent et les anneaux de tufs pyroclastiques (Boivin et al., 1982).

Au voisinage du cratère, où retombe l'essentiel des particules les plus grossières, le dépôt sera caractérisé par des strates planes, parallèles, et par un classement normal des particules (de plus en plus fines vers le haut). C'est surtout à quelque distance du cratère, où s'accumulent les particules les plus fines, que les strates seront ondulées ou entrecroisées. Les lamines fines couronnent l'ensemble.

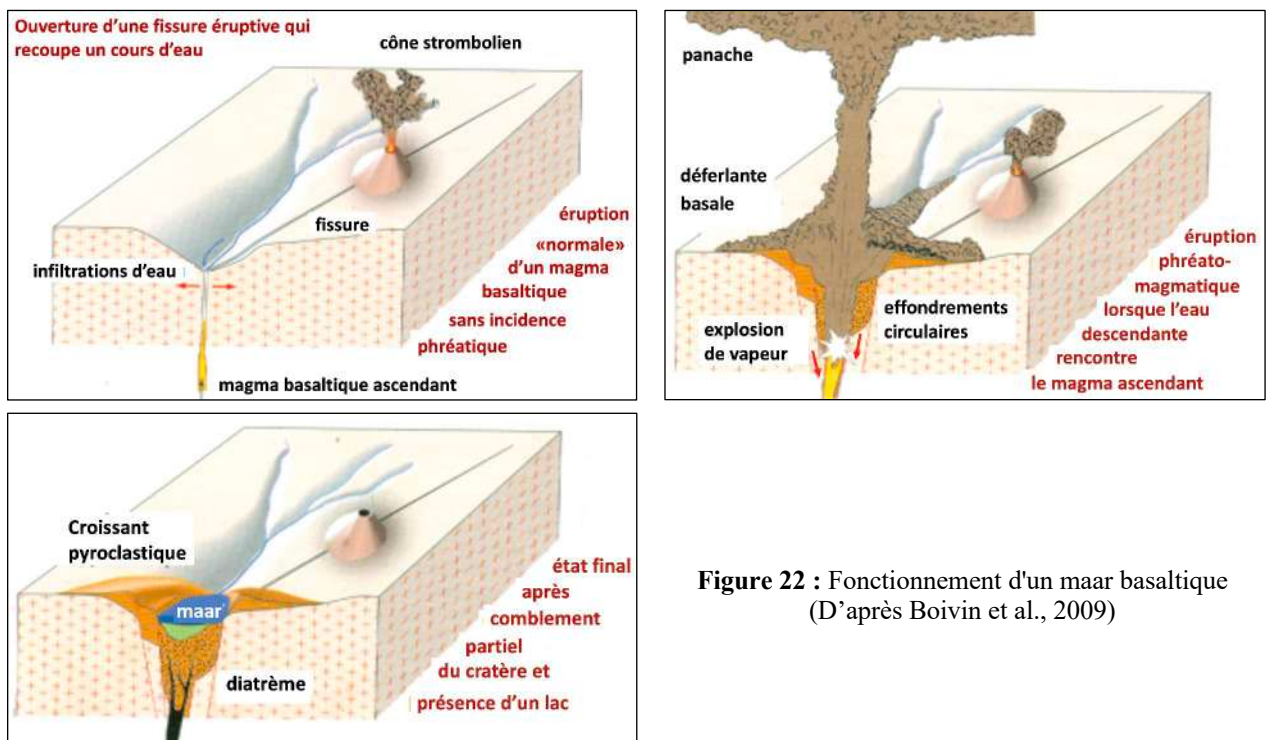


Figure 22 : Fonctionnement d'un maar basaltique (D'après Boivin et al., 2009)

Quelques exemples de maars situés dans la Causse moyen atlasique présentent une cavité centrale circulaire, dont le diamètre varie entre 0,6 et 3 km, bordée de parois très abruptes résultant d'une subsidence annulaire autour de la cheminée volcanique. Les dépôts pyroclastiques associés sont peu épais et forment des pentes

douces, comprises entre 5° et 10°. Ces dépôts dessinent un croissant surbaissé, plus ou moins régulier, qui entoure le cratère sur au moins la moitié de sa circonférence. La hauteur du cratère, mesurée depuis le fond, atteint environ 60 m dans la carrière ouest de Hebri, et jusqu'à 90 m à Lachemine N'Aït El Haj. Seules des strates à pendage externe sont observables ; les strates à pendage interne ont été entièrement sectionnées par la cheminée, dont les parois sont particulièrement abruptes (Fig. 23).

Lachmine N'Aït El Haj est un maar de très grande taille, spectaculaire. L'extérieur de l'anneau de tuf est pauvre en affleurement, par contre l'intérieur du cratère est absolument remarquable. La séquence des dépôts montre des variations de pendage et de couleur qui correspondent à différentes phases de l'éruption (U_{1-n}) et sont, à corrélérer avec l'approfondissement du diatrème (xénolites de substratum présents de plus en plus bas dans la pile sédimentaire) au cours de l'éruption (Fig. 24). Le substratum (S) de calcaires liasiques affleure en place à mi pente du cratère sur environ 1/3 de sa circonférence. Potentiellement, la totalité de la séquence éruptive peut être reconstituée par l'étude des dépôts qui semblent affleurer de façon quasi continue (Mountaj et al., 2014 ; 2020).

Les dépôts de maars sont pour l'essentiel formés de brèches pyroclastiques de débouillage à éléments énallogènes provenant du substrat calcaire, de lapilli magmatique et de cendres, le tout en forme d'anneaux ou croissants entrecroisés (Fig. 23). Le litage est bien souligné surtout pour les dépôts distants de l'événement, les lits étant plans, ondulés ou entrecroisés : chaque lit peut être massif ou granoclassé (Fig. 25).

Sous l'effet de chocs entre les particules au sein de la colonne éruptive, les blocs et bombes sont rapidement chassés vers l'extérieur et retombent en suivant une trajectoire parabolique. La chute de ces blocs se manifeste par une cuvette d'impact (blocs fichés) dont la dissymétrie est en relation avec la direction de l'émission. La chute du projectile balistique entraîne une fissuration radiale autour au point d'impact qui pourrait indiquer l'origine de la source émissive (Fig. 26A et B). Les bombes juvéniles au contact de l'eau décrivent des structures en choux-fleurs "cauliflower" caractéristiques (Fig. 26C). Elles sont très denses, pauvres en bulles, et peuvent contenir de nombreuses inclusions énallogènes.



Figure 23 : Exemples de maars dans le causse moyen atlasique entre Azrou et Timahdite (A : Lechemine N'Aït Lha ; B : Maar ouest Hebri).

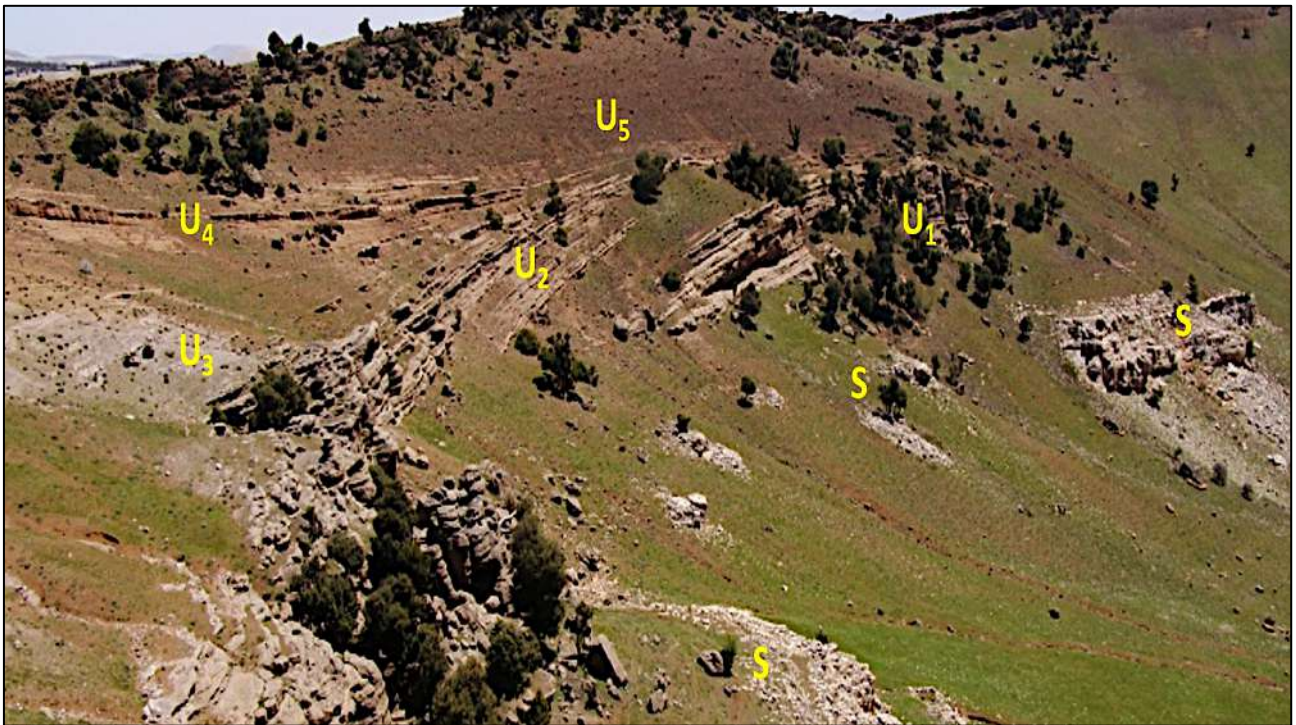


Figure 24 : Différentes séquences de l'éruption volcanique avec pépélite de débouillage à la base du cratère d'explosion phréatomagmatique



Figure 25 : Dépôts pyroclastiques à environ 1500 m du centre émissif du complexe cratérique de Boutagrouine.



Figure 26 : (A) Projectile balistique avec vue du plan d'impact montrant une fissuration radiale. En (B), bombe trempée, en "choux-fleurs"

3.5 Le couple cône–maar

Si l'arrivée d'eau s'interrompt alors que l'activité volcanique n'est pas achevée, le dynamisme normal du magma reprend ses droits et le cratère peut être occupé voir dissimulé, par un cône strombolien. C'est l'exemple du grand volcan de Timahdite qui domine la ville et qui fut l'une des plus grandes carrières d'exploitation de la pouzzolane de la région (Fig. 27).

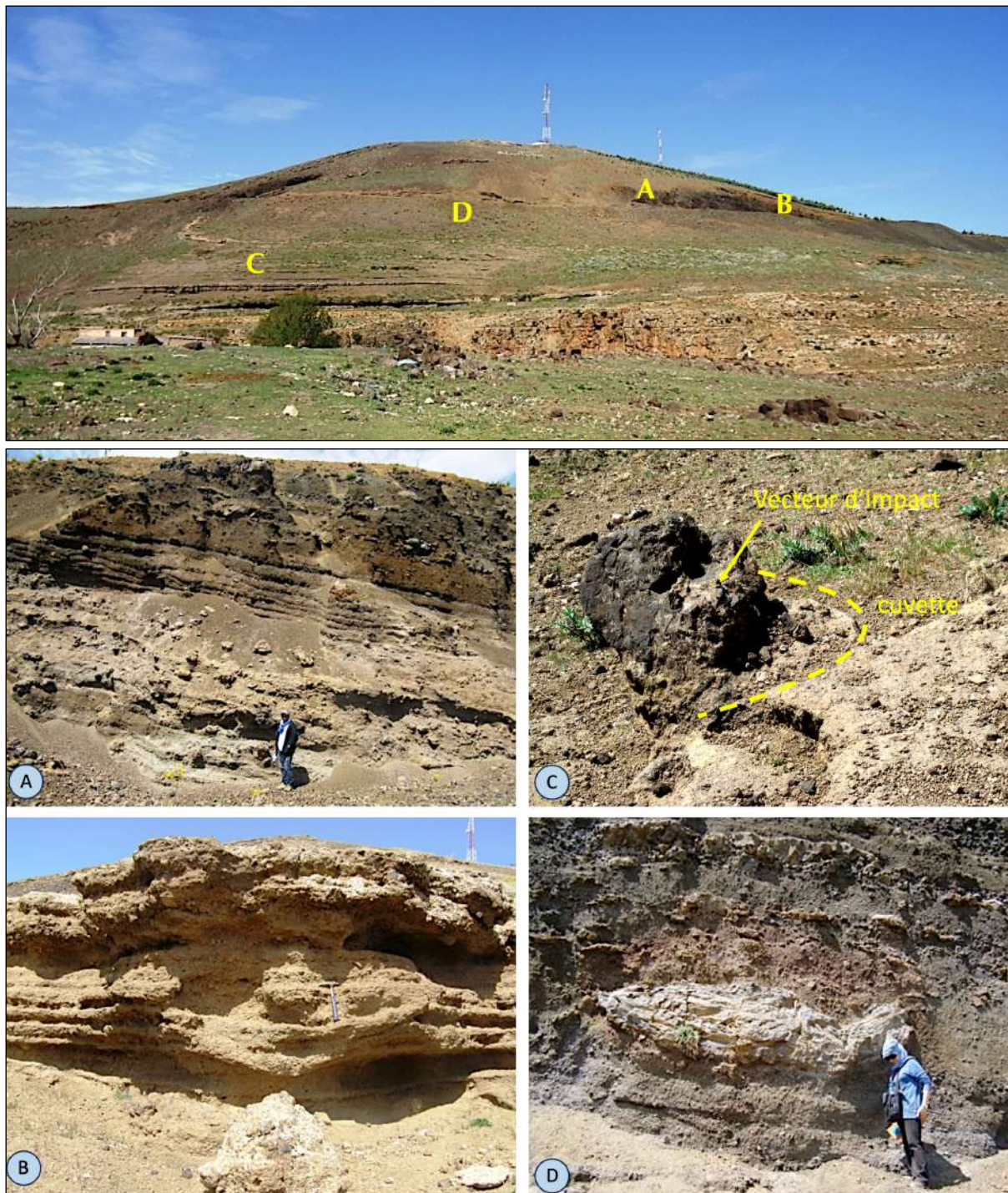


Figure 27 : Panorama du grand volcan de Timahdite illustrant la transition progressive d'un dynamisme phréatomagmatique vers un dynamisme strombolien, avec : **A**- le passage graduel entre les deux types d'activité ; **B**- des dépôts phréatomagmatiques présentant des stratifications horizontales et obliques, ainsi que des niveaux de déferlantes (gros, pauvres en fins) et de surges (fins) ; **C**- des retombées balistiques accompagnées de cuvettes d'impact asymétriques permettant de localiser le cratère ; et **D**- des scories stromboliennes exploitées en carrière, montrant des figures d'impact de type *bomb-sag*, ainsi qu'un bloc de basalte de 3 x 1 m inclus dans des tufs lités, dont les déformations plastiques témoignent d'un comportement boueux du dépôt au moment de l'éruption.

En remontant le volcan, on traverse la coulée de lave qui suit l'oued Guigou, la barre de calcaire lacustre éocène puis différents niveaux de brèches et de tufs composant le cône volcanique. La coupe au-dessus de l'Oued Guigou est de grande qualité et très pédagogique. Elle montre sans lacune, le passage assez progressif d'un dynamisme phréatomagmatique (P) à un dynamisme strombolien (S) (Fig. 27 A). Les dépôts phréatomagmatiques possèdent la plupart de leurs traits caractéristiques ; stratification, niveau de déferlantes (grossiers et pauvres en fines) et de surges (fines), stratifications obliques (Fig. 27B), retombées balistiques avec cuvettes d'impacts asymétriques permettant de localiser le cratère (Fig. 27C). Les brèches polyolithologiques sont à éléments de substratum et de basalte trempé (bombes et lapilli).

Vers le haut, les scories stromboliennes ont été exploitées en carrière. Dans le faciès bas de cône exploité en carrière, apparaissent çà et là des figures d'impact (bomb-sag) provoquées par la chute de blocs de magma juvénile. La figure 27D, montre un bloc de basalte (3x1m) dans les tufs lités dont les déformations plastiques évoquent un comportement boueux lors de l'éruption. Le halo d'oxydation autour du bloc s'est formé par réchauffement des gaz contenus dans les dépôts stromboliens environnants particulièrement sus-jacents (Fig. 27D).

A contrario une activité strombolienne peut être perturbée par l'arrivée de petites quantités d'eau superficielle au contact du magma (Fig. 22). L'ancienne carrière de pouzzolane à l'ouest de Jbel Hebri montre des projections stromboliennes de faciès cœur de cône affectées par un bel effondrement cratérique délimité par un croissant de tufs (Fig. 10).

Le cône de pouzzolane entaillé par la carrière est surmonté, côté sud, d'une formation scoriacée massive, soudée et grossièrement stratifiée (DS). Cette formation atteint approximativement 5 m d'épaisseur et a été recoupée par le maar. Elle est inclinée et s'amincit vers le sud. Ces dépôts forment une dalle soudée. Ils se sont formés par agglomération de lambeaux de lave encore fondue à proximité immédiate d'une fontaine de lave. Ils ont pu, latéralement, donner naissance à une coulée de lave. Le cratère du maar, très régulier, recoupe le côté SW du cône strombolien dans lequel a été ouverte la grande carrière. Ses dépôts (DM) surmontent la dalle soudée et l'ancien cône de scorie (Fig. 28). Ils constituent la partie haute des fronts de taille de la carrière.



Figure 28 : Transition d'un dynamisme strombolien (DS) vers un dynamisme phréatomagmatique : formation du maar (DM) au sein du cône de scories.

4. Les produits du volcanisme : Substances utiles

Les matériaux directement produits à partir des cônes d'accumulation des volcans stromboliens du CMA (cendres, lapilli et bombes) sont exploités à l'occasion, sous forme de granulats légers ou pouzzolanes. Ces dernières sont de composition basique (assez pauvre en Si et Al, riches en Fe et Mg), leur structure peut être plus ou moins cristallisée et leur granulométrie grossière. Elles ne présenteraient donc pas à l'état brut de propriétés hydrauliques utiles pour la production d'un ciment. Les qualités essentielles qui motivent leur exploitation sous le nom de granulats légers sont leur faible densité à cause de leur texture fortement scoriacée et bulleuse, leur grande porosité, et le caractère meuble de leur accumulation. Leur extraction se fait par simple pelletage mécanique. Elles sont ensuite classées granulométriquement par criblage afin d'obtenir diverses qualités en fonction de leur teneur en fraction fine. En effet, si cette dernière est abondante, elle leur confère des propriétés pouzzolaniques (Desgache & Piquel, 2003). Les usages en sont, par ordre d'importance décroissante :

- Pour les techniques routières avec : la réalisation de tranchées et sous-couches drainantes, l'utilisation en mélange avec des graves (granulats denses) et de la chaux, et pour le sablage hivernal ;
- Dans le bâtiment, la pouzzolane sert à fabriquer des boisseaux de cheminée et parpaings ayant de bonnes propriétés d'isolation thermique et phonique. Elle est aussi utilisée pour réaliser les couches d'assainissement et de chaînage des infrastructures ;
- En agriculture et horticulture, la pouzzolane permet un amendement physique et structural des sols lourds, ainsi que la fertigation des cultures maraîchères hors sol ;
- Épuration et désalinisation des eaux, par confection de couches de filtration et des lits bactériens à partir d'un mélange de pouzzolane et de sable quartzeux ;
- Adjuvant pour améliorer les caractéristiques physico-chimiques des ciments et leurs propriétés liantes, eu égard à la richesse de la pouzzolane en silice soluble et alumine.

Les granulats denses peuvent être obtenus par l'exploitation des blocs de laves basaltiques massives et nécessitent des opérations plus onéreuses surtout de concassage. Leurs utilisations, pour des raisons mécaniques concernent la construction et l'entretien des voies de communication. Sous forme de gros blocs, en enrochement, ils stabilisent les versants argileux sensibles aux venues d'eau. C'est un problème géotechnique fréquent dans les zones de bassin à comblement sédimentaire argilo-marneux.

Actuellement et pour des raisons économiques, la tendance est vers l'usage de matériaux industriels préfabriqués et d'enduits de surface aux couleurs parfois malheureuses. Il serait plutôt judicieux de tirer parti de la variété des roches du terroir, surtout des laves et des tufs comme pierres à bâtir, pour éviter cette standardisation regrettable. Choisir les couleurs de ces roches volcaniques pour composer des palettes architecturales du plus bel effet où la couleur des laves et des tufs s'associe harmonieusement au banc des calcaires

5. Un parti pris : Géosites et géotourisme

Le volcanisme d'Azrou-Timahdite constitue un thème de motivation majeur du tourisme dans tout ce quart sud-ouest du Moyen Atlas. Les reliefs érigés par les volcans contribuent à une richesse exceptionnelle de paysages qui sont les traits marquants du décor. A la palette déjà riche du tapis végétal qui varie au gré des saisons, vient se superposer celle des formations volcaniques qui constituent le sol ; ce sont le brun-rouge des pouzzolanes, le brun jaune clair des tufs, le bleu-noir des basaltes ; toutes teintes parmi lesquelles éclate de ci de là, le miroir bleu ciel d'un lac ou d'une doline (Fig. 29).



Figure 29 : Vue panoramique du site d'Agoulmame Sidi-Ali (ASA) au Sud de Timahdite

5.1 Proposition d'actions

La réalisation de missions d'étude et d'exploration sur le terrain, en collaboration avec des équipes spécialisées dans la valorisation des géosites volcaniques (PNRVA, VULCANIA, CERF), a permis d'établir un diagnostic précis de la situation actuelle. Ces travaux ont conduit à l'élaboration d'un plan d'action axé sur le développement du géotourisme (Lacot, 2012 ; De Larouzière, 2012 ; Montoloy et al., 2012 ; Remmal, 2012). Ce projet de valorisation territoriale s'appuie sur la mobilisation et la mise en réseau de plusieurs structures, et sa mise en œuvre s'articule autour de plusieurs étapes clés.

a. Analyser le marché potentiel

Une analyse du marché touristique potentiel doit être conduite, soit en amont, soit parallèlement à la mise en œuvre du projet. Cette étude vise à identifier les segments de clientèle susceptibles d'être intéressés par une offre de géotourisme, notamment ceux qui traversent actuellement le plateau d'Azrou sans s'y arrêter, en route vers d'autres destinations. L'objectif est de comprendre comment susciter, chez ces visiteurs, un intérêt pour la découverte du patrimoine local. Cette analyse devra porter sur les éléments suivants :

- les points de départ des autocars, leurs itinéraires actuels, ainsi que les circuits proposés par les tours opérateurs ;
- les types de clientèles traversant le territoire et leurs besoins potentiels en matière de découverte culturelle ou naturelle ;
- la quantification des flux touristiques, en distinguant les simples passants des visiteurs effectuant un arrêt sur le site ;
- les capacités d'accueil en matière de restauration et d'hébergement ;
- les sites déjà aménagés, ainsi que les thématiques qu'ils valorisent ;
- le nombre et le profil des guides ou animateurs locaux disponibles.

Cette étape doit également permettre d'identifier les attentes des clientèles actuellement en transit, afin de concevoir des dispositifs adaptés susceptibles de les inciter à prolonger leur séjour. L'objectif à terme est de les « capter » pour une journée ou plus, en leur proposant des produits touristiques locaux diversifiés et attractifs.

Cette analyse préliminaire pourrait être confiée, dans un premier temps, à des étudiants en formation dans des écoles de commerce ou des cursus spécialisés en tourisme, dans le cadre de stages ou de projets pédagogiques.

b. Étapes proposées pour la mise en valeur et l'appropriation patrimoniale

Cette phase vise à renforcer la connaissance et la compréhension des édifices géologiques, notamment des formations volcaniques les plus visibles, en vue de leur valorisation et de leur appropriation par les publics locaux et touristiques.

b.1. Renforcement des connaissances scientifiques

Le premier volet repose sur l'approfondissement des connaissances scientifiques relatives aux sites géologiques. Cette étape, qui peut s'étendre sur le long terme (programmes de recherche, thèses, etc.), nécessite

la collaboration étroite avec des volcanologues. Ceux-ci pourront, dans un premier temps, produire des descriptions accessibles des phénomènes volcaniques les plus simples observables sur les sites, tout en amorçant un travail de fond destiné à enrichir et à affiner progressivement ces connaissances (datations, composition minéralogique, enchaînement des éruptions, etc.).

Chaque site étudié pourra ainsi faire l'objet d'une fiche descriptive, intégrant des schémas explicatifs des processus géologiques, ainsi que des points d'observation privilégiés (Fig. 30). Ces documents seront évolutifs et actualisés en fonction des avancées de la recherche.

b.2. Sélection et aménagement de sites lisibles et accessibles pour le grand public

Parallèlement au travail scientifique, une sélection de sites représentatifs et facilement interprétables par le grand public devra être opérée. Ces sites devront répondre à plusieurs critères :

- **Lisibilité géomorphologique** : formes bien conservées, dégagées de la végétation, illustrant les grands types d'éruptions (effusives de type strombolien, explosives de type phréatomagmatique) et les phénomènes associés (coulées, dépôts, cratères, etc.).
- **Accessibilité** : proximité d'une route, présence éventuelle d'aires de stationnement.
- **Sécurité et confort de visite** :
 - Vérification du statut foncier (public/privé), négociation de conventions si nécessaire.
 - Analyse des usages actuels du site (pastoralisme, nomadisme, exploitation forestière) et recherche de solutions conciliant ces activités avec la mise en valeur :
 - Intégration des activités locales à l'expérience touristique : valorisation du pastoralisme (artisanat lainé, production de viande locale), sensibilisation aux enjeux de la gestion forestière (reboisement, lutte contre la déforestation notamment des cédraies fossiles).
 - Collaboration avec le Parc national d'Ifrane pour la mise en valeur écologique et patrimoniale.
 - Exploration de solutions alternatives à la pression sur les ressources naturelles, comme l'équipement des bergeries en fours solaires (en partenariat avec des ONG), ou à plus long terme en panneaux photovoltaïques.
 - Étude des itinéraires de visite : évaluation de la résistance des sols et sous-sols à l'érosion, en fonction du dénivelé ; création de sentiers balisés menant à des points de vue didactiques et limitant la dispersion des visiteurs.
- **Inscription dans une démarche de tourisme durable** :
 - Organisation de campagnes de nettoyage des sites et de sensibilisation à la gestion des déchets, incluant les villages voisins (ex. : traitement écologique des eaux usées par lagunage).
 - Aménagement de sentiers respectueux des pratiques locales et de l'environnement.
 - Ouverture simultanée de plusieurs sites afin d'éviter la surfréquentation et ses impacts négatifs.

b.3. Outils de médiation pour la compréhension des sites par le grand public

La valorisation des sites géologiques passe nécessairement par la mise en place d'outils de médiation adaptés, visant à faciliter la compréhension des phénomènes naturels et à sensibiliser les visiteurs aux spécificités patrimoniales et écologiques du territoire.

- **Fiches descriptives simplifiées pour chaque site sélectionné**

Chaque site retenu fera l'objet d'une fiche pédagogique à destination du grand public, et notamment des prestataires touristiques tels que les guides accompagnateurs. Ces fiches, conçues dans un langage accessible, proposeront une explication simplifiée des phénomènes volcaniques observables, accompagnée d'éléments sur leurs conséquences géomorphologiques et paysagères.

Les grands types de volcanisme présents dans la chaîne du Moyen Atlas

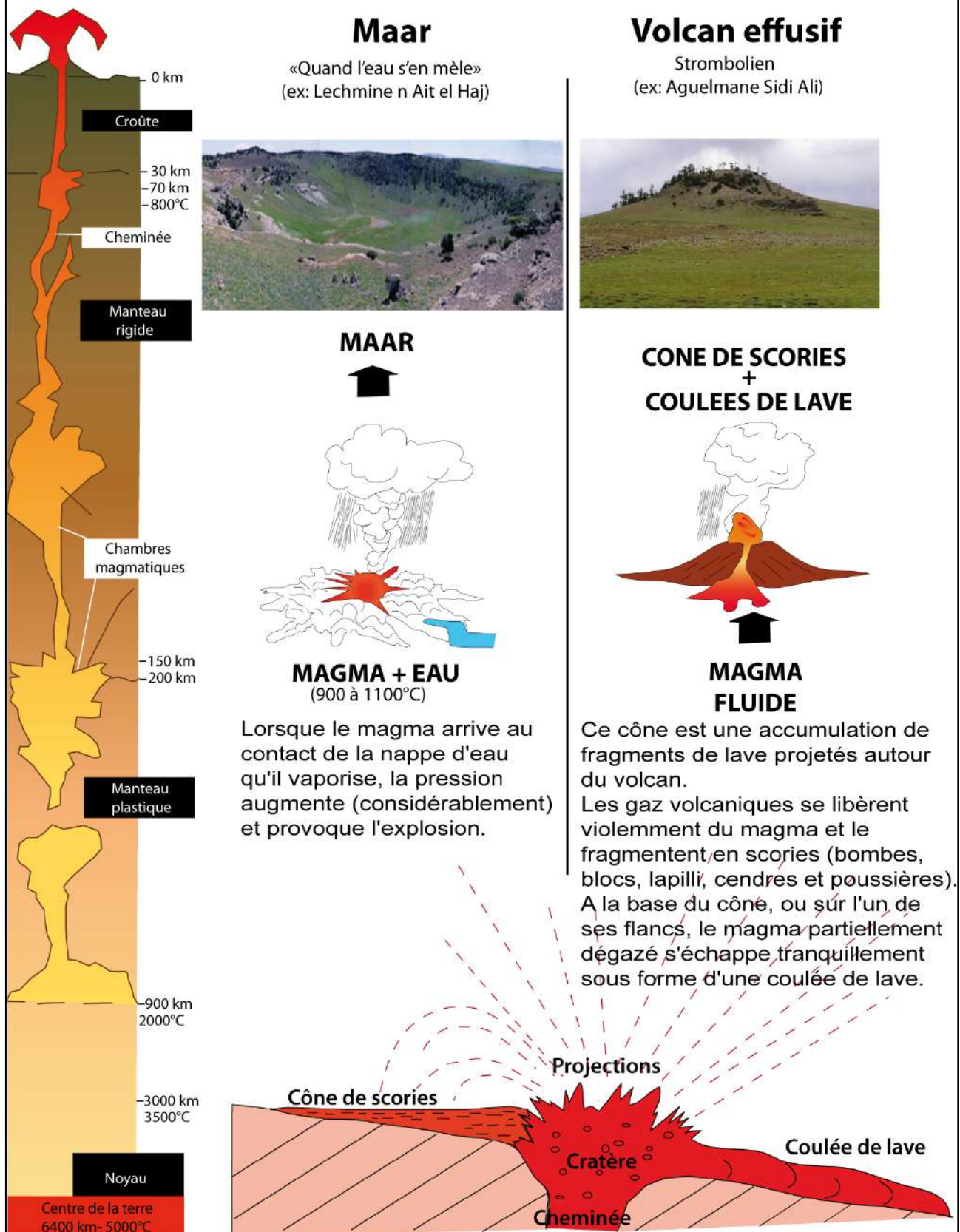


Figure 30 : Fiche descriptive des phénomènes volcanologiques dans le causse moyen atlasique

Elles pourront également intégrer :

- une présentation des usages locaux du territoire (activités pastorales, forestières, artisanales, etc.) ;
- une description de la faune et de la flore présentes, en insistant sur les milieux naturels ordinaires ou remarquables, dans une perspective de sensibilisation à la biodiversité ;
- des éléments de connaissance historique, lorsque disponibles, afin d'enrichir la compréhension globale du site.

À terme, ces fiches pourront être diffusées sous format numérique (téléchargement en ligne), par exemple via le site internet du Parc national d'Ifrane.

• Panneaux de lecture du paysage

En complément des fiches, des panneaux explicatifs pourront être installés sur chaque site, selon les décisions des autorités locales. Ces supports proposeront une lecture simplifiée du paysage, appuyée par des schémas illustratifs, et auront vocation à permettre une autonomie de compréhension pour les visiteurs non accompagnés. Il est essentiel que ces panneaux soient rédigés en plusieurs langues, notamment en arabe et en amazigh, afin d'assurer une accessibilité linguistique pour les populations locales, souvent peu concernées par une documentation exclusivement en français (cf. Parc national d'Ifrane). Ces dispositifs constitueront également un support utile pour les guides lors des visites commentées, renforçant ainsi la qualité de l'expérience touristique et éducative (Fig. 31).

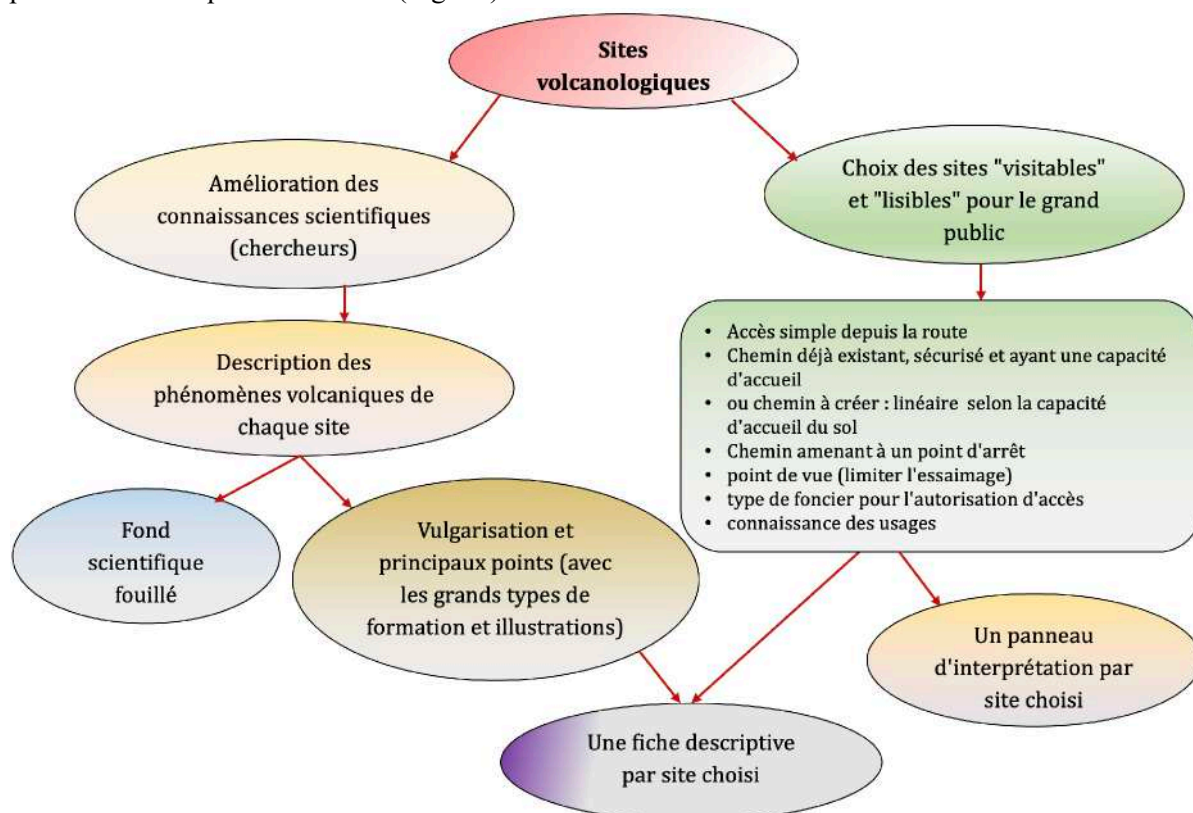


Figure 31 : Choix du site et outils d'aide à sa compréhension par le grand public

b.4. Formation des prestataires touristiques

Dans une perspective de valorisation durable et partagée du patrimoine géologique, la formation des prestataires touristiques constitue un levier essentiel pour encourager la transmission des savoirs et favoriser une véritable appropriation locale de ce patrimoine.

Il apparaît donc nécessaire de mettre en place des sessions de formation destinées aux guides, animateurs et autres acteurs de la chaîne touristique. Cette démarche pourrait s'appuyer sur un partenariat entre le Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne (PNRVA) et le Parc national d'Ifrane (PNI), afin de partager les expériences en matière d'animation, de médiation scientifique et de conception de supports pédagogiques.

Les agents du Parc national d'Ifrane pourraient, dans ce cadre, jouer un rôle central dans la formation des guides locaux, en assurant la transmission des connaissances sur le patrimoine géologique. Cette transmission pourrait également s'effectuer lors de forums publics ou d'événements participatifs, afin de renforcer la sensibilisation des communautés locales à la richesse de leur territoire (cf. Fig. 32).

À plus long terme, il serait pertinent de mettre en place des démarches de qualité concernant les animations proposées. Celles-ci pourraient s'inspirer des principes du **volet II de la Charte européenne du tourisme durable dans les espaces protégés**, qui vise à structurer une offre touristique cohérente, respectueuse des territoires et des habitants. Cette dynamique pourrait, le cas échéant, déboucher sur l'obtention de labels ou de marques de reconnaissance valorisant la qualité des prestations et l'engagement en faveur d'un tourisme responsable.

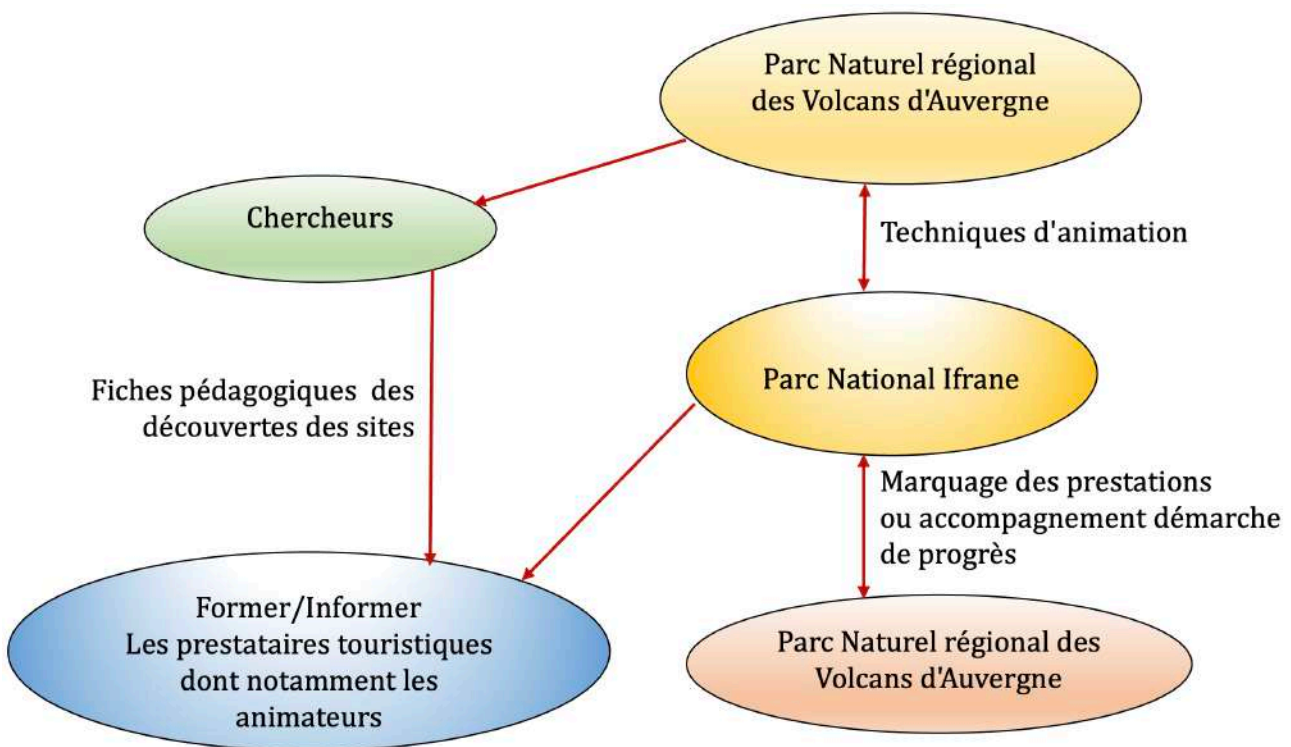


Figure 32 : Logigramme des prestations touristiques

c. Réflexion sur la création et la valorisation de produits touristiques

Dans le cadre de la mise en valeur du plateau d'Azrou et de son patrimoine géologique et culturel, il est essentiel d'identifier les produits touristiques existants susceptibles d'être valorisés, ainsi que d'envisager la création de nouvelles offres adaptées aux attentes des visiteurs et aux spécificités locales.

Parmi les pistes de développement, on peut envisager les axes suivants :

- **Création de circuits de visite** : conception d'itinéraires thématiques permettant la découverte des géosites, des paysages remarquables, ainsi que du patrimoine naturel et culturel associé (biodiversité, histoire, traditions locales).
- **Mise en valeur des produits du terroir** : appui à la production et à la commercialisation de spécialités locales (fromages, viandes, miel, tisanes, etc.), intégrées aux circuits de découverte ou proposées dans les lieux d'accueil touristique.
- **Élaboration de documents de médiation culturelle** : guides de découverte, brochures ou cartes illustrées présentant les différentes facettes du plateau (géologie, histoire humaine, paysages, faune, flore, artisanat, etc.). Ces supports, diffusés notamment chez les hébergeurs et restaurateurs, permettront à ces derniers de mieux connaître leur territoire, d'en être fiers et de partager cette connaissance avec les visiteurs.

- **Amélioration de l'offre d'hébergement et de restauration** : accompagnement des prestataires dans des démarches de qualité et de progrès, en lien avec les principes du tourisme durable, afin d'assurer un accueil cohérent avec les valeurs du territoire.
- **Développement d'outils numériques** : création d'un site web ou d'une plateforme interactive regroupant les informations pratiques, les itinéraires de visite, les ressources pédagogiques et les offres locales. Ces outils pourront renforcer la visibilité du territoire et faciliter la préparation du séjour des visiteurs.

L'un des enjeux majeurs de cette démarche sera la **mise en réseau des acteurs locaux** – prescripteurs (guides, agents de développement), prestataires (hébergeurs, restaurateurs, artisans) et producteurs – afin de favoriser une dynamique collective de valorisation du territoire, reposant sur l'échange de compétences, la complémentarité des offres et la co-construction d'une identité touristique forte et partagée.

5.2 Les modes de gouvernance et développement de la transversalité

Plusieurs structures peuvent être mobilisées ou mises en réseau dans le cadre de ce projet de développement territorial fondé sur la valorisation des géosites. Si des structures extérieures — telles que les universités nationales ou des partenaires étrangers — peuvent ponctuellement contribuer à enrichir la connaissance scientifique du territoire ou apporter un regard neuf, la réussite du projet repose avant tout sur l'ancrage local. Il est en effet essentiel de s'appuyer sur les forces vives locales, présentes sous des formes diverses : institutions publiques, acteurs associatifs, professionnels du tourisme, habitants, artisans, éleveurs ou encore gestionnaires d'espaces protégés. Il s'agit notamment de :

- **Les associations locales**, en particulier celles investies dans le développement de solutions d'hébergement, comme les gîtes ;
- **Le Parc National d'Ifrane (PNI)**, acteur central dans les actions de sensibilisation à l'environnement et la protection des richesses naturelles locales ;
- **Les associations internationales**, susceptibles d'apporter un appui via l'accueil de stagiaires engagés dans des démarches de sensibilisation au développement durable ;
- **Les guides et animateurs déjà présents sur le territoire**, qui peuvent être mobilisés dans des démarches collectives de professionnalisation et de progrès ;
- **Le ministère chargé de l'Éducation**, dont l'implication permettrait d'intégrer une dimension éducative au projet, notamment à travers la sensibilisation des publics scolaires locaux, voire au-delà.

Ces acteurs constituent le socle d'une dynamique durable, car ils détiennent une connaissance fine du territoire et sont les premiers concernés par sa mise en valeur. Leur implication active favorisera non seulement l'appropriation du projet, mais aussi sa pérennisation.

6. Actions entreprises

Afin de légitimer le projet de développement du géosite volcanique du Causse moyen atlasique auprès des structures locales, des consultations ont été engagées entre les porteurs du projet et les responsables du Parc National d'Ifrane (Fig. 33). Conçu autour d'objectifs centrés sur la conservation de la biodiversité et la gestion conservatoire des écosystèmes, le Parc pourrait ainsi élargir son champ d'action à la valorisation et à la sauvegarde du patrimoine géologique de la région.

Dans le cadre de la manifestation nationale « **Les jeunes et la Science au service du développement** », placée sous l'égide de l'**Académie Hassan II des Sciences et Techniques**, des journées de sensibilisation au patrimoine régional ont été organisées à destination des lycéens de la ville d'Azrou. La thématique choisie, centrée sur **l'eau et les volcans**, met en valeur deux composantes naturelles majeures de la région. La mise en œuvre de ce programme a été rendue possible grâce à une collaboration étroite entre plusieurs partenaires : **l'Académie Régionale de l'Éducation et de la Formation**, le **service de gestion de la vie scolaire d'Ifrane**, les **directeurs des lycées d'Azrou**, ainsi que les **associations éducatives locales**, qui se sont mobilisées pour assurer la logistique de l'excursion sur le plateau d'Azrou. La **direction du Parc National d'Ifrane** a, quant

à elle, mis à disposition ses locaux et ses équipements audiovisuels pour accueillir les conférences et ateliers, coordonnés par l'équipe scientifique composée de **professeurs et de doctorants** (Fig. 34).



Figure 33 : Réunion de coordination avec les promoteurs du projet de valorisation du géosite du causse moyen atlasique et les responsables du PN d'ifrane au siège de ce dernier, qui abrite un musée de la biodiversité régionale



Figure 34 : Journées d'études sur l'eau et volcans dans le Moyen Atlas organisées au profit des lycéens d'Azrou

Au-delà de la curiosité scientifique suscitée par ces rencontres, les élèves ont pu découvrir le potentiel naturel de leur région, tout en s'interrogeant sur les moyens de le préserver et de le promouvoir dans une perspective de développement soutenable.

Parallèlement, des études multidisciplinaires — en **volcanologie, pétrologie, géophysique, hydrogéologie et valorisation des matériaux** — sont menées dans la région afin d'enrichir et de consolider les connaissances scientifiques relatives au volcanisme, en particulier dans son interaction avec le contexte karstique local (Mountaj et al., 2014 ; Menjour et al., 2016, 2017 ; Mhiyaoui et al., 2016 ; Achiou et al., 2018 ; Karim et al., 2018). Certains résultats issus de ces recherches sont présentés au public à travers des panneaux descriptifs, illustrés de schémas explicatifs, installés sur les sites les plus représentatifs des phénomènes étudiés.

Parmi les sites à valoriser, **la grande carrière de pouzzolane située au pied du Jbel Hebri** constitue une priorité. Un projet d'aménagement y est envisagé, tenant compte des spécificités géomorphologiques et de la sécurité du site (cf. Fig. 35) :

- En venant d'Azrou en direction de Timahdite par la N13, le site présente une excellente visibilité. L'accès s'effectue de plain-pied depuis la route, au sommet de la carrière, offrant un point de vue panoramique sur l'ensemble du site. Il serait possible d'y aménager un **arrêt touristique avec un grand parking**, réalisé en pouzzolane, dont le coût serait limité à sa seule mise en œuvre. Un **chemin piétonnier** permettrait ensuite d'atteindre le cratère volcanique situé à proximité, offrant une expérience immersive.
- Actuellement, la carrière présente des risques importants : la pente escarpée d'environ 30 mètres est dangereuse depuis le haut, tandis que des chutes de blocs menacent depuis le bas. Le projet prévoit de poursuivre l'exploitation de manière encadrée, en **créant des fronts de taille de 10 mètres maximum**, aménagés en **terrasses de 20 mètres** permettant une circulation sécurisée. Ce dispositif permettrait à la fois une meilleure **lecture géologique du site** et une **sécurisation globale**. Il est en revanche **impératif de stopper l'exploitation en tranchée** en direction du cratère, qui en altère la structure et nuit à sa valeur paysagère.
- Des **panneaux scientifiques explicatifs** pourraient être installés pour attirer les visiteurs et faciliter la compréhension des phénomènes volcaniques. Des blocs de pouzzolane disposés en bordure des fronts de taille serviraient de **signalisation de sécurité**.
- Enfin, la présence de **marchands de produits locaux** pourrait contribuer au maintien de la propreté du site. La fréquentation touristique générerait des ressources permettant de **rémunérer des guides locaux**, qui assureraient les visites commentées en vulgarisant les connaissances volcanologiques auprès des visiteurs.



Figure 35 : Proposition de principe, de l'aménagement de la grande carrière entre Azrou et Timahdite

7. Conclusion

Le **Causse moyen atlasique**, avec ses vastes espaces naturels, est également un territoire de **volcans récents aux formes remarquablement bien préservées**. Cet ensemble volcanique se distingue par sa densité, la diversité de ses formations et la lisibilité de ses paysages, offrant ainsi un potentiel exceptionnel pour la médiation scientifique et touristique. Plusieurs éléments en font un espace privilégié pour la découverte :

- Une lecture du paysage facilitée par un **couvert végétal peu dense**, permettant une observation claire des structures volcaniques ;

- Une **grande variété morphologique**, tant au niveau des coulées que des édifices volcaniques, rendant le discours scientifique accessible et aisément médiatisable ;
- La présence d'un **contexte géologique particulier** (substratum calcaire, dépressions karstiques recouvertes de coulées) générant des formes atypiques ;
- Un existant riche en données environnementales (faune, flore) et historiques, bien que la **dimension géologique reste encore peu valorisée**, malgré des ressources de départ encourageantes.

Plusieurs axes de réflexion peuvent être proposés en vue de la valorisation de ce territoire :

- **Affirmer l'identité volcanique de la région**, à la fois dans la communication et dans l'aménagement, en l'inscrivant clairement comme « région volcanique à découvrir » ;
- **Cibler des zones prioritaires à valoriser**, tout en s'inscrivant dans une démarche globale et progressive ;
- **Sensibiliser les populations locales et les acteurs économiques** (hébergeurs, restaurateurs, commerçants) à l'adoption de pratiques durables, via les associations locales, afin d'assurer un territoire propre, accueillant et attractif, notamment pour un tourisme international ;
- **Mobiliser les étudiants locaux** pour réaliser des études de terrain visant à identifier et hiérarchiser les besoins, les ressources mobilisables et les publics cibles.

Le **tourisme de loisirs** pourra ainsi s'épanouir à travers une offre variée de sentiers de randonnée et d'itinéraires immersifs, à la fois dans l'intimité des vallées et forêts et à travers les panoramas ouverts des plateaux volcaniques. Le **tourisme culturel** trouvera également sa place grâce à la richesse des thématiques géologiques et à l'intérêt croissant du grand public pour la nature et la compréhension de la Terre.

Dans cette dynamique, des **manifestations culturelles** (visites guidées, expositions, conférences) pourront être organisées dans les communes touristiques, et des **centres d'interprétation** pourraient accueillir chaque année plusieurs milliers de visiteurs — scolaires, étudiants, enseignants, voire congressistes. En effet, il est courant que des **colloques scientifiques** intègrent des excursions géologiques dans ce type de milieu volcanique.

Et puis, **qui n'a jamais croisé, au détour d'un sentier ou au fond d'une ancienne carrière, ce naturaliste passionné, armé de son marteau de géologue et de sa loupe de minéralogiste, à la recherche d'une observation, ou mieux encore, d'une explication ?**

Références

- Achiou B., Elomari H., Ouammou M., Albizane A., Bennazha J., Aaddane A., Alami Younssi S. & El Amrani El Hassani Iz. (2018): Study of added starch on characteristics of flat ceramic microfiltration membrane made from natural Moroccan pozzolan. *J. Mater. Env. Sci.*, 9, pp :1013-1021.
- Amine A., El Amrani El Hassani, Iz., Remmal, T., El Kamel F., Van Wyk de Vries B. & Boivin P. (2019) : Geomorphological classification and landforms inventory of the middle-atlas volcanic province (Morocco): Scientific value and educational potential. *Quaestiones Geographicae* 38 (1), pp : 107-129.
- Boivin P., Besson J-C., Briot D., Gourgaud A., Labuzuy Ph., Langlois E., de Larouzière F-D, et al., (2009) : *Volcanologie de la chaîne des Puys. Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne* (Ed), 196p.
- Boivin P., Bourdier J. L., Camus G., Goer De Herve A. de, Gourgaud A., Kieffer G., Mergoïl J., Vincent P. M. & Auby R. (1982) : Influence de la nature des magmas sur l'activité phréatomagmatique : approche volcanologique et thermodynamique. *Bull. Volcanol*, 45, 1, pp. 25-39.
- Bosch D., Maury R.C., El Azzouzi M., Bollinger C., Bello H., & Verdoux P. (2014) Lithospheric origin for Neogene-Quaternary Middle Atlas lavas (Morocco): Clues from trace elements and Sr-Nd-Pb-Hf isotopes. *Lithos* 205, pp :247–265.
- Bourdier J.L. (sous la direction de) (1994) : *Le volcanisme*. Editions du BRGM, Orléans.

- Charrière A. (1990) : Héritage hercynien et évolution géodynamique alpine d'une chaîne intracontinentale : le Moyen Atlas au sud-est de Fès (Maroc). Thèse Doctorat d'Etat, Univ. Paul Sabatier de Toulouse, 559 p.
- De Larouzière F.D. (2012) : Vulcania, Rapport inédit, 3p.
- De Waele J., Di Gregorio F., Melis M.T. & El Wartiti M. (2009): Landscape units, geomorphosites and geodiversity of the Ifrane Azrou region (Middle Atlas, Morocco). *Mem Descr. Carta Geol. d'Italia* 137, pp: 63–76.
- De Waele J. & Melis M.T. (2009): Geomorphology and geomorphological heritage of the Ifrane–Azrou region (Middle Atlas, Morocco). *Environmental geology* 58, pp: 587–599.
- Desgache G. & Piquel J. (2003) : Mise en évidence de l'activité pouzzolanique de deux matériaux volcaniques du Massif Central. Université Blaise-Pascal, Clermont II. DESS. Mémoire d'études de cas. 31p.
- El Azzouzi M., Maury C., Bellon H., Youbi N., Cotten J. & Kharbouch F. (2010): Petrology and K-Ar chronology of the Neogene-Quaternary Middle Atlas basaltic province, Morocco. *Bull. Soc. geol. Fr.*, 2010, t. 181, N°3, pp: 243-257.
- Frizon De Lamotte D., Leturmy P., Missenard Y., Khomsi S., Ruiz G., Saddiqi O., Guillocheau F. & Michard A. (2009) : Mesozoic and Cenozoic vertical movements in the Atlas system (Algeria, Morocco, Tunisia): an overview. *Tectonophysics*, 475, pp:9–28.
- Fullea Urchulategui J., Fernandez M., Afonso J.C., Verges J. & Zeyen H. (2010) : The structure and evolution of the lithosphere-asthenosphere boundary beneath the Atlantic-Mediterranean Transition Region. *Lithos*, 120, pp: 74–95.
- Harmand, C. & Moukadiri, A. (1986) : Synchronisme entre tectonique compressive et volcanisme alcalin; exemple de la province quaternaire du Moyen Atlas (Maroc). *Bulletin de la Société géologique de France* 2, pp: 595–603.
- Harmand C. & Cantagrel J.M. (1984) : Le volcanisme alcalin tertiaire et quaternaire du Moyen Atlas (Maroc) : chronologie K/Ar et cadre géodynamique. *Journal of African Earth Sciences*, 2, pp : 51-55.
- Hollard, H., Choubert, G., Bronner, G., Marchand, J. & Sougy, J. (1985) : Carte géologique du Maroc au millionième. *Notes & Mém. Serv. géol. Maroc* N°260.
- Karim A., Achiou B., Bouazizi A., Aaddane A., Ouammou M., Bouziane M., Bennazha J. & Alami Younssi S. (2018): Development of reduced graphene oxide membrane on flat Moroccan ceramic pozzolan support. Application for soluble dyes removal. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. JECE-D-17-02010.
- Lacot Y. (2012) : CERF, Rapport inédit, 4p.
- Lakroud K., Remmal T., El Amrani Iz., Mountaj S., El Kamel F., Van Wyk de Vries B., Boivin B., Balcone-Boissard H., Makhoukhi S. & Soufi M. (2019) : Monogenetic Strombolian Activity at Aguelmane Sidi Ali Volcano (Middle Atlas Volcanic Province, Morocco). *The Geographical Bulletin* 60 (2), pp: 109-125.
- Malaki A. (2006) : Géosites: Intérêt scientifique, patrimoine culturel et visées socio-économiques, au niveau d'Ifrane, Azrou, Aïn leuh et El Hajeb (Causse moyen atlasique). Thèse Univ. Mohammed V, Rabat
- Martin J. (1981) : Le Moyen Atlas central. Étude géomorphologique. *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc*, N° 258 bis.
- Missenard Y. (2006) : Le relief des Atlas marocains : Contribution des processus asthénosphériques et du raccourcissement crustal, aspects chronologiques. Thèse de l'Université Cergy-Pontoise, Paris
- Missenard Y., Zeyen H., Frizon De Lamotte D., Leturmy P., Petit C., Sebrier M. & Saddiqi O. (2006) : Crustal versus Asthenospheric Origin of the Relief of the Atlas Mountains of Morocco. *J. Geophys. Res.* 111-B03401, doi : 10.1029/2005JB003708.
- Mhiyaoui H., Manar A., Remmal T., Boujamaoui M., El Kamel F., Amar M., Mansour M. & El Amrani El Hassani Iz. (2016) : Structures profondes du volcanisme quaternaire du Moyen Atlas central (Maroc): Apports de la cartographie aéromagnétique. *Bulletin de l'Institut Scientifique Rabat, Section Sciences de la Terre*, 38, pp : 111-125.

- Menjour F., Amraoui F. & Remmal, T. (2016) : Assessment of the spatio-temporal evolution of Aguelmam Sidi Ali Lake using multitemporal Landsat Imagery (Middle Atlas - Morocco). Proceeding, 6th International Conference on Cartography and GIS, Albenia, Bulgaria, doi: 10.13140/RG.2.2.33019.92964,
- Menjour F., Remmal T., Hakdaoui M., El Kamel F., Lakroud K., Amraoui F., El Amrani El Hassani, Iz., Van wyk de vries B. & Boivin P. (2017) : Role of Fracturing in the Organization of the Karst Features of Azrou Plateau (Middle Atlas, Morroco) Studied by Remote Sensing Imagery. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, Springer, 45(6), pp:1015-1030
- Montoloy Ch., Erard S. & Lafont R. (2012) : Premières réflexions. PNRVA, Rapport inédit, 7p.
- Mountaj S., Remmal T., El Hassani El Amrani Iz., Van Wyk de Vries B. (2014) : Reconstruction of the morphological evolution and the eruptive dynamics of the Lechmine n'Aït el Haj Maar in the Middle Atlas karstic province of Morocco. Proceeding, PIAVCEI – 5th International Maar Conference, pp: 4-5, Querétaro, México, Carrasco G. et al. (Eds).
- Mountaj S., Remmal T., El Amrani El Hassani Iz., Makhoukhi S., Lakroud K. & Van Week de Vries B. (2020) : Phreatomagmatic plioquaternary volcanism in the Middle Atlas: Analysis of the eruptive sequence of the Lechmine n'Aït El Haj maar. Arabian Journal of Geosciences, 13, pp:559-576, doi.org/10.1007/s12517-020-05554-w
- Remmal T. (2012) : Cadre géologique et potentialités minérales et géotouristiques des sites volcaniques d'Azrou-Ifrane-Timahdite. Séminaire : Valorisation des géomatériaux et des géosites volcaniques, Institut Scientifique, Rabat
- Rose-Koga E.F., Gurioli L., Harris A.J.L. & Leduc L. (2017) : L'activité volcanique du Stromboli : un laboratoire naturel de choix à la base de la classification des projections. In Des volcans aux nuages, l'Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand, Revue d'Auvergne, volume 131 (2), N° 622-623, pp :125-158.
- Tadili B. & Ramdani F. (1983) : Computer file of Moroccan earthquakes. Bull. Seismol. Soc. Am., 73, pp: 259-289.
- Zeyen H., Ayarza P., Fernandez M. & Rimi A. (2005) : Lithospheric structure under the western African-European plate boundry: A transect across the Atlas Mountains and the Gulf of Cadiz. Tectonics, 24(2): TC2001, doi:10.1029/2004TC001639.

Le patrimoine minéralogique du Maroc entre le marteau de la promotion et l'enclume de la préservation

Addi Azza

3, Rue Jbel Toubkal, Apt. 12, Rabat Agdal
azza.geoconsulting@gmail.com

Résumé

Le Maroc se distingue par la richesse et la diversité de son patrimoine minéralogique, tant sur le plan scientifique qu'esthétique. Le présent article met en lumière certains minéraux emblématiques qui ont contribué à la renommée du pays dans ce domaine. Toutefois, cette richesse naturelle demeure menacée par des risques croissants de dilapidation, en l'absence de mesures de préservation appropriées. Afin de pallier cette problématique, plusieurs pistes de réflexion sont proposées, au premier rang desquelles figurent l'éducation et la sensibilisation des jeunes générations, la constitution de collections privées encadrées ainsi que le renforcement du cadre juridique national en matière de protection du patrimoine minéralogique.

Mots-clés : Patrimoine minéralogique ; Minéraux communs ; Minéraux spécifiques ; Protection ; Valorisation ; Réglementation.

Abstract

Morocco is renowned for the richness and diversity of its mineral heritage, valued both for its scientific significance and aesthetic appeal. This article highlights several emblematic minerals that have contributed to the country's reputation in this field. However, the lack of appropriate preservation measures increasingly threatens this natural wealth with depletion. To address this issue, we propose several strategies, foremost among them educating and raising awareness among younger generations, establishing regulated private collections and strengthening the national legal framework to protect mineral heritage.

Keywords: Mineralogical heritage; Common minerals; Specific minerals; Protection; Valorization; Regulation.

1. Introduction

Le Maroc se distingue comme l'un des rares pays où une grande partie des minéraux a fait l'objet d'études approfondies. À ce jour, pas moins de 145 espèces minérales y ont été répertoriées. De plus, plus de 40 % des sulfures et des éléments natifs connus à ce jour y ont été identifiés (Permingeat, 1991 ; Azza et al., 1992). Actuellement, tous les types de minerais, à l'exception du diamant et de la bauxite, y ont été décrits et, dans de nombreux cas, exploités. En ce qui concerne le diamant, il convient de noter la découverte d'un graphite rétrotransformé dans la région du Rif, présentant un habitus octaédrique, caractéristique spécifique du diamant.

Cette richesse minéralogique peut être attribuée à deux facteurs principaux. D'une part, la géologie du pays, qui englobe pratiquement toutes les formations géologiques connues (*e.g.* Michard, 1976 ; Michard et al., 2008 ; El Hassani, 2023), et d'autre part, l'activité soutenue des géologues. Dès le début du siècle dernier, avec la création du Service géologique du Maroc, suivie de celle de l'Office Chérifien des Phosphates (OCP) et du Bureau de Recherches et de Participations Minières (BRPM), ces scientifiques se sont attachés à explorer et à faire connaître les richesses du sol et du sous-sol marocains.

2. Historique

Depuis sa création en 1921, le Service Géologique du Maroc a œuvré pour valoriser son patrimoine minéralogique en établissant une entité dédiée à l'étude et à la préservation des spécimens minéralogiques nationaux. Cette démarche s'est renforcée avec la création, au sein de la Direction des Mines, de la Géologie et de l'Énergie (DMG), du Service d'Étude des Gîtes Minéraux (SEGM), dont la mission principale était la reconnaissance des ressources minérales du pays. Comme le souligne Fauvelet (2003), « Longtemps ce service

n'aura aucun équivalent dans les pays de mouvance française, y compris la "métropole", et sera considéré comme un modèle ». Les résultats obtenus étaient encourageants et plusieurs articles scientifiques ont été publiés par le Service Géologique du Maroc.

Despujols a publié deux ouvrages fondamentaux, l'un consacré à la géologie (Despujols, 1933) et l'autre à l'exploitation minière (Despujols, 1936). Dans le premier, il retrace de manière exhaustive l'histoire des recherches géologiques au Maroc, depuis leurs origines jusqu'en 1930, mettant en exergue les efforts humains considérables déployés pour améliorer la connaissance géologique du pays. Il y développe le rôle crucial des précurseurs du XIX^e siècle, synthétise leurs contributions majeures et décrit l'évolution des concepts géologiques. L'ouvrage aborde également l'organisation du Service de la carte géologique, qu'il a lui-même conçue et mise en œuvre. Structuré en quatre parties distinctes, cet ouvrage offre une synthèse claire et précise de l'état de la géologie marocaine jusqu'en 1930.

En 1936, Despujols publie un second ouvrage tout aussi important, consacré à l'histoire des recherches minières au Maroc, depuis leurs origines jusqu'en 1930. Cet ouvrage démontre que le véritable essor de la recherche minière au Maroc commence au début du XX^e siècle, dans un contexte économique particulièrement favorable. De 1906 à 1930, une intense activité de prospection est menée, malgré des conditions géographiques et techniques souvent extrêmes. L'âge d'or de la prospection, situé entre 1922 et 1923, voit l'ouverture de nouveaux gisements majeurs tels que ceux d'Imini et d'Aouli. Cependant, la crise économique de 1930 vient freiner cet élan. En l'espace de douze ans, des milliers de mètres de tranchées, galeries et sondages sont réalisés, révélant des réserves significatives en plomb, zinc, manganèse et, surtout, en phosphate, ce dernier constituant la pierre angulaire du potentiel minier marocain.

Mouttaqi et al (2011), en tant que coordinateurs du volume 9 de la série des « nouveaux guides » géologiques du Maroc, consacre ce volume à une analyse approfondie du secteur minier marocain. Cet ouvrage met en évidence l'importance prépondérante de l'industrie minière dans l'économie marocaine, soulignant son rôle majeur depuis plusieurs siècles. Il révèle également que les technologies minières marocaines ont été transmises en Europe par l'intermédiaire de l'Espagne musulmane et du sud de la France. Au début du XX^e siècle, des gisements importants de phosphates, de plomb, de zinc, de fer et de manganèse ont été découverts. Le Maroc possède les trois quarts des réserves mondiales de phosphates et est le premier exportateur et le troisième producteur mondial. L'Office Chérifien des Phosphates (OCP), créé en 1920, gère cette ressource stratégique avec une extraction à ciel ouvert et une valorisation du produit. L'État marocain, à travers l'Office National des Hydrocarbures et des Mines (ONHYM), promeut activement la valorisation des ressources minières autres que les phosphates.

Les études sur les gisements minéraux ont fait l'objet de nombreuses publications, parmi lesquelles se distingue la monographie de référence intitulée "Géologie des Gîtes Minéraux Marocains" (Agard et al., 1951)¹, qui a longtemps été considérée comme une autorité dans le domaine. Une seconde édition a été élaborée en 1980 pour le Tome 1 et 2 traitant les substances métalliques et non métalliques associées et, en 1986, pour le Tome 3 consacré aux phosphates. Grâce à une collaboration à la fois nationale et internationale, le Service des Gîtes Minéraux (SGM), héritier direct du SEGM, a poursuivi les recherches, les investigations et la publication des travaux scientifiques. La procédure établie comprenait deux volets principaux : la publication des résultats dans la série « Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc (NMSGM) » et la conservation des minéraux étudiés au sein de la « collection minéralogique nationale ». Cette conservation systématique permettait non seulement de constituer une collection de référence, mais aussi de faciliter la reprise des études sur un minéral spécifique si nécessaire. Dans ce contexte, un numéro spécial de la série NMSGM a été publié par Permingeat (1991), et un ouvrage destiné au grand public a été édité par Azza et al. (1992).

¹ Ouvrage sorti à 4000 exemplaires pour le Congrès Géologique d'Alger en 1952, et 2000 exemplaires pour les Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc.

3. Principaux minéraux du Maroc

Cette section présente une classification des minéraux marocains en deux catégories distinctes : les minéraux « communs », largement reconnus à l'échelle internationale, et les minéraux « spécifiques », découverts et décrits exclusivement au Maroc.

3.1. Les minéraux « communs »

Certains minéraux ont contribué de manière significative à la renommée du Maroc. Lors des foires d'exposition, il est courant de trouver des spécimens en provenance de ce pays. Ces minéraux sont appréciés soit pour leur esthétique, soit pour leur valeur scientifique ou leur rareté. Dans le cadre de cet article, nous nous limiterons à mentionner quelques-uns de ces minéraux. Pour plus de détails, nous recommandons la consultation d'ouvrages spécialisés tels que ceux de Cherotzky (1978), Permingeat (1991), Azza et al. (1992) et El Amrani (2025).

Parmi les minéraux esthétiques les plus répandus, nous pouvons citer l'azurite, la malachite, l'érythrine, la vanadinite, la wulfénite, la barytine, l'anglésite, la smithsonite et l'aragonite. Leurs sites de collecte sont indiqués sur la carte minière du Maroc (Fig. 2). Les planches photo (Pl. 1, 2 et 3) illustrent les spécimens de ces minéraux, et que nous décrivons dans cette note.

L'**azurite**, un carbonate de cuivre de formule $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$, se présente sous forme de cristaux pouvant atteindre plusieurs centimètres de long (Pl. 1-A). Les spécimens les plus beaux sont translucides et arborent une couleur bleu azur caractéristique. Minéral secondaire d'altération, l'azurite est généralement associée aux gisements de cuivre, particulièrement ceux encaissés dans des roches carbonatées. Les plus beaux spécimens proviennent de l'ancienne mine de Touissit-Bédiane (Maroc oriental) et de la mine de Bouskour (Saghro). D'autres occurrences ont été signalées dans le Haut Atlas et dans la boutonnière de Boumia, à une cinquantaine de kilomètres au nord-ouest de Midelt.

La **malachite**, également un carbonate de cuivre de formule $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$, est plus abondante que l'azurite et se distingue par sa couleur verte (Pl. 1-B). Elle peut constituer le minéral principal de certains gisements, comme c'est le cas à Ifri n'Jenjar, dans le Haut Seksaoua. La malachite se présente généralement en masses compactes ou en encroûtements, mais peut aussi se trouver sous forme de fines aiguilles. Bien qu'abondante, la malachite cristallisée est rare. Les plus beaux spécimens marocains proviennent de M'Ifis (région de Taouz) et de Bouskour.

L'**érythrine**, un arséniate de cobalt de formule $\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, appartient à la famille de la vivianite. Sa couleur, allant du rose clair au rose vif (Pl. 1-C), a enrichi de nombreuses collections, notamment celles des institutions et des organismes ayant été en contact direct avec la géologie du Maroc en général et la mine de Bou Azzer (Anti-Atlas central) en particulier. Il est à noter que la découverte de la mine de Bou Azzer en 1928 est liée à l'érythrine, qui a été utilisée comme raticide.

La **vanadinite** de Mibladen (Pl. 1-D) est un minéral secondaire typique des zones oxydées des gisements de plomb de formule chimique $\text{Pb}_5(\text{VO}_4)_3\text{Cl}$. Elle a largement contribué à la renommée de la haute Moulouya et des gorges d'Aouli (à une trentaine de kilomètres de Midelt). Le gisement se situe à une vingtaine de kilomètres au nord-est de Midelt. Ce minéral, de couleur rose à rouge vif sur carbonates, peut former des cristaux dépassant le centimètre, ce qui en augmente la valeur. Malgré la fermeture de la mine et l'interdiction d'accès, certaines personnes continuent d'extraire de la vanadinite des anciennes galeries, au péril de leur vie. Un autre site d'extraction est connu dans le Tafilalet (Filon 12, Tadaout, Taouz). Contrairement à la vanadinite de Mibladen, la variété de Taouz se présente en cristaux plus petits. La principale différence réside dans la roche encaissante : la vanadinite de Taouz est associée aux oxydes de fer sur roches quartzzeuses. Une autre variété de vanadinite, l'**endlechte**, a été rencontrée à Bédiane (Pl. 1-E), dans le district de Touissit. Il s'agit d'une vanadinite grise, avec une teneur en arsenic approchant celle en vanadium, rappelant la pyromorphite.

La **wulfénite** est un minéral secondaire rare, caractéristique des zones d'oxydation des gisements de plomb de formule chimique $PbMoO_4$. Avec son jaune canari ou sa belle couleur chatoyante jaune-orangé (Pl. 1-F), La wulfénite se rencontre au Maroc dans plusieurs sites où elle accompagne les minéralisations plombifères dont elle constitue un produit secondaire. Les plus beaux spécimens ont été récoltés à Touissit, mais on en trouve également à M'Ifiss, dans la région de Taouz (Figure 2), où un filon est dénommé « filon de la wulfénite ». Il est à noter que, contrairement à la wulfénite jaune de Touissit, les spécimens rencontrés à M'Ifiss et à Tadaout sont oranges et plus trapus.

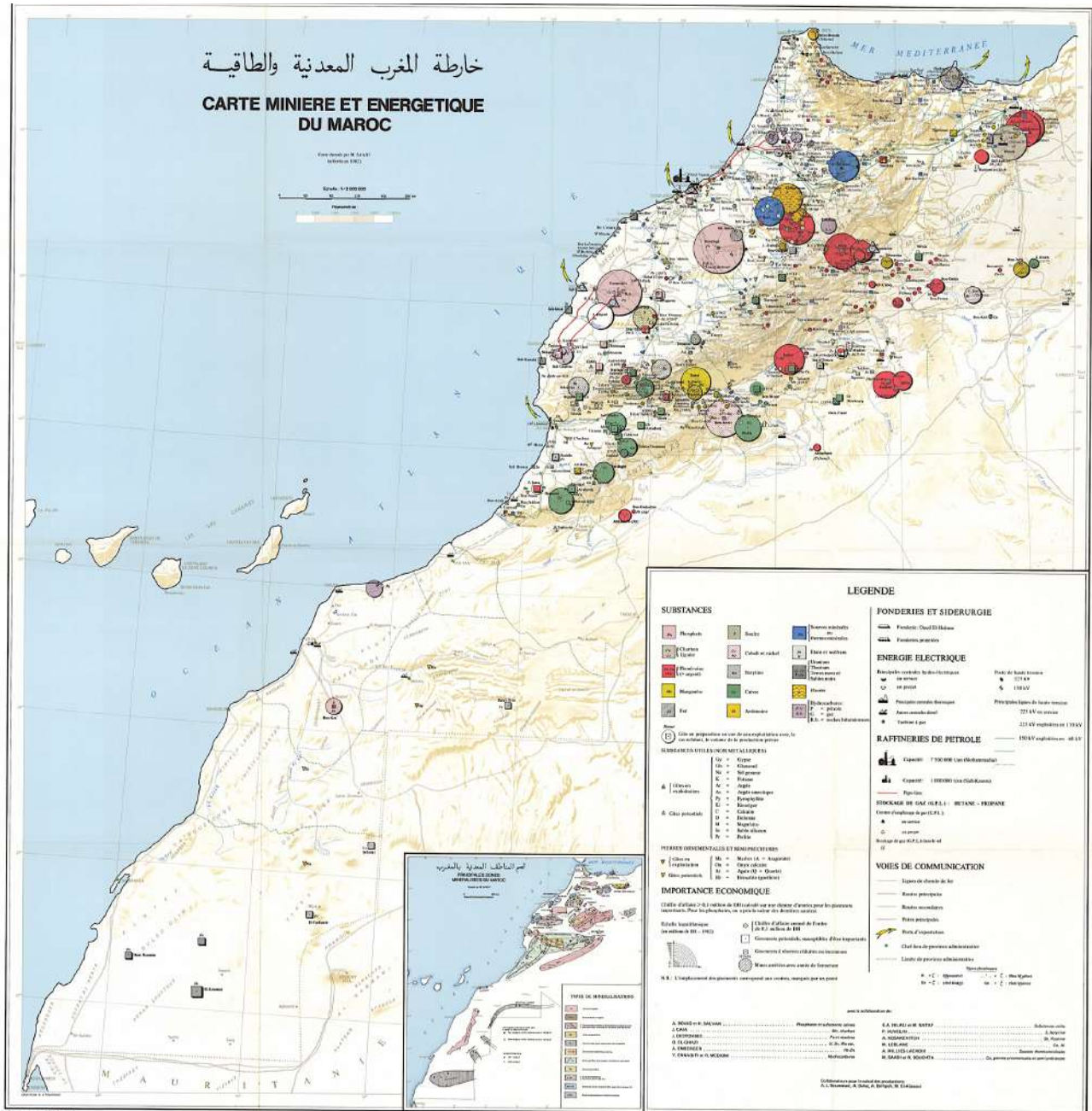


Figure 1 : Carte minière et énergétique du Maroc (Saadi M., Notes & Mém. Serv. Géol. Maroc, 279, 1975)

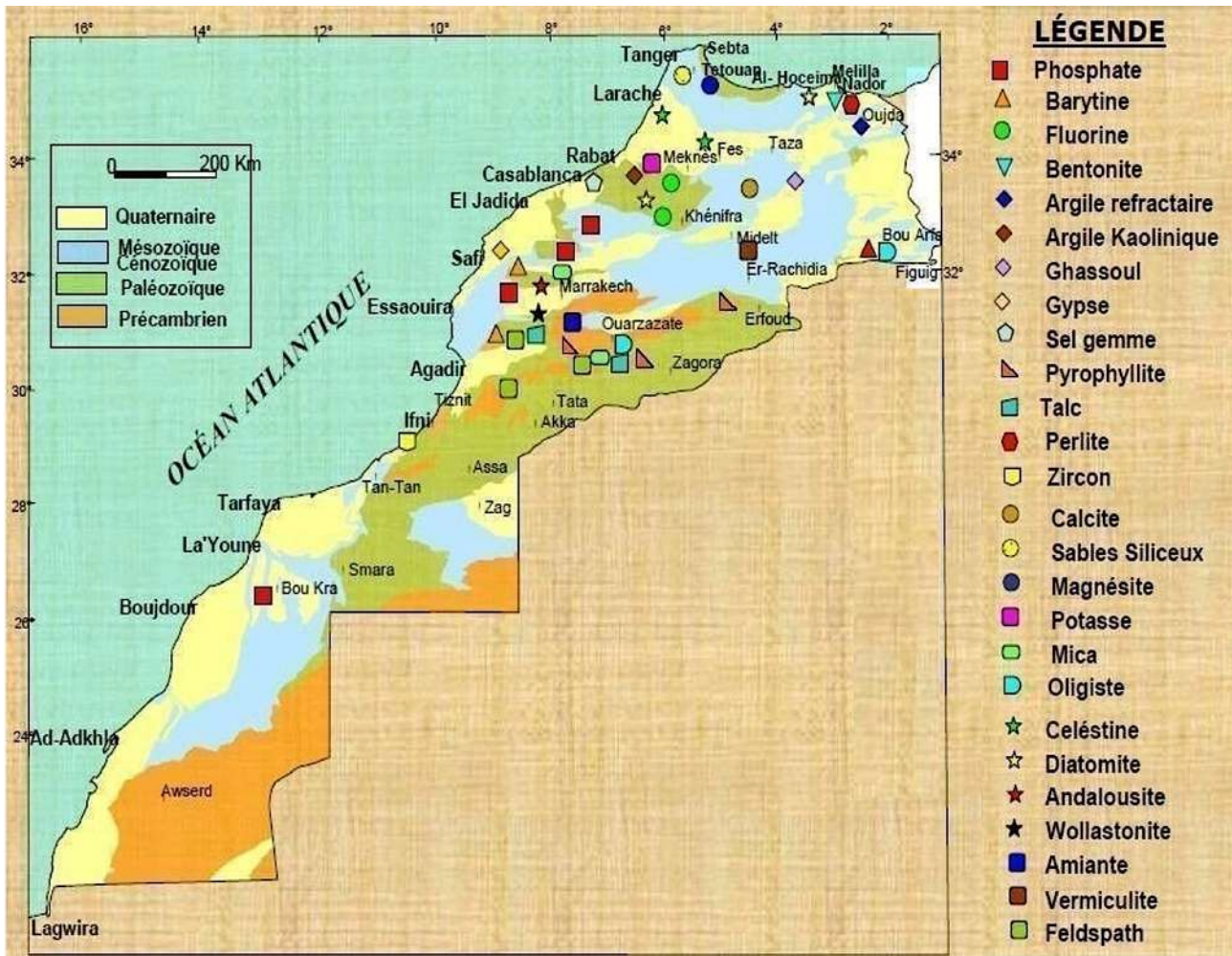


Figure 2: Carte montrant l'emplacement des principaux minéraux communs et spécifiques du Maroc

Avec une production annuelle dépassant largement le million de tonnes, le Maroc se positionne parmi les principaux producteurs mondiaux de **barytine**, aux côtés de la Chine et de l'Inde. Ce minéral, de formule chimique BaSO_4 , est présent dans presque toutes les formations géologiques du pays et se manifeste sous une grande diversité d'habitats cristallins. On le rencontre fréquemment sous forme crêtée ou en lattes (Pl. 2-A et B). Sa teinte la plus courante est le blanc laiteux, bien que des altérations superficielles, notamment des recouvrements d'oxydes de fer, puissent en modifier la coloration. Certains spécimens, issus de la mine de Mibladen, présentent une parure de microcristaux de vanadinite, qui en accentue l'attrait esthétique. Par ailleurs, des cristaux de barytine d'un bleu clair, d'un intérêt minéralogique certain, ont été identifiés dans la mine de fer de Ouixane, dans le Rif oriental. Cependant, ce sont les cristaux provenant de la mine de M'Ifiss, dans la région de Taouz (Anti-Atlas oriental), qui sont considérés comme les plus spectaculaires.

La **céruosite** est un carbonate de plomb dont la formule chimique est PbCO_3 . Elle suscite un vif intérêt en raison de son apparence évoquant le diamant (Pl. 2-B). Ce minéral est fréquemment observé dans les zones d'altération des minéralisations de plomb, se caractérise par son aspect vitreux et translucide. De plus, ses cristaux sont souvent bien individualisés.



Planchel : Minéraux « communs » trouvés au Maroc. A : Azurite ; B : Malachite ; C : Erythrine; D: Vanadinite ; E: Endlechte et F: Wulfénite.

Le Haut Atlas, connu pour ses gîtes et gisements de plomb-zinc en milieu karstique, abrite également de remarquables spécimens de carbonate de zinc, la **smithsonite** (ZnCO_3), localement désignée sous le nom de « calamine ». Ce minéral se présente généralement sous forme de lamelles millimétriques, mais également sous forme de concrétions en gerbes ou en grappes translucides, ou encore en masses colloformes verdâtres (Pl. 2-C), comme on peut l'observer dans la mine de Touissit.

Parmi les nombreux minéraux issus des gisements de manganèse au Maroc, la **pyrolusite** (MnO_2) se distingue par ses fines aiguilles (Pl. 2-D). Plusieurs sites sont réputés pour ce minéral de couleur gris métallique, mais les spécimens les plus remarquables proviennent de la mine d'Imini, dans la région de Ouarzazate, connue des spécialistes pour être l'un des rares sites où l'on trouve de la **coronadite**, de formule chimique

$\text{Pb}(\text{Mn}^{4+}\text{Mn}^{3+}_2)\text{O}_{16}$ (Pl. 2-E), un oxyde de plomb et de manganèse. De nombreuses personnes connaissent ces petits dessins, sous forme de « gravures » ou d'arborescences noirâtres ornant les faces des couches sédimentaires, évoquant des feuillages, qui ne sont autres que de la pyrolusite, connue sous le nom de « dendrites ».



Planche2 : Minéraux « communs » trouvés au Maroc (suite). A : Barytine ; B : Cérusite sur barytine ; C : Smthsonite ; D : Pyrolusite ; E : Coronadite ; F : Anglésite et G : Aragonite.

La couleur du minéral détermine souvent sa valeur commerciale, comme c'est le cas de l'**anglésite** (PbSO_4). Ce sulfate de plomb est généralement transparent et de couleur claire (Pl. 2-F), mais on le trouve également dans des teintes plus foncées, allant du jaunâtre au marron foncé, spécimens les plus recherchés. Pour augmenter la valeur des échantillons, certains commerçants peu scrupuleux n'hésitent pas à les tremper dans

l'eau de javel pour leur donner une teinte plus foncée. Au Maroc, l'anglésite est présente dans plusieurs gisements de plomb, mais les spécimens les plus beaux proviennent de la mine de Touissit.

L'**aragonite** (CaCO_3) est un minéral courant (Pl. 2-G). Il s'agit d'un carbonate de calcium, tout comme la calcite. Cependant, certains habitus sont peu courants dans la nature, tels que les plumes de l'oued Akrech (région de Rabat) ou les gerbes hexagonales de Sefrou, qui peuvent être confondues avec la vanadinite. Une variété plombifère, d'un vert bleuté très rare, appelée « tarnowitzite », a été découverte à Touissit.

3.2. Les minéraux « spécifiques »

Parmi les minéraux ayant suscité un vif intérêt au sein de la communauté scientifique, nous pouvons citer la marokite, l'agardite, la gaudefroyite, la jouravskite et l'imitérite.

La **marokite** (Gaudefroy et al., 1966), ainsi nommée en hommage au Maroc, est un oxyde de manganèse découvert en 1962 à Tachgagalt, dans la région de Ouarzazate. Sa formule chimique est CaMn_2O_4 . Ce minéral, de couleur gris sombre, se présente souvent sous forme de lattes ou de prismes (Pl. 3-A). Sa particularité réside dans la valence III du manganèse, qui est rare.

L'**agardite** (Dietrich et al., 1969) a été nommée en l'honneur de Jules Agard (1916-2003), premier chef du Service d'Étude des Gîtes Minéraux du Maroc (SEGM). Ce minéral a été découvert à Bou Skour (dans la région du Saghro) en 1964. Il s'agit d'un arséniate hydraté de cuivre contenant de l'yttrium, de formule chimique $(\text{Y,Ca})\text{Cu}_6(\text{AsO}_4)_3(\text{OH})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, se présentant sous forme de fines aiguilles vert pâle (Pl. 3-B).

La **gaudefroyite** (Jouravsky & Permingeat, 1964) est un borate de manganèse de formule $\text{Ca}_4\text{Mn}_3^{4+}(\text{BO}_3)_3(\text{CO}_3)(\text{OH})_3$. Il s'agit du seul borate décrit au Maroc à ce jour. Comme pour la marokite, le manganèse présente une valence III. Découvert en 1962 à Tachgagalt, ce minéral a été nommé en hommage à l'abbé Christophe Gaudefroy (1888-1971), minéralogiste au SEGM. Il se présente sous forme d'aiguilles hexagonales noires (Pl. 3-C), ce qui permet de le distinguer des autres minéraux de manganèse.

La **jouravskite** (Gaudefroy & Permingeat, 1965) est un sulfate de manganèse découvert à Tachgagalt (Pl. 3-D). Sa formule chimique est $\text{Ca}_6\text{Mn}_3^{3+}(\text{SO}_4)_2(\text{CO}_3)_6 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Ce minéral a été nommé en l'honneur de Georges Jouravsky (1896-1964), ancien géologue en chef au service géologique du Maroc.

L'**imitérite** est le dernier minéral découvert au Maroc, une trouvaille remontant à 1983 (Guillou et al., 1985). Ce sulfure d'argent et de mercure, dont la formule chimique est Ag_2HgS_2 , tire son nom de la mine d'Imiter, située dans la région de Tinghir (Fig. 2), réputée pour ses plaques d'argent natif. L'imitérite se présente sous forme de fines aiguilles prismatiques ou de tablettes inframillimétriques (Pl. 3-E).

Depuis son approbation comme espèce minérale en 1985, l'imitérite a été signalée dans une vingtaine de gisements à travers le monde. Néanmoins, les spécimens les plus emblématiques et esthétiquement remarquables demeurent ceux issus de la mine d'Imiter, au Maroc, avec de fins cristaux prismatiques, d'environ 1 mm et dotés d'un éclat métallique argenté sombre (Pl. 3-F).

Ce survol succinct de quelques minéraux emblématiques illustre la richesse et la diversité du patrimoine minéralogique marocain. Il ne constitue qu'un échantillon représentatif d'un ensemble beaucoup plus vaste, puisque, comme mentionné précédemment, plus de 145 espèces minérales ont été recensées à ce jour dans le Royaume. Cette abondance témoigne de la richesse géologique du territoire marocain et de son rôle de premier plan dans l'inventaire et l'étude des ressources minérales à l'échelle régionale et internationale.

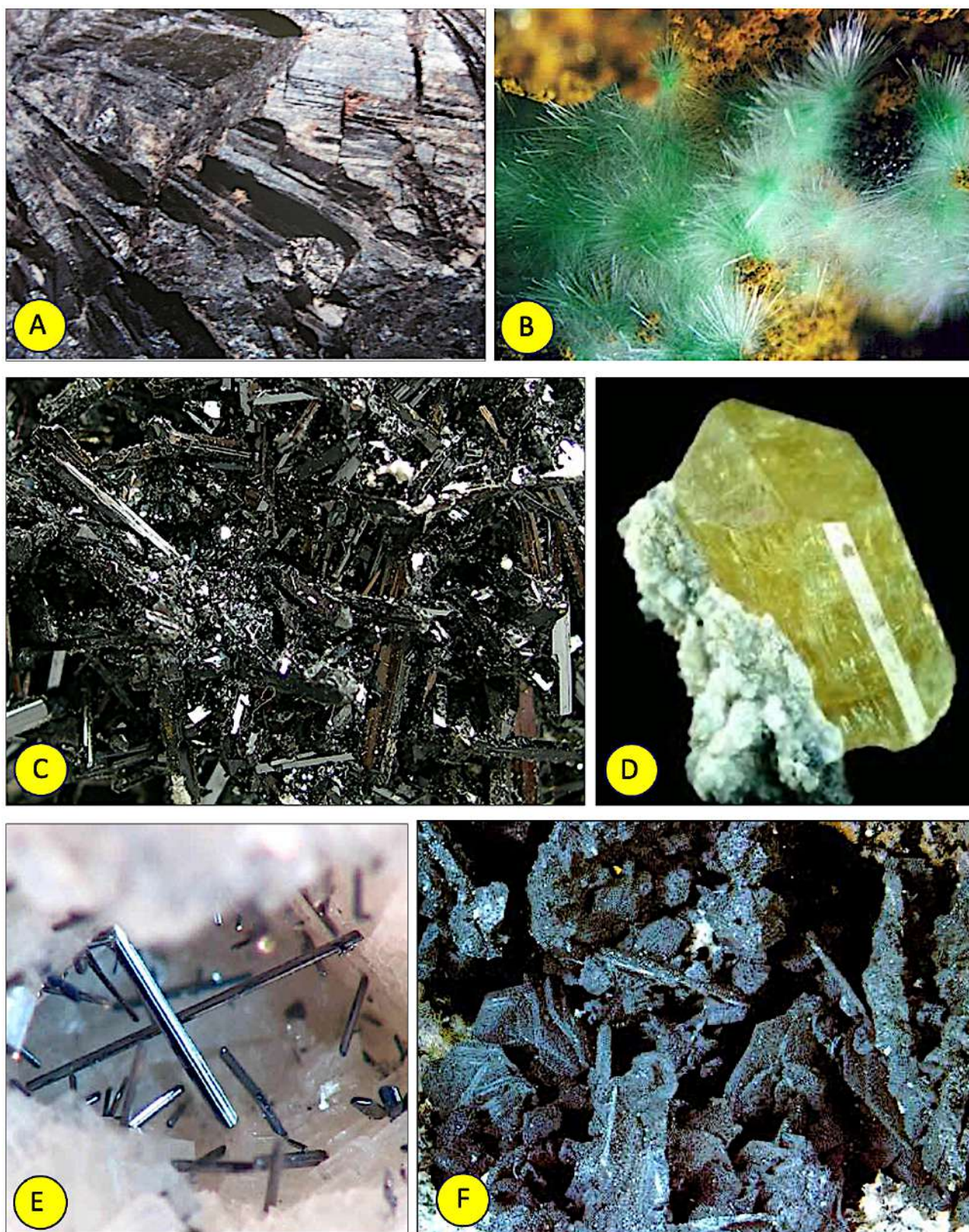


Planche 3 : Minéraux « spécifiques » découverts au Maroc. A : Marokite ; B : Agardite ; C: Gaudfroyite; D: Jouravskite; E et F : Imitérîte.

4. Pour une protection et une valorisation du patrimoine minéralogique

Compte tenu de sa richesse minéralogique exceptionnelle, il est naturel que le Maroc soit une destination privilégiée pour les amateurs de minéraux. Cette attractivité constitue sans aucun doute une excellente publicité pour le pays. Cependant, les ressources minérales ne sont pas inépuisables. Sans une protection et une

préservation adéquate, les générations futures risquent de ne connaître les minéraux marocains qu'à travers des ouvrages scientifiques ou des musées étrangers. Quelles mesures le Maroc a-t-il prises pour préserver son patrimoine ? Et quelles actions pourrait-il entreprendre à l'avenir ?

Dans cette perspective, deux axes principaux se dégagent pour protéger et valoriser ce patrimoine géologique : d'une part, par la culture, afin de faire connaître la valeur scientifique et l'importance culturelle de ce patrimoine, et d'autre part, par l'adoption de textes législatifs appropriés pour assurer sa préservation.

4.1. Volet culturel

Tout d'abord, il est essentiel d'inculquer aux jeunes la culture minéralogique et l'amour des minéraux. En effet, on ne protège que ce que l'on aime. Si nos jeunes apprennent à admirer ce don de la nature, ils en prendront soin. Si notre système éducatif encourage à explorer des sentiers moins battus et intègre la culture au sens large, le civisme s'installera dans les esprits ouverts. Et quoi de plus civilisé que de préserver son patrimoine ?

Ensuite, il serait judicieux de créer des collections minéralogiques à l'échelle nationale. Rien de mieux que d'encourager la mise en place de « musées privés », qu'ils soient personnels ou collectifs, pour conserver et promouvoir ce patrimoine. Dans ce cadre, les élus, les ONG et les collectivités territoriales auront un rôle crucial à jouer. Actuellement, comme il a été mentionné précédemment, peu de collections existent. Les seules collections « publiques » sont la collection minéralogique de l'Institut Scientifique de Rabat et la « collection minéralogique nationale » de la Direction de la Géologie, des Mines et des Hydrocarbures relevant du Département de la Transition Énergétique. Certes, cette collection a été, jusqu'à récemment, un centre de référence pour les spécialistes, mais elle était « trop scientifique » et seuls les professionnels y avaient accès. En 2014, il avait été décidé de créer un musée au sein du ministère chargé des mines (Hall du rez-de-chaussée du bâtiment principal du Département) en y exposant des minéraux reflétant la richesse de notre patrimoine minéralogique. Ce projet a été réalisé et plus de 200 spécimens y sont exposés. Ce musée peut être visité sur réservation.

4.2. Législation et réglementation

Outre le volet culturel, il nous semble indispensable de réglementer la commercialisation de ces spécimens. En effet, il fut un temps où seuls quelques spécimens étaient exportés. La commercialisation des minéraux n'était pas très répandue et peu de gens s'y adonnaient. Certes, certains spécialistes avaient alimenté les collections des universités et institutions européennes, mais cela s'est produit principalement avant l'indépendance. Les touristes qui visitaient le Maroc emportaient rarement plus de trois ou quatre pièces pour leur propre plaisir. Souvent, ces pièces étaient décoratives et il n'était pas rare que ces pièces soient des « fausses », comme ces géodes de calcite repeintes ou remplies de galène cristallisée.

Toutefois, vers le milieu des années 1980, l'exportation des minéraux (et fossiles) a pris de l'ampleur et on a assisté à des expéditions par dizaines de tonnes destinées à l'export vers les bourses internationales de minéraux. Il est alors devenu nécessaire d'intervenir pour réglementer cet export.

C'est ainsi que le Ministre de l'Énergie et des Mines de l'époque a émis une « note de service » autorisant le Service des Gîtes Minéraux à interdire l'export de certains spécimens. Les minéraux étaient classés en trois catégories : ceux dont l'export est libre, ceux dont l'export est restreint (nombre de pièces limité et valeur marchande inférieure à 7000 DH) et les minéraux interdits à l'export. Il était évident que la deuxième catégorie posait le plus de problèmes, car le Service des Gîtes Minéraux se trouvait parfois face à des factures indiquant des montants inconcevables. Ceci s'est produit en 1985 quand un échantillon d'endléchite a été retenu au Service et le client remboursé sur la valeur de la facture. Ce spécimen est exposé au niveau du musée du Ministère de l'Énergie et des Mines.

Il a fallu attendre avril 1994 pour que le Ministre du Commerce Extérieur et de l'Artisanat édite un arrêté (1308-94 du 19 avril 1994) fixant la liste des marchandises faisant l'objet de mesures de restrictions quantitatives à l'import et à l'export. Dans cette liste, on trouve les « Collections et spécimens pour collections de zoologie et de botanique, de minéralogie et d'anatomie, objets pour collections présentant un intérêt historique, archéologique, ethnographique et numismatique ».

Vient ensuite la loi n° 22-07 promulguée par le dahir n° 1-10-123 et relative aux aires protégées, qui prévoit la protection des géosites, des fossiles et des minéraux.

La loi 33-13 relative aux mines, promulguée par le dahir n° 1-15-76 du premier juillet 2015, avec son article 116 qui stipule que « L'extraction, la collecte et la commercialisation des spécimens minéralogiques et fossiles et des météorites sont subordonnés à l'octroi par l'administration d'une autorisation, selon les modalités fixées par voie réglementaire ». Le décret n° 2-18-968 du 23 juillet 2019, portant application de cet article de loi, permettra de mieux contrôler et réglementer ce commerce.

Enfin, signalons le projet de loi 33-22 relative à la protection du patrimoine culturel, naturel et immatériel et qui considère les ressources géologiques comme étant un patrimoine naturel devant être protégé.

5. Conclusion et recommandations

Le patrimoine minéralogique du Maroc constitue une richesse inestimable, tant sur les plans scientifique et culturel. À travers cette note, nous avons présenté un panorama des principaux minéraux du pays, en les répartissant en deux grandes catégories : d'une part, les minéraux dits *communs*, largement reconnus à l'échelle internationale ; d'autre part, les minéraux *spécifiques*, dont la découverte et la description sont exclusivement liées au territoire marocain.

Les minéraux communs sont bien représentés dans les collections minéralogiques mondiales. Ils participent largement à la notoriété internationale du Maroc, notamment à travers leur présence régulière dans les foires et expositions spécialisées, où ils sont prisés autant pour leur beauté que pour leur rareté ou leur intérêt scientifique. Parallèlement, le Maroc a également contribué à l'enrichissement de la minéralogie mondiale par la découverte de minéraux spécifiques tels que la marokite, l'agardite, la gaudefroyite, la jouravskite ou encore l'imitérite. Ces espèces, souvent rares, suscitent un intérêt marqué au sein de la communauté scientifique et témoignent de la singularité géologique du pays.

Cependant, cette richesse minéralogique n'est pas inépuisable. Sa préservation à long terme nécessite des actions concrètes articulées autour de deux axes complémentaires : la valorisation culturelle et la régulation législative.

Sur le plan culturel, il est fondamental de sensibiliser les jeunes générations à l'importance et à la beauté de ce patrimoine. Cela peut passer par la création de collections publiques ou privées, le développement de musées régionaux, ainsi que l'implication des collectivités locales, des ONG et des institutions éducatives. Une telle dynamique favoriserait l'émergence d'une culture de la préservation fondée sur la connaissance et l'attachement aux minéraux. Sur le plan réglementaire, des textes de loi ont déjà été adoptés pour encadrer l'extraction, la collecte et la commercialisation des spécimens minéralogiques. Ces mesures, bien qu'encore perfectibles, constituent une avancée significative vers une gestion plus durable de cette ressource précieuse.

En conjuguant ces deux approches — culturelle et réglementaire — le Maroc sera à même de préserver, valoriser et transmettre ce patrimoine unique. Ainsi, les générations futures pourront non seulement admirer ces trésors naturels, mais aussi les étudier dans le cadre d'une démarche scientifique et éducative au service du développement durable du pays.

Références

- Agard J., Bouladon J., Destombes J., Horon O., A. Jeannette A., Jouravsky G. et al., (1951) : Géologie des Gîtes Minéraux Marocains. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, N°87, 416p.
- Azza A., Benali A., Bensaid M. & Karbid M. (1992) (coord.) : Minéraux du Maroc. (Ouvrage collectif, réalisé sous la direction de Alaoui-Mdaghri D. 182p. Dépôt légal 394/1992, Arti Grafich Motta, Milan.

- Cherotzky G. (1978) : Pétrographie du Maroc (Roches éruptives et métamorphiques). Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, n° 266, 152 p.
- Despujols P. (1933) : Historique des recherches géologiques au Maroc, des origines à 1930. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, n° 25, 79 p.
- Despujols P. (1936) : Historique des recherches minières au Maroc, des origines à 1930. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, n° 37, 178 p.
- Dietrich J-E., Orliac M. & Permingeat F. (1969) : L'agardite, une nouvelle espèce minérale, et le problème du chlorotile. Bull. Soc. fr. Mineral. Cristallogr ; Vol. 92, pp : 420-434.
- El Amrani Iz. (2025) : Atlas des Minéraux & Roches du Maroc. Regards sur la richesse du patrimoine minéral marocain. Hassan II Academy Press, Morocco, 260 p.
- El Hassani A. (2023) : A Geologist's Paradise, Tracing Morocco's Geological History from Early Explorers to the Modern Era. Hassan II Academy Press, Morocco. ISBN: 978-9954-716-22-9 ; e-ISBN: 978-9954-716-23-6, 384 p.
- Fauvelet E. (2003) : Jules Agard ; dans « Mines, Revue des Ingénieurs », n° 405 p.64.
- Gaudefroy C. & Permingeat F. (1965) : La jouravskite, une nouvelle espèce minérale. Bull. Soc. fr. Mineral. Cristallogr., Vol. 88, pp. 254-262.
- Gaudefroy C., Jouravsky G. & Permingeat F. (1966) : La Marokite, CaMn_2O_4 , une nouvelle espèce minérale. Bull. Soc. fr. Mineral. Cristallogr. Vol. 86, pp : 359-367.
- Guillou J-J., Monthel J., Picot P., Pillard F., Protas J. & Samama J-C. (1985) : L'imitérite, Ag_2HgS_2 , nouvelle espèce minérale ; propriétés et structure cristalline. Bull. Soc. fr. Mineral. Cristallogr. Vol. 108, pp : 457-464.
- Jouravsky G. & Permingeat F. (1964) : La gaudefroyite, une nouvelle espèce minérale. Bull. Soc. fr. Mineral. Cristallogr. Vol. 87, pp. 216-229
- Michard A. (1976) : Éléments de Géologie marocaine, *Notes & Mém. Serv. géol. Maroc*, 252, 408 p.
- Michard A., Saddiqi O., Chalouan A. & Frizon-de-Lamotte D. Eds. (2008) : Lecture Notes in Earth Sciences, Continental Evolution : The Geology of Morocco, *Springer*, 424p.
- Mouttaqi A., Rjimati E.C., Maacha L., Michard A., Soulaïmani A. & Ibouh H. (2011): Les principales mines du Maroc. La série des Nouveaux Guides (Volume 9). *Notes & Mém. Serv. géol. Maroc*, N° 564, 370 p.
- Permingeat F. (1991) : Introduction à la minéralogie du Maroc. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc. N° 336 (T. 1 et 2).
- Saadi M. (1975) : Carte minière et énergétique du Maroc. Notes & Mém. Serv. Géol. Maroc, N° 279.

Les météorites messagères du ciel

L'Expo-musée : une contribution de 'ATTARIK Foundation' à la valorisation du patrimoine géologique du Maroc

Hasnaa Chennaoui-Aoudjehane^{1,2}, Mohamed Aoudjehane³, Omar Berrada⁴, Soukaina Arif^{1,2}, Fatimaezzahra Jadid^{1,2}, Nawal Larouci^{1,2}, El Mehdi El Hachimi^{1,2}

1. GeoPEn Laboratory, Hassan II University of Casablanca, Faculty of Science Ain Chock, Morocco; 2. ATTARIK Foundation for Meteoritics and Planetary Science; 3. Agrokit Morocco, 4. Yasmine Signature

hassna.chennaoui@univh2c.ma

Résumé

Le Maroc dispose d'un patrimoine géologique d'une richesse exceptionnelle, reconnu à l'échelle internationale, mais encore insuffisamment valorisé au niveau national. Dans cette optique, ATTARIK Foundation a lancé l'Expo-Musée *Les météorites, messagères du ciel*, une initiative innovante de médiation scientifique multilingue implantée dans des espaces commerciaux à forte fréquentation à Casablanca. L'exposition propose au grand public un parcours riche et des informations scientifiques accessibles et rigoureuses sur les météorites, le système solaire, l'évolution de la vie, les fossiles, les minéraux, l'astronomie et l'exploration spatiale. Depuis 2021, plus de 35 000 visiteurs ont été accueillis, majoritairement des jeunes en milieu scolaire, mais aussi des familles et touristes. Le dispositif se distingue par la qualité scientifique de ses contenus, validés par un comité scientifique, ainsi que par l'approche immersive accompagnée de scientifiques et de médiateurs formés : météorites marocaines authentiques exposées, possibilité d'en toucher une, maquette du système solaire, planétarium et soirées d'observation du ciel. L'initiative contribue à sensibiliser les jeunes à la science, à promouvoir la fierté nationale envers un patrimoine naturel remarquable, et ouvre la voie à d'éventuelles déclinaisons dans d'autres régions. Elle plaide enfin pour la reconnaissance officielle du patrimoine géologique du Maroc à travers la création d'une Journée nationale, proposée pour le 14 novembre.

Abstract

Morocco has an exceptional geological heritage that is widely acknowledged abroad but still underappreciated nationally. In this context, the ATTARIK Foundation launched the "*Meteorites: Messengers from the Sky*" Exhibit-Museum—an innovative, multilingual science outreach initiative set up in high-traffic commercial areas in Casablanca. The exhibition offers the general public accessible yet scientifically rigorous content on meteorites, the solar system, the evolution of life, fossils, minerals, astronomy, and space exploration. Since 2021, over 35,000 visitors have attended, primarily school-aged youth, families, and tourists. The project stands out for its scientific quality, validated by a dedicated scientific committee, and immersive approach guided by scientists and trained science communicators: authentic Moroccan meteorites on display (including the opportunity to touch one), a solar system model, a planetarium, and stargazing events. This initiative fosters scientific curiosity among youth, promotes national pride in Morocco's geological heritage, and could be replicated in other regions. It also advocates for the official recognition of this heritage, notably through the establishment of a National Geological Heritage Day, proposed for November 14.

1. Présentation

Le patrimoine géologique du Maroc : diversité, reconnaissance et dynamiques de valorisation : Le Maroc se distingue par un patrimoine géologique d'une richesse remarquable, caractérisé par la diversité de ses formations géologiques, la qualité exceptionnelle de ses affleurements, ainsi que l'abondance de fossiles, de minéraux et de météorites répartis sur l'ensemble de son territoire. Situé à la convergence de plusieurs domaines structuraux majeurs, le pays constitue un véritable laboratoire à ciel ouvert pour les sciences de la Terre et est souvent qualifié de « paradis des géologues » à l'échelle internationale (Chennaoui-Aoudjehane et El Hariri, 2018 ; El Hassani, 2022, 2023 ; El Amrani, 2025). Dans de nombreux domaines des sciences de la Terre et de l'Univers, des recherches de pointe et des découvertes majeures ont été réalisées au Maroc. Ces travaux, menés par des chercheurs marocains, ont fait l'objet de publications dans des revues scientifiques de

renommée mondiale telles que *Nature* et *Science* (Ibrahim et al 2020, Chennaoui Aoudjehane et al 2012). Bien que cette richesse géologique soit bien connue au sein de la communauté scientifique spécialisée, elle demeure encore insuffisamment valorisée auprès du grand public et des décideurs.

Des initiatives significatives ont néanmoins vu le jour au cours des dernières années, visant à la reconnaissance et à la valorisation de ce patrimoine. Parmi elles, la publication en 2018 de l'ouvrage collectif, dans la série des *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc* (El Hariri & Chennaoui-Aoudjehane, 2018, Édts), dédié à la publication de travaux présentés lors de la conférence internationale RALI 2015 à Marrakech sous le thème : « ***The Rise of Animal Life : Cambrian and Ordovician biodiversification events promoting geological heritage : challenges and issues*** ». Cet ouvrage, coordonné par la Direction de la Géologie du Ministère de l'Énergie et des Mines (devenu depuis le Ministère de la Transition Énergétique et du Développement Durable), en partenariat avec l'Association pour la Protection du Patrimoine Géologique du Maroc (APPGM), propose une synthèse de quelques richesses géologiques du Maroc, rédigée par des scientifiques marocains reconnus, respectant les standards académiques de rigueur, tout en adoptant un langage accessible aux non-spécialistes et aux décideurs. Il vise à constituer un outil de référence pour le développement territorial durable. Par ailleurs, trois éditions des *Journées Nationales du Patrimoine Géologique du Maroc* ont été organisées, à Rabat (2017 et 2019) et Zagora (2022), réunissant chercheurs, universitaires, élus, professionnels du secteur et représentants de la société civile autour des enjeux liés à la préservation et à la valorisation du géopatrimoine national.

Sur le plan législatif, une avancée majeure a été réalisée avec l'introduction, dans la dernière révision de la loi sur les mines, d'un article relatif au patrimoine géologique. Le décret d'application de cet article est entré en application en février 2021 (Chennaoui-Aoudjehane, 2024a), établissant un cadre juridique clair encadrant la collecte, la commercialisation et l'exportation des objets géologiques. Par ailleurs, un projet de loi spécifique relatif au patrimoine naturel sous l'égide du Ministère de la Culture, incluant le patrimoine géologique, est actuellement en cours d'adoption.

L'ensemble de ces actions a été porté et consolidé grâce à l'engagement actif de l'APPGM, de ses membres et de ses partenaires scientifiques, qui ont oeuvré inlassablement pour la reconnaissance, la protection et la valorisation durable du patrimoine géologique du Maroc.

Le rôle des musées dans la valorisation du patrimoine géologique : état des lieux et exemples internationaux : Les musées jouent un rôle central dans la préservation, l'interprétation et la diffusion des connaissances relatives au patrimoine naturel, et plus particulièrement au patrimoine géologique. À l'intersection de la recherche scientifique, de la médiation éducative et de la valorisation culturelle, ces institutions constituent des *espaces privilégiés pour sensibiliser le public* à la diversité des matériaux terrestres et extraterrestres, à leur histoire géologique, ainsi qu'aux enjeux contemporains de leur conservation.

Dans le domaine des sciences planétaires, plusieurs institutions de renommée internationale illustrent l'efficacité des musées dans la mise en valeur du patrimoine scientifique. C'est notamment le cas du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, du Natural History Museum de Londres, du Smithsonian Institution à Washington D.C., ou encore du Meteor Crater Visitor Center en Arizona. Ces établissements démontrent la capacité des musées à articuler savoir scientifique et appropriation sociale, contribuant ainsi à la construction d'une culture scientifique citoyenne à l'échelle locale et globale.

Au Maroc, le premier *Muséum National d'Histoire Naturelle* a été fondé en 1920 au sein de l'Institut Scientifique de Rabat (El Hassani, 2020). Depuis, quelques initiatives ont vu le jour, parmi lesquelles figure le Musée des Sciences de la Terre, situé au siège du Ministère de la Transition énergétique et du Développement durable à Rabat. D'autres musées universitaires et spécialisés contribuent également à la valorisation du géopatrimoine, notamment le Muséum d'Histoire Naturelle de l'Université Cadi Ayyad de Marrakech, le Musée des Phosphates de Khouribga, ou encore le Musée privé de l'Atlas Golf de Marrakech, remarquable réalisation d'un mécène du secteur immobilier.

L'Expo-Musée *Les météorites, messagères du ciel*, portée par ATTARIK Foundation, incarne une initiative citoyenne innovante et sans précédent au Maroc. Créée en avril 2019 et domiciliée à la Faculté des Sciences Aïn Chock de l'Université Hassan II de Casablanca, cette association s'engage activement dans la promotion des sciences à travers des dispositifs originaux de médiation scientifique. Cette exposition constitue une illustration concrète du rôle que peuvent jouer les musées et les expositions thématiques dans la sensibilisation du grand public au patrimoine géologique et à la culture scientifique.

2. L'Expo-Musée « Les météorites, messagères du ciel »

2.1. Origine et genèse du projet

L'idée de concevoir une exposition permanente consacrée aux météorites est portée par le Professeur Hasnaa Chennaoui-Aoudjehane depuis les années 2000, lorsqu'elle initia l'introduction de la planétologie et les premières recherches sur ces objets célestes au Maroc (Chennaoui-Aoudjehane, 2008, 2022a). Cette ambition a trouvé un cadre institutionnel en avril 2019, avec la création de l'association à but non lucratif **ATTARIK Foundation for Meteoritics and Planetary Science**, dédiée à la promotion des sciences planétaires (Arif et al., 2023). Issue de la collaboration entre scientifiques universitaires et passionnés de sciences, cette fondation s'est donnée pour mission de valoriser les météorites marocaines et de développer des dispositifs innovants de médiation scientifique.

Dans le souci d'assurer la pérennité de ses actions, ATTARIK Foundation a décidé de mettre en place des activités génératrices de ressources pour son fonctionnement et la réalisation de ses objectifs, parmi lesquelles figurait la création d'un musée. Les promoteurs de ce projet s'étaient fixé quelques missions principales : la valorisation du patrimoine géologique du Maroc, en particulier les météorites ; la sensibilisation des jeunes aux sciences ; le renforcement du sentiment d'appartenance à une histoire naturelle nationale ; et la mise en lumière d'un patrimoine scientifique souvent méconnu.

Dans un contexte de relance post-COVID-19, une opportunité s'est présentée à l'association : l'occupation temporaire d'un espace de 270 m² au sein d'un centre commercial de grande affluence, AnfaPlace Mall à Casablanca. Le projet d'exposition a été soumis à l'équipe de direction du centre commercial, qui a accepté de mettre à disposition le local pour une période initiale de deux mois (juillet-août 2021), moyennant un loyer symbolique. Ce partenariat original a été plusieurs fois renouvelé, permettant à l'Expo-Musée de rester en place pendant douze mois, jusqu'en juillet 2022 (Figs. 1 et 2).

À la suite de la reprise du local par une enseigne commerciale, de nouveaux contacts ont été établis avec Marina Shopping Mall, dont les responsables ont proposé un espace plus vaste de 380 m² pour une durée initiale de six mois. Un projet enrichi a été élaboré, validé et mis en œuvre. L'inauguration de ce nouveau lieu d'exposition a eu lieu en octobre 2022. À la date de rédaction de cet article (juin 2025), l'Expo-Musée y est toujours en activité, marquant bientôt trois années de présence continue.

2.2. Préparation et développement

La mise en œuvre du projet a représenté un véritable défi, nécessitant sa conception, sa budgétisation, la mobilisation de financements et son déploiement en un temps record de quatre mois, dans un espace initialement dépourvu d'infrastructure. Pour relever ce défi, une équipe dédiée à la préparation et à la réalisation de l'exposition a été constituée. Travaillant de manière intensive, cette équipe a assuré la conception de la scénographie sans faire appel à un muséographe professionnel. Les premières maquettes, élaborées en interne, ont servi à illustrer les dossiers de présentation du projet et ont guidé sa mise en forme (Fig. 3).

Parallèlement, l'équipe a produit l'ensemble du contenu scientifique, tant textuel qu'illustratif. Ce contenu a été rédigé par des membres de l'institution issus des secteurs de la recherche et de l'enseignement supérieur. Afin d'enrichir l'aspect pédagogique et didactique de l'exposition, un récit illustré a été conçu et publié. Divers cadeaux d'accompagnement, tels que des t-shirts, des cartes postales et des articles de maroquinerie, ont également été créés, contribuant ainsi à la visibilité et à la pérennité de l'initiative.



Figure 1 : Quelques illustrations et photos de la communication et de l'espace accordé à l'Expo-Musée à AnfaPlace Mall. **A-** Affiche de l'expo-musée publiée sur les réseaux sociaux ; **B-** Affiche publicitaire 3x4 mètre présentée sur 3 panneaux autour de AnfaPlace corniche de Casablanca pour 6 mois à partir de juin 2021, **C** et **D-** Photos de l'habillage d'espaces de AnfaPlace Mall intérieurs et extérieurs aux couleurs de l'Expo-Musée. **E-** Photo de la façade de l'Expo-Musée à AnfaPlace Mall.



Figure 2 : Inauguration de l'Expo-Musée par Monsieur Le Wali de Casablanca, Gouverneur de l'arrondissement Casa Anfa, et d'autres personnalités.



Figure 3 : – A- Maquette de l'Expo-Musée à AnfaPlace ; B- Maquette de l'Expo-Musée à Marina Shopping Mall

Parmi les principales difficultés rencontrées figurait la contrainte financière, dans un contexte où l'ambition était de réaliser un projet à la fois qualitatif et innovant, sans garantie de financement préalable. Afin de réduire les coûts, de nombreuses tâches ont été prises en charge en interne par les membres actifs de la Fondation ATTARIK. Le projet a néanmoins bénéficié du soutien de plusieurs partenaires, tant sur le plan financier que sur le contenu scientifique (Tableaux 1 et 2), ainsi que de contributions apportées par des particuliers engagés.

2.3. Élaboration d'un concept innovant

Le terme *Expo-Musée*, créé spécifiquement pour désigner cet espace original (et dûment déposé à titre de marque), désigne une structure hybride entre une exposition temporaire et un musée, tant par la nature de ses contenus scientifiques que par la qualité des objets rares et authentiques qui y sont présentés (Aoudjehane et al., 2024). Ce concept novateur se distingue par l'implantation d'un espace muséal à vocation scientifique au sein d'un centre commercial grand public. L'intitulé de la première édition était *Les météorites, messagères du ciel*. Pour sa seconde édition, l'exposition a évolué sous le nom de *Les météorites, messagères du ciel : ORIGINES*, reflétant l'enrichissement du contenu, notamment par l'intégration d'un important volet dédié à l'astronomie. À terme, le projet ambitionne de devenir une exposition itinérante afin d'élargir son rayonnement à d'autres régions du Maroc.

Tableau 1 : Partenaires institutionnels et individuels ayant soutenu la première édition de l'Expo-Musée « Les météorites, messagères du ciel » organisée par ATTARIK Foundation à AnfaPlace Mall

Organisateur : ATTARIK Foundation		Partenaire : ANFAPLACE MALL
Sponsors Gold (astéroïde) ● SONASID ● BARRINGER - Crater Company	Sponsor Silver (Météorite) ● Ambassade de France au Maroc	Avec le soutien de : ● Ministère de l'Énergie, des Mines et de l'Environnement ● Ambassade des États Unis au Maroc ● Meteoritical Society ● Université Hassan II de Casablanca, Faculté des Sciences Ain Chock ● Centre National de Recherche Scientifique et Technique CNRST ● Centre Culturel de l'Atlas Golf Marrakech ● Muséum d'Histoire Naturelle de Marrakech Université Cadi Ayad ● Fondation Atlas Dark Sky
Partenaire Média ● Hitradio		
Autres sponsors : ● Accent ● Sika Maroc ● Intelcia ● Titritland ● Caramel Jardin d'enfants ● Fondation Hadj Hassan Berrada ● Agrokit		
Avec la participation de : ● Al Akhawayn University ● Association We Speak Citizen ● 3AM - Association d'Astronomie Amateur de Marrakech ● AM2A - Association Marocaine d'Astronomie et d'Astrophotographie ● Lésarts créatifs ● Space curiosities ● Association Marocaine des météorites ● Gondwana Traders		

Tableau 2 : Partenaires institutionnels et privés ayant contribué à la réalisation de la deuxième édition de l'Expo-Musée « Les météorites, messagères du ciel », organisée par ATTARIK Foundation à Marina Shopping Mall

Organisateur : ATTARIK Foundation	Partenaire : MARINA SHOPPING MALL
Avec le soutien de :	
1. Université Hassan II de Casablanca 2. EMSI École d'Ingénieurs 3. North Carolina Museum of Natural Sciences 4. Open Space 5. CNRST 6. Université Ibn Zohr Agadir 7. Université Cadi Ayad Marrakech 8. Université de Poitiers 9. Europlanet 10. Meteoritical Society	11. Ambassade des États Unis au Maroc 12. Ambassade de France au Maroc 13. Institut Français de Casablanca 14. Barringer Crater Company 15. Centre Culturel de l'Atlas Golf Marrakech 16. Intelcia 17. Agrokit 18. Titritland 19. Jardin d'Enfants Caramel 20. L'Observatoire de l'Oukaïmeden

2.4. Inauguration et fréquentation

L'Expo-Musée a été inaugurée le 31 juillet 2021 à AnfaPlace Mall, accueillant plus de 15.000 visiteurs en une année. Parmi eux, on dénombre plus de 1000 élèves d'établissements publics relevant de l'Académie Régionale de l'Éducation et de la Formation (AREF) de Casablanca, environ 4000 élèves d'écoles privées, ainsi que 1300 étudiants universitaires. Depuis son transfert à Marina Shopping Mall en octobre 2022, l'exposition a attiré près de 20.000 visiteurs supplémentaires, dont environ 6000 élèves et 1500 étudiants.

L'accueil du public a été largement favorable : une majorité des visiteurs ont exprimé leur intérêt pour ce type d'initiatives scientifiques, accessibles et engageantes, combinant rigueur scientifique et médiation culturelle de qualité.

3. Contenus de l'exposition

L'Expo-Musée conçue par ATTARIK Foundation propose un parcours immersif, à la fois pédagogique et scientifique, structuré autour d'un récit muséographique original retraçant l'histoire cosmique des météorites et leur contribution à la compréhension de l'Univers et de la Terre. L'ensemble des contenus a été élaboré par l'équipe scientifique et pédagogique de la Fondation, dans une démarche alliant rigueur scientifique et accessibilité pour un large public. Initialement développée en juin 2021, l'exposition a été enrichie dans sa deuxième édition, actuellement en cours à Marina Shopping Mall, par l'ajout de nouveaux objets et de thématiques complémentaires. Cette édition présente notamment :

- l'ensemble des météorites officiellement tombées au Maroc depuis 2004,
- des fossiles de dinosaures,
- une collection de minéraux, de roches et d'impactites,
- une maquette du système solaire,
- des reproductions de missions spatiales,
- une reconstitution de cratère d'impact,
- un mur chronologique illustrant l'histoire de la Terre,
- un planétarium,
- et une aile dédiée aux savants musulmans ayant marqué l'histoire de l'astronomie et des sciences.

Chaque section thématique est introduite par un texte explicatif en français et en arabe, rédigé dans un langage clair, accessible mais scientifiquement rigoureux, et accompagné d'illustrations originales conçues par l'équipe de la Fondation (Fig. 4). Les objets exposés sont étiquetés avec leur nom et une fiche descriptive bilingue, synthétique mais complète, visant à faciliter leur compréhension par tous les publics (Fig. 5).



Figure 4 : Mur introductif des thèmes des météorites, origines, classification et chutes observées au Maroc



Figure 5 : Exemple de vitrine d'exposition accompagnée de son étiquette descriptive — ici, la météorite de Benguerir.

Un conte illustré intitulé *Moi, Tamdakht, la météorite*, rédigé par le Pr. Hasnaa Chennaoui-Aoudjehane et illustré par le bédéiste Driss Ouamrou, a été publié à l'occasion de l'Expo-Musée. Cet ouvrage constitue un outil pédagogique original visant à sensibiliser le jeune public à la nature des météorites, à leur origine, ainsi qu'à leur importance scientifique et patrimoniale (Chennaoui-Aoudjehane, 2021, 2022b, 2024b). Le récit prend la forme d'une autobiographie fictive de la météorite de Tamdakht, la plus grosse chute météoritique observée au Maroc, tombée en décembre 2008, qui raconte elle-même son histoire. Le conte a été traduit en anglais et en arabe pour assurer une plus large accessibilité (Fig. 6). Une version animée, adaptée à la projection dans un planétarium, a également été produite et est régulièrement présentée aux visiteurs, notamment aux groupes scolaires.

Par ailleurs, trois tableaux en toile de grand format (3 x 5 mètres) ont été réalisés en partenariat avec l'artiste de street art Mohamed Tournis. Ces œuvres, conçues en 3D, illustrent trois grandes thématiques de l'exposition :

- L'exploration de la Lune par la mission habitée *Apollo 11* (Fig. 7),
- L'exploration de Mars par la mission *Mars 2020*, à travers le rover *Perseverance* et l'hélicoptère *Ingenuity* (Fig. 7),
- L'extinction des dinosaures liée à la chute d'un astéroïde géant.

Ces compositions artistiques, à la fois ludiques et pédagogiques, offrent aux visiteurs une expérience immersive et interactive. Elles permettent notamment de se mettre en scène dans des situations imaginaires telles que boire du thé sur la Lune, se désaltérer à une fontaine martienne ou fuir l'impact d'un astéroïde il y a 65 Ma aux côtés des dinosaures (Fig. 7).

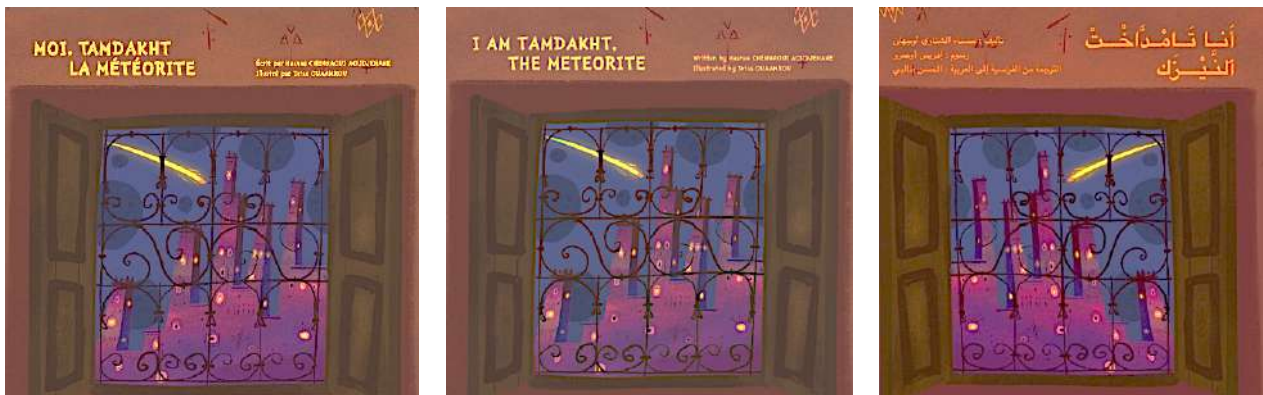


Figure 6 : Couvertures du conte illustré « *Moi, Tamdakht, la météorite* » disponible en trois versions linguistiques : française, anglaise et arabe. Cet ouvrage pédagogique accompagne l'Expo-Musée pour sensibiliser les jeunes publics à la science des météorites



Figure 7 : Photographies immersives en 3D réalisées dans le cadre de l'Expo-Musée par ATTARIK Foundation. A- Scènes incluent deux « photocall » thématiques : un thé sur la Lune et une fontaine sur Mars. B- Visite de SE Lawrence Randolph, Consul général et Chargé d'affaires des États-Unis, à AnfaPlace Mall en octobre 2021.

4. Le planétarium

Un planétarium professionnel de 8 mètres de diamètre a été aménagé au sein de l'Expo-Musée (Fig. 8). Doté d'un système de projection à trois projecteurs et d'un dispositif sonore adapté, cet espace immersif peut accueillir jusqu'à 50 visiteurs par séance. Il propose la diffusion de films documentaires en français et en anglais portant sur des thématiques variées : exploration spatiale, histoire de la vie, fonctionnement du Soleil, ainsi que la projection du conte illustré *Moi, Tamdakht la météorite* (Fig. 9). Des séances d'initiation à l'astronomie sont également organisées. Elles consistent en une lecture commentée du ciel à l'aide d'une application interactive projetée sur la coupole, et sont animées par des médiateurs scientifiques formés à cet effet. La programmation du planétarium repose sur un ensemble de films dont deux ont été acquis sous licence grâce au soutien financier de l'Ambassade de France au Maroc, tandis que les autres œuvres projetées sont issues de sources libres de droits. Certaines séquences audiovisuelles ont par ailleurs été conçues à partir d'images originales fournies par le *North Carolina Museum*, illustrant des missions spatiales réelles.



Figure 8 : Vue intérieure du planétarium, lors de la projection du conte illustré *Moi, Tamdakht la météorite*.

5. Un circuit de visite structuré et cohérent

5.1. Aux origines du système solaire

Le parcours s'ouvre sur la formation du système solaire, il y a environ 4,6 milliards d'années, à partir de la nébuleuse solaire primitive. Maquettes, animations et échantillons minéralogiques permettent de visualiser les étapes clés de ce processus. Les météorites primitives, en particulier les chondrites, sont présentées comme des témoins directs de cette période. L'exposition rassemble des échantillons représentatifs de toutes les chutes météoritiques observées au Maroc, complétés par des spécimens de découvertes illustrant la diversité typologique des météorites (ferreuses, mixtes, lunaires, martiennes, HED) (Tableau 3).

5.2. Des astéroïdes aux cratères d'impact

Une maquette du système solaire (Fig. 10-A) illustre la position des planètes et leurs dimensions relatives. Pour respecter les proportions, le diamètre de Jupiter a été fixé à 1,80 mètre, servant de référence pour calculer les tailles des autres planètes. Les planètes rocheuses, quant à elles, ont vu leurs dimensions doublées afin d'en assurer la visibilité, leurs tailles réelles étant difficilement perceptibles à cette échelle.

Le parcours se poursuit avec une présentation des effets potentiels de la chute de gros astéroïdes sur la surface terrestre. Une maquette fidèle à l'échelle du Meteor Crater (Arizona, États-Unis) (Fig. 10-B) illustre ces événements géologiques majeurs, dont certains ont profondément modifié les paysages terrestres et sont associés à des épisodes d'extinction massive.

Enfin, une vitrine thématique expose une sélection de roches terrestres transformées sous l'effet d'impacts intenses, appelées impactites, accompagnées d'explications scientifiques (Tableau 4).

5.3. Extinctions massives et météorites

La section suivante traite des extinctions de masse liées à des événements extraterrestres, notamment l'impact de Chicxulub à l'origine probable de la disparition des dinosaures il y a 66 millions d'années. Des fossiles emblématiques du Maroc illustrent la richesse paléontologique du pays et créent un lien entre planétologie, géologie et biologie évolutive (Fig. 11).



Figure 9 : A- Affiches planétarium « Moi Tamdakht la météorite » et B- « Entre Terre et Ciel... La Lune »

5.4. Histoire de la vie sur Terre

Un grand panneau pédagogique retrace l'évolution de la vie, des premières formes unicellulaires jusqu'aux hominidés, replaçant l'humanité dans l'histoire longue de la Terre (Figs. 12, 13 et Tableau 5). Cette séquence invite à une réflexion sur notre place dans l'Univers.

5.5. Minéraux et roches du Maroc

Pour compléter ce panorama, une vitrine présente une sélection de minéraux et de roches typiques du Maroc, notamment les basaltes et les granites, illustrant la diversité géologique du pays (Tableau 6).

5.6. De l'astronomie ancienne à la conquête spatiale

Le parcours se poursuit avec une présentation des contributions majeures des savants musulmans à l'astronomie. Manuscrits et instruments anciens contextualisent ces avancées dans l'histoire globale des sciences. Des maquettes et panneaux retracent ensuite les grandes étapes de l'exploration spatiale moderne, des missions Apollo aux projets contemporains comme SpaceX et les missions de retour d'échantillons (Figs. 14 A et B).

5.7. Les météorites, messagères du Cosmos

Cette section met en lumière la valeur scientifique des météorites, « cadeaux célestes » tombant sur Terre, accessibles sans les coûts faramineux liés aux missions spatiales. Elles offrent un accès direct à l'histoire du système solaire et alimentent les grandes découvertes scientifiques.

5.8. Une expérience sensorielle inédite

En fin de visite, les visiteurs sont invités à toucher une véritable météorite (Fig. 14-C). Ce geste hautement symbolique crée un lien direct avec un objet vieux de 4,6 Ma, venu de la ceinture d'astéroïdes entre Mars et Jupiter, et rend concret le voyage scientifique et émotionnel proposé par l'exposition.

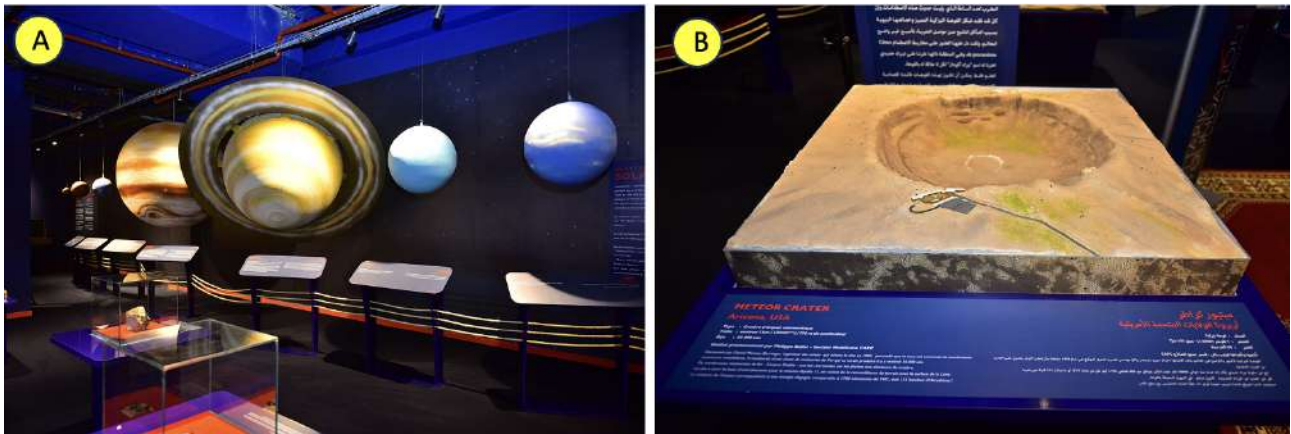


Figure 10 : A- Maquette du système solaire réalisée à l'échelle des diamètres planétaires (hors distances interplanétaires). Afin d'assurer une meilleure lisibilité, les dimensions des planètes rocheuses ont été volontairement doublées par rapport à l'échelle initiale, sans modification des tailles des planètes géantes. Les distances entre les planètes ne sont pas représentées à l'échelle. B- Maquette à l'échelle du cratère d'impact « Meteor Crater » en Arizona

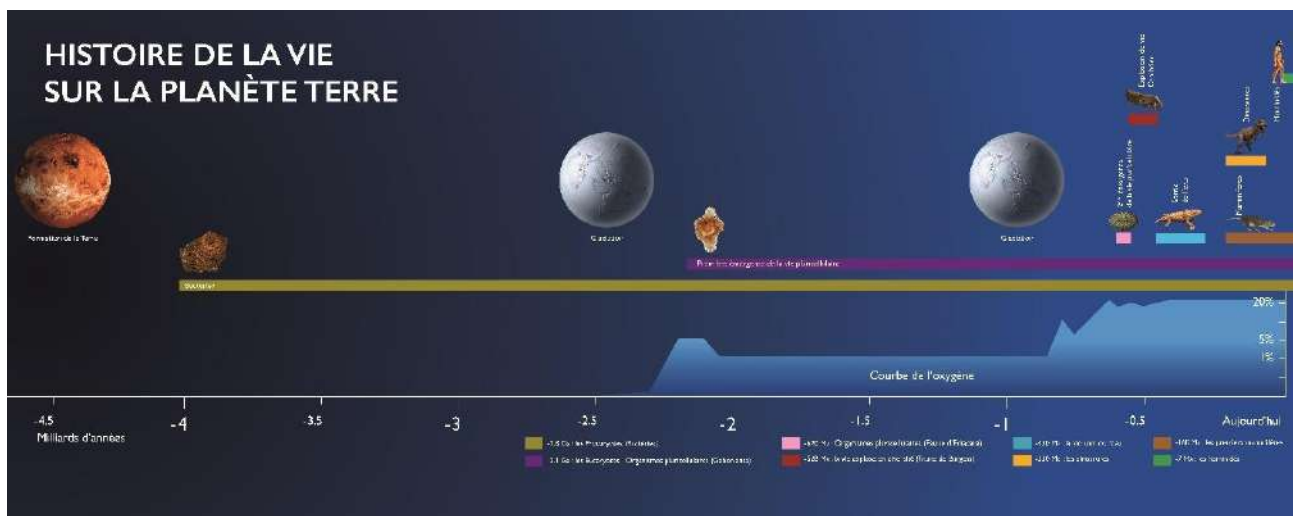


Figure 11 : Fresque murale Histoire très simplifiée représentant les événements majeurs de l'apparition et évolution de la vie sur Terre depuis la formation de la Terre il y a 4,6 Milliards d'années à l'actuel.



Figure 12 : Moulage à l'échelle réelle du crâne de *Atlasaurus imelakei*, dinosaure emblématique découvert au Maroc.

Tableau 3- Liste des météorites exposées à l'Expo-Musée « Les météorites messagères du ciel : ORIGINES »

Nom de la météorite	Type	Propriétaire de l'échantillon exposé
Agoudal	Météorite de fer - Sidérite Trouvaille - Maroc	Mr F. Chaabi
Aletai	Météorite de fer – Sidérite Trouvaille - Chine	ATTARIK Foundation
Awdar Labied 001	Eucrite Trouvaille - Maroc	ATTARIK Foundation
Benguerir	Chondrite ordinaire LL6 Chute observée Novembre 2004 - Maroc	Centre national pour la recherche scientifique et technique - CNRST
Chondrite ordinaire à toucher	Chondrite ordinaire Maroc	Pr. H. Chennaoui
El Farcia	Chondrite ordinaire L6 Chute observée Août 2019 - Maroc	Pr. H. Chennaoui
Guellet Zemmour	Chondrite ordinaire L4 Chute observée Août 2018 - Maroc	Pr. H. Chennaoui
Kheneg Lajouad	Chondrite ordinaire LL5/6 Chute observée Juillet 2017 – Maroc	Pr. H. Chennaoui
Météorite lunaire	Trouvaille - Maroc	Pr. H. Chennaoui
Mrirt	Météorite de fer – Sidérite Trouvaille - Maroc	Ministère d l'énergie, des mines et de l'environnement
Msied	Chondrite ordinaire H4-6 Chute observée Novembre 2021 - Maroc	Pr. H. Chennaoui
Taghzoute	Chondrite ordinaire H5 Chute observée Août 2021 - Maroc	Pr. H. Chennaoui
Tamdakht	Chondrite ordinaire H5 Chute observée Décembre 2008 – Maroc	Pr. H. Chennaoui
Tarda	Chondrite carbonée C2 non groupée Chute observée Août 2020 - Maroc	Pr. H. Chennaoui, L. Zennouri
Tighert	Eucrite Chute observée Juillet 2014 - Maroc	Pr. H. Chennaoui
Tiglit	Aubrite Chute observée Décembre 2021 - Maroc	Pr. H. Chennaoui
Tissint	Météorite Martienne Chute observée Juillet 2011 - Maroc	Centre culturel Atlas Golf Marrakesh
Wad Lehtayba	Chondrite ordinaire H5 Chute observée Juin 2019 - Maroc	Pr. H. Chennaoui
Zagora 006	Eucrite Trouvaille - Maroc	ATTARIK Foundation

Tableau 4 : Liste des impactites exposées :

Nom de l'Impactite	Propriétaire de l'échantillon
Brèche d'impact du Ries crater - Allemagne	Pr. H. Chennaoui
Cône de percussion d'Agoudal - Maroc	Pr. H. Chennaoui
Cône de percussion du cratère Karla - Russie	Pr. H. Chennaoui
Cône de percussion de Jabal Waqf Es-Suwwan - Jordanie	Pr. H. Chennaoui
Cône de percussion et Brèche d'impact du VerdFord – Afrique du Sud	Pr. H. Chennaoui
Verre d'impact de Aouelloul - Mauritanie	Pr. H. Chennaoui
Verre lybique – Lybie/Egypte	ATTARIK Foundation
Tectites d'Asie	ATTARIK Foundation

Tableau 5 : Liste des fossiles exposés :

Noms des fossiles	Propriétaire de l'échantillon
Archaeopteryx - Moulage	ATTARIK Foundation - donation du Pr Moussa Faculté des sciences Agadir, Université Ibnou Zohr
Atlasaurus Imlakei - Maroc Moulage du crane	Gondwana Traders
Crinoïdes - Maroc	H. Chennaoui – Mohamed Aoudjehane
Trilobites - Maroc	A.Belghazi membre de ATTARIK Foundation
Ammonite - Maroc	A.Belghazi membre de ATTARIK Foundation
Empreinte de dinosaure carnivore Kem Kem - Maroc	Muséum d'histoire naturelle - Université Cadi Ayyad Marrakech
Bois fossile - Maroc	H. Chennaoui – Mohamed Aoudjehane
Stromatolites Ait Saoune - Maroc	H. Chennaoui – Mohamed Aoudjehane
Stégosaure Moyen Atlas Maroc	Pr. M. Oukassou, Département de Géologie Faculté des sciences Ben M'Sik. Université Hassan II de Casablanca

**Figure 13** : Espace dédié à un aperçu de l'apport des savants Musulmans à l'astronomie et aux sciences de façon générale.

Tableau 6 : Minéraux exposés

Noms des minéraux	
1. Fluorine	8. Aragonite
2. Quartz	9. Blende
3. Azurite	10. Erythrite
4. Malachite	11. Epidote
5. Vanadinite	12. Grenat
6. Halite	13. Galène
7. Sidérite	14. Calcite



Figure 14 : A et B – Maquettes de la navette spatiale *Discovery* et de la fusée de la mission *Apollo 11* ; C – Vitrine interactive conçue pour permettre aux visiteurs de toucher et manipuler une véritable météorite ; D – Groupe d'élèves en visite, accompagné de médiateurs scientifiques lors de la séance de restitution en fin de parcours.

Un audio-guide bilingue (français et anglais) a été conçu pour couvrir l'ensemble des contenus de l'expo-musée et accompagner le visiteur dès son entrée. Ce dispositif vise à renforcer l'autonomie du public, en offrant un parcours guidé accessible à tout moment. Chaque objet exposé est assorti d'une description sonore, activée

via un QR code, permettant une exploration progressive et structurée de l'exposition. Le déroulé de la visite suit une logique séquentielle, les QR codes étant organisés selon le fil conducteur muséographique.

5. Médiation scientifique et formation des médiateurs

L'un des éléments clés de l'efficacité pédagogique de l'expo-musée réside dans la qualité de la médiation assurée lors des visites. Tous les médiateurs sont formés en interne par l'équipe scientifique de ATTARIK Foundation, dans le cadre d'un programme rigoureux conçu pour garantir la précision, la clarté et l'adaptabilité des contenus selon les publics. La formation vise à relever un double défi : rendre accessibles des notions scientifiques complexes à un public non initié, tout en maintenant une rigueur scientifique irréprochable.

Les médiateurs sont sensibilisés à l'importance de partager et diffuser sans dénaturer les connaissances, à reconnaître les limites de leur savoir et à ajuster leur discours en fonction de l'âge, du niveau et des attentes des visiteurs (Chennaoui-Aoudjehane et al., 2024). Le public est très varié, allant des enfants de la maternelle aux étudiants de l'enseignement supérieur, en passant par des familles ou des curieux de tous horizons. Des soirées d'observation du ciel, intégrées au programme, sont également accompagnées d'une médiation adaptée au contexte.

La formation inclut également un volet dédié aux techniques de communication, la gestion des groupes, l'interactivité et la mobilisation de l'attention du public. Les profils des médiateurs sont eux-mêmes très diversifiés : certains sont doctorants ou docteurs en sciences planétaires, d'autres sont étudiants dans des filières variées, voire non scientifiques. Certains médiateurs n'ont que le niveau baccalauréat, tandis que d'autres sont retraités, tous unis par une passion commune pour les sciences. Cette diversité crée une dynamique d'échange particulièrement enrichissante (Fig. 14-D).

6. Impact éducatif

Les élèves représentent plus de la moitié des visiteurs de l'expo-musée, toutes tranches d'âge et niveaux confondus, de la maternelle au supérieur. Un modèle de visite scolaire a été spécifiquement développé et optimisé afin d'assurer une expérience pédagogique complète et structurée. Ce modèle comprend :

- **Un accueil introductif**, présentant les grandes thématiques de l'exposition ;
- **Une visite guidée**, assurée par un médiateur scientifique, dans la langue choisie (arabe, français ou anglais), selon les besoins des établissements scolaires ;
- **Une séance dans le planétarium**, adaptée à l'âge des élèves et aux objectifs pédagogiques formulés par les enseignants ;
- **Une expérience tactile**, permettant de toucher une véritable météorite ;
- **Une session de restitution interactive**, souvent sous forme de quiz, destinée à consolider les acquis et à renforcer l'impact mémoriel de la visite.

7. Médiatisation

La stratégie de communication autour de l'Expo-Musée a reposé sur un dispositif digital intensif, principalement axé sur les réseaux sociaux. Des campagnes ciblées et dynamiques ont permis d'accroître de manière significative la visibilité du projet, de constituer une communauté engagée autour des sciences planétaires et d'atteindre un public bien au-delà des circuits scolaires traditionnels. Cette présence numérique, pensée comme un outil de médiation scientifique, constitue aujourd'hui un levier essentiel pour la valorisation du patrimoine géologique marocain. Depuis l'inauguration des deux éditions de l'Expo-Musée, le projet a bénéficié d'une large couverture médiatique, incluant des reportages à la télévision, des interventions radiophoniques, ainsi que des articles dans la presse écrite et les magazines spécialisés. Quelques exemples notables incluent :

- Le Matin – « Des cailloux de l'espace qui émerveillent le public à Casablanca »

- TelQuel – « Ouverture de la 2e édition de l'Expo-Musée 'Les météorites, messagères du ciel – Origines' à Marina Shopping »
- L'Opinion – Entretien avec Hasnaa Chennaoui : « On trouve des météorites du Maroc dans tous les musées du monde, sauf chez nous »

Dans une perspective de professionnalisation et d'élargissement de l'accès, un site web dédié à l'exposition (www.attarikexpo.org) a également été développé. Il présente en détail les contenus, les actualités et les différentes activités proposées. Le site a initialement intégré une billetterie en ligne destinée à faciliter la réservation des visites, tant pour les particuliers que pour les établissements scolaires, et à améliorer la gestion des flux de visiteurs. Toutefois, ce dispositif numérique, bien que fonctionnel et pensé pour renforcer l'autonomie du projet, a été peu utilisé : la majorité des visiteurs ont préféré acheter leurs billets sur place, conduisant à l'abandon de ce service.

8. Synthèse et perspectives

L'initiative inédite de l'Expo-Musée « *Les météorites, messagères du ciel* », déployée au sein d'un espace commercial, illustre de manière convaincante le potentiel inattendu des centres commerciaux comme lieux alternatifs de médiation scientifique et de valorisation du patrimoine. En s'éloignant des cadres muséaux traditionnels, cette approche novatrice permet de démocratiser l'accès au savoir en le rendant physiquement et intellectuellement accessible à un public large et diversifié.

Ce modèle original présente un fort potentiel de répliquabilité dans d'autres villes marocaines, compte tenu de la richesse et de la diversité du patrimoine géologique national. Le développement d'expositions thématiques ou de musées permanents ancrés dans les spécificités géologiques régionales constituerait une stratégie pertinente pour renforcer la visibilité, la reconnaissance et la valorisation de ce patrimoine au niveau national.

Dans cette dynamique, la création d'un Musée National d'Archéologie et des Sciences de la Terre à Rabat – actuellement en projet – ou l'établissement d'une Cité des Sciences à Casablanca ou Rabat représenterait une étape structurante. Ces structures offriraient un cadre institutionnel de référence, propice à l'intégration d'outils interactifs (jeux éducatifs, simulateurs, dispositifs immersifs) et à l'appropriation durable des sciences par les différentes générations.

L'équipe de l'Expo-Musée envisage également d'enrichir son offre pédagogique par le développement de nouveaux formats innovants : un *Escape Game* scientifique, de nouvelles publications accessibles (contes illustrés, ouvrages de diffusion du savoir), ainsi qu'une programmation culturelle élargie.

Par ailleurs, la reconnaissance nationale du patrimoine géologique du Maroc, déjà largement connu à l'échelle internationale, reste un enjeu majeur. Sa valorisation nécessite un effort soutenu de médiatisation, une meilleure intégration dans les circuits de tourisme scientifique (géotourisme, astrotourisme), ainsi qu'une reconnaissance institutionnelle. **À ce titre, l'instauration d'une Journée nationale du patrimoine géologique du Maroc, proposée pour le 14 novembre, constituerait un levier symbolique fort, apte à mobiliser les citoyens autour de la préservation, la valorisation et de la célébration de ce patrimoine.**

Enfin, au-delà de la valorisation patrimoniale, ces actions visent à nourrir l'émergence d'une génération de jeunes Marocains curieux, engagés, et fiers de leur héritage naturel et scientifique – condition essentielle pour relever les défis du XXIe siècle dans une société fondée sur la connaissance.

Remerciements

Les auteurs tiennent à exprimer leur profonde gratitude à l'ensemble des personnes et institutions ayant contribué à la conception, à la mise en œuvre et au succès des deux éditions de l'Expo-Musée. Leur engagement, leur soutien et leur enthousiasme ont été essentiels à la concrétisation de ce projet innovant et à sa pérennisation. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre reconnaissance sincère.

Références

- Aoudjehane M., Chennaoui-Aoudjehane H., Berrada O., Arif S., Jadid F.Z., El Hachemi E. & Makhoukhi S. (2024) : ATTARIK Foundation: a meteoritics and planetary science dissemination initiative. 4th Annual African Astronomical Society Conference. Marrakech 15-20 April 2024.
- Arif S., Chennaoui-Aoudjehane H., Jadid Fz., El Hachemi E., Zennouri L., Makhoukhi S., Berrada O., Aoudjehane M., Bouya N. & Aboulahris M. (2023) : ATTARIK-EXPO: A successful Moroccan initiative that brings open science closer to the general public. Goldschmidt conference. Lyon France July 2023.
- Chennaoui Aoudjehane H. (2008) : Les météorites du Maroc : une richesse scientifique et un patrimoine à préserver. Bulletin d'information de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, n°3 Juin 2008, pp : 63-74. <http://www.academie.hassan2.sciences.ma/pdf/bulletin3.pdf>
- Chennaoui-Aoudjehane H. (2018) : Les météorites du Maroc, état des lieux d'un patrimoine à préserver. In Patrimoine Géologique du Maroc. Notes & Mém. Serv. Géol. Maroc, Numéro spécial, pp : 60-76. https://cartesgeoscientifiques.mem.gov.ma/catalogue/pages/beaux_livres/livres/conference_internationale/index.html
- Chennaoui Aoudjehane H. (2021) : « Moi : Tamdakht la météorite » Dépôt Légal : 2021MO3195 ISBN: 978-9920-34-028-1- Publié par ATTARIK Foundation- 40 p.
- Chennaoui Aoudjehane, H. (2022a) : Meteorites of Morocco: A Model of Science Development in the Arab Countries. In: Çiner, A., et al. Recent Research on Geomorphology, Sedimentology, Marine Geosciences and Geochemistry. CAJG 2019. Advances in Science, Technology & Innovation. Springer, Cham. doi.org/10.1007/978-3-030-72547-1_74
- Chennaoui Aoudjehane H. (2022b) : "I am Tamdakht, The meteorite". Dépôt Légal: 2022MO1795 ISBN:6-622-30-9920-978- Publié par ATTARIK Foundation- 40 p.
- Chennaoui-Aoudjehane H. (2024a) : An overview of the new Moroccan regulation on collection and export of meteorites: a geoheritage to promote and preserve. Meteoritics and Planetary Science. doi.org/10.1111/maps.14126
- Chennaoui Aoudjehane H. (2024b) : « أَنَا تَامْدَاكْهْتُ الْكَوْنَزُوكْ » Dépôt Légal : 2024MO6094 ISBN: 978-9920-29-467-6- Publié par ATTARIK Foundation- 40 p.
- Chennaoui-Aoudjehane H. & El Hariri K., (2018) : Patrimoine géologique du Maroc : Enjeux et Perspectives. In Patrimoine Géologique du Maroc. Notes & Mém. Serv. Géol. Maroc, Numéro spécial, pp : 9-16.
- Chennaoui Aoudjehane H., Avicé G., Barrat J.-A., Boudouma O. et al. (2012): Tissint Martian Meteorite: A Fresh Look at the Interior, Surface, and Atmosphere of Mars. Science 338, 785-788. doi.org/10.1126/science.1224514
- Chennaoui-Aoudjehane H., Aoudjehane M., Arif S., Jadid F.Z., El Hachemi E. & Ouchtine S. (2024) : Ethics in Public Communication of Science, Vigilance in Scientific Content. 4th Annual African Astronomical Society Conference. Marrakech 15-20 April 2024.
- El Amrani El Hassani Iz. (2025) : Atlas des Minéraux & Roches du Maroc : Regards sur la richesse du patrimoine minéral marocain. Hassan II Academy Press, Morocco, 260 p.
- El Hariri K. & Chennaoui Aoudjehane H. (2018) : La Conférence Internationale RALI 2015 Marrakech 05-11 octobre 2015, "The Rise of Animal Life: Cambrian and Ordovician biodiversification events Promoting geological heritage: challenges and issues". Co-auteurs : Aouraghe H., Boutakiout M., Chennaoui Aoudjehane H., El Hariri K., Jalil N., Jourani E., Khaldoune F., Kouraiss K., Lemjidi A. et Masrour M. NMSGM Numéro spécial dédié au Patrimoine Géologique du Maroc. Numéro spécial des Notes & Mém. Serv. Géol. Maroc, 180 p.
- El Hassani A. (2020) : Évolution des sciences géologiques à l'Institut Scientifique. Document de l'Institut Scientifique N° 33, 124 p. ISBN : 978-9954-9602-7-1
- El Hassani A. (2022) : Le paradis des géologues : Un voyage à travers les temps dans le Royaume du Maroc. First Edition, Hassan II Academy Press, Morocco, ISBN: 978-9920-9056-3-3. 340 p.
- El Hassani A. (2023): A Geologist's Paradise, Tracing Morocco's Geological History from Early Explorers to the Modern Era. Hassan II Academy Press, Morocco. ISBN:978-9954-716-22-9 ; 384 p.
- Ibrahim, N., Maganuco, S., Dal Sasso, C. et al. (2020): Tail-propelled aquatic locomotion in a theropod dinosaur. Nature 581, 67–70. doi.org/10.1038/s41586-020-2190-3