

Ahmed El Hassani

# LE PARADIS DES GÉOLOGUES

Un voyage à travers les temps dans le Royaume du Maroc



© Hassan II Academy Press  
2022

# **Le paradis des géologues**

**Un voyage à travers les temps dans le Royaume du Maroc**

**Historique des recherches, différentes facettes de la géologie du Maroc, le patrimoine géologique national, perspectives et recommandations**

**Ahmed El Hassani**

**Membre Résident**

**Académie Hassan II des Sciences et Techniques  
Maroc**

**© Hassan II Academy Press  
2022**

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

**Titre : Le paradis des géologues :  
Un voyage à travers les temps dans le Royaume du Maroc**

**Auteur : Ahmed El Hassani**  
a.elhassani@academiesciences.ma

Dépôt Légal : 2022MO0338  
ISBN : 978-9920-9056-3-3  
e-ISBN : 978-9920-9056-4-0

Réalisation : **AGRI-BYS** S.A.R.L.

Achevé d'imprimer : Février 2022  
Imprimerie Lawne : 11, rue Dakar, Océan, 10040-Rabat, Maroc

*Pratiquer la géologie, c'est comprendre des phénomènes naturels qui se déroulent sous nos yeux (volcans, séismes, etc.) mais aussi, et surtout, décortiquer l'histoire de notre planète. Le géologue doit donc voyager dans le temps,... Les fossiles permettent de voyager dans le temps et sont un formidable outil de datation.*

Gilbert Féraud, Géologue Géochimiste (Futura-Sciences)

# SOMMAIRE

Préface .....	7
Avant-Propos .....	9
<b>Première partie :</b>	
Historique de la géologie du Maroc, depuis les premiers voyages d'exploration jusqu'à 1968 .....	11
Introduction .....	13
Les débuts de la géologie au Maroc (1808 à 1900) .....	16
Les explorateurs de la géologie du Maroc à partir de 1900 .....	32
L'ère des monographies et des mémoires thématiques .....	56
<b>Deuxième partie :</b>	
Le rôle de l'institut scientifique dans l'évolution des connaissances en Sciences de la Terre .....	89
Le début de la géologie à l'Institut scientifique .....	91
La production scientifique de l'Institut Scientifique Chérifien .....	97
<b>Troisième partie</b> .....	155
<i>Premier chapitre : Historique des recherches sur les plus vieux     fossiles du Maroc</i> .....	155
<i>Deuxième chapitre : Structure et évolution des connaissances de la     géologie du Maroc</i> .....	169
Présentation .....	171
Principaux traits de la géologie du Maroc .....	180
Les domaines structuraux du Maroc .....	185
Le domaine Saharien .....	185
Le domaine de l'Anti-Atlas .....	202
Le domaine de la Meseta marocaine .....	225
Le domaine des chaînes atlasiques .....	249
Le domaine du Rif .....	259

**Quatrième partie :**

<b><i>Le patrimoine géologique marocain : une richesse à inventorier, à valoriser et à préserver</i></b> .....	281
Introduction .....	283
Le Patrimoine géologique (Quel est le constat pour le Maroc ?) ...	286
Protection réglementaire .....	289
Quels sont les types de patrimoine géologique ? .....	290
Le patrimoine <i>in-situ</i> .....	290
Le patrimoine <i>ex-situ</i> .....	315
L'aspect commercial du patrimoine géologique .....	322
<b><i>Conclusions et recommandations</i></b> .....	324
<b>Références bibliographiques</b> .....	327

## Préface

Le titre de l'ouvrage "*Le paradis des géologues : Un voyage à travers les temps dans le Royaume du Maroc*" peut paraître contenir une proposition hasardée, ayant pour objet de retenir l'attention du lecteur. Il n'en est rien, car tous les géologues travaillant sur le Maroc s'accordent sur l'excellence des conditions d'affleurement, leur continuité, les riches contenus paléontologique et minéralogique, permettant ainsi le déroulement de l'histoire de notre planète Terre. Cette influence a été reconnue/découverte dès les années 1920, au moment de la création de l'institut Scientifique, alors Chérifien, de l'Office Chérifien des Phosphates et surtout du Service Géologique du Maroc. En effet, la géologie de notre Pays présente des affleurements considérés mondialement parmi les meilleurs et les plus complets à l'échelle des temps géologiques (depuis l'Archéen jusqu'à l'Actuel). C'est donc à juste titre que le qualificatif "*Paradis des Géologues*" attribué à notre Pays est largement approuvé par la communauté des géo-scientifiques. Malheureusement, les richesses/ressources naturelles, dont dispose le Maroc, subissent une détérioration irréversible : les fossiles et les minéraux font l'objet actuellement de pillages, d'exploitations abusives, de vente et d'exportation. Les mesures réglementaires sont-elles suffisantes pour sa protection, sa valorisation et sa préservation ? Ou bien s'agit-il de disposer d'un système intégré où interviennent divers facteurs, humains notamment ? Il s'agit là d'une problématique complexe que l'auteur présente dans ce livre, et à ce titre il émet un avis académique où il propose d'abord de continuer à faire connaître ce patrimoine, mais surtout de le valoriser et le protéger pour que, justement, le Maroc demeure une référence mondiale en géologie.

Dans ce livre, l'auteur nous fait voyager d'abord dans le temps des écrits depuis les premiers voyageurs, ou premiers explorateurs, du début du 19<sup>ème</sup> siècle et des premières cartes géologiques. Il montre que l'envol de cette discipline se reconnaît par la création des Instituts de recherche et Services spécialisés en Sciences de la Terre, par l'ouverture des mines pour des besoins économiques et par la réalisation d'une cartographie géologique nécessaire pour tout type d'investissement dans ce Pays.

Parallèlement, l'auteur nous propose un voyage à travers les temps géologiques, en montrant la richesse du Maroc en affleurements, depuis les plus vieux temps du Précambrien jusqu'à l'Actuel. Ce voyage concerne également l'apparition de la vie au Maroc, au Néo-protérozoïque et son évolution à travers les ères géologiques, en passant des algues primitives de Ouarzazate, puis l'explosion de la faune au début de l'ère primaire où pullulaient, entre autres, les Trilobites, les Goniatites, puis les dinosaures au Secondaire et Tertiaire, pour finir avec l'apparition de l'Homme à la

fin du Quaternaire. Cette évolution est entrecoupée par les cinq grandes extinctions biologiques de notre planète, toutes enregistrées au Maroc.

Ce livre constitue une contribution de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques qui encourage l'appropriation du patrimoine géologique marocain et préconise la réalisation d'un inventaire national des espaces géologiques et des espèces (minérales et fossiles), nécessitant une conservation ou une gestion rationnelle. Un tel inventaire, et une réglementation stricte, combleront une grande lacune dans le Plan Directeur des Aires Protégées du Maroc, établi à l'initiative de l'Administration Forestière Marocaine. Cette dernière a identifié un large réseau d'espaces à protéger en insistant principalement sur l'identification, création et protection de Sites d'Intérêt Biologique et Écologique (SIBE), les valeurs géologiques n'y étant évoquées que de manière occasionnelle et souvent indirecte.

Enfin, l'auteur met l'accent sur une exploitation et une commercialisation durables des ressources géologiques, ainsi que sur la mise en valeur conservatrice de ces ressources par la création de Géoparcs, de Musées qui contribueront/aideront sans aucun doute à une meilleure connaissance de ce patrimoine.

Pr. Omar FASSI-FEHRI  
Secrétaire Perpétuel de l'Académie  
Hassan II des Sciences et Techniques

## Avant-Propos

La géologie est une science qui se base principalement sur des observations; le géologue est un naturaliste qui doit réunir ces observations, puis les étudier, les comparer et les discuter, de façon à ne rien ignorer des découvertes déjà faites; il n'a souvent pas besoin de questionner, il n'a besoin que de bien observer et puis bien sûr interpréter.

**Écrire et raconter la géologie** passent nécessairement par trois phases, au moins, pour en dérouler les principaux événements qui concernent une région donnée. Pour notre pays, le Maroc, celles-ci se déclinent de la façon suivante :

**La première phase** est celle des explorateurs et initiateurs (les pionniers) de la géologie; c'est l'étape des «*apports incontestables des pionniers*» qui est pour nous une base de discussion. Bien que beaucoup d'entre eux décrivent des itinéraires pour les fins que l'on sait, mais restent des documents très utiles pour la reconnaissance des milieux physiques et aussi pour percevoir l'évolution qu'a connue la discipline;

**La deuxième phase** débute en 1966-67, date marquante pour les sciences géologiques dans leur ensemble, avec la naissance de la *tectonique des plaques* et qui permet de mieux comprendre la géodynamique de notre planète Terre. On assiste à une véritable révolution de la géologie en introduisant cette théorie de mouvement des plaques lithosphériques, reprenant les conceptions mobilistes d'Alfred Wegener, qui déjà en 1912 présentait l'hypothèse de la *dérive des continents*; elle développe et fournit une assise théorique solide s'appuyant sur cette hypothèse, alors toute récente, de l'expansion des fonds océaniques<sup>1</sup>. A ce titre Bernard Balan (2011) se posait la question si la géologie était une science ?<sup>2</sup> Évidemment dans son livre il retrace l'historique des idées, mais les géologues s'accordent aujourd'hui à reconnaître que l'introduction de cette théorie de la tectonique des plaques serait «*la véritable naissance de la géologie comme science*», comme le remarquait Bernard Balan dans son livre sur l'évolution de la géologie<sup>3</sup> ; La dérive des continents, évoquée au début du XX<sup>ème</sup> siècle, ne sera acceptée par la communauté des géologues qu'à partir du moment où de nombreuses recherches scientifiques s'accordaient sur ce concept de tectonique des plaques marquant ainsi, selon le même auteur (Balan), *la naissance de la géologie comme science*, abandonnant au

---

<sup>1</sup> Alfred Wegener (1880-1930). « Die Entstehung der Kontinente » [La formation des continents], Geologische Rundschau, Zeitschrift für allgemeine Geologie, dritter Band, 1912, p. 276-292 (en allemand).

<sup>2</sup> Fischer J.C. (1986) disait en introduction de son livre « La géologie » : Il faut noter à ce sujet que notre planète Terre est bien trop complexe pour qu'une seule science, fut elle prodigieuse, puisse aborder toutes les questions que pose sa géologie, questions qui portent à la fois sur les particularités de sa structure actuelle, sur les étapes successives de sa longue évolution et sur les énigmes de sa genèse.

<sup>3</sup> B. Balan (2011) : L'Évolution des idées en géologie – Des Cosmogonies à la Physique du Globe Vrin éditeur, Paris, 285 p.

passage tous les mythes et les controverses qui faisaient obstacle, on dira, à sa réelle compréhension. Cette tectonique qui explique la formation des montagnes par l'existence, dans la lithosphère, d'un ensemble de plaques en continuel mouvement les unes par rapport aux autres, s'opère soit par rapprochement soit par éloignement et donc responsables des phénomènes géologiques que nous observons aujourd'hui sur notre planète.

*La troisième phase*, avec le progrès des recherches géologiques au Maroc, se développe depuis la fin des années 1970 et jusqu'à nos jours un nombre impressionnant de thèses de doctorat; de cartes dans le cadre du Programme National de Cartographie Géologique (PNCG), de livres et d'articles scientifiques qui, tous, contribuent à la connaissance et le progrès de la géologie marocaine. L'avènement des technologies de l'information, par la présence des ordinateurs dans notre vie, a permis de nombreuses réalisations techniques, telles que les analyses géochimiques, les datations par la géochronologie isotopique; le développement de la sismologie expérimentale, la tomographie sismique, les GPS, etc. La disponibilité d'une quantité illimitée de documents sur la toile (bibliothèques numériques) relatifs aux sciences de la Terre; ces documents aident à mieux connaître et valoriser l'immense patrimoine géologique que conserve jalousement notre pays, le Maroc.

**Raconter l'histoire de la géologie** et la contenir dans un livre est une utopie. La géologie s'explique et s'épanouit grâce aux découvertes et à l'inventaire transcrits dans des livres et des ouvrages qui ne sont jamais figés car notre planète n'a pas encore livré tous ses secrets. Des mises à jour sont régulièrement produites; ce livre marque une de ces étapes ayant nécessité des années de travail, d'apprentissage, de recherche, de lecture, de persévérance et d'encouragement. Sa production a nécessité une importante coopération nationale et internationale, et je tiens ici à rendre hommage à toutes les personnes qui m'ont aidé à la réaliser. Tout d'abord, mes professeurs qui m'ont enseigné la géologie aux universités de Rabat, de Marseille et de Strasbourg ; mes collègues des universités marocaines, notamment ceux de l'Université Mohammed V de Rabat et à l'Institut scientifique, où j'ai réussi à me forger, dans le cadre de la marocanisation, une place parmi les premiers géologues universitaires. Je citerai aussi mes collègues de l'étranger qui ont tous contribué à améliorer mes connaissances et à me donner l'envie d'écrire ce livre. Les collègues de mon Collège scientifique à l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques qui m'ont encouragé à entreprendre cette initiative. Enfin, ma famille pour son soutien inconditionnel tout au long de la rédaction de cet ouvrage. A toutes ces personnes, j'exprime mon respect et ma profonde gratitude.

## **Première partie**

**Historique de la géologie du Maroc, depuis  
les premiers voyages d'exploration jusqu'à  
1968**

## Introduction

Le présent travail (historique) est surtout celui de l'effort humain. En faisant cette synthèse, on parlera nécessairement des principaux auteurs qui ont marqué la géologie du Maroc ; on évoquera, chaque fois que possible, les qualités de chacun de sorte à mettre en relief ce noble métier qui est : *être géologue* ; métier permettant d'édifier les jalons des Sciences de la Terre afin d'immortaliser à travers les cartes et les écrits ; le roman merveilleux de notre planète bleue comme s'il s'agissait d'un roman racontant cette histoire.

Dans cette première partie, il s'agit de retracer l'historique des sciences géologiques avec ses débuts au Maroc (le temps des itinéraires et des balbutiements par les explorateurs ou les éclaireurs), puis insister sur le démarrage et le développement de cette discipline à l'Institut Scientifique (Chérifien, lors de sa création : ISC), du fait que c'est le premier établissement créé au Maroc pour gérer la recherche en sciences naturelles. Dans cette partie on évoquera les géologues qui n'étaient pas à l'ISC des étrangers ayant travaillé ou travaillent encore sur le Maroc et aussi des géologues du Service géologique du Maroc (créé en 1921), de l'Office Chérifien des Phosphates (OCP) et du Bureau de Recherche et de Participation Minière (BRPM)<sup>4</sup>.

Deux façons possibles d'aborder cet historique ; soit à travers le progrès des connaissances géologiques dans le cadre de la stratigraphie générale ou régionale ; soit en exposant l'ensemble des découvertes de chaque auteur sans tenir compte de l'ordre des âges et des lieux. A la lecture des documents dont nous disposons, nous avons choisi de retracer cet historique selon la deuxième façon, car la plupart des travaux sont des monographies régionales, sorte d'œuvres maîtresses autour desquelles se développent des articles (ou notes scientifiques) succinctes, complétant ou critiquant une œuvre donnée.

Pour ce qui est de l'Institut Scientifique (Chérifien), l'historique du développement de la géologie peut se décliner en quatre phases principales :

1912 : (idée de la création de cet établissement Louis Gentil), puis sa réalisation en 1920, jusqu'à l'indépendance du Maroc (16 Novembre 1955) ;

1955-1980 : période pendant laquelle les coopérants français étaient encore à l'Institut Scientifique et parmi eux quelques marocains ;

---

<sup>4</sup> Le BRPM a été créé en 1928, puis plus tard (1981) fut créé l'Office National de la Recherche et de l'Exploration pétrolière (ONAREP) ; tous deux pionniers dans le domaine de l'exploration, notamment dans le secteur des recherches minières et explorations pétrolières. En 2005, pour une meilleure gouvernance du secteur, ces deux organismes sont fusionnés dans l'Office National des Hydrocarbures et des Mines (ONHYM). Ce dernier développe ses activités dans l'expertise, la production et le traitement des substances minérales, des hydrocarbures et enfin la gestion des relations et partenariats avec les opérateurs et les investisseurs.

1980-2000 : important recrutement de cadres marocains, formés au Maroc ou à l'étranger en remplacement progressif des coopérants français ;

2000-2020 : l'ISC est composé à 100% de cadres marocains et connaît une bonne évolution de la géologie notamment. Ceux-ci contribuent, en autres, à la Formation de doctorants marocains, et développent un savoir et un savoir-faire, avec la reprise de la production des monographies, mais surtout par la publication de notes de recherche, plus ou moins longues en fonction de la thématique et de la région, aussi bien dans les revues nationales (notamment dans le Bulletin de l'ISC) que dans les revues internationales indexées. Le livre du Centenaire de l'ISC, publié par El Hassani (2020), retrace cette évolution.

Du point de vue historique, la connaissance de la Terre a toujours été conduite par les Européens et les Américains et n'avait guère concerné l'Afrique, à l'exception de l'Afrique Australe. L'historique que nous développerons par la suite montrera comment la géologie a pu pénétrer dans cette terre inconnue et le Maroc est donc utilisé, à partir de 1808<sup>5</sup>, comme un champ d'expérimentation de l'état des connaissances et leur progrès. Leurs auteurs appliqueront les méthodes, plus ou moins rodées ailleurs, pour une meilleure configuration/expression cartographique qui rend compte des valeurs patrimoniales de notre Pays, le Maroc. Les cartes obtenues sont ensuite intégrées par ces auteurs dans les schémas généraux, dressés ailleurs après de longues réflexions et analyses. Au cours du 19<sup>ème</sup> siècle et surtout au début du 20<sup>ème</sup> siècle les notions sur la géologie du Maroc ont été recueillies par des explorateurs dont les desseins, selon l'aveu même de certains d'entre eux, n'étaient pas exclusivement scientifiques.

Il faut signaler que depuis le milieu du 19<sup>ème</sup> siècle et jusqu'aux premières années du vingtième, les naturalistes et les voyageurs n'avaient pas réussi à dégager les grandes lignes de la géologie du territoire marocain. En effet, jusqu'à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, peu de données géologiques proviennent des Rapports/Récits de ces explorateurs et il fallait attendre 1898 où le géographe allemand *Paul Schnell*, s'inspirant des messages dynamiques de l'autrichien *Éduard Suess*, donne une synthèse remarquable de la description du Maroc Physique «*L'Atlas marocain*» comprenant une carte<sup>6</sup>. Ce n'est qu'à partir de là que les données géologiques commencent à affluer et que l'intérêt pour la géologie du Maroc devient une nécessité. Nous allons essayer de dérouler l'évolution des idées, au fur et à mesure de leur publication,

---

<sup>5</sup> Caillé J. (1953) : La mission du capitaine Burel au Maroc en 1808. Notes et Documents de l'Institut des Hautes études marocaines N°XIII, édition Arts et Métiers Graphiques, Paris, 130 p.

<sup>6</sup> Schnell P. (1898) : L'Atlas marocain d'après les documents originaux. Traduction Auguste Bernard, Éditions Ernest Leroux Paris, 316 p.

d'abord par les premiers explorateurs et ensuite par les premiers géologues qui se sont intéressés au Maroc.

La période suivante, c'est-à-dire de 1905 à 1918 environ, est marquée par la connaissance des grandes lignes de la géologie marocaine, grâce à une œuvre grandiose produite par Louis Gentil. Ce dernier, en multipliant les itinéraires lors de missions de terrain à haut risque (notamment dans les régions insoumises '*Bled Es-Siba*'), ramena des collections prodigieuses, dressa et publia de nombreuses cartes, et aussi rédigea des notes et des mémoires fondamentaux. A côté de lui ont travaillé Abel Brives et Paul Lemoine, un peu plus tard Justin Savornin. Les premières synthèses, les premières cartes géologiques d'ensemble, les premières mises au point sont de cette époque.

L'avènement de la première guerre (1914-1918) a relativement stoppé les recherches et, dès la paix retrouvée, d'autres géologues sont venus renforcer et relever l'équipe des pionniers. Pendant toutes ces périodes, les découvertes, au cours d'itinéraires rapides n'ont pas cessé; les notes établies et publiées dans les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de France et à la Société Géologique de France témoignent de cette activité. Les monographies sur la géologie marocaine ont permis de se faire une idée de l'état d'avancement des connaissances, avec un intérêt particulier aux levés de Cartes géologiques (dites provisoires), mais, il faut l'avouer, correspondant d'ores et déjà aux unités structurales et aux grandes régions du Maroc, comme le montrent si bien les monographies régionales dont on disposait à cette époque.

## Les débuts de la géologie au Maroc (1808 à 1900)

L'une des questions de base que l'on pouvait se poser est comment établir des cartes géologiques quand on ne dispose pas de la moindre donnée de topographie. Les rares voyageurs étrangers au Maroc se contentaient de dresser des itinéraires, particulièrement pour des fins militaires.

Nous savons que la géologie, qui était à ses débuts, avait besoin pour se développer de données géomorphologiques, acquises à partir de connaissances géographiques bien élaborées, particulièrement les relevés militaires. Cependant, la majorité des voyageurs étrangers au Maroc dressaient uniquement des itinéraires pour les fins qui leur avaient été demandées.

L'un d'entre eux fut **Antoine Burel**<sup>7</sup>, qualifié d'espion napoléonien, venu au Maroc en août 1808 guetter l'armée marocaine et parallèlement à sa mission politique, ce capitaine de génie de l'armée française établira des plans de la côte marocaine de Larache à Sebta (Ceuta).

Les cartes que Burel a laissées (Fig. 1)<sup>8</sup>, préfigurent des parcours de reconnaissance des explorations de la fin du 19<sup>ème</sup> siècle qu'on retrouvera dans les documents de Foucauld (en 1888).

Entre 1803 et 1806, un certain **Ali-bey-el Abbassi** (un espagnol connu sous le nom de Badia), en compagnie du français Burel parcourt la partie nord du Maroc, découvre l'existence d'un sillon qui sépare le Rif des Atlas (ce qui deviendra plus tard, le *sillon sud rifain*) et qui apparaît sur sa carte qu'il publia en 1814. Sur cette dernière mouture, l'auteur mentionne déjà les principales montagnes du Maroc, à l'exception de l'Anti-Atlas qu'il a rangé dans «*El-Sahhara ou Grand désert*» et où il reconnaissait déjà les massifs hercyniens des Rehamna et des Jébillet (situés dans la Meseta marocaine occidentale)<sup>9</sup>.

Cette mission de Burel au Maroc a été décrite dans le document de J. Caillé (1953)<sup>10</sup> où un Résumé est produit sous forme d'Introduction de l'auteur, puis on retrouve en annexe les divers documents de ce voyage, ainsi que le '*Mémoire militaire sur l'Empire de Maroc*', comprenant aussi de nombreuses cartes de Burel<sup>11</sup> ; et enfin le Carnet du Capitaine du génie Burel.

<sup>7</sup> Burel, l'espion de Napoléon, magazine d'histoire *Zamane*, Maroc, du 8 mars 2018.

<sup>8</sup> Voir dans : Caillé J. (1953) : La mission du capitaine Burel au Maroc en 1808. Notes et Documents N°XIII de l'Institut des Hautes-études marocaines ; 130 p.

<sup>9</sup> Badia Y., Lebllich D. & Ali Bey El Abbassi (1814): *Viajes por Marruecos*. Edición preparada par Salvador Barbera (1984). Clásicos para una Biblioteca Contemporánea, Madrid.

<sup>10</sup> *Idem*, Caillé J. (1953).

<sup>11</sup> Mémoire présenté en quatre parties : Étendue de l'Empire; Reconnaissance militaire; Marine, population et commerce du Maroc et enfin Climat et production du Maroc.

Au début du 19<sup>ème</sup> siècle J. G. Jackson (un naturaliste anglais) explora la région de Souss-Massa et produit, en 1809, la première édition d'une carte au 1 :4.500.000<sup>ème</sup> sur laquelle étaient déjà reconnus le Haut Atlas occidental et ce qu'on appellera plus tard l'Anti-Atlas (South Atlas Mts)<sup>12</sup>.

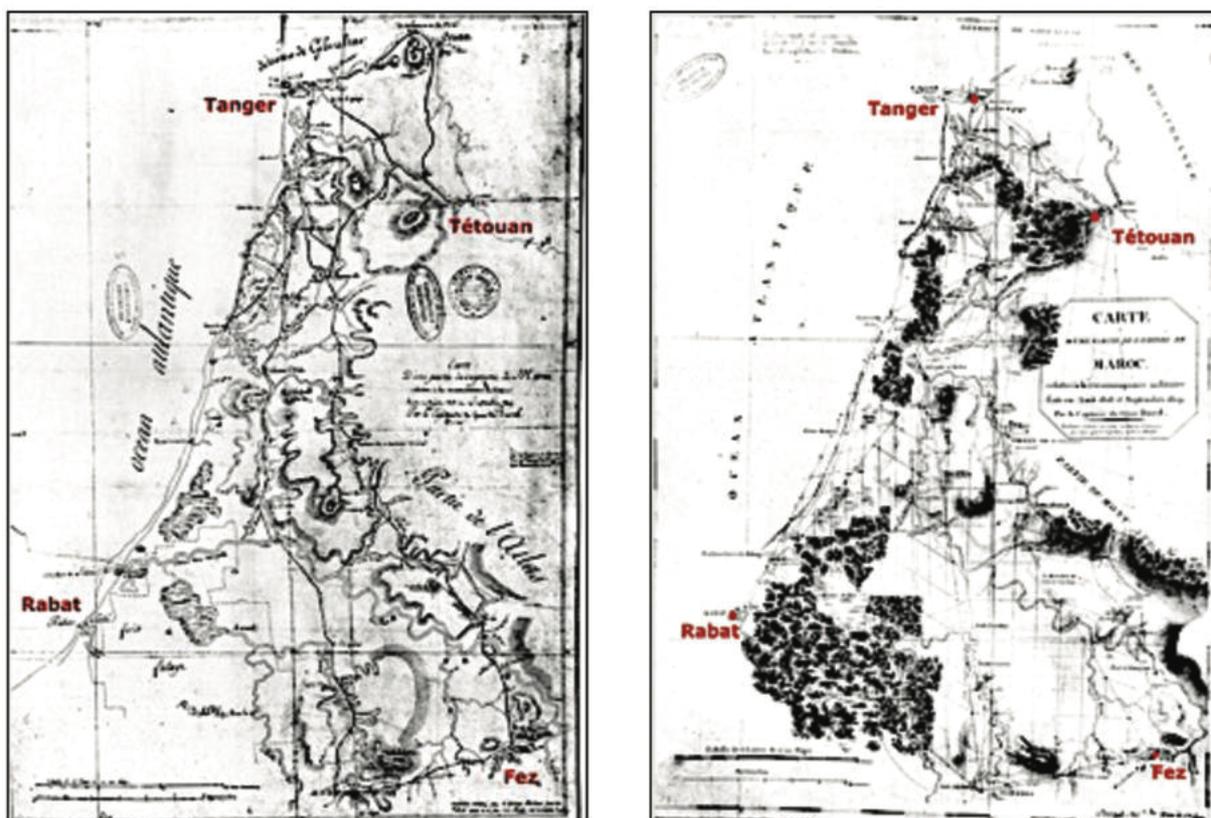


Figure 1 : Carte d'une partie du Royaume du Maroc (à gauche) et carte d'une partie de l'Empire de Maroc (à droite), relative à la reconnaissance militaire, faites en Aout 1808 et septembre 1809 par le capitaine de génie Antoine Burel.

Parmi les chercheurs (explorateurs) qui se sont intéressés au Maroc, **Henri Coquand** (1846-1947), chargé d'une prospection minière entre Tétouan et Tanger, est le premier vrai géologue à travailler sur le Maroc et à faire des observations scientifiques. Il publia son premier Rapport en 1847 sous le titre : «*Description géologique de la partie septentrionale de l'Empire du Maroc*»<sup>13</sup>. Il utilisera les documents cumulés depuis Léon l'Africain (alias Hassan Al Ouazzane) et étalonnera ses interprétations de l'Empire marocain en se référant à ce qui était déjà connu en Europe pour établir sa première carte de la péninsule tingitane en la prolongeant,

<sup>12</sup> Carte de la Barbarie occidentale incluant le Souss et le Tafilalet de J.G. Jackson (1809) ; cliché de la Bibliothèque Nationale France.

<sup>13</sup> Coquand H. (1846-1847) : *Description géologique de la partie septentrionale de l'empire du Maroc* (B. S. Géol. de Fr., w sér., IV, 2e partie, pp. 1188-1249, pl. x).

vers l'est, jusqu'à Oran (en Algérie) et au Sud jusqu'à Larache. Il appellera le Rif : Petit-Atlas, qu'il dit se prolonger sans interruption jusqu'à Tunis.

D'après les données bibliographiques, Coquand n'a pas travaillé dans les montagnes de l'Atlas, mais c'est lui qui a démontré/découvert l'existence et la nature du «couloir sud rifain». On lui doit aussi une description minutieuse des terrains paléozoïques de la chaîne rifaine où il y distingue la phase hercynienne (c'est-à-dire les effets de l'orogénèse hercynienne).

Il dira par ailleurs : «Je déclare enfin que j'ai apporté d'autant plus de soin et de zèle dans mes explorations, que j'étais le premier géologue qui mît le pied sur le sol marocain, et que mes recherches, à défaut de tout autre mérite, auraient l'avantage d'étendre jusqu'aux colonnes d'Hercule les notions que nous possédons sur une partie de l'Afrique septentrionale»<sup>14</sup>.

**Charles de Foucauld** (1888-1939) est le premier (pionnier) géologue à utiliser les *courbes de niveau* au Maroc (voir aussi J. Caillé, 1953)<sup>15</sup>. C'est un explorateur du Maroc et du Sahara. Ancien officier, il entreprit un voyage d'exploration au Maroc (1883-1884) au cours duquel il parcourut la chaîne du Haut Atlas et traversa l'Anti-Atlas à quatre reprises. Il a écrit ses notes sous le nom : *Reconnaissance au Maroc 1883-1884*, comportant également la carte des différents itinéraires qu'il a entrepris (Fig. 2).

De Foucauld a séjourné par deux fois dans l'Anti-Atlas (Oasis du Bani, puis dans le jbel Sarhro), avant de se déplacer vers le NE du Maroc, vers la vallée de la Moulouya et le massif du Rekkam (Meseta orientale). Malgré les difficultés de son entreprise et les moyens rudimentaires dont il disposait, il a pu recueillir des renseignements de toutes sortes, et qui portent sur la géographie physique, la description des itinéraires parcourus et même le relevé de points astronomiques au sextant qui ont servi ensuite pendant longtemps comme base à l'établissement des cartes topographiques. De nombreux géologues, en particulier Louis Gentil, et Georges Choubert (dans son Histoire géologique de l'Anti-Atlas, 1952, t. 1, p. 9) ont rappelé l'intérêt de ses explorations dans le Sud marocain.

---

<sup>14</sup> Coquand H., op.cit. pp : 1190-1191.

<sup>15</sup> Charles de Foucauld (1939) : Reconnaissance au Maroc 1883-1884. Journal de route. Conforme à l'édition de 1888 et augmentée de fragments inédits rédigés par l'auteur pour son cousin François de Bondy. Soc. Ed. Géogr. marit. et colon. Paris, 1 vol., 1 atlas de 20 cartes.

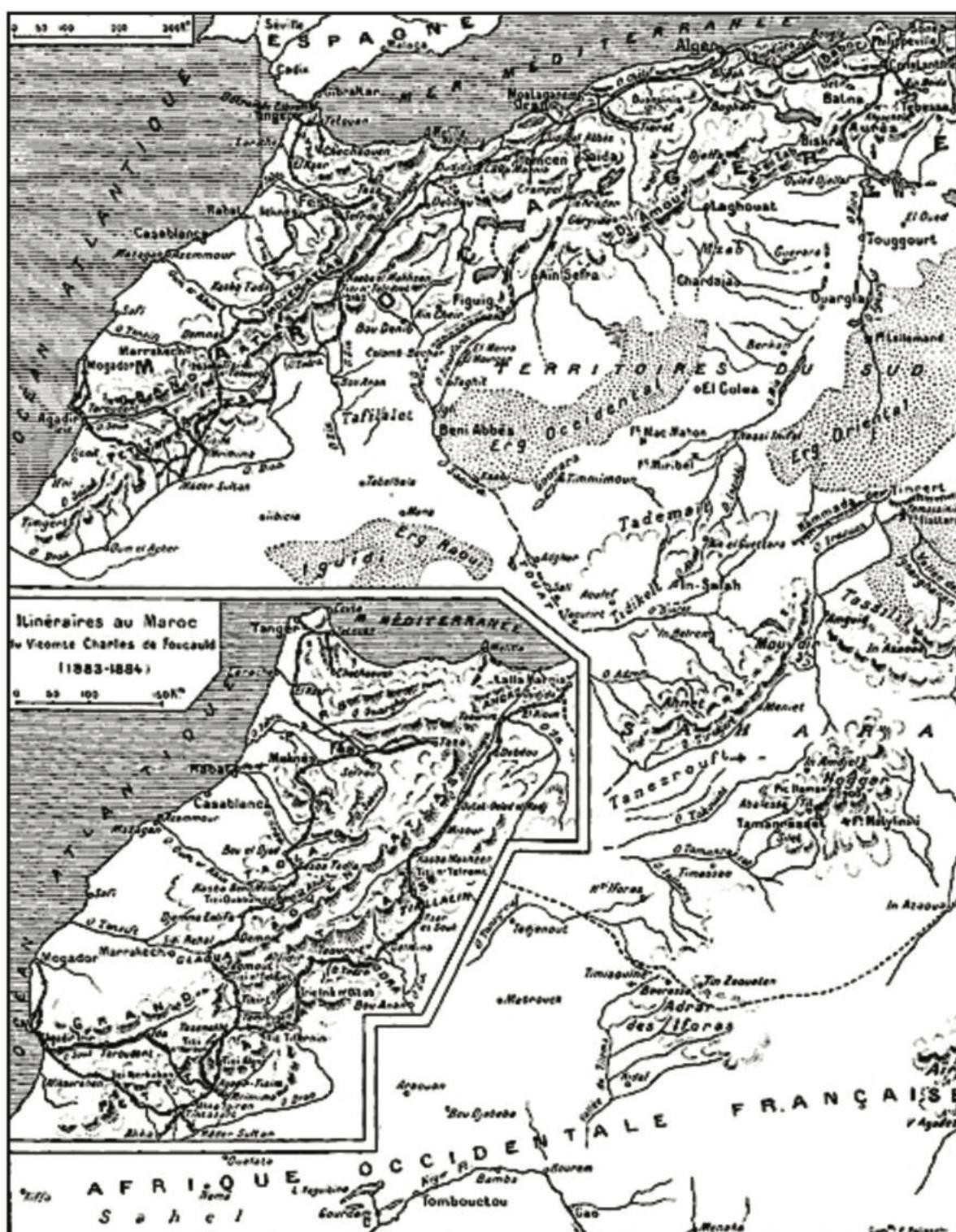


Figure 2 : Carte montrant les itinéraires empruntés par le Vicomte Charles de Foucauld (1883-1884)<sup>16</sup>, également disponible sur les éditions Ebooks libres et gratuits (2010).

<sup>16</sup> Bazin R. (1921) : Charles de Foucauld, Explorateur du Maroc, Ermite au Sahara. Edition Paris Plon, 502p.

Tout au long de son voyage, De Foucauld a rencontré beaucoup de gens qui l'ont aidé ou contribué à la réussite de sa mission. Il ne les oubliera pas lorsqu'il publia, en 1888, son livre, *Voyage au Maroc*, en écrivant en ouverture de celui-ci : «Au moment de livrer au lecteur le récit de mon voyage, lorsque les événements qui l'ont rempli, les travaux qui l'ont accompagné, passent ensemble devant mes yeux, que de noms, que de choses, que de sensations montent en foule à mon esprit ! Parmi les souvenirs, ceux-ci agréables, ceux-ci pénibles, que cet instant évoque, il en est un d'une douceur infinie, un devant lequel tous les autres s'effacent. C'est *le souvenir des hommes* en qui j'ai trouvé bienveillance, amitié, sympathie, de ceux qui m'ont encouragé, protégé, aidé, dans la préparation de mon voyage, dans son accomplissement, ...».

**Joseph Thomson** (1888) est l'auteur de la première carte géologique marocaine du Haut-Atlas occidental et central avec la seule mention "*Plateau of the Anti-Atlas*" en terrains tertiaires sans retenir la chaîne découverte et publiée dix ans plus tôt (Figs. 3 et 4). Sur cette carte, les deux massifs des Jébil et des Rehamna sont mal représentés, au Nord de l'oued Tensift, à cette époque et la ville de Marrakech est appelé Morocco.



Figure 3 : Carte du Haut-Atlas occidental et central, Thomson J. (Map of southwestern Morocco, illustrative of explorations carried on by Joseph Thomson 1888 ; *In Travels in the Atlas and Southern Morocco, a narrative of exploration*; 1889)

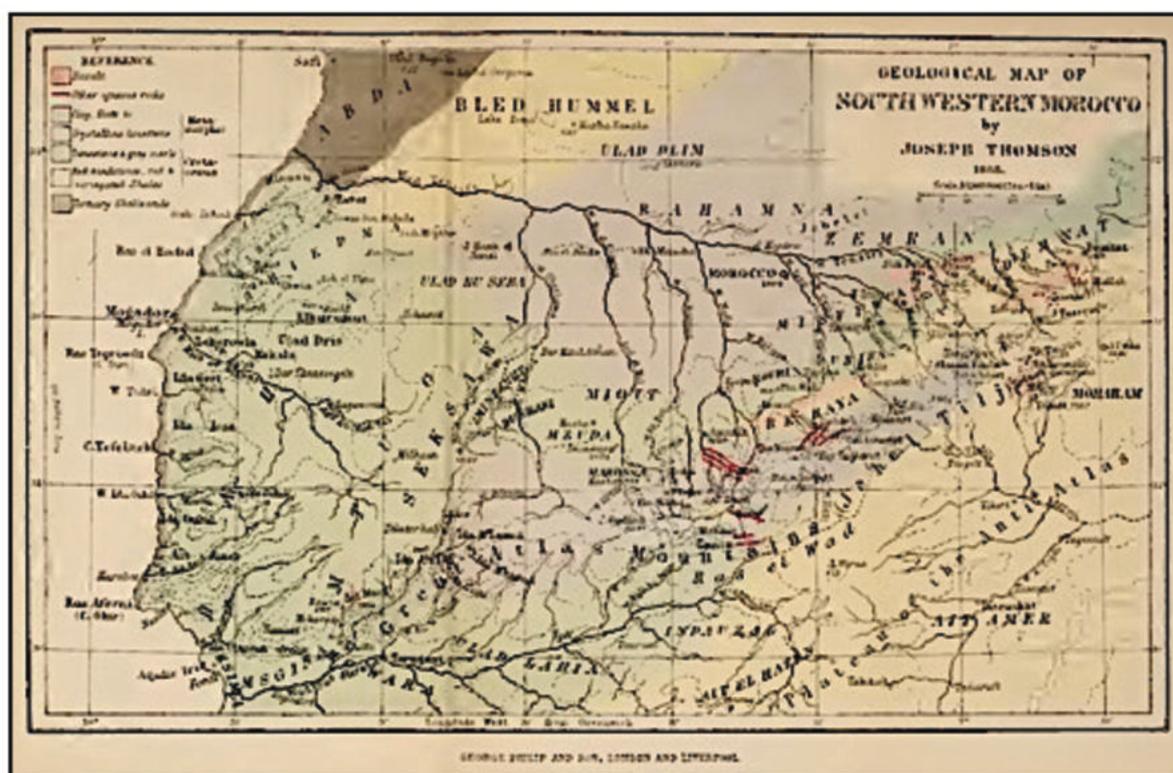


Figure 4 : Carte géologique du Haut-Atlas occidental par Joseph Thomson (1888)

Les données de nombreux voyageurs locaux et étrangers sur différents itinéraires, associées à celles de Charles de Foucauld, vont inciter **Paul Schnell** (un géographe allemand) à rassembler et positionner toute cette documentation éparpillée et publier, en 1892, "*L'Atlas marocain*"<sup>17</sup> dont la description maîtresse est celle du Haut-Atlas, un trait majeur de l'orographie marocaine et qu'il subdivise en deux ailes, occidentale et orientale ; cette dernière était pratiquement inexplorée à cette époque. Il s'agit d'une "*géographie critique*" selon son expression, sur une carte cohérente mais combien difficile à réaliser.

Cet ouvrage réunit les faciès reconnus par les différents explorateurs : schistes plus ou moins argileux, quartzites, grauwackes, calcaires sombres, grès (plutôt attribués au Dévonien), qui finissent par suggérer la présence du Paléozoïque dans le Rif, à Casablanca, à la région d'Oulmès, aux Rehamna, Djebilet, à l'aile occidentale du Haut-Atlas, à l'Anti-Atlas, au Bani et au nord du Sahara. Paul Schnell contribua à faire admettre définitivement la division de l'Atlas en Moyen, Haut et Anti-Atlas (Fig. 5).

Le géologue autrichien **Eduard Suess**, qui vécut au 19<sup>e</sup> siècle et au début du 20<sup>e</sup> (1831-1914), publie entre 1885 et 1909 un ouvrage monumental sous le titre '*Das*

<sup>17</sup> Schnell P. (1898). *L'Atlas marocain d'après les documents originaux*. Trad. Aug. Bernard. Paris, Edit. Leroux, 316 pp., 1 carte.

*Antlitz der Erde (La Face de la Terre)* ; c'est la première grande synthèse de l'histoire tectonique de la Terre<sup>18</sup>. Il y développa particulièrement les grands concepts de géologie structurale qui restent valables à nos jours et qui très certainement resteront pour très longtemps après. Il s'agit d'un chef-d'œuvre rédigé en trois tomes (avec plusieurs cartes en couleur, croquis, coupes, photos, ...).



Figure 5 : Carte au 1 :1.750.000<sup>ème</sup> de l'Atlas marocain par Paul Schnell (1892)

Dans une approche actualiste modernisée, Suess donne l'état géomorphologique, géologique de la planète Terre où il explique les mouvements de la croûte extérieure du globe ; la structure et le tracé d'un grand nombre de chaînes de montagnes ; les changements de forme de la surface de la mer et la surface de la Terre. Ce travail a commencé avant 1880 et a été achevé en 1909 ; son élaboration a pris plus de trente années d'une vie incroyablement laborieuse : d'où sa diversité, qui est comme un raccourci des transformations et des progrès de la Science pendant ce tiers de siècle.

<sup>18</sup> Suess E. (1897) : *La Face de la Terre (Das Antlitz Der Erde)*. Armand Colin et Cie (Libraires Éditeurs) Paris, 225p. Traduit de l'Allemand et annoté sous la direction de Emmanuel De Margerie, avec une préface par Marcel Bertrand (de l'Académie des Sciences, Professeur à l'École Nationale Supérieure des Mines).

Ce travail expose l'histoire de la Géologie, dans le passé ; et il semble la projeter dans l'avenir. Les derniers chapitres, contenus dans le dernier fascicule, donnent une vision anticipée de la Géologie de demain<sup>19</sup>.

On peut lire dans l'*épilogue*, écrit le 20 décembre 1915 par *Pierre Termier* (de l'Académie des Sciences, France), à la fin de la traduction du **Tome 3** du livre de Suess, par Emmanuel de Margerie : «*La synthèse de notre globe, telle qu'elle est réalisée dans **La Face de la Terre**, n'est pas absolument définitive ; aucune question n'est complètement résolue ; aucun mystère n'est supprimé ; le nombre des problèmes n'a fait que s'accroître au fur et à mesure que s'étendait la connaissance. Mais les grandes lignes sont désormais tracées, du visage terrestre ; et cette ébauche, exécutée par la main d'un maître, gardera sa vigueur et ses principaux traits sous les retouches successives*»<sup>20</sup>.

Il ajoute plus loin : «*Le troisième volume de **Das Antlitz der Erde** est venu longtemps après les deux premiers. En lisant les fascicules, successivement parus, dont il se compose, on suit, pas à pas, les progrès de la Tectonique, le développement de cette science structurale dont Édouard Suess a été l'un des fondateurs et qui grandit sous ses yeux, d'année en année, d'une façon merveilleuse ...*».

Selon Florence Daniel (dans Histoire des sciences ; Histoire des sciences de la Terre ; Histoire de la géologie) : «Suess est un adepte du refroidissement de la Terre. Selon lui, la contraction qui en résulte engendre des contraintes entre l'écorce terrestre et l'intérieur de la planète ; certaines de ces contraintes, tangentiellles, provoquent des poussées latérales qui sont à l'origine de la formation des montagnes». Ainsi, dès 1875, Suess, dans son ouvrage sur l'origine des Alpes (*Die Entstehung der Alpen*)<sup>21</sup>, note que cette chaîne est le résultat de poussées, venues du sud et du sud-est, qui ont entraîné un déversement des couches sur un avant-pays. Ces réflexions conduiront plus tard à la notion de **nappes de charriage** (Fig. 6).

---

<sup>19</sup> La **Géologie de demain** est entendue ici comme celle qui prolongera et complétera les «Analyses» ; celle qui pénétrera peut-être, qui sait ? Dans «les Profondeurs» ; celle qui éclairera quelques-uns des mystères de «la Vie» ; celle qui résoudra, pour toujours, le problème des montagnes vagabondes et le problème des régions stables ; celle qui dira l'origine du granite et la cause du métamorphisme ; celle qui fixera le rôle des volcans et les lois de leur répartition ; celle qui s'essaiera à supputer quelques durées, tout au moins la durée des temps quaternaires, tout au moins l'âge de l'humanité ; celle qui promulguera la formule des lents mouvements terrestres, ondulations de l'écorce, déplacements des rivages, et qui narrera les soudains cataclysmes où l'Atlantide disparaît.

<sup>20</sup> Suess E. (1912-1918) : *La Face de la Terre*. Traduction française sous la direction de E. de Margerie, Paris. Editions A. Colin. Tome 1 (1912), 835p. ; Tome 2 (1918), 878 p. ; Tome 3, 1<sup>ère</sup> partie (1912), 530 p. ; 2<sup>ème</sup> partie (1912), 531-956 ; 3<sup>ème</sup> partie (1913), 957-1360 ; 4<sup>ème</sup> partie (1918), 1361-1724. Tables générales (1918), 1-258.

<sup>21</sup> Suess E. (1875) : *Die Entstehung der Alpen*; German Edition ; W. Braumüller (1<sup>st</sup> Edition) Wien ; 168 p.

Dans **La Face de la Terre**, Suess envisage également que l'histoire géologique de l'Europe a été ponctuée d'orogénèses successives. Il a aussi créé le terme «**calédonien**» pour désigner les chaînes de montagnes situées en Scandinavie, en Écosse et en Irlande.

Enfin, face à un certain nombre d'arguments tectoniques et paléontologiques suggérant que, dans le passé, l'Afrique, l'Arabie, Madagascar, l'Inde, l'Australie et l'Amérique du Sud ont été en relation, Suess propose que ces continents ont été reliés par des ponts continentaux qui se sont ensuite effondrés dans les océans, cet effondrement étant lui aussi dû à la contraction de la Terre. Aujourd'hui, cette théorie a été complètement abandonnée. Il n'en reste pas moins que les apports de Suess à la géologie ont été importants, notamment pour la compréhension des orogénèses<sup>22</sup>.

Selon Sengör (2015) : «Vers l'ouest, les *Altaïdes* pénètrent en Europe via le Grand Caucase. Les arcs armoricain et varisque, appelés ensemble la *chaîne hercynienne* par le grand admirateur et ami de Suess, le génie français de la tectonique, Marcel Bertrand en 1887, font partie des *Altaïdes*, mais représentent une rétrogradation par rapport à l'édifice Altaïd, parce qu'ils sont orientés vers le nord (Bertrand 1887; Fig. 17)<sup>23</sup>».

Il s'agit d'une carte tectonique de l'Europe publiée par Eduard Suess en 1893 (Fig. 6). Ce dernier fut parmi les premiers à décrire la structure tectonique des Alpes et avec Franz von Hauer, il travailla sur une section géologique. Il a reconnu que les chaînes de montagnes européennes étaient le produit d'au moins trois cycles orogéniques distincts – le système alpin (Alpes, Pyrénées, Dinarides), le système varisque (massif de bohème et Meseta ibérique en Espagne et massifs anciens en France) et le système calédonien (dans la majeure partie de l'Angleterre, de l'Irlande et de la Scandinavie). Dans cette carte, Suess distinguait déjà l'arc ibéro-rifo-tellien de la chaîne alpine marocaine, ainsi que la faille sud-atlasique qui limite le Maroc européen du Maroc africain.

Suess mentionne dans le Tome 1 (page 295) de son ouvrage la 'Face de la Terre' que : «Dans le Rif et jusqu'aux colonnes d'Hercule, les chaînes de l'Afrique septentrionale tournant vers le nord en décrivant un grand arc de cercle et nous ramènent en Europe. L'Espagne méridionale se décompose en trois régions naturelles; la première est celle des chaînes de la Cordillère bétique qui bordent le littoral méditerranéen de l'ENE à l'WSW, puis vient la vallée de Guadalquivir d'orientation sensiblement identique, et, au nord du fleuve, le bord méridional

<sup>22</sup> Florence Daniel, «la Face de la Terre (E. Suess)», *Encyclopædia Universalis* [en ligne], consulté le 28 septembre 2020. URL : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/la-face-de-la-terre/>

<sup>23</sup> Bertrand M. (1887) : La chaîne des Alpes et la formation du continent Européen: Bulletin de la Société Géologique de France, série 3, v. 15, pp. 423–447.

nettement dessiné du vaste plateau central (Meseta) ibérique, qui suit également la même direction. Le développement qu'offrent ici les terrains archéens, les lacunes de la série mésozoïque, les contours extérieurs qui coupent la direction des terrains et la transgression des dépôts cénomaniens qui apparaissent un peu plus au nord, établit une ressemblance frappante entre cette grande Meseta, le massif de la Bohême et le Plateau Central de la France. Ajoutons que la Sierra Morena, l'élément le plus important du Sud de la Meseta espagnole, fait saillie sur sa bordure externe à peu près comme le font, sur le bord du massif bohémien, dans la Basse-Autriche, les monts du Manhartsberg».

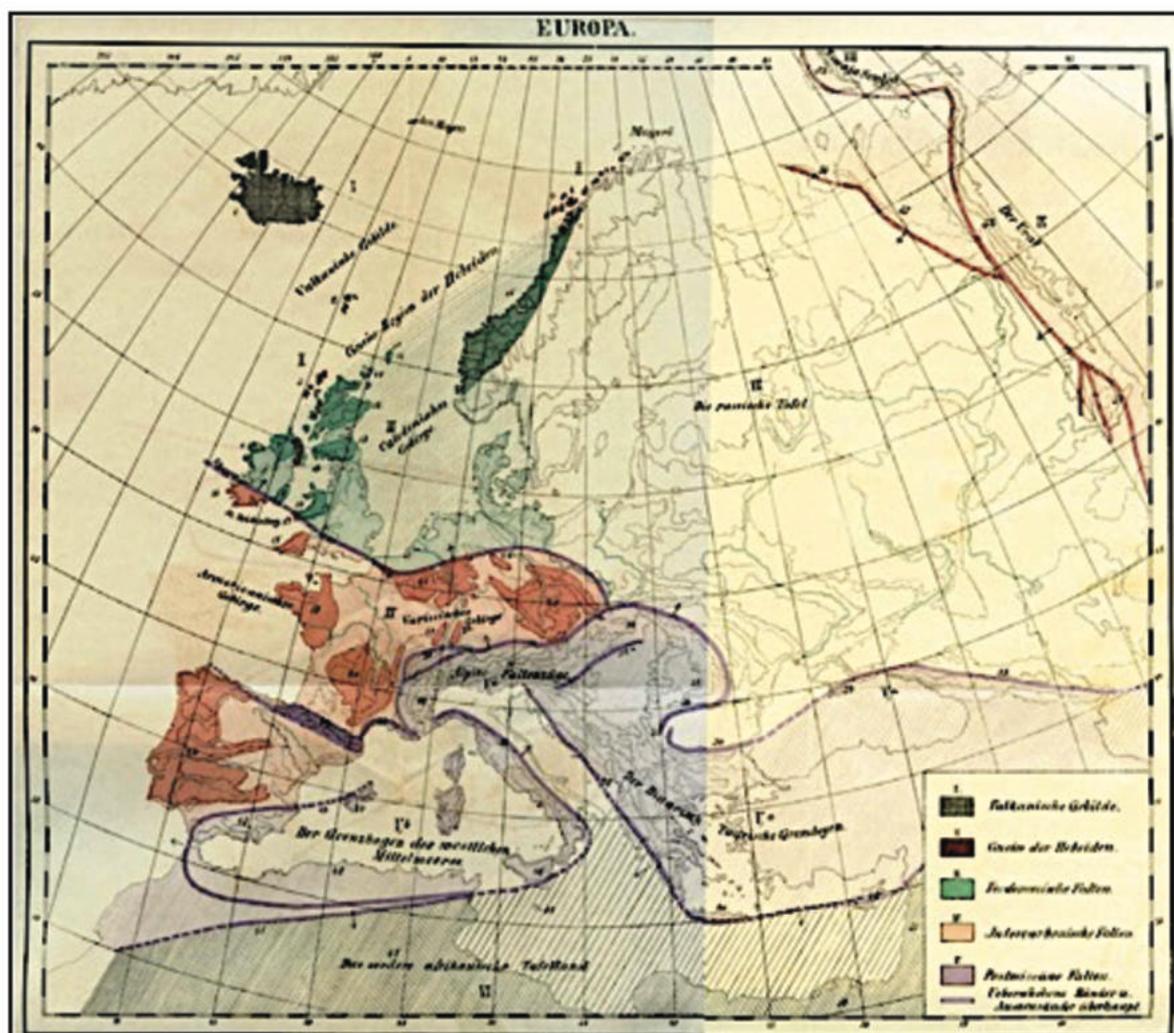


Figure 6 : Carte montrant la structure géologique de l'Europe selon Suess (1893) avec division en systèmes montagneux calédoniens, varisques et alpins (tirée de Sengör, 2015).

La lecture complète de cette carte par Sengör (2015, Fig.17)<sup>24</sup>, montre une quintuple division de l'évolution géologique de l'Europe:

<sup>24</sup> Şengör A.M.C. (2015) : The Founder of Modern Geology Died 100 Years Ago: The Scientific Work and Legacy of Eduard Suess. Geoscience Canada, vol 42, pp: 181-246.

1. édifices volcaniques ;
2. région gneissique des Hébrides (Suess pensait qu'elle faisait peut-être partie de Laurentia) ;
3. plis prédévoniens : montagnes calédoniennes (Caledonisches Gebirge) ;
4. Plis intercarbonifères : montagnes armoricaines et varisques (armorikanisches Gebirge und variscisches Gebirge) ;
5. plis post-miocènes : terrains plissés alpins (Faltenzüge alpin), arc marginal dinarique-taurique (Die Dinarisch-Taurische Grenzbogen.) ; plateforme russe (Die russische Tafel) ; la table africaine frontale (Das vordere afrikanische Tafelland). Marges de poussée et marges extérieures en général (Überschobene Ränder und Aussenränder überhaupt).

Par ailleurs, Édouard Suess constate des analogies troublantes de faunes et de flores fossiles entre des régions, aujourd'hui séparées par des océans. Il émet alors l'hypothèse d'une réunion de ces continents en un seul supercontinent qu'il nomme **Gondwana**. Selon lui, les bassins océaniques qui les séparent aujourd'hui résultent d'enfoncements de l'écorce terrestre qui ont permis l'invasion par la mer. Il est à l'origine du paradigme de la pomme ridée (Fig. 7) : théorie de contraction thermique de la Terre. Il défend la théorie de la contraction terrestre pour expliquer l'existence des continents et des océans (Fig. 8).

Pour Suess, comme pour de nombreux géologues, la surface de la Terre s'est contractée comme une pomme créant des creux et des bosses, les zones continentales et les zones océaniques.

Rappelons enfin, que l'**histoire de la tectonique** envisagée à l'échelle du globe (tectonique globale des auteurs modernes) part de l'œuvre d'Élie de Beaumont<sup>25</sup>, seulement amorcée dans le prologue, en parlant de la théorie des «*systèmes de soulèvement*» ; et se prolonge par celle de ses successeurs. Eduard Suess (1885-1909)<sup>26</sup> qui, aux "*soulèvements*", oppose l'idée que les "*affaissements*" sont le phénomène essentiel.

Alfred Wegener (1912)<sup>27</sup> qui parle de la dérive des continents, pour arriver dans un abondant épilogue à la naissance de la **tectonique des plaques** lithosphériques (qui ne sera adopté qu'en 1968). Bien entendu, les travaux de Suess ont dû progressivement s'adapter aux avancées de la science entre 1885 et 1909, mais il ne pouvait pas prévoir la théorie de Wegener.

---

<sup>25</sup> Élie de Beaumont, L. (1834) : Faits pour servir à l'histoire des montagnes de l'Oisans. Ann. Mines, Paris, (3), 5, 63 p.

<sup>26</sup> Suess E. (1885-1909) : Das Antlitz der Erde. Tempsky, Prag und Freitag, Leipzig.

<sup>27</sup> Wegener A. (1924) : La Genèse des continents et des océans (traduction par M. Reichel de la 3e éd. de " Die Entstehung der Continente und Ozeane " ), Blanchard, Paris, 161 p.

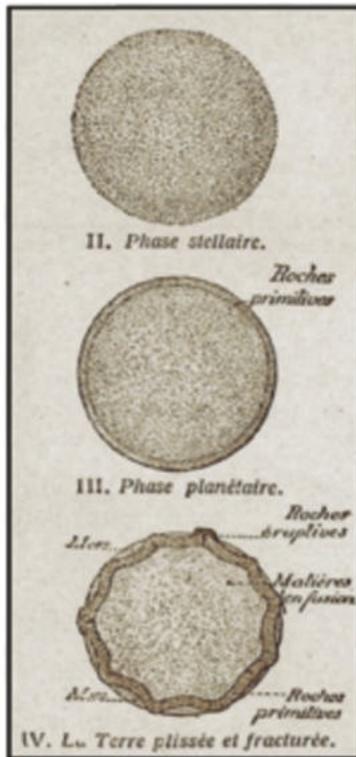


Figure 7 : Le paradigme de la pomme ridée veut, que telle une pomme qui se ride en se desséchant, notre planète se serait plissée en refroidissant lentement, diminuant de volume et créant ainsi des chaînes de montagnes et des continents, le reste étant envahi par l'eau.

Suess prolonge sa théorie en proposant la théorie des ponts continentaux qui permet de comprendre que des fossiles semblables soient retrouvés de part et d'autre de continents actuellement très éloignés. En effet, les deux continents auraient été reliés par un pont continental qui se serait effondré, formant ainsi les océans. Cette théorie permettait à l'époque d'abonder dans le sens de la fameuse «disparition de l'Atlantide», mythe illustré par le dessin de la première page présentant l'Isula Atlantis au centre de l'Océan Atlantique. Deux théories s'affrontent : la théorie des ponts continentaux et la théorie de la dérive qui sera soutenue par Alfred Wegener (1912). Suess considère également que les continents ont une densité de 2,8 et sont riches en Silicium et Aluminium (SiAl) et qu'ils flotteraient sur les océans composés de Silicium et Magnésium (SiMa) d'une densité de 3,3.

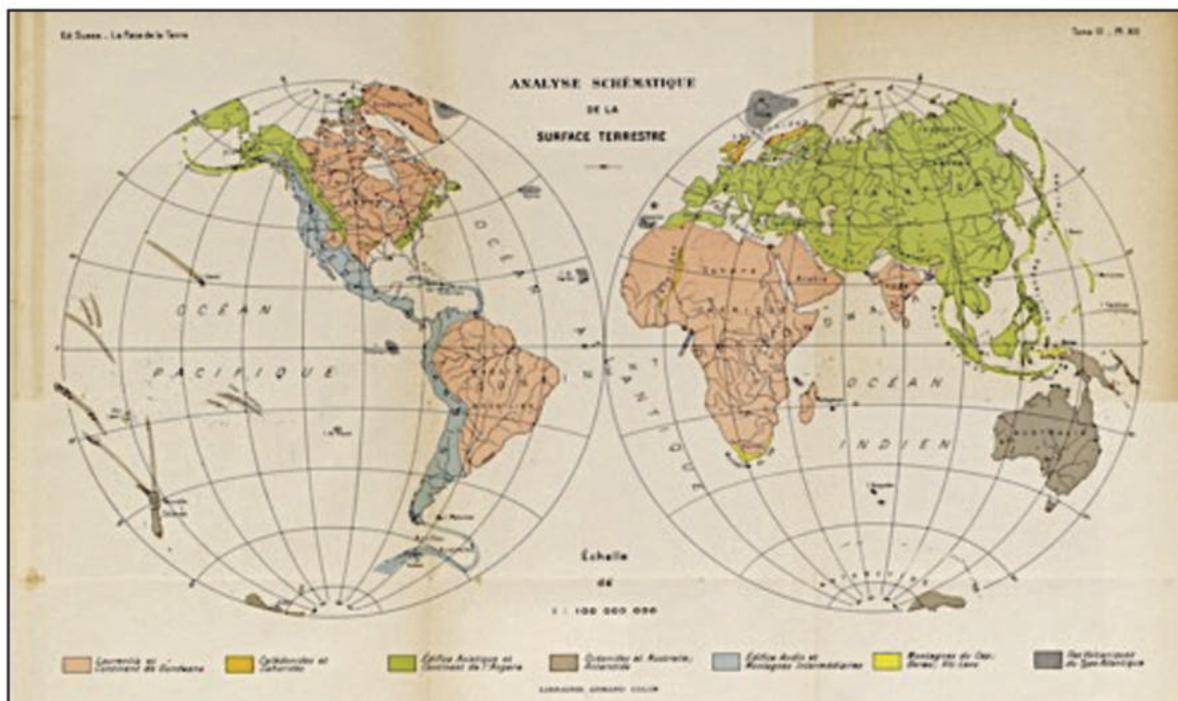


Figure 8 : Carte de la surface terrestre d'après E. Suess (*in La Face de la Terre*, volume 3, pl. XIII)

Malgré cela, son influence dans le développement de la tectonique sur les continents fut déterminante et beaucoup de ses idées et de ses notions sont de nos jours encore acceptées.

Dans le chapitre XII du livre «La Face de la terre» tome 3-partie 2, Suess parle des *Altaïdes africaines*, (Fig. 9), où il inclut le Maroc (voir à ce sujet les pages 684-686 pour la région de Figuig-Béchar et 686-692, pour le Rif, la Meseta et le Haut-Atlas central et occidental), avec quelques notions dans la partie nord occidentale de l'Anti-Atlas, comme l'atteste l'esquisse géologique du Haut-Atlas : Planche VI de Louis Gentil (1907 ; Fig. 10).



Figure 9 : Carte montrant un essai d'analyse des chaînes européennes, d'après l'état de la science (selon Suess, La Face de la Terre, 1908).

Dans l'ouvrage de Suess, l'auteur signale qu'entre Figuig et Béchar se trouve une vallée longitudinale de 130 kilomètres de longueur et de 900 mètres d'altitude, se dirigeant vers le SW, entourée de montagnes. Le Djebel Antar (1800 m), au Nord, est constitué par du Carbonifère. La vallée est remplie par du Cénomaniens ; le poste militaire de Ben Zireg est bâti sur du Dévonien très redressé ; alors qu'au niveau du

Jbel Béchar (1400 m), sur le bord sud de la vallée, se trouve une croupe de calcaire carbonifère, très longue et très large, dont le dos s'incline au NW ; à ce calcaire se relie du Carbonifère moyen, marin, sans que les conditions du gisement ait été autrement précisées ; au-dessus viennent des grès verts avec des espèces du Westphalien supérieur, comme *Neuropteris gigantea*, etc. (flore de Schatzlar), et enfin viennent, en discordance, les formations du Cénomanién. Il s'agit d'une zone de chaînes parallèles, comprenant deux vallées longitudinales, avec des plissements dont l'âge est compris entre le Carbonifère inférieur et le Cénomanién. La direction des mouvements et la succession des couches sont différentes de celles de l'Atlas méditerranéen.



Figure 10 : Esquisse géologique du Haut-Atlas occidental (d'après L. Gentil, 1907)<sup>28</sup>

Dans la région de Ben Zireg, la lacune qui sépare le Carbonifère inférieur et le Cénomanién ne permet pas d'arriver à une détermination d'âge plus précise; néanmoins les «savants français» pensent, avec raison sans doute, que ces chaînes appartiennent à un ensemble dont l'âge est antérieur au Permien (c'est-à-dire hercynien), c'est-à-dire aux *Altaïdes*.

Pour Suess, l'Atlas méditerranéen appartient aux chaînes alpines ; il est constitué en grande partie par des couches mésozoïques plissées ; son côté interne est situé vers le nord; il s'incurve en un arc de cercle dans le Rif, traverse la mer aux Colonnes d'Hercule et se continue dans la Cordillère Bétique (voir planche Suess, 1893 ; plus

<sup>28</sup> Louis Gentil (1907) : Notice sur l'Esquisse géologique du Haut-Atlas occidental (Maroc) ; Annales de géographie, XVI, 1907, pp :70-77 ; avec la carte géol. à 1 :1.000.000<sup>ème</sup>. Également parue dans le Tome 3 de l'ouvrage de Suess – *la Face de la Terre* - (1909).

haut, Fig. 6). Pour expliquer cette région, Suess a fait appel à la carte géologique de Louis Gentil (1907) et utilise un certain nombre de données de cette carte (Fig. 10).

Au sud de cette région, les cartes montrent jusqu'à Fès des rameaux ou des coulisses divergeant vers le SW, puis un territoire assez étendu, en forme de coin, interrompu par des chaînes assez courtes, irrégulières. A cette zone appartient, sur plus de cinq degrés de latitude, la côte entre le Cap Spartel et le Cap Ghir. Cette région triangulaire a été assez souvent qualifiée «d'avant-pays» du Haut-Atlas. Sur le bord sud de ce soi-disant *Vorland* s'élève la longue chaîne des Djebilet (c'est-à-dire les «petites montagnes»; el Djebel désignant le Haut-Atlas). Celles-ci s'abaissent au Sud vers la plaine du Haouz, vers l'Oued Tensift et vers la ville de Marrakech. Puis, plus au Sud, le pays s'élève rapidement jusqu'aux crêtes du Haut-Atlas. Beaucoup de ses sommets dépassent 3.000 mètres; ils dépassent même quelquefois 4.000 mètres. Au Sud, la haute montagne s'abaisse vers la vallée de l'Oued Sous (Fig. 10).

Suess évoque, dans cette partie, les sources de l'oued Draa et parle du massif du Siroua : «Dans les dépendances du Haut-Atlas, se trouvent les sources de l'Oued Draa. Entre les deux s'élève un massif remarquable, qui supporte le Djebel Siroua et qui relie le Haut-Atlas à l'Anti-Atlas, courant au Sud de l'Oued Sous. L'Oued Draa s'infléchit vers le SW, contourne le massif du Siroua et atteint ainsi le bord sud de l'Anti-Atlas».

Suess rappelle aussi que, Joseph Thomson avait, avant lui, reconnu les Djebilet qui se composent de roches anciennes (métamorphiques) plissées NNE (transversale à la direction générale du chaînon, qui est E-W<sup>29</sup>). Au Sud de l'oued Tensift et de la vallée du Haouz de Marrakech, les contours émoussés de la haute chaîne attirèrent son attention ; elle se prolonge vers l'ouest sans atteindre l'océan (au niveau du Cap Ghir) ; Theobald Fischer a constaté que sous la couverture de cette chaîne atlasique qualifiée de *Vorland* on retrouve le même substratum plissé que Thomson a décrit dans les Djebilet, et que ce substratum apparaît même sur la côte entre Casablanca et Rabat. Fischer le rapprocha des chaînes varisques et de la Meseta espagnole<sup>30</sup>.

<sup>29</sup> Thomson J. (1888-1889) : Geological Map of Southwestern Morocco, 1:1.500.000 (Travels in the Atlas and Southern Morocco, London). In : Thomson J. (1889) : Travels in the Atlas and Southern Morocco, a narrative of exploration. George Philip & sons, London. 488 p

<sup>30</sup> Fischer Th. (1900) : *Wissenschaftliche Ergebnisse einer Reise im Atlas-Vorlande von Marokko* (Petermanns Mitteil., Erg.-Heft Nr. 133, 165 p., 3 cartes, 1900; en particulier p. 152 et suivantes). [Voir aussi son mémoire : *Meine dritte Forschungsreise im Atlas-Vorlande von Marokko* (Mitth. der Geogr. Gesellsch. Hamburg, XVIII, 1902, p. 1-199, 2 cartes).] Un progrès notable fut en outre réalisé par la publication, survenue peu de temps auparavant, de la carte de l'Atlas marocain de P. Schnell (Petermanns Mitteil., Erg.-Heft n° 103, 120 p., carte, 1892). [Voir aussi P. Schnell, *L'Atlas marocain d'après les documents originaux*. Trad. par Aug. Bernard (Publications de l'École des Lettres d'Alger). In-8°, x-316 p., 1 carte, Paris, 1898].

Ce rapprochement a été confirmé par les travaux des explorateurs français<sup>31</sup> ; on citera Brives et Lemoine qui ont fait connaître le Nord du Haut-Atlas, ainsi que Louis Gentil qui l'avait traversé en quatre endroits, en risquant plusieurs fois sa vie dans ces traversées<sup>32</sup>. Cependant, beaucoup de problèmes restent encore à résoudre ; mais, en ce qui concerne l'espace compris entre la mer et le méridien de Demnate (6° de longitude W), on est arrivé aux conclusions suivantes :

Il y a eu au Maroc deux phases de plissements :

- la première est anté-permienne; sa direction est N 20° E ; dans l'Est, elle remonte probablement davantage vers le nord ou même dépasse légèrement la ligne du méridien vers l'ouest.
- La seconde est d'âge tertiaire; sa direction est NE ou ENE ; elle forme les chaînes méditerranéennes (alpines).

La différence d'âge et de direction des plis est aussi tranchée qu'entre l'Atlas Oranais et le Djebel Béchar ou qu'entre la Cordillère Bétique et la Meseta.

---

<sup>31</sup> L. Gentil a rapporté de nombreux documents sur cette partie du Maroc, qu'il désigne sous le nom de *Meseta marocaine*, à la suite d'une étude du pays de la Chaouia (1908), puis d'une exploration de la région des Zaër (1909). Il a montré que la chaîne carbonifère, après avoir suivi à partir des Djebilet la direction varisque NNE, se bifurque par virgation de ses plis, au Nord de la Chaouia, en donnant une branche armoricaine (NW) qui va disparaître sous les eaux de l'Océan, et une branche NE, se dirigeant vers le Moyen-Atlas; cette chaîne, profondément arasée, n'apparaît plus aujourd'hui qu'à l'état d'une pénéplaine (Mdakra, Zaër), dont des mouvements plus récents ont parfois rajeuni le relief (Nouvelles Archives des Missions Scientifiques, XVIII, 1909, p. 43-47).

<sup>32</sup> L'on ne peut citer ici que les derniers travaux d'ensemble : A. Brives, *Les terrains crétacés dans le Maroc Occidental* (Bull. Soc. Géol. de Fr., 4e sér., V, 1905, p. 81-96, pl. I : carte géol.), et *Contribution à l'étude géologique de l'Atlas marocain* (Ibid., p. 379-398, pl. XI : carte géol.); L. Gentil, *Observations géologiques dans le Sud-Marocain* (Ibid., p. 521-523); du même, *Contribution à la Géologie et à la Géographie physique du Maroc* (Annales de Géogr., XV, 1906, p. 133-151, pl. IV-V), et Note sur l'Esquisse géologique du Haut Atlas Occidental (Ibid., XVI, 1907, p. 70-77, pl. II : carte géol.); L. Gentil, *Mission de Segonzac. Dans le Bled es Siba. Explorations au Maroc*. III-80, xv-340 p., 223 fig., Paris, 1900; P. Lemoine, *Mission dans le Maroc Occidental. Rapport au Comité du Maroc*. In-12, 224p., carte, Paris, 1905. [Voir, en outre: L. Gentil, *Itinéraires dans le Haut-Atlas marocain* (La Géographie, XVII, 1908, 1er sem., p. 177- 200, fig. 44-56, pl. II : carte géol. en couleurs en 2 feuilles à 1 : 250 000); Rapport sur une Mission géologique au Maroc, janvier-novembre 1907 (Nouvelles Archives des Missions Scientifiques, XVI, 1908, p. 189-216); Rapport sur une Mission scientifique au Maroc en 1908 (Ibid., XVIII, 1909, p.29-71); Une leçon de Géographie Physique sur le Maroc (Revue de Géogr. Annuelle, III, 1909, p. 471-495, 29 fig., 1 carte h. t., 4 pl. phot.); Le Maroc et ses richesses naturelles, Conférence faite à la Société de Géographie (La Géographie, XXI, 1910, 1<sup>er</sup> sem., p. 301-320, fig. 52- 63) ; *Mission de Segonzac au Maroc. Recherches de Géologie et de Géographie Physique* (in : M<sup>is</sup> de Segonzac, *Au cœur de l'Atlas. Mission au Maroc, 1904-1905*. In-8°, Paris, 1910, p. 695-773, phot. pl. LXXXIII-LXXXIX, carte géol. h. t., 2 fig. cartes); A. Brives, *Voyages au Maroc, 1901-1907*. In-4°, Alger, 1909, x-612 p., 6 pl. dont 3 cartes géol. (p. 463-581 : Étude géologique).

## Les explorateurs de la géologie du Maroc à partir de 1900

Au début du vingtième siècle, après les premiers explorateurs du dix-neuvième, arrive le temps des scientifiques (dont une bonne partie est militaire, donc avec un but supplémentaire).

Le premier d'entre eux est le **Marquis René De Segonzac**, qui s'est également intéressé à la géologie du Maroc, en faisant de très nombreuses observations astronomiques à travers le Rif, le Moyen-Atlas, le Haut-Atlas et jusque dans le Maroc présaharien. Le stade suivant était la triangulation au théodolite dite "*triangulation expédiée*". Elle aboutit aux cartes de reconnaissance. Il reste que sur le plan géologique ses observations se réduisent à peu de choses, si ce n'est le nombre important d'échantillons géologiques qu'il recueillit (roches, minéraux, fossiles) (Figs. 11 et 12).

En attendant son arrivée à Tanger, **Louis Gentil** a fait des tournées dans «la péninsule tingitane» et se déplaça vers l'Est et le Sud-Est sur la côte méditerranéenne pour se rendre compte des structures déjà décrites par Coquand en 1847.

Le Marquis René De Segonzac, déguisé en musulman, s'intéressait particulièrement à la géographie, comme le reflète aussi le livre écrit par Louis Gentil dans la même mission. Cependant il avait effectué une première mission dans le Rif (1899 à 1901)<sup>33</sup>, puis dans le Moyen-Atlas et Haut-Atlas (notamment Jbel El Ayachi) qu'il conta en 1903 dans son livre : **Voyage au Maroc** (1899-1901)<sup>34</sup>.

En préface de ce livre, Eugène Etienne (Vice-Président de la Chambre des députés) précise le but principal des missions de De Segonzac et ses résultats et note ceci : «*J'ai sous les yeux une vingtaine de petits carnets jaunis par le soleil ; des cahiers quadrillés couverts d'itinéraires, d'observations astronomiques, de visées ; des collections soigneusement étiquetées, minéraux, roches, plantes, insectes, monnaies anciennes ; un millier de photographies : c'est la moisson que le marquis de Segonzac a rapporté de ses trois années d'exploration au Maroc*».

Cet ouvrage comprend trois parties : le journal de route destiné à servir de contexte aux cartes, de légende aux photographies ; les renseignements scientifiques que l'auteur a pu recueillir ; les itinéraires réduits à l'échelle du 1 :250.000 et quelques profils justificatifs.

<sup>33</sup> Segonzac R. de (1901) : La traversée du Rif. *La Géographie*, Paris, t. 4, pp. 184-186.

<sup>34</sup> Segonzac R. de (1903) : *Voyages au Maroc* (1899-1901). A. Colin éd., Paris, 404 pages., avec photos, gravures, une carte couleur h.t., et des appendices politique, astronomique, météorologique, botanique, entomologique, numismatique, géographique.

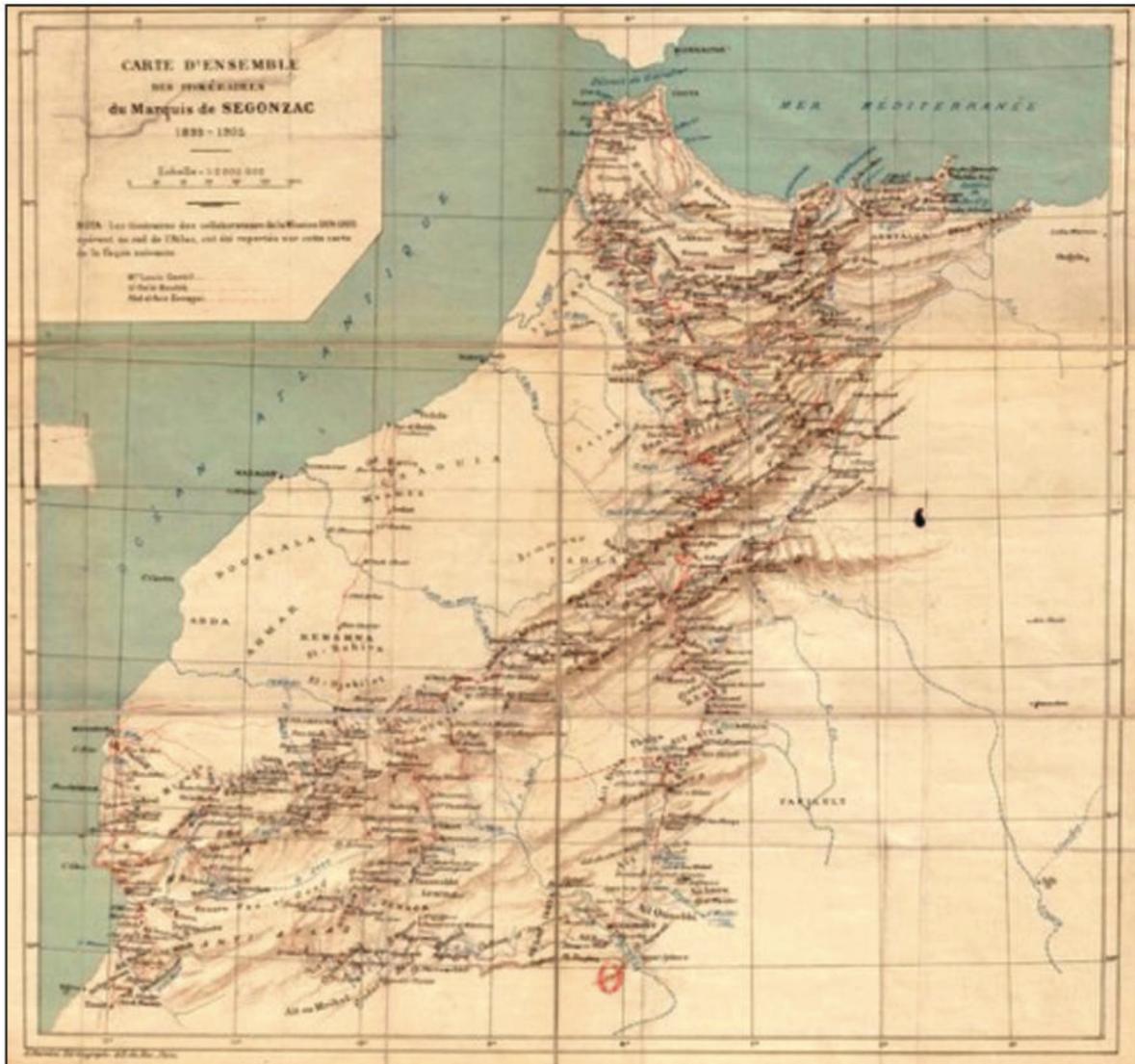


Figure 11 : Carte d'ensemble des itinéraires du Marquis de Segonzac (1899-1905)

Le marquis De Segonzac parle des régions qu'il a visitées (selon les dates de ses voyages) en les subdivisant comme suit :

1. dans le Rif et les Djebala (Tanger, Fès, Melilla, Ouezzane) ;
2. chez les Braber (Fès, vallée de la Moulouya, de la Moulouya au Sebou), concerne les habitants du Moyen-Atlas et du Haut-Atlas ;
3. dans le Sous (Marrakech, Taroudannt, Tiznit).

Ce livre renferme en particulier un appendice (IV) : *Détermination des échantillons géologiques* recueillis par le Marquis de Segonzac (pages : 345-352), suivi d'un *aperçu géologique* par E. Ficheur, dans lequel est signalée la présence de schistes du Précambrien (dans les Beni Said, du Rif oriental), des quartzites et des jaspes (probablement du Permien) ; Il y a été reconnu également du Trias, du Lias (en

particulier celui du jbel el Ayachi), du Crétacé ; des roches éruptives : granulite de la haute Moulouya, des syénites micacées, des basaltes des Béni-Mtir, etc. On y trouve aussi des minéraux tels que l'hématite, la limonite, du fer oligiste, des fragments de pyrite de fer et de la galène.

Ces échantillons avaient été donnés à l'École supérieure des Sciences d'Alger (où Ficheur exerçait sa profession).



Figure 12 : Carte d'ensemble des itinéraires du Marquis de Segonzac ; essai de synthèse orographique

Notons enfin, que pour réaliser cet ouvrage il était nécessaire pour De Segonzac de faire appel à une large coopération de scientifiques, et qu'il relate dans les appendices à la fin de son livre :

- Les renseignements politiques – statistiques - religieux,

- Les observations astronomiques,
- Les observations météorologiques.

Pour la détermination et l'étude du matériel collecté, l'auteur touche à plusieurs disciplines :

- Géologie,
- Botanique,
- Entomologie,
- Numismatique.

Ces appendices concernent aussi une note cartographique, avec des données géographiques précises en aussi grand nombre que possible sur les régions inconnues, ou déjà pénétrées, qu'il allait traverser et qui était l'un des principaux objectifs des missions du marquis de Segonzac au Maroc.

Par la suite, en attendant la publication des données, le **Comité Maroc**<sup>35</sup> a reçu les notes relatives à « *La Mission Segonzac* », publiées dans le Bulletin du Comité de l'Afrique française (organe du Comité Maroc), Paris, t. 15 (quinzième année), n° 5, pages : 192-200.

Ce numéro comprend des notes rédigées par les trois missionnaires (Le Marquis de Segonzac, officier de cavalerie, chef de mission ; Louis Gentil, maître de conférences à la Sorbonne ; et René de Flotte-Roquevaire, chef du service cartographique du Gouvernement général de l'Algérie) en prélude à la publication de l'important document qui allait paraître après leur retour en France. Il s'agit de :

- «Notre mission au Maroc» par le marquis René de Segonzac ;
- «*Les Reconnaissances de Louis Gentil*», qui concernent la géologie après avoir effectué quatre voyages (un dans le Maroc septentrional, les trois autres dans le Sud marocain) et en donnent les itinéraires dans deux cartes séparées. Cette note est signée par Louis Gentil.
- *Note sur la Triangulation du Houz et de l'Atlas Occidental*, par René De Flotte-Roquevaire, et qui consistait à prolonger le plus possible vers l'est la zone triangulée et en déterminant trigonométriquement les coordonnées des

---

<sup>35</sup> Le «Comité Maroc» a été créé par l'Académie des Sciences de France au début du Protectorat marocain pour développer les recherches géologiques dans ce pays. Il avait notamment pour mission d'envoyer au Maroc, dans les parties accessibles de ce pays : Bled Makhzen, des voyageurs avec comme tâches de rapporter des données géologiques, minéralogiques, botaniques, hydrographiques, qui seront coordonnées à Paris et tenues à la disposition des négociants ou industriels ... Il envoyait aussi dans les régions insoumises (Bled Siba) de véritables missions d'exploration, sous déguisement, pour renseigner sur la géographie de certaines régions du Maroc et aussi de rapporter toute information qui concerne les milieux musulmans.

principaux sommets du Haut-Atlas. Il était aussi question d'observer la déclinaison magnétique et d'effectuer le levé topographique des itinéraires.

Bien sûr ces notes ne sont que l'annonce de la publication de **René (marquis) De Segonzac**<sup>36</sup> : «*Au cœur de l'Atlas*», Mission au Maroc 1904-1905 ; publié à Paris par Émile Larose, Libraire-éditeur 1910 ; 994 pages. Cet ouvrage est un document assez précis pour la description des itinéraires ainsi que les nombreuses informations géographiques et sociologiques portant sur des régions parfois totalement inconnues. Ce mémoire comprend une *Note de Géologie et de Géographie physique* par Louis Gentil (alors Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Paris) pages : 695-775, et publia une première carte géologique du Haut-Atlas occidental (voir plus loin, les travaux de Louis Gentil avec la carte en question ; Figs. 13 et 14).

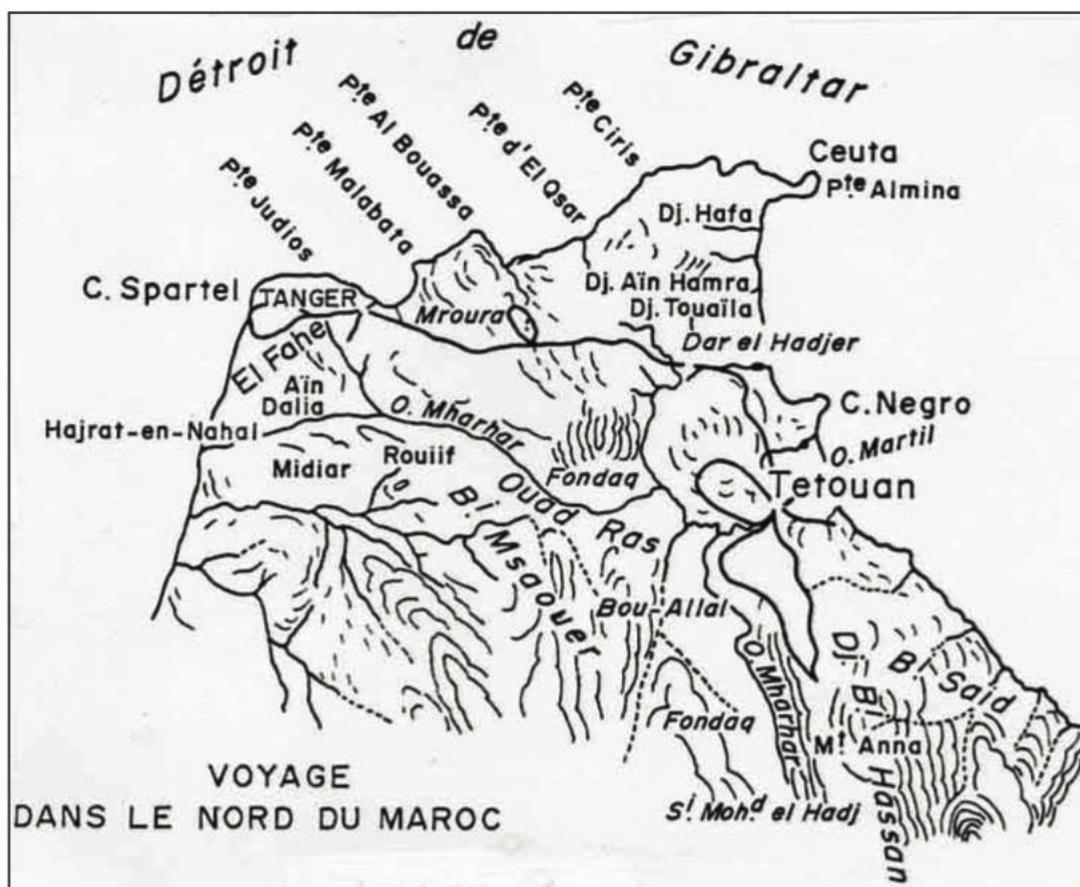


Figure 13 : carte montrant les itinéraires de reconnaissance dans la péninsule tingitane par Louis Gentil (1906) ainsi que les premières Connaissances topographiques du Rif<sup>37</sup>

<sup>36</sup> Marquis De Segonzac (1910) : *Au Cœur de l'Atlas*, Mission au Maroc (1904-1905). Émile Larose, Libraire-Éditeur, Paris ; 1010 pages.

<sup>37</sup> Carte extraite de l'ouvrage : *Dans le bled es Siba*, Explorations au Maroc, publié par L. Gentil (1906), sous le patronage du «Comité du Maroc» ; Mission de Segonzac.

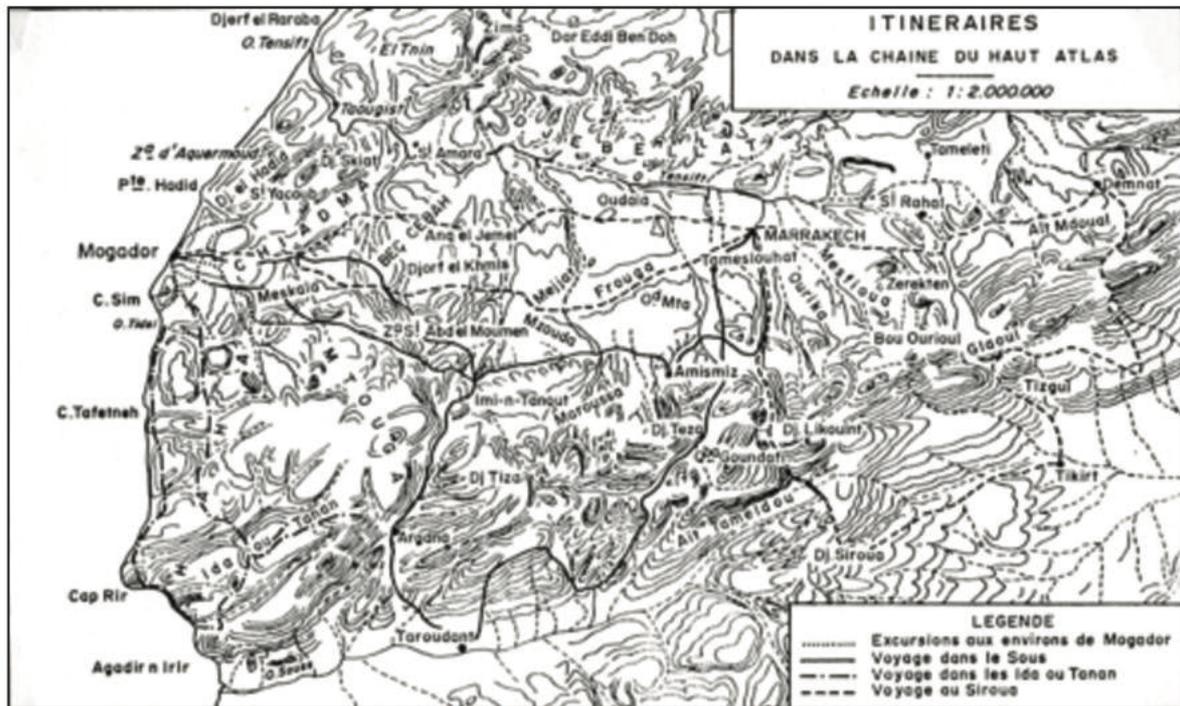


Figure 14 : Carte montrant les itinéraires dans le Haut-Atlas de L. Gentil (1906), sur fond (redessiné par S. Willefert) montrant le dessin des courbes de niveau de cette région par le Bureau topographique du Maroc en 1908.

**Brives Abel** est considéré comme l'un des premiers grands explorateurs de la géologie du Maroc ; contrairement à Louis Gentil et René (Marquis) De Segonzac, il se déplaçait assez officiellement dans le "*bled makhzen*" c'est-à-dire sous contrôle administratif. C'est l'un des grands pionniers de l'exploration du Maroc, son nom reste attaché à la découverte d'un intérêt capital de l'Éocène phosphaté au Maroc, découverte qui passa presque inaperçue à l'époque. Ses travaux de terrain, sous forme de mission, se sont étalés sur la période de décembre 1901 à juillet 1907 et a, par la suite, publié à Alger en 1909 un magnifique ouvrage qu'il a intitulé «*Voyages au Maroc*»<sup>38</sup>. Ce document, ainsi que les cartes au 1 :250.000 ou au 1 :500.000 et les coupes géologiques qu'il comporte, ont constitué pendant longtemps des références essentielles/obligatoires pour les géologues ayant travaillé au Maroc après lui. Brives publia également deux cartes géologiques de la partie centrale et occidentale du Haut-Atlas<sup>39</sup> (Figs. 15 et 16); et un autre article où il décrit la géologie marocaine et le commentaire des cartes en annexes (Pl. I et XI)<sup>40</sup>.

<sup>38</sup> Brives A. (1909) : Voyage au Maroc 1901-1907. Typographie Adolphe Jourdan, Alger ; 647 p.

<sup>39</sup> Brives A. (1905) : Contribution à l'étude géologique de l'Atlas marocain (Bulletin de la Société géologique de France, 4<sup>ème</sup> série, V ; pp : 379-398 ; carte géol., col. A 1 :750.000, pl. XI)

<sup>40</sup> Brives A. (1905) : Sur la géologie du Maroc (Bulletin de la Société géologique de France, 4<sup>ème</sup> série, V ; pp : 754-755 ; avec une carte géol., col. A 1 :1.000.000, pl. I)

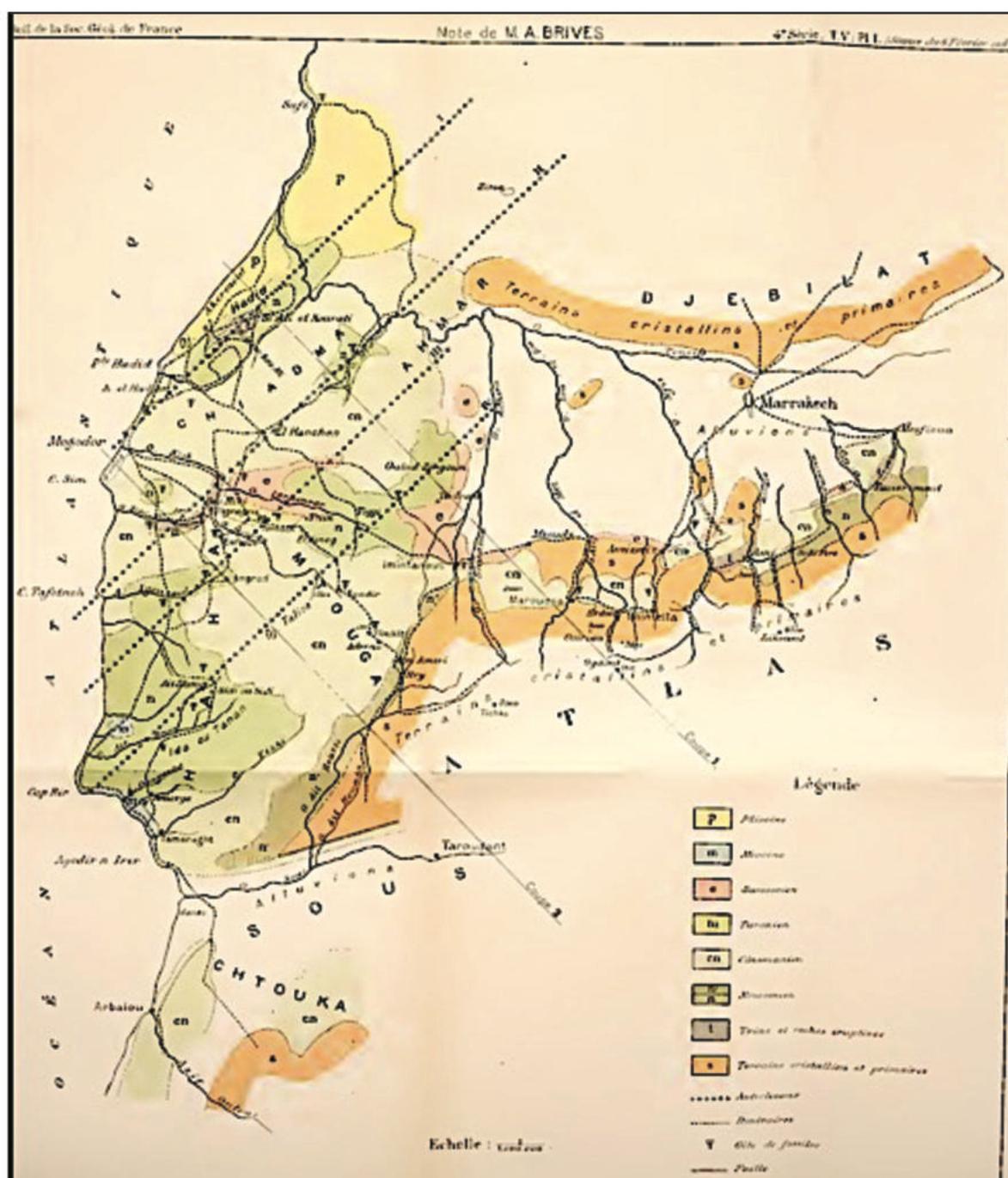


Figure 15 : Carte géologique de la plaine de Marrakech et des plateaux occidentaux, Maroc, dressée par Brives (1905)

Brives a présenté en 1905 cette carte à Paris ; carte qui résulte des levés qu'il avait effectué au cours de ses différents voyages au Maroc et donne un aperçu général de la constitution géologique des régions qu'il a parcouru. Il s'est intéressé à l'aile occidentale du Haut-Atlas (décrite auparavant par Schnell en 1892), essentiellement constituée de terrains cristallins et primaires, qui selon l'auteur s'alignent suivant des bandes parallèles très fortement plissées avec une orientation de  $N20^{\circ}E$ . Selon

lui, ces plis se poursuivent vers le nord et se retrouvent dans les Djebilet (Jébillet), où les terrains primaires se présentant dans les mêmes conditions que dans l'Atlas, c'est-à-dire en bandes plus ou moins larges, orientées N20°E, avec la même composition lithologique.

Parmi les planches de son ouvrage, Il y a la carte géologique au 1 :1.000.000<sup>ème</sup> de la partie centre occidentale du Maroc (Fig. 15) où Brives distingue des terrains cristallins primaires, notamment les Djebilat (Jébillet) et le Massif ancien du Haut Atlas (où il décrit le massif du Tichka, comme un énorme pâtre montagneux entre Seksaoua et les Ida ou Mahmoud). Il a aussi cartographié la couverture secondaire et tertiaire des Haha, Chiadma et Mtouga ; en plus d'une esquisse tectonique, avec l'emplacement des coupes géologiques qu'on retrouve à la fin de son livre ; cette carte (Fig. 15) comprend aussi l'orientation des principales structures (les anticlinaux) et annotées de tracés de ses itinéraires de sorte que le lecteur pourrait les suivre dans le texte de son livre «*Voyage au Maroc*», ainsi que les principaux gisements fossilifères que l'auteur a reconnu durant ses voyages. Cette carte représente également une partie de la faille sud atlasique, au Nord de la vallée du Sous (Fig. 15).

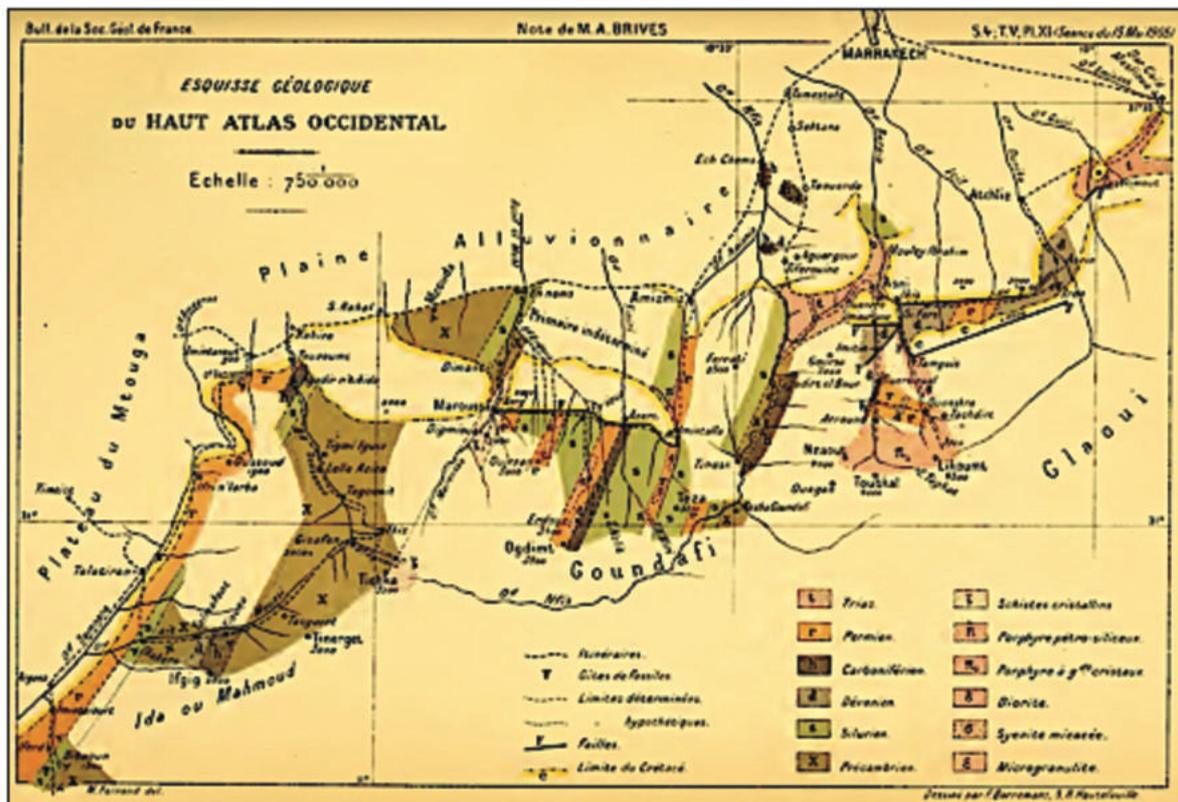


Figure 16 : Esquisse géologique du Haut-Atlas occidental au 1 :750.000 dressée par Brives (1905)

En 1908, Abel Brives serait le premier géologue à évoquer la présence dans l'Éocène inférieur de niveaux phosphatés au Maroc, qu'il décrit au sud de Marrakech<sup>41</sup>. D'après Médioni (2011)<sup>42</sup>, il semble qu'à l'époque cette découverte n'ait pas eu beaucoup de retentissement, peut-être du fait de controverses sur l'âge «suessonien» des niveaux décrits. Médioni (2011) dans son analyse évoque la probabilité de considérations politiques qui auraient peut-être incité la France à minimiser provisoirement l'impact économique de ces résultats. Rungs et Salvan (1987)<sup>43</sup> avancent que l'Allemagne et peut-être la Grande-Bretagne étaient au courant de l'existence de gisements de phosphates au Maroc, bien avant la publication d'Abel Brives, datée de 1908. Il a fallu attendre 1917 pour que le Commandant Burseaux, ancien directeur des mines de Gafsa en Tunisie, puisse identifier comme phosphate les sables des carrières utilisées par le Génie pour la construction d'ouvrages dans les environs d'Oued Zem. Nous ne détaillerons pas ce sujet sur les phosphates ; le lecteur peut se référer à la monographie dédiée à ce sujet dans les Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc (Boujo et Salvan, 1986)<sup>44</sup>. Indépendamment de cette découverte, Abel Brives fut considéré comme le premier géologue ayant apporté des informations fiables sur la nature et la répartition des gisements minéraux marocains (Despujols, 1936)<sup>45</sup>. Henri Rungs (1987) mentionne dans sa conclusion : *«On a souligné précédemment combien il peut paraître étrange que A. Brives ait traversé l'énorme gisement des Meskala, y ait récolté des fossiles et n'ait point signalé l'existence du phosphate, pourtant fort visible alors qu'il le "découvrit" dans le minuscule affleurement de Guergouri, sans paraître en avoir envisagé une possible extension. De la même manière, il peut paraître non moins étrange que les géologues allemands Théobald Fischer et Joachim von Pfeil aient parcouru la région du Plateau des Phosphates sans avoir rien remarqué. On peut se demander si, dans les deux cas, les gouvernements respectifs n'avaient pas mis un veto à la publication de telles découvertes dont les répercussions en politique extérieure n'auraient pas manqué d'être considérables* »<sup>46</sup>.

---

<sup>41</sup> BRIVES, A. (1908). Sur le Sénonien et l'Éocène de la bordure nord de l'Atlas marocain. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, 21 avril 1908, 146, (16), pp. 873-875.

<sup>42</sup> René Médioni. L'œuvre des géologues français au Maroc. Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie, Comité français d'Histoire de la Géologie, 2011, 3eme série (tome 25, 1), pp.1-52

<sup>43</sup> RUNGS, H. et SALVAN, H.-M. (1987). Géopolitique et recherche minière au Maroc entre 1850 et 1914 : quelques considérations nouvelles sur la découverte des gisements de phosphate. Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie (3), I, n° 11, pp. 85-99.

<sup>44</sup> BOUJO, A. et SALVAN, H. M. (1986). La série phosphatée marocaine. In Géologie des gîtes minéraux marocains, tome3, Phosphates. Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc, 276, pp. 82-152.

<sup>45</sup> DESPUJOLS, P. (1936). Historique des recherches minières au Maroc (zone française), des origines à 1930. Notes et Mémoires du Service des Mines et de la Carte géologique du Maroc, 37, 178 p.

<sup>46</sup> Rungs H. & Salvan H.M. (1987) : Géopolitique et recherche minière au Maroc entre 1850 et 1914: Quelques considérations nouvelles sur la découverte des gisements de phosphate. Travaux du Comité

**Paul Lemoine (en 1904)** a enrichi les connaissances stratigraphiques sur le Maroc occidental, en ayant travaillé entre Mogador/Essaouira, Marrakech et Safi ; puis en ayant traversé le Haut-Atlas, à la hauteur de Telouet. Ses recherches et observations ont permis de trouver un certain nombre de fossiles permettant de préciser les âges des formations du Secondaire et du Tertiaire qui lui ont permis de figurer des coupes géologiques précises ; et dont les résultats ont été publiés dans les comptes rendus de l'Académie des Sciences (France) et aussi dans un Rapport en 1905<sup>47</sup>. Son interprétation pour le massif ancien du Haut-Atlas est en désaccord avec celle de Brives, qui travaillait au même moment au Maroc et qui pensait que le Haut-Atlas occidental était une chaîne hercynienne taillée, ce qui expliquerait sa structure en gradins ; alors que Lemoine explique la complexité de ce tronçon de la chaîne hercynienne par l'existence de deux sortes de directions de plis anciens et récents. Louis Gentil, bien que ne voulant pas du géologue Lemoine au Maroc<sup>48</sup>, en l'écartant, lui donna quand même raison pour ce qui concerne la complexité des structures de ce massif. Ce n'est que plus tard qu'on verra plus clair pour ce massif, notamment avec les travaux de De Koning (1957)<sup>49</sup> ; de Cornée (1989) ; El Hassani et al. (1988-1990)<sup>50</sup>.

**Louis Gentil**, sous les auspices du Comité Maroc<sup>51</sup>, effectua ses premières explorations et études géologiques du Maroc entre octobre 1904 et mars 1905. Si Brives se déplaçait assez officiellement (donc facilement) dans le "*Bled Makhzen*" c'est-à-dire sous contrôle administratif, souvent accompagné de sa femme et d'amis et parfois de militaires topographes. Louis Gentil a adopté l'état de mendiant, comme

---

français d'Histoire de la Géologie, Comité français d'Histoire de la Géologie, 1987, 3<sup>ème</sup> série (tome 1), pp.85-99.

<sup>47</sup> P. Lemoine (1905) : Mission dans le Maroc occidental, Comité du Maroc, Paris.

<sup>48</sup> Citation de Solange Willefert (1997).

<sup>49</sup> De Koning G. (1957) : Géologie des Ida ou Zal (Maroc). Stratigraphie, pétrographie et tectonique de la partie SW du bloc occidental du Massif ancien du Haut-Atlas (thèse Univ. Leyde, Pays-Bas). Edvard Ijde NV Leyde, 210 pp., 87 fig., 2 pl. coupes, 1 carte géol.

<sup>50</sup> El Hassani A., Destombes J. & Willefert S. (1988-1990): 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). Bull. Inst. Sci. Rabat, 12 : 27-45, 2 pl.

<sup>51</sup> On peut lire (page 372) dans la *Chronique Géographique* (in: Annales de Géographie, t. 13, n°70, 1904. pp. 372-373) que le *Comité du Maroc*, sous la présidence de Mr Eugène Etienne (Président du groupe colonial de la chambre des députés) ceci : « Ce comité veut faire, pour ainsi dire, l'éducation marocaine de l'opinion française en lui apportant par son Bulletin (du Comité de l'Afrique française, XIV<sup>ème</sup> année, numéro 6, juin 1904), tous les éléments d'appréciation de la grandeur de nos intérêts au Maroc). Il enverra, dans les parties accessibles de ce pays, dans le *Bled Makhzen*, région soumise au gouvernement du Sultan, des voyageurs avec la mission de rapporter des données géologiques, minéralogiques, botaniques, hydrographiques, qui seront coordonnées à Paris et tenues à la disposition de nos négociants ou industriels ... il enverra en outre dans les régions insoumises, dans le *Bled Siba*, de véritables missions d'exploration pour nous renseigner d'abord sur la géographie totalement inconnue de certaines régions du Maroc, et aussi nous rapporter sur les autres points les informations que peut procurer un explorateur européen dans les milieux musulmans qu'il doit parcourir sous un déguisement ... ».

Charles De Foucauld, donc de géologue clandestin et il traverse le "*Bled Siba*", c'est-à-dire insoumis<sup>52</sup>. En effet, dans le *Bled Siba*, déjà peu accessible aux populations locales (indigènes) il était au contraire absolument interdit aux Européens (les roumis)<sup>53</sup> ; et si jamais l'un de ces derniers y pénètre et qu'il était démasqué il est alors considéré comme un espion et donc traité en conséquence. Louis Gentil se déplaçait, comme De Segonzac, avec une djellaba (qualifié de costume musulman)<sup>54</sup> et connaissait profondément la langue et les mœurs du pays, ce qui lui a permis d'échapper à maintes reprises aux soupçons des gens de *Bled Siba*. On savait pertinemment, en ce temps-là, qu'un indigène ne s'instruit pas en voyageant, il ne questionne pas, il ne s'enquiert pas du nom des rivières, des douars/villages, des montagnes et surtout il ne prend jamais de notes. D'où la grande prudence de tout étranger qui osait traverser *Bled Siba*. Il a écrit à ce sujet : « ... *pour un espion et traité comme tel. Mais je crois qu'il serait possible d'y circuler librement et d'y faire des observations de toutes sortes, à la condition d'inspirer à ces braves gens une certaine confiance et d'opposer à leurs protestations le calme et la douceur* ».

Après sa mission avec De Segonzac, Louis Gentil publia, en 1906, son livre : *Mission de Segonzac : Dans le Bled Siba, Exploration au Maroc*. Cet ouvrage est présenté sous forme d'un simple récit de voyages où il a subordonné une étude géologique, avec le détail de ses journées de terrain, et aussi sous forme de journal de route, permettant de suivre facilement les itinéraires dans les régions que L. Gentil a traversées. Cette «Mission De Segonzac» ou «Mission du Comité Maroc» se traduit par quatre voyages effectués, en l'espace de sept mois, l'un dans le nord du Maroc, les trois autres dans le Haut-Atlas. C'est un livre plutôt à vocation géographique (avec la géographie physique, un peu proche et la géologie et de la géographie humaine).

Avant de revenir au Maroc pour d'autres explorations, Louis Gentil publia la Notice sur l'Esquisse géologique du Haut-Atlas occidental (Maroc) dans les Annales de géographie, avec une importante carte géologique<sup>55</sup>. Il s'agit d'une carte d'ensemble (Haut-Atlas occidental) qui résume les observations de l'auteur, à la veille d'un nouveau voyage au Maroc. Elle donne une physionomie complètement différente au

---

<sup>52</sup> In Solange Willefert (1997).

<sup>53</sup> Louis Gentil (1906) dans son livre (*Dans le Bled es Siba ; explorations au Maroc*) dit que : «les Marocains ont l'horreur du *Roumi*, non par fanatisme, mais parce qu'ils voient en lui l'usurpateur.... De là, la difficulté de pénétrer les pays siba parce que l'Européen qui ose s'y hasarder s'expose à être pris pour un espion et traité comme tel. Mais je crois qu'il serait possible d'y circuler librement et d'y faire des observations de toutes sortes, à la condition d'inspirer à ces braves gens une certaine confiance et d'opposer à leurs protestations le calme et la douceur».

<sup>54</sup> Zimmermann M. (1905) : *Mission du comité du Maroc. Explorations de MM. de Segonzac, Gentil, de Flotte de Roquevaire. In: Annales de Géographie, t. 14, n°75, pp. 285-286.*

<sup>55</sup> Gentil Louis (1907) publia la Notice sur l'Esquisse géologique du Haut-Atlas occidental (Maroc) ; *Annales de géographie, XVI, 1907, pp :70-77 ; carte géologique à 1 :1.000.000*

revers méridional de la haute chaîne, et notamment au massif du Jbel Siroua. Louis Gentil avait apporté de notables changements par rapport à la carte dressée par A. Brives, ce qui allait déclencher une sorte de polémique sur les limites géologiques évoquées par ses prédécesseurs, notamment Schnell et Brives, d'où naîtra par la suite toute une série de critiques, d'écrits et de réponses entre Brives et Gentil, particulièrement en ce qui concerne les calcaires à silex à l'Ouest de la plaine de Marrakech que Brives attribuait à l'Éocène inférieur et que Gentil rangeait plutôt dans le Crétacé supérieur (sur base de spécimens de *Baculites*)<sup>56</sup>.

Gentil montre aussi avec cette publication l'existence dans l'Atlas de vestiges de plissements hercyniens avec une direction assez constante NNE-SSW ; les mêmes qu'avait signalés avant lui Thomson (en 1889) dans le massif des Jébilat<sup>57</sup>.

Gentil (1907) est d'ailleurs le premier à parler et figurer la chaîne hercynienne du Maroc : «Mais si les couches rouges primaires (permiennes) de l'Atlas peuvent avoir rempli des synclinaux de la chaîne hercynienne, elles se montrent, d'autre part, affectées par des plis, disposés le plus souvent à 45° sur ceux de cette chaîne ancienne. D'ailleurs, j'ai constaté partout une **discordance angulaire** entre les dépôts dinantiens (Carbonifères) et ceux du Permien, et cette seule constatation suffirait à démontrer que les dépôts permiens sont postérieurs aux plissements hercyniens».

Cet ouvrage de Gentil avait été précédé par l'apparition de la première esquisse de la géologie du Maroc dans l'édition française de la *Face de la Terre*, où lui-même (Louis Gentil) a clarifié un certain nombre d'itinéraires géologiques qu'il avait établi en 1909 ; et aussi en utilisant les données de Brives sur le Massif du Maroc central et le Haut-Atlas, où celui-ci a séparé les étages primaires dans le «Paléozoïque indéterminé» de Louis Gentil. Donc déjà, à cette étape, on pouvait selon ce dernier auteur parler de *Meseta marocaine* et donc des Jébilat (*Djebilat*) et des *Skhour* (Rehamna).

Pour le Rif oriental, Louis Gentil avait utilisé les travaux de Fernandez Navarro (1909) sur le Cap des *Trois Fourches*<sup>58</sup>, en y associant ses propres observations sur le Massif des Kbdana. On y retrouve aussi les données sur la partie sud du Maroc, dans la thèse de doctorat de G.-B.-M. Flamand, sur les confins algéro-marocains (où sont aussi inclus les levés du lieutenant Poirmeur et ceux de E. -F. Gautier)<sup>59</sup>.

<sup>56</sup> Gentil L. (1907) : Notice sur l'Esquisse géologique du Haut-Atlas occidental (Maroc) ; Annales de géographie, XVI, 1907, pp :70-77 ; avec la carte géol. à 1 :1.000.000<sup>ème</sup>. Également parue dans le Tome 3 de l'ouvrage de Suess - *la Face de la Terre* - (1909).

<sup>57</sup> Thomson J. (1889) : Geological Map of Southwestern Morocco, 1:1.500.000 (Travels in the Atlas and Southern Morocco, London)

<sup>58</sup> En 1909 – Lucas Fernández Navarro, la península del Cabo Tres Forcas (Yebel Guork). Noticia físico - geológica (Bol. R. Soc. Española de Hist. Nat. IX, 1909, pp : 421-436)

<sup>59</sup> Voir H. Schirmer, Le Haut Pays oranais et le Sahara d'après Mr G. -B. – M. Flamand.

La première esquisse géologique (et significative) du Maroc, avec une carte à l'appui, revient également à Louis Gentil, alors Président de la Société géologique de France, qu'il publia en 1912 (Fig. 17).

En effet, après les nombreux voyages au Maroc, Louis Gentil (alors professeur adjoint à la Sorbonne, Paris) publia en 1912 une importante monographie, intitulée « Le Maroc physique »<sup>60</sup>, où il a décrit les différentes structures (ou grandes lignes de relief) du Maroc ; qui restent utilisables jusqu'à nos jours. Louis Gentil y distingue deux chaînes principales : l'une intérieure couvre, sous le nom de l'*Atlas*, de grandes surfaces et divise le pays en un certain nombre de régions naturelles ; l'autre côtière, paraissant indépendante de la première et borde la Méditerranée occidentale, à l'ouest de l'Algérie et jusqu'au détroit de Gibraltar ; c'est la chaîne du *Rif (Er Rif)*.

Dans cette publication, Gentil retrace les grandes lignes structurales (genèse des grandes chaînes de montagnes) et nomme les différents domaines et secteurs dont est composé le pays. C'est une synthèse des observations géologiques qui y ont été patiemment accumulées. Cela s'est concrétisé par le report sur une carte d'ensemble de contours géologiques déjà levés, avec une interprétation des données douteuses et celles des explorations dans les régions privilégiées. Grâce aux données topographiques des explorateurs, il pouvait alors donner une première approximation sur la structure géologique du Maroc. Louis Gentil dresse alors une carte au 1 :2.500.000<sup>ème</sup> sous forme d'esquisse géologique du Maroc (Fig. 17-a), qu'il explique dans sa note de 1912<sup>61</sup> ; il a utilisé comme fond topographique la carte de Vivien de Saint-Martin et Fr. Schrader (dessinée par Marius Chesneau)<sup>62</sup>.

Louis Gentil pouvait donc donner, avec précision, les différentes unités orographiques du Maroc. Il distinguait ainsi six unités qui sont (Fig. 17-b) :

- Le Haut-Atlas qui est une formation calcaire à plis jurassiens et dont il explique la genèse grâce à un système de failles, avec dans la partie occidentale (le massif ancien du Haut Atlas, qu'il explique comme une probable île de 200 km de long au milieu de la mer jurassique, ou bien par un système de *nappes de charriage* amenant le paléozoïque au-dessus du Jurassique ou enfin, une sorte de *carapace* sur la chaîne). Gentil admet enfin, que l'apparition du Paléozoïque ici serait plutôt dû et la surrection/élévation des dépôts et leur érosion consécutives. Déjà observé par J. Thomson (1847), puis par Brives (1907) et par Gentil (1912), on note

<sup>60</sup> Gentil L. (1912) : Le Maroc Physique. Nouvelle collection scientifique dirigée par Émile Borel ; Librairie Felix Alcan ; 326 p.

<sup>61</sup> Gentil L. (1912) : La géologie du Maroc et la genèse de ses grandes chaînes. *In*: Annales de Géographie, t. 21, n°116, pp. 130-158;

<sup>62</sup> Atlas Universel de Géographie par Vivien de Saint-Martin et Fr. Schrader.

la présence d'un faisceau de fractures parallèles à l'axe de la chaîne ; deux d'entre-elles, qualifiées de bordières, délimitent cette chaîne ;

- La Meseta marocaine ;
- L'Anti-Atlas ;
- Le Moyen-Atlas ;
- Le Rif ;
- Le détroit sud-rifain, qui sépare la chaîne alpine du Rif du Moyen-Atlas.

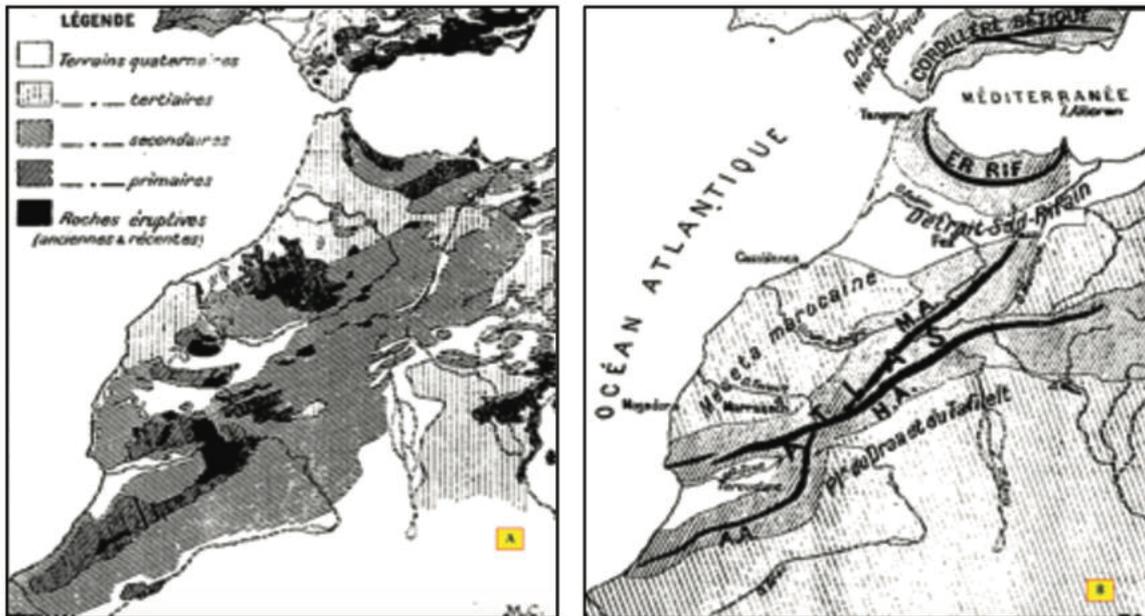


Figure 17 : A) Esquisse géologique du Maroc et B) Schéma orographique du Maroc ; d'après Louis Gentil (1912) : HA, Haut Atlas ; MA, Moyen Atlas ; AA, Anti-Atlas.

Louis Gentil et ses prédécesseurs s'accordent à subdiviser l'Atlas marocain, selon la nomenclature suivante :

1. Le **Haut Atlas ou Grand Atlas** qu'on trouve depuis la région du Haut Guir jusqu'au Cap Ghir (R'ir), avec une direction générale ENE-WSW. Il constitue la partie la plus saillante du système orographique du Maghreb. Ses cimes élevées, le Tamjout, le Likoumt et l'Ar'i Aïachi<sup>63</sup>, atteignent des hauteurs comprises entre 4.000 et 4.500 m.
2. L'**Anti-Atlas** est un rameau qui se détache du Haut Atlas au djebel Siroua (3.300 m environ), à peu près aux deux tiers de sa longueur en partant de l'Algérie. Il forme une chaîne de plus en plus basse qui va s'épanouir vers la côte atlantique, dans le Tazeroualt.
3. Le **Moyen Atlas**, dont le point culminant peut atteindre 4.000 m au djebel Bou Iblal (Dj. Moussa ou Salah), se développe au nord du Haut Atlas avec une direction générale sensiblement NE-SW.

<sup>63</sup> Connu actuellement sous le nom de Jbel El Ayachi.

La soudure du Moyen Atlas et du Haut Atlas se fait entre les sources de la Moulouya et la région de Demnat, sans qu'il soit possible d'en préciser les conditions. Le Moyen Atlas est limité, dans le Nord-Est, aux terrains tertiaires de la région de Taza et de la vallée de la Moulouya.

A cette subdivision s'ajoutent, entre ces grandes rides, de vastes plateaux ou plaines, dont notamment la région à l'ouest du triplet Haut-Atlas, Moyen-Atlas et Rif et que Gentil appela **Meseta marocaine** à cause de son analogie de structures avec le Plateau central espagnol ou Meseta ibérique. La **plaine du Haouz** se trouve au sud du massif des Djebilet (Jébilet). Au sud du Haut Atlas vers l'ouest se trouve la **plaine du Souss**. Dans cette subdivision Gentil mentionne aussi au SE le Tafilalt et la Vallée du Draa, ainsi que de vastes surfaces alluvionnaires désertiques, rompues par des collines étroites s'étendant parfois sur des centaines de kilomètres, comme celle du djebel Bani.

Au nord de la Meseta, il distingue la **plaine du R'arb** (Rharb) qui se referme vers l'est au niveau du col de Taza pour s'ouvrir ensuite vers l'est vers la plaine de la Moulouya (ce qu'on appellera plus tard, la **Meseta orientale** ou Meseta oranaise).

Enfin, ce livre comprend dans les dernières pages des aperçus sur le relief des sols (où l'auteur développe les empreintes tectoniques des grandes lignes du relief marocain, en insistant sur l'influence des plissements primaires et tertiaires sur la géomorphologie du pays) ; ainsi que l'influence des mouvements épirogéniques et des grandes fractures. Il y décrit aussi la nature des différents reliefs ; l'évolution du réseau hydrographique ; le climat, la végétation et les sols (Fig. 18).

C'est ainsi que l'auteur confirme la nomination de Hooker de l'Anti-Atlas pour cette chaîne méridionale du Maroc, à condition dit-il de ne lui attacher aucune signification scientifique<sup>64</sup>.

Par la suite, en 1920, sur ordre du Maréchal Lyautey (Résident général au Maroc), Louis Gentil utilise les résultats acquis par ses prédécesseurs et arrive à produire une carte géologique provisoire au 1 : 1.500.000<sup>ème</sup> comprenant les différents domaines et les divers massifs constituant le Maroc (Fig. 19)<sup>65</sup>. Sur cette carte on pouvait lire les principaux traits géologiques du Maroc avec une bonne précision des grandes régions géologiques (Meseta marocaine, Haut-Atlas, le Rif). Cette carte au 1 : 1.500.000<sup>ème</sup> sera par la suite, en 1936, peaufinée par le brillant géologue B.

<sup>64</sup> Journal of a Tour in Morocco and the Great Atlas, by Joseph Dalton Hooker and John Ball, London, Mc Millan & co. (1878), 542 pages. Au cours de ce voyage Hooker vit, dans la direction du Sud, d'un sommet élevé du Haut-Atlas, le djebel Tezah, une chaîne basse à laquelle il donna le nom d'**Anti-Atlas**, par analogie avec l'Anti-Liban.

<sup>65</sup> Page S520 de Solange Willefert, dans Planches / Geobios 37 (2004) S500-S521.

Yovanovitch, avec une légende assez détaillée<sup>66</sup> (voir plus loin), dans une version mise à jour.

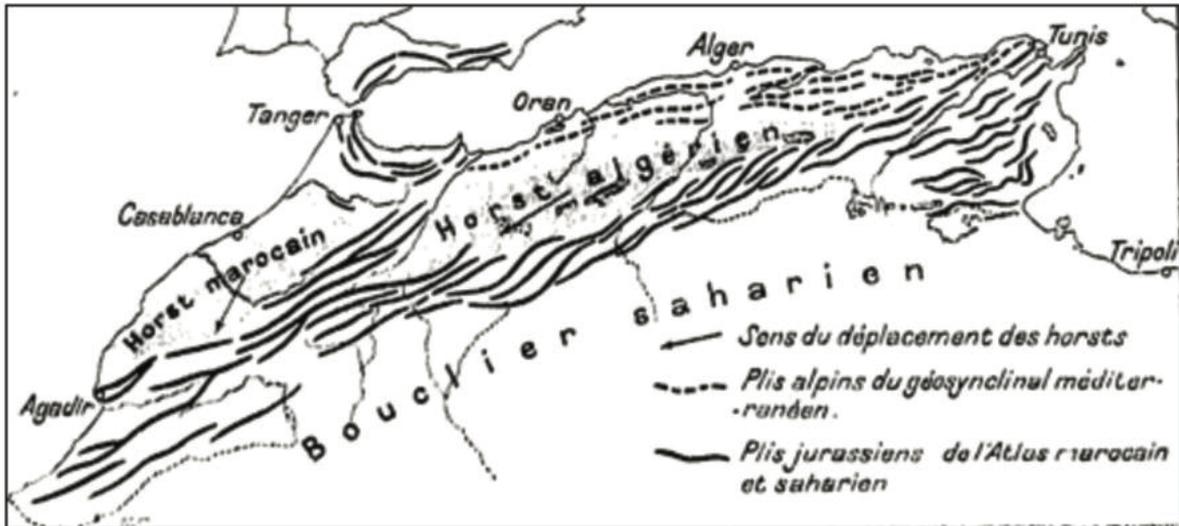


Figure 18 : Carte montrant l'allure schématique des plissements tertiaires dans le Nord-Africain (Gentil, 1912)

**George Lecointre** est l'un de ces géologues dont on a utilisé les données pour l'établissement de ces deux cartes (Figs. 19 et 22). Celui-ci, qui avait des liens familiaux le rapprochant du Général Lyautey, s'est intéressé au Maroc, en ayant vu l'œuvre de Louis Gentil et il écrivit : «*A l'automne de 1913, deux étudiants se penchaient sur la carte géologique du Maroc que venait de publier M. Louis Gentil et faisaient des projets d'avenir. Leurs regards se portaient sur la tache bariolée, fortement hachurée de «Paléozoïque indéterminé» que le savant explorateur du Maroc avait si justement comparée à la Meseta ibérique. Déjà ils établissaient un plan de voyage ; l'un [Jean Groth]<sup>67</sup>, qui étudiait à ce moment les terrains primaires d'Espagne, rêvait d'aller comparer les deux «Mesetas» qui s'affrontent de part et d'autre du détroit de Gibraltar; l'autre [Georges Lecointre], attiré par les taches jaunes de la carte, ambitionnait de tracer l'histoire de la terre marocaine pendant la période néogène*»<sup>68</sup>.

En 1918, Lecointre fait une découverte majeure, qui consistait à mettre en évidence le Cambrien et le Silurien, ce qui constituait une première en Afrique du Nord (Willefert, 1997). Cela le pousse à axer ses recherches au Maroc, pendant quelques

<sup>66</sup> Page S521 de Solange Willefert, *ibid.*

<sup>67</sup> J. Groth n'a pu réaliser son rêve : il mourut au combat en 1916.

<sup>68</sup> G. Lecointre devait s'intéresser à l'étude du Néogène et du Quaternaire de la côte atlantique du Maroc, du détroit de Gibraltar à Agadir. Sa thèse intitulée : *Recherches géologiques dans la Meseta marocaine* est la première monographie géologique régionale publiée au Maroc (1926).

années, sur une nouvelle orientation en l'amenant à étudier en priorité les terrains paléozoïques.

Donc, Parti au Maroc pour étudier les formations néogènes «*du Cap Spartel à Agadir*», il est amené à changer d'orientation scientifique et à s'intéresser en priorité aux terrains paléozoïques de la Meseta marocaine.

Il commença son travail de thèse au Nord de l'oued Sebou en 1914 ; mais, à la déclaration de la première guerre mondiale, il fut mobilisé sur place. Il est ensuite gravement malade, et hospitalisé à l'hôpital d'Anfa, près de Casablanca, puis il mit à profit sa convalescence pour découvrir des faunes cambriennes à *Paradoxides* dans des schistes et quartzites du littoral casablançais (Lecointre, 1918), ce qui était une première en Afrique (in Medioni, 2011)<sup>69</sup>. Grâce à cette découverte, Lecointre réoriente provisoirement ses recherches pour s'intéresser essentiellement aux terrains paléozoïques de la partie occidentale de la Meseta occidentale. Ses travaux sur la région lui ont permis de rédiger, en 1926, la première monographie régionale publiée sur le Maroc (Lecointre, 1926)<sup>70</sup>. Cette monographie comporte, en plus de la stratigraphie, une étude structurale dans laquelle il caractérise le type de plissement et l'intensité de l'orogénèse hercynienne (Fig. 20).

En 1933, grâce à la collaboration de Gaston Delépine, ses études de terrain sont étendues vers le nord du Maroc. Il devait par la suite se consacrer essentiellement à l'étude des terrains pliocènes et quaternaires du Maroc occidental.

Georges Lecointre retourne au Maroc en janvier 1923 et en février 1924 pour des missions conjointes de la Faculté des Sciences de Paris et du nouveau *Service des mines et de la carte géologique du Maroc* qui venait d'être créé.

---

<sup>69</sup> Medioni R. (2011) : L'œuvre des géologues français au Maroc. Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie, 3eme série (tome 25, 1), pp.1-52.

<sup>70</sup> Lecointre G. (1926) : Recherches géologiques dans la Meseta marocaine. Mémoires de la Société des Sciences naturelles du Maroc, Rabat, 14, 25 mars 1926, 158 p., 32 fig., 12 tabl., 18 pl. photo, 1 carte à 1/200 000.

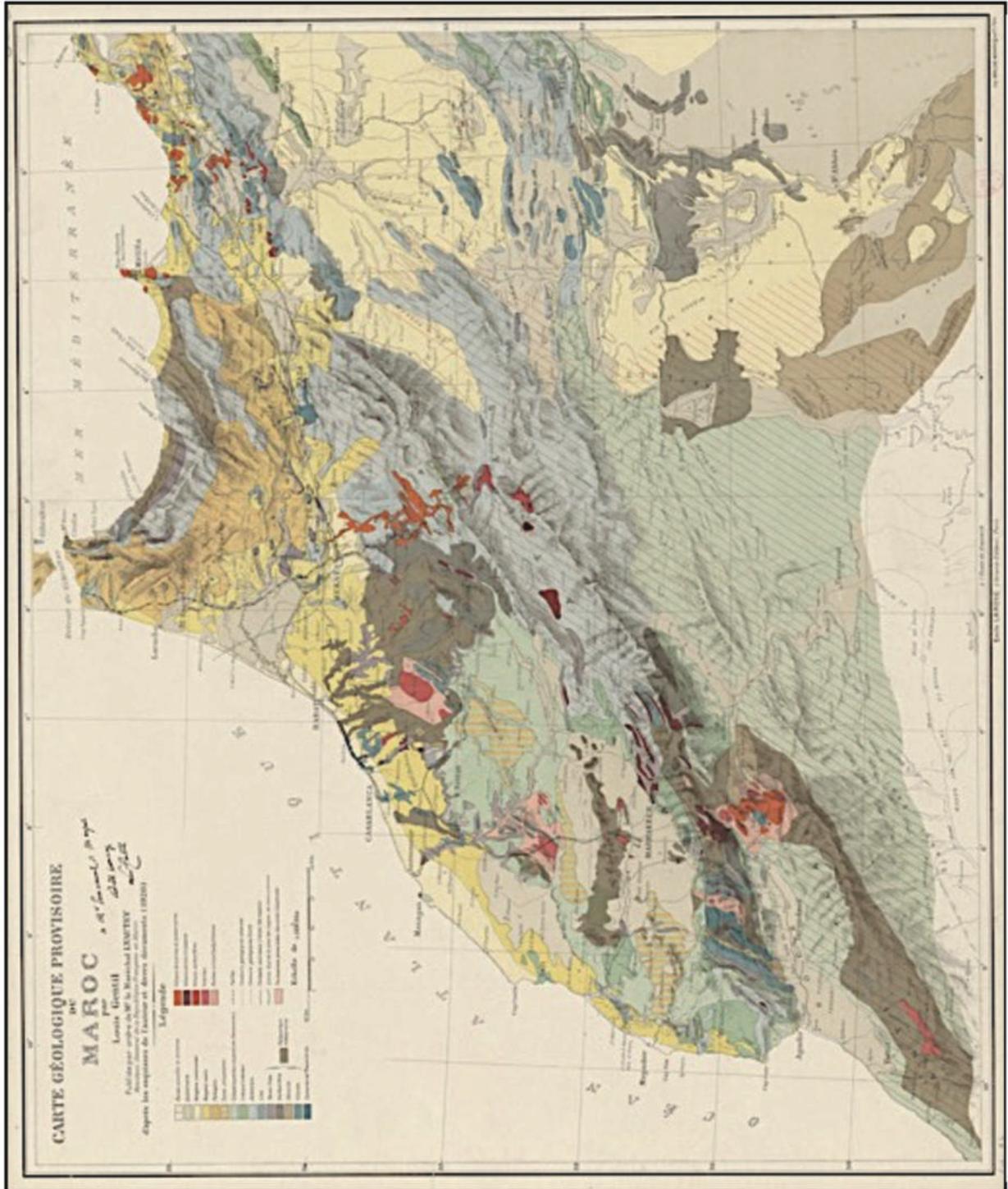


Figure 19 : Carte géologique provisoire des provinces nord du Maroc (établie par Louis Gentil, 1920)

Pierre Despujols est le premier géologue à diriger ce Service. Despujols va surtout consacrer son temps à l'étude des terrains paléozoïques de la Meseta marocaine.

Lecointre admet la présence d'un géosynclinal à enfoncement progressif pour expliquer les caractéristiques sédimentaires de la série paléozoïque, tout en remarquant que «*le Maroc présente des analogies exclusivement européennes, à l'inverse du Sahara dont on connaît les affinités sud-africaines et américaines*» (Lecointre, 1926, p. 107). Pour lui, «*la Berbérie est donc une dépendance de l'Europe, accolée au rivage septentrional du continent africain*». Dans ses recherches, cet auteur tente également de dégager la tectonique à travers les déformations intenses, observées, qui affectent ces terrains. Il établit alors un schéma structural où l'on peut voir les principales directions qu'il a reconnues, majoritairement orientées SSW-NNE. Celles-ci sont attribuées à l'orogénèse hercynienne, tout en reconnaissant l'impossibilité, pour lui, d'en déterminer l'âge exact, mais il avance que «*vers la limite du Dévonien moyen et du Dévonien supérieur se soit produit un premier ridement, ébauche de l'anticlinal de l'oued Cherrat*». A partir de 1926, dans sa thèse, il définit enfin les directions tectoniques hercyniennes dans la Meseta marocaine.

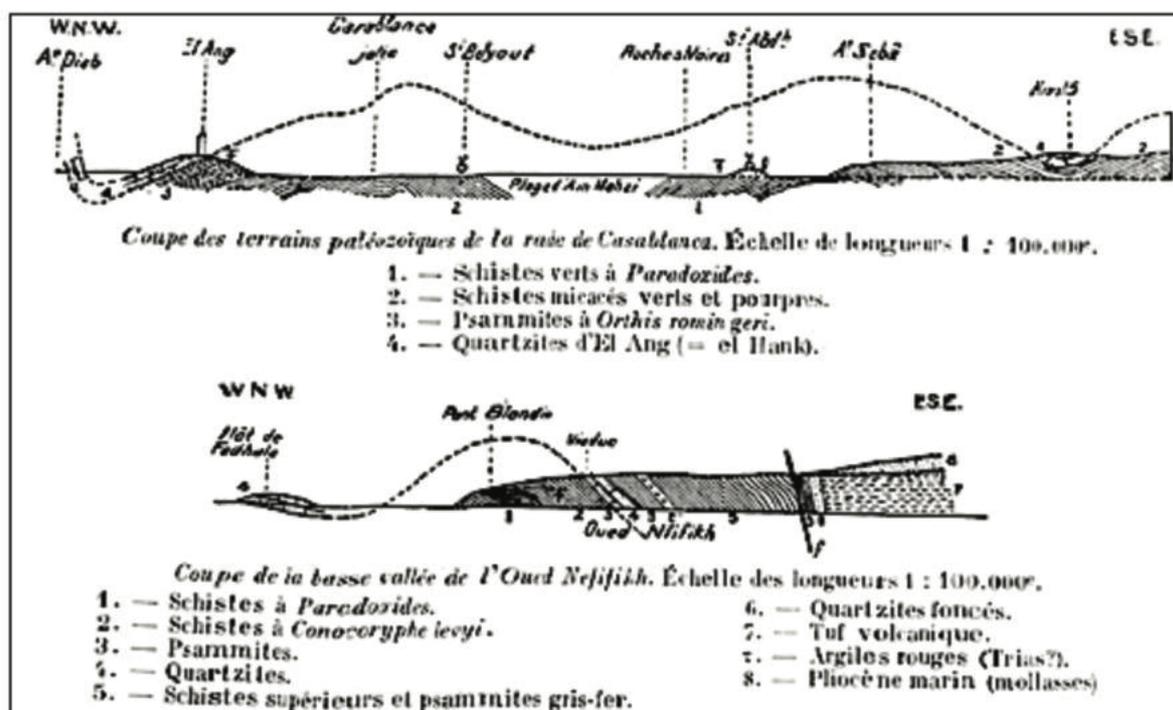


Figure 20 : coupes dans la région de Casablanca montrant le style de plis hercyniens (d'après Lecointre, 1926).

Au Maroc, l'activité de Lecointre va être encore très importante ; en 1930, Pierre Despujols le charge de poursuivre ses travaux sur la Meseta, notamment dans la

région de Tiflet, travaux qui aboutissent à la rédaction d'un mémoire et d'une carte géologique à 1 : 100.000<sup>ème</sup> (Lecointre et Delépine, 1933<sup>71</sup>, Lecointre, 1934<sup>72</sup>). L'établissement de cette carte (Fig. 21) et le mémoire qui l'a précédé va préciser la stratigraphie de cette région de la Meseta, avec l'aide de Gaston Delépine (1878-1963) pour l'étude de la faune des niveaux carbonifères.

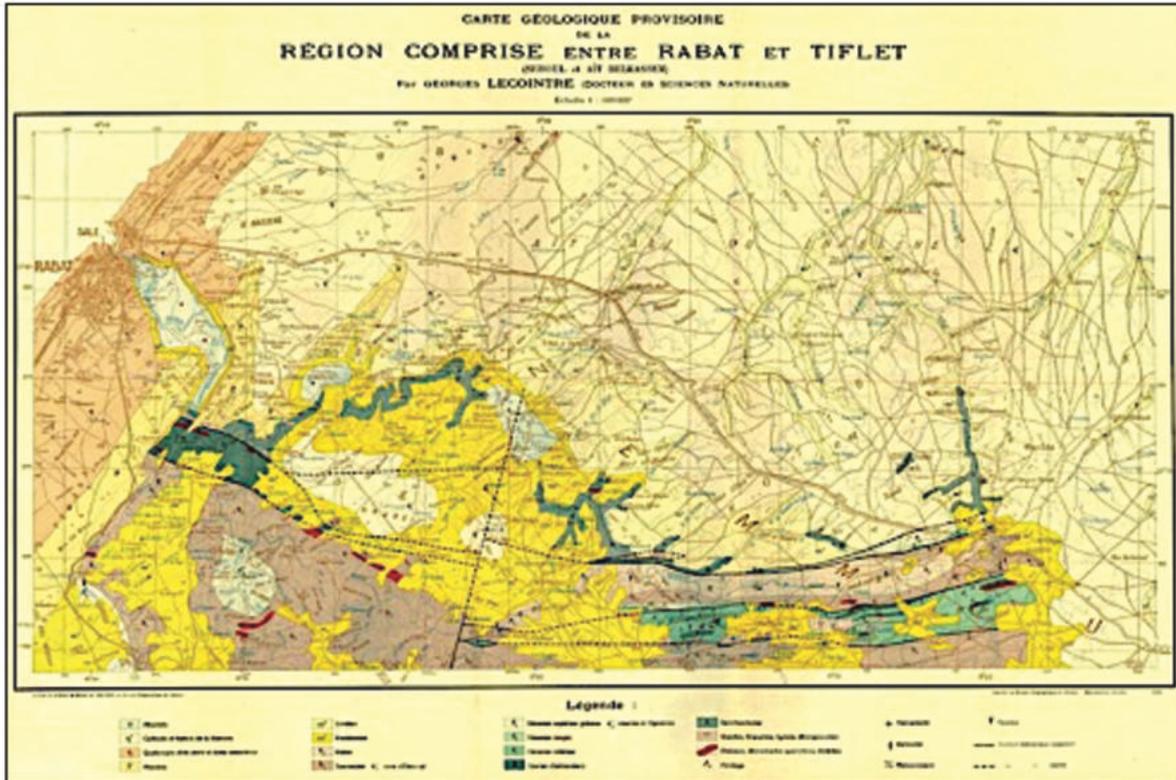


Figure 21 : Carte géologique provisoire de la région comprise entre Rabat et Tiflet : Sehoul et Aït Belkassem (George Lecointre 1934)

Parmi les résultats obtenus, il faut retenir la mise en évidence de niveaux de grauwackes ferrugineuses attribuées à la limite Dévonien-Carbonifère (Strunien). Lecointre apporte un soin tout particulier à la tectonique d'un axe anticlinal dont le noyau est «*gothlandien et à direction grossièrement ouest-est*». C'est ainsi qu'il y distingue trois phases tectoniques :

- la première correspondrait à des mouvements anté-viséens, attestées par la présence de «*conglomérats montrant la destruction à faible distance de masses énormes de calcaires siluriens et dévoniens*», qu'on retrouve ici avec des éléments de taille parfois métrique ;

<sup>71</sup> 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 et mémoires du service géologique, Maroc, N° 28, 80 p.

<sup>72</sup> Lecointre G. (1934) : Carte géologique provisoire de la région comprise entre Rabat et Tiflet (Sehoul et Aït Belkassem), au 1 :100.000. Notes et mémoires du service géologique, Maroc, N° 35.

- la deuxième phase correspondrait à des mouvements d'âge probablement Viséen ;
- et enfin, une phase principale de mouvements hercyniens, très violents, ayant édifié une «*chaîne plissée*», dont les couches déformées les plus récentes sont des calcaires à *Productus* et des conglomérats et arkoses du Viséen supérieur.

Par la suite Branko Yovanovitch, grâce à l'avancement des connaissances sur la géologie du Maroc, compile une remarquable carte géologique à l'échelle du 1 : 1.500.000<sup>ème</sup> et qui fut l'objet d'une publication par le Service Géographique du Maroc (Fig. 22), que l'auteur discuta lors du deuxième Congrès Mondial du pétrole. Il souligne particulièrement qu'à la hauteur du méridien de Casablanca existent deux régions structurales différentes : 1) à l'Ouest, sur le substratum précambrien terminal s'empile une série du Paléozoïque inférieur qui va jusqu'au Dévonien dans les Rehamna occidentaux où les structures sont simples et pas métamorphiques ; 2) à l'Est, la série paléozoïque débute par l'Ordovicien et s'empile jusqu'au Carbonifère, montrant des structures compliquées et un métamorphisme parfois important, notamment au niveau des Rehamna centraux<sup>73</sup>.

Depuis cette date, on commençait à préparer l'édition de la carte géologique, à l'échelle du 1/500.000<sup>ème</sup>, du Maroc et des territoires avoisinants (en six feuilles), compte tenu de tous les documents qui ont servi à la première carte et de ceux qui se sont accumulés dans les archives ou qui ont paru dans diverses revues.

La comparaison de cette carte (Fig. 22) avec celle de Louis Gentil (1920 ; Fig. 19) montre que des avancées considérables ont été acquises dans cette courte période de 16 ans (depuis la création du Service de la Carte géologique du Maroc) et que les contours géologiques de cette carte ont un tracé beaucoup plus affirmé, ainsi qu'une légende beaucoup plus détaillée. On constate aussi qu'il n'existe plus de zones laissées en blanc et que l'allure générale des différentes formations géologiques marocaines est tout à fait comparable à celle que nous connaissons actuellement.

---

<sup>73</sup> En fait, cette limite correspond à ce que nous connaissons parfaitement dans la structure de la Meseta occidentale, où se trouve une faille majeure (dite : Zone de Failles de Cisaillement Majeur de la Meseta occidentale), à l'Ouest de laquelle se trouve le Môle côtier à structures kilométriques à décamétriques, avec absence de schistosité et de métamorphisme ; à l'Est de cette faille se trouve la Meseta moyenne où l'orogénèse hercynienne est importante et a donné des plissements à différentes échelles avec des granitisations, un métamorphisme et aussi la présence d'une schistosité pénétrative.



Plus tard, en 1950, avec Marcel Gigout, Lecointre établira une carte géologique provisoire des environs de Casablanca à 1 :200.000<sup>ème</sup> (Lecointre et Gigout, 1950 a et b ; Fig. 23)<sup>74-75</sup>. Les travaux communs de ces deux géologues ont continué même après l'achèvement de cette carte, et ils pensent avoir retrouvé la trace de la base du Cambrien, à Mazagan (actuellement El-Jadida).

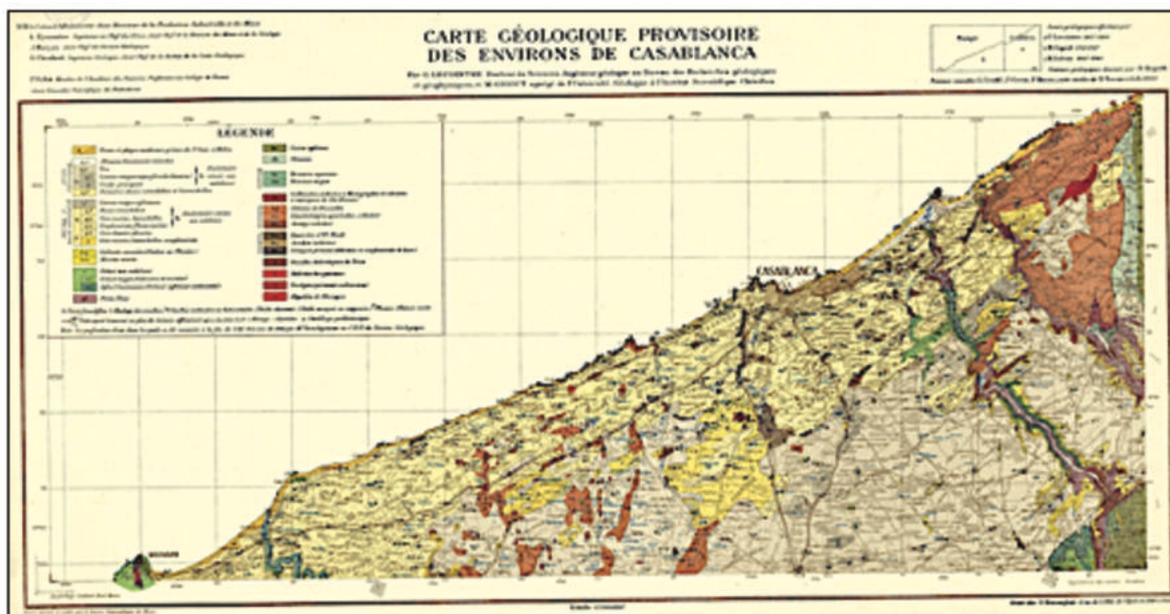


Figure 23 : Carte géologique provisoire des environs de Casablanca, au 1/200.000<sup>ème</sup>, (G. Lecointre & M. Gigout, 1950) ; Notes et mémoires du Service géologique du Maroc, N° 72.

### La Problématique d'une chaîne calédonienne au Maroc

B. Yovanovitch (1935) affirme de : «l'existence dans le Maroc occidental d'un avant-pays calédonien localisé approximativement à l'ouest du méridien de Casablanca»<sup>76</sup>.

Une chaîne calédonienne se serait formée/développée à la périphérie du bouclier, soit la Meseta marocaine occidentale, brouillée par la force de la chaîne hercynienne notamment à hauteur de Rabat (bloc calédonien des Sehoul), Settat, à Mechra Ben Abbou, et au centre des Rehamna (paroxysme de la déformation hercynienne du

<sup>74</sup> Lecointre G. & Gigout M. (1950a). Carte géologique provisoire des environs de Casablanca au 1 :200.000<sup>ème</sup>. Notes et mémoires du Service géologique du Maroc, N° 72.

<sup>75</sup> Lecointre G. & Gigout M. (1950b). Carte géologique provisoire des environs de Casablanca au 1 :200.000<sup>ème</sup>. Notice explicative. Notes et mémoires du Service géologique du Maroc, N° 72-bis, 42 p.

<sup>76</sup> B. Yovanovitch (1938-a) : sur l'existence de plissements calédoniens dans la Meseta marocaine occidentale. Comptes Rendus sommaires de la Société géologique de France, 17, pp : 335-337.

Paléozoïque marocain). Pour Yovanovitch (1938)<sup>77</sup> il n'y avait aucun doute sur l'existence de manifestations calédoniennes de l'ouest du Maroc, ce que d'ailleurs confirmeront plus tard les travaux dans le cadre de la Thèse d'État d'Ahmed El Hassani (1990)<sup>78</sup> et El Hassani et *al.* (1991).

Louis Gentil disait déjà en 1912 (p. 132), que : «il était possible qu'une chaîne calédonienne ait été édifiée, au Maroc, sur l'emplacement du géosynclinal qui s'étendait à toute l'Europe et à l'Afrique du Nord, constituant ainsi un rétrécissement graduel de ce vaste océan primaire, pour accroître l'étendue de l'aire continentale qui le limitait au Sud ; mais les preuves définitives manquent à cet égard. Par contre, l'existence d'une chaîne hercynienne ne laisse aucun doute». Cela est attesté évidemment par la discordance angulaire observée entre les terrains rouges du Permien et ceux du Carbonifère vigoureusement plissés. La plupart des géologues, dont L. Gentil, s'accordent sur la contemporanéité de cette orogénèse avec la chaîne hercynienne d'Europe méridionale.

---

<sup>77</sup> B. Yovanovitch (1938-b) : sur l'aire d'extension probable du système calédonien marocain. Comptes Rendus sommaires de la Société géologique de France, 17, pp : 356-358.

<sup>78</sup> El Hassani A. (1990) : La bordure nord de la chaîne hercynienne du Maroc, chaîne " calédonienne" des Schoul et plateforme nord-mésétienne. Thèse de Doctorat d'État, Université Louis Pasteur de Strasbourg, France ; 208 p.

## L'ère des monographies et des mémoires thématiques

Nous avons déjà mentionné que l'une des premières monographies est celle de Georges Lecointre (1926) sur la Meseta marocaine occidentale, et c'est à partir de 1930 que cette idée va se développer.

Le Service Géologique du Maroc (créé en 1921) avait comme politique de développer les connaissances géologiques du pays, à travers la cartographie pour explorer les ressources du sous-sol et aussi pour les expliquer à travers des monographies.

Il s'est donc avéré que pour décrypter une région donnée, il fallait aboutir à une carte (sorte d'inventaire des ressources naturelles) et aussi à l'explication de son contenu à travers un mémoire, (notice explicative). Ce travail, par sa pertinence, son importance, sa manière et son contenu reflète généralement les capacités scientifiques de tout un chacun par son savoir personnel, sa méthodologie de travail et aussi par son aptitude à coopérer avec les différents groupes de recherche qui se trouvent autour de lui. Il reflète aussi la capacité de l'auteur (ou des auteurs) à discuter et à comparer les résultats obtenus, surtout pour ceux qui travaillent dans le même domaine structural. Les réunions internationales, tenues au Maroc ou à l'étranger, sont un moyen adéquat de mise en valeur de ces travaux, une reconnaissance et une validation de la communauté internationale (à titre d'exemple : Le congrès géologique international, XIX<sup>ème</sup> session – Alger – 1952 où plusieurs Livret Guide d'excursion ont été édités)<sup>79</sup>.

On a donc dû rattraper le retard causé par la seconde guerre mondiale. Ainsi, lors de la tenue du Congrès Géologique International à Alger (1952), l'équipe marocaine a pu présenter d'importantes contributions, publiées bien avant l'indépendance du Maroc (1956). D'autres investigations et présentations plus détaillées ont suivi et cette équipe a participé à la réunion de la Sous-commission de Stratigraphie (Prague, 1958) pour décider de la limite entre le Silurien et le Dévonien.

Nous allons donc évoquer les principales monographies de cette période (dont la liste est loin d'être exhaustive).

### **Paul Fallot**

Ce géologue, professeur à l'Université de Nancy, va s'intéresser à l'étude de la chaîne du Rif, en se basant sur les notes et les idées déjà existantes, notamment celles de Louis Gentil. C'est en 1927 qu'il rejoint le Maroc, appelé par Pierre Despujols (chef du Service géologique du Maroc), pour effectuer des levés géologiques dans

---

<sup>79</sup> Dresch J., Joly F. & Raynal R. (1952) : Livret-Guide de l'excursion C40 : Géomorphologie du Maroc (étude de quelques aspects régionaux).

le Rif. Il intègre ensuite la Société Chérifienne des Pétroles pour y développer un important Service géologique, qui entre autres a édité plusieurs cartes géologiques.

**Paul Fallot** a joué, pendant trente ans à des titres divers, des rôles fondamentaux dans le progrès de la connaissance scientifique du Maroc ; le plus important de ces rôles est celui d'avoir succédé à Pierre Termier, en 1931, comme *conseiller scientifique du gouvernement chérifien*, et donc encouragea à doubler d'efforts pour faire l'inventaire scientifique du pays.

Solange Willefert précisera dans son rapport (de 1997)<sup>80</sup> que Paul Fallot a reconnu en 1930, dans ce qui deviendra plus tard le Rif interne, une succession de terrains paléozoïques comprenant des gneiss et des schistes phylliteux "*couleur de fumée*" dont il ne donnait pas l'âge précis (cambriens ou ordoviciens). Par la suite, la continuité du Paléozoïque a été établie entre les deux rives de la Méditerranée, grâce à une cartographie commune entre Français et Espagnols. Le fruit de cette coopération a été rapporté sur une carte de synthèse du Rif interne (Fig. 24).

Dans cette interprétation les géologues faisaient des nappes bétiques de Malaga (*les Malaguides*) l'équivalent du Paléozoïque du Rif. Paul Fallot dresse une superbe carte à ce sujet et qui montre les liens précis entre les deux rives de la Méditerranée (Fig. 25).

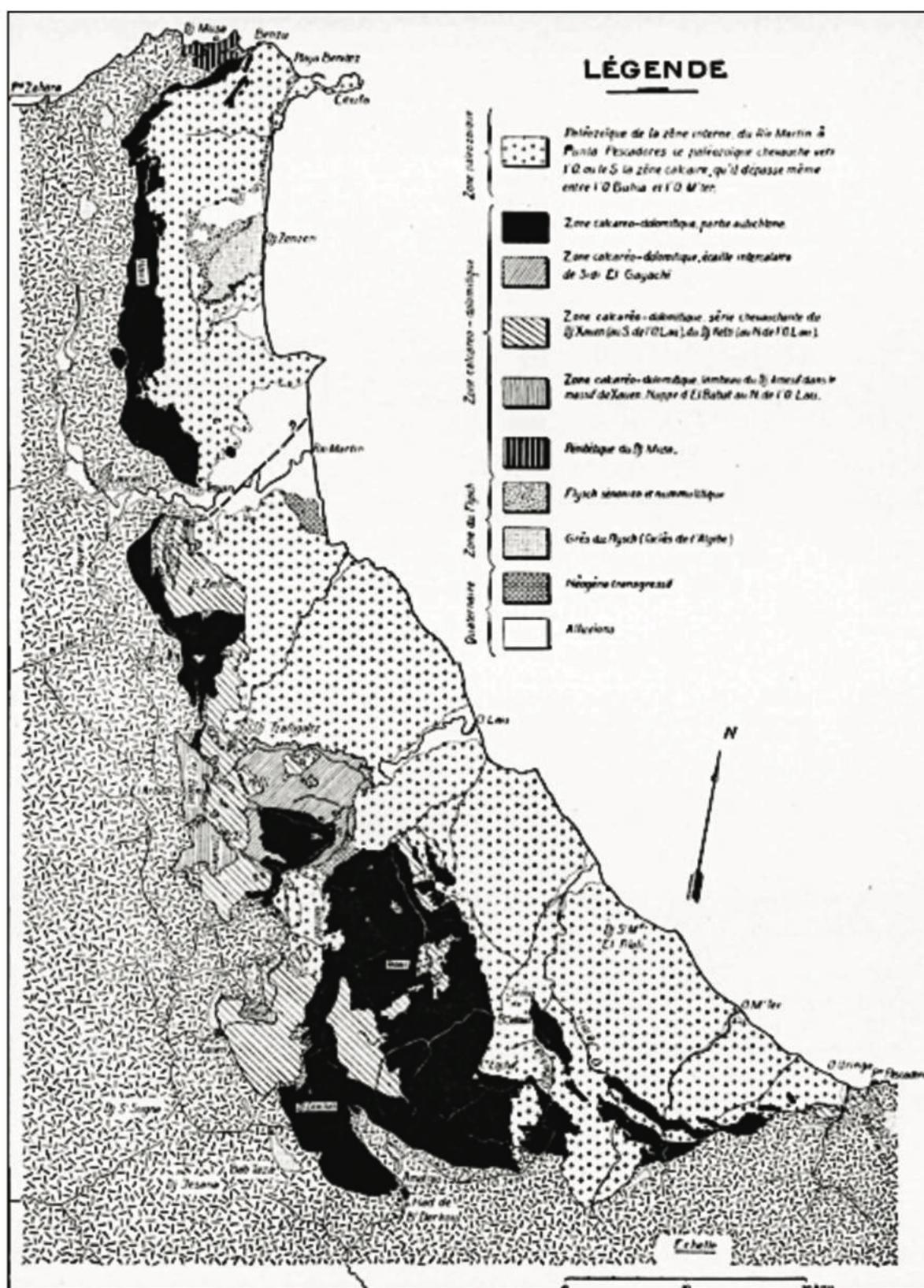
En 1937, Paul Fallot publia sa première synthèse (monographie) sur la géologie du Rif<sup>81</sup> ; Elle est le fruit de travaux réalisés en commun avec A. Marin, et comporte une carte en couleur (Esquisse schématique des rapports du Rif et des cordillères bétiques (Fig. 25) ; alors que le texte de cette monographie est subdivisé en quatre parties:

- La première partie (Généralités) avec la définition des unités qui constituent cette chaîne du Rif, puis les formations géologiques (résumant l'échelle stratigraphique);
- La deuxième partie décrit la dorsale calcaire et ses relations avec la zone paléozoïque;
- La troisième partie concerne la stratigraphie établie en fonction des données structurales (où l'auteur décrit les coupes typiques, les variations de faciès, ainsi que les corrélations et les comparaisons avec l'Espagne et l'Algérie);
- La quatrième partie retrace les corrélations structurales qui, en se référant aux données tectoniques et paléogéographiques, traitent des mouvements d'âge secondaire et anté-lutétien, puis des phases orogéniques tertiaires et des rapports entre les unités tectoniques rifaines et celles d'Espagne méridionale.

---

<sup>80</sup> Solange Willefert (1997) : Découverte des terrains à graptolithes du Maroc de 1845 à 1958. Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie, 3ème série (tome 11), pp.1-57.

<sup>81</sup> Fallot P. (1937) : Essai sur la géologie du Rif septentrional. Notes & Mém. Service Mines & Carte géologique Maroc, N° 40, 553 p. (deux volumes).



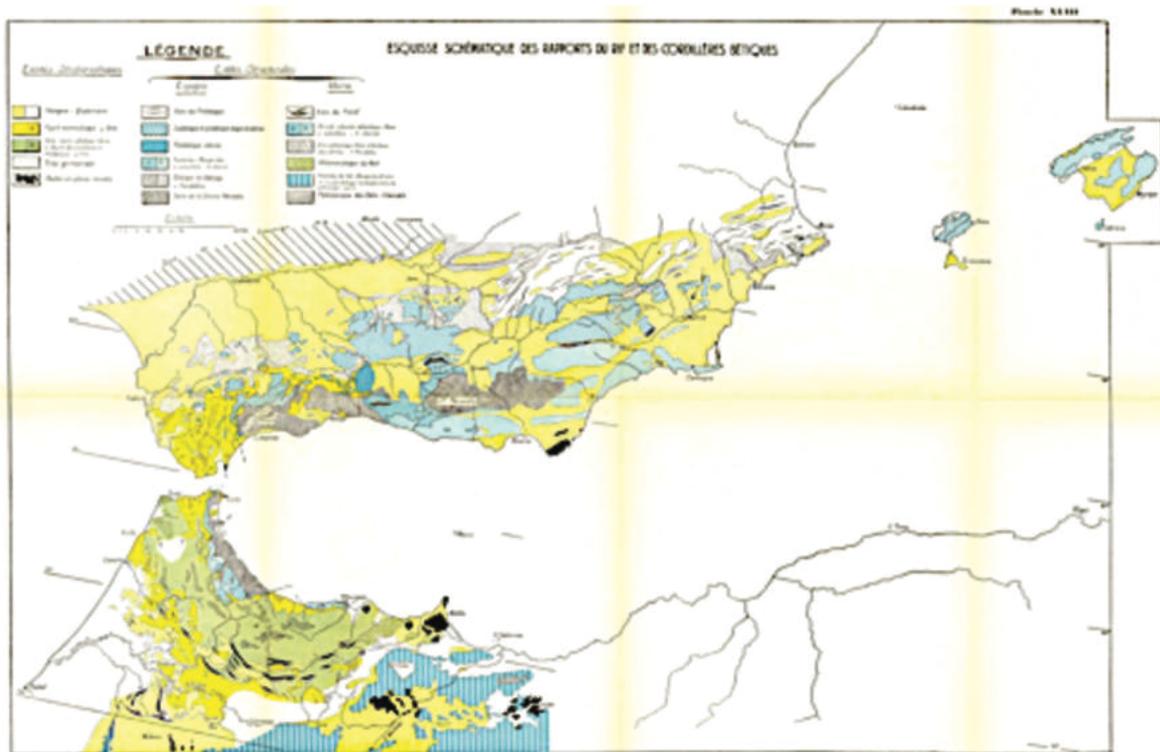


Figure 25 : Esquisse schématique des rapports entre la chaîne du Rif et la Cordillère bétique (d'après P. Fallot, 1937)

### Henri Termier

Henri Termier est un géologue multidisciplinaire (stratigraphe, paléontologiste et pétrographe) ; il est devenu permanent au Maroc à partir de 1931, où il fut chargé d'étudier une région très vaste, presque inconnue et dont les structures géologiques sont complexes et variées<sup>82</sup>. Cette étude a concerné la géographie physique, la stratigraphie des *formations paléozoïques du Massif hercynien central et les formations secondaires du Moyen Atlas*. Il devait aussi en étudier la paléontologie, la pétrographie et la volcanologie, ainsi que les orogénies qui ont bâti cette grande région. Sa contribution à la connaissance de la géologie du Maroc est impressionnante au vu des nombreuses publications et cartes géologiques qu'il a produites ; et aussi, avec sa femme Geneviève, aux multiples datations paléontologiques.

Henri Termier a publié, dans les Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc (1933- N°33), une monographie dans laquelle il aborde la géologie du massif paléozoïque du Maroc central et celle du Moyen Atlas septentrional. Henri Termier (neveu de Pierre Termier, à qui il dédie ce travail) après dix ans de travail public

<sup>82</sup> Termier H. (1936) : Études géologiques sur le Maroc central et le Moyen Atlas septentrional ; tome 1 : Les terrains primaires et le Permo-Trias ; tome 2 : Les terrains post-triasiques ; tome 3 : Paléontologie, Pétrographie; tome 4 : Atlas des figures & des tableaux h.t. Notes et Mémoires du Service Mines & Carte géol. Maroc, n° 33, 1566 pp.

cette monographie en quatre tomes, comprenant 1780 pages et deux cartes géologiques au 1 :200.000<sup>ème</sup> (Fig. 26) : celle du Maroc central<sup>83</sup> et celle du Moyen-Atlas septentrional<sup>84</sup>, auxquelles d'ailleurs ont travaillé d'autres géologues dont les contributions respectives sont indiquées sur les tableaux d'assemblage de ces cartes.

Pour ce qui est de l'ouvrage lui-même :

*Le Tome 1* est consacré aux terrains de l'ère primaire ; en partant de données très fragmentaires, Henri Termier a établi, à l'aide de nombreuses coupes, la stratigraphie détaillée des formations paléozoïques du Maroc central. La richesse du contenu paléontologique, en faune et flore, a facilité la définition de cette stratigraphie. Les déterminations paléontologiques ont été faites par lui-même ou par d'autres spécialistes (A. Carpentier, G. Delépine, G. Elles, E. Mailleux, P. Pruvost, R. Richter, A. Salée, etc.). Henri Termier fait aussi une analyse critique pour chaque chapitre de la stratigraphie du Paléozoïque à partir des connaissances acquises dans l'ensemble du Maroc et au Sahara. Dans ce tome, les analogies avec celles de la chaîne hercynienne sont constamment soulignées par l'auteur.

*Le Tome 2* est consacré aux terrains post-triasiques. A l'aide de faunes ou de flores dont les déterminations sont dues à G. Dubar, H. Douvillé, G. Gardet, J. Lambert, J. Monestier, J. Pfender, J. Pia ou par l'auteur, la stratigraphie des formations du Lias, Jurassique, Crétacé et Miocène du Moyen-Atlas, a été établie.

*Le Tome 3* est subdivisé en deux parties ; la première est consacrée à la description et à la figuration des faunes, dont certaines étaient nouvelles, enrichie par plusieurs planches photographiques des faunes rencontrées et décrites dans l'ouvrage ; la deuxième aborde la partie pétrographique et étudie les roches éruptives et métamorphiques du Maroc central et du Moyen-Atlas septentrional.

Enfin, *le Tome 4* est un Atlas des figures et des tableaux synoptiques hors-texte, comprenant notamment plusieurs cartes paléogéographiques sous forme de dépliants ; ainsi que des coupes géologiques résumant le style structural de cette importante région. En définitive, les résultats apportés par ce monumental ouvrage ne peuvent pas être rappelés ici dans le détail, vu le nombre impressionnant d'informations ; cependant un substantiel résumé d'auteur en retrace les grandes lignes dans les comptes rendus de la Société géologique de France<sup>85</sup>.

Du point de vue cartographique, la première carte intéresse la quasi-totalité du Massif hercynien central (ou Maroc central), une minime partie du Causse moyen

<sup>83</sup> Termier H. Carte géologique provisoire du Maroc central au 1/200,000°, Notes et Mémoires du Service des Mines et de la Carte géologique du Maroc, n° 22 (1932).

<sup>84</sup> Termier H. et Dubar G. Carte géologique provisoire du Moyen-Atlas septentrional au 1/200.000°. Notes et Mémoires du Service des Mines et de la Carte géologique du Maroc, n° 23 (1937).

<sup>85</sup> C.R. somm. Soc. géol. Fr.. 21 décembre 1936, 17, pp. 276-277; voir aussi L. Joleaud : Rapport sur l'attribution du prix Fontannes à M. Henri Termier (C.R. somm. Soc. géol. Fr.. 7 juin 1937, 11, pp. 143-145). L'ensemble du Moyen Atlas a fait depuis l'objet d'études complémentaires, notamment de la part de G. Colo (1956) ; la structure et l'orogénie du Maroc central telles qu'elles apparaissaient à la lumière des recherches postérieures ont été résumées sommairement par Ph. Morin (1959).

atlasique au SE, la partie nord du plateau crétacé des Phosphates, enfin, au Nord, une zone d'affleurements récents. Cette carte a été levée presque entièrement par H. Termier, sauf en ce qui concerne l'anticlinal de l'oued Cherrat au NW (levé par G. Lecointre) et le plateau des Phosphates (levé par A. Beaugé) ; en outre certains raccords ont été faits avec la collaboration d'Ed. Roch et de A. Moulin ; avec cependant un handicap dû à la médiocrité du fond topographique, parfois totalement absent, et qui a engendré l'absence de figuration de certains éléments tectoniques importants de la région concernée. Cette carte correspond aux feuilles topographiques : Casablanca-Est, Oulmès, Kasbah ben Ahmed Est, Boujad; vers l'est, elle se raccorde à la Carte géologique provisoire du Moyen Atlas septentrional de H. Termier & G. Dubar (1933).

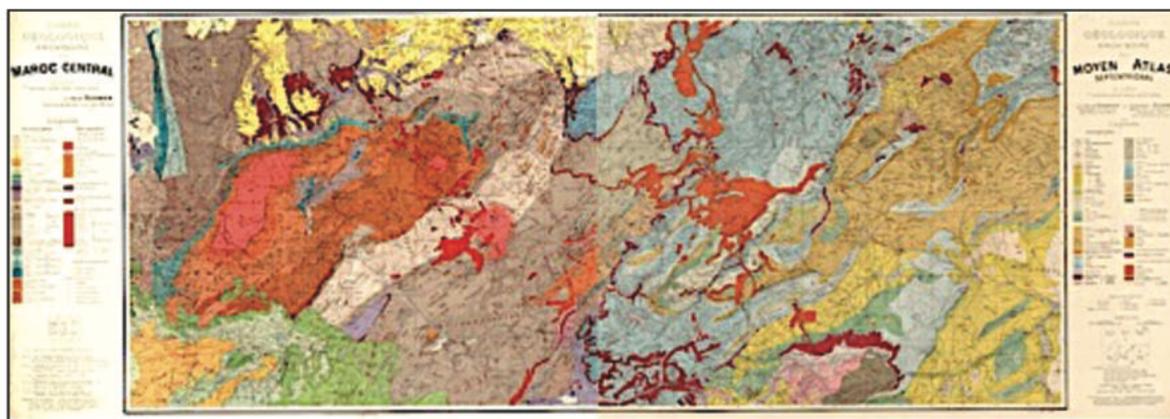


Figure 26 : Assemblage des deux cartes de Henri Termier ; à gauche le Maroc central (1932) et à droite le Moyen Atlas septentrional (1937).

La deuxième carte (Moyen Atlas septentrional) représente : 1. Une minime partie de la plaine de Meknès ; 2. l'extrémité NE du Massif hercynien central ; 3. la majeure partie du Causse moyen atlasique au sud de Sefrou ; 4. la majeure partie du Moyen Atlas septentrional ; 5. le massif ancien d'Aouli et une partie de la Haute plaine de la Moulouya. Elle correspond aux cartes topographiques Azrou, Reggou-Ouest, Itzer et Ksabi-Ouest. Elle a été levée par H. Termier de 1925 à 1933 (feuilles Azrou, Reggou, Itzer-Ouest et partie nord-ouest de la feuille d'Itzer) et par G. Dubar de 1930 à 1933 (feuille Ksabi, partie sud-est de la feuille Itzer, ainsi que la partie nord-est de la feuille Reggou, région de Tamtroucht) ; des levés de F. Delhaye (massif d'Aouli) et de G. Choubert (plaine de la Moulouya) ont été utilisés. Cette carte se raccorde parfaitement, vers l'ouest, avec celle du Maroc central (Termier, 1932).

Par la suite, H. Termier s'est beaucoup intéressé au développement des recherches de géologie appliquée au Maroc, tout en s'efforçant de conserver à celles-ci un caractère scientifique, notamment en appuyant l'effort d'organisation d'A. Robaux en hydrogéologie, et surtout en groupant autour de lui un certain nombre de

géologues qu'il a orienté vers des recherches de géologie minière (J. Agard, Ph. Morin, F. Permingeat, G. Jouravsky) ou de substances utiles (J. Balcon).

Sur un autre plan, H. Termier s'est associé avec sa femme pour élaborer un ouvrage dédié à la Paléontologie marocaine, en deux tomes<sup>86</sup>. En effet, à partir de 1942, G. Termier a poursuivi des recherches en stratigraphie dans le Maroc central (Dechra-ait-Abdallah), d'abord pour la rédaction des ouvrages de la Paléontologie marocaine ; puis en déterminant des faunes pour d'autres géologues travaillant sur le Maroc.

L'importance des recherches en stratigraphie et paléontologie, acquise à travers des études personnelles sur l'ensemble de l'Afrique du Nord, devait conduire finalement Henri et Geneviève Termier à combler une lacune de la littérature géologique en langue française en publiant plusieurs ouvrages dans lesquels on retrouve à chaque instant des exemples tirés de la géologie de l'Afrique du Nord.

### **Édouard Roch**

Ce géologue de l'école de Grenoble s'était intéressé au Maroc à travers l'étude de la faune du Crétacé marocain, recueillie par L. Gentil, A. Brives et P. Lemoine. À partir de 1925, il est chargé de mission auprès du Service des mines et de la carte géologique du Maroc. Il s'intéressa particulièrement aux formations jurassiques et crétacées de la partie SW de la Meseta marocaine, ce qui a abouti à la rédaction d'une monographie et la réalisation d'une carte géologique de cette partie du Maroc (Fig. 27-a) ; ainsi que des cartes paléogéographiques où il retrace les principaux traits de la paléogéographie du Maroc, du Trias au Maestrichtien<sup>87</sup>.

Cette Monographie régionale est une sorte de notice explicative des trois cartes géologiques du SW marocain où l'auteur présente un aperçu précis de la géographie et la structure des différentes unités : Atlas, zone synclinale de Mogador (Essaouira) et la Meseta occidentale, puis un chapitre où il traite de la tectonique tertiaire. L'auteur a fait une étude stratigraphique détaillée des différentes formations, particulièrement les formations cambriennes fossilifères des Jébillet occidentales ; ainsi que l'étude du Silurien, du Dévonien et du Stéphanien continental du Massif

---

<sup>86</sup> Termier H. & Termier G : Paléontologie marocaine ; Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc :

Tome I (1947) - N° 69 : Généralités sur les invertébrés fossiles ; 391 pages ;

Tome II (1950) - N° 73 : Invertébrés de l'ère primaire ; Fascicule 1 : Foraminifères, Spongiaires et Cœlentérés ; 220 pages ;

Tome II (1950) - N° 77 : Invertébrés de l'ère primaire ; Fascicule 2 : Bryozoaires et Brachiopodes ; 254 pages ;

Tome II (1950) - N° 78 : Invertébrés de l'ère primaire ; Fascicule 3 : Mollusques ; 251 pages ;

Tome II (1950) - N° 79 : Invertébrés de l'ère primaire ; Fascicule 4 : Annélides, Arthropodes, Échinodermes, Conularides et Graptolithes ; 279 pages.

<sup>87</sup> Roch E. (1930) : Études géologiques dans la région méridionale du Maroc occidental. Notes & Mém. Serv. Mines & Carte géol. Maroc, n° 9, 542 p.

Central du Haut Atlas. Il a également étudié les formations permo-triasiques d'Argana-Bigoudine et du cœur de divers anticlinaux ou failles de cette région.

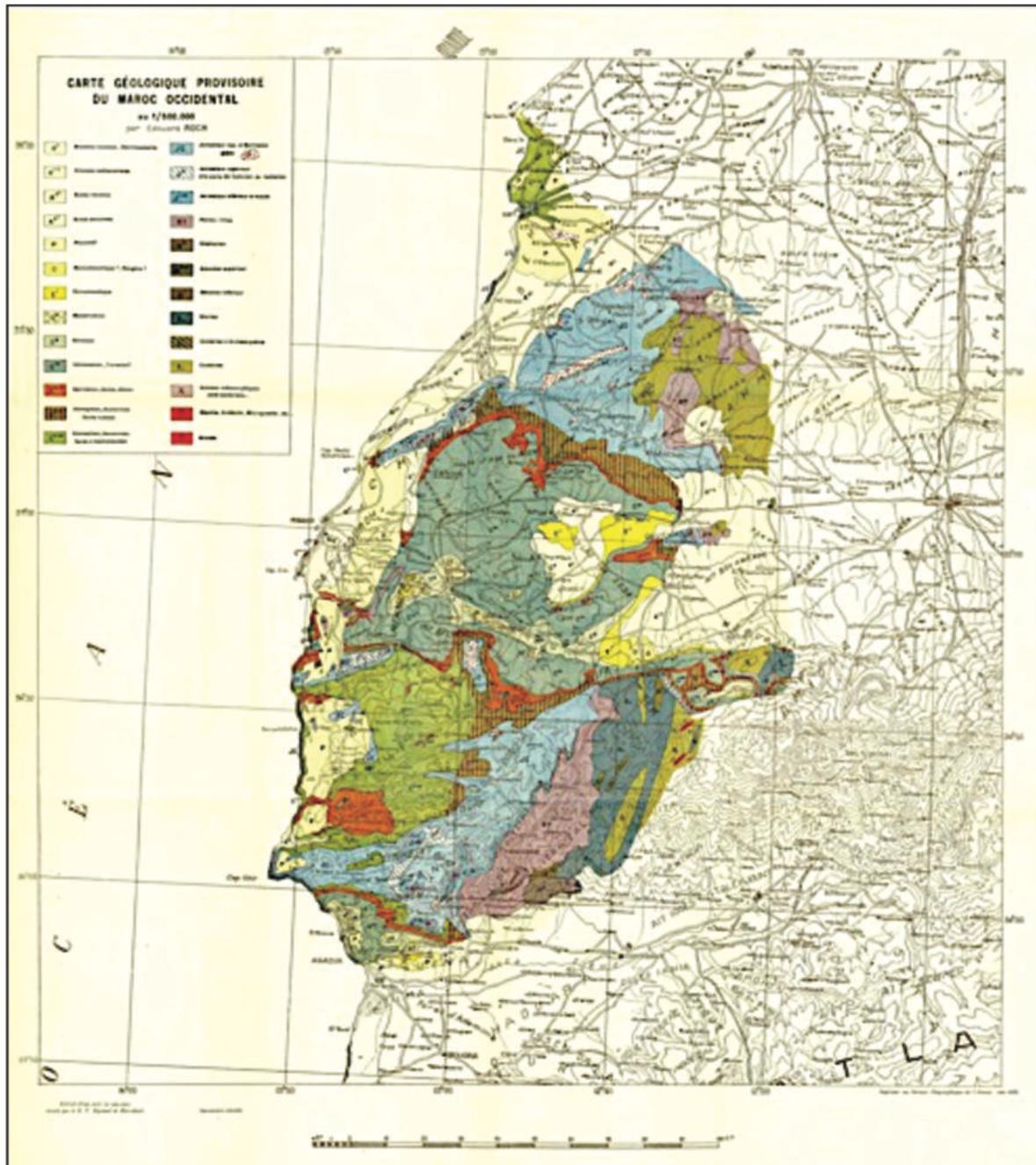


Figure 27-a : Carte provisoire de la Meseta sud-occidentale au 1 :500.000 par E. Roch (1930)<sup>88</sup>

<sup>88</sup> Roch E. (1930) : *in* Notes et Mémoires Service géologique du Maroc N° 9.

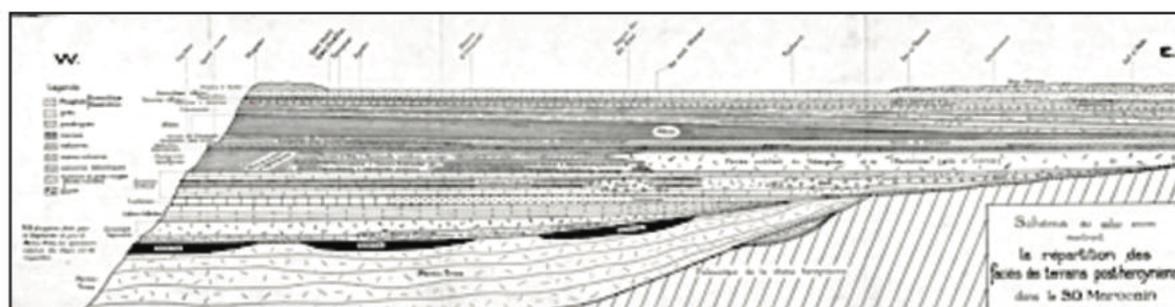


Figure 27-b : Coupe schématique réduite, interprétative, montrant la répartition des faciès des terrains post-hercyniens dans le Sud-Ouest Marocain (Roch, 1930).

Par ailleurs Édouard Roch s'est intéressé au Jurassique lagunaire ; au Jurassique supérieur marin, et aux autres formations ultérieures, dont les couches des phosphates, les formations oligo-miocènes de démantèlement de l'Atlas, le Pliocène et le Quaternaire. Toutes ces formations sont définies, décrites à l'aide de coupes types, datées par de nombreux fossiles dont la liste raisonnée accompagne chacune d'elles. En outre l'étude précise les variations de faciès, latérales ou verticales, clairement illustrées par des cartes paléogéographiques et aussi par une coupe générale ouest-est où sont exprimées ces variations (de faciès et d'épaisseurs notamment ; Fig. 27-b).

Enfin, il faut noter que cette étude stratigraphique a montré le rôle joué par les deux môles des Djebilet (Jébilet) et de l'Atlas, émergés pendant le Stéphanien moyen et le Permo-Trias et sur lesquels la mer s'est avancée en transgression depuis le Jurassique inférieur jusqu'au Nummulitique ; l'inexistence d'un géosynclinal dans cette région aux époques secondaires et tertiaires, explique la simplicité des mouvements tectoniques qui ont érigé l'Atlas occidental au début des temps tertiaires<sup>89</sup>.

Édouard Roch publia aussi, en 1930, trois cartes au 1 :200.000ème (Abda et Djebilet occidentales ; Zone synclinale de Mogador ; Atlas occidental)<sup>90</sup> dont il fait la synthèse (Fig. 27-a)<sup>91</sup>

On doit aussi à Édouard Roch d'avoir écrit une «Histoire stratigraphique du Maroc», écrite pendant la deuxième guerre mondiale, mais parue peu avant le Congrès d'Alger de 1951, un ouvrage précieux parce qu'il révèle une foule de renseignements inédits ou mal connus.

<sup>89</sup> Une analyse détaillée des principaux résultats apportés par cet ouvrage a été donnée par P. Fallot dans son Rapport sur l'attribution du prix Fontannes à M. Édouard Roch ; C.R. sommaire Soc. géol. Fr., 12 juin 1933, 11, pp. 140-142.

<sup>90</sup> Respectivement Notes et Mémoires Service de la Carte géologique du Maroc N° 10, 11 et 12.

<sup>91</sup> Notes et Mémoires Service de la Carte géologique du Maroc N° 14.

En effet, suite à la demande de Pierre Despujols, alors Ingénieur en Chef du Service des Mines du Maroc, Édouard Roch a commencé à travailler sur le Maroc pour en écrire la stratigraphie. Il s'agit d'une synthèse colossale qui lui a pris vingt ans pour sa réalisation et qu'il a nommée : Histoire Stratigraphique du Maroc (publié en 1950 dans les Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc, N°80, 489 pages). Il s'agit d'une première synthèse stratigraphique de la géologie du Maroc qui a contribué à la connaissance du pays, telle qu'elle apparaissait à la lumière des publications parues jusqu'à 1948, date de remise du manuscrit par l'auteur, et avant la rédaction des cartes synthétiques au 1 : 500.000<sup>ème</sup>.

Cet ouvrage est extrêmement précieux pour la connaissance de la géologie du Maroc, car il décrit dans le détail tous les faciès, depuis le Précambrien jusqu'au Quaternaire, avec assez souvent des tableaux récapitulatifs permettant une meilleure lecture du document. Évidemment Roch se réfère à tous les travaux antérieurs dont il signale les principaux auteurs sur une carte empruntée à Choubert (1946) et donne au début du document une liste, non exhaustive, des références bibliographiques sur une trentaine de pages (Fig. 27- c).

Avant d'entamer la description stratigraphique proprement dite, Roch donne dans cet ouvrage un aperçu géographique et structural en précisant qu'il ne s'agit ni d'une géographie physique, ni d'une tectonique du Maroc et que le seul but était la définition et la situation sommaires de diverses régions décrites par la suite. La stratigraphie est donc décrite d'abord par âges, puis en se référant aux grandes régions selon le découpage adopté :

- Le domaine présaharien (Anti-Atlas ; Plateaux du Dra, le Jbel Sarhro et le Jbel Ougnat ; les reliefs présahariens et le Sillon pré-africain avec ses différentes vallées) ;
- Le domaine berbère (Haut-Atlas et les Monts des Kçour ; la zone du Haouz – Azarar Fal ; la Meseta marocaine ; le Moyen-Atlas ; la chaîne bordière du Tadla ; les Hauts Plateaux, la Vallée de la Moyenne Moulouya et le Pays des Horsts ; le Sillon sud rifain et le couloir de Taza à Oujda ; les rides pré-rifaines et les reliefs méditerranéens) ;
- Le domaine rifain (Zone interne ; Zone moyenne ou zone marno-schisteuse ; la Zone du sillon pré-rifain ou encore de la Nappe pré-rifaine).

Cet ouvrage comprend, par ailleurs, 22 planches représentant des cartes stratigraphiques de répartition de faciès, pour chaque âge depuis l'Antécambrien et Précambrien jusqu'au Pliocène, et du volcanisme récent.

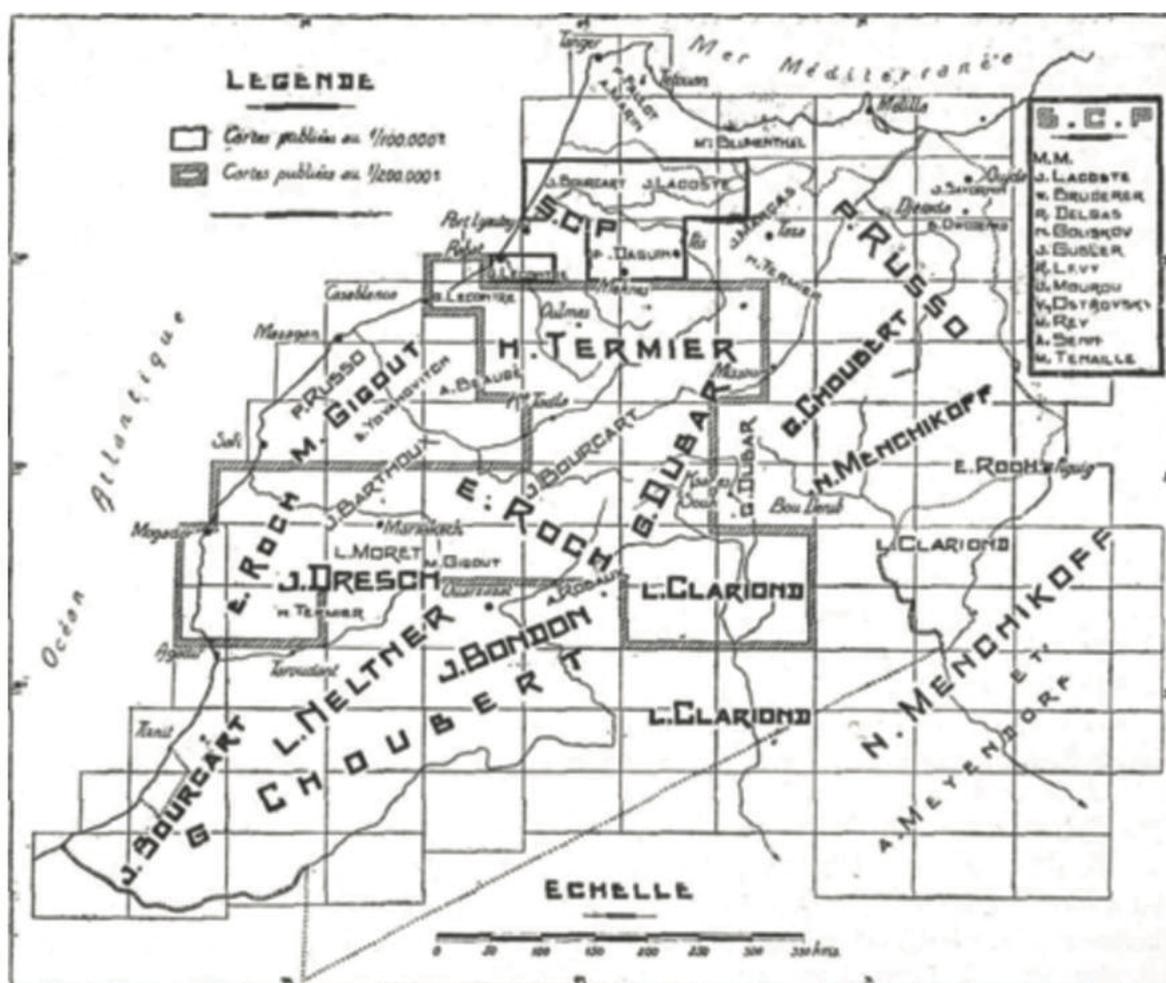


Figure 27-c : Schéma définissant les territoires décrits ou levés par les différents géologues dont s'est servi Roch pour la réalisation de son ouvrage<sup>92</sup>.

### Marcel Gigout

Marcel Gigout était le chef du Laboratoire de Géologie à l'Institut Scientifique Chérifien (ISC) et en même temps il collaborait étroitement avec le Service Géologique du Maroc. Il avait appris à travailler avec Édouard Roch (lorsque celui-ci travaillait sur la région de Marrakech). En 1941, Henri Termier (Chef du Service Géologique du Maroc, à cette époque) lui confia la cartographie de l'ensemble de la Meseta marocaine à l'ouest du méridien de Casablanca ; une région dont B. Yovanovitch avait jadis entrepris l'étude. A l'Institut scientifique chérifien, où il a succédé à J. Marçais comme géologue, alors que ce dernier est parti au Service Géologique du Maroc, Gigout a pu y poursuivre une tâche de longue haleine, comprenant notamment l'établissement d'une stratigraphie précise des formations paléozoïques de la Meseta côtière et surtout des levés cartographiques de trois

<sup>92</sup> Carte d'après Georges Choubert (1946) dans son article: Aperçu de la Géologie marocaine. Extrait de la Revue de Géographie marocaine, 2-3, pp. 77-79.

feuilles au 1 :200 000<sup>ème</sup>, avec leurs notices explicatives (Fig. 28). Il s'agit des deux premières cartes (Cartes géologique de la Meseta entre Settât et Mazagan – Doukkala et Chaouia occidentale)<sup>93</sup>. Elles ont été publiées par le Service Géologique du Maroc en 1954 (N° 75 et 84). La troisième correspond à la carte géologique du plateau des phosphates et de la zone synclinale du Tadla (feuille Ben Ahmed – El Borouj), publiée en 1959 dans la série des Notes et Mémoires du Service Géologique (N° 137).



Figure 28 : Assemblage des trois cartes de Gigout, représentant la partie centre-ouest de la Meseta marocaine (Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc N° 75 ; 84 et 137).

Le travail de cartographie, l'obligeant à travailler sur tous les types et âges des terrains rencontrés, depuis le Cambrien jusqu'au Quaternaire, a été couronné par une importante monographie qu'il publia, comme premier numéro, de la nouvelle série de l'ISC «Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien» ; conjointement avec les Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc (N° 86). Il s'agit d'une monographie en deux tomes où il y a décrit bien sûr la géologie de la région (stratigraphie, structure et paléontologie) et l'a fait suivre de remarques morphologiques sur la Meseta côtière : Sahel, plaines des Doukkala et de Berrechid, plateau de Settât et massif des Rehamna. Il s'agissait d'une précieuse étude, de l'auteur pour la connaissance du Primaire (Paléozoïque) de cette partie du domaine hercynien marocain. Sa contribution à l'étude du Quaternaire littoral est également fondamentale : des coupes suggestives, comme celle du cap Cantin, la mise en évidence d'un étage Ouljien, tendent à faire de cette partie du Maroc atlantique un domaine classique de démonstration des mouvements d'ensemble du niveau de la mer au cours des tout derniers moments de l'histoire géologique de la Meseta côtière.

<sup>93</sup> Publiées dans Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc, N° 75 et 84 publiées en 1954 ; les Notices explicatives portent les N° 75-bis et 84-bis, publiées en 1965.

Dans cette monographie (mémoire) ont été décrites la stratigraphie, la pétrographie et la tectonique de la Meseta marocaine occidentale. Elle comprend une planche cartographique de synthèse qu'on peut utiliser pour suivre la description géologique de la région (Fig. 29)<sup>94</sup>.

Dans le Mémoire, Gigout a tenté de retracer les grandes lignes structurales pour cette région et a présenté l'histoire géologique suivante :

### **Le Substratum (période paléozoïque)**

L'histoire géologique de la région commence avec les rhyolithes de Mazagan que l'auteur attribua au Géorgien (Cambrien inférieur)<sup>95</sup>. Puis viennent les séries carbonatées de Mazagan (El Jadida) que surmontent les schistes acadiens<sup>96</sup>. Ces schistes sont transgressés par une série de l'Ordovicien inférieur (Arenig à Llandeilo) pour reprendre plus tard au Gothlandien (Silurien), avec selon l'auteur une période d'émersion dans toute la portion occidentale de la Meseta (à l'exception des Rehamna orientales) expliquant ainsi l'importante lacune sédimentaire.

Par la suite, une sédimentation fine caractérisant le Gothlandien (Silurien) se dépose avec une alternance de quelques niveaux calcaires, et où l'auteur mentionne une abondance fossilifère (prairies d'Encrines et de Brachiopodes), sur lesquelles viennent, sans aucune lacune stratigraphique, les premiers niveaux du Dévonien.

---

<sup>94</sup> Gigout M. (1951) : Études géologiques sur la Meseta marocaine occidentale (arrière-pays de Casablanca, Mazagan et Safi) Tome I (textes) et II (Atlas de cartes et photos). Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique ; N° 1.

<sup>95</sup> D'après Pereira et al (2018) : Le dôme d'El Jadida (Mazagan), dont l'existence a été signalée dès 1934 par Yovanovitch et Freys, constitue l'un des premiers affleurements de la Meseta marocaine où la frontière du Précambrien (PIII?) - Paléozoïque (Cambrien inférieur?) a été établie (Gigout, 1951; Cornée et al., 1984). Depuis, il est répertorié comme l'un des rares endroits où le substratum du domaine varisque marocain peut être observé (Hoëpffner et al., 2005; Michard et al., 2010). Il existe des similitudes stratigraphiques qui permettent une corrélation avec le registre géologique édiacarien-cambrien de la ceinture de l'Anti-Atlas (Cornée et al., 1984). Pereira et al (2018) ont donc entrepris une étude pétrographique, géochimique et géochronologique U-Pb utilisant des zircons extraits de la rhyolite d'El Jadida (dans le but de caractériser la source de magma et d'estimer l'âge de cristallisation) et d'une micro-brèche échantillonnée à la base de la Formation dolomitique d'El Jadida (pour déterminer la provenance). D'après ces auteurs, ces rhyolithes présentent la preuve de la déformation précambrienne ; elles se situeraient dans les limites de l'arc volcanique + granites syn-collisionnels. La moyenne pondérée des âges trouvés par cette équipe de chercheurs serait de  $584,2 \pm 4,8$  Ma (c'est-à-dire édiacariens), considérée par eux, comme la meilleure estimation de l'âge de cristallisation de la rhyolite d'El Jadida (donc Précambrien terminal).

<sup>96</sup> Ces roches seront qualifiées plus tard par J. Destombes de «schistes à *Paradoxydes*» ; ces trilobites datent le Cambrien moyen (Acadien).



*former dans le centre des Rehamna : on connaît des produits de démantèlement qui leur sont imputables».*

Pendant l'installation des récifs à Mechra Ben Abbou, il semblerait selon Gigout que la région de Foucauld (Oulad Abbou) est exondée au Dévonien moyen. La transgression du Dévonien supérieur se marque par des dépôts fins (donc profonds) et il semblerait que la région de Mechra Ben Abbou soit émergée<sup>98</sup>. Le Strunien et le reste du Carbonifère s'y déposent avant que la région ne soit affectée par la phase orogénique hercynienne.

La partie «Atlas» de cette monographie comprend un ensemble de cartes et de coupes géologiques qui préfigurent déjà, durant les années 1950, les grands traits structuraux de cette partie de la Meseta occidentale et que viendrait peaufiner plus tard (années soixante-dix et quatre-vingt du siècle dernier)<sup>99</sup>.

Marcel Gigout décrit aussi le style structural varisque de cette région et en donne les principales directions, ainsi que le métamorphisme et la granitisation. Postérieurement à cette orogénèse se produit une importante phase d'érosion donnant des conglomérats (sédiments continentaux rouges, argilo-siliceux, qu'il rattache au Permien), qui viennent se déposer dans des fossés créés par le mouvement des failles post-orogéniques (*i.e.*, le graben de Mechra Ben Abbou).

### **La couverture**

Cette monographie décrit également les terrains de couverture où l'auteur a reconnu des calcaires mélangés au gypse lagunaire du Jurassique supérieur dans la région de Safi. Au Néocomien, la mer revient et s'avance beaucoup plus à l'intérieur des terres de la Meseta, avec un développement de faunes d'ammonites ; seules les Rehamna résistent et constituaient des îlots (régions d'Imfout, oued Kibane) ; alors que la partie entre Mazagan (El Jadida) et Casablanca reste émergée. Un nouveau retrait de la mer s'effectue et une nouvelle transgression se produisait au Cénomaniens avec le dépôt de calcaires et de marnes. Un autre retrait est également apparu et la mer reviendra au Maestrichtien pour inonder toute la région et y déposer une sédimentation assez particulière avec une faune abondante de Vertébrés marins, de Poissons et de Reptiles ; et la proportion de leurs ossements dans les dépôts calcaires ou sableux est importante. Aucune modification n'est notée pendant les temps tertiaires, la sédimentation ne changera qu'à l'Éocène moyen et se caractérise par

<sup>98</sup> Cette configuration rappellerait une sorte de tectonique syn-sédimentaire, en bloc basculés.

<sup>99</sup> Les études structurales ont été développées par deux équipes de géologues : de Strasbourg (dirigée par A. Michard) et de Marseille (dirigée par J. Sougy), pour une mise à jour des données, en l'adaptant à la géologie moderne et avec souvent un débat fort intéressant entre les deux équipes. Lors du PICG-27 sur les *Calédonides*, tenu au Maroc en 1983, ce débat s'est déroulé sur le terrain lors des excursions de ce Programme et depuis nous disposons d'idées beaucoup plus claires quant à l'interprétation de cette partie de la chaîne calédonno-hercynien/varisque du Maroc.

une sédimentation néritique. Cette région n'enregistrera que des répercussions atténuées de l'orogénèse atlasique (contemporaine de l'alpine qui édifia la chaîne du Rif, au nord du Maroc). Par la suite, des sédiments du Miocène et du Pliocène récent se déposent à quelques endroits (voir carte, Fig. 29). Le Quaternaire connaît plusieurs va-et-vient de la mer ; Gigout a reconnu six et ajoute que la côte marocaine se caractérise alors par des falaises fréquentes, parfois élevées.

Par la suite en 1955, Gigout s'intéresse beaucoup plus à la région de Mechra Ben Abbou et en publie les résultats dans les travaux de l'Institut Scientifique Chérifien<sup>100</sup>.

La lecture de la carte (Fig. 30) et le document explicatif montrent que la série stratigraphique du Paléozoïque de cette région de la Meseta est assez complète, mais avec cependant quelques lacunes. Au nord du Viaduc de Mechra Ben Abbou (MBA), elle est constituée de schistes du Cambrien (Acadien) et qui sont fossilifères (*Paradoxides rugulosus*). On trouve ensuite, l'Ordovicien (probable?) représenté par des schistes identiques à ceux en dessous des quartzites du Jbel Kharrou (vers le sud). Le Gothlandien (Silurien) est constitué de schistes argileux violets avec des calcaires en plaques et en nodules contenant des fossiles ( Orthocères, Entroques et surtout le niveau à *Scyphocrinites elegans*) qui indiquent le Silurien supérieur.

Le Dévonien inférieur présente un faciès qui ressemble en partie au Gothlandien (schistes argileux, calcaires minces en plaquettes à Orthocères, Entroques et Bryozoaires ; des bancs conglomératiques sont également insérés dans ces formations). Il comporte des intercalations de sables avec des plantes et des galets que Gigout a mis en rapport avec une érosion active dans le centre des Rehamna, région limitrophe qui, selon lui, a dû émerger à cette époque sous l'effet d'une orogénèse peu intense. Une riche faune de trilobites a été recueillie et étudiée par l'auteur, qualifiée par lui d'éo-dévonienne, date le Siégénien et peut-être aussi l'Emsien. Cette faune lui a permis de faire des rapprochements avec les provinces fauniques européennes. Le Dévonien inférieur se termine par l'établissement de récifs coralliens qui persistent au Dévonien moyen.

Le Dévonien moyen n'est connu qu'à l'état calcaire ; il commence par des calcaires gréseux puis par des bancs calcaires connus dans la carrière de Bouchada (à l'Ouest du pont de chemin de fer sur la route nationale RP.7).

---

<sup>100</sup> Marcel Gigout (1955) : Recherches géologiques à Mechraâ Benâbbou. Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique ; N° 3. Ce travail est accompagné par une carte géologique de la région au 1 :20.000<sup>ème</sup>.



aussi le Namurien inf. ?) est présent en série complète dans le synclinal de Lalla El Gara.

Enfin, de puissantes formations conglomératiques, que l'auteur attribue au Westphalien, terminent la série stratigraphique.

Les formations du Permien, du Trias et du Crétacé sont discordantes sur les séries du Paléozoïque. Malgré la structure très complexe de ce qu'il a appelé «Fossé de Mechra-Benâbbou», l'auteur en retrace l'histoire paléogéographique et tectonique et où ce fossé semble avoir pris naissance au cours d'une longue période orogénique débutant au Viséen supérieur et qui ne s'est terminée qu'après le Permo-Trias (c'est en fait la description de l'orogénèse hercynienne).

Gigout parle de lacunes entre le fin du Cambrien et le début de l'Ordovicien et aussi de l'absence de l'Ordovicien supérieur et la base du Gothlandien (Silurien), dont il ne reconnaît ici que la partie supérieure sur laquelle vient en continuité le Dévonien inférieur ; seulement l'auteur mentionne ceci : *«Nous ne connaissons dans la région que la partie terminale du Gothlandien, marin et à prairies d'Encrines. Le Dévonien inférieur lui est semblable mais épais. Il comporte des intercalations de sables avec plantes et de galets qu'on met en rapport avec une érosion active dans le centre des Rehamna, région limitrophe qui a dû émerger à cette époque sous l'effet d'une orogénèse peu intense»*<sup>102</sup>.

La mer s'étant retirée à la fin du Dévonien, l'auteur explique que des événements tectoniques ont dû éroder le Tournaisien et le Viséen inférieur, et la mer n'est revenue qu'au Viséen supérieur pour déposer l'épaisse série qu'il a décrit à Lalla El Gara. La phase majeure hercynienne a donné des plis moyennement serrés de direction WNW-ESE et à la faveur de relâchement de ces forces, la région de Mechra-Benâbbou commence à s'affaisser selon de grandes lignes de cassures profondes, aux tracés déchiquetés. Ce fossé, entretenu par des phases de distension, provoque l'accumulation de conglomérats continentaux à fortes pentes originelles. A cette architecture s'ajoutent des éruptions volcaniques de laves acides.

Par la suite, l'histoire de la région est relativement plus calme ; peu de sédiments s'y déposent ultérieurement avec de faibles mouvements tectoniques que l'auteur rattache aux effets de l'orogénèse atlasique.

Un peu plus au sud, des conglomérats métamorphiques apparaissent et Gigout s'y intéresse et produit une nouvelle monographie en 1956<sup>103</sup>. Dans cette monographie l'auteur analyse dans le détail les roches métamorphiques à texture amygdalaire,

<sup>102</sup> Mouvements à mettre très probablement avec « les contrecoups » de l'orogénèse calédonienne, déjà signalée par Branko Yovanovitch (1935) dans la même région.

<sup>103</sup> Gigout M. (1956) : Les conglomérats métamorphiques des Rehamna et roches associées. Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique ; N°4.

ainsi que les roches calcaires et les phyllades qui leur sont associées, dans le but de préciser l'âge de ces roches métamorphiques et les indications paléogéographiques qu'on peut en déduire, et, en outre, de fournir une documentation pour l'étude des déformations des roches dans les conditions de métamorphisme général (ou régional).

Dans le chapitre X de ce mémoire, l'auteur fait la synthèse de ses principaux résultats en rappelant les conditions de déformation hercynienne des roches rencontrées, en se focalisant sur les conglomérats qui, dans le Nord, n'ont enregistré aucune déformation et plus on se déplace vers le sud et le sud-est, ces conglomérats ont subi des aplatissements, des étirements et des plissements et perdent ainsi leur structure.

En effet, les conglomérats dévoniens, pris dans le métamorphisme régional des Rehamna du Nord, outre une fracturation des galets, sont toujours déformés de façon plastique. L'analyse de cette déformation et de son extension aux roches encaissantes fait ressortir la grande plasticité des roches dans les conditions du métamorphisme régional de profondeur moyenne. La schistosité, observée par l'auteur dans ces roches, est confondue avec le plan d'aplatissement des galets de conglomérats déformés, prouve qu'elle est née sous l'effet d'une pression principale perpendiculaire. Pour Gigout, cette schistosité correspond à l'ancienne stratification<sup>104</sup>.

Dans cette monographie, l'auteur évoque la profondeur du métamorphisme régional pour expliquer cette déformation, qui a donné des roches schisto-gréseuses amygdalaires. Cette progression du métamorphisme et de la déformation est de plus en plus importante en allant vers le centre du massif des Rehamna où ils atteignent leur paroxysme.

Enfin, l'intérêt de Marcel Gigout se tourne vers le Quaternaire, qu'il étudia tout au long de l'oued Oum Er-Rbia et les régions voisines. Les résultats de cette étude ont fait l'objet d'un autre mémoire<sup>105</sup>. Ce dernier retrace l'étude du Quaternaire de la basse vallée de l'Oum Er Rbia, et fait suite à l'importante étude réalisée par l'auteur en 1951 (*Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique, N° 1*). Il comporte une carte géologique détaillée des alluvions de l'Oum Er Rbia à Sidi Said Maâchou (Fig. 31).

---

<sup>104</sup> Il s'agit ici du phénomène de transposition de la stratigraphie  $S_0$  en Schistosité  $S_1$  ; notée  $S_{0-1}$ .

<sup>105</sup> Gigout M. (1956) : Recherches sur le Pliocène et le Quaternaire atlantique marocains. Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique, n° 5.

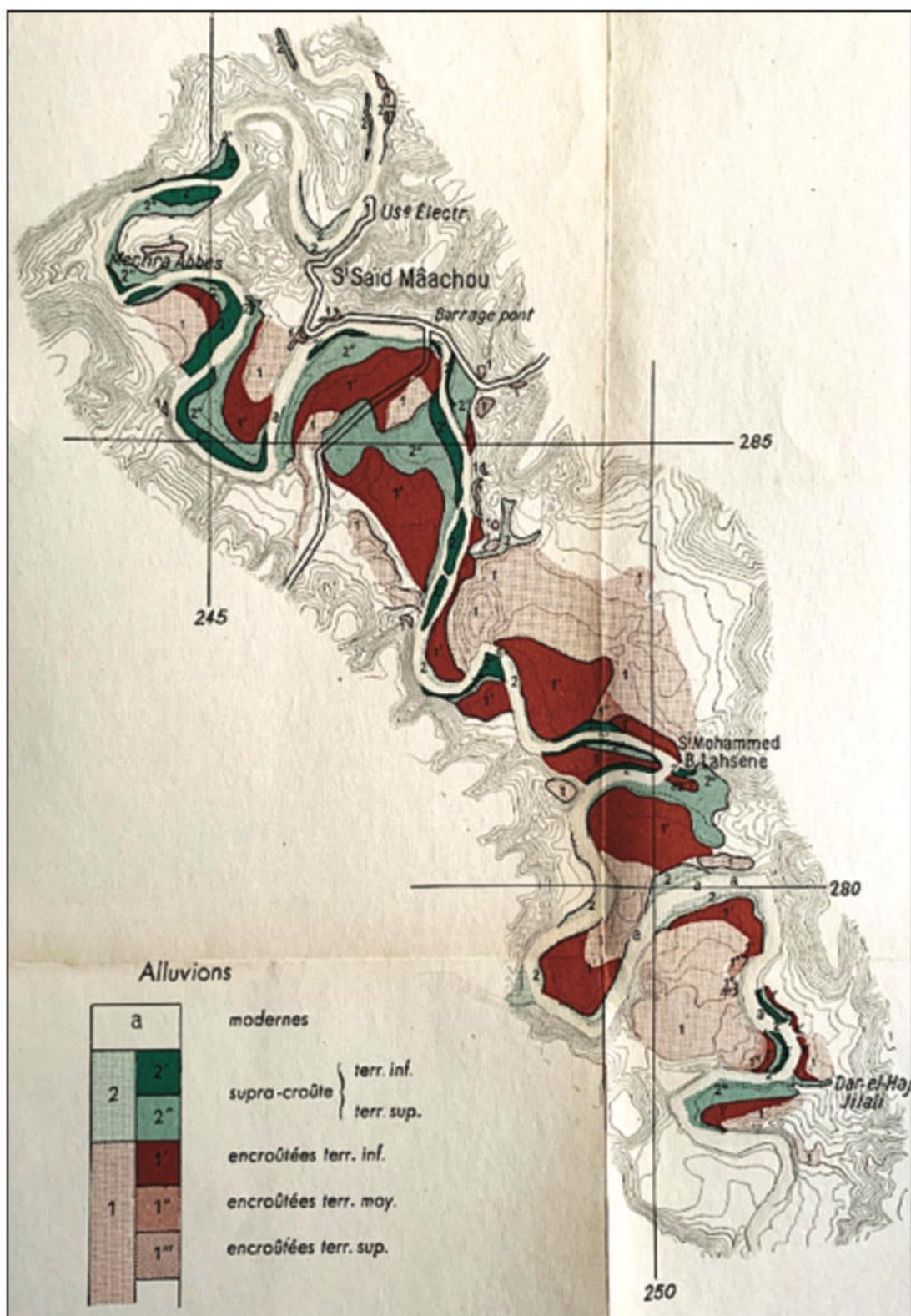


Figure 31 : Carte des alluvions de l'Oum Er Rbia à Sidi Saïd Maâchou (d'après Gigout, 1951).

La transgression pliocène s'est étendue, au Maroc occidental, sur la majeure partie de la Meseta côtière. Dans cette région, le Pliocène comporte à la base un épisode franchement marin discordant sur le Crétacé.

L'auteur a décelé une phase d'érosion, suivie de l'épandage de l'estuaire de l'Oum Er Rbia, riche en galets ; cet estuaire s'est déplacé dans l'axe du fleuve actuel. Des dunes importantes ont envahi les terres à mesure qu'elles sortaient, sauf dans la région de Foucauld (Ouled Abbou).

Gigout précise ensuite la subdivision du Pliocène transgressif et régressif du Bas Oum Er Rbia et en précise ses faciès sur la Meseta côtière. Ce Pliocène correspond à un seul cycle de sédimentation, avec des dépôts marins peu épais à la base (calcaires gréseux jaunes avec des débris de coquilles triturées), puis des dunes consolidées plus puissantes et très étendues. Selon L'auteur (en 1951), la limite orientale de transgression est assez précise. L'extension se fait vers le sud à Safi, où l'une des coupes classiques est celle de Jorf-el-Youdi, avec 45 m de lumachelles roses ou jaunes, à Huitres, Pectinidés, Oursins et Balanes. Cette Lumachelle (qualifiée par Gigout de 'Faciès de Jorf-el-Youdi') repose sur une douzaine de mètres de marnes verdâtres à petits bancs calcaires, probablement déjà Pliocène (selon l'auteur). Ce sédiment de Jorf-el-Youdi est plus épais et plus marneux que le Pliocène ordinaire de la Meseta ; il se localise dans les dépressions du substratum.

Dans le chapitre III de ce document, l'auteur soulève la problématique selon laquelle d'autres auteurs (G. Choubert et R. Ambroggi ; 1953) proposent une autre hypothèse pour le Pliocène du Maroc. Ce dernier comporterait deux cycles sédimentaires distincts : le plus ancien serait le véritable Pliocène, tandis que le plus récent (équivalent latéral du Villafranchien de Port-Lyautey 'Kénitra') doit être rangé dans le Quaternaire, que ces auteurs nomment *Moghrébien*, et qu'il serait l'équivalent méditerranéen du Calabrien (G. Choubert & E. Ennouchi, 1954 ; p :27).

Gigout, en donne une carte (Fig. 32) et discute alors cette hypothèse en se basant sur une description précise des termes suivants :

- Le Néogène supérieur du Sud marocain ;
- Le Pliocène de la Meseta marocaine ;
- Le Néogène supérieur du nord du Maroc ;
  - o Pliocène des collines de Lalla Zahra ;
  - o Pliocène de Lalla Mimouna et de Arbaoua ;
  - o Pliocène des environs de Larache et Arsila (=Asilah) ;

Par la suite l'auteur donne une discussion sur ce sujet (Pliocène ou Moghrébien ?) en se basant sur des critères tectoniques, stratigraphiques et paléontologiques. Il semblerait, selon lui, que ces auteurs (G. Choubert et E. Ennouchi) se sont trompés, car ils se sont basés sur des données paléontologiques pour une coupure entre le

Pliocène (*stricto sensu*) et leur Moghrébien ; or selon lui (M. Gigout), c'est la variabilité de la faune en fonction des faciès dérivants, eux-mêmes, des conditions écologiques, qui les a induits en erreur.

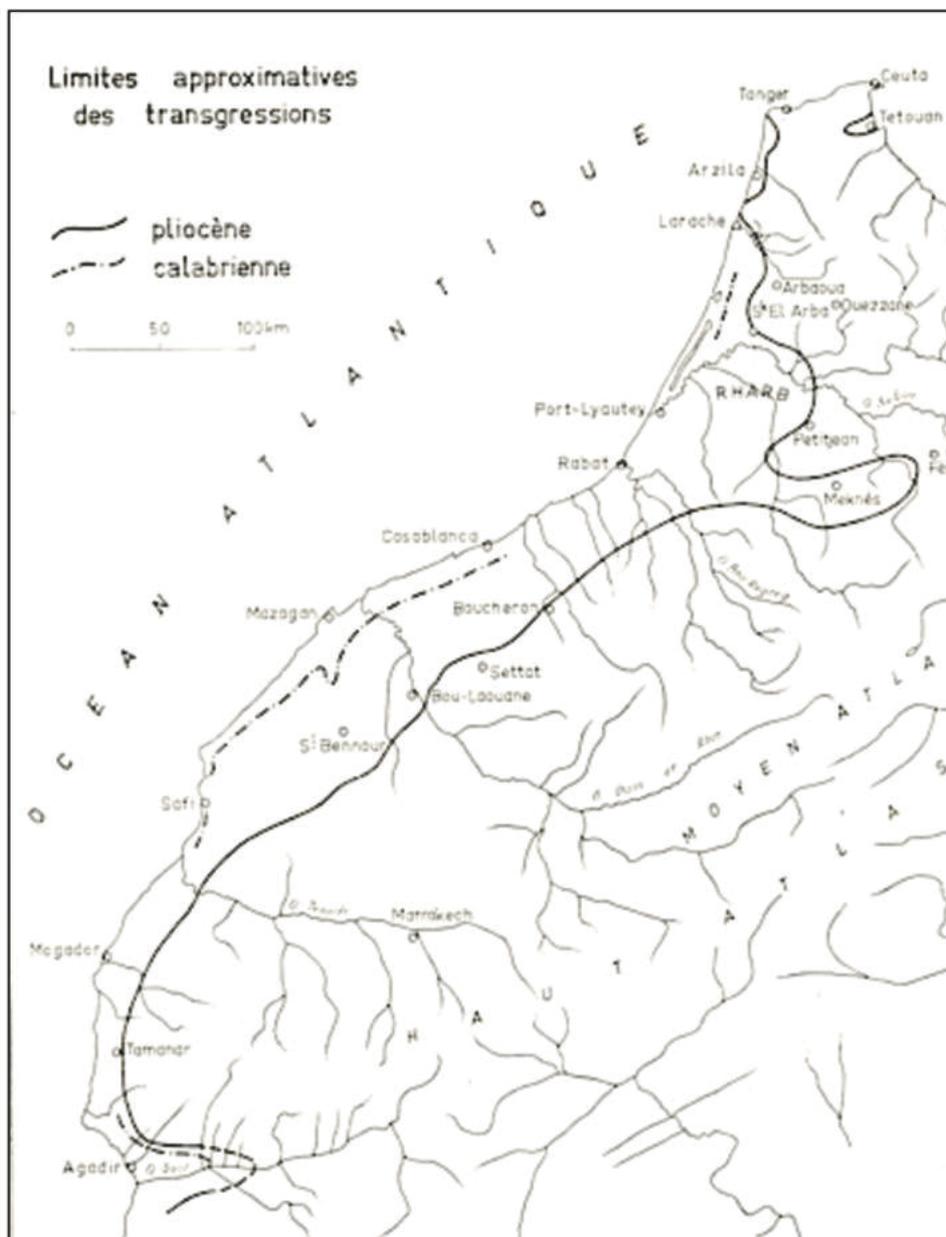


Figure 32 : Limites approximatives des transgressions pliocène et calabrienne. En partie d'après E. Roch (1950 ; pl. XXII) et Choubert & Ambroggi (1953, Fig. 1).

L'auteur conclut que si le Moghrébien est l'équivalent du Calabrien, tous deux doivent correspondre au Villafranchien supérieur.

Gigout fini son étude par une synthèse du Pliocène et du Calabrien de la côte atlantique marocaine en proposant une subdivision stratigraphique du Villafranchien ; il fait appel à la tectonique en cours pour comprendre les déplacements du rivage atlantique au Plio-Pléistocène. Il précise dans cette synthèse

la part du Pliocène (faciès des zones subsidentes, faciès de zones stables, faciès de régression) et celle du Calabrien (Bord du Haut-Atlas, Meseta côtière, Oum Er Rbia, nord du Maroc) et conclut par donner l'histoire stratigraphique du Pliocène et du Calabrien.

Le chapitre V de ce document est réservé aux déformations tectoniques au Quaternaire ancien dans le Sahel de Safi avec l'existence de deux accidents linéaires (failles ou flexures) affectant le Villafranchien inférieur et qui ont un regard Est avec un décalage de 20 à 30 m sur une distance de plus de 10 km.

Gigout termine son étude par les cycles fluviaux quaternaires du Bas Oum Er Rbia (chapitre VI) en décrivant les alluvions les plus anciennes ; le nombre des cycles creusement remblaiement de l'Oum Er Rbia au Quaternaire ; conséquences et comparaisons.

En 1957, Marcel Gigout donne une nouvelle contribution sur le Quaternaire marocain, qu'il publia dans les travaux de l'ISC<sup>106</sup>. L'auteur mentionne en introduction de son livre que les progrès dans la connaissance du Quaternaire marocain ont permis de présenter des solutions à des problèmes fondamentaux, notamment celui du nombre des variations rythmées du climat, et celui des rapports entre les événements marins, fluviaux et périglaciaires. Il procède par la description du niveau 2 m à Témara (au SW de Rabat) et du Quaternaire marin de la côte occidentale de la presqu'île de Tanger.

Gigout aborde dans ce document (chapitre III) un aperçu sur la chronologie du Quaternaire récent du Maroc océanique. C'est ainsi qu'il mentionne les alluvions limoneuses du Maroc océaniques (sédiments les plus récents occupants le fond des vallées), formant au Maroc, de l'avis de tous les géologues, deux terrasses. Il les décrit dans le Bas Oum Er Rbia, à l'embouchure de l'oued Cherrat, dans la plaine du Rharb et les vallées tributaires et aussi dans le Bas oued Bou Regeg<sup>107</sup>. Dans la partie amont de la plaine de Rabat-Salé (carte, Fig. 33), il n'y a toujours qu'une terrasse occupant tout le fond de la vallée ; elle domine l'oued de 6 m.

Gigout étudie aussi les limons rouges superficiels (qui datent de la fin du dernier grand pluvial) et donne les rapports entre ceux-ci et les alluvions limoneuses.

---

<sup>106</sup> Gigout M. (1957) : Recherche sur le Quaternaire marocain. Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique ; N°7.

<sup>107</sup> Il semblerait qu'ici les alluvions limoneuses ne forment qu'une seule terrasse d'une altitude relative à 10 m ; G. Cogne (1957) note que « des lambeaux très flous d'une terrasse plus basse (2 à 3m) sont visibles par endroits.

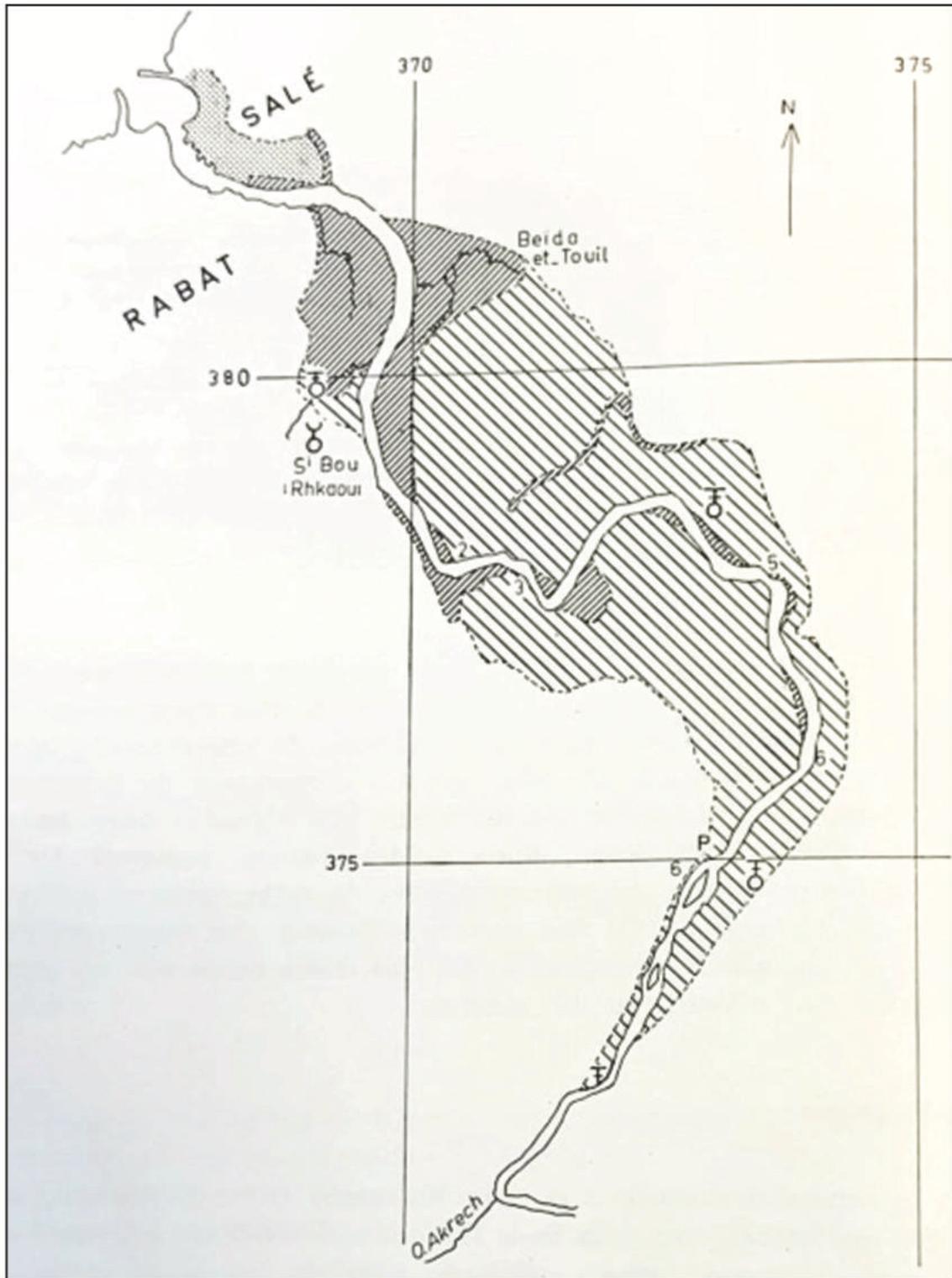


Figure 33 : Carte montrant les alluvions dans la basse vallée du Bou Regreg (rayé espacé : terrasse principale d'alluvions limoneuses (Rharbien ancien) ; les côtes de 2 et 6 donnent la hauteur de cette terrasse au-dessus de l'oued à marée basse ; les points fossilifères indiquent des puits et affleurements ayant fourni la faune à Scrobiculaires ; P : gisement à poterie et charbons de bois ; Rayé serré : parties inondables par les marées, vases actuelles ; Pointillé : plages et dunes actuelles.

Enfin, l'auteur fait un essai de synthèse du Quaternaire marocain (avec le rappel de la stratigraphie marine et fluviatile ainsi qu'un rappel de la chronologie périglaciaire) et son point de vue sur les six ondes climatiques décelables au Maroc, qui correspondent aux effets de six variations rythmées du climat. Ces résultats, basés sur l'étude du paléoclimat, ont une valeur universelle et pourraient être comparés à d'autres pays.

### **Georges Lecointre**

Lecointre a réalisé une importante monographie en trois tomes pour l'étude du Néogène et du Quaternaire marins de la côte atlantique. En 1952, il publie les deux premiers tomes (le premier réservé à la stratigraphie, le second à la paléontologie)<sup>108</sup> ; puis en 1962, il publie le troisième tome qui est un supplément consacré à l'acquisition de nouvelles données, durant la période de 1952 à 1962<sup>109</sup>.

Dans le premier tome, l'auteur rappelle le but de cette discipline (stratigraphie) qui est de classer les terrains par ordre d'âge et avec la plus grande précision possible. Il ajoute que *«Si, pour les terrains primaires et secondaires, personnes ne conteste la priorité de l'argument paléontologique, basé sur des faunes marines, il n'en est plus de même pour la fin du Tertiaire. La différenciation des climats et la durée moins longue des 'coupures' possibles enlèvent beaucoup de leur précision aux échelles de faunes marines. La mer est, en effet, moins sensible que la surface des continents aux diverses variations du milieu, notamment à celles du climat»*.

A partir du Néogène, le temps que nécessitait l'évolution des faunes marines ne joue plus le rôle de chronomètre, comme cela avait été utilisé aux époques antérieures pour les Trilobites, les Goniatites et les Nummulites, par exemple. Les variations du climat vont jouer un rôle important pour les différenciations progressives et les migrations des faunes et permettent ensuite de les utiliser pour les datations et les corrélations stratigraphiques.

Dans cet ouvrage, après une introduction générale, George Lecointre développe les connaissances sur le Miocène, qu'il décrit sur toute la longueur entre Tanger et Sidi Ifni. Il adopte d'ailleurs le même enchaînement de description pour tous les âges suivants.

---

<sup>108</sup> Lecointre G. (1952) : Recherches sur le Néogène et le Quaternaire marins de la côte atlantique du Maroc ; Tome 1 : Stratigraphie ; Tome 2 : Paléontologie (en collaboration avec Marie P. pour les Foraminifères ; Roger J. pour les Pectinidés ; Ranson G. pour les Ostréidés et Vigneaux pour les Bryozoaires). Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc, N° 99 ; 525 p.

<sup>109</sup> Lecointre G. (1962) : Recherches sur le Néogène et le Quaternaire marins de la côte atlantique du Maroc ; Tome 3 : Les acquisitions nouvelles durant la période de 1952 à 1962 (Stratigraphie et paléontologie) ; il s'agit d'un supplément au mémoire n° 99 publié en 1952. Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc, N° 174 ; 80 p.

Pour ce qui est du Miocène, il en décrit les composantes dans la région de Rabat (de part et d'autre de l'oued Bou Regreg ; dans les Sehoul et dans les Zaers), puis dans la Chaouia (Fedala/Mohammedia, Casablanca, et Tit Mellil). L'auteur en donne l'âge précis dans la région de Rabat, où pour lui les marnes bleues et jaunes seraient du Vindobonien inférieur.

L'auteur aborde ensuite le Pliocène du Nord marocain avec un historique des recherches, puis une description des différents faciès et une description des gisements à Tétouan, la zone (dite internationale) de Tanger, le Rharb. Il décrit ensuite le Pliocène au Sud de la plaine du Sebou à Dar bel Hamri, dans le Territoire des Zemmour, Le Territoire des Sehoul et les Environs de Rabat.

Ensuite c'est au tour du Pliocène d'être décrit (Fig. 34) :

- Chez les Chaouia (Vallée de l'Oued Mellah (Aïn Cherichira) ; Tit Mellil-Casablanca, Bou Skoura et Mediouna).
- Chez les Doukkala (Faïd el Mâchet, Sidi Smaïne, Djemâa Sahim) et les Abda (Plateau du Tleta de Sidi Embarek, Safi, Djorf el-Ihoudi) ;
- Chez les Chiadma-Chtouka et les Hahas ;
- Enfin, d'Agadir à l'oued Draa, ainsi que les affleurements au Sud du Draa (à El Aïoun de la Seguiet el Hamra et à la Sebkhâ de Tah).

Vers la fin de cette partie, Lecointre donne un tableau général de la faune marine du Pliocène au Maroc qui comprend des Foraminifères, des Anthozoaires, des Echinodermes, des Bryozoaires, des Lamellibranches, des Gastéropodes, des Scaphopodes, des Crustacés, des Poissons et des Cétacés.

Le Chapitre suivant concerne une description brève du Calabrien – Villafranchien, qui serait nettement transgressif sur le Pliocène ancien (Plaisancien-Astien!) qui a été signalé notamment à l'oued Fouarat par Choubert et *al.* (1949)<sup>110</sup>, suite à des travaux pour les recherches d'eau, des sables jaunes, fins, dont les relations avec les sables pliocènes de l'oued el Arjat ne peuvent être que supposées, car la forêt de la Mamora masque leur contact. Dans le Villafranchien, les sables de la Mamora et les conglomérats rouges qui, tout autour de la plaine du Rharb, surmontent le Plaisancien-Astien marin (Conglomérats d'Arbaoua).

Lecointre a ensuite travaillé sur la période quaternaire qui, selon lui, bien que courte (environ un million d'années) présente un attrait particulier en raison, dit-il, de la naissance de notre espèce (les Hominidés) et l'auteur a cherché à établir une chronologie des différents événements. Pour cela il a utilisé toutes les disciplines en relation avec les Sciences de la Terre (Astronomie, Anthropologie, Archéologie

---

<sup>110</sup> Bourcart, Choubert G. & Marçais J. (1949) : Sur la stratigraphie du Quaternaire côtier à Rabat, C. R. Acad. Sci. Tome 228, pp. 108-109.

préhistorique et historique, stratigraphie marine et continentale, paléontologie, etc.). Finalement Lecointre a adopté pour ses recherches une hypothèse de travail selon laquelle «*les côtes marocaines se trouvent à la limite méridionale de la province lusitanienne. Il suffira d'une variation légère dans le sens (?) ou l'intensité des courants marins qui la frôlent, pour amener dans la faune marine côtière des changements notables, ceux-ci pouvant, dans une certaine mesure être utilisés pour asseoir une chronologie relative des sédiments fossilifères*».

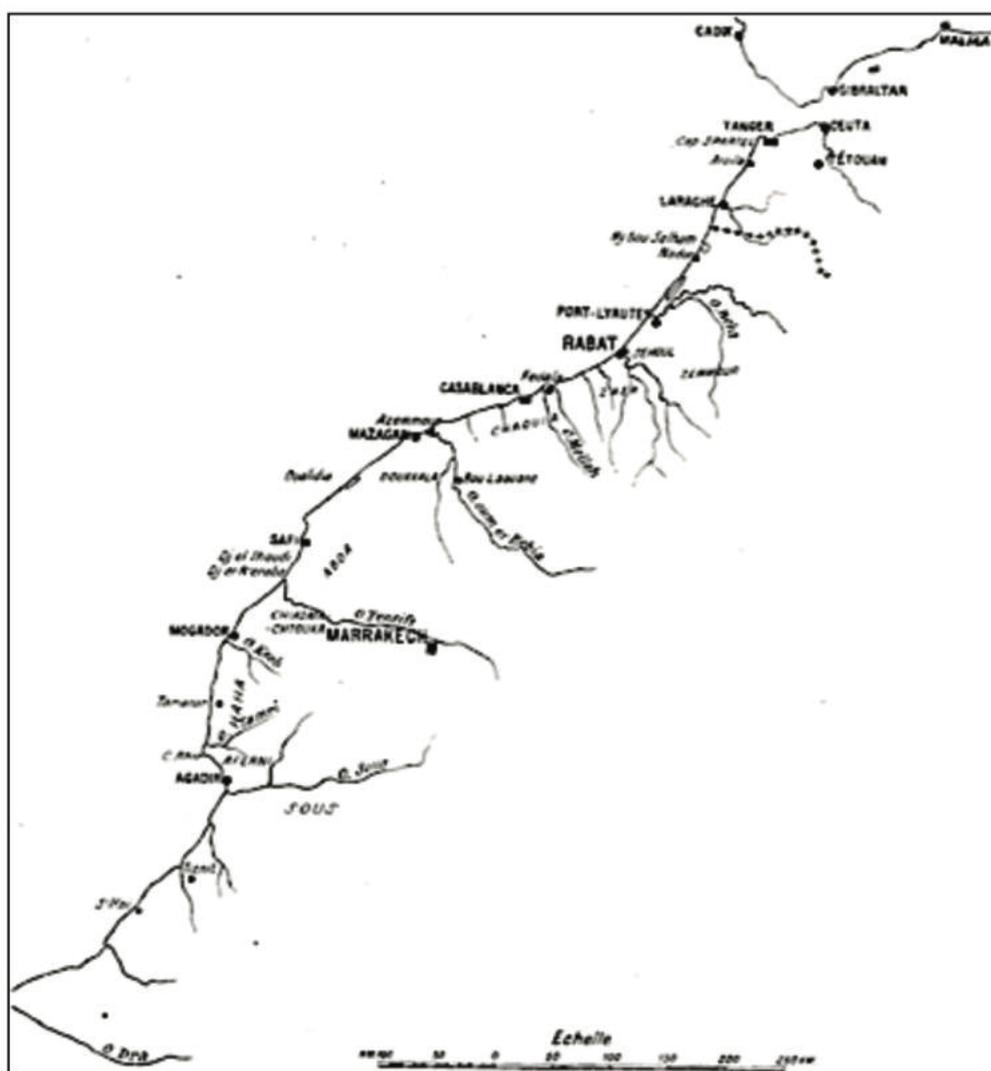


Figure 34 : Carte montrant la toponymie de la côte atlantique du Nord du Maroc (Lecointre, 1962)

### Georges Choubert

G. Choubert a occupé le poste de chef du Service de la carte géologique du Maroc ; il est ancien élève de Paul Fallot à l'Institut de géologie appliquée de Nancy. Celui-ci (Fallot) l'introduit au Maroc en tant que chargé de mission du Service des Mines et de la Carte géologique et s'intéressera, à partir de 1936, aux différents aspects

géologiques de l'Anti-Atlas. Par sa riche production scientifique (documents et cartes), il a contribué avec d'autres géologues (notamment Anne Faure-Muret) à l'amélioration des connaissances sur la géologie marocaine. On lui doit la réalisation et la coordination de la monumentale synthèse de la *carte géologique du Maroc* au 1 :500.000<sup>ème</sup> (en sept feuilles), dont il donne avec J. Marçais un schéma résumant les principales unités structurales du Maroc (Fig. 35).

G. Choubert a montré que le terme d'Anti-Atlas doit s'appliquer à l'ensemble de la chaîne qui s'étend de l'Atlantique au Tafilalt, dont il donne les caractéristiques dans le numéro 100 des Notes et Mémoires du service géologique, avec une carte en couleur reproduisant les principaux traits de ce domaine (Fig. 36)<sup>111</sup>.

Cette monographie, publiée dans un numéro spécial, traite de la géologie du Maroc et elle comprend deux parties :

- D'abord un aperçu structural que Choubert signe avec J. Marçais et dans lequel ils décrivent trois domaines structuraux qui sont du Sud vers le Nord : le domaine de l'Anti-Atlas, le domaine atlasique et le domaine rifain. Cette subdivision fait appel aux travaux les plus antérieurs, dont certains sont, selon l'auteur, inédits.
- Puis, l'histoire géologique du domaine de l'Anti-Atlas, où Choubert donne un historique succinct de l'exploration géologique de ce domaine. Cette histoire est décrite en trois chapitres : le Précambrien, le Paléozoïque et enfin l'évolution post-hercynienne de ce domaine. Dans cette partie, l'accent a été mis sur la reconstitution paléogéographique des différentes époques appuyée par de nombreuses cartes paléogéographiques. Une carte des différentes directions structurales est également fournie dans ce document (Fig. 37).

Des travaux importants ont été présentés par G. Choubert et A. Faure-Muret (1970) au Colloque international sur les corrélations du Précambrien, sous forme de Livret-guide de l'excursion dans l'Anti-Atlas occidental et central (avec la collaboration de plusieurs géologues du Service géologique du Maroc), dans le cadre de ce colloque<sup>112</sup>.

Cet ouvrage est subdivisé en trois parties :

---

<sup>111</sup> Georges Choubert (1952) : Géologie du Maroc ; Fascicule 1 : Aperçu structural (en collaboration avec J. Marçais) ; Fascicule 2 : Histoire géologique du domaine de l'Anti-Atlas. Notes et Mémoires du Service Géologique- N°100 ; 194 p.

<sup>112</sup> Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc, N°229

- La première donne un aperçu général des systèmes successifs du Précambrien de l'Anti-Atlas ; qui comprend les principales subdivisions du Précambrien et les grandes lignes architecturales ;
- La deuxième est consacrée à la description de l'itinéraire de l'excursion ;
- La troisième, enfin, réunie d'autres données géologiques sur le Paléozoïque, l'évolution morphologique de l'Anti-Atlas, le Quaternaire (formations et paysages traversés entre les affleurements du Précambrien).

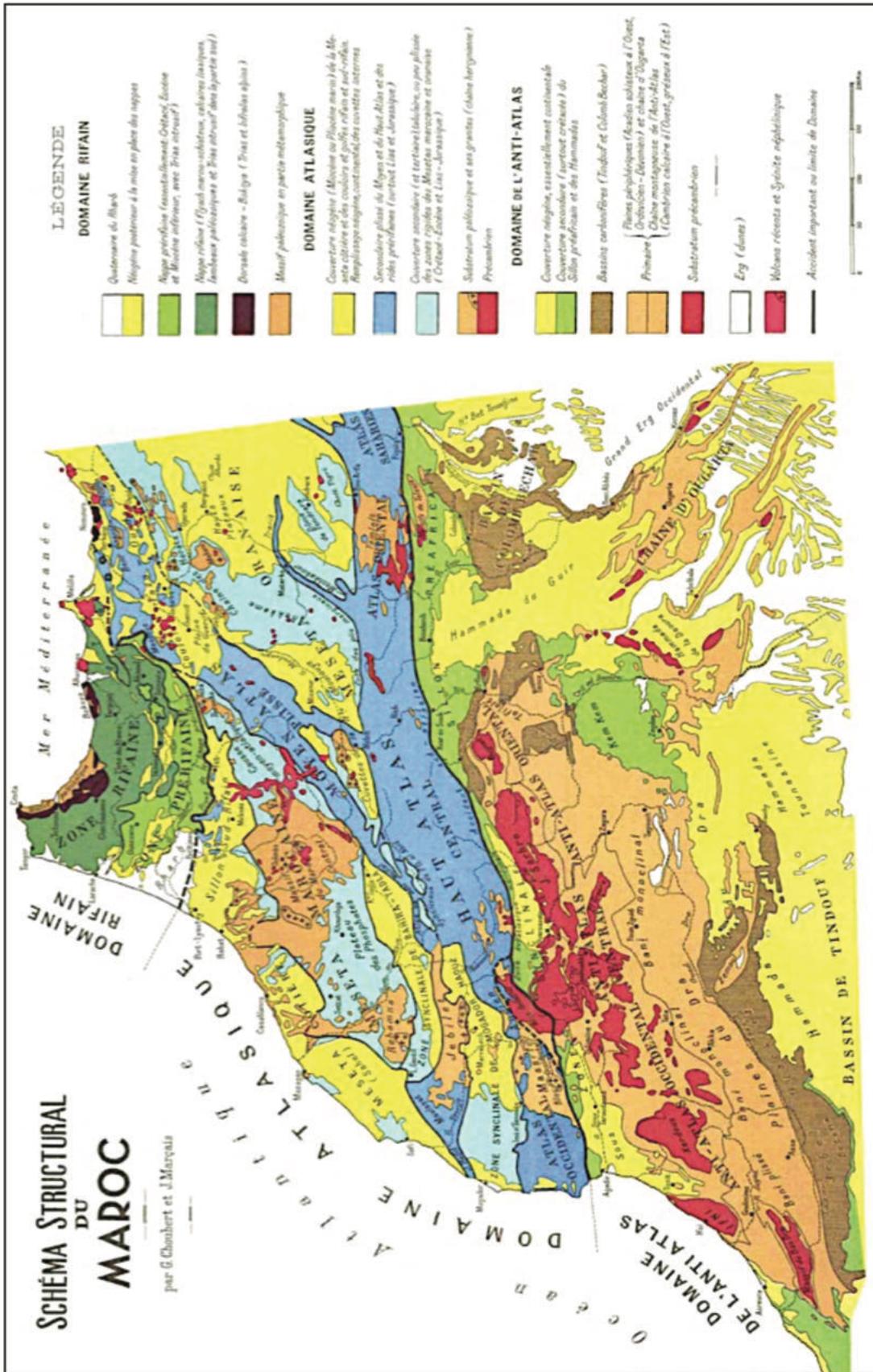


Figure 35 : Carte illustrant le schéma structural des provinces nord du Maroc (G. Choubert & J. Marçais, 1952)



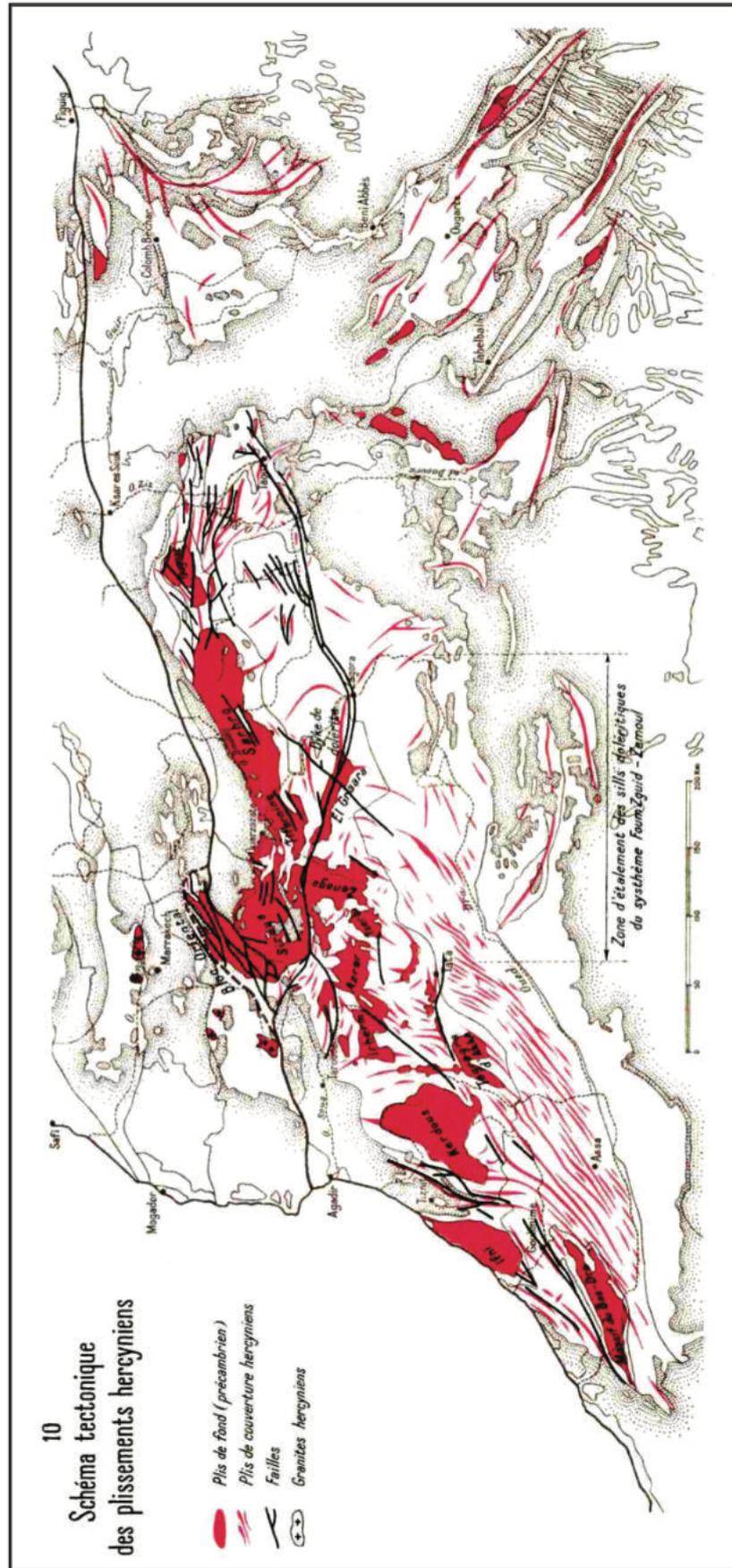


Figure 37 : Carte des directions du plissement hercynien dans l'Anti-Atlas (G. Choubert 1952)

## **Deuxième partie**

### **Le rôle de l'Institut Scientifique dans l'évolution des connaissances en Sciences de la Terre**

## Le début de la géologie à l'Institut scientifique

### Création et Vocation de l'Institut Scientifique Chérifien<sup>113</sup>

C'est au Professeur/Géologue Louis Gentil, en 1913, que revient l'idée de proposer à l'Administration du Gouvernement Chérifien la création d'un Institut dont la vocation devait être l'organisation des recherches nécessaires à l'exploration scientifique du Pays ; en d'autres termes : «*promouvoir et coordonner l'étude des Sciences Naturelles dont le Maroc physique est l'objet, indépendamment des travaux de l'histoire, d'archéologie, de linguistique, d'ethnographie et de sociologie qui sont du domaine des lettres. Bref, il s'agissait d'inaugurer, dans l'ordre des recherches marocaines, une section Sciences pour prendre place à côté de la section Lettres déjà existante*»<sup>114</sup>.

En 1919, le Docteur Jacques Liouville, un médecin naturaliste et explorateur français, a été envoyé en mission au Maroc, avec principale tâche l'organisation de la direction de cet Institut. Le 24 janvier 1920, fut créé l'*Institut Scientifique Chérifien* (ISC), par un Arrêté Viziriel. Un autre Arrêté du 6 mars 1921 précise les conditions de fonctionnement des services de l'ISC<sup>115</sup>.

Cet *Institut supérieur de recherche* était exclusivement consacré à l'étude des problèmes scientifiques relatifs au Maroc. Très en avance sur son temps, il fut placé sous le patronage de l'Académie des Sciences (de France). Les indications sur son origine, ses principes et les textes réglementaires relatifs à sa fondation dans le N° 1 du Bulletin de la Société des Sciences Naturelles du Maroc (1921).

Dès les premiers mois de création de l'ISC, la *Société des Sciences Naturelles du Maroc* est créée le 19 juin 1920. Le but de cette Société était de regrouper toutes les personnes qui s'intéressent aux sciences naturelles, en créant des liens entre les chercheurs travaillant sur le Maroc. Ses publications permettent de faire connaître les résultats des recherches. Enfin, à partir de 1951, furent créés les *Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien*. Cette Société était chargée de publier ces Travaux, ainsi que les travaux de ses membres, se rapportant à l'Histoire naturelle du Maroc, sous forme de trois types : le *Bulletin*, les *Mémoires* et les *Variétés scientifiques*.

<sup>113</sup> Devenu en 1975, *Institut Scientifique*, et relève depuis cette date de l'Université Mohammed V (la plus ancienne université au Maroc).

<sup>114</sup> Extrait du recueil sur l'Histoire de l'ISC (pour la période : 1912-1930), publié à l'occasion de l'Exposition Coloniale Internationale de Paris de 1931.

<sup>115</sup> L'article 2 de l'Arrêté Viziriel du 6 mars 1921 dit : «L'Institut Scientifique a pour objet d'effectuer toutes les recherches en matière de zoologie et parasitologie, anatomie comparée et anthropologie, botanique et phytopathologie, **géologie et minéralogie**, astronomie et météorologie, géographie physique et océanographie, physique et chimie appliquée, et tous travaux scientifiques d'ordre général susceptibles d'intéresser les différents services du Protectorat et l'économie du Maroc».

L'Institut Scientifique était (et est toujours) doté d'un Muséum (*Muséum National d'Histoire Naturelle*), alimenté par les récoltes des naturalistes de l'établissement et par les dons de personnes s'intéressant aux sciences naturelles. Ainsi l'ISC a réussi à constituer une collection géologique et paléontologique, sans équivalent au Maroc, comprenant notamment les importantes collections de Louis Gentil qu'il avait réuni pendant ses vingt années de recherche sur le Maroc. Il est également doté d'une Bibliothèque (possédant plusieurs branches thématiques) ; celle-ci représentait une partie de la Bibliothèque générale du Protectorat et s'était constituée à ses débuts par des legs et des dons (Louis Gentil avait complété ces dons par toute une série de volumes sur la géologie générale). Pour ces deux composantes (bibliothèque et musée), l'ISC n'a jamais eu suffisamment d'espaces pour exposer tout le contenu dont il dispose.

L'historique de l'Institut Scientifique Chérifien atteste son importance, dès sa création, dans la visibilité scientifique du Maroc à l'échelle internationale. Les grandes lignes de cette politique scientifique sont dictées dans la conférence qu'avait donnée son directeur le 7 décembre 1922 au «*Congrès des Hautes Études Marocaines*», au titre de la Participation de l'Empire Chérifien aux Assemblées du Conseil International de Recherches Scientifiques, sous le titre : *Le Maroc et la recherche scientifique contemporaine* ; et où la candidature du Maroc, en tant que Membre du Conseil était demandée.

Par cette action, il s'agissait de défendre le Maroc pour son indépendance scientifique, au sein du Conseil International de Recherches. Tous les appuis ont été en faveur du Maroc pour cette candidature d'autant plus qu'elle reposait sur le fait que le Maroc avait son Institut de recherches qu'était *l'Institut Scientifique Chérifien*.

Le Docteur Jacques Liouville, écrivait à ce sujet : «La création de l'Institut Scientifique Chérifien par arrêté Viziriel, l'existence de la Société des Sciences naturelles du Maroc et la diffusion des Archives scientifiques du Protectorat, dont beaucoup de membres présents avaient reçu et apprécié les publications, rendirent l'admission du Maroc sans difficulté, grâce aussi au haut appui du Président M. Emile Picard, secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, et de M. Charles Lallemand, membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes, qui suivent notre effort intellectuel au Maroc avec une attention soutenue et qui nous secondèrent comme à Rome»<sup>116</sup>.

---

<sup>116</sup> Jacques Liouville (1923) : *Le Maroc et la recherche scientifique contemporaine* (Participation de l'Empire Chérifien aux assemblées du Conseil International de Recherches Scientifiques de 1922) ; *Variétés scientifiques recueillies par la Société des Sciences naturelles du Maroc*, Tome 1, N° 1 du 1<sup>er</sup> octobre 1921 ; 59 p.

L'initiative venait du Général Hubert Lyautey (Résident général du protectorat français au Maroc) qui a consenti le caractère *d'office chérifien pour les recherches scientifiques* à cette institution de Rabat ; cela a bien sûr permis au Maroc de siéger désormais au Conseil International de Recherches. L'Institut Scientifique Chérifien obtient alors l'autonomie scientifique pour ses attributions. Cette initiative a permis de constituer un **Comité National Scientifique**<sup>117</sup> sous la direction, pour la géologie, de Louis Gentil. Il était aussi précisé que «*ce Comité devait comprendre que des hommes de Science ou des techniciens reconnus, et dont l'ensemble pourrait très utilement être compris dans le Conseil de Perfectionnement de l'Institut Scientifique Chérifien, déjà existant*»<sup>118</sup>.

Dans le premier rapport général sur l'Institut Scientifique Chérifien<sup>119</sup>, son directeur (Jacques Liouville) donne l'organigramme de l'établissement, et où la géologie est regroupée dans les sciences géophysiques (géologie, météorologie et océanographie), avec trois chercheurs nommés chef de chacun des services ; un chef de travaux ; un préparateur et une secrétaire archiviste. Cet organigramme comprenait aussi un Conservateur du Muséum National d'Histoire Naturelle et dont l'équipe était composée d'un assistant, d'un chef de travaux, d'un préparateur et d'un photographe préparateur.

### **Le Service géologique**

Le Service de géologie est le plus ancien de l'ISC, grâce notamment à l'importante dynamique de son initiateur Louis Gentil, qui avait créé en 1907 un Laboratoire de Géologie à Marrakech et qui se retrouvera, dès la création de l'ISC, incorporé à celui-ci. Toute l'exploration géologique du Maroc avait été faite par son chef (Louis Gentil) et ses élèves ou collaborateurs. Après la création de l'ISC, Louis Gentil était le Conseiller technique de cet établissement.

Ce service a donc été créé à Rabat en 1920, d'abord pour organiser les locaux avec un laboratoire, une salle de collection (servant aussi de lieu de travail pour le géologue). En février 1921, le pharmacien major Rolland a été désigné pour assurer la fonction de géologue ; il avait une licence en sciences naturelles, mais il était élève du géologue Louis Gentil. D'ailleurs, c'est grâce à l'instigation de ce dernier (L. Gentil) que Mme Bergeron offrait à l'ISC l'entière bibliothèque de son défunt mari (J. Bergeron), pour constituer le premier instrument de travail, et non des moindres, du Laboratoire de géologie.

---

<sup>117</sup> Connu sous le nom abrégé de : «Comité Maroc».

<sup>118</sup> Selon la même conférence du Dr J. Liouville.

<sup>119</sup> Liouville J. (1921) : Rapport Général sur l'Institut Scientifique Chérifien ; Variétés scientifiques recueillies par la Société des Sciences naturelles du Maroc, Tome 1, N° 3 du 1<sup>er</sup> juillet 1923 ; 21 p.

La rétrospective des faits et événements historiques permet de constater que lors la création de l'ISC, on ne disposait malheureusement pas encore d'un vrai géologue ; la première personne en charge de cette tâche était un pharmacien, qui fût souvent retenu par des services hospitaliers, du reste très absorbant en ces temps et donc la géologie a été relayée au second degré. Les seules recherches qui ont pu être entreprises se faisaient dans les environs immédiats de Rabat, fort probablement en randonnées de week-end, dans la vallée de l'oued Bou Regreg et aussi sur les falaises bordant l'océan atlantique, au voisinage de l'hôpital militaire Marie-feuillet où a été découvert un important gisement de mammifères fossiles, dont Rolland a fait une communication à la Société des Sciences naturelles du Maroc. C'est ainsi qu'il a pu extraire à proximité du Sémaphore des Oudayas, les restes d'une faune contemporaine de l'âge du Renne (Quaternaire moyen). Ces restes fossiles ont été déposés dans la collection de l'ISC avec d'autres échantillons (roches et fossiles) ramenés par des explorateurs ou des amateurs (tel que Dr Russo) et donc pu accroître la future collection minéralogique et paléontologique de l'Institut.

Les travaux de la géologie à l'Institut Scientifique Chérifien ont démarré très timidement, en raison de la spécialité du premier chef du service de géologie (un militaire : pharmacien major de 2<sup>ème</sup> classe). Cependant, ce dernier est vite reparti en France (1924) et c'est Louis Gentil (chef de la mission géologique permanente) qui en reprend les commandes jusqu'à sa mort (en 1925). Plusieurs missions ont eu lieu pendant cette période, particulièrement celle de George Lecointre qui a travaillé sur la Meseta marocaine occidentale et qui a publié plusieurs cartes et mémoires (notamment le mémoire sur la Chaouïa, par la Société des Sciences Naturelles du Maroc). C'est ensuite Jacques Bourcart qui a repris l'étude du Maroc comme chef de la Mission permanente, depuis 1926.

Dans le cadre de la présentation de l'avis de l'ISC, à la conférence internationale de Bruxelles relative au «*problème de l'eau en campagne*», le Laboratoire de géologie a réalisé un certain nombre d'essais sur des échantillons de limonites et aussi sur des échantillons d'eaux (pour vérifier la potabilité et la minéralisation de celle-ci). Le géologue devait ressortir le rôle prépondérant qui lui avait été conféré en matière d'hydrologie appliquée à l'alimentation en eau des agglomérations urbaines par le Comité consultatif de l'Hygiène publique de France.

A la fin de l'année 1953, l'ISC comprenait que trois chercheurs en géologie ; un Musée de minéralogie, de pétrographie et de paléontologie marocaine<sup>120</sup>. Mais il semblerait que la recherche dans ce domaine n'avait pas vraiment pris son envol.

---

<sup>120</sup> Bulletin de l'Enseignement Public au Maroc, numéro spécial consacré à la séance annuelle du Comité Franco-Marocain de la recherche scientifique, tenue à Rabat le 3 novembre 1953.

En examinant un numéro spécial<sup>121</sup>, hors-série, du Bulletin de l'enseignement public au Maroc consacré à la séance annuelle du Comité Franco-Marocain de la recherche scientifique, tenue à Rabat le 3 novembre 1953, le Directeur de l'ISC du moment (Dr. Louis Pasqualini) affirmait que son Institut «*devait apporter le maximum d'aide à tous les chercheurs quels que soient les services auxquels ils appartenaient*».

A cette époque-là, l'ISC avait des liens de coopération très étroits avec le Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris ; et que des chercheurs de ce dernier venaient, chaque année, effectuer des missions de recherche pour le compte de l'ISC. Pasqualini insistait aussi sur la nécessité de posséder des collections aussi complètes que possible dans un pays comme le Maroc ; cette tâche était considérable. C'est pourquoi, déjà en 1953, l'ISC était employé à enrichir ses collections et à les entretenir (Fig. 38).

L'ISC avait aussi une importante bibliothèque scientifique, avec des ouvrages remontant jusqu'au milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, et qui s'enrichissait au fur et à mesure grâce aux achats, aux échanges (à travers la Société des Sciences naturelles du Maroc qui éditait un bulletin, des mémoires et aussi les travaux de l'ISC), aux abonnements à de nombreux périodiques internationaux, et parfois aussi grâce aux dons.

Ce *Service*, devenu plus tard **Département de Géologie** (1980), a connu plusieurs géologues qui ont appartenu à l'ISC, soit comme permanents, soit comme chargés de mission ou travailleurs libres. En outre, le Service de physique du globe et de météorologie, fondé à Casablanca par le Dr Liouville en 1933, a joué un rôle fondamental dans les recherches de météorologie, d'océanographie et de séismologie au Maroc et a travaillé en étroite collaboration avec le Service de Géologie. Outre l'observatoire Averroès (à Berrechid – Sud de Casablanca), une station séismologique a été créée à Ifrane et une autre à Tiouine (près de Ouarzazate). Enfin, en 1949, fut créé le Laboratoire de Géographie Physique ; celui-ci a joué un rôle très important dans l'établissement de l'Atlas du Maroc.

La marocanisation des cadres a commencée par l'autonomie (retrouvée) de l'Institut Scientifique en 1975, avec en plus son affiliation à l'Université Mohammed V (seule université marocaine en ces temps) ; elle a permis le recrutement des plusieurs chercheurs marocains, tous fraîchement diplômés soit de l'Université Mohammed V, soit des universités françaises. Ils ont continué, avec ferveur et dévouement, le développement des recherches dans le domaine des Sciences de la Terre, d'abord par un supplément de formation et de diplômes (notamment des thèses d'état), grâce la coopération internationale. Ces diplômes leur ont permis ensuite de graver les échelons administratifs, ajoutés à une bonne formation de base

---

<sup>121</sup> Id. op. cit.

les habitant, à leur tour, de diriger et d'encadrer de jeunes étudiants dans le cadre de la formation doctorale (dite de 3<sup>ème</sup> Cycle universitaire).



Figure 38 : La salle du Musée de l'Institut Scientifique Chérifien (en 1953), actuellement nommée : Salle des Oiseaux, et qui servait aussi de salle de réunions.

## La production scientifique de l'Institut Scientifique Chérifien

### 1. Présentation

Cette production a débuté dès la création de l'ISC, grâce à la création de la Société des Sciences Naturelles et Physique du Maroc (SSNPM), chargée justement de promouvoir les recherches scientifiques au Maroc<sup>122</sup>. Ces publications peuvent être subdivisées en deux périodes :

La première, entre 1920 et 1975, concerne la publication de :

- Bulletin de la Société des Sciences naturelles et physiques du Maroc, avec la production en moyenne d'un Tome par année ;
- Les Mémoires de la Société des Sciences naturelles du Maroc (de 1920 à 1963) ;
- Les Mémoires hors-série ; les Comptes rendus des séances de la SSNPM (1935-1971), avec la production d'un Tome par année ;
- Les Variétés Scientifiques recueillies par la SSNPM (1921-1960) ;
- Travaux de la section de pédologie de la SSNPM ;
- Annales du Service de Physique du Globe et de Météorologie de l'Institut Scientifique Chérifien (1936-1963) ;
- Enfin, les Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien, avec la production de cinq séries spécialisées dont une nommée « Série géologie et géographie physique », non périodique et ayant permis la publication de 14 numéros (entre 1951 et 1968).

La deuxième, à partir de 1975, date à laquelle l'établissement devient *Institut Scientifique* et rattaché à l'*Université Mohammed V*, connaît la création de nouvelles séries tout en maintenant les Travaux de l'Institut Scientifique. Il s'agit particulièrement de :

- Bulletin de l'Institut Scientifique (série générale, multidisciplinaire), entre les années 1976 et 2000 ;
- Ce Bulletin connaît à partir de 2001 une spécialisation et c'est ainsi qu'ont été créées deux sections en fonction de la vocation de l'ISC : sections *Sciences de la Vie* et *Sciences de la Terre* (disponibles en accès ouvert), prolongent la série pluridisciplinaire ; la qualité du contenu scientifique de ce bulletin, sa large diffusion à l'international, ses citations et aussi son lectorat ont permis dès 2010 d'indexer la section Sciences de la Terre.

---

<sup>122</sup> Le détail des publications relatives à la géologie dans les revues de l'Institut Scientifique depuis sa création sont analysées dans le document du centenaire de cet établissement par l'auteur. Voir Document de l'Institut Scientifique N°33-2020.

- Les Travaux de l'Institut Scientifique sont la suite logique des Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien, comprenant aussi plusieurs séries (Botanique, Zoologie, Géologie et Géographie physique). L'Institut Scientifique a aussi une série dite générale (pluridisciplinaire), ainsi que des volumes hors-série (partiellement à accès ouvert) qui sont publiés occasionnellement ;
- Enfin, les Documents de l'Institut Scientifique qui ont fait leur apparition depuis 1977 ; au départ il s'agissait de publier des rapports d'observations ornithologiques, puis à partir de 2004 des catalogues et listes bibliographiques, résumés de colloques, des livrets guide des excursions. Leur distribution est limitée, et ils sont à accès ouvert, sur le site de l'établissement, pour les derniers volumes parus.

En consultant la liste des ouvrages, mentionnés dans le livre jubilaire des 25 premières années de l'Institut Scientifique Chérifien, on constate le faible nombre des documents dédiés aux sciences de la Terre, par rapport à ceux des autres sciences (notamment les sciences de la vie). La Société des Sciences naturelles du Maroc a édité, depuis sa création en 1921 jusqu'à 1945 quelques *mémoires*, soit cinq pour la géologie et trois pour la géophysique (par Georges Roux, une sorte de Rapports/Mémoires annuels consacrés à la Physique du Globe et à la Météorologie du Maroc ; 1932, 1933 et 1937).

Les Communications (*orales et écrites*) relatives à la géologie, publiées dans les Bulletins de la Société des Sciences Naturelles du Maroc (1921-1975) et/ou dans les Comptes rendus des Séances de la Société des Sciences Naturelles du Maroc (1935-1971) sont au nombre de 27 et dont la liste est donnée dans le document N°33-2020 de l'ISC<sup>123</sup>.

La série des bulletins a continué son apparition, avec généralement un Tome par année jusqu'à 1975. Les communications ayant trait à la géologie sont relativement plus nombreuses du fait de l'étroite collaboration des chercheurs de l'ISC avec ceux du Service Géologique du Maroc d'une part, et du fait que beaucoup de chercheurs étrangers s'intéressaient au Maroc, d'autre part ; et ce en raison de la grande diversité des affleurements de la géologie du Maroc. A côté du Bulletin, la Société des Sciences Naturelles du Maroc avait introduit, depuis 1935, la publication des Comptes Rendus des Séances de cette Société ; ce qui allait enrichir le patrimoine documentaire de l'ISC et le relever au rang des Instituts les plus prestigieux de la Région ouest méditerranéenne.

---

<sup>123</sup> El Hassani A. (2020): Évolution des sciences géologiques à l'Institut Scientifique ; Ouvrage publié à l'occasion du Centenaire de création de l'Institut Scientifique 1920 – 2020 ; Document de l'ISC N°33 ; 121 pages.

Il serait prétentieux de faire ici un bilan global de ces *bulletins* et *Comptes Rendus*, mais on peut présenter les résultats importants, cependant selon notre estimation, de quelques publications remarquables.

La tectonique et la géodynamique du globe terrestre n'ayant pas encore pris leur envol en raison de l'adoption tardive (1968) de la théorie de la dérive des continents (tectonique des plaques); ce sont alors les travaux de **stratigraphie** et de **paléontologie** qui dominaient les recherches et publications géologiques. Ces dernières concernaient tous les âges (du Précambrien et surtout du Paléozoïque au Quaternaire), avec souvent d'importantes découvertes sur le territoire marocain. On citera les travaux de Jacques Destombes, Solange Willefert et Henri Hollard (pour le Paléozoïque inférieur et le Dévonien), dont les principales références bibliographiques sont citées dans leur synthèse de 1985<sup>124</sup>. On peut aussi citer les travaux de Berthelemy (1955)<sup>125</sup> sur le Quaternaire marin océanique du Maroc et ceux de Biberson (1956)<sup>126</sup>. Ce dernier développa la chronologie du Quaternaire côtier marocain dans un essai de corrélation entre le Quaternaire côtier marocain, les pluviaux africains et les glaciations alpines; et la place des industries préhistoriques dans ce cadre.

Les recherches dans le Paléozoïque étaient très importantes à cette époque parce qu'elles étaient liées aux travaux miniers et à l'obligation de connaître le cadre géologique pour une bonne exploitation minière. Bien sûr beaucoup de travaux ont été publiés dans les Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc et certains résultats ont été annoncés lors de communications au niveau de la Société des Sciences Naturelles du Maroc et donc publiées dans les Comptes rendus de cette dernière.

A titre d'exemples, nous citerons Jacques Destombes (1960)<sup>127</sup> qui parle de l'extension de l'Ordovicien inférieur (Trémadoc) dans le Sud marocain. En effet, le Trémadoc qui était mentionné jusqu'ici seulement en un point du Sud marocain (dans le Bani central) venait d'être caractérisé par des faunes à *Dictyonema* et des trilobites qui s'étagaient à divers niveaux; 1. dans l'Anti-Atlas central, sa puissance est sans doute supérieure à 300 m; il s'agit surtout de Trémadoc moyen et supérieur; 2. dans le Tafilalt, à 150 km plus à l'Est, où il est caractérisé par une faune à *Bryograptus* du Trémadoc supérieur; il y est beaucoup moins épais. Ces variations d'épaisseur

<sup>124</sup> Destombes J., Hollard H. & Willefert S. (1985): Lower Palaeozoic rocks of Morocco; in Lower Palaeozoic of north-western central Africa, Edited by C. H. Holland 1985 John Wiley & Sons Ltd, pp: 91-336.

<sup>125</sup> Berthelemy A. (1955) : Le Quaternaire marin océanique du Maroc. *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 21, N° 8. pp. 134-135.

<sup>126</sup> Biberson P. (1956) : Chronologie du Quaternaire côtier marocain. *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 22, N° 1, pp. 33-36.

<sup>127</sup> Destombes J. (1960) : Sur l'extension du Trémadoc dans le Sud marocain. *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 26, n° 3, pp. 45-47.

révèlent, selon Destombes, de l'existence d'une fosse de subsidence NW-SE qui aurait commencé à s'individualiser après l'Acadien moyen et avant le Trémadoc moyen, ce changement paléogéographique étant sensiblement contemporain de la **phase tectonique sarde**.

C'est aussi les importants travaux en paléontologie de Henri Hollard (du Service géologique du Maroc)<sup>128</sup> et de Lucienne Rousselle (ISC-Faculté des Sciences de Rabat) qui ont fait d'importantes découvertes permettant de mieux dater les séries stratigraphiques du Dévonien (Hollard) et du Jurassique (Rousselle)<sup>129</sup>. Hollard décrivait la base du Dévonien du Sud marocain où il a trouvé des trilobites du genre *Phacops* dont le céphalon présente des caractères constants, notamment pour la forme de la glabelle, l'anneau intercalaire et l'ornementation. Si ces caractères se retrouvaient chez des *Phacops* éo-dévonien dans d'autres régions du globe, ce que l'auteur suggérait de rechercher, on aurait là un moyen simple de reconnaître ce niveau stratigraphique.

Pour le Secondaire, le géologue espagnol Candel Vilar R. (1931)<sup>130</sup> décrit les formations secondaires du Maroc oriental. Ensuite, c'est Lucienne Rousselle qui évoque une Rhynchonelle du Dogger du Djebel Msedrid (Haut Atlas de Midelt). Elle a utilisé les méthodes d'investigation externes et internes des auteurs anglais, pour compléter la description d'une espèce marocaine *Rhynchonella* (*Sphenorhynchia* ?) cf. *zraigensis* Daresté, dont les affinités génériques sont ébauchées dans le cadre de la nouvelle systématique.

Dutuit (1970)<sup>131</sup>, donne quelques aspects techniques des recherches sur les Vertébrés triasiques de l'Atlas occidental. Il s'agit d'un bref historique de la découverte de ces faunes, de la présentation des affleurements et d'un exposé des techniques de prospection, de fouille et de préparation du matériel mises en œuvre. Le panorama de la faune recueillie est : dipneustes, Actinoptérygiens, reptiles (Phytosaures, Dinosaurés prosauropodes, Théropodes, Dicynodontes), amphibiens (avec une richesse exceptionnelle, en Métoposauridés).

D'autres recherches, très importantes pour la connaissance des Hominidés et de leurs outils paléolithiques, ont été entreprises par les chercheurs de l'ISC ou d'autres qui

---

<sup>128</sup> Hollard H. (1960) : Quelques caractères des phacopinés éodévonien du Maroc présaharien. *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 26, pp. 42-44.

<sup>129</sup> Rousselle L. (1960) : A propos d'une Rhynchonelle du Dogger du Djebel Msedrid (Haut Atlas de Midelt). *B. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 40, pp. 269-273.

<sup>130</sup> Candel Vilar R. (1931) : Notes sur les formations secondaires du Maroc oriental espagnol. *B. Soc. Sci. Nat. Maroc*, Rabat, t. 11, N° 1-3. pp. 57-59.

<sup>131</sup> Dutuit J. M. (1970) : Quelques aspects techniques des recherches sur les Vertébrés triasiques de l'Atlas occidental. *B. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 50, pp. 9-25.

leur sont associés. Il s'agit de Biberson (1953)<sup>132</sup>, qui évoque dans les Comptes rendus la découverte d'une grotte à remplissage pléistocène à la carrière de Sidi Abderrahmane, près de Casablanca. Ensuite le même auteur (Biberson, 1954)<sup>133</sup> étudie le Paléolithique des regs du Dra inférieur et en donne un aperçu géographique et géologique. Pour cet auteur la pebble-culture évoluée du Dra inférieur appartiendrait à la fin du premier pluvial post-villafranchien.

Cependant dans cette branche, qu'est la paléontologie des Hominidés, les travaux d'Emile Ennouchi restent les plus importants. Ce dernier, depuis son arrivée à l'Institut Scientifique Chérifien, s'est beaucoup investi dans ce domaine comme l'attestent ses nombreuses publications aussi bien à l'ISC qu'en dehors de cet établissement.

En 1962, **Emile Ennouchi**, qui était chercheur à l'ISC a fait d'importantes découvertes concernant les Hominidés anciens au Jebel Irhoud (Jébilet occidentales, Maroc), qu'il publia simultanément dans les comptes rendus et le bulletin de la Société des Sciences naturelles du Maroc, que dans les comptes rendus de l'Académie des Sciences de France<sup>134 - 135</sup>. Cette découverte fournit l'occasion de rappeler le phylum des primates et les caractères des Australopithéciens, des Pithécanthropiens et des Néandertaliens dont des restes étaient déjà connus à Tanger (M.S. Senyürek) et à Rabat (J. Roche) et auquel appartient l'Homme du jbel Irhoud. Au Maroc, l'Homme de Mechta lui succéda<sup>136</sup>.

Le crâne qui a été trouvé était associé à une faune de vertébrés du Paléolithique moyen, dans une argile de remplissage d'une cavité du calcaire géorgien (Cambrien moyen). Pour l'auteur, les traits primitifs (calotte surbaissée, arcade sourcilière proéminente formant un bourrelet continu énorme, prognathisme, absence de fosse canine, voûte palatine très vaste, macrodontie), les mensurations et ses indices, ce crâne se rapprocherait des Néandertaliens auxquels l'ensemble faunique semble également le fixer. Ennouchi donne dans une deuxième note la liste de la faune de mammifères associés, du Paléolithique moyen, avec la prédominance de ruminants. La description détaillée du crâne, qui est privé de sa mandibule : sa capacité crânienne est d'environ 1480 cm<sup>3</sup> et ses caractères le rapprochent de l'Homme de

---

<sup>132</sup> Biberson P. (1953) : Compte rendu de la découverte d'une grotte à remplissage pléistocène à la carrière de Sidi Abderrahman, près de Casablanca. *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 19, N° 5, pp. 79-82.

<sup>133</sup> Biberson P. (1954) : Stations paléolithiques des regs du Draa inférieur (Aperçu géographique et géologique). *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 20, N° 2, pp. 56-57.

<sup>134</sup> Ennouchi E. (1962) : L'homme d'Irhoud et ses origines. *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 28, n° 8, pp. 151-152.

<sup>135</sup> Ennouchi E. (1962) : Un crâne d'Homme ancien au Jebel Irhoud (Maroc). *C. R. Acad. Sci, Paris*. 13 juin, t. 254, N° 25, pp. 4330-4332.

<sup>136</sup> Ennouchi E. (1962) : Origine du Néanderthalien d'Irhoud. *B. Soc. Sci. Nat. & phys. Maroc*, t. 42, pp. 247-266.

Neandertal, de la Chapelle-aux-Saints ou de la Ferrassie, mais avec des différences qui semblent marquer une antiquité moins grande,<sup>137</sup>

En 1969, le même Ennouchi publia d'autres découvertes dans le jbel Irhoud<sup>138</sup>. Il s'agit d'une mandibule d'enfant néanderthalien découverte en 1968, relativement petite, avec des caractères nettement néandertaliens (symphyse verticale, reliefs marqués sur les branches montantes et horizontales, renflement du bourrelet basilaire par suite de la présence de dents embryonnaires de grande taille) ; son examen radiographique montrait que la succession des dents chez les Néandertaliens diffère de celle des enfants actuels. L'auteur concluait qu'on pouvait la rapporter à un individu de sept ans. Quant aux dents, elles présentent également des caractères néandertaliens.

Auparavant Ennouchi s'était intéressé à d'autres groupes ; ce sont ses travaux sur Les mammifères du Quaternaire de Rabat (Ennouchi, 1948)<sup>139</sup> : Première liste d'animaux découverts dans des gisements nouveaux du Quaternaire des environs de Rabat : proboscidiens, périssodactyles, artiodactyles bunodontes et sélénodontes, des carnivores, et en outre deux formes de chéloniens (observations de C. Arambourg et J. Marçais).

Puis, en 1955, il découvre une défense géante dans les formations pléistocènes des environs de Rabat<sup>140</sup>. Parmi les ossements fossiles appartenant à *Elephas atlanticus maroccanus*, une défense de très grande taille (285 cm) a été découverte dans le Pléistocène moyen des environs de Rabat ; ses dimensions exceptionnelles la rattachent aux plus grands proboscidiens connus. En 1958 il découvre une deuxième défense géante d'*Elephas atlanticus* dans les environs de Rabat<sup>141</sup>. La coupe sommaire du gisement montre des difficultés de l'extraction de la défense qui, restaurée, mesure 2,90 m dans sa courbure extérieure avec un diamètre de 21,5 cm.

Enfin, Ennouchi (1968-69) publia dans le Bulletin de l'ISC la découverte d'un éléphant fossile au sud d'Agadir<sup>142</sup>. Il donne la description détaillée d'une molaire supérieure de *Loxodonta africana*, découverte dans une argile quaternaire à 8 km d'Agadir. L'Éléphant d'Afrique, dernière des espèces d'éléphants qui se sont succédé

<sup>137</sup> Ennouchi E. (1962) : Un Néandertalien : l'Homme du Jebel Irhoud (Maroc) *L'Anthropologie*. Paris, t. 66, n° 3-4, pp. 279-299.

<sup>138</sup> Ennouchi E. (1969) : Découverte d'une mandibule d'enfant néanderthalien au Jebel Irhoud. *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 35, pp. 19-21.

<sup>139</sup> Ennouchi E. (1948) : Les mammifères du Quaternaire de Rabat (Premiers résultats). *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, 11 mai, pp. 34-36 (Observations de C. Arambourg et J. Marçais).

<sup>140</sup> Ennouchi E. (1955) : Découverte d'une défense géante dans les formations pléistocènes des environs de Rabat. *B. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 35, pp. 125-130.

<sup>141</sup> Ennouchi E. (1958) : Découverte d'une deuxième défense géante d'*Elephas atlanticus* dans les environs de Rabat. *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 24, 6 mai, N° 5, pp. 100-101.

<sup>142</sup> Ennouchi E. (1968-69) : Présence d'un éléphant fossile au sud d'Agadir. *B. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 48, pp. 15-25.

au Maghreb et qui aurait vécu du Néolithique jusqu'à l'ère chrétienne. Cet éléphant avait une aire de répartition très vaste au Maroc, connue jusqu'à la latitude de Safi (ses figurations sur gravures rupestres mises à part) ; cette découverte montre que cette aire s'étendait vers le sud, au moins jusqu'à celle d'Agadir, confirmant l'émigration de certains individus à la recherche d'un habitat plus favorable.

D'autres chercheurs, travaillant à l'ISC ou sous sa tutelle, s'intéressaient à la pétrographie, c'est le cas de Puzenat (1948)<sup>143</sup> et de Gigout (1955)<sup>144</sup>. Le premier (Puzenat) décrit les minéraux du calcaire paléozoïque du Gueliz [où certaines citations de minéraux non courants ne seront admises qu'avec beaucoup de circonspection car leur détermination ne paraissait pas avoir été étayée sur des données suffisantes]. Le deuxième (Gigout) faisait, dans le Bulletin de l'ISC, la comparaison des cratères volcaniques entre le Lechmine n-Aït-el-Haj, très caractéristique, et le Lechmine Chreb-ou-Hrob [bois et va-t-en] ou «cratère du Michlifén». L'auteur révèle que les deux volcans ont eu des cratères d'explosion : après le dépôt de produits pyroclastiques et d'une mince coulée, des explosions ont volatilisé les deux volcans et une partie de leur substratum. Il les compare ainsi, au cratère du Pavin dans la chaîne des Puys et dans les Maars de Souabe et de l'Eifel (France).

C'est aussi le cas de Henri Termier (du Service géologique du Maroc) qui publia dans les Comptes Rendus de l'ISC une conférence donnée à Rabat. Il y a traité du massif granito-dioritique du Tichka (Haut-Atlas occidental) et des terrains encaissants. Il développa dans cette conférence la constitution pétrographique de ces roches, leur minéralisation<sup>145</sup> et enfin l'âge de leur mise en place. D'après lui, cette mise en place s'est faite au cours de l'orogénèse varisque/hercynienne, conclusion qu'il appuie par deux déterminations sur des granites à biotite ont donné  $318 \pm 10$  Ma, et  $305 \pm 10$  Ma.

Notons enfin, que les Comptes Rendus de l'ISC comportaient également des comptes rendus d'excursions communes aux différents services de l'ISC qui par ailleurs étaient complémentaires<sup>146</sup>. Ils comportaient aussi des données sur la sismologie du Maroc<sup>147</sup>, dont l'établissement était chargé à travers son Service de

<sup>143</sup> Puzenat L. (1948) : Les minéraux du Djebel Gueliz de Marrakech. *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, 10 juin, pp. 59-62.

<sup>144</sup> Gigout M. (1955) : Sur deux cratères d'explosion de la région du Michlifén (Moyen Atlas). *B. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 35, pp. 3-7.

<sup>145</sup> Termier H. (1971) : Le massif granito-dioritique du Tichka (Haut - Atlas occidental). *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 37, pp. 37-40.

<sup>146</sup> Anonyme (1962) : Excursion scientifique de la section «Jeunes Naturalistes» dans le Tafilalt. *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 28, 5-6, pp. 84-99. Compte rendu d'une excursion mixte (géologie, hydrologie, botanique, zoologie), dirigée par J.-P. Thauvin et J.-P. Ruhard.

<sup>147</sup> Anonyme (Service de physique du globe du Maroc) (1972) : Bulletin séismologique 1972. *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 38, pp. 88-89. Il s'agit d'une liste (avec la date, l'heure et l'intensité) des séismes ayant pris naissance au Maroc, dans l'Atlantique ou d'origine plus lointaine, ainsi que des

Physique du Globe. Ce dernier service s'intéressait à tous les mouvements du globe, comme en atteste d'ailleurs la publication de Debrach & Bidault (1952)<sup>148</sup> qui évoque l'enregistrement du tremblement de terre du Japon au Maroc sur ses magnétographes.

En faisant l'inventaire des produits de recherche que comprennent ces bulletins on peut constater que la majeure partie (+ de 80%) est consacrée à la zoologie, alors que la géologie représente une petite partie (moins de 10%) ; ceci est dû à notre avis à plusieurs facteurs : le premier est relatif au très faible nombre de chercheurs en géologie à l'Institut Scientifique Chérifien ou qui s'intéressent au Maroc pendant cette période ; le deuxième serait relatif à la création presque au même moment que l'ISC du Service Géologique du Maroc et qui avait beaucoup plus de géologues, ayant engendré plusieurs coopérations internationales (d'ailleurs les géologues de l'ISC eux-mêmes collaboraient étroitement avec ce Service). Enfin, ce dernier avait beaucoup plus de moyens financiers pour réaliser son plan d'action qui concernait la découverte du sol et sous-sol marocains, en plus de l'établissement de cartes géologiques à diverses échelles. Si en plus on considère les géologues qui travaillaient à plein temps ou partiellement, et qui ont publié dans ces bulletins on ne trouve que trois chercheurs :

- Rolland Alexis, pharmacien militaire, Il fut dès 1921, le premier chef du service de géologie à l'Institut scientifique chérifien ;
- Russo Philibert, Médecin militaire qui s'est intéressé parallèlement à la géologie, et publia dans ce bulletin bien avant de rejoindre l'ISC à partir de 1927, où il était chef du Bureau hydrogéologique de l'ISC,
- Ennouchi Émile, paléontologiste à l'ISC depuis 1947

On remarque aussi que Philibert Russo, rien qu'à lui, a fait 12/29 (soit + de 41%) des communications géologiques des bulletins (toutes écrites). Les notes de cet auteur touchaient aussi bien à la stratigraphie, à la paléontologie et à une tentative importante d'explication des plissements par la tectonique globale<sup>149</sup>.

## 2. Les mémoires de l'ISC (analyse des principaux ouvrages)

L'Institut Scientifique Chérifien éditait également «*Les Mémoires de la Société des Sciences naturelles du Maroc*». Dans ce sens, seuls cinq numéros ont été dédiés à la géologie<sup>150</sup>.

---

explosions, enregistrés par les stations sismographiques du pays. Un séisme a eu une intensité de 6 et huit ont eu une intensité de 5.

<sup>148</sup> Debrach J. & Bidault G. (1952) : Tremblement de terre du Japon enregistré au Maroc sur des magnétographes. *B. Soc. Sci. Nat. Maroc*, t. 32, pp. 3-9.

<sup>149</sup> Celle de la dérive des continents qu'avait évoquée, avant lui, Alfred Wegener en 1912 et que la communauté scientifique refusait d'admettre, même du temps de Dr Philibert Russo.

<sup>150</sup> Recherches géologiques dans la Meseta marocaine par Lecointre G. (1926) ; Recherches géologiques sur le Nord-Est du Rif par Russo P. & Russo L. (1929) ; Recherches sur les déplacements

On ne peut que constater la faible production pour la géologie dans les *Mémoires de la Société des Sciences naturelles du Maroc*. Il s'agit du mémoire de Georges Lecointre<sup>151</sup> ; de trois autres ouvrages de Philibert Russo et sa femme Léonine<sup>152</sup> ; et enfin d'un mémoire de Jacques Bourcart et Élisabeth David-Sylvain<sup>153</sup>.

Le travail de **Georges Lecointre** consistait, dès son premier séjour au Maroc en 1914, à cartographier et analyser les affleurements de la Meseta marocaine occidentale, auparavant étudiée par Louis Gentil. Ce mémoire intitulé : Recherches géologiques dans la Meseta marocaine, comprend en plus une carte géologique au 1 :200.000<sup>ème</sup>, (Fig. 39)<sup>154</sup>.

Dans la partie stratigraphique, l'auteur décrit la période cambrienne caractérisée par les schistes à *Paradoxides* de l'*Acadien*, surmontés par les psammites et quartzites d'El Hank, puis enfin par les schistes supérieurs. Vient ensuite ce qu'il a appelé les schistes de Bouznika, concordants sur les terrains antérieurs et qu'il rattacha au *Potsdamien*. L'auteur enchaîne ensuite avec la période silurienne, qui comprend l'*étage Ordovicien*, débutant par les psammites arénicoles avec dans la partie supérieure des intercalations de grès et de quartzites, des schistes roses et des bancs de minerai de fer. Vient ensuite l'*étage Gothlandien* (Silurien actuel) de la confluence des oueds Bou Regreg et Akrech (au sud-est de Rabat), dans la vallée de l'oued Cherrat et à Ain Marseta dans la vallée de l'oued Ed Dir. La série stratigraphique est représentée par les schistes «cartons» bitumineux à Graptolithes (Ain Merseta et Bou Regreg), puis à trilobites et lamellibranches (dans le Bou Regreg), des calcaires fétides pyriteux à Orthocères (oued Cherrat), des schistes avec nodules de calcaires noirs à Graptolithes et Orthocères (oued Cherrat) et des calcaires-marbres et dolomies grenues (carrières de l'oued Akrech et Bou Regreg). Lecointre date ces séries du Wenlock (probable) et du Ludlow.

---

tectoniques des aires continentales par Russo P. (1930) ; Essai d'une coordination tectonique de l'évolution de la Méditerranée par Russo P. & Russo L. (1933) ; et enfin, Étude stratigraphique et paléontologique des grès à Foraminifères d'Ouezzan au Maroc (Oligocène de Miocène inférieur), par Bourcart J & David-Sylvain E. (1933).

<sup>151</sup> Recherches géologiques dans la Meseta marocaine, 1926

<sup>152</sup> Recherches géologiques sur le Nord-Est du Rif, en 1929 ; Recherches sur les déplacements tectoniques des aires continentales, en 1930 ; Essai d'une coordination tectonique de l'évolution de la Méditerranée, en 1933

<sup>153</sup> Étude stratigraphique et paléontologique des grès à Foraminifères d'Ouezzane au Maroc, Oligocène de Miocène inférieur, en 1933

<sup>154</sup> Lecointre G. (1925) : Carte géologique provisoire des Chaouia-Nord, Arab et Zaer-Ouest au 1 :200.000<sup>ème</sup>. Service géographique du Maroc, Janvier 1925.

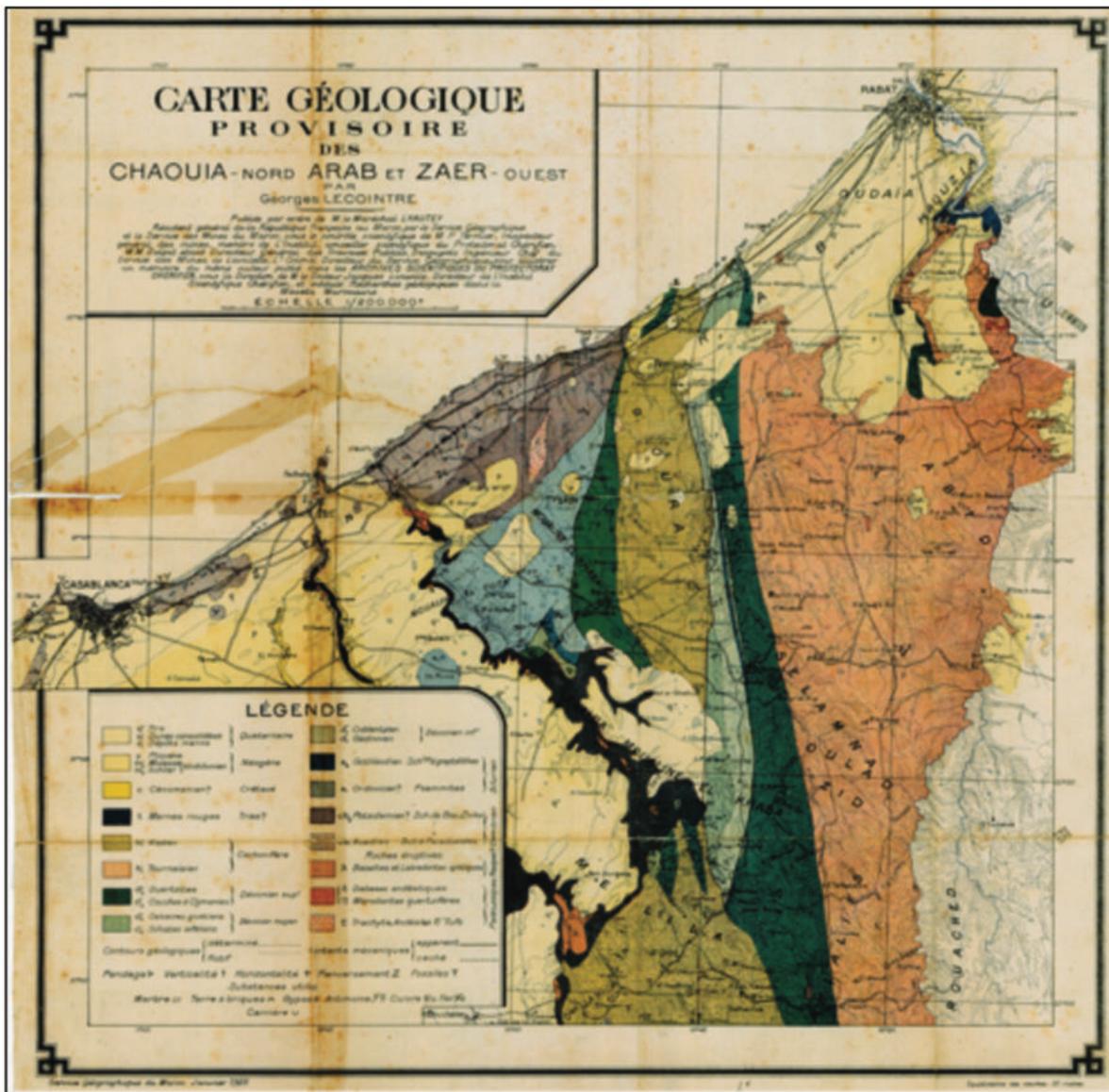


Figure 39 : Carte géologique provisoire des Chaouïa-Nord, Arab et Zaer-Ouest au 1 :200.000<sup>ème</sup> (dressée par G. Lecoindre). Service géographique du Maroc, Janvier 1925

Il semblerait, selon l'auteur, que la transgression gothlandienne ait causé une certaine unification des faunes marines, notamment les graptolithes qu'on retrouve apparemment dans toutes les mers du globe. La faune de trilobites contenue dans les schistes du Bou Regreg rappelle celle du Barrandien en Bohême (Tchéquie) et l'auteur de se poser la question : «*N'y a-t-il pas là, à l'extrême fin de l'époque gothlandienne, un rétablissement du régime de facile communication entre les mers anglo-scandinaves et les régions plus méridionales par la Bohême, tel qu'il existait au Cambrien et qui persistera au Dévonien inférieur ?*».

Pour la période dévonienne, l'auteur a choisi les affleurements de la vallée de l'oued Cherrat, dans une structure anticlinale N-S faillée, pour mieux décrire les coupes du Dévonien. La série commence par des niveaux schisteux à rares trilobites jusqu'au

Coblentzien (Emsien) suivi de faciès calcaires, le tout reposant apparemment, selon l'auteur, en discontinuité stratigraphique ; ce Dévonien inférieur présente des analogies avec celui de l'Europe méridionale. Puis c'est l'Eifelien schisteux que surmonte le Givétien récifal avec une riche faune récifale caractéristique de ce milieu. Le Dévonien supérieur est caractérisé par les quartzites de Skhirat qui marquent un passage vers le Carbonifère (zone d'Eutreuft).

La période Carbonifère est représentée ici par le Tournaisien qui affleure dans la zone de l'Oued Akrech, puis une épaisse série de schistes ardoisiers, schistes à grauwackes à *Spirifer tornacensis*, des grès et des diabases altérées du Viséen. On retrouvera dans cette monographie le détail des séries carbonifères par régions (oued Akrech, la région située entre oued Cherrat et l'oued Khellata, la région de Mdakra) avec chaque fois des coupes géologiques explicatives.

Cette série primaire a été pénéplanée, suite de sa déformation, par l'orogénèse hercynienne, puis en discordance angulaire se déposeront les séries du Trias (argiles rouges salifères), le Crétacé et enfin le Néogène (Miocène et Pliocène).

Le Quaternaire de la Meseta marocaine occupe une bonne partie de cette monographie ; Lecointre le décrit avec beaucoup de détail et on donnera, à titre d'exemple, sa description dans la région de Rabat où il dit : *«la ville de Rabat est bâtie sur des grès calcaires saccharoïdes entremêlés de très nombreux galets distribués irrégulièrement dans la masse ; mais devenant assez nombreux parfois, pour former de véritables lits de poudingues ou même de graviers sans ciment. La sédimentation entrecroisée est la règle. Les fossiles y sont généralement à l'état de moules sauf les Pecten et les Ostrea dont le test a résisté à la dissolution»*. L'auteur décrit le Quaternaire dans ses principaux affleurements (la plaine du Sebou, la côte atlantique du Maroc Nord) ainsi que le Quaternaire marin dans le Sud marocain.

Avant d'exposer la Tectonique de la région, ce mémoire décrit le volcanisme qu'a connu la région pendant le Cambrien, le Silurien et le Carbonifère ; et enfin le volcanisme triasique.

Contrairement à la stratigraphie, l'étude tectonique est sommairement évoquée. Lecointre commence par se poser la question à propos des mouvements calédoniens ! En se basant sur les travaux de Louis Gentil et de Philibert Russo, l'auteur avoue la difficulté de conclure sur de tels mouvements.

Pour l'auteur, les premiers mouvements de l'orogénèse hercynienne se font sentir dès le Dévonien supérieur. Ils se manifestent par l'ébauche de l'anticlinal de l'oued Cherrat ; ce qui se marque par la disposition de sédiments gréseux grossiers à traces de plantes avec une intercalation de niveaux conglomératiques à éléments du Givétien, *«laquelle prouve que ceux-ci ont été exposés à une forte action érosive*

*avant de voir leurs débris transportés par les eaux jusqu'au sein d'un sédiment arénacé du Dévonien supérieur».*

L'auteur dira qu'aucun géologue ne mettait en doute l'importance du rôle qu'ont joué les mouvements hercyniens au Maroc. Les couches sont souvent redressées à la verticale parfois même renversées, comme c'est le cas à Ain Kseb (oued Cherrat). Il donne (page 100) une carte montrant les directions tectoniques de toute la Meseta marocaine (Fig. 40).

Dans cet ouvrage, Lecointre développe le style tectonique en décrivant la nature des plissements ; il parle aussi des décrochements et des failles et contacts anormaux, qui touchent la Meseta marocaine, relatifs à l'orogénèse hercynienne.

Ce mémoire comprend aussi des appendices :

- Le premier est réservé à la paléontologie ; en effet, Lecointre y décrit les fossiles cambriens (surtout les Trilobites), les fossiles siluriens (des Trilobites, des Orthocères, des Graptolithes), les fossiles du Dévonien et du Carbonifère (des Trilobites, Orthocères, des Brachiopodes, ...) et enfin des fossiles du Néogène et du Quaternaire.
- Dans le deuxième appendice, on trouve une étude succincte de géologie appliquée où l'auteur traite des gîtes métallifères ; du problème de la houille ; et enfin, des eaux souterraines.

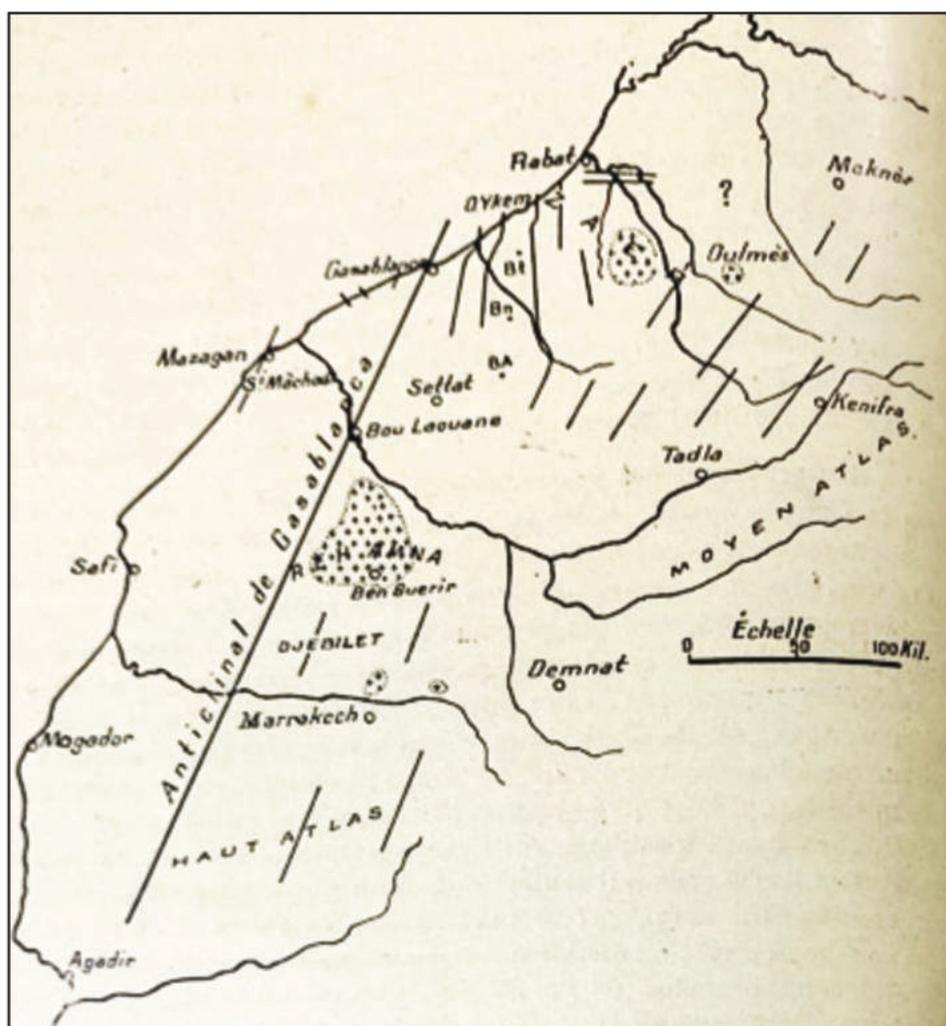


Figure 40 : Carte montrant les directions tectoniques hercyniennes (d'après Lecointre, 1925).

**Philibert Russo** avait une formation de médecin, mais s'était reconverti en géologue et arriva au Maroc en 1915 (en tant que militaire) pour faire des explorations sur la géologie marocaine.

Dans un premier temps, jusqu'en 1917, Russo va s'intéresser aux formations sédimentaires et éruptives de la chaîne hercynienne, mais surtout aux terrains mésozoïques et cénozoïques de sa couverture. Dans ses premières tournées, il sera accompagné d'un autre médecin militaire, R. Tussau, qui abandonnera rapidement la géologie. Tous deux publieront dès 1917 une première carte géologique (en couleur) du Maroc central (Fig. 41).

Russo publia, en 1921, dans un important ouvrage intitulé «La Terre marocaine» et travailla ensuite sur les hauts plateaux atlasiques. Son amour pour la géologie marocaine le pousse à présenter l'état des connaissances sur les terrains paléozoïques du Maroc au 13<sup>ème</sup> Congrès international de Bruxelles (de 1922, publications en

1925) avec une carte géologique où les grandes régions paléozoïques du Maroc de l'Ouest commencent à être bien perçues, en particulier pour le Maroc central, la Meseta côtière, les Rehamna et les Jébillet (Fig. 42). Sur cette carte la faille sud-atlasique est déjà bien individualisée ; il la nomme : *limite entre les pays péri-méditerranéens et les pays sahariens*.

C'est en 1927 qu'il rejoignit l'Institut Scientifique Chérifien pour occuper le poste de chef du Bureau Hydrogéologique et fonda le «*Comité d'études des eaux souterraines*». Il entame ensuite plusieurs recherches en géologie et il est le premier à montrer l'existence de nappes de charriage dans le Rif oriental.

En 1929, il publia alors son premier travail d'ensemble sur cette région à la suite de recherches effectuées entre 1925 et 1928.

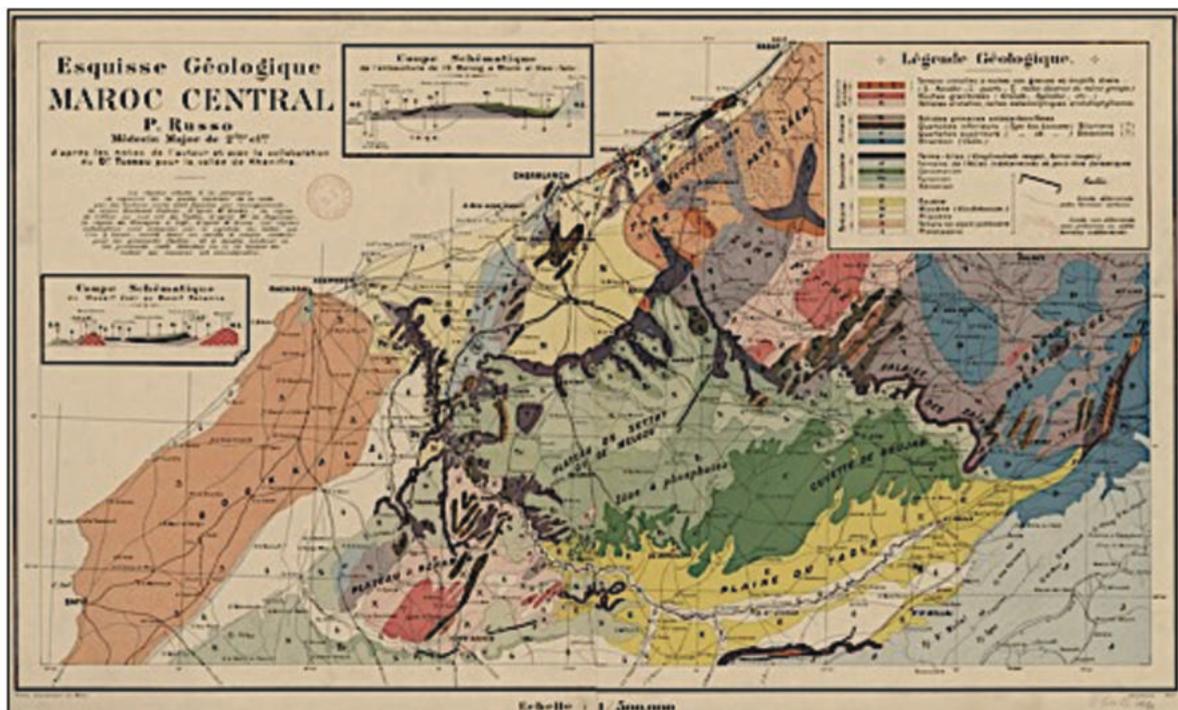


Figure 41 : Esquisse géologique du Maroc central au 1 :500.000ème (d'après Philibert Russo et Tussau R. ). Bureau Topographique du Maroc, Casablanca (1917).

En 1930, il publia un mémoire intitulé : *Recherches sur les déplacements tectoniques des aires continentales. Mémoires Société Sciences naturelles du Maroc*, n° 25, 31, 67 p.

Dans ce mémoire Philibert Russo expose ses conceptions mobilistes sur la tectonique globale ; l'intérêt de ce travail est expliqué, par lui, comme suit : «*il a trait à une vue sur les phénomènes de déplacements des môles continentaux, tendant à faire rentrer les phénomènes sur lesquels s'appuient les conceptions mobilistes dans le cadre des faits classiques de la géologie. Les données proposées permettent*

*d'expliquer sans difficulté les faits paléontologiques, tectoniques, paléoclimatiques et stratigraphiques en partant de données générales et mesurables et sans qu'il soit besoin de faire intervenir des hypothèses compliquées. Cette conception paraît pouvoir être fructueuse dans bien des cas, en tout état elle ne laisse dans l'ombre aucun des faits tenus généralement pour difficilement explicables soit dans la théorie de la contraction, soit dans la théorie mobiliste de Wegener.»<sup>155</sup>*



Figure 42 : Carte des affleurements de Paléozoïque figurés par Ph. Russo in « *État actuel des connaissances sur les terrains paléozoïques du Maroc* » ; 13<sup>ème</sup> Congrès international de Bruxelles, 1922, (publication en 1925).

En parlant de «*déplacements des aires continentales*», Russo avait tenté de développer l'idée d'Alfred Wegener qui, en 1912, parlait dans son article fondateur sur «*la dérive des continents*», de la théorie de la «*contraction*» et où la croûte terrestre se serait plissée par refroidissement – et donc, créant ainsi les montagnes. Cependant, pour rappel, ce n'est que vers la fin des années soixante que cette théorie de tectonique des plaques bouleversera l'explication de la géodynamique du globe terrestre et permettra ensuite d'avoir une meilleure idée, beaucoup plus réaliste, de celle-ci.

<sup>155</sup> Russo P. (1932). Exposé des titres et travaux de Philibert Russo. Louis Jean imprimeur., Gap, 39 p.

Selon Medioni<sup>156</sup> : Dès 1920, Russo propose une explication pour «*la formation des chaînes montagneuses plissées circumpolaires*». Il avait émis l'hypothèse selon laquelle, la Terre, au moment de sa formation, possédait une forme ovoïde qui s'est rapprochée ensuite de la forme sphérique, provoquant de cette façon le plissement de la croûte terrestre superficielle, ainsi que des fractures et des chevauchements, comme la conséquence de cette nouvelle forme. Cela va générer en même temps, selon Russo, l'augmentation du rayon polaire au Nord, ce qui allait produire un certain nombre de dislocations concentriquement à ce pôle. L'auteur pense aussi que les portions de l'écorce terrestre situées entre le 60<sup>ème</sup> parallèle Nord et le pôle Nord vont migrer vers ce dernier. Après avoir réalisé des expériences avec du bitume, Russo va préciser son raisonnement en 1930, dans un Mémoire à la Société des Sciences naturelles du Maroc. Il a écrit : «*Il est donc expérimentalement démontré que si une masse hyper-visqueuse à la surface passe à un état moins visqueux dans les couches profondes, et que ces couches moins visqueuses soient mises en mouvement par une cause extérieure, elles entraînent dans le même mouvement, mais avec un certain degré de retard, la partie superficielle hyper-visqueuse ou dure de cette masse*»<sup>157</sup>. Dans cette expérience, il a fait intervenir des marées lunisolaires, comme forces agissantes, qui iraient jusqu'à solliciter le noyau. Son interprétation se termine par : «*l'orientation des plis de tous les âges à la surface du Globe est nettement, dans son ensemble, parallèle à l'équateur et ne nous permet pas d'admettre un cheminement autre que grossièrement méridien*».

Dans un autre ouvrage (en 1933)<sup>158</sup>, à la lumière des travaux récents, Russo expose le résultat de ses recherches, afin de vérifier si la notion de déplacement des aires continentales (décrite en 1930) peut donner une solution satisfaisante aux questions stratigraphiques, paléontologiques ou tectoniques qui se posent au sujet de cette région.

Plus tard, en 1952, pendant le Congrès géologique international d'Alger, cet auteur se livra à un long développement de ses idées sur la «*corrélation entre la tectonique de la Berbérie et la tectonique générale depuis l'Antécambrien*» (1952-1954). Dans son raisonnement, il fait intervenir les contrastes de viscosité entre les différents constituants du globe terrestre provoquant les «*fameux*» courants de convection dans les matériaux visqueux de la lithosphère. Ces derniers étant dus aux différences

---

<sup>156</sup> Medioni R. (2008) : Philibert Russo (1885-1965), pionnier de l'exploration géologique du Maroc. Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie, Comité français d'Histoire de la Géologie, 3ème série (tome 22), pp.37-54. fihal-00911567v2f

<sup>157</sup> Russo Ph. (1930) : Recherches sur les déplacements tectoniques des aires continentales.

<sup>158</sup> Russo Ph. (1933) : Essai d'une coordination tectonique de l'évolution de la Méditerranée. Mém. Soc. Sci. natur. Maroc, Rabat, n° 34. 31 mars. 39 p.

d'augmentation du gradient de température sous les océans et sous les continents et qu'il explique par une série de schémas.

Enfin, le mémoire de Bourcart Jacques et David-Sylvain Élisabeth (N° 37 – 1933) est une étude stratigraphique et paléontologique, utilisant les Foraminifères, d'une série gréseuse de mer peu profonde dans la région de Ouezzane. Cette série est postérieure à l'Éocène moyen et elle est discordante sur le Crétacé ; ce qui aboutit à la publication d'une importante carte géologique où sont précisés les contours des nappes externes de la chaîne du Rif (Fig. 43).



Figure 43 : Carte géologique de reconnaissance des Djebala et du R'arb septentrional ; levée et dressée par M. Jacques Bourcart, chef de la mission géologique permanente du Maroc (1935).

D'autres géologues du Service géologique du Maroc (L. Hottinguer et G. Suter) ont repris les travaux de Bourcart ; ils précisent, en 1962, que les grès d'Ouezzane constituent une nappe bien individualisée dans le système rifain<sup>159</sup>.

Notons qu'à partir de 1925, Jacques Bourcart était un disciple de Louis Gentil et se consacra totalement, pendant une dizaine d'années, à l'étude de la géologie marocaine, comme en témoignent de nombreux articles, généralement brefs, publiés

<sup>159</sup> Hottinger L. & Suter G. (1961-62) : La structure de la zone pré-rifaine au Sud du moyen Ouerrha. C.R. Acad. Sci. Paris ; publ. 3 janv. 1962, tome 254, n° 1, pp. 140-142.

entre 1927 et 1937. A partir de 1935, l'intérêt de Jacques Bourcart, promu maître de conférences de géographie physique à la Sorbonne, en 1933, s'orienta vers le Quaternaire et de plus en plus vers l'océanographie.

En 1938, il publia un important article intitulé : «La marge continentale. Essai sur les régressions et les transgressions marines», dans lequel il expose pour la première fois ses vues sur la notion de «flexure continentale».

Rappelons que le développement et l'essor des publications de l'Institut Scientifique Chérifien, ont commencé à partir des années cinquante, avec la publication d'une nouvelle édition, intitulée *Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien* dont une série est dédiée aux sciences de la terre. C'est la *Série Géologie et Géographie physique*, qui continue à nos jours. 28 numéros sont alors édités de 1951 à 2017<sup>160</sup>.

L'ISC a également édité les *Documents de l'Institut Scientifique* ; une série pour l'expression des naturalistes ; la géologie est signifiée dans sept de ces documents. Par ailleurs, l'Institut Scientifique a publié dans son bulletin trois numéros dédiés à la Géologie<sup>161</sup>.

### 3. Les travaux de l'Institut Scientifique (Analyse des principaux travaux, Sciences de la Terre)

**Marcel Gigout** était le premier géologue à bénéficier de cette nouvelle plateforme, ses nombreux travaux ont été synthétisés dans la première partie de cet ouvrage (voir plus haut)<sup>162</sup>. Nous nous focaliserons, ci-après, sur les autres monographies des géologues qui ont exercé à l'ISC ou qui ont travaillé en étroite collaboration avec les chercheurs de cet établissement.

**Guy Cogney** était un élève de M. Gigout à l'Institut Scientifique Chérifien ; puis chef de travaux à la Faculté des Sciences de Rabat qui venait juste d'ouvrir; il a entrepris des recherches sur le Paléozoïque de la Meseta côtière et de la partie septentrionale du Maroc central. En 1957, il publie ses premiers résultats en retraçant les grandes lignes structurales de la région au sud-est de Rabat <sup>163</sup>, qu'on peut lire également sur la carte géologique (en couleur) au 1 :20.000<sup>ème</sup> qui accompagne son document (Fig. 44). L'auteur a essayé de faire l'inventaire des formations paléozoïques de cette région, où il décrit la série stratigraphique d'un *socle* constitué par des formations sédimentaires de l'ensemble siluro-dévonien-carbonifère, plissé

<sup>160</sup> Voir liste dans : El Hassani A. (2020) : Document de l'Institut Scientifique N°33-2020.

<sup>161</sup> Les publications dans le Bulletin de l'Institut Scientifique (série : multidisciplinaire et série : section des sciences de la Terre, de 1978 à 2020) par les chercheurs du Département de Géologie de l'Institut Scientifique sont citées dans les Références bibliographiques (à la fin de ce livre).

<sup>162</sup> Voir paragraphe «l'ère des monographies et des mémoires thématiques».

<sup>163</sup> Cogney G. (1957) : Recherches géologiques au confluent des oueds Bou-Regreg, Grou et Akrech (Maroc occidental). Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique, N° 6, 56 pages.

par l'orogénèse hercynienne ; et une *couverture* constituée par le Miocène et le Pliocène discordants, elle-même affectée par la tectonique récente (des failles notamment). Cette étude aborde à peine la pétrographie des roches éruptives, une description des faunes et un essai de géomorphologie où il précise le tracé des vallées.

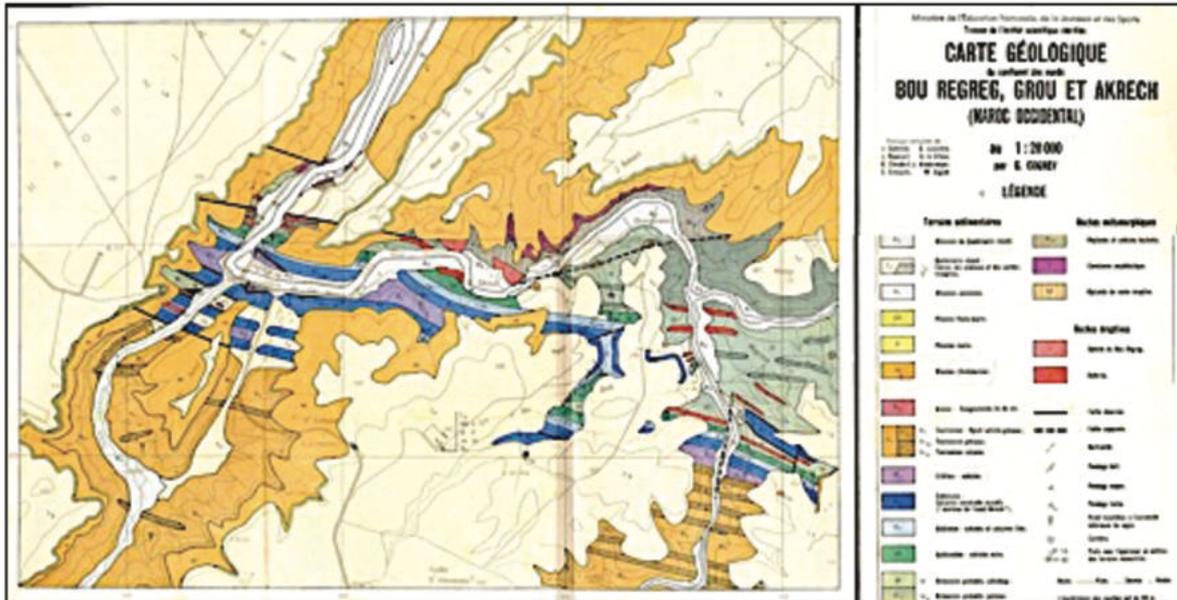


Figure 44 : Carte géologique du confluent des oueds Bou Regreg, Grou et Akrech (Maroc occidental, dressée par Guy Gogney, 1957).

Dans cette étude G. Cogney disait que «rien ne paraît être antérieur au Silurien dans la région et il est encore hasardeux d'attribuer un âge ordovicien à la masse schisto-gréseuse située au Nord des affleurements paléozoïques»<sup>164</sup>. Dès lors la présence de l'Ordovicien restait probable en raison de l'absence de fossiles et l'auteur parle alors d'un Ordovicien présumé. Par la suite, Les travaux d'El Hassani (1988) ont permis de lever l'indétermination en précisant l'âge Ordovicien inférieur (des formations comprises entre le Silurien daté et le Bloc des Sehoul), grâce à la découverte d'une faune à Trilobites et Graptolites<sup>165</sup>. Les relations entre les différentes unités de cette

<sup>164</sup> Les travaux d'Alain Piqué (1979) et Ahmed El Hassani (1990) ont montré qu'il s'agissait d'une zone (Bloc des Sehoul) d'abord attribuée par le premier auteur au Cambrien comme l'équivalent des schistes à trous du même âge ; le deuxième auteur a daté par la présence d'*Oldhamia* et de Trilobites qu'il s'agit bien du Cambrien (voir à ce sujet la Note de El Hassani A. & Willefert S. -1990- parue dans *Géologie méditerranéenne*).

<sup>165</sup> El Hassani A. & al. (1988) : Découverte d'une macrofaune arénigienne (Ordovicien inférieur) à trilobites et graptolithes dans la région de Rabat, Meseta côtière nord-occidentale (Maroc). *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 307, série II, pp : 1589-1594.

région ont été, ainsi, clarifiées par une étude tectonique détaillée<sup>166</sup>, qu'on évoquera plus loin dans l'apport scientifique de Ahmed El Hassani (Chercheur à l'Institut Scientifique, 1980-2020). Par ailleurs les affleurements du Silurien (au sens strict) sont les mieux connus de la série paléozoïque de l'oued Akrech. Guy Cogne rappelle d'ailleurs les auteurs qui ont travaillé avant lui sur le Silurien de cette région. Les gisements à Graptolithes, omniprésents dans les pélites et les calcaires, ont permis d'attribuer un âge Ludlow inférieur et moyen pour la formation de l'oued Akrech.

Le Dévonien, intensément exploité depuis le début du XX<sup>ème</sup> siècle en carrières pour la production de gravier pour les constructions, qui bien que réduit par ces exploitations tient une place importante dans la géologie du bas oued Bou Regreg et du bas oued Akrech ; d'abord par la nature de ses formations et aussi par les faciès calcaires massifs qui prédominent, faisant ainsi l'ossature de la région surtout schisteuse par ailleurs. L'ensemble des affleurements dévoniens montre en gros une alternance de barres calcaires à fort pendage et des masses schisteuses ravinées. C'est ainsi que Cogne y décrit une série type complète, dite de l'oued Bou Regreg, visible sur la rive gauche de ce cours d'eau ; elle y est redressée à la verticale et en continuité avec les schistes et calcaires à Graptolithes du Silurien. Le Dévonien (inférieur et moyen) est représenté par le Gédinien (alternance schistes et calcaires, semblables à ceux du Silurien), le Coblencien (calcaires massifs parfois lités) et l'Eifelien (les schistes 'carton'). Le Dévonien supérieur n'est pas caractérisé dans cette région.

Les termes suivants, correspondant au Carbonifère, affleurent largement au Sud des plis siluro-dévoniens. Ce sont principalement des schistes, avec quelques niveaux de calcaires et de grès. Au Nord, l'auteur décrit des conglomérats, dans le jbel Bakach, avec quelques niveaux de grès et de schistes du Tournaisien. Le Carbonifère moyen affleure, au Sud, dans l'oued Grou.

L'ensemble de ces faciès paléozoïques ont été affectés par l'orogénèse hercynienne qui a plissé et faillé la région dans une direction grossière générale Ouest-Est.

La mer reviendra au Néogène ; en effet, le Paléozoïque du bas oued Bou Regreg est surmonté en discordance angulaire par des formations tertiaires, marines pour la plupart, qui se sont déposées sur l'emplacement de l'ancienne chaîne hercynienne, après que celle-ci eût été arasée. Ces faciès sont à leur tour affectés par des failles verticales que l'auteur rattache à l'orogénèse atlasique.

---

<sup>166</sup> El Hassani & al. (1988) : 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, N° 12 pp : 27-45.

L'ère secondaire n'est pas représentée à l'affleurement dans la région de Rabat.

Le Quaternaire correspond ici à des alluvions anciennes sous forme de lambeaux de terrasses anciennes, recouverts par les limons des plateaux et des pentes, puis enfin par des alluvions récentes.

Par la suite G. Cogne y a développé ses recherches, en 1960, avec Danzé-Corsin pour étudier la formation conglomératique du Jbel Bakach, région de Rabat, dans une nouvelle monographie<sup>167</sup>. Ces auteurs décrivent au niveau de ce gisement (Jbel Bakach), situé en rive droite de l'oued Bou Regreg, des schistes noirs micacés qui affleurent sous forme d'une mince intercalation (épaisse de 3 m. et qui affleure latéralement sur quelques mètres seulement) ; elle est située au voisinage de la base d'une série conglomératique. Ces derniers ont localement une couleur rubéfiée d'origine continentale (selon les auteurs) dont la matrice et les éléments sont gréseux. Guy Cogne y a trouvé une flore en bon état de conservation. L'étude paléontologique de celle-ci, par Danzé-Corsin, a révélé curieusement l'existence de psilophytes des genres dévoniens (*Hostimella* et *Taeniocrada*) et d'une flore à *Lepidodendron* du Carbonifère inférieur, définie par W.J. Jongmans. La flore ainsi décrite et figurée dans ce mémoire, et la série qui la contient, présente des caractéristiques suffisantes pour indiquer qu'il s'agit d'une flore viséenne et très probablement du Viséen inférieur, étant donné la présence de *Sphenopteridium dissectum* et de *Rhacopteris*, accompagnés d'*Asterocalamites scrobiculatus*.

Des études supplémentaires entreprises par **Garcia Célestine** (une étudiante en sciences naturelles, avec un diplôme d'études supérieures de pétrographie ; professeur au Lycée de jeunes filles de Rabat) ont abouti à la rédaction d'une monographie (Garcia, 1961). Il s'agit d'une étude pétrographique à partir de plaques minces (microscopiques) de roches acides et basiques et de roches de métamorphisme général recueillies dans le Paléozoïque au sud-est de Rabat, par Guy Cogne lors de son étude stratigraphique de la région (Fig. 45)<sup>168</sup>. C'est ainsi que l'auteur a déterminé quatre types de roches :

---

<sup>167</sup> Cogne G. & 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. & Géogr. phys., N° 8, 54 pages et 8 pl.

<sup>168</sup> Garcia C. (1961) : Roches éruptives et métamorphiques de la région de Rabat. Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique, n° 12, 40 pages, 3 cartes et 5 pl.

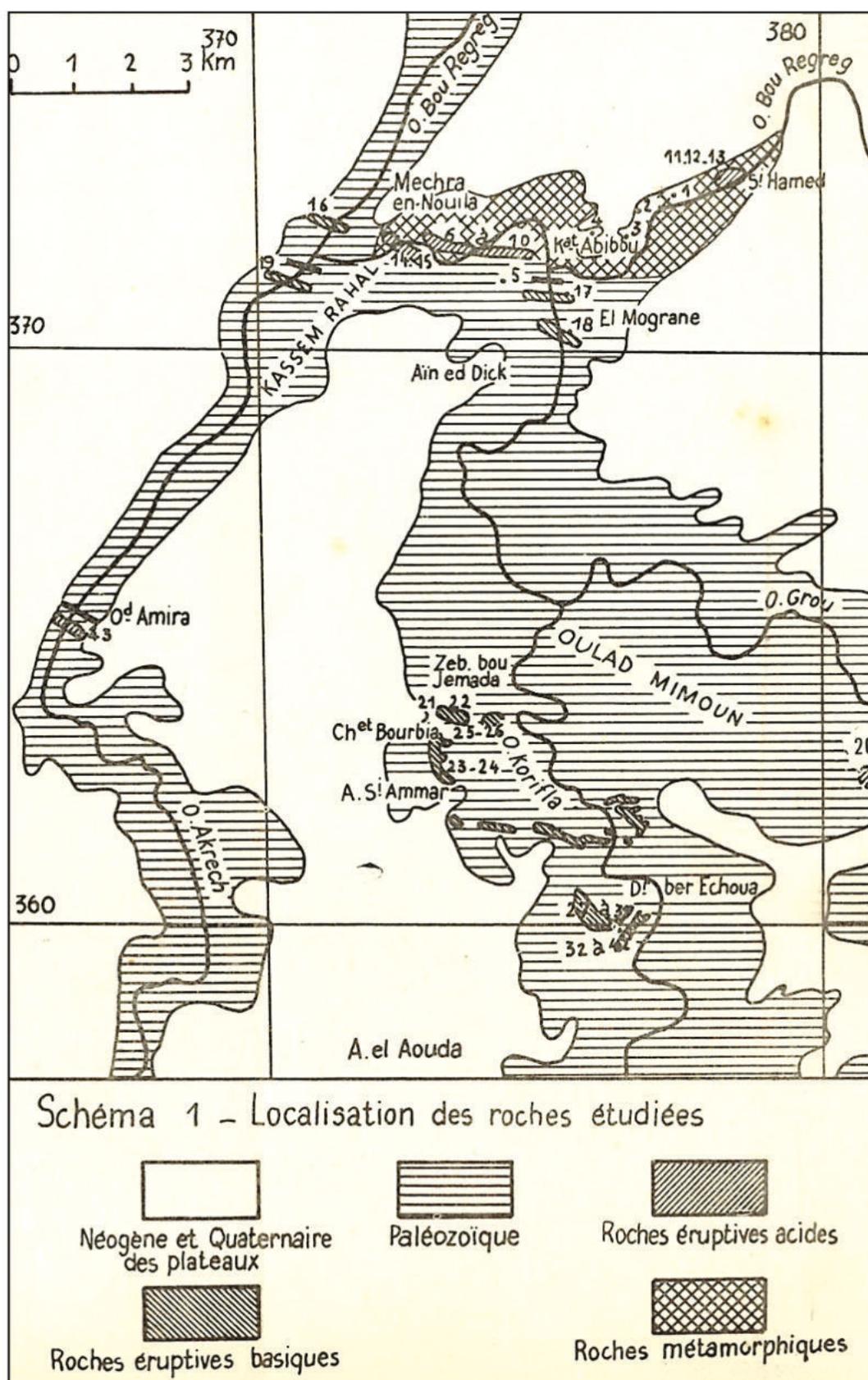


Figure 45 : Carte montrant la localisation des roches étudiées par Célestine Garcia (1961).

*Les roches éruptives acides* : ces roches sont localisées le long de l'oued Bou Regreg, depuis son confluent avec l'oued Akrech, jusqu'à son confluent avec l'oued Grou<sup>169</sup>. Deux affleurements principaux ont été étudiés :

- Les roches éruptives de Mechra en Nouila, de structure grenue, riches en feldspaths (oligoclases). Certaines roches contiennent de l'orthose. Les quartz sont présents sous forme de petits cristaux et remplissent les interstices. Ces roches montrent aussi une faible quantité de biotite, muscovite et chlorite<sup>170</sup>. Il existe aussi dans la région du Bou Regreg (au Nord d'Akrech) des roches « écrasées » qui présentent la même composition minéralogique et l'auteur les range dans la même catégorie. Dans ces roches Célestine Garcia a pu distinguer des roches mylonitiques et aussi une roche à « faciès gneissique » en pensant que la roche a subi des pressions orientées.
- Le massif granitique de Si Hamed, indépendant du précédent<sup>171</sup>. Dans cette roche le quartz, bien cristallisé, est beaucoup plus abondant, la biotite bien développée. Selon l'auteur, cette roche beaucoup plus acide est un granite calco-alcalin<sup>172</sup>.

Une roche particulière affleure à Beld Dfa, présentant des orthoses et des feldspaths du groupe de l'andésite, ainsi que des minéraux ferromagnésiens<sup>173</sup>.

*Les roches éruptives basiques* : ces roches, appartenant essentiellement au groupe des dolérites, sont injectées dans les schistes primaires et sont largement réparties. Les affleurements sont concentrés dans la vallée de l'oued Korifla (voir carte, Fig. 45). Ces roches sont plus ou moins largement cristallisées ; les feldspaths à structure ophitique forment de fines baguettes ou de grands prismes visibles à l'œil nu (structure doléritique). Entre ces feldspaths on trouve les minéraux colorés caractéristiques : le sphène, la magnétite, la serpentine, l'amphibole, l'augite et la chlorite.

Dans le douar Berechoua, en rive gauche de l'oued Grou, ces roches présentent un envahissement important de calcite qui ne peut être expliquée comme provenant

---

<sup>169</sup> Une partie des roches décrites par l'auteur se trouvent aujourd'hui immergée sous les eaux du Barrage Sidi Mohamed Ben Abdallah de Rabat.

<sup>170</sup> Georges Lecointre a qualifié ces roches de syénites alors qu'il est plus juste de les appeler granodiorites.

<sup>171</sup> Ce massif est aujourd'hui complètement couvert par les eaux du Barrage Sidi Mohammed Ben Abdallah.

<sup>172</sup> Les travaux de réalisation du barrage de Sidi Mohammed Ben Abdallah ont permis de dégager dans son déversoir une énorme lentille granitique du même genre, qu'on trouvera plus loin décrite dans les travaux de Thèse ès-sciences d'Ahmed El Hassani et aussi dans le *Bulletin de l'Institut Scientifique* N° 15, 1991.

<sup>173</sup> El Hassani A. (1991) mentionne cet affleurement de Bled Dfa, en rive droite du Bou Regreg et le place dans un contact tectonique majeure et y associe aussi les mylonites dont parlent Garcia dans son mémoire.

d'infiltrations secondaires (puisqu'aucune roche carbonatée n'a recouvert ces dolérites); mais probablement, selon l'auteur, de formation primaire ayant accompagné les montées de magma basique.

*Les roches du métamorphisme régional* : ce sont des schistes, attribués à un Ordovicien probable par l'auteur ; elles sont fortement métamorphiques et montrent une schistosité bien marquée et un éclat brillant. La séricite, les feldspaths, le sphène, l'andalousite (dans la koudiat Abibou) sont les minéraux abondamment développés<sup>174</sup>.

*Les roches métamorphisées au contact des dolérites du douar Berechoua* : il s'agit ici d'un faible métamorphisme sur les schistes du Tournaisien. Les modifications sont localisées sur quelques centimètres au contact immédiat de ces dolérites.

Garcia discute aussi l'âge de mise en place de ces roches éruptives : Les roches acides du Bou Regreg, sont attribuées au Silurien et sont situées dans les schistes métamorphiques et plissés. Pour ce qui est des roches éruptives basiques, il s'agit de celles des confluents du Bou Regreg, Grou et Akrech qui selon l'auteur sont injectées dans les schistes plissés du Silurien et leur disposition à l'affleurement est ordonnée parallèlement à la direction est-ouest des failles hercyniennes. Les roches jalonnant la rive gauche du Bou Regreg sont nettement écrasées ; elles se seraient mises en place pendant l'importante phase de plissement anté-viséenne qui a soulevé le socle paléozoïque.

Les massifs de la vallée de Korifla, injectées dans les schistes du Tournaisien, sont allongés suivant la direction des plis, d'ailleurs très complexe du fait que les deux directions hercyniennes nord-sud et ouest-est se raccordent dans le Korifla. Aucun écrasement n'a été constaté par l'auteur, et pour elle ces roches correspondraient à une même venue éruptive ayant accompagné les toutes dernières phases de la tectonique hercynienne.

Les travaux de **Lucienne Rousselle** ont concerné des études paléontologiques du Silurien de Rabat et du Jurassique de la chaîne atlasique<sup>175-176</sup>. Rousselle est une paléontologiste, élève de Henri Termier ; elle est entrée à la Faculté des sciences de Rabat, à titre d'Enseignant-Coopérant, où elle a poursuivi des recherches portant sur les Brachiopodes du Dogger.

---

<sup>174</sup> C'est le Bloc des Schoul, dont l'étude a été développée par Ahmed El Hassani dans son mémoire de Thèse (*Bulletin de l'Institut Scientifique* N° 15, 1991).

<sup>175</sup> 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, n° 11, 58 pages et 6pl.

<sup>176</sup> Rousselle L. (1965) : *Rhynchonellidae, Terebratulidae et Zeilleriidae* du Dogger marocain (Moyen Atlas septentrional, Hauts plateaux, Haut Atlas). Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique, n° 13, 186 pages.

Dans sa monographie sur le Silurien au SE de Rabat, Rousselle donne une description détaillée des graptolites provenant de gisements isolés d'une région restreinte de la Meseta côtière, mais importante pour la connaissance de cette période du Paléozoïque. Suite aux travaux de Cogne (1957), elle vient préciser que ces graptolites appartiennent au Llandovery moyen et supérieur, ainsi qu'à la base du Tarannon d'une part ; et au Ludlow inférieur et moyen d'autre part. Les rapports mutuels des différents gisements ne sont pas précisés dans cette monographie. Cependant, Rousselle a mis en évidence le parallélisme faunique entre le Ludlow moyen de cette partie de la Meseta marocaine avec les affleurements de Bohême (dans le Barrandien de la Tchéquie) à la même époque.

Elle soutient sa thèse de doctorat sous la direction de Mme Geneviève Termier ; une monographie portant essentiellement sur des faunes de *Rhynchonellidae*, *Terebratulidae* et *Zeilleridae* du Dogger du Moyen Atlas, des Hauts Plateaux et du Haut Atlas, en utilisant les méthodes de la biométrie et pratiquant des coupes sériées faisant apparaître la morphologie des pièces internes des coquilles.

En 1965, Rousselle publie sa monographie sur les Brachiopodes du Jurassique. L'auteur précise que pour ce mémoire ; *«il s'agit d'une étude qui s'inscrit dans un ensemble de recherches géologiques sur le Dogger du Moyen-Atlas, des Hauts-Plateaux et du Haut-Atlas, dans le but d'établir une stratigraphie fine des importants dépôts sédimentaires rapportés à cette période, d'y préciser les limites entre les étages, la répartition verticale des niveaux, les corrélations entre les coupes éloignées et appartenant à des entités structurales différentes»*.

Ce mémoire concerne la description et l'évolution de brachiopodes provenant de 184 gisements, répartis principalement dans le Moyen Atlas septentrional et les Hauts-Plateaux et qui s'étagent de l'Aalénien supérieur jusqu'au Bathonien inférieur, tout en précisant la position taxinomique adoptée. Rousselle retient alors le concept d'«espèce-population», et choisit les communautés de chaque horizon comme base d'une étude chronologique. Les espèces, sous-espèces et formes décrites, caractérisées biométriquement, ont été envisagées sous le rapport de leur morphologie externe, de leur morphogenèse et de leurs caractères internes (charnière spécialement, éventuellement brachidium) mis à jour par usure transversale progressive des coquilles ou dégagement à l'acide.

Le matériel ainsi étudié comprend 41 espèces, sous-espèces et formes réparties dans 18 genres ; 5 espèces et 6 sous-espèces sont créées. Une hiérarchie des caractères utilisables dans l'établissement d'une classification naturelle des brachiopodes du Dogger est entrevue.

Au point de vue stratigraphique, la comparaison des stades évolutifs des ensembles verticaux est utilisée pour l'établissement des corrélations entre les gisements, les

index stratigraphiques étant constitués par les faunes d'ammonites des mêmes gisements.

A la fin de son mémoire, Rousselle a dressé un tableau de répartition de la faune et conclut qu'il était possible d'admettre que, pour les zones étudiées (partie centrale du Moyen-Atlas plissé ; certains secteurs du Haut-Atlas central et oriental et les Hauts-plateaux), une étendue marine commune a dû recouvrir l'ensemble au début du Bajocien. Ensuite, il était envisageable que les Hauts-Plateaux aient été érigés, ce qui aurait nui à la continuité des dépôts à l'Est de l'Atlas avant que la sédimentation ne s'y poursuive au Bathonien inférieur. Rousselle range cette interprétation dans un cadre hypothétique et pense qu'une étude sédimentologique était du reste nécessaire pour une meilleure compréhension<sup>177</sup>. L'auteur ajoute que les faunes du Dogger inférieur du Causse moyen atlasique restent encore assez isolées. Cependant, les «marnes de Boulemane» en différents points éloignés semblent présenter, au Bajocien inférieur et moyen, une certaine homogénéité des conditions écologiques dans des secteurs éloignés durant cette période.

Sur le plan global, l'auteur rappelle que le cachet «européen» a été attribué à la faune du Dogger marocain et spécialement sur celle du Moyen-Atlas septentrional (Colo, 1961, p. 112). Rousselle, constate à son tour de nombreux rapprochements possibles entre les Brachiopodes qu'elle a étudié et ceux décrits en Europe occidentale ; leur répartition chronologique ne semble pas souffrir de décalages remarquables dans la plupart des cas.

Cette nouvelle série des travaux de l'Institut Scientifique Chérifien (*série géologie et géographie physique*) a concerné aussi des recherches sur les séries plio-quadernaires du Maroc et avait un aspect beaucoup plus orienté vers la géographie physique et la géomorphologie). Les travaux édités sont ceux de Jean Loup, Fernand Joly (en collaboration avec Guilcher A.), Gérard Maurer et Ahmed El Gharbaoui. C'est ainsi que, en 1954, un ouvrage intéressant sur la morphologie de la côte atlantique du Maroc a été publié par Guilcher A. & Joly F.<sup>178</sup>. Dans cet ouvrage, les auteurs mentionnent que les études morphologiques, traitant de la côte atlantique du Maroc, étaient bien rares au début des années cinquante du siècle dernier. Les efforts principaux étaient réservés plutôt aux études géologiques. C'est pourquoi, sur demande du Directeur de l'ISC, les auteurs ont entrepris une étude sur les reliefs

---

<sup>177</sup> Pour cette étude sédimentologique, voir par exemple le travail de Fedan B. (1990) : Évolution géodynamique d'un bassin intraplaque sur décrochements : le Moyen Atlas (Maroc) durant le Mésocénozoïque. Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique, N° 18.

<sup>178</sup> Guilcher A. & Joly F. (1954) : Recherches sur la morphologie de la côte atlantique du Maroc. Travaux de l'Institut Scientifique chérifien ; série géologie et géographie physique N° 2 ; 140 pages, 14 planches h.t.

saillants et les problèmes survenant le long de cette partie de la côte de l'Afrique de l'Ouest, entre le Rif (Rharb) et l'estuaire de l'oued Dra (dans le Souss).

La côte atlantique marocaine avait fait, à cette époque, l'objet de nombreuses études géologiques en raison de l'intérêt exceptionnel de ses formations quaternaires. Par contre, le relief du littoral marocain n'était pas bien connu et donc devait être décrit et expliqué. C'est en 1951 que l'Institut scientifique Chérifien commence à s'intéresser au littoral atlantique marocain sous la direction de F. Joly. Ces études ont nécessité, pour la première fois, une reconnaissance aérienne des formes de ce littoral ; ce qui a permis de reconnaître les différents secteurs de cette côte et aussi de poser et circonscrire les problèmes à résoudre. L'utilisation de photos aériennes a été aussi un moyen pour de bonnes observations. Suite à ces travaux, un premier ouvrage *sur la morphologie de la côte atlantique* est paru dans les travaux de l'Institut scientifique chérifien. Ses auteurs disaient de ce travail que : «*c'est un travail provisoire et préliminaire, normal dans un pays comme le Maroc où la recherche doit être poussée d'abord en surface pour préparer la voie aux travaux de détail de l'avenir*». Il traite des grandes divisions morphologiques de la côte atlantique, avec la définition de treize secteurs depuis le Rharb au Nord, jusqu'aux côtes du Bas-Dra dans le Sud.

Cette subdivision a permis aux auteurs de démontrer la variété de cette côte atlantique marocaine, comprenant ainsi de grandes plages, des estuaires et une alternance de divers types de falaises. Cette côte n'est souvent pas perpendiculaire au littoral, d'un bout à l'autre ; elle est couverte de dunes anciennes consolidées qui donnent des alignements de crêtes et des sillons gréseux orientés comme la côte elle-même. Les accumulations dunaires sont l'une des caractéristiques importantes de cette côte ; les dunes pliocènes et quaternaires se rencontrent dans tous les secteurs et l'on y observe souvent des ensembles dunaires qui, une fois consolidés, ont été recouverts d'un autre ensemble dunaire, qui se consolide à son tour et ainsi de suite. Les auteurs précisent que le vent a eu le pouvoir de construire en utilisant les sables des plages, sans pour autant détruire la masse de ses édifications. Il s'agit de dunes essentiellement calcaires, permettant d'expliquer comment ces reliefs ont été taillés.

Un intérêt particulier est réservé, dans cet ouvrage, à l'explication de la formation des dunes de sable quaternaires. Il s'est avéré, pour ces auteurs que, comme dans d'autres pays du littoral méditerranéen ou subaride, ou de l'Australie occidentale, ces dunes de sable sont très rapidement consolidées par le carbonate de calcium, de sorte que leurs formes ont persisté après leur construction. Les auteurs donnent en exemple les dunes du Pliocène et du Pléistocène de la partie entre Rabat et Casablanca, qui montrent une disposition régulière en longues crêtes et rigoles à peu près parallèles à la côte ; ces dunes montrent une adaptation frappante aux alizés dominants.

**Jean Loup**, professeur de géographie, a travaillé sur le Maroc avec, selon ses professeurs, un intérêt particulier pour la potamologie<sup>179</sup>. Dès 1957, il présente une *Note sur l'évaporation au Maroc* à partir de données évaporométriques obtenues au bac Colorado (instrument utilisé dans l'Ouest américain) dans 10 stations marocaines, sur une période très courte et conclue que dans l'ensemble du pays l'évaporation est de même ordre que celle des régions désertiques. En 1959, il publie un autre article sur «la mesure de l'évaporation au Maroc» dans les *Notes Maroc*, Revue de Géographie du Maroc.

Sa publication à l'ISC<sup>180</sup> a été honorée par le prix «*Henri Milon*», décerné par la Société hydrotechnique de France (1960). Le texte de celle-ci est riche en tableaux et graphiques explicatifs ainsi que plusieurs cartes (carte de relief, croquis hydrogéologique, croquis des isohyètes), et des profils le long des rivières du bassin de l'Oum-er-Rebia et l'indication des ouvrages réalisés ou en projet.

Il s'agit ici d'une étude détaillée sur l'oued Oum-er-Rebia, le plus régulier des oueds du Maroc, ainsi que les problèmes humains qui découlent de la mise en valeur de ce fleuve. L'auteur y décrit d'abord, dans une première partie, les facteurs du régime des eaux; c'est-à-dire le relief du bassin de l'Oum-er-Rebia; la constitution géologique; le réseau hydrographique; le climat et la végétation.

Dans une deuxième partie, l'auteur examine les débits et leurs variations à chacune des stations hydrologiques, en décrivant les équipements hydrologiques du bassin; du régime pluvio-nival des rivières du Moyen Atlas et du Haut Atlas; du régime des cours d'eau du bassin moyen et inférieur. Il en déduit que la grande rivière du Maroc central atlantique conserve les caractères de ses tributaires atlasiques légèrement retouchés par l'évaporation, par les irrigations et aussi par les aménagements de l'oued El-Abid.

La troisième partie concerne des études spécifiques sur quelques aspects particuliers de l'écoulement; à savoir le bilan de l'écoulement, le bilan de tarissement et la capacité de rétention du bassin et enfin la genèse des crues, pour mieux caractériser le bassin de l'Oum-er-Rebia. Ce cours d'eau, et ses affluents, n'écoule cependant que des débits annuels moyens médiocres ou exceptionnellement modérés, en raison d'une aridité notable dans ces régions. Cette aridité, selon l'auteur, est connue au Nord du Haut Atlas comme en témoigne l'écoulement endoréique de quelques oueds du Tadla ou de la Meseta côtière. Les Atlas condensent assez l'humidité pour engendrer des précipitations abondantes; celles-ci permettent à l'Oum-er-Rebia,

---

<sup>179</sup> Science qui étudie les cours d'eau.

<sup>180</sup> Loup J. (1960) : L'Oum-er-Rebia. Contribution à l'étude hydrologique d'un fleuve marocain. Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien; Série Géologie et Géographie physique, N° 9; 251 p.

avec la complicité des faciès calcaires, d'être une rivière pérenne avec un débit moyen.

Enfin une quatrième partie est consacrée à l'utilisation des eaux, où l'auteur donne les notions des transports solides et transports en dissolution. Il décrit aussi la vie et la pêche dans les eaux de l'Oum-er-Rebia, ainsi que l'utilisation de ces eaux pour la production de l'énergie, l'irrigation des terres et l'adduction des eaux.

**Fernand Joly** est un géographe, spécialiste de la géomorphologie et de la cartographie, en particulier des pays arides. Entre 1949-1961, il a pris la direction du laboratoire de géographie physique de l'Institut scientifique chérifien, et à ce titre il a joué un rôle important dans la conception et la réalisation de l'Atlas du Maroc, grâce à son expérience en matière de cartographie physique et humaine. Après son départ en France, Fernand Joly poursuit des travaux sur les cartes thématiques et les cartes physiques en général au laboratoire du Centre de recherches et de documentation cartographique et géographique du C.N.R.S., en particulier des recherches sur la cartographie morphologique du Maroc.

Le mémoire qu'il a publié à l'ISC est un ouvrage de morphologie régionale portant sur le bassin hydrographique de l'oued Daoura, dans la partie sud-est du Maroc. Il s'agit de l'un des trois grands collecteurs du versant sud du Haut Atlas, dont l'auteur décrit la géologie, la climatologie, l'hydrologie et la biogéographie<sup>181</sup>.

En introduction l'auteur donne le cadre géographique de la région étudiée, les problèmes qu'il allait aborder et les limites du sujet. Il organise ensuite son ouvrage, très bien illustré, en cinq parties relativement équilibrées.

La première partie concerne les données structurales. Elle traite du matériel rocheux et des déformations tectoniques pour les zones suivantes :

- Les massifs anciens (de l'Anti-Atlas oriental et de la chaîne de l'Ougarta) ;
- La chaîne atlasique (zone subatlasique septentrionale et l'accident nord-atlasien, la zone axiale, la zone subatlasique méridionale, le grand accident sud-atlasien et enfin le sillon sud-atlasique) ;
- Les zones des Kem-Kem et des Hamadas (Kem-Kem ou Hamada inférieure, Hamadas intercalaires, et grandes Hamadas ou Hamadas supérieures).

Dans la deuxième partie, Joly étudie les surfaces topographiques anciennes en posant d'abord les problèmes à résoudre et les méthodes pour y parvenir ; puis il aborde l'étude des surfaces antérieures à l'orogénie atlasique (avec ce qu'il appelle les témoins précambriens, puis analyse la topographie antécrotacée et la surface

---

<sup>181</sup> Joly F. (1962) : Études sur le relief du Sud-Est marocain. Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique, N° 10 ; 578 pages.

cénomanienne) ; puis les surfaces tertiaires (oligocène, miocène et hamadienne) ; et enfin l'extension et le rôle morphologique de ces surfaces tertiaires.

La troisième partie est consacrée à l'étude de l'emboîtement des formes et les systèmes morphogénétiques quaternaires. L'auteur donne d'abord quelques exemples de cet emboîtement des formes quaternaires de la région étudiée ; puis étudie des niveaux quaternaires du domaine de l'Anti-Atlas, ainsi que ceux du Kem-Kem et des Hamadas. Il précise, enfin, la stratigraphie des niveaux Salétien, Amirien, Tensiftien, Soltonien ainsi que les niveaux subactuels.

Dans la quatrième partie Joly développe l'organisation du réseau hydrographique, en posant d'abord la problématique et les méthodes pour les élucider, puis les problèmes du tracé hydrographique, l'étude des bassins-versants et la dégradation du réseau hydrographique ainsi que les types de drainage.

Les résultats obtenus à travers ces quatre parties sont résumés et représentés sur quatre cartes au 1 :100.000<sup>ème</sup> en couleur, couvrant la région étudiée au SE du Maroc (Fig. 46).

Enfin, Joly réserve une cinquième et dernière partie aux types fondamentaux de relief, en précisant que la plupart sont hérités : formes de climat froid, formes structurales, formes des glacis et des plaines, formes éoliennes.

Les études sur la géomorphologie des reliefs marocains ont continué par les travaux de **Maurer Gérard**, un Géomorphologue qui était d'abord professeur agrégé de géographie aux lycées de Fès et de Rabat avant de succéder à F. Joly (en 1961), en dirigeant le laboratoire de géographie physique de l'Institut Scientifique Chérifien.

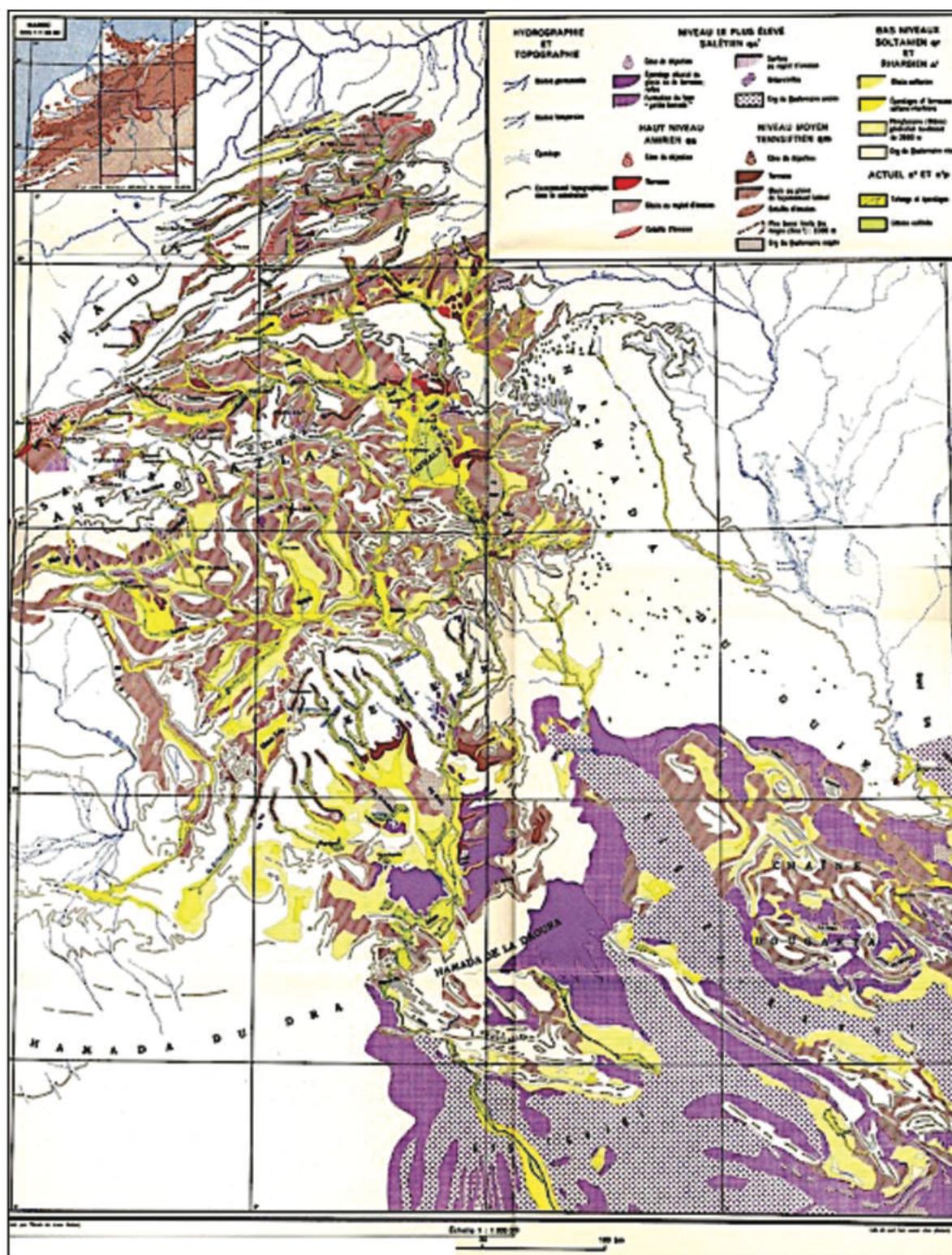


Figure 46 : Carte montrant l'essai sur l'emboîtement des formes quaternaires (Planche III de l'ouvrage) ; d'après F. Joly 1962.

Il poursuit, alors, l'œuvre entreprise par son prédécesseur, notamment à propos de la publication de l'Atlas du Maroc et a aussi réalisé une importante étude

morphologique des montagnes rifaines centrales<sup>182</sup>. Cette dernière comprend aussi trois cartes hors-texte en couleur (pl. 1-3) sous pochette, dont une carte géomorphologique du Rif central au 1/300.000<sup>ème</sup> et deux cartes de l'évolution du relief (jbel Resana et massif Sanhaja-de-Sraïr).

En effet, faisant suite aux travaux géographiques effectués au Maroc par J. Dresch (1941); R. Raynal (1961) et F. Joly (1962), **Maurer**, dans cet ouvrage fondamental, développe les connaissances physiques de la partie septentrionale du Maroc (Le Rif central).

L'étude porte sur un domaine structuralement beaucoup plus complexe et jouissant de climats plus humides, où l'analyse morphologique est très difficile à faire, du fait de l'extrême discontinuité des accidents structuraux, du dédale des vallées encaissées, de la confusion des versants boursoufflés de solifluxion, ainsi que de la monotonie des pentes décapées et ravinées.

En plus de l'analyse morphologique minutieuse du Rif central, le travail de Maurer donne une description physique complète de la chaîne du Rif (de Tanger à la basse Moulouya), auxquelles s'ajoute l'établissement de trois cartes en couleurs, qui en facilite la lecture. Les données géologiques de la structure du Rif y sont également résumées, avec notamment l'exposé des différentes hypothèses des géologues du Service géologique du Maroc (dont G. Suter, M. Mattauer et J. Andrieux), avec qui Maurer a souvent collaboré.

L'auteur mentionne que malgré la diversité des paysages rifains, ceux-ci ont en commun un certain nombre de traits morphologiques majeurs qui autorisent à distinguer le Rif des autres montagnes marocaines ; les mêmes traits le rapprochent (Rif) des chaînes méditerranéennes voisines (Cordillère bétique et le Tell algéro-tunisien). Les principaux traits morphologiques de ces montagnes rifaines sont :

- Instabilité et compartimentage résultant d'une mise en place tectonique ;
- Aplanissements, accumulations et déformations du Pontien au Régréguien, qui donnent aux montagnes rifaines une extraordinaire lourdeur de relief, malgré la jeunesse de son orogénèse. Ces formes aplanies ou doucement vallonnées dominant généralement plusieurs centaines de mètres le fond des principales vallées. L'auteur mentionne dans cette partie que la topographie résulte de la dégradation au Pliocène d'une surface partielle pontienne ; des accumulations du Villafranchien (inférieur et supérieur) ; et enfin des plans d'érosion et des terrasses du Régréguien.

---

<sup>182</sup> Maurer G. (1968) : Les montagnes du Rif central. Études géomorphologiques. Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique, n° 14, 500 pages.

- Une grande variété des modelés permet l'analyse des systèmes morphologiques et les types de modelés quaternaires. Ceci concerne les niveaux de terrasses alluviales que l'on rencontre tout au long des vallées et qui sont au nombre de six (Régréguien et Rharbien compris) ; et tous les niveaux définis dans les autres régions marocaines sont ici présents. Les données obtenues par l'étude des versants ont permis de définir le rôle du climat en altitude (froid et neige) ; la complexité des faits dans les régions basses ; l'interprétation des formations rouges détritiques (couleur très générale dans les pays méditerranéens) et des encroûtements calcaires ; et enfin de tirer les enseignements qui permettent de comprendre les formes de l'érosion actuelle.
- L'établissement de raccords avec les niveaux marins, favorisés par les niveaux des terrasses continentales qui se suivent le long des grandes vallées jusqu'à proximité des lignes de rivage atlantique et méditerranéen.

Maurer termine son ouvrage par un essai de synthèse qui concerne l'évolution générale du relief rifain au Quaternaire et donne un tableau dans lequel on peut se rendre compte des séquences morphologiques possibles au cours du Quaternaire (*stricto sensu*) dans les montagnes rifaines, tenant compte des périodes Pluvial, passage Pluvial-Interpluvial, Interpluvial, passage Interpluvial-Pluvial.

C'est ensuite les nombreux travaux d'**Ahmed El Gharbaoui**, qui commença sa carrière professionnelle à l'Institut Scientifique à partir de 1971 au Laboratoire de géomorphologie et de cartographie. Il était chef de département de géographie à la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines (Université Mohammed V de Rabat) et enseignant de la même discipline dans cette faculté. Son activité intense et ses travaux lui ont permis de soutenir son doctorat d'état à la Sorbonne en 1980. Cette thèse de grande utilité pour le public scientifique a été publiée dans les travaux de l'Institut Scientifique, sous le même titre<sup>183</sup>.

Ses travaux ne se sont pas limités à la péninsule tingitane, mais bien au-delà. En effet, il a contribué à l'élaboration et la publication de nombreuses cartes géomorphologiques et a contribué à l'encadrement et la formation de nombreux chercheurs ; comme il est derrière la constitution d'un important département de géographie à la Faculté des Lettres et des Sciences humaines de Rabat où il bénéficiait d'une grande estime auprès de ses collègues et de ses étudiants.

Le mémoire publié à l'Institut scientifique est une étude sur l'homme et l'environnement naturel de la presqu'île de Tanger, bien qu'elle se prétende

---

<sup>183</sup> El Gharbaoui A. (1981) : La terre et l'Homme dans la Péninsule tingitane, étude sur l'homme et le milieu naturel dans le Rif occidental. Travaux de l'Institut Scientifique; Série Géologie et Géographie physique, N° 15, 439 pages.

«écologiste» ; elle a pour ambition de soulever les mêmes problèmes, mais dans le contexte d'un pays en voie de développement. Cet ouvrage est subdivisé en trois parties : les conditions naturelles et humaines ; les milieux géographiques ; et les relations Homme-Terre.

La première partie traite des grands ensembles de reliefs (*i.e.*, les principales unités morpho-structurales ; l'évolution pontien-pliocène, les systèmes villafranchiens ; les formations quaternaires, la néotectonique et l'évolution polyphasée des littoraux). Elle aborde aussi l'environnement bioclimatique (aspects du climat, classification des sols, nature du couvert végétal), le milieu marin (traces des pentes, mouvements des eaux marines, caractéristiques de la pêche) et enfin de l'étude de l'habitat et des populations (implantations humaines et mouvements des populations, mise en place du cadre tribal, éléments démographiques ).

La seconde partie traite de l'analyse des différentes unités et sous-unités géographiques (chaînes et maillons calcaro-dolomitiques, calcaires et collines gréseuses, bassins intérieurs, zones littorales).

La troisième partie tente d'extraire les rapports fournis par l'étude des relations entre la Terre et l'Homme (facteurs - limites naturelles, déterminants économiques et sociaux, facteurs de dépassement).

Pour ce faire, l'auteur a basé l'ensemble de son travail sur :

- des enquêtes réalisées sur le terrain ;
- une cartographie géomorphologique et humaine ;
- une étude critique des sources bibliographiques, des documents statistiques et des travaux précédents ;
- enfin, une interprétation de l'analyse d'un échantillonnage des sédiments.

Cette étude a permis de noter que cette région souffre de deux ensembles de facteurs hostiles à la défense de la nature, au développement économique et à l'émancipation de l'Homme, il s'agit de :

- facteurs des limites naturelles : où dominent les principaux facteurs physiques (grands groupes de reliefs, formations superficielles, pentes, érosion et dynamisme des courants, aptitude des sols) ;
- déterminants économiques et sociaux (poids des facteurs historiques et démographiques, terres arables insuffisantes, structures de la propriété, volume des exploitations, mode de mise en œuvre, rotation des cultures (assolement), traction, cadre technique, crédit agricole, besoins de production, infrastructures scolaires et sanitaires, communication terrestre, commercialisation, approvisionnement en eau et électricité).

L'auteur propose dans ce mémoire la participation pratique des paysans car des facteurs de dépassement ont été relevés ; ce qui nécessite l'intervention énergique de l'État à travers :

- des mesures antiérosives (correction des déversements, lutte contre l'érosion éolienne, ...)
- modernisation de l'agriculture, du pastoralisme (en ayant recours à de nouvelles méthodes de culture, une mise en place de parcelles, proposer des transformations à imposer, rotation des cultures, mécanisation, amélioration des pâturages et de l'élevage) ;
- un cadre technique de gestion (intervention du programme DERRO, mise en place des équipements hydrauliques ruraux, appel au mouvement de "coopérative" agricole).

A partir de 1980 plusieurs équipes de jeunes diplômés marocains (des docteurs) commençaient à s'intéresser activement à la géologie marocaine et à son développement par l'utilisation des méthodes modernes. Quelques-uns des résultats de leurs recherches sont insérées dans les publications de l'Institut Scientifique. Nous citerons à titre d'exemples quelques-uns de ces travaux.

*Un premier document* marque le retour à la région de Rabat-Tiflet, dont une meilleure connaissance permettrait de mieux comprendre la géodynamique de la Meseta marocaine. La géologie de cette région a été abordée par **Ahmed El Hassani** et **Mohamed Zahraoui** ; deux élèves du Prof Jean Sougy (considéré comme le père des Mauritanides) qui se sont intéressés à l'étude du Paléozoïque de la Meseta nord-occidentale et ont publié un premier document en 1984 sur la région<sup>184</sup>.

Ce travail comprend une présentation de la zone paléozoïque de Rabat, avec une carte détaillée. Les levés cartographiques au 1 :10.000<sup>ème</sup> de cette région ont permis de distinguer deux grands ensembles structuraux :

- Un ensemble septentrional d'unités allochtones, attribué au Cambrien moyen, métamorphique supportant en discordance angulaire des conglomérats datés du Viséen inférieur par Cogney et Danzé-Corsin (1960) ; cet ensemble a subi des plissements, un métamorphisme et une granitisation d'âge 430 Ma (Charlot et *al.*, 1973), quelque part au nord de Rabat (région actuelle du Rharb ou de la chaîne du Rif).

---

<sup>184</sup> 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, N° 16, 30 pages et 1 carte structurale.

- Un ensemble méridional sédimentaire constitué de terrains ordovico-siluro-dévonien, présentant, dans sa partie sud, des affleurements des terrains carbonifères. Cet ensemble a subi les déformations hercyniennes.

Les auteurs mentionnent que le domaine septentrional appartient à une structure ancienne, dans une zone située plus au Nord de la position actuelle de cet ensemble (avec plis, schistosité, épi-métamorphisme) et comportant une intrusion par un magma granitique ayant induit un métamorphisme de contact (à biotite, andalousite et grenat). L'âge des blocs granitiques est selon Charlot et *al.* (1973) de 430+/-2 Ma (par la méthode Rb/Sr sur isochrone). L'âge de cette chaîne est antérieur aux conglomérats du Viséen inférieur du Jbel Bakkach (qui comprend des éléments de cet ensemble), et au moins partiellement au granite. Les auteurs se posent la question : s'agit-il là d'une *chaîne calédonienne* qui aurait existé quelque part au nord de Rabat, à l'emplacement de la plaine du Rharb ou de la chaîne alpine du Rif ? Alors qu'une telle chaîne n'est pas connue, de cette manière, plus au Sud dans la Meseta occidentale.

Le rapprochement des deux ensembles par charriage a peut-être commencé dès la fin du Dévonien, mais le paroxysme du recouvrement se fait à l'Hercynien. L'interprétation des auteurs diffère de celle de Piqué (1979 et 1982), pour qui le bloc métamorphique (appelé bloc des Sehoul) ait été rapproché du reste de la Meseta par coulissement ou chevauchement après sa déformation. Le métamorphisme de ce bloc se situerait dans l'ensemble des noyaux paléozoïques de la Méditerranée occidentale. Les auteurs retiennent donc l'hypothèse de recouvrement, mais avec un déplacement pluri-kilométrique du Nord au Sud et non décamétrique, comme Piqué (1979) l'avait envisagé.

**Un deuxième document** concerne la sismologie ; en effet, cette thématique est l'une des vocations de la création de l'ISC. Du fait du rapprochement des plaques tectoniques Afrique-Europe, le Maroc a toujours connu une importante activité sismique dont quelques-uns de grande ampleur. Cela a obligé l'ISC à créer un Service de Physique du Globe (SPG) dont le rôle est justement la surveillance de cette activité sismique. Pour cela un suivi quotidien est entrepris par le SPG et au bout de quelques décennies l'un de ses chercheurs (M. T-E. Cherkaoui) a pu rendre compte de cette activité en élaborant un fichier des séismes du Maroc pour la période 1901 à 1984.

Il est certain que les tremblements de terre restent l'une des catastrophes naturelles que l'homme craint le plus. Par leur caractère imprévisible et leur violence inouïe ; les tremblements de terre peuvent dévaster, en l'espace d'une dizaine de secondes, des régions entières provoquant ainsi la destruction des habitations, des édifices, des voies de communication, etc.

Depuis le début du vingtième siècle, le Monde connaît une explosion démographique et une expansion économique extraordinaires. Des villes à haut risque sismique ont vu leur population augmenter de façon inquiétante. En plus de la concentration humaine s'ajoute la concentration industrielle : centrales thermiques et nucléaires, usines chimiques, stocks de déchets toxiques, barrages, etc. Quelle serait l'ampleur des dégâts en cas d'un tremblement de terre ?

À l'état actuel de nos connaissances, il est encore impossible de prévoir les séismes d'une manière satisfaisante. La masse de données que nécessite la prévision (c'est-à-dire prévoir la date, le lieu et la magnitude) n'est toujours pas disponible. Mais, on peut y remédier en prenant des mesures appropriées pour limiter les pertes en vies humaines et les dégâts matériels que provoquent les tremblements de terre.

Il s'avère donc nécessaire, faute de pouvoir prévoir les séismes, de renforcer les mesures de protection contre les tremblements de terre par la délimitation des zones sujettes aux séismes (zonage sismique) et par l'évaluation du danger sismique dans ces zones.

Pour la prévention, comme pour la prévision, nous avons besoin tout d'abord de constituer un fichier de séismes, le plus complet possible, où les données doivent être homogénéisées et présenter une certaine continuité dans le temps et dans l'espace (Fig. 47). C'était bien l'objectif auquel s'est consacré Cherkaoui en réalisant ce fichier.

**Mohammed Taj-Eddine Cherkaoui Maknassi**, géophysicien sismologue formé à l'université Joseph Fourier de Grenoble, a soutenu sa thèse en 1991 sur le thème « Contribution à l'évaluation de l'aléa sismique au Maroc », sous la direction du Prof. Denis Hatzfeld, Directeur de recherche au CNRS (France). Ses recherches à l'Institut Scientifique, lui ont permis de publier un important travail sur les séismes du Maroc et des régions limitrophes entre les années 1901-1984<sup>185</sup>.

Dans la préface de cet ouvrage, le Prof. Hajjoub Msougar (ex-Directeur de l'Institut scientifique de 1966-1989) met en avant la complexité du phénomène sismique et les moyens modestes qui sont mis à disposition des chercheurs : *« Et les sismologues ? Il faut attendre un tremblement de terre destructeur pour qu'on se rappelle leur existence, et c'est pour les vilipender ! Que font-ils donc ? Pourquoi n'ont-ils pas prévu la catastrophe ? On oublie tout à la fois et la modestie des moyens de travail mis à leur disposition et la complexité du problème de la prévision des séismes ; mais n'est-ce pas leur rendre indirectement hommage que d'exiger d'eux de le résoudre ? »* et d'ajouter : *« Fichier des séismes de 1901 à 1984 : la*

---

<sup>185</sup> Cherkaoui T.-E. (1988) : Fichier des séismes du Maroc et des régions limitrophes 1901-1984. Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique, N° 17, 168 p.

*banalité du titre ne doit pas masquer le grand intérêt de ce document, ni d'étouffer les éloges dus à l'auteur».*

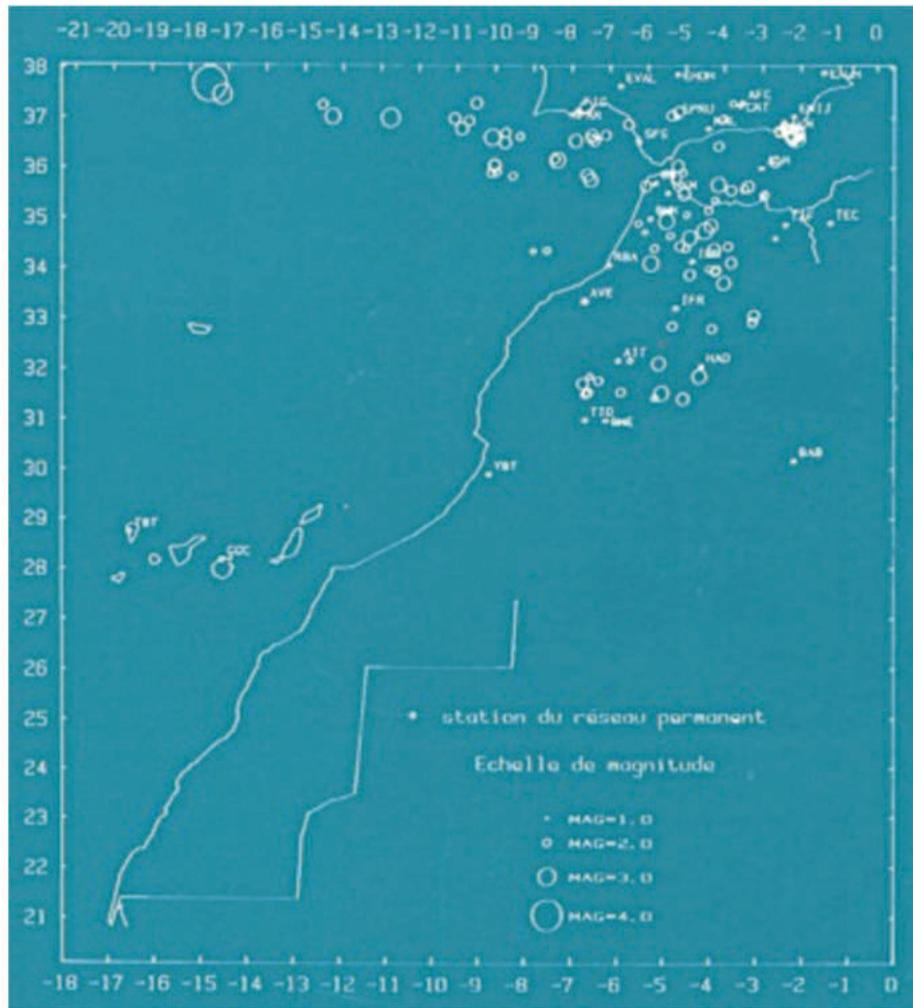


Figure 47 : Carte de la sismicité du Maroc (1901-1984).

Le fichier de la sismicité récente du Maroc débute de 1901, car l'auteur estime que c'est à partir de cette date seulement que les données sismologiques marocaines peuvent être considérées comme complètes et fiables. Pour établir ce fichier, il a consulté tous les documents et catalogues disponibles relatifs à la sismicité du Maroc dont la liste détaillée est donnée dans la bibliographie de son ouvrage.

Ce travail a été complété par une révision complète des archives du Département de physique du globe (ex SPG) : bulletins macrosismiques de ce département, questionnaires, presse, lettres manuscrites et rapports des autorités locales. Ceci a révélé qu'un nombre non négligeable de séismes n'était pas mentionné dans les "Annales du Service de Physique du Globe et de Météorologie" ni dans les différentes listes sismologiques publiées.

Un peu plus de 4600 évènements sismiques ont été recensés au Maroc ; Tous ont fait l'objet d'une révision complète et l'auteur a pu relocaliser 34% de ces séismes. En réalisant ce document, Cherkaoui a dû procéder au calcul complet de la magnitude des séismes antérieurs à 1972. Il rappelle qu'aucun calcul de la magnitude n'a été fait auparavant, sauf pour quelques séismes importants enregistrés par le réseau mondial (dont  $M \geq 4,5$ ).

Il est évident que ce fichier des séismes du Maroc et des régions limitrophes, qui a nécessité cinq années de travail pour sa réalisation, comporte un nombre impressionnant de données. Elles sont regroupées sous le terme *fichier*, d'une grande utilité pour toute étude d'aménagement de territoire, d'investissement, voire de la compréhension de la géodynamique de la planète Terre en général et celle de notre Pays en particulier.

L'auteur en précise aussi le cadre, en mentionnant que son travail est une réponse aux recommandations et aux résolutions des organisations internationales (UNESCO et Commission sismologique européenne) et régionales (Groupe de Travail Ibéro-Maghrébin) ; c'est pourquoi, précise-t-il, l'Institut Scientifique a commencé par la révision de la sismicité du Maroc et par la publication de ce fichier. Ce mémoire comprend également des données et références des travaux antérieurs, afin que le lecteur qui le désire puisse trouver tous les renseignements sur la sismicité historique de notre pays, le Maroc.

En 2012, L'auteur publie, en collaboration avec Ahmed El Hassani, plusieurs documents sur la sismicité du Maroc, dont un dans le Bulletin de l'Institut Scientifique<sup>186</sup>. Dans ces publications, les auteurs notent que le risque sismique au Maroc n'est pas aussi important que dans d'autres Pays du bassin de la Méditerranée comme l'Italie, la Grèce, la Turquie ou l'Algérie, mais il n'est pas non plus négligeable (Fig. 48).

Sur plus de 110 ans d'observations macrosismiques et instrumentales, le Maroc n'a connu qu'un seul séisme de magnitude supérieure à 6. Néanmoins, il a connu quelques tremblements de terre catastrophiques tels que : le séisme d'Agadir en 1960 ( $M = 5.9$ ), qui a détruit cette ville à plus de 75% et plusieurs villages avoisinants et a provoqué 12 000 victimes. La région d'Al Hoceima a connu, en l'espace de 10 ans, deux violents séismes en 1994 et 2004. Ce dernier (de  $M_w = 6.3$ ) a provoqué la mort de 629 personnes et des dégâts considérables. Le catalogue des séismes du Maroc, qui couvre la période 1901-2012, comprend un peu plus de 27500 séismes pour la région comprise entre  $0^\circ$  W- $20^\circ$  W et  $21^\circ$  N- $38^\circ$  N (Fig. 48).

---

<sup>186</sup> Cherkaoui T-E. & El Hassani A. (2012): Seismicity and Seismic Hazard in Morocco 1901-2010. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre*, 2012, n° 34, pp. 45-55.

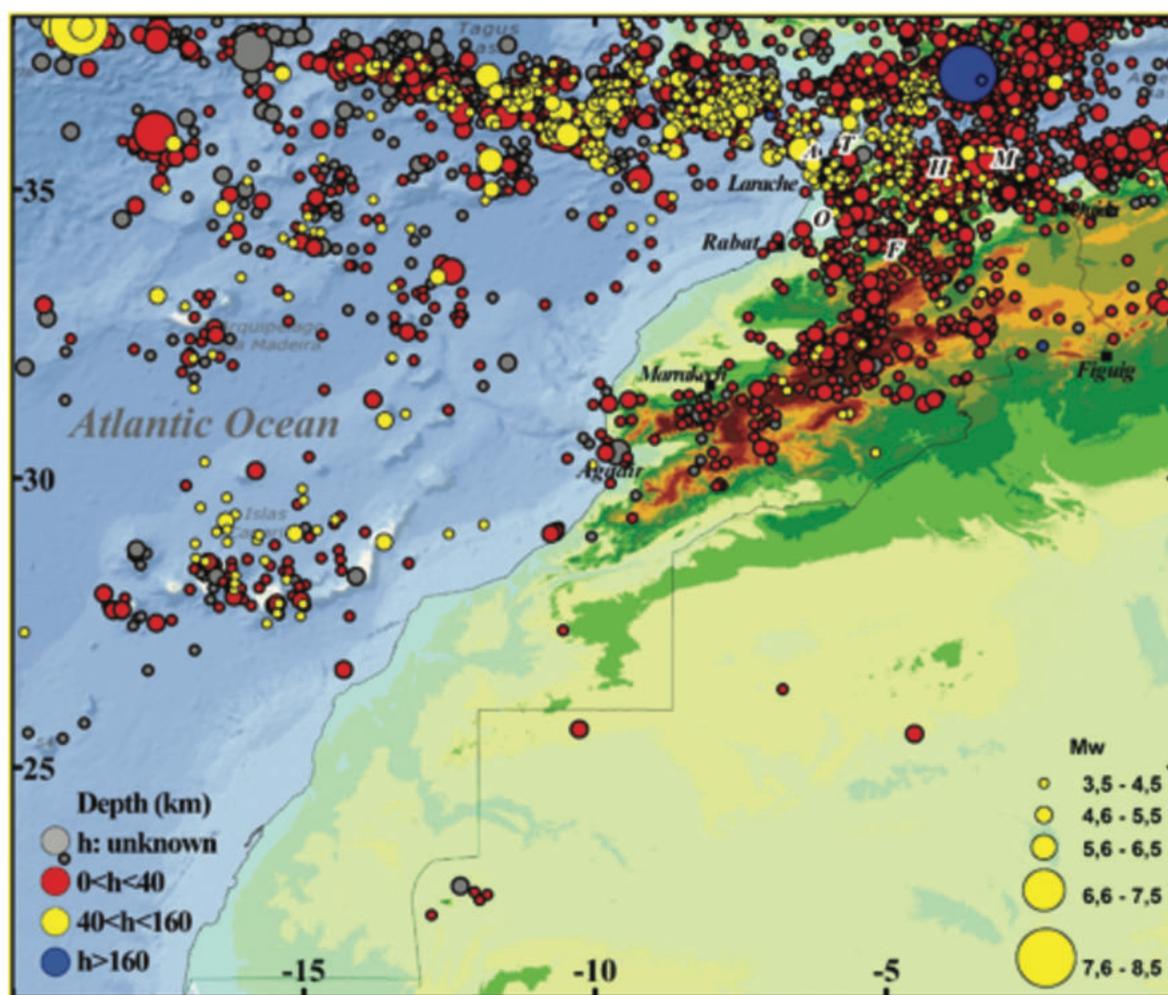


Figure 48 : Carte de la Sismicité du Maroc: 1901-2012 ( $M_w \geq 3,5$ ) d'après Cherkaoui & El Hassani (2012). Abréviations : T: Tanger ; H: Al Hoceima ; M: Melilla ; A: Asilah ; O: Ouezzane ; F: Fès

Pour la localisation des séismes, les auteurs ont utilisé les logiciels Hypo-71 et Hypo-Inverse et un modèle de vitesse adapté pour le Maroc. Pour les séismes localisés au Maroc, toutes les magnitudes ont été recalculées et les intensités réévaluées d'après les questionnaires, la presse et les archives de l'Institut Scientifique. Parmi les nombreuses applications du catalogue, les auteurs ont établi des cartes de sismicité du Maroc et des régions limitrophes ainsi qu'une carte des intensités maximales observées au Maroc pour la période 1901-2010, cette carte a été obtenue en utilisant des valeurs des intensités maximales ponctuelles observées dans 670 localités. Les nombreux travaux de ces deux auteurs et aussi ceux individuels de Cherkaoui sont d'une grande utilité pour la cartographie de l'aléa sismique au Maroc et ont été présentés en session plénière à l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques<sup>187</sup>.

<sup>187</sup> Cherkaoui T-E. & El Hassani A. (2015) : Évaluation et atténuation de l'aléa sismique au Maroc. Actes Session plénière de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques ; pp : 157-173.

La chaîne atlasique revêt une grande importance pour la connaissance de la structure générale du Maroc. Les chercheurs de l'Institut Scientifique ont toujours contribué par leurs travaux à l'amélioration de celle-ci. L'un d'entre eux est **Bouaza Fedan**, spécialiste de la chaîne atlasique où il a entrepris des études de géologie structurale, de sédimentologie et de paléontologie. Sa thèse d'État relate l'importance de ses recherches et apporte beaucoup de nouveautés notamment pour ce qui est de la sédimentologie du Moyen Atlas<sup>188</sup>. Cette thèse, publiée dans les travaux de l'Institut Scientifique, intéresse la zone comprise entre le craton ouest africain et la chaîne hercynienne de l'Afrique du Nord, intensément fracturée par les failles tardi-hercyniennes, réactivées au cours du Permien et du Trias. C'est une sorte de zone de faiblesse qui a été remobilisée au Jurassique dès les premiers stades de rifting de l'Atlantique central ; ce qui se fait par l'individualisation de plusieurs bassins intra-plaques, de forme losangique. Le domaine atlasique est alors structuré en bassins, parmi lesquels les bassins du Haut-Atlas central et du Moyen-Atlas, qui sont d'obédience mésogéenne. L'auteur s'est intéressé à l'évolution structuro-sédimentaire du Moyen-Atlas, au cours du Jurassique, en termes de stabilité, mobilité, comblement et sénescence. Il a distingué quatre principales phases :

- Une première phase concerne la formation d'une vaste plateforme, avec des dépôts carbonatés ; elle se développe au cours du Lias inférieur et moyen (c'est la période de stabilité) sous climat tropical sec ;
- Une «*crise tectonique*» compressive provoque la dislocation de cette plateforme carbonatée ; elle caractérise le passage Lias moyen – Lias supérieur (c'est la période de mobilité) ; puis individualisation, par la suite, du bassin moyen-atlasique, organisé en rides et dépocentres ; cette architecture est permanente durant les deux phases ultérieures ;
- Agencement des dépôts carbonatés en mégaséquences régressives (type klupfélien), du Turonien au Bajocien supérieur, voire passage au Bathonien (c'est la période de comblement) ; la subsidence et le comblement des dépocentres sont synchrones, compatibles avec le jeu en décrochement senestre des failles majeures jalonnant les rides ; l'amortissement de cette évolution favorisera l'installation de la plateforme carbonatée du Bajocien ;
- Une intense activité des rides se produit au Bathonien (c'est le début de la sénescence), ce qui entraîne une subsidence accrue au niveau des dépocentres ; avant que la mer ne se retire de ce bassin comblé.

L'auteur montre aussi que le bassin jurassique du Moyen Atlas est un bassin sur décrochement, avec de multiples relais distensifs et compressifs de décrochements

---

<sup>188</sup> Fedan B. (1990) : Évolution géodynamique d'un bassin intra-plaque sur décrochements : le Moyen Atlas (Maroc) durant le Méso-Cénozoïque. Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique, N° 18, 144 pages.

sénestres ENE à NE, où s'est produite une importante activité volcanique ayant induit des phénomènes hydrothermaux et métamorphiques.

La structuration du Moyen-Atlas est entamée dès le Crétacé supérieur en tant que chaîne intracontinentale. Les paléogéographies crétacée et cénozoïque le font apparaître comme une zone haute, où évoluent des bassins continentaux et des bassins marins (Crétacé supérieur – Paléogène et Miocène supérieur) sur les bordures et le centre de ceux-ci.

Après le Miocène, la globalité du Moyen-Atlas montre une structure en horst où les dépôts éocènes ainsi que les structures héritées sont en relief. Signalons enfin, qu'une importante activité magmatique et une déformation néotectonique se développent au cours du Quaternaire. Cette zone reste, à nos jours, sismiquement active.

#### **4. Numéros spéciaux du «*Bulletin de l'Institut Scientifique*» dédiés à la géologie**

Dans la série multidisciplinaire du Bulletin de l'Institut Scientifique, deux numéros ont été dédiés à la géologie. Il s'agit du *Bulletin N° 15-1991*, correspondant à la publication de la thèse d'État d'Ahmed El Hassani (concernant la zone calédonohercynienne de Rabat-Tiflet) ; et du *Bulletin N° 18-1994*, qui est un ouvrage multi-auteurs sur la géologie du Paléozoïque du Maroc central et de la Meseta orientale.

**Bulletin N° 15-1991** : La Zone de Rabat-Tiflet : Bordure nord de la Chaîne Calédono-Hercynienne du Maroc (Ahmed El Hassani) ; 124 pages.

Dans ce bulletin l'auteur publie le mémoire de sa thèse d'état ès-sciences, soutenue à l'Université de Strasbourg en mai 1990, devant le jury composé des professeurs spécialistes de la géologie du Maroc : George Millot ; Jacques Lucas ; André Michard ; Alain Piqué ; Christian Hoepffner et Gérard Bossière.

La zone de Rabat-Tiflet (Fig. 49), étudiée par l'auteur, est une des zones clés du Maroc hercynien, par l'âge de sa structuration et par sa position septentrionale dans le domaine de la Meseta marocaine occidentale. Elle permet d'envisager des liens à l'époque considérée avec l'Amérique du Nord et l'Europe méridionale. Sa principale caractéristique est l'orientation de ses structures E-W et sa constitution par deux unités principales, le *Bloc métamorphique des Sehoul* au Nord et une *zone sédimentaire* (dite de Bou Regreg) au Sud. Ces deux unités sont séparées par un contact anormal de type chevauchant.

Les travaux d'El Hassani ont permis d'y définir un cycle «*calédonien*» et un cycle «*varisque ou hercynien*», avec à chaque fois, création d'un bassin sédimentaire et sa fermeture par une ou plusieurs phases tectoniques.

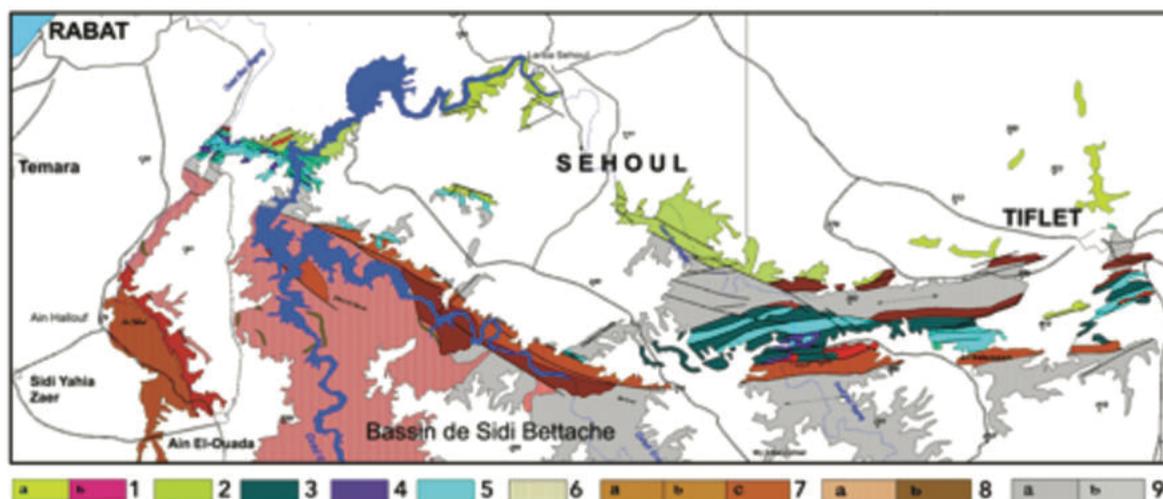


Figure 49 : carte géologique simplifiée de la région de Rabat-Tiflet (El Hassani, 1990).

1. Cambrien (a: grauwackes, siltstones et quartzites; b: granite, trachyandesites et rhyolites);  
 2. Cambrien-Ordovicien (quartzites et Phyllades du Bloc Sehoul); 3. Ordovicien inférieur; 4.  
 Silurien; 5. Dévonien inférieur et moyen; 6. Dévonien indifférencié; 7. Dévonien supérieur  
 et Tournaisien; 8. Viséen inférieur; 9. Viséen moyen et supérieur.

Le **cycle calédonien** caractérise la zone des Sehoul, où affleure une série détritique du Cambrien (p.p.) qui, du fait d'une importante subsidence, a une épaisseur de plusieurs centaines de mètres. Sa polarité sédimentaire est orientée du Nord vers le Sud, obtenue grâce à l'étude des structures sédimentaires (granoclassements, structures obliques, figures de base,...) parfois très bien conservées. On y reconnaît les trois zones typiques d'une architecture deltaïque (prodelta, front de delta, et plaine deltaïque). Les terrains de la zone des Sehoul étaient attribués, au Cambrien moyen, par analogie de faciès avec les séries de la Meseta (en particulier les "schistes à trous" du massif des Rehamna) par Piqué (1979)<sup>189</sup>. Cette datation a été confirmée par El Hassani & Willefert (1991)<sup>190</sup> grâce à la découverte de deux gisements fossilifères ; l'un à Trilobites, de la famille des *Solenopleuridae* (*Parasolenopleura sp.*) (dét. Jacques Destombes) ; l'autre à *Oldhamia*, auxquelles sont associés des Lingules, des Hyolithidés et des plèvres de Trilobites. Cependant, la présence de l'Ordovicien inférieur ne peut pas être exclue, en raison de l'importante épaisseur de la série des Sehoul.

Dans la zone sédimentaire du Bou Regreg, affleure une série de schistes et de grès qui avait été attribuée par Cogne (1957)<sup>191</sup> à un Ordovicien probable, sans preuve

<sup>189</sup> Piqué A. (1979).- Évolution structurale d'un segment de la chaîne hercynienne: la Meseta marocaine nord-occidentale. *Sci. géol. Mém., Strasbourg*, 56, 243 pages.

<sup>190</sup> El Hassani A. & Willefert S. (1990): La zone cambrienne à *Oldhamia* des Sehoul (Maroc septentrional). *Géologie Méditerranéenne* 17(3):229-241

<sup>191</sup> Cogne G. (1957).- Recherches géologiques au confluent des oueds Bou Regreg, Grou et Akrech (Maroc occidental). *Trav. Instit. Sci. Chérif.; Sér. Géol. et Géogr. Phys.*, 6, 56 p.

paléontologique. Les recherches d'El Hassani et *al.* (1988)<sup>192-193</sup> ont permis la découverte de deux gisements fossilifères qui datent l'Ordovicien de Rabat par macrofaune : le premier gisement à Bled Dfa comprend une association de Trilobites, de Graptolithes et d'Ostracodes; le deuxième à Hosseine (en rive droite de l'oued Bou Regreg) a livré un Trilobite et plusieurs exemplaires d'un Brachiopode. D'autres gisements ont été découverts dans les environs de l'oued Tiflet (El Hassani, 1990). L'analyse de ces faunes de Rabat et de Tiflet montre que l'Ordovicien est limité ici à l'Arenig moyen, l'Arenig supérieur et/ou le Llanvirn inférieur (déterminations de Jacques Destombes et de Solange Willefert).

Du point de vue sédimentaire, les séries ordoviciennes de la région de Tiflet sont mieux conservées que celles de Rabat ; la coupe-type est représentée par des pélites à la base, qui se chargent progressivement en silts et passent à des grès. Ces derniers montrent une oolithisation qui est de plus en plus développée vers le sommet. La séquence est négative et à double gradient (sédimentaire et diagénétique) ; on peut la mettre en rapport avec la régression de la fin de l'Arenig / début du Llanvirn. Cette série sédimentaire contient des roches volcaniques inter-stratifiées dans les grésopélites. Les analyses chimiques montrent qu'il s'agit de basaltes peu différenciés, fortement spilitisés, dont la nature géochimique est proche de celle des laves calco-alkalines. La présence de ces roches magmatiques distingue cette région du reste de la Meseta marocaine à l'Ordovicien.

La compression calédonienne est surtout connue dans le Bloc métamorphique des Sehoul, avec des impacts dans la zone sédimentaire (ordovicienne). En effet, les phyllades et les quartzophyllades, formant la zone des Sehoul, sont affectées par une déformation souple qui a donné des plis d'amplitude variable: décimétrique (à Kern Nesrani) à centimétrique, voir millimétrique souvent isoclinaux (phyllades du barrage de Rabat). Ces plis, de direction N 50 à N 70°, déversés ou couchés vers le sud-est, sont contemporains d'une schistosité qui se développe progressivement depuis le type dissolution évoluée (à Kern Nesrani au Nord) à la schistosité de flux (barrage de Rabat au SW et vallée de l'oued Tiflet au SE). Une évolution parallèle du métamorphisme régional est également observée dans le même sens. El Hassani a réalisé des datations isotopiques K/Ar (à Lausanne en Suisse) qui ont permis de dater ce métamorphisme à 450 Ma, conférant ainsi un âge ordovicien moyen à cette

---

<sup>192</sup> El Hassani A., El Wartiti M., Zahraoui M., Destombes J. & Willefert S. (1988).- Découverte d'une macrofaune arénigienne (Ordovicien inférieur) à Trilobites et Graptolithes dans la région de Rabat, Meseta côtière nord-occidentale (Maroc). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 307, II, pp: 1589-1594.

<sup>193</sup> El Hassani A., Destombes J. & Willefert S. (1988).- 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). *Bull. Inst. Sci. Rabat*, 12, pp: 27-45.

phase des Sehoul (El Hassani et *al.*, 1991)<sup>194</sup>. Vers la fin de cette compression, une granitisation se met en place ; il s'agit du granite de Taicha (au SW de Tiflet) qui a été datée à 430 Ma, c'est-à-dire à limite Ordovicien-Silurien, par Charlot et *al.*, 1973)<sup>195</sup> - <sup>196</sup>. Le granite est calco-alkalin et montre le même profil que les basaltes ordoviciens, ce qui suggère que ces deux types de roches ont une origine commune, bien qu'ils soient d'âge différent. Ce granite "*calédonien*" a développé un métamorphisme de contact. Certains de ses minéraux (notamment les andalousites), sont contemporains de la déformation, alors que d'autres (phénoblastes de cordiérite, de chlorite et de biotite) sont postérieurs à la schistosité de flux ; ce qui indique que la granitisation est syn- à légèrement post-tectonique. Ces événements sont contemporains de certains épisodes tectono-métamorphiques, communément rangés dans l'orogénèse calédonienne d'Europe et d'Amérique du Nord.

Cette zone des Sehoul, alors structurée, constitue le bloc des Sehoul, qui se rapproche du reste de la Meseta, par chevauchement vers le sud, antérieurement aux calcaires et pélites à Graptolithes du Silurien terminal (Pridoli). Ces roches sont en effet transgressives sur les pointements granitiques de Tiflet par l'intermédiaire d'une série microconglomératique "*lie-de-vin*". Cette zone est alors "*cratonisée*" et constituera par la suite la marge nord du futur bassin de Sidi Bettache. Signalons enfin que dans la zone sédimentaire du Bou Regreg, ces mouvements "*calédoniens*" s'expriment par une importante lacune sédimentaire, allant du Llanvirn à la fin du Silurien inférieur, sur environ 60 Ma. Cette même lacune, parfois un peu réduite, est connue ailleurs en Meseta occidentale ; elle a été signalée auparavant dans les Rehamna septentrionales, à Mechra Ben Abbou, par Marcel Gigout (1955) qui a mentionné des lacunes et des niveaux conglomératiques dans le Dévonien inférieur<sup>197</sup>.

Après une période d'émersion, la sédimentation reprend au Silurien supérieur ; la période siluro-dévonienne débute le **cycle varisque (hercynien)**. La transgression, progressive de Rabat à Tiflet, est marquée par un niveau microconglomératique, suivi par des sédiments très fins, pélites et calcaires, en bancs ou en nodules sédimentaires, à Graptolithes, Trilobites, Orthocères et Brachiopodes. Ces faciès,

<sup>194</sup> El Hassani A., Huon S., Hoepffner Ch., Withechurch 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*. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 312, II, pp: 1027-1032.

<sup>195</sup> Charlot R., Rhalib M. & Tisserant D. (1973).- Étude géochronologique préliminaire des granites de la région de Rabat-Tiflet (Maroc occidental). *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc*, 249, pp: 55-58.

<sup>196</sup> Les travaux de Tahiri et *al.* 2010 ont permis de recalculer cet âge et pour eux, le granite supposé calédonien, serait plutôt fini-précambrien (à 609+/-4 Ma) et constituerait le socle de la série paléozoïque (Tahiri, A., Montero, P., El Hadi, H., Martínez Poyatos, D., Azor, A., Bea, F., Simancas, J. F. & González Lodeiro, F. (2010): Geochronological data on the Rabat-Tiflet granitoids: Their bearing on the tectonics of the Moroccan Variscides. – *Journal of African Earth Sciences*, 57: 1-13).

<sup>197</sup> Gigout M. (1955) : Recherches géologiques à Mechra Benâbbou. Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique ; N° 3, 67 pages.

presque uniformes dans toute la Meseta marocaine, sont ceux d'une mer ouverte, relativement calme. Les premiers signes de l'instabilité du milieu se font sentir dès le Lochkovien, mais c'est à partir du Praguien que les mouvements précurseurs sont mieux individualisés. Le milieu de dépôt devient alors peu profond, favorable à l'installation d'une plateforme carbonatée à l'Emsien. Parallèlement à l'évolution du faciès se produit une évolution de la faune, d'abord pélagique (prolifération de Graptolithes au Siluro-Lochkovien), puis néritique (Encrines, Echinodermes, Polypiers, Bryozoaires,...). Par sa faune et son faciès le Siluro-Dévonien de Rabat-Tiflet rappelle celui du Barrandien (en Bohême, Tchéquie).

Les perturbations synsédimentaires (failles) conduiront, à l'Emsien supérieur, à des variations locales de faciès (pélites à Rabat et calcaires à Tiflet). La plateforme emsienne se prolongerait jusqu'au Givétien pour développer des calcaires à constructions récifales, qui affleurent dans les carrières de l'oued Tiflet, notamment. Ces perturbations sont les prémices de l'individualisation, au Dévono-Dinantien, du bassin de Sidi Bettache, dont on se trouve ici à la marge septentrionale.

La période du Famennien supérieur à Viséen supérieur est marquée par l'ouverture et le comblement du *Bassin de Sidi Bettache* (défini par Piqué, 1979). Les marqueurs de cette ouverture sont présents dans la zone de Rabat-Tiflet, qui constitue la bordure septentrionale de ce bassin. C'est ce que Piqué (1979) a qualifié de "*révolution famennienne*", et qui est marquée par une tectonique en horsts et grabens. Les pentes du bassin sont contrôlées, dans la région de Rabat-Tiflet, par un système de failles verticales, à regard sud. La sédimentation qui caractérise à cette époque la bordure sud de la zone du Bou Regreg est de type chaotique (plusieurs cycles conglomératiques, avalanches de blocs, cônes de dépôts grossiers dans un milieu fin, coulées boueuses, olistolithes, slumps,...) remaniant les calcaires récifaux du Dévonien. Au Viséen moyen, on assiste à l'approfondissement du bassin de Sidi Bettache avec développement de séquences grésopélitiques en régime subsident. La transgression du Viséen supérieur sur les termes antérieurs correspond au comblement définitif du bassin ; des sédiments de milieu très peu profond se déposent : sables microconglomératiques et conglomérats, en alternance avec des calcaires oolithiques, sous forme de séquences métriques à décimétriques.

La déformation hercynienne est relativement faible par rapport aux autres régions de la Meseta occidentale. La phase de plissements dans la zone du Bou Regreg donne des structures d'orientation grossièrement est-ouest, déversées vers le sud. La schistosité est de type fracture, elle n'est visible que dans les niveaux pélitiques et elle ne s'accompagne pas de recristallisation métamorphique.

Sur la bordure sud du bloc des Sehoul, les phyllades et les quartzophyllades sont replissées en direction moyenne N 110°, avec développement d'un clivage de

fracture ou d'une crénulation à proximité du contact avec l'ensemble sédimentaire de la zone du Bou Regreg. Le bloc des Sehoul enregistre, à nouveau, un chevauchement de faible ampleur vers le sud. La zone de chevauchement comprend notamment des calcaires dévoniens et des conglomérats du Viséen inférieur (type jbel Bakkach). Des chevauchements identiques ont été relevés dans la zone du Bou Regreg et les granites "calédoniens" ont été cataclasés.

El Hassani, dans ce travail, propose **un modèle géodynamique**. En effet, lors de l'ouverture de l'océan théïque, se développent dans le NW du Gondwana des marges passives: c'est la zone des Sehoul et peut-être aussi les régions Kabyles au Nord et au Nord-Est, d'une part ; la fosse (?) d'El Jadida à l'ouest du Maroc stable d'autre part. Dans ce contexte, la zone des Sehoul s'est séparée du Gondwana par un amincissement crustal durant la période cambrienne et ordovicienne inférieure. Cet événement se constate aussi dans la zone du Bou Regreg, où la distension régionale est suggérée par la présence des laves calco-alcalines intercalées dans les grésopélites de l'Ordovicien inférieur (Arenig).

Ultérieurement, vers 450 Ma., une compression se produit dans la zone des Sehoul. Elle se traduit par la fermeture d'une portion de marge et provoque le rapprochement de la zone des Sehoul de la Meseta marocaine stable. Elle se traduit également par des plissements, à vergence sud, synschisteux et synmétamorphiques de direction E-W et par des granites intrusifs syn- à tardi-tectoniques. Le bloc des Sehoul, ainsi structuré, est définitivement collé à la Meseta marocaine et "cratonisé" antérieurement aux dépôts du Silurien terminal (Pridoli), transgressifs sur les pointements granitiques de Tiflet.

Dans l'escarpement d'El Jadida, des granites cambriens sont déformés à l'Ordovicien moyen. Ces événements répondent à un processus de distension crustale, suivie d'une compression. Dans ce cas, la distension et la compression régionales se produisent suivant des directions orthogonales à celle des Sehoul (Piqué, 1989)<sup>198</sup>.

On peut donc retenir, en conclusion, que pendant le Cambrien et l'Ordovicien inférieur, les marges NW du Gondwana ont subi un amincissement crustal et un début de dislocation, simultanément selon des directions E-W (zone des Sehoul) et N-S (escarpement d'El Jadida). Cette distension est plus importante dans les parties sud-ouest ibérique et nord-est appalachienne. La compression (c'est-à-dire la fermeture des portions de marges) est Cambrien supérieur en Kabylie et Ordovicien moyen dans les Sehoul et dans l'escarpement d'El Jadida. Plus tard, au Dévonien, se produit la fermeture de l'océan théïque par la phase acadienne.

---

<sup>198</sup> Piqué A. (1989).- Variscan terranes in Morocco. Geol. Soc. Amer., Special Paper, 230, pp: 115-129

La zone de Rabat-Tiflet fera ensuite partie d'une évolution commune avec l'Europe pendant l'orogénèse hercynienne. Louis Gentil (1918)<sup>199</sup> et Georges Lecointre (1926)<sup>200</sup> sont les premiers à remarquer la ressemblance de la chaîne hercynienne du Maroc avec celle de l'Europe.

Les traits principaux de la chaîne hercynienne du Maroc et de l'Ibérie permettent de dégager deux domaines dont la continuité nord-sud se ferait par le prolongement de la zone de l'Ossa Morena vers la Meseta orientale d'une part et la zone sud portugaise vers la Meseta occidentale d'autre part. Ces deux domaines présentent, durant le cycle varisque, plusieurs ressemblances.

**Bulletin N° 18-1994** : Géologie du Paléozoïque du Maroc central et de la Meseta orientale (El Hassani A., Piqué A. et Tahiri A., *éditeurs*)

Ce numéro est une synthèse, née de la nécessité de décrire et d'argumenter cette région dans ses aspects stratigraphiques et structuraux. Plutôt que de fournir des résumés juxtaposés des monographies consacrées à cette région, les auteurs ont opté pour synthétiser, en plusieurs chapitres, les grands traits de l'évolution paléozoïque du Maroc central et de la Meseta orientale.

La Meseta marocaine, située entre les chaînes récentes du Rif et du Haut Atlas, comprend des terrains anciens, principalement paléozoïques, recouverts par des séries surtout mésozoïques, minces et tabulaires. La chaîne NE-SW du Moyen Atlas sépare ce domaine en deux parties : la Meseta occidentale et la Meseta orientale. Dans ces deux parties, les terrains paléozoïques forment des boutonnières, ou massifs, séparés cartographiquement par les terrains de couverture.

Dans cette synthèse les auteurs ont mis à jour les données stratigraphiques avec précision en fonction des dernières découvertes décrites dans les monographies du groupe (soutenues sous forme de thèses) et ont également mis à jour l'interprétation de cette région sur le plan structural. Cette synthèse a aussi permis de dresser une nouvelle carte structurale du Maroc central (Fig. 50) qui a été présentée par son coordinateur (D. Fadli) au Congrès Géologique International d'Oslo (Norvège) en 2008.

Les chapitres abordés concernent :

- Introduction historique et structurale (A. Piqué) ;
- Stratigraphie et environnement sédimentaire du bloc des Sehoul (A. El Hassani) ;
- Le Cambrien et l'Ordovicien du Maroc central méridional (Y. Cailleux) ;

<sup>199</sup> Gentil L. (1918).- Notice sur les titres et travaux scientifiques de L. Gentil. LAROSE (Ed.) Paris, 132 pages.

<sup>200</sup> Lecointre G. (1926).- Recherches géologiques dans la Meseta marocaine. Mém. Soc. Sci. Nat. Maroc, 14, pp: 1-158.

- L'Ordovicien du Maroc central septentrional (A. Tahiri & A. El Hassani) ;
- Le Silurien et le Dévonien inférieur et moyen (M. Zahraoui) ;
- Le Famerno-Tournaisien et le Viséen (D. Fadli) ;
- Le Permien (M. El Wartiti) ;
- La déformation «calédonienne» du bloc des Sehoul et la tectonique de la Meseta nord-occidentale (A. El Hassani) ;
- Tectonique hercynienne de l'anticlinorium de Khouribga-Oulmès et du synclinorium de Fourhal (A. Tahiri) ;
- Tectonique de l'Est du massif hercynien central, zone d'Azrou-Khénifra (M. Bouabdelli) ;
- La zone de Midelt-Tazekka-Bsabis, le domaine interne de la chaîne varisque et ses relations avec le massif hercynien central (Ch. Hoepffner) ;
- Le volcanisme dévono-dinantien du massif central et de la Meseta orientale (F. Kharbouch)
- Conclusions générales sur le Maroc central et la Meseta orientale ; leur place dans la chaîne hercynienne marocaine (A. Piqué).

Ces chapitres sont complémentaires et ont présenté successivement les traits majeurs de l'histoire stratigraphique du Paléozoïque, de la sédimentologie des séries et de l'évolution structurale calédo-hercynienne du Maroc central et des régions nord-orientales du Maroc.

En donnant de façon synthétique les grands traits de cette évolution, les auteurs ont alors dégagé les principales caractéristiques de chaque période, les étapes du développement du Massif central au Paléozoïque, les caractères du développement de ce massif dans le cadre du développement de l'orogénèse hercynienne (évolution géodynamique calédo-hercynienne ; caractéristiques de ces orogénèses ; en y ajoutant une comparaison avec les domaines voisins (Rehamna, Jébillet, Anti-Atlas et Algérie nord-occidentale).

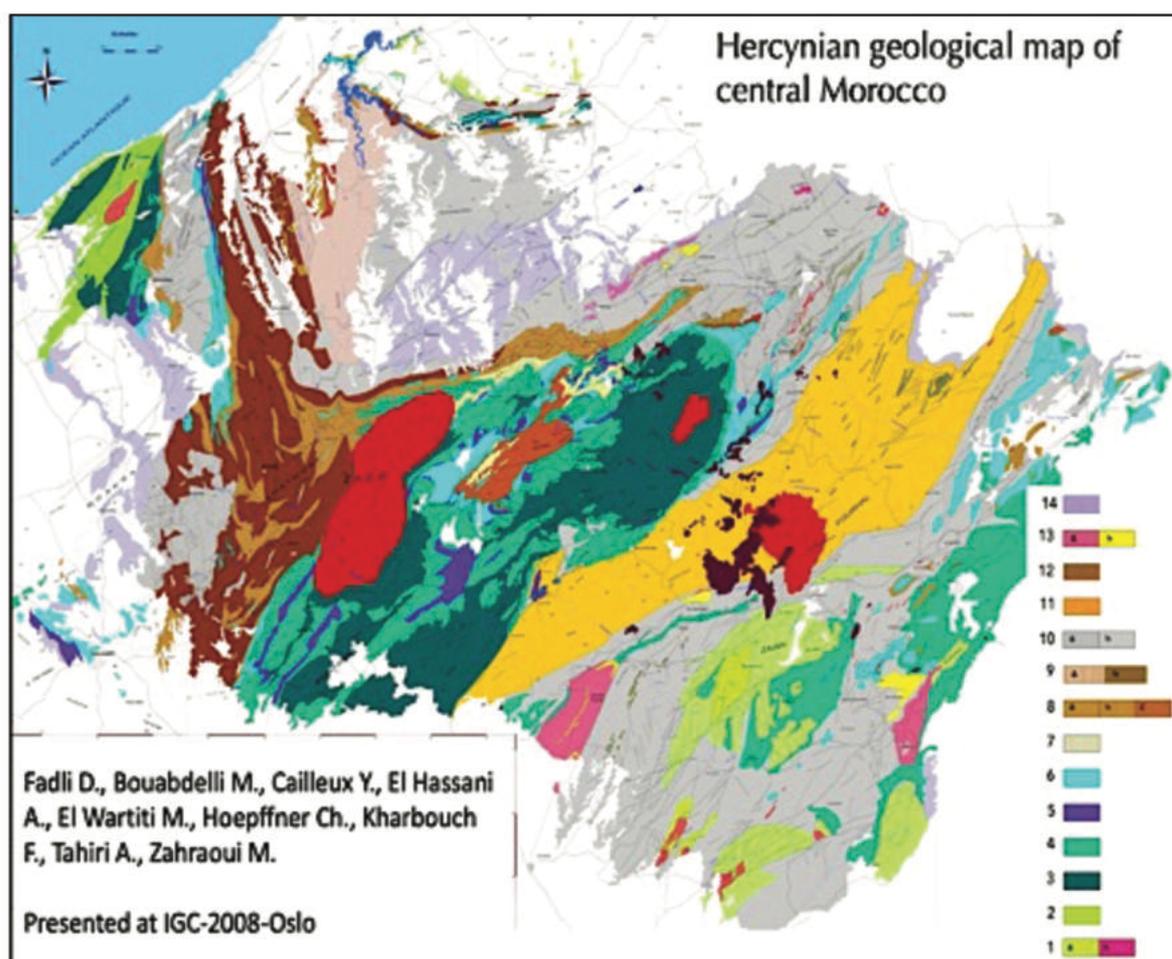


Figure 50 : Carte géologique du Maroc Central (d'après Fadli *et al.*, 2008):

1. Cambrien (a: grauwackes, siltstones et quartzites; b: trachyandesites et rhyolites); 2. Cambrien-Ordovicien (quartzites et Phyllades du Bloc des Schoul); 3. Ordovicien inférieur; 4. Ordovicien supérieur; 5. Silurien; 6. Dévonien inférieur et moyen; 7. Dévonien indifférencié; 8. Dévonien supérieur et Tournaisien; 9. Viséen inférieur; 10. Viséen moyen et supérieur et Namurien inférieur; 11. Namurien supérieur-Westphalien inférieur ; 12. Westphalien supérieur ; 13. Stéphanien-Permien ; 14. Trias.

## 5. Les documents de l'Institut Scientifique

L'Institut Scientifique a édité un autre type d'ouvrages, il s'agit des *Documents de l'Institut Scientifique*, dont la parution est irrégulière et qui avaient été consacrés, pour les premiers numéros (1 à 18), pour les comptes rendus de l'ornithologie marocaine (notamment les recensements hivernaux des oiseaux). De 2004 à 2014, plusieurs numéros de ces documents sont dédiés à la géologie, et concernent dans leur majeure partie des *Livrets-guides* d'excursion organisées par les chercheurs de l'IS (ou en collaboration avec d'autres chercheurs nationaux ou étrangers), des *Proceedings* de workshop ou d'*inventaires* des collections géologiques de l'Institut Scientifique. A nos jours, on compte huit numéros de ces documents qui ont été dédiés à la géologie, dont trois particulièrement intéressants, relatant la mise à jour

des données des terrains paléozoïques (Silurien à Carbonifère) de l'Anti-Atlas dans sa totalité, particulièrement sur le plan bio-stratigraphique. Deux numéros (19-2004 et 27-2013) retracent ces nouvelles données ; le troisième (33-2020) est un document qui fait le bilan des recherches géologiques à l'Institut Scientifique, à l'occasion du centenaire de cet établissement.

**Le premier document** retrace la mise à jour des données sur les séries siluro-dévonniennes et carbonifères de la partie ouest de l'Anti-Atlas (Vallée du Dra)<sup>201</sup>. Celui-ci est présenté sous forme de Livret-guide d'une excursion de plusieurs jours, dans le cadre de la réunion annuelle internationale de la Subcommission de la Stratigraphie du Dévonien (SDS) qui s'est tenue au Maroc, et où des précisions stratigraphiques et des études sédimentologiques de ce bassin (vallée du Dra) sont développées.

La réunion annuelle SDS a eu lieu à Rabat (1-10 mars 2004), avec une importante excursion dans la Vallée du Dra, sous le thème «*Devonian neritic-pelagic correlation and events*» en collaboration avec le Programme International des Corrélations Géologiques (PICG) N° 499 dont le thème est «*Devonian land-sea interaction: evolution of ecosystems and climate : DEVEC*». Cette réunion a été organisée par l'Institut Scientifique de l'Université Mohammed V, Agdal sous la direction du Professeur Ahmed El Hassani (Membre Titulaire et Vice-Président de la SDS), avec l'aide du Dr. Mohamed Bensaid, Dr. Elmostafa Benfrika (tous deux Membres Correspondants SDS) et du Professeur Mohamed Saghi (Directeur de l'Institut Scientifique, en 2004).

Lors des deux jours de conférences à Rabat, 24 communications orales ont été présentées et ont traité des questions du Dévonien, notamment la biostratigraphie, la paléontologie, les événements globaux et la chémiostратigraphie. En outre, 20 communications affichées ont été présentées sur des sujets similaires.

Au cours de la partie technique de la réunion, le projet 499 du PICG (Programme International des Corrélations Géologiques) qui venait d'être accepté a été présenté aux participants pour la première fois à Rabat. De plus, d'autres projets nouveaux du PICG ont été mentionnés (projets du PICG 491, 497 et 503), ils ont tous une certaine relation avec le PICG 499.

Ces communications orales et affichées ont été rassemblées dans un volume de 87 pages (intitulé: Corrélation et événements néritiques-pélagiques dévoniens).

La visite réussie de terrain est le résultat d'une coopération fructueuse entre l'Institut Scientifique et les Groupes allemands de l'Institut Senckenberg de Francfort

---

<sup>201</sup> El Hassani A. (Ed.)- 2004: Devonian Neritic-Pelagic Correlation and Events in the Dra Valley; Western Anti-Atlas, Morocco. Document de l'Institut Scientifique, N° 19 ; 100 p.

(G. Plodowski, E. Schindler, U. Jansen, P. Königshof) et l'Institut de paléontologie de Munster (T. Becker, S. Aboussalam, V. Ebbighausen, J. Bockwinkel). Le succès était également dû à la grande coopération du Gouverneur d'Assa, ainsi que de la Garnison militaire de Tata.

Dans ce guide d'excursion, on peut lire que la vallée du Dra (ou Drâa) s'étend sur une distance de près de 600 km, parallèlement à la direction générale des formations paléozoïques de l'Anti-Atlas, depuis Zagora au Nord-Est à Tan-Tan près de l'océan Atlantique au Sud-Ouest. De Zagora, une branche importante de cette vallée coupe, en direction nord-ouest, le Paléozoïque et le Précambrien et se dirige vers Ouarzazate ; ce qui dégage des affleurements spectaculaires permettant de lire aisément l'histoire géologique de la région. L'oued Dra s'étend sur une grande distance, parallèlement aux séries du Dévonien supérieur et le Tournaisien du Jebel Tazout, proche de la frontière maroco-algérienne. Les affleurements proches de cette frontière sont en partie devenus inaccessibles pour des raisons de sécurité ; et toute visite doit se faire en accord avec les autorités militaires. Cependant, la vallée du Dra a donné son nom à de vastes étendues d'affleurements du Dévonien (Hollard & Jaquemont, 1956 ; Hollard, 1978) formant ainsi le flanc nord du vaste bassin de Tindouf (Fig. 51), ayant entre-autres bénéficié d'une attention particulière, en raison des recherches pour des réservoirs potentiels d'hydrocarbures.

Les récentes études sur le Dévonien, présentées dans ce guide, se concentrent sur les parties accessibles de cette vallée entre le Sud de Foum Zguid et la zone sud de Torkoz (marquées par des étoiles sur la figure 51), permettant ainsi d'établir des corrélations sur près de 400 km. La relative continuité des affleurements permet une reconstruction exceptionnelle des faciès et aussi des changements fauniques le long de la paléo-plateforme dévonienne du nord-ouest du Gondwana, avec peu d'influence de la déformation ultérieure par l'orogénèse varisque/hercynienne (plissements modérés et quelques failles), contrairement à ce que l'on connaît dans le domaine mésétien, au nord de la faille sud-atlasique et où cette même orogénèse est beaucoup plus importante. L'accroissement de l'épaisseur globale des roches sédimentaires vers le sud-ouest indique une provenance prédominante de l'approvisionnement en matériel siliciclastique, avec la présence de masses terrestres érosives vers le sud-ouest et l'ouest. Cependant, il existe également des ensembles clastiques épais (par exemple, les grès du Rich 3) qui s'estompent du nord-est vers le sud-ouest. Ceci confirme qu'une combinaison de variation d'affaissement et de changement de direction d'approvisionnement doit être prise en compte dans les reconstructions paléogéographiques (voir les coupes transversales dans la publication de Hollard de 1967).

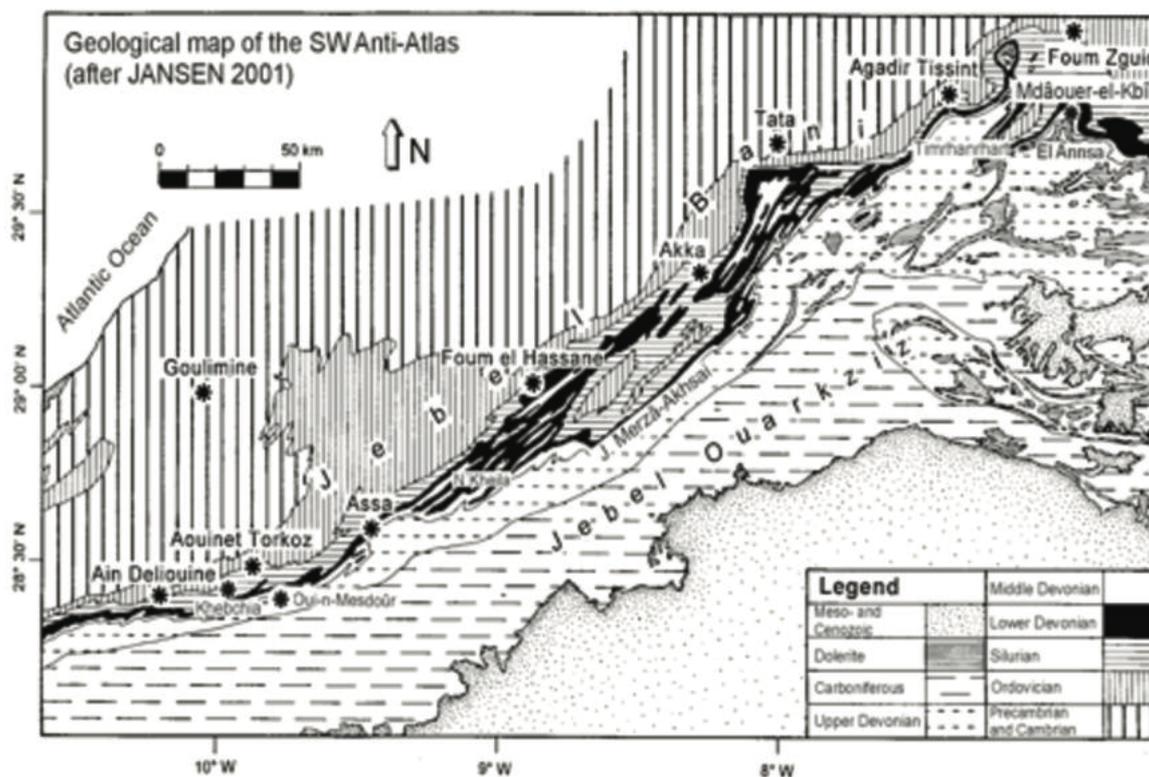


Figure 51 : Carte géologique de la vallée du Dra (SW de l'Anti-Atlas) d'après les travaux de Hollard & Jaquemont (1956) complétée et modifiée par Jansen (2001) ; les étoiles indiquent les sections décrites dans le document 19-2004.

Les recherches sur le Dévonien de la région de la vallée du Dra ont commencé plus tard, par rapport à d'autres régions du Maroc (surtout l'Anti-Atlas oriental), et ont conduit à beaucoup moins d'études détaillées sur la faune et la sédimentologie des formations dévoniennes. Nous citons à titre d'exemple une excursion de onze jours au profit des membres de la SDS, organisée en 1975 par Henri Hollard, pour montrer les localités depuis l'est de la vallée du Dra jusqu'au Tafilalt ; ainsi des compilations assez détaillées ont été publiées post-mortem (Hollard, 1981). Notons aussi qu'avant lui, les premiers rapports sur les faunes dévoniennes de la vallée du Dra sont ceux de Gentil (1929), Descossy & Roch (1934), Bondon & Clariond (1934) et Bourcart (1938). Choubert et ses collaborateurs (1948) ont fait état des premières Goniatites emsiennes et famenniennes de la région, découvertes plus tôt en 1938 à 1941. Récemment, Bultynck & Walliser (2000) ont fait référence à la vallée du Dra dans leur aperçu de l'Anti-Atlas marocain, qui est par ailleurs beaucoup plus ciblé sur les successions héli-pélagiques du Tafilalt et du Maider (Anti-Atlas oriental).

Des unités épaisses de grès, partiellement quartzitiques, ont résisté à l'érosion et forment aujourd'hui des crêtes étendues et élevées s'étendant le long de la direction. En tant qu'unités de marqueurs répandues, elles fournissent des repères faciles dans le paysage et permettent de faire aisément des corrélations lithostratigraphiques et témoignent d'énormes barres de sable marines ouvertes, bordant l'ancienne côte du

Gondwana. Dans les premiers travaux de Choubert (1948, 1951 et 1956), ces reliefs du Dévonien inférieur ont été nommés «Rich». Plus tard, Hollard (1963 et 1981) a utilisé le terme «Rich» pour distinguer des formations successives basées sur une rythmicité et qu'il numérote de 1 à 4. La série stratigraphique continue ensuite par des grès massifs intercalés dans des schistes, Dévonien supérieur à Carbonifère inférieur, pour former le Jbel Tazout et le Jbel Ouarkziz ; ce dernier comprenant également des calcaires.

Dans cet ensemble stratigraphique, les unités se suivent sur de très longues distances, avec la confirmation des valeurs de corrélations élevées et leur position stratigraphique invariable entre des niveaux pélagiques bien datés par des ammonoïdes et des conodontes.

Le Dévonien de la vallée du Dra est généralement caractérisé par des taux de sédimentation élevés, une prédominance de dépôts clastiques fins et grossiers et par une alternance d'intervalles fossilifères, néritiques et pélagiques reflétant l'oscillation du niveau relatif de la mer causée par l'affaissement du bassin, le remplissage et / ou l'eustatisme. Par contre, les séries du Maider et du Tafilalt sont beaucoup plus condensées par comparaison avec celles du Dra (jusqu'à un facteur 200 sur les plateformes carbonatées pélagiques). En raison de l'apport élevé de matériel clastique, les récifs et les biostromes sont pour la plupart absents dans la vallée du Dra ; avec quelques rares exceptions mentionnées par Hollard (1967). La biostratigraphie est basée sur l'interférence des faunes avec les ammonoïdes, les conodontes, les brachiopodes, les tentaculites et les trilobites. L'alternance d'unités néritiques et pélagiques fait de la vallée du Dra une région importante pour les corrélations, souvent difficiles, des aires de faciès dits rhénan et hercynien (voir discussion et corrélations dans Hollard, 1978 et Jansen, 2001).

En outre, ce guide d'excursion décrit clairement, pour la première fois, la stratigraphie des événements régionaux (globaux), avec parfois des données préliminaires sur les événements de Daleje, Chotec, *pumilio*, taghanic, Rhinestreet, *semichatovae*, Kellwasser inférieur et supérieur et enfin le Hangenberg. La découverte de «lits riches en *pumilio*» dans cette vallée du Dra (Ebbighausen et al., 2004 ; Becker et al., 2004) présente un intérêt particulier car leur âge est plus ancien que les deux événements *pumilio* du Givétien bien établis.

**Le deuxième document** est un produit de la réunion qui a été organisée conjointement par l'Institut Scientifique de l'Université Mohammed V de Rabat (notamment par le Prof. Dr. Ahmed El Hassani et le Prof. Dr. Abdelfatah Tahiri), la Sous-Commission Internationale sur la Stratigraphie Dévonienne (SDS), la Sous-Commission Internationale sur Stratigraphie carbonifère (SCS), et le Programme International des Corrélations Géologiques (PICG) N° 596 sur «*Les changements*

*climatiques et les modèles de biodiversité au Paléozoïque moyen*». Cette réunion est essentiellement composée de visites et de discussions d'affleurements géologiques sur le terrain, interrompue par une journée de communications orales à Erfoud. Le **Guide des Excursions** de cette réunion comprend quatorze planches de conodontes (taxons du Silurien supérieur à Tournaisien) qui ont beaucoup servi pour expliquer la stratigraphie des coupes visitées pendant les six journées de terrain<sup>202</sup>.

La première journée est consacrée d'abord au Dévonien allochtone sur le front varisque méridional à l'Est de Tinerhir, avec des brèches / conglomérats composés de blocs siluriens (Ludfordien), en partie riches en conodontes, à Famennien supérieur (à grands olistholites). Ceux-ci permettent de reconstituer la sédimentation du Paléozoïque moyen dans la zone maintenant érodée à la marge septentrionale du continent stable (Gondwana). Dans cette localité on observe aussi des blocs avec une lithologie comprenant des restes de grands placodermes et des calcaires noirs de l'événement Kellwasser. Puis une deuxième localité, de l'Oued Ferkla, juste à l'Est de Tinejdad est décrite. Les roches qui composent cette localité appartiennent au Dévonien autochtone le plus septentrional de l'Anti-Atlas. Il s'agit d'une succession très bien exposée qui montre les événements Kacak et *pumilio* du Dévonien moyen.

La deuxième journée a été réservée à l'examen sur le terrain d'une coupe fossilifère complète depuis la limite silurien-dévonien jusqu'au Famennien le plus élevé du Tafilalt, dans un cadre à la marge du bassin du Tafilalt. Il s'agit de la coupe d'El Khraouia, Tafilalt méridionale (région de Taouz). Le Dévonien moyen de cette coupe est constitué de calcaires avec une faune pélagique à néritique (jusqu'au faciès de rampe médian). L'Eifelien forme une haute crête. À partir du niveau de l'événement taghanic, on constate le retour d'une sédimentation schisteuse de bassin. La succession d'affleurements décrite dans cet ouvrage présente plusieurs avantages: 1. Sa grande taille d'affleurement, 2. En raison de son éloignement relatif, elle a été moins exploitée par les collectionneurs que les sections facilement accessibles, 3. En raison de son environnement de bassin, elle est complète et la plupart des unités sont relativement épaisses, 4. Il a été récemment relevé, lors de la cartographie géologique révisée de la région de Taouz, pour l'établissement de nouvelles cartes géologiques au 1 :100 000<sup>ème</sup>.

La troisième journée est consacrée à la description du Dévonien inférieur du Synclinal d'Amessoui dans le Sud de Tafilalt. La coupe étudiée concerne le Givétien moyen jusqu'au Famennien le plus élevé à Oum el Jerane, encore plus à l'Ouest. Au-dessus des lits de biostromes minces, localement les plus jeunes, les grands

---

<sup>202</sup> R.T. Becker, A. El Hassani & A. Tahiri (2013) : International Field Symposium «The Devonian and Lower Carboniferous of northern Gondwana» : *Field guidebook*; Document de l'Institut Scientifique N° 27; 150 p.

spécimens communs d'*Ancyrodella* étaient faciles à voir dans le calcaire à lit mince sur l'affleurement.

La quatrième journée était réservée à l'étude du Carbonifère, où les auteurs décrivent les preuves d'érosion, de resédimentation et de déformation dans les dépôts chaotiques au nord-est du village de Taouz. Il s'agit de la phase éovarisque datée par les Conodontes. Ensuite les dépôts de conglomérats / brèches tout aussi chaotiques mais très fossilifères sont décrits à la base du Jbel Begaa. L'examen du Viséen supérieur, très épais dans le Tafilalt oriental, s'est fait à proximité de la frontière avec l'Algérie ; les participants à cette excursion ont dû collecter une partie de la riche macrofaune, sous une protection militaire.

Le jour suivant, concerne la transition Dévonien-Carbonifère dans le Nord et le Sud-Ouest du Maider. Il s'agit de la coupe de Lalla Mimouna Nord, qui ressemble à la coupe du GSSP de La Serre C (en France), et qui se caractérise par de fréquents parents de *Siphonodella*. Elle contient l'assemblage de conodontes les plus diversifiés de l'intervalle de l'événement de *Hangenberg* à l'échelle mondiale, mais la succession de conodontes est interrompue par des sédiments siliciclastiques fins de l'intervalle de régression de *Hangenberg*, comme dans presque toutes les autres coupes. L'intervalle de cette limite a été examiné à Tazoult où il est beaucoup plus épais que celui du Sud de Maider.

Enfin, la dernière journée sur le terrain, décrite dans ce document, a été réservée à un aperçu sur les coupes à conodontes de l'Emsien au Frasnien, ainsi qu'à l'observation de la stratigraphie des événements biologiques (bio-Events) du Tafilalt occidental (à Jebel Amelane et Jebel Ihrs). Dans le Livret-Guide certains de ses assemblages de conodontes sont documentés.

**Le troisième document** (33-2020) a été rédigé par **Ahmed El Hassani** pour célébrer le centenaire de la création de l'Institut Scientifique, en faisant le bilan des recherches géologiques. Ce bilan ; certes bref, retrace avec rigueur les principales étapes du développement de la discipline et des hommes qui étaient derrière, dont le seul souci était de développer la science et de faire connaître ce prestigieux établissement à l'échelle mondiale. Les principaux travaux y sont donc reproduits en mentionnant chaque fois les idées développées par un auteur ou par un groupe de géologues. El Hassani précise qu'*écrire et raconter la géologie du Maroc* passe nécessairement par trois phases, au moins, pour en dérouler les principaux événements qui concernent ce pays :

**La première** est celle des explorateurs et initiateurs de la géologie ; c'est l'étape des « *apports incontestables des pionniers* » qui est une base de discussion. Le plus souvent ces recherches se basent sur la cartographie et les monographies régionales qui les accompagnent (Notices explicatives). Ces explorateurs étaient des

naturalistes et avaient des connaissances en disciplines diverses (géologie, géomorphologie, climatologie, ressources en eau, botanique, ...) ;

**Une deuxième** débute en 1966-67, date marquante pour les Sciences de la Terre dans leur ensemble, avec la naissance, ou plutôt l'acceptation par la communauté des géologues, de la théorie de la *tectonique des plaques* (reprenant les conceptions mobilistes d'Alfred Wegener, 1912) et qui permet de mieux expliquer et comprendre la géodynamique de notre planète Terre. A partir de cette date, on assiste à une véritable révolution de la géologie, car l'introduction de cette théorie des mouvements de plaques a bouleversé les interprétations. Cette hypothèse de la *dérive des continents* développe et fournit une assise théorique solide de l'expansion des fonds océaniques<sup>203</sup>. A ce titre Bernard Balan (2011) se posait la question si la géologie était une science ?<sup>204</sup> Évidemment dans son livre il retrace l'historique des idées, mais les géologues s'accordent aujourd'hui à reconnaître que l'introduction de cette théorie de la tectonique des plaques serait «*la véritable naissance de la géologie comme science*», comme le remarquait Bernard Balan dans son livre sur l'évolution de la géologie<sup>205</sup>. Cette tectonique explique la formation des montagnes par l'existence, dans la lithosphère, d'un ensemble de plaques en continus mouvements les unes par rapport aux autres, des mouvements s'opèrent soit de rapprochement, soit d'éloignement des plaques, et donc responsables des phénomènes géologiques que nous observons aujourd'hui sur notre planète Terre.

**Une troisième**, avec le progrès des recherches géologiques au Maroc, se développe depuis la fin des années 1970 et jusqu'à nos jours un nombre impressionnant de travaux de thèses de doctorat ; de réalisation de cartes géologiques dans le cadre du *Programme National de Cartographie Géologique (PNCG)*, de livres et d'articles scientifiques qui, tous, contribuent à la connaissance et le progrès de la géologie marocaine. L'Institut Scientifique a participé activement à cette évolution ; ce qui est documenté dans ses annales, dont beaucoup existent sur la toile (bibliothèque numérique)<sup>206</sup> et aident, de cette façon, à faire connaître la valeur patrimoniale que conserve jalousement notre pays, le Maroc.

---

<sup>203</sup> Alfred Wegener (1880-1930). «Die Entstehung der Kontinente» [La formation des continents], Geologische Rundschau, Zeitschrift für allgemeine Geologie, dritter Band, 1912, p. 276-292 (en allemand)

<sup>204</sup> Fischer J.C. (1986) disait en introduction de son livre «La géologie» : *Il faut noter à ce sujet que notre planète Terre est bien trop complexe pour qu'une seule science, fut elle prodigieuse, puisse aborder toutes les questions que pose sa géologie, questions qui portent à la fois sur les particularités de sa structure actuelle, sur les étapes successives de sa longue évolution et sur les énigmes de sa genèse.*

<sup>205</sup> B. Balan (2011) : L'Évolution des idées en géologie – Des Cosmogonies à la Physique du Globe Vrin éditeur, Paris, 285 p.

<sup>206</sup> Voir le site de l'Institut Scientifique : [www.israbat.ac.ma](http://www.israbat.ac.ma)

Ce document fait le bilan de ces trois étapes et permet au lecteur d'avoir une idée préliminaire sur la naissance des recherches géologiques à l'Institut Scientifique, puis de son développement aussi bien dans cet Institut que dans le nouveau Service géologique du Maroc et l'Office Chérifien des Phosphates, tous deux créés en 1921.

## **Troisième partie**

### **Premier chapitre**

#### **Historique des recherches sur les plus vieux fossiles du Maroc**

Les recherches bibliographiques concernant les plus anciens fossiles marocains, connus jusqu'à aujourd'hui, ont permis de remonter jusqu'à la fin des années quarante du siècle dernier, où Eugène Raguin (1948) évoque sa découverte de gisement de *Collenia* ; découverte qu'il rapporta à Jean Hindermeier, géologue comme lui au Service de la Carte géologique du Maroc, qui en fera état dans une publication avec George Choubert (en 1952).

L'intérêt est ensuite porté sur le gisement de stromatolithes d'Amane n'Tourhart (Figures 52 - 54). Ce gisement est situé au point kilométrique 25 de part et d'autre de la route nationale allant de Ouarzazate à Agdz et se développe plutôt vers l'est de la route, aux coordonnées : N 30 ° 47 '33' 'et W 06 ° 43' 19". Il s'agit de calcaires stromatolithiques, sous forme de lentilles, dont les affleurements se sont révélés être le site le plus beau et le plus spectaculaire des *Collenia* dans l'Anti-Atlas. Ce site a été étudié par G. Choubert, J. Hindermeier et H. Hollard<sup>207</sup>. Ces derniers en donnent une coupe géologique de situation (Fig. 55), avec une exposition sur une surface de plus de 0,04 km<sup>2</sup> et une épaisseur entre 10-20 m.

La découverte de ces stromatolithes ainsi que l'évolution des connaissances sont passées par plusieurs phases, dont on reproduit ci-après les étapes.

Rappelons que les stromatolithes ont apparu sur Terre, il y a 3,5 Ga, et continuent à se former encore actuellement dans les mers et les océans. Ils représentent les premières traces de vie sur Terre et sont formés de cyanobactéries (ou microalgues) qui réalisent la photosynthèse ; ce qui permet la fixation du CO<sub>2</sub> qui précipite en carbonate de calcium (c'est-à-dire les calcaires) et aussi libère l'oxygène. De cette manière les cyanobactéries ont contribué au développement et l'expansion des formes de vie sur Terre par la production *d'oxygène lorsqu'elles se sont organisées en colonies fixes (stromatolithes) capables de produire du calcaire.*

En plus de la découverte de Raguin (citée plus haut), on peut aussi mentionner d'autres recherches de Choubert et *al.* (1950) dans la boutonnière de Tamlelt (Haut-Atlas oriental) où des calcaires à *Collenia* sont décrits dans la région de Safsaf - Aïn Chair et dont l'âge est discuté dans la note publiée dans les Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc (page 101). Les lentilles calcaires apparaissent à la base de la série paléozoïque, au-dessus des rhyolites ou des séricito-schistes du Précambrien terminal, et sont attribuées au Géorgien (Menchikoff, 1945)<sup>208</sup>.

---

<sup>207</sup> Choubert G., Hindermeier J. & Hollard H. (1952) : Note préliminaire sur le *Collenia* de l'Anti-Atlas. Notes et Mémoires du Service Géol. Maroc, N° 95, pp. 85-102.

<sup>208</sup> Menchikoff N. (1945) : Sur la présence du Cambrien dans la région de Talzaza (confins algéro-marocains). C. R. Ac. Sc. T.221 ; p : 510.



Figure 52 : photos montrant les colonies du *Conophyton* d'Amane-n'Tourhart qui affleurent des deux côtés de la route nationale P31 reliant Ouarzazate à Zagora.

Choubert et *al.* (1950) confirment cette datation<sup>209</sup>, en affirmant qu'il s'agit d'encroûtements calcaires irréguliers, dû vraisemblablement à des Algues calcaires préfigurant l'espèce originale de *Collenia undosa* Walcott. Ces auteurs ajoutent qu'il s'agit de la première fois où des dépôts d'algues (*Conophyton* ou *Collenia*) et des Archeocyathidés sont rencontrés dans les mêmes couches, bien que, ajoutent-ils, les deux faciès soient incompatibles et ils se posaient déjà la question : «*les formations à Algues du Cambrien ne seraient-elles pas des formations lacustres ou lagunaires ?*»

<sup>209</sup> Choubert G., Dresney du R. & Hindermeyer J. (1950) : Sur les calcaires à *Collenia* de la Région Safsaf-Aïn Chaïr. Notes et Mémoires du Service Géol. Maroc, N° 76, pp. 93-103.

*La distribution fort localisée des calcaires à Stromatolites ou Collenia de l'A.O.F.<sup>210</sup> attribués généralement au Cambrien, pourrait peut-être s'expliquer par une telle hypothèse». Le couple Termier<sup>211</sup>, se basant sur les conditions de sédimentation des couches antécambriennes, confirme cette hypothèse (formations lacustres).*

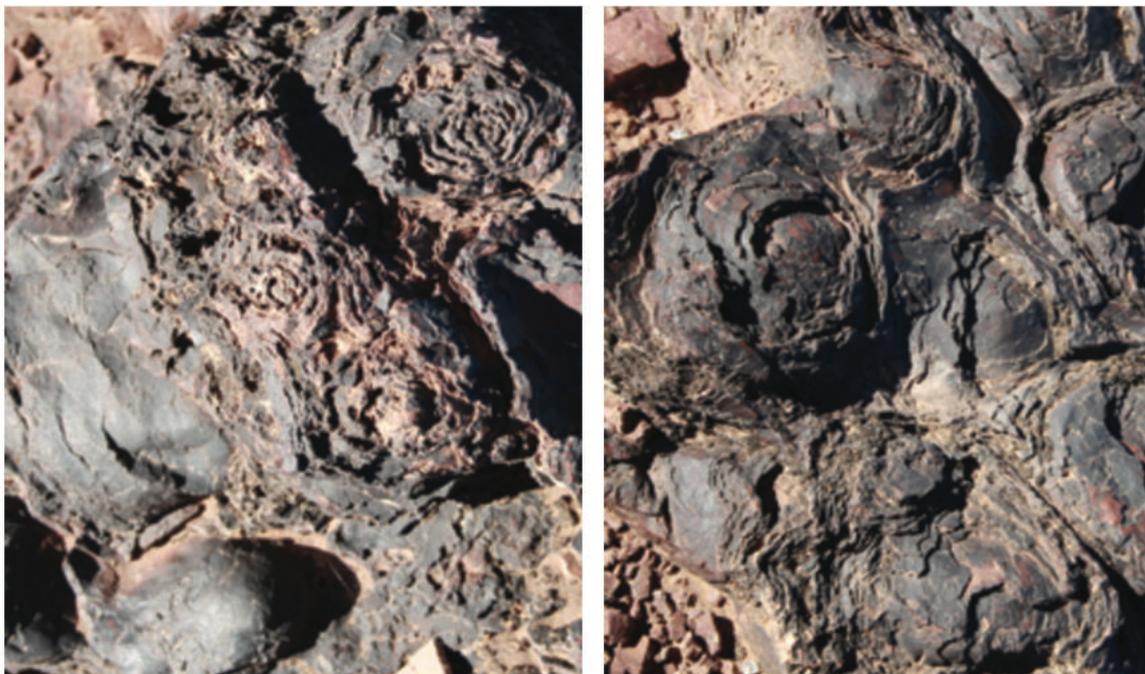


Figure 53 : photos montrant les colonies du Conophyton (en surface) du gisement d'Amane n'Tourhart

La note préliminaire de Choubert et *al.* (1952) donne une description des formations construites attribuées à des *Collenia*, dont l'existence avait été signalée auparavant, par les mêmes auteurs, dans les accidents calcaires du Précambrien III et les séries calcaires du Géorgien de l'Anti-Atlas<sup>212</sup>. D'après ces auteurs, plusieurs gisements de *Collenia* ont été découverts par les géologues du Service Géologique du Maroc. Il s'agit des plus beaux *Collenia* de tous ces gisements (source d'Amane n'Tourhart). En effet ici, les calcaires affleurent largement et sont constitués entièrement de *Collenia*. Elles sont généralement intactes et montrent des pavages en surface, sous forme de coupoles jointives de 5 à 20 cm de diamètre. Elles sont généralement usées par l'érosion, elles apparaissent sous forme de colonnettes formées d'enveloppes concentriques plus ou moins cylindriques, ou en forme de cônes allongés et pointus,

<sup>210</sup> A.O.F = "Afrique-Occidentale Française".

<sup>211</sup> Termier H. & Termier G. (1950): Les sédiments antécambriens et leur pauvreté en fossiles. La Revue Scientifique, N° 3, 302, pp : 74-84.

<sup>212</sup> Choubert G., Hindermeyer J. & Hollard H. (1952): Sur la présence de *Collenia* dans le Précambrien III et le Géorgien de l'Anti-Atlas. C. R. Ac. Sci. t 234 ; pp : 543-545.

pouvant atteindre une hauteur de 50 cm. Ces structures sont généralement verticales, parfois inclinées ou même couchées (voir cartes et coupes, Fig. 56 et 57).



Figure 54 : photo montrant les stromatolithes du gisement d'Amene n'Tourhart.

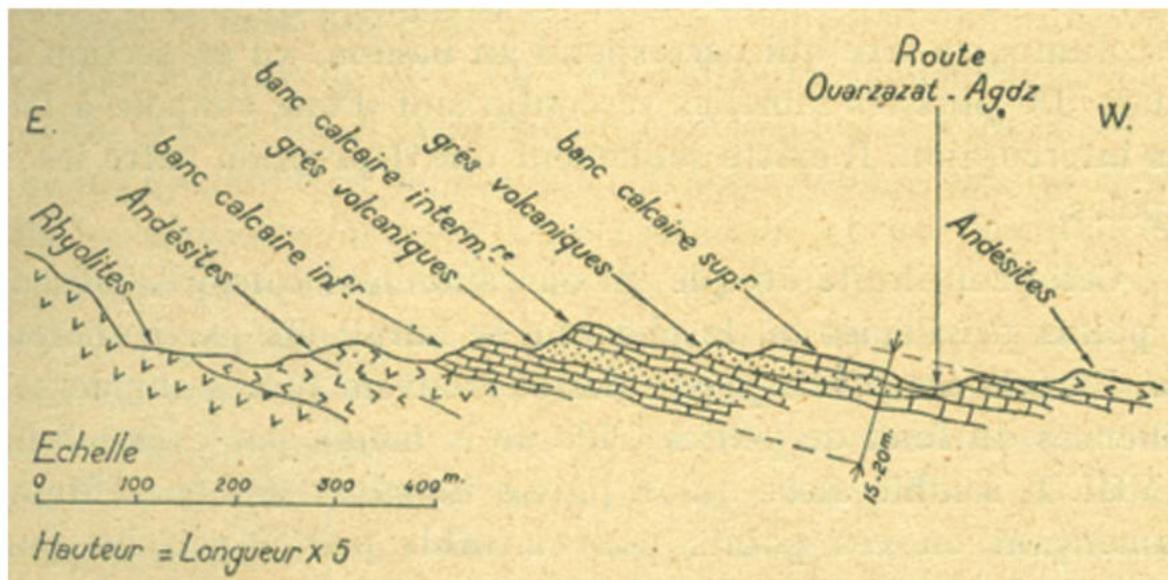


Figure 55 : Coupe schématique de la lentille calcaire d'Amene-n'Tourhart (Extrait de G. Choubert, J. Hindermeyer et H. Hollard, 1952 ; N.M.S.G. Maroc N°95).

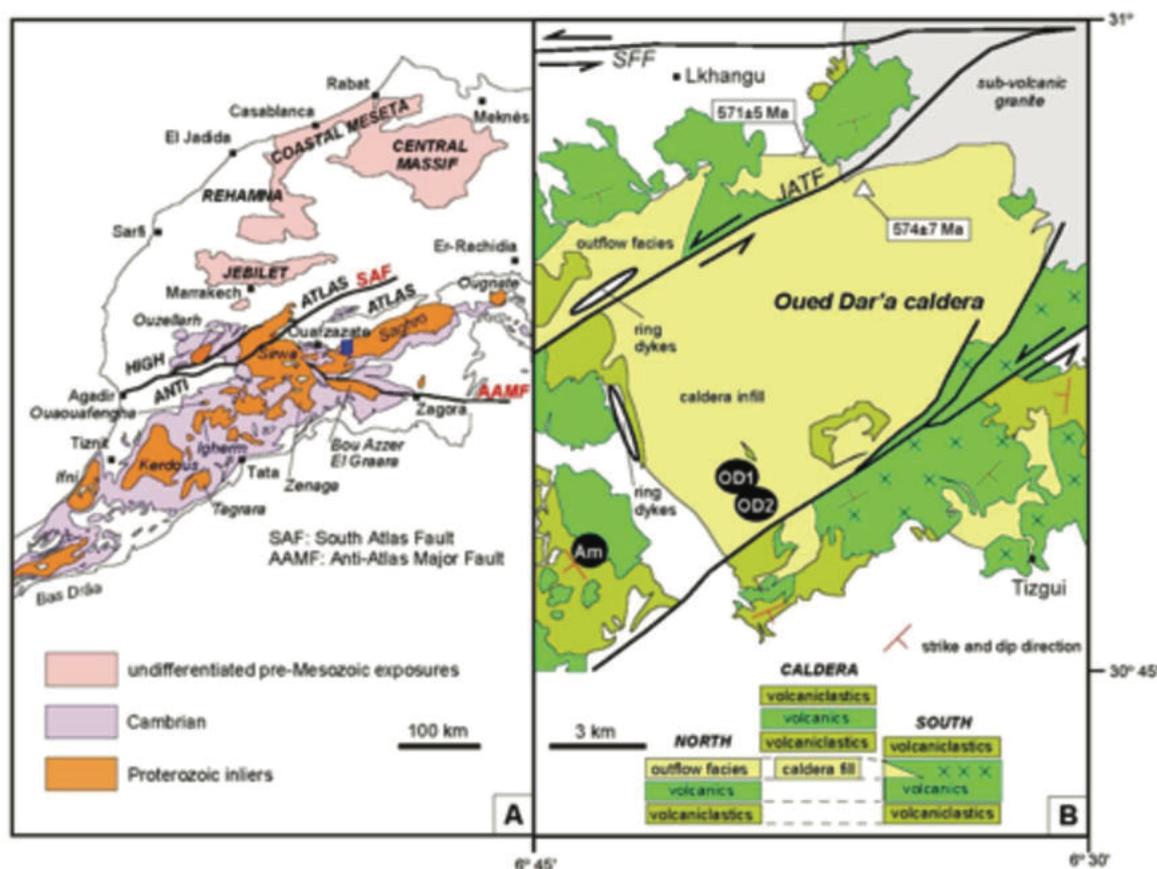


Figure 56. A : Croquis géologique du Haut Atlas et de l'Anti-Atlas montrant leurs principales unités tectono-stratigraphiques (Alvaro et Gonzalez-Acebron, 2018). B : Carte géologique de la caldeira de l'oued Dar'a dans la partie occidentale de la boutonnière de Saghro - zone encadrée bleue en (A), centre de l'Anti-Atlas; modifié par Alvaro et Gonzalez-Acebron, 2018 d'après les documents de Walsh et al. (2012); OD1 – 30°49'41.08''N, 6°39'51.58''W; OD2 – 30°49'33.37''N, 6°40'7.69''W; Am: 30°47'31.12''N, 6°43'15.68''W. Abréviations: Am et OD1-2 – Cuvette de l'Oued Dra; JATF – Faille du Jbel Azouguygh-n-Tazoult; SFF – faille de Sidi Flah; les triangles blancs représentent l'emplacement des datations radiométriques d'après Walsh et al. (2012)<sup>213</sup>.

Les couches inférieures de cet ensemble calcaire sont constituées de dépôts d'algues de toute autre forme. Ce sont de petits corps allongés, de quelques centimètres de long et de moins d'un centimètre de large, noyés dans un calcaire compact. Ils forment souvent des allongements caractéristiques rassemblés parfois en gerbes. Sur les bords de la lentille d'Amane n'Tourhart, on peut observer des *Collenia* partiellement envahies par les "boues pélitiques", ce qui donne une idée des conditions régnant dans les lacs où vivaient ces algues (voir cartes de situation, Fig. 57).

<sup>213</sup> Walsh, G.J., Benziane, F., Aleinikoff, J.N., Harrison, R.W., Yazidi, A., Burton, W.C., Quick, J.E. & Saadane, A. (2012) Neoproterozoic tectonic evolution of the Jebel Saghro and Bou Azzer-El Graara inliers, eastern and central Anti-Atlas, Morocco. *Precamb. Res.*, 216–219, 23–62.

Dans cette note de l'Académie des Sciences, Choubert et *al.* (1952) mentionnent que : «Parmi les *Collenia* géorgiennes, il y en a qui sont identiques aux coupoles surbaissées des *C. undosa* classiques. Il faut signaler plus spécialement les formes les plus fréquentes dans la région d'Assemblil, au Nord d'Alougoum. Ce sont des coupoles de 30 à 50 cm de diamètre tantôt circulaires, tantôt allongées. Leurs couches concentriques sont souvent soulignées par des dépôts siliceux. Dans certains cas, ces coupoles s'allongent démesurément et peuvent atteindre plus d'un mètre de longueur. Quand une couche comportant de telles concrétions affleure à plat, on observe à sa surface des plis ou des bourrelets parallèles soulignés par de la silice et imitant la forme de plis ou d'ondulations d'un tapis».

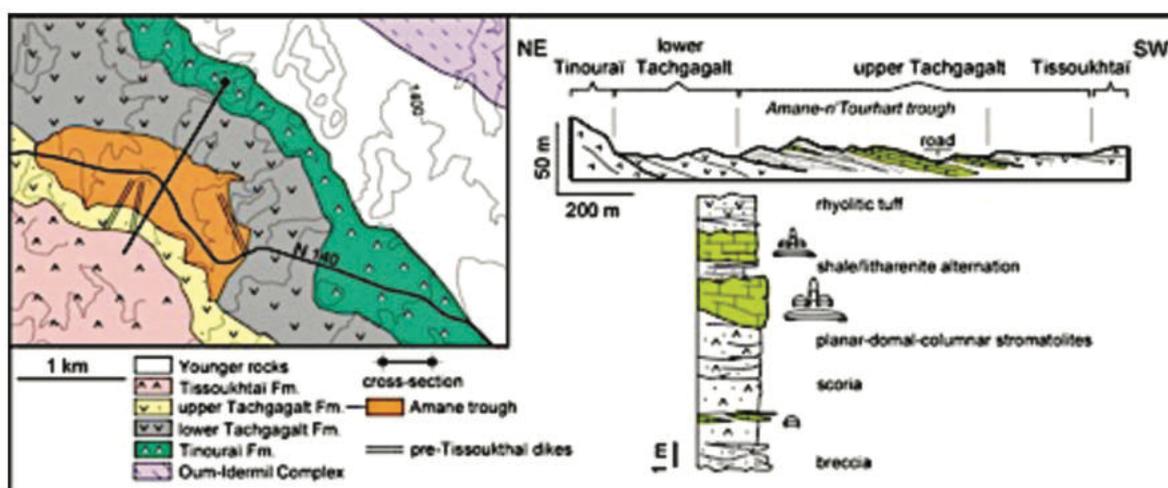


Figure 57 : Esquisse géologique, coupe transversale et log résumé du lac alcalin d'Amane n'Tourhart encadré dans le Groupe de Mansour (Super groupe de Ouarzazate); subdivision lithostratigraphique d'après le Service Géologique du Maroc (1970); (d'après Devaere et *al.*, 2014)<sup>214</sup>.

Choubert et Faure-muret (1971 ; page 171)<sup>215</sup> décrivent également les structures stromatolithiques d'Amane n'Tourhart, qu'ils rangent dans le Précambrien III (pa2 sur la carte tectonique de l'Afrique). Cette série du Précambrien III, située en dessous de l'Adoudounien inférieur, est composée par trois termes dont le premier et le troisième sont des séries volcaniques. Le terme moyen correspond à des épisodes sédimentaires continentaux : conglomérats, grès rouges, pélites, mais aussi, quoique très étroitement localisés, calcaires lacustres à stromatolithes et à *Collenia* (calcaires

<sup>214</sup> Devaere, L., Clausen, S. & Álvaro, J.J. (eds.) (2014) Stratigraphic Overview of the Ediacaran and Cambrian from the Anti-Atlas, Morocco. Univ. Lille 1 Ed., France.

<sup>215</sup> Choubert G. & Faure-muret A. (1971) : Anti-Atlas (Maroc) in Tectonique de l'Afrique ; UNESCO Paris pages 163-175.

à stromatolithes d'Amane n'Tourhart, calcaires à *Collenia* de Tiouine et d'Oufrent, etc.)<sup>216</sup>.

Schmitt M. (1978)<sup>217</sup>, dans son étude sur les stromatolithes présents dans le paquet stratigraphique à la limite Précambrien-Cambrien de la coupe de Tiout (Anti-Atlas), montre que les stromatolithes faisant partie des groupes *Linella*, *Tungussia* et *Tifounkeia*, en association avec des thrombolites sont abondamment présents dans toute la série Lie de Vin (de la région de Tiout). La partie médiane du groupe adoudounien qui comprend les calcaires inférieurs, la série *Lie-de-Vin* et les calcaires supérieurs. L'auteur suggère un âge précambrien tardif pour ces stromatolithes.

Par la suite Raaben (1980)<sup>218</sup>, dans ses investigations sur quelques stromatolithes du Précambrien marocain, informe que les âges isotopiques des sections précambriennes marocaines semblent avoir subi un rajeunissement considérable, une caractéristique commune des ceintures mobiles. Cependant, certaines coupes, très riches en stromatolithes, permettent de déterminer l'âge de la série. Les données confirment généralement l'âge précambrien, précédemment établi par la recherche géologique au Maroc. C'est ainsi qu'il donne une description des représentants marocains des différents genres des stromatolithes *Conophyton*, *Jacutophyton*, *Baicalia*, *Externa*, *Plicatina* et *Cyclopium*.

Pour l'affleurement le plus représentatif, l'auteur a défini une nouvelle famille de *Conophyton*, dans le magnifique champ de *Collenia* à Amane n'Tourhart (route d'Ouarzazate à Zagora) dans les calcaires lacustres du Précambrien III, signalé par Raguin (en 1947), qu'il nomme : *Conophyton amantourartensis* f. nov. (en référence à la localité de Aman-Tourart), dont il donne la diagnose et propose un âge probable de Riphéen supérieur (Néo-protérozoïque supérieur) pour ce gisement.

Álvaro et al., (2010)<sup>219</sup> ont à leur tour étudié les systèmes lacustres du super-groupe volcano-sédimentaire édiacarin de Ouarzazate. Ils décrivent, dans ce lac, un volcanisme de type alcalin, dont les rivages sont stromatolithiques. Ils donnent une description détaillée des faciès et une interprétation sédimentologique des dépôts lacustres d'Amane-n'Tourhart.

<sup>216</sup> Michard et al. (2011) parlent des plus vieux fossiles (~555 Ma) observés au Maroc (Notes Mém. Serv. Géol. Maroc N°557)

<sup>217</sup> Schmitt M (1978) Stromatolites from the Tiout section, Precambrian- Cambrian boundary beds, Anti-Atlas, Morocco. *Geol Mag* 115 (2) : 95-100. <https://doi.org/10.1017/S0016756800041145>

<sup>218</sup> Raaben ME (1980) Some stromatolites of the Precambrian of Morocco. *Earth Sci Rev* 16(2-3): 221-234. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(80\)90043-4](https://doi.org/10.1016/0012-8252(80)90043-4)

<sup>219</sup> Álvaro, J. J., Ezzouhairi, H., Ait Ayad, N., Charif, A., Solá, R., & Ribeiro, M. L. (2010). Alkaline lake systems with stromatolitic shorelines in the Ediacaran volcanosedimentary Ouarzazate Supergroup, Anti-Atlas, Morocco. *Precambrian Research*, 179 (1-4), 22-36. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2010.02.009>

Les strates contenant les stromatolithes conservent un enregistrement de l'interaction entre l'épanchement des coulées de lave et des tufs, la sédimentation terrigène restreinte et la productivité microbienne des carbonates locaux. L'étendue restreinte des roches sédimentaires, le manque d'asymétrie dans la distribution lithologique, l'épaisseur des faciès et l'absence d'interaction avec les dépôts deltaïques et fluviaux à gros grains suggèrent que la sédimentation ne s'est pas produite dans un milieu plus vaste qu'auraient contrôlé des failles (comme l'atteste l'absence de preuve d'événement majeur d'affaissement ou d'effondrement dans cette région).

Les événements volcaniques, séparés par des discordances érosives et à faible angle (liées probablement à l'inclinaison régionale) et ayant pris en sandwich les formations sédimentaires, sont constitués de coulées de laves basaltiques et andésitiques, de seuils et de digues subvolcaniques, et d'ignimbrites et de tufs dacitiques/rhyolitiques. Il s'agit, pour ces auteurs, d'un magmatisme calco-alcalin post-collisionnel à haute teneur en potassium (K).

Les niveaux sédimentaires sont formés par des successions répétitives, chacune commençant par de la litharénite calcaire granuleuse, grossièrement plane, recouverte finalement de tapis microbiens et de biostromes. Les principaux systèmes d'eaux souterraines étaient principalement responsables de l'approvisionnement en eau du paysage volcanogène continental, ce qui a permis de maintenir des étangs éphémères dans les zones basses qui étaient le lieu de rejet des eaux souterraines.

Alvaro et *al.* (2010) pensent que la silicification partielle de ces étangs alcalins, à dominance carbonatée, était principalement contrôlée par l'altération chimique des paysages volcano-sédimentaires environnants. Dans ce cas, ajoutent-ils, les eaux souterraines se seraient enrichies en silice après avoir percolé les cendres volcaniques. Par ailleurs, la composition des Terres Rares des stromatolithes silicifiées, dolomitisées et non-dolomitisées est tout à fait compatible avec les paramètres de dépôt d'eau douce (lacustre) ou de lagune peu profonde (avec un fort apport en eau douce) ; ils affichent également une forte contamination par les tufs rhyolitiques qui les surchargent. L'affinité lacustre de ces fosses à l'échelle du décimètre est également étayée par le caractère subaérien de bon nombre de leurs produits volcaniques environnants.

Les travaux de cartographie ont permis à Walsh et *al.* (2012) d'étudier l'évolution tectonique du Néoproterozoïque des boutonnières du Jbel Saghro et de El Graara-Bou Azzer<sup>220</sup>. Ces auteurs ont analysé et daté les roches rhyolitiques de la caldeira

---

<sup>220</sup> Walsh, G.J., Benziane, F., Aleinikoff, J.N., Harrison, R.W., Yazidi, A., Burton, W.C., Quick, J.E. & Saadane, A. (2012) Neoproterozoic tectonic evolution of the Jebel Saghro and Bou Azzer-El Graara inliers, eastern and central Anti-Atlas, Morocco. *Precamb. Res.*, 216–219, 23-62.

de l'oued Dra, développées dans un graben sous forme d'un bassin de type pull-apart (Figures 44 et 45).

La partie inférieure du super-groupe de Ouarzazate a donné des âges aux alentours de  $571 \pm 5$  Ma, et un âge moins bien contraint de  $574 \pm 7$  Ma pour les volumineux tufs à coulées de cendres riches en cristaux de la caldeira de l'Oued Dra. Des écoulements de rhyolite de la partie supérieure du super-groupe de Ouarzazate, au-dessus d'une discordance angulaire régionale, ont donné des âges de  $558 \pm 4$  et  $556 \pm 4$  Ma. D'après Walsh *et al.* (2012), ces âges placent une limite supérieure d'environ 560 Ma sur la dernière déformation panafricaine (PA3) dans la boutonnière du Saghro. Le plutonisme et le volcanisme calco-alcalin à haute teneur en potassium (K), très répandu, marque la dernière étape de l'orogénèse panafricaine (PA3) dans un contexte post-collision, lié à la modification de la marge du craton ouest-africain ou à la formation d'un continent arc volcanique au-dessus d'une zone de subduction de courte durée à pendage sud.

Álvaro et González-Acebrón (2019) ont repris l'étude de ce gisement<sup>221</sup>. Pour ces auteurs, le remplissage de la caldeira de l'oued Dra, représenté par le Groupe Mansour, est généralement ponctué de contacts discordants. Ces surfaces irrégulières représentent des paléoreliefs associés localement à des failles synsédimentaires et à des changements brusques d'épaisseur et de faciès. Ces strates associées à des discordances sont dominées par des sédiments épicycliques et, localement, par des carbonates. Un gisement lacustre à l'échelle du décamètre riche en stromatolithes, nommé Amane-n'Tourhart (appelé Amane Tazgart dans Harrison *et al.*, 2008) et traversé par la route Ouarzazate-Agdz (au kilomètre 464), représente un arrêt traditionnel pour les excursions géologiques (Choubert & Faure-Muret, 1970; Raaben, 1980; Devaere *et al.*, 2014) et a été cartographiée comme des dépôts de douves de remplissage de caldeira recouvrant une andésite aphanitique par Harrison *et al.* (2008). Les stromatolithes lacustres de ce creux ont été attribuées taxonomiquement à *Collenia* par Choubert *et al.* (1952) et Harrison *et al.* (2008). Le parataxon *Conophyton amantourartensis* a été défini par Raaben (1980).

En 2019, Beraaouz et Abioui dans une note brève<sup>222</sup> rappellent, selon les anciennes données de Choubert *et al.* (1952), que les stromatolithes apparaissent à trois niveaux stratigraphiques séparés par des unités de grès volcano-clastiques (Fig. 58 et 59).

<sup>221</sup> Álvaro, J. J., & González-Acebrón, L. (2019). Sublacustrine hydrothermal seeps and silicification of microbial bioherms in the Ediacaran Oued Dar'a caldera, Anti-Atlas, Morocco. *Sedimentology*, 66(6), 2048–2071. <https://doi.org/10.1111/sed.12568>

<sup>222</sup> Beraaouz M. & Abioui M. (2019) : Precambrian (Ediacaran) stromatolites in the Amane-n'Tourhart (Anti-Atlas, Morocco). *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)* DOI 10.1007/s00531-019-01690-1.

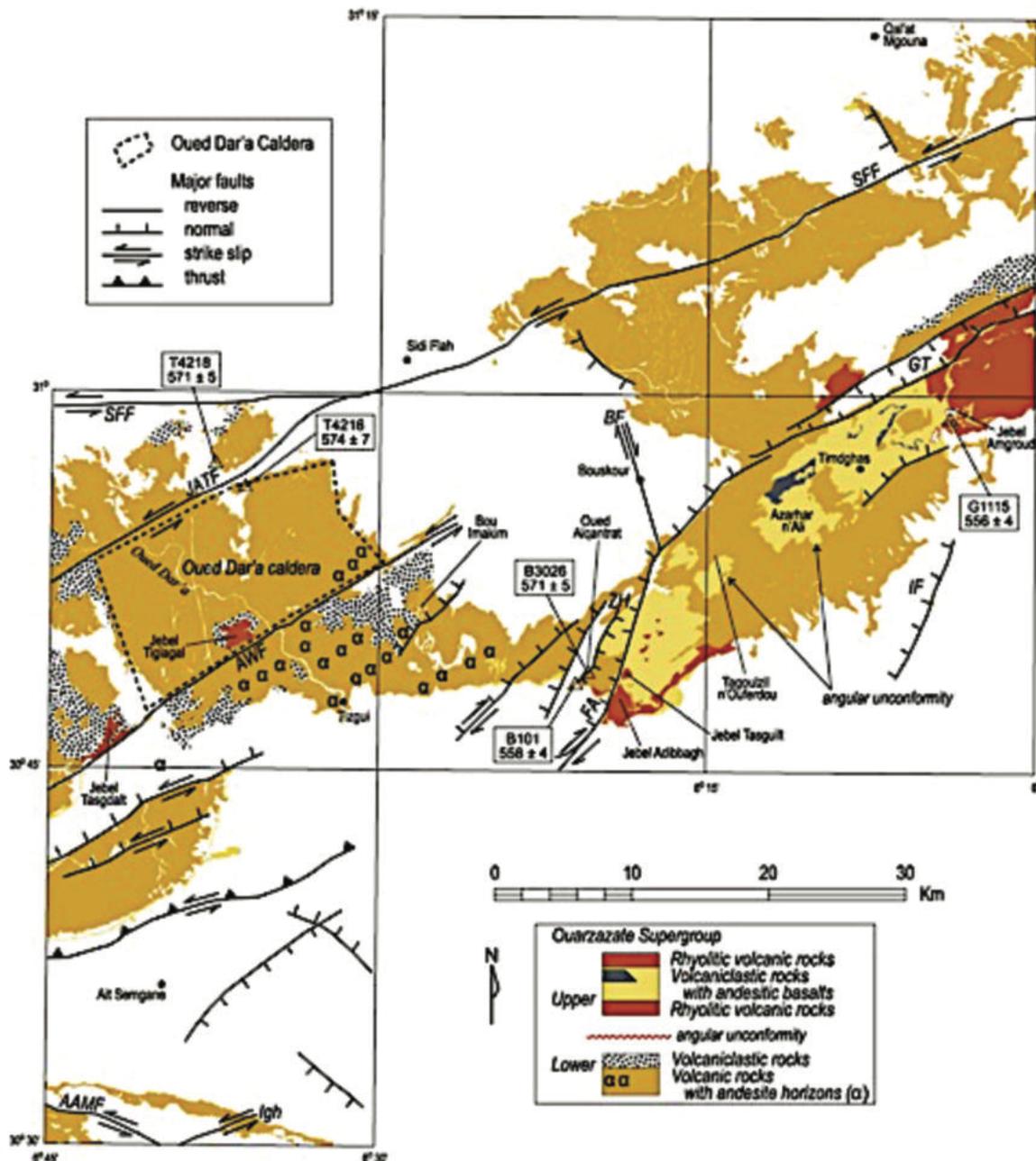


Figure 58 : Carte géologique simplifiée montrant la répartition des valeurs majeures du super-groupe de Ouarzazate et dans Jbel Saghro et la boutonnière d'El Graara-BouAzzer (Walsh et al., 2012).

Le niveau stratigraphique inférieur est constitué de stromatolithes, de pélites et de grès à grains fins rougeâtres. Les observations pétrographiques montrent l'existence de traces de cyanobactéries filamenteuses, parfois regroupées en gerbes ; et que cela diffère des niveaux stratigraphiques supérieurs qui contiennent de grandes colonies de *Conophyton*. Ils reprennent ensuite les mêmes descriptions, de Choubert et al., pour les termes moyens et supérieurs en y ajoutant quelques détails à partir d'observations microscopiques.

Les triangles montrent les emplacements des cinq roches datées. SFF - Faille de Sidi Flah ; JATF - Faille du Jbel Azouguiygh-n-Tazoult ; AWF - Faille d'Awzou-n-Wallows ; ZH - horst de Zouzmitane, GT - graben de Tagmout, BF - Faille de Bouskour ; AAMF - Faille majeure de l'Anti-Atlas ; Igh - Faille d'Ighem ; IF - Faille d'Izkrâne ; et FA - Faille de Jebel Addibagh.

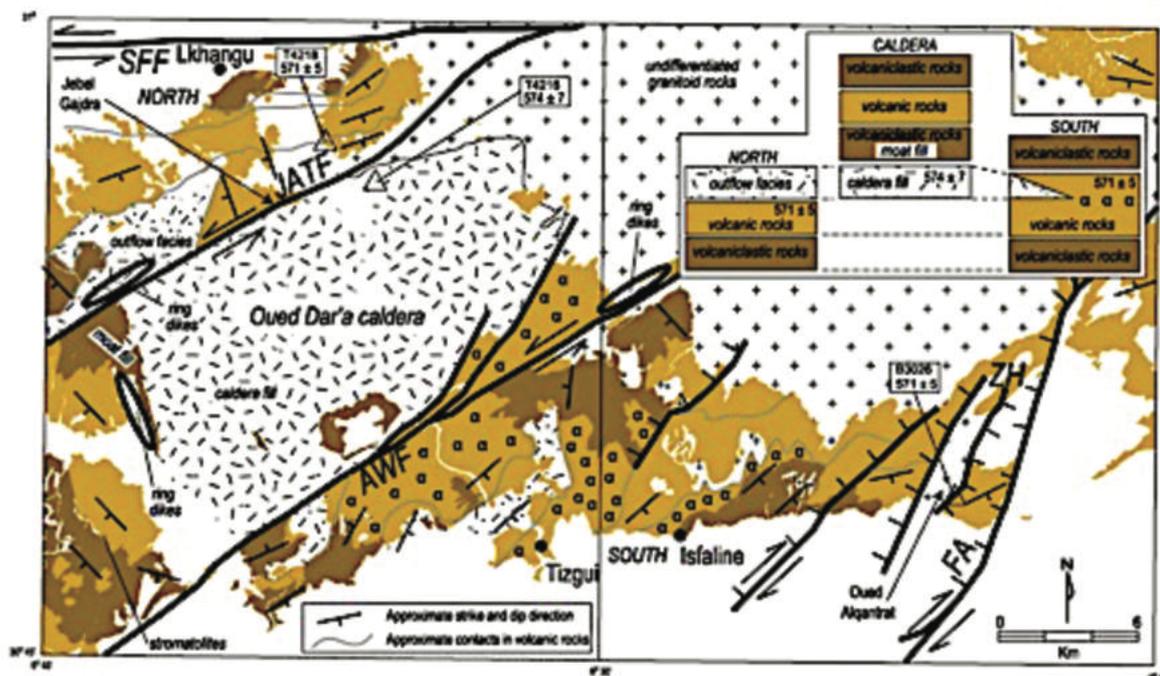


Figure 59 : Carte géologique simplifiée montrant la répartition de la partie inférieure du super-groupe de Ouarzazate dans la zone de la caldeira d'Oued Dra dans les nappes de Tizgui et de Bouskour (Walsh *et al.*, 2012). Abréviations identiques à celles de la figure 58.

En 2020, Chraiki *et al.*<sup>223</sup>, reprennent le gisement d'Amane Tazgart (connu sous le nom d'Amane n'Tourhart) en étudiant une communauté microbienne dans un lac volcanique alcalin dont les composants ont un âge de  $571 \pm 5$  Ma. Ces auteurs ajoutent que la période édiacarienne coïncide avec l'émergence de lignées animales ancestrales et de cyanobactéries qui, selon eux, sont capables de prospérer dans des océans déficients en nutriments, avec la dominance des eucaryotes photosynthétiques. Ce processus aurait alors abouti à l'oxygénation rapide de l'atmosphère édiacarienne. Dans ce contexte, les tissus primaires et les caractéristiques diagénétiques à plusieurs étages, représentés par la production de carbonate actif, la photosynthèse des communautés microbiennes, les bulles de gaz photosynthétiques, les structures d'échappement de gaz et les tapis touffetés, suggèrent des photo-synthétiseurs oxygénés spécialisés. Ces derniers prospèrent

<sup>223</sup> Chraiki *et al.* (2020): A 571 million-year-old alkaline volcanic lake photosynthesizing microbial community, the Anti-atlas, Morocco. *Geobiology*. Wiley Ed.

dans les lacs volcaniques alcalins, et auraient contribué à la variabilité de l'oxygène dans la biosphère terrestre pendant les temps édiacariens (Précambrien terminal).

## Troisième partie

### Deuxième chapitre

# Structure et évolution des connaissances de la géologie du Maroc

*«Dans notre vie de géologue, chaque fois que nous rencontrons un rocher, nous lui donnons son nom, son âge, pourquoi il est là, comment il s'est formé, et pour ne pas oublier ses réponses, nous en rapportons un fragment dans nos collections».*

Jules Gosselet (1832-1916)

## Présentation

Cette partie concerne la présentation des quatre grands domaines structuraux qui caractérisent le Maroc et l'évolution des connaissances, à partir de 1968 ; date à partir de laquelle la communauté internationale des géologues a adopté la théorie de la dérive des continents. Cette théorie explique la naissance et la formation des grandes chaînes de montagnes (et donc des orogénèses) grâce aux mouvements des plaques tectoniques de la planète Terre, les unes par rapport aux autres. Les études paléogéographiques ont montré que le Maroc avait une position privilégiée, puisqu'il était au contact avec trois continents (Afrique, Amérique et Europe) et deux domaines marins (Atlantique et Méditerranée). Il a donc connu plusieurs événements tectoniques qui ont abouti à sa structure, en chaînes de plus en plus récentes en allant du sud (Craton ouest-africain et Mauritanides) vers le nord (Rif) et une cratonisation qui évolue dans le même sens.

L'évolution des idées a permis aux géologues travaillant sur le Maroc de produire un certain nombre de documents (monographies) ou articles où ils détaillent les divers aspects géologiques, accompagnés de cartes, et montrent la diversité des formations et des structures, depuis les plus vieux temps remontant à plus de 3 Ga jusqu'à l'Actuel. Pour illustrer cette diversité, nous avons choisi de reprendre dans ce chapitre les principales idées de quelques travaux, que nous pensons essentielles, pour la compréhension de la structure des différents domaines.

En effet, à partir des années soixante du siècle dernier, comme un peu partout dans le monde, la géologie du Maroc connaît un essor considérable. C'est une période où le pays connaît un développement sur tous les plans, et correspond également au passage de relais entre les coopérants, Français en général, et les ingénieurs et universitaires Marocains. En plus du développement de la cartographie géologique, de multiples monographies (souvent sous forme de thèses de doctorat) ont été éditées et comprenant quelques ouvrages remarquables par leurs caractères régionaux ou de synthèse. On citera, à titre d'exemples :

***L'importante monographie sur la Meseta septentrionale***, par Gaston Beudet (1969), qui traite des principaux aspects du Quaternaire et de la Géomorphologie de cette région, appuyée par une bonne couverture cartographique au 1 :200.000ème<sup>224</sup>. Il s'agit là d'une description physique complète, précise et rigoureuse d'une vaste région essentiellement paléozoïque. Cet ouvrage comprend quatre parties : 1. Problèmes morphologiques, 2. Surfaces d'érosion et aplanissements partiels, 3. Versants et niveaux post-villafranchiens, 4. Régions morphologiques. Cet ouvrage

---

<sup>224</sup> Beudet G. (1969) : Le Plateau central marocain et ses bordures. Étude géomorphologique, Rabat ; 478 p. (avec carte géomorphologiques au 1/200000 en 4 feuilles [Thèse Lettres, Paris, 24 mai 1969, sous la direction de J. Dresch].

comporte aussi de nombreux résultats concernant la géologie du Maroc central (ou Massif hercynien central) et de ses bordures que sont : l'extension septentrionale du bassin autunien des Chougrane, avec des coulées volcaniques de cet âge, accident tectonique important à la limite SE du plateau du Telt, le caractère intrusif du volcanisme rhyolitique au Nord de Khénifra, etc.

Cette monographie, qui aborde pour la première fois certains sujets, renouvelle profondément l'acquis concernant cette vaste région (en géomorphologie, en géologie, en pédologie, en hydrographie fluviale, en climatologie, en biogéographie, etc.). Elle a abouti, par ailleurs, à une reconstitution satisfaisante de l'évolution morphologique du Plateau central dans laquelle subsiste une part d'hypothèses, notamment parce que les surfaces anciennes sont souvent mal datées ou de genèse inconnue. L'importance des formes et des dépôts plio-villafranchiens est particulièrement soulignée dans ce travail. L'auteur précise que la période du Villafranchien supérieur marque la fin de l'évolution ancienne ; elle s'est faite sous un climat semi-aride ou semi-désertique ; quant à la plus importante des phases tectoniques post-hercyniennes, d'âge pléistocène, elle s'est traduite par un exhaussement épirogénique d'ensemble du plateau central et, au Nord d'une ligne d'Ezzhiliga à Mrirt, par un jeu différentiel en blocs basculés ; enfin la morphogenèse pléistocène a été régionalement très nuancée.

Cette partie de la Meseta marocaine (Massif du Maroc Central) a fait l'objet, par la suite, de nombreux travaux de synthèse ; on citera à ce sujet la synthèse de l'équipe de Montpellier, sur la partie est de ce massif (Allary et *al.* 1976, sous la direction de Mattauer)<sup>225</sup> ; celle d'El Hassani et *al.* (1995)<sup>226</sup> qui concerne tout le Massif ; et enfin les synthèses stratigraphiques de Becker et *al.* (2020 et 2021)<sup>227</sup>.

Une autre synthèse est l'ouvrage d'André Michard : *Éléments de géologie marocaine*, citée pratiquement dans tous les travaux géologiques depuis sa parution<sup>228</sup>. L'auteur de cet important ouvrage est un géologue structuraliste ; ce qui le pousse immédiatement à définir dans son introduction le Maroc comme un modèle structural précis «*coin d'un vieux continent bordé par deux zones mobiles*», mais il en fait une présentation pédagogique des variétés géologiques remarquables. Le

---

<sup>225</sup> Allary A., Lavenu A. & Ribeyrolles (1976) : Étude tectonique et micro-tectonique d'un segment de la chaîne hercynienne dans la partie sud orientale du Maroc central ; Notes et Mémoires Service géologique Maroc, N°261, 170 p.

<sup>226</sup> El Hassani A., Piqué A. et Tahiri A. (1995) : Géologie du Paléozoïque du Maroc central et de la Meseta orientale. *Bulletin de l'Institut Scientifique* N°18, 215 p.

<sup>227</sup> Becker R.T., Aboussalam Z.S. & El Hassani A. (2020): Devonian to Lower Carboniferous stratigraphy and facies of the western Moroccan Meseta: implications for palaeogeography and structural interpretation. *Frontiers in Science and Engineering, Journal de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques*, vol. 10, N°1, 194 p.

<sup>228</sup> Michard A. (1976) : *Éléments de Géologie marocaine*, Notes et Mémoires du Service Géol. Maroc, N°-252, 408 p.

travail de Michard est une synthèse de la géologie du Maroc qui manquait à l'approche d'un milieu riche et diversifié. En effet, depuis le Congrès d'Alger (1952), où avait été présentée la vision sur la géologie du Maroc par l'équipe dirigée par le Chef du Service géologique du Maroc (Georges Choubert), le développement des connaissances, le perfectionnement des techniques et la multiplication des publications rendaient indispensable une telle mise à jour (ou synthèse). André Michard s'est donc appuyé sur une abondante et riche documentation qui lui a permis de donner une vue générale et actualisée de la géologie du Maroc.

Par ses nombreuses illustrations, l'ouvrage de Michard (en 1976) donne une vue globale de la géologie et de la géomorphologie du Maroc, avec une vision de structuraliste tout en rappelant chaque fois les données stratigraphiques, paléontologiques, tectoniques et pétrographiques. Ce document est écrit avec une logique de chronologie des événements tectoniques qu'a connus le Maroc, par domaines structuraux, depuis les chaînes anciennes du Précambrien du Sud marocain vers la plus récente, dans la chaîne alpine du Rif.

Cet ouvrage comprend aussi une synthèse où l'on peut se rendre compte de l'évolution du Maroc, en relation avec l'expansion des océans. Il évoque «*le cadre méga-tectonique*», et comporte de nombreuses cartes illustrant cette position clef du Maroc dans le jeu des plaques lithosphériques, lui permettant de s'interroger sur l'évolution générale du coin nord occidental de l'Afrique. Cette évolution est retracée dans un cadre géochronologique, en tenant compte des différents modèles présentés par les chercheurs.

Enfin ce mémoire traite sommairement la métallogénie, l'hydrogéologie, l'historique et l'évolution des connaissances. Néanmoins, il reste une référence pour toutes les recherches ultérieures et il est très rare de ne pas le voir figurer dans les références des publications ultérieures (Notes, Thèse, Rapports, ...).

En conclusion, le mémoire écrit par Michard comble une lacune dans la littérature géologique du Maroc, qui nécessitait une mise au point récente depuis les publications d'Édouard Roch (1950) et de Georges Choubert et J. Marçais (1952) où, il faut bien le noter, la théorie de la dérive des continents (tectonique des plaques) n'était pas encore admise par la communauté des géologues. De ce fait, à un moment où internet n'était pas encore née, ce document est d'une haute érudition ; il comprend un index géographique et un index des matières (phénomènes et objets géologiques) facilitant la recherche d'un renseignement général ou particulier.

Les travaux de Paul Huvelin dans le *massif paléozoïque des Jébillet* ont permis à l'auteur de produire d'excellentes cartes du Massif paléozoïque des Jébillet (une générale au 1 :200.000<sup>ème</sup> et deux autres au 1 :100.000<sup>ème</sup> pour les Jébillet centrales

te les Jébilet orientales), en plus d'un mémoire explicatif de 312 pages comprenant plusieurs logs stratigraphiques, coupes et schémas géologiques<sup>229</sup>.

Les Jébilet forment un chaînon, constitué de terrains paléozoïques, parallèle à l'Atlas de Marrakech et allongé sur 170 km perpendiculairement à la direction moyenne des structures hercyniennes<sup>230</sup>. Du point de vue stratigraphique, ce chaînon se compose de séries épaisses du Paléozoïque inférieur (le Cambrien, constitué de calcaires, schistes, psammites et grès, est épais à lui seul à l'extrémité occidentale d'au moins de 4.700 m, et bien plus à certains endroits (7.600 m environ). Pendant l'Ordovicien supérieur, dans les Jébilet orientales, un épisode de sédimentation détritique enregistre l'influence d'une calotte glaciaire saharienne qui se manifeste, à quelque distance de l'Inlandsis puisqu'aucune discordance n'a été observée dans les sédiments, avec des argilites à grains de quartz éoliens (tillites). Ces dernières contenant parfois des galets de roches issues d'un vieux socle (probablement du Craton Ouest Africain). Dès le Dévonien inférieur (au Praguien) apparaissent des calcaires dont le faciès est de type «griotte» et/ou des calcaires à rognons de silex, en discordance locale (selon l'auteur) sur le Siluro-Lochkovien dans les Jébilet orientales (phtanites et argilites riches en matières organiques). L'auteur n'a pas reconnu le Tournaisien et le Viséen inférieur. Selon lui, la mer revient au Viséen supérieur pour déposer un faciès de type flysch de faciès culm (flysch de Kharrouba) avec des intrusions de laves spilitiques, et dont nulle part la base n'est visible. Ensuite, vient une série schisto-volcanique (schistes de Sarhlef) renfermant des laves ou tufs quartzo-kératophyriques, des sills de dolérites, de gabbros et de granophyres, des lentilles de sulfures massifs (pyrrhotine exploitée à la mine de Kettara). Ces dépôts totalisent plusieurs milliers de mètres d'épaisseur. Au-dessus d'un olistostrome remaniant le flysch s'est mise en place une nappe de glissement, que Huvelin pense être intra-formationnelle, se composant surtout de terrains anté-viséens sans schistosité, en plis écaillés (ce sont les nappes des Jébilet orientales, qu'on distingue parfaitement sur les deux cartes au 1 :100.000<sup>ème</sup>).

---

<sup>229</sup> Huvelin P. (1977) : Étude géologique et gîtologique du massif hercynien des Jébilet (Maroc occidental). 308 pp., (plus 3 cartes en pochette) ; Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc, N° 232 et N°232-bis.

<sup>230</sup> Suite à la publication de ces cartes et le mémoire explicatif, une équipe de géologues, dirigée par Prof Jean Sougy, Directeur du Laboratoire de Géologie Dynamique, associé au CNRS et appartenant à l'Université d'Aix-Marseille, a repris l'étude détaillée de plusieurs parties de ce chaînon et a donné suite à des soutenance de doctorats de troisième cycle (travaux de : Alexis Poutchkovsky 1978 ; Ahmed El Hassani 1980 ; Abdelfatah Tahiri 1982 ; Mohamed Zahraoui 1982 ; Driss Oukeimini, 1984). Les chercheurs de la nouvelle université de Marrakech se sont également intéressés aux études surtout pétrographiques de ce chaînon et plusieurs thèses et notes scientifiques ont été produites. Les idées sont nombreuses et parfois paradoxales ; elles ont été discutées sur le terrain lors de l'excursion B3 du PICG-27 organisée en 1983 et à laquelle avaient participé les chercheurs principaux (dont Jean Sougy ; Jacques Muller, André Michard, et leurs élèves ; en plus de nombreux participants).

Ce chaînon a été structuré par l'orogénèse hercynienne qui a donné deux jeux de plis accompagnés, dans les Jébillet centrales, d'un métamorphisme régional épizonal à andalousite, cordiérite, grenat et biotite. Une granitisation a débuté avant la fin de la seconde phase de plissement (les phénoblastes de métamorphisme au contact du granite sont repris dans la schistosité, les filons de pegmatites sont plissés et boudinés). Ce granite, en batholites disharmoniques et à contours nets, recoupe tous les plis. Au granite sont liés, outre les filons de pegmatites de Sidi-Bou Othmane, des gîtes de graphite (ce sont les calcaires bitumineux viséens métamorphisés). A la suite des plissements majeurs, une phase de distension a permis la mise en place d'un faisceau de filons de microdiorites (à enclaves de granitoïdes à almandin, sillimanite et spinelle), qui jalonnent une grande partie du Domaine atlasique du Maroc.

Les Jébillet ont enregistré une phase de compression hercynienne tardive, responsable du charriage des unités des Jébillet centrales et orientales sur celles du Cambro-Ordovicien de l'extrémité occidentale des Jébillet. Huvelin parle d'un déplacement de 8 km, au moins, pour l'une de ces unités, celle du «Pays des Skhirat». Le Siluro-Dévonien non métamorphique, apparaissant dans cette dernière unité, se retrouve dans les affleurements du Jbel Ardouz (au Nord de Mzoudia, dans les carrières de la cimenterie ASMAR). Les faciès siluro-dévonien ressemblent à ceux de Mechra-Ben Abbou (Rehamna) et du Haut Atlas occidental, mais diffère totalement de celui des nappes des Jébillet orientales. Les faciès de ces dernières appartiennent à une autre province stratigraphique comprenant la région de Mrirt, dans le Massif hercynien central, et la région d'Aït-Tamellil, dans le Haut Atlas de Demnate<sup>231</sup>. Dans cette configuration les molasses continentales rouges du Westphalien-Permien ne se seraient déposées qu'après les charriages.

Pendant la période pré-atlasique, c'est-à-dire à la suite de la formation de la surface post-hercynienne (ou anté-permo-triasique) et avant les premières déformations atlasiques majeures (qui affectent l'Éocène marin), s'est manifestée une tectonique en blocs basculés. D'abord dans les Jébillet occidentales, où, à la suite des phases d'érosion accompagnant cette période, le Jurassique supérieur marin repose en transgression sur le socle hercynien, le Permo-Trias (pélites et argiles rouges à gypse et sel, tufs cinéritiques à radiolaires, basaltes) ne subsistera plus que dans des grabens anté-kimméridgiens. A l'Est de la localité Chemaïa et dans la plaine de la Bahira au Nord des Jébillet, les formations crétacées et éocènes recouvrent directement le socle. Lors des phases de distension pré-atlasiques se sont mis en place des filons ou amas à pyrite et magnétite dans la calcite associée à une albitite (Ouled Hammida), des filons quartzo-carbonatés à Pb-Zn (Jbel Sarhlef) ou à Cu (Kharrouba), des filons

---

<sup>231</sup> Consulter à ce sujet les nouveaux travaux de Becker T.R. et El Hassani A. (2020-2021) dans le Journal scientifique de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques (FSE, vol 10, N° 1 et 2).

barytiques (Jébilet occidentales) ; les phases d'érosion ont favorisé la formation de karsts à barytine au Jbel Irhoud.

Selon Huvelin, la tectonique de blocs a repris pendant l'orogénie atlasique (phase de plissements éocènes) donnant au chaînon des Jébilet une forme dissymétrique et abrupt au Nord. Les failles bordières nord ont rejoué, plus modérément, pendant les phases post- miocène-pliocène et plio-villafranchiennes, engendrant par endroits le chevauchement du massif ancien sur les conglomérats fluviatiles de la plaine de Bahira.

Paul Huvelin termine son mémoire explicatif par une étude gîtologique, accompagnée d'une chronique minière détaillée.

Une autre composante de la Meseta marocaine occidentale a eu droit à beaucoup d'attention ; il s'agit du *Massif paléozoïque des Rehamna* où de nombreuses équipes ont travaillé. Une synthèse géologique a été publiée par Michard et *al.* (1982)<sup>232</sup> où domine l'aspect structural de la région. Après lui de nombreux travaux de thèses ont suivi pour clarifier d'une part l'aspect stratigraphique qui n'était pas très élucidé et aussi quelques aspects structuraux qui restaient énigmatiques (jadis disputés scientifiquement par l'équipe d'André Michard de l'Institut de Géologie de Strasbourg, et celle de Jean Sougy de l'Université de Marseille). La reprise de la stratigraphie détaillée de cette région (les Rehamnas) a été élaborée par l'équipe dirigée par Ahmed El Hassani et Thomas Ralph Becker (2021)<sup>233</sup> ; elle a permis de caler un certain nombre de problèmes liés à la connaissance des mouvements éovariques et la détermination des âges des différents épisodes de la phase précoce hercynienne dans ce massif paléozoïque.

Pour ce qui est de la *chaîne alpine du Rif*, les travaux de Gabriel Suter se sont nettement distingués au niveau du Service géologique du Maroc, notamment par la coordination et la publication des deux cartes au 1 :500.000<sup>ème</sup> du Rif et aussi par les nombreux travaux expliquant ces deux cartes et la complexité de la géologie rifaine (dans la région du Moyen Ouerrha)<sup>234</sup>. Cet auteur a également contribué à l'enrichissement du patrimoine cartographique par l'élaboration de plusieurs cartes géologiques à différentes échelles.

---

<sup>232</sup> Michard et Coll. (1982) : Le massif paléozoïque des Rehamna, Maroc, stratigraphie, tectonique, et pétrogenèse d'un segment de la chaîne varisque ; Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc N° 303, 160 p.

<sup>233</sup> Becker R.T., El Hassani A. & Aboussalam Z.S. (2021): Devonian to Lower Carboniferous stratigraphy and facies of the South-Western Moroccan Meseta: implications for palaeogeography and structural interpretation. *Frontiers in Science and Engineering, Journal de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques*, vol. 10, N°2, 340 p.

<sup>234</sup> Suter G. (Coordinateur), 1980 : Carte géologique du Rif et du couloir sud-rifain, au 1/500.000, Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc N° 245-a ; et Carte structurale du Rif et du couloir sud-rifain, au 1/500.000, Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc N° 245-b.

*Concernant la chaîne atlasique*, les nombreux travaux de Raimond du Dresney, particulièrement ceux de cartographie, ont particulièrement aidé à la connaissance de cette chaîne de type continental. C'est ensuite à Georges Choubert, arrivé au Maroc en 1949, qu'a été confiée la cartographie de la majeure partie de la chaîne du Haut Atlas oriental, du Causse moyen atlasique, du Moyen Atlas plissé, ainsi que sur la région de Ouarzazate. Ses recherches ont été poursuivies en insistant davantage sur le contenu paléontologique des formations étudiées, appuyé par des déterminations paléontologiques précises, plutôt que sur les seuls critères lithostratigraphiques. On lui doit aussi l'établissement de la synthèse paléogéographique de la partie orientale du Jurassique du domaine atlasique.

Une autre synthèse a été présentée au Symposium international sur le *Système Dévonien* à Calgary (1967) et qui retrace les grandes lignes de ce système dans le nord du Maroc par Henri Hollard et dans le sud du Maroc par Dumestre et Illing. Ce livre a été édité par la Société des géologues pétroliers à Alberta (D. H. Oswald Editor)<sup>235</sup>.

Henri Hollard a proposé une stratigraphie pour le Dévonien marocain, fondée sur un essai de corrélations entre les formations du Maroc hercynien central, du Maroc occidental et du Haut Atlas (suite aux travaux inédits de J.-P. Schaer). Il la formule en une succession de vingt unités stratigraphiques distinguées au Sud de l'Anti-Atlas. Cet essai, basé sur la faune étudiée, l'a conduit à ne retenir que neuf subdivisions stratigraphiques classiques (voir son document pour le détail).

Les diverses formations classées dans ces subdivisions se présentent sous des faciès variables, avec une prédominance des formations détritiques à l'Ouest du Maroc et au Sud du bassin de Tindouf. Le maximum de la sédimentation calcaire est enregistré entre l'Emsien inférieur et le Frasnien supérieur. Les épaisseurs maximales sont observées à l'Ouest et au SW du Maroc, les minimales au SE (Haut Atlas central et Tafilalt). L'auteur note enfin que des mouvements importants se sont produits à la fin du Frasnien inférieur et ont donné des failles et des plis autour de l'Anti-Atlas oriental, le long de lignes N-S ou NW-SE. L'essentiel des données stratigraphiques et des corrélations est figuré sur des tableaux stratigraphiques, ainsi qu'un essai d'interprétation des conditions de dépôt le long du versant sud de l'Anti-Atlas.

Dumestre et Illing (1967) ont établi une comparaison intéressante entre les récifs du Sahara marocain (au SE de Smara) et ceux d'âge équivalent dans la région Rainbow du nord-ouest de l'Alberta<sup>236</sup>. Ils sont de forme, de taille et de distribution similaires.

---

<sup>235</sup> Hollard H. (1967) : Le Dévonien du Maroc et du Sahara nord occidental. Int. Sympos. Devonian Syst., Calgary, 1967, vol. 1, publ. Alberta Soc. Petrol. Geol, pp. 203-244.

<sup>236</sup> Dumestre A. & Illing V. (1967): Middle Devonian Reefs in Spanish Sahara. Int. Sympos. Devonian Syst., Calgary, 1967, vol. 2, publ. Alberta Soc. Petrol. Geol, pp: 333-350.

Les auteurs y décrivent une constitution lithologique et écologique comparable ; ce qui à leur avis suggère des environnements de dépôt similaires à ceux des deux zones largement séparées (Pour plus d'informations, voir partie 5, plus loin).

Par la suite en 1985, J. Destombes, H. Hollard et S. Willefert rédigent une magnifique synthèse sur le Paléozoïque inférieur du Maroc sous le titre «*Lower Palaeozoic rocks of Morocco*»<sup>237</sup>, où ces auteurs font la synthèse de plusieurs années de travaux sur cette partie du Paléozoïque. Il s'agit de la première compilation, en anglais, des travaux de stratigraphie, de paléontologie, de sédimentologie, de paléogéographie et de paléoclimatologie du Paléozoïque inférieur trouvé dans cette zone. Le quatrième volume de la série des roches du Paléozoïque inférieur du monde traite des formations géologiques telles que les séquences du Cambrien inférieur contenant des trilobites du Maroc, celles montrant des traces de glaciation de l'Ordovicien supérieur en Afrique du Centre-Ouest et les séquences siluro-dévonienne du Maroc et de l'Algérie.

Solange Willefert (2004)<sup>238</sup> a également publié un important mémoire sur la *découverte des terrains à Graptolithes (1727-1958)*. Il s'agit d'un véritable historique des recherches sur le Paléozoïque inférieur (particulièrement le Silurien). L'auteur y retrace les différentes théories et hypothèses de la géologie marocaine, ainsi que les débats sur ces théories. Elle montre aussi comment les graptolithes ont aidé à dater les formations siluro-dévonienne au Maroc, avec en particulier une nette continuité stratigraphique et paléontologique entre ces deux périodes dans plusieurs régions du pays.

Bien évidemment, l'essor de la géologie marocaine a continué avec l'arrivée de nouvelles équipes de jeunes universitaires et géologues de la Direction de la Géologie au Ministère de l'Énergie et des Mines, ainsi que dans les offices spécialisés en géologie (OCP et BRPM-ONAREP-ONHYM<sup>239</sup>). On enregistre alors la production de plusieurs monographies et cartes géologiques (particulièrement dans le cadre du Plan National de Cartographie Géologique, PNCG) et auxquels

---

<sup>237</sup> Destombes J., Hollard H. et 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.

<sup>238</sup> Willefert S. (2004) : A la découverte des terrains à graptolithes (1727-1958). Géobios, Mémoire spécial n° 25, vol. 37, Elsevier, 521p.

<sup>239</sup> L'Office National des Hydrocarbures et des Mines (ONHYM) a été créé le 17 août 2005, par la fusion du Bureau de Recherches et de Participations Minières (BRPM) et de l'Office National de Recherche et d'Exploitations Pétrolières (ONAREP). Depuis leur création, en 1928 pour le BRPM et en 1981 pour l'ONAREP, ces deux organismes ont été les pionniers et les leaders au Maroc dans leurs domaines d'activité respectifs (surtout le secteur minier), et ont bénéficié d'une grande renommée auprès des opérateurs internationaux.

nous faisons référence dans la partie réservée à la présentation des principaux traits géologiques du Maroc (chapitre suivant).

## Principaux traits de la géologie du Maroc<sup>240</sup>

### Introduction

Le Maroc, est un pays dont l'histoire géologique est l'une des plus complète au monde, avec des expositions spectaculaires (coupes de référence assez complètes). De ce fait, le Pays préserve une grande partie de l'Histoire de la planète Terre, qu'on peut lire depuis l'aube de la vie (3,8 Ga) jusqu'à l'Actuel, depuis le Sud (chaîne des Mauritanides : Adrar Soutouf) jusqu'au Nord (chaîne du Rif), en passant par les chaînes de l'Atlas (Anti-Atlas, Haut Atlas et Moyen Atlas), les plateaux et plaines de la Meseta marocaine. Le Maroc est tributaire de plusieurs milieux sédimentaires (continentaux, lacustres, marins, glaciaires) ; Plusieurs types de chaînes (collision et intracontinentale) et aussi plusieurs orogènes :

- du Précambrien (avec la dernière - Panafricaine : qui a donné le Gondwana)
- Le Calédonien (Bloc des Sehouf) - au Paléozoïque inférieur
- Le varisque / hercynien - au Paléozoïque supérieur (qui a donné la Pangée)
- L'alpin, qui a donné deux types de chaînes: intracontinentale (les Atlas) et collision (Rif).

Comme nous l'avons développé dans les chapitres précédents, la mouture cartographique remonte au début du vingtième siècle. Cette cartographie a permis de produire les premières cartes géologiques, en couleur (pour différencier les différents âges des séries sédimentaires), et d'élaborer depuis les années cinquante du siècle dernier des synthèses générales. Il s'agit notamment de la carte au 1 : 500.000<sup>ème</sup> (en six feuilles), puis dans les années quatre-vingt l'excellente carte au 1 : 1.000.000<sup>ème</sup> (en deux feuilles) qui retrace dans le moindre détail les formations géologiques du Maroc. Nous donnons ici une illustration simplifiée de ces documents sous forme de carte structurale du Maroc (Fig. 61).

La découverte des premières traces de vie sur Terre et le développement de celles-ci ont permis d'avoir un fil conducteur pour tenter de comprendre comment notre planète a évolué depuis sa création. L'étude des formations géologiques et de leur contenu paléontologique a également permis d'avoir une idée précise sur cette évolution caractérisée par des coupures importantes (résultant de plusieurs facteurs, notamment tectoniques), qui ont marqué l'histoire de la Terre. C'est ainsi que les

---

<sup>240</sup> Cette partie est une reprise améliorée, actualisée et développée de la conférence donnée par l'auteur lors de la session plénière de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, sous le thème Patrimoine Naturel et Développement durable ; dont le contenu a été publié dans le Bulletin d'information de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques N° 27, 2020, pp : 32-59.

scientifiques ont découvert que notre planète a connu cinq grandes extinctions de masses biologiques, dont les traces sont parfaitement illustrées au Maroc.

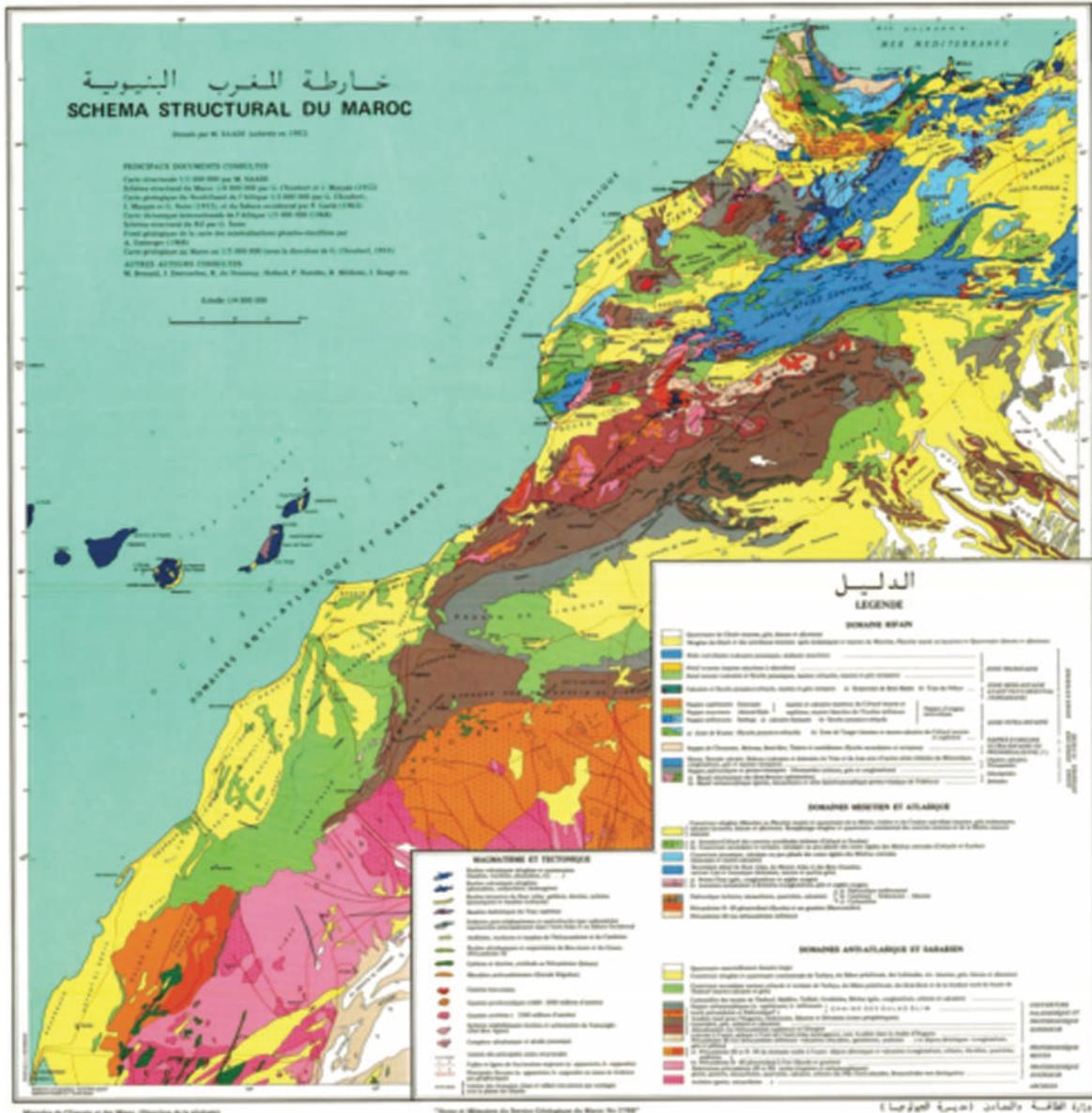


Figure 61 : Carte structurale simplifiée du Maroc au 1 :2.000.000<sup>ème</sup>  
 (Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc, N° 278 - B, 1982).

Ce sont Georges-Louis Leclerc de Buffon et Georges Cuvier qui ont eu l'idée, au 18<sup>ème</sup> siècle, que *le vivant sur Terre alterne entre des phases d'extinction et des phases de renouvellements des faunes et des flores.*

Dans ce contexte, une extinction de masse est un événement que l'on peut considérer comme relativement bref sur l'échelle des temps géologiques mais qui au niveau de son impact sur les espèces vivantes est absolument catastrophique, causant ainsi la disparition de toute une espèce ou groupe d'espèces, à différents moments sur l'échelle des temps géologiques (Fig. 62).

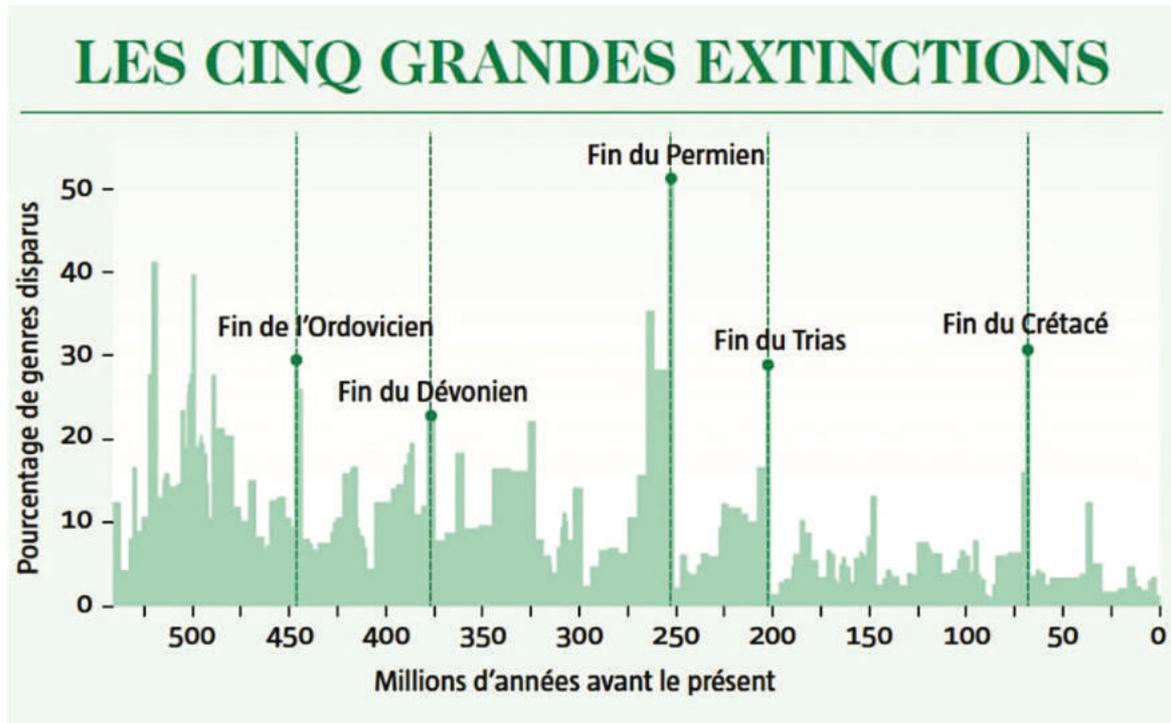


Figure 62 : diagramme montrant les cinq principales extinctions qu'a connues la planète Terre. Ce graphique, selon *Boundless Biology* du 8 janvier 2016<sup>241</sup>, représente les extinctions marines, car ce sont elles qui fournissent les meilleurs points de comparaison. Il s'agit des genres et non des espèces. Ainsi, l'extinction de la fin du Permien concerne un peu plus de la moitié des genres, mais 95% de toutes les espèces. Les dinosaures ont disparu à la fin du Crétacé.

**Ces extinctions ont des ampleurs variables et on distingue cinq crises principales, toutes enregistrées dans les séries sédimentaires marocaines.** Elles ont été généralement l'occasion d'une transition d'une forme de vie (faune et/ou flore) dominante pour une autre. Il s'agit de :

1. Fin de l'Ordovicien (445 Ma) : c'est la seconde extinction de masse la plus importante de l'Histoire. À cette époque, 70% des espèces animales sont rayées de la carte des vivants ... véritable catastrophe pour l'océan et la vie sous-marine (Sheehan, 2001) ;
2. Fin du Dévonien (385 Ma) : 75% des espèces animales disparaissent. Le maintien de la vie est dû aux arbres qui ont continué à produire de l'oxygène, les températures ont fini par se stabiliser et les saisons réapparaissent petit à petit, permettant une nouvelle fois à la vie de se diversifier. On enregistre aussi un manque d'oxygène (anoxie) au niveau mondial appelé "Événement Kellwasser", qui se produit à la fin du Frasnien. Il marque la limite entre les deux étages (Frasnien / Famennien) et se marque par une hécatombe de

<sup>241</sup> <https://www.books.fr/le-mythe-de-la-sixieme-extinction/>

Goniatites et des Orthocères dans des faciès noirs (exemple dans le Tafilalt) très reconnaissables sur le terrain ;

3. Fin du Permien (252 Ma) : marquée par la disparition de 95% des espèces marines et de 70% des espèces terrestres. Elle a été caractérisée comme la mère de toutes les extinctions de masses par Erwin (1994). Cette crise aurait eu un lien étroit avec un phénomène général de la tectonique des plaques, le Permien étant caractérisé par la fin de l'orogénèse hercynienne qui a érigé des chaînes de montagnes provoquant la «soudure» de toutes les terres fermes en un seul supercontinent, la Pangée. Les zones continentales ont donc été soumises à une forte aridité et érosion massive, les zones côtières sont plus restreintes ;
4. Trias – Jurassique (200 Ma) : correspond à peu près au moment où la Pangée s'est fracturée, avec d'importants épisodes volcaniques qui auraient entraîné un réchauffement climatique global. Les experts pensent que cet événement serait lié à l'ouverture de la province magmatique du centre atlantique et serait responsable de la disparition de près de 20% des espèces marines et une part importante des grands vertébrés terrestres. La diversité biologique s'en est retrouvée bien amoindrie. Cette extinction a permis l'arrivée du temps de domination des **dinosaures** et des **mammifères**.
5. Crétacé – Tertiaire (65 Ma) : six à huit espèces sur dix ont disparu et parmi ces disparitions on retrouve les grands Sauriens comme les dinosaures. Les oiseaux ont survécu mais les insectes sont ceux qui ont le mieux résisté. La cinquième extinction de masse du Crétacé - Paléogène (dite C - T) est non seulement la plus récente des extinctions de masse du Phanérozoïque «Big Five», mais aussi la plus connue et la mieux étudiée. La cause principale, la plus probable, de cette extinction serait l'impact majeur d'une gigantesque météorite et les changements environnementaux globaux rapides et sévères qui en découlent (Alvarez et *al.*, 1980 ; Schulte et *al.*, 2010).
6. **Vers une 6<sup>ème</sup> extinction de masse? (celle de l'Homme)** : Beaucoup de chercheurs tirent la sonnette d'alarme quant à ce qu'ils appellent "la sixième extinction de masse", appelée aussi l'extinction de masse humaine ou la 6<sup>ème</sup> crise biologique. La cause de cette sixième extinction de masse serait **humaine**, car si nous continuons à ce rythme-là, des milliers d'espèces seront amenées à disparaître. À la différence des cinq extinctions massives, l'extinction de masse humaine est causée comme son nom l'indique par l'humain lui-même et non par des causes extérieures comme les précédentes extinctions (on lui attribue le terme d'anthropocène).

**Le Maroc est un Pays minier avec plusieurs types de minéralisations**

L'analyse de la carte des recherches minières au Maroc (fig. 63), fournie par l'Office National des Hydrocarbures et des Mines (ONHYM), renseigne sur l'existence de trois types de recherche concernant les métaux précieux, les minéraux de base, et les roches et minéraux industriels.

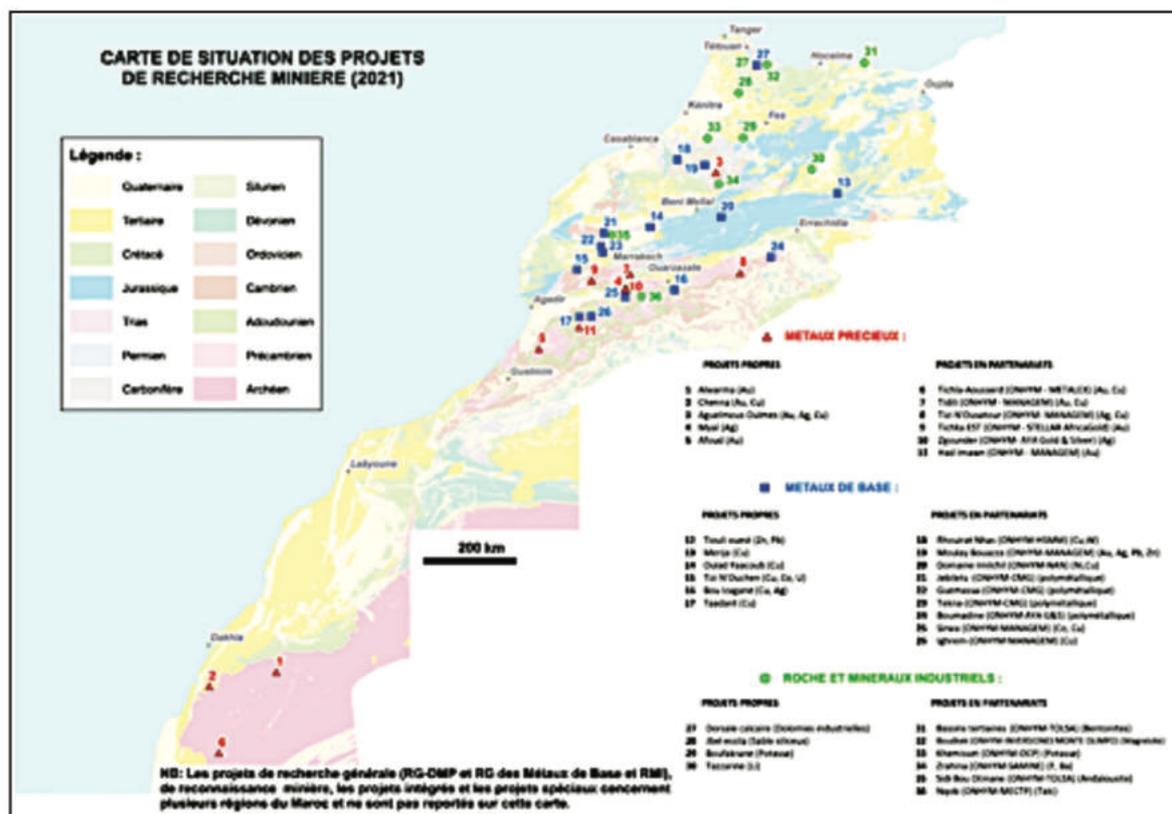


Figure 63 : Carte situant les différents projets miniers au Maroc (ONHYM, 2021)

Les gisements et indices miniers se regroupent au sein de provinces (ou époques) métallogéniques. Celles-ci sont en relation avec les grands événements géodynamiques qui caractérisent la géologie du Maroc. Outre les phosphates qui occupent les régions de Khouribga-Oued Zem, Benguerir et Laâyoune, on y connaît plusieurs autres minéralisations dont les plus typiques, pour la période précambrienne, sont localisées dans les boutonnières de l'Anti-Atlas (Saghro, Ougnat). Il s'agit (selon le site de l'ONHYM) des minéralisations à Au-Cu de Tiouit, du gisement argentifère d'Imiter, des minéralisations aurifères de Qalaat Mgouna, des minéralisations à Wolframite de Taourirt Tamellalt et de nombreuses minéralisations filoniennes polymétalliques comme à Boumadine, à Tizi Moudou et à Assif Imider.

Pour ce qui est de la région hercynienne où l'on parle plutôt d'époques métallogéniques (au lieu de provinces), les minéralisations se situent autour des granitoïdes hercyniens. Ainsi, On peut citer les amas sulfurés des Jebilet-Guemassa (Hajar, Draa Sfar, Kettara et Koudiat Aïcha) et les minéralisations péri-granitiques

du Maroc central. Les principaux gisements sont les suivants : L'étain d'El Karit, la fluorine d'El Hammam, celui à F-Pb-Ba-Ag de Zrahina, le Plomb de Tighza, l'argent de Koudiat El Beida et de Koudiat Hamra, le gisement à W-Cu-Mo d'Azegour (dans le Haut Atlas) et les minéralisations de W-Sn-Cu-Au autour du massif de Tichka. Récemment, selon l'ONHYM, de nouveaux types de minéralisations hercyniennes ont été mis en évidence dans la région de Tan-Tan au Jbel Malek (Au) et dans le Bas Draa à Azouggar N'Tilili (Pb, Zn, Ag, Au).

Le Jurassique constitue aussi une importante époque métallogénique où les gisements les plus importants sont ceux de Boubker-Touissit, Beddiane, Oued Mekta et Mibladen.

Enfin les minéralisations liées au volcanisme néogène sont les concentrations de bentonite et de perlite dans le Rif oriental (région de Nador notamment).

### **Les domaines structuraux du Maroc**

On distingue du Sud au Nord quatre domaines structuraux qui sont (Fig. 64) :

- Le domaine Saharien (Précambrien)
- Le domaine de l'Anti - Atlas (Précambrien - Hercynien)
- Le domaine de la Meseta et des Atlas (Haut et Moyen) : Calédonien - Hercynien - Alpin
- Le domaine du Rif (alpin)

Cette lecture correspond également à des ensembles structuraux qui sont de plus en plus jeunes en allant du Sud vers le Nord, ayant enregistré des orogénèses également des plus anciennes (précambriennes) au plus récentes (atlasique et alpine).

#### **Le domaine Saharien**

Ce domaine comprend à son tour trois parties principales :

- L'ouest de la dorsale Réguibate, qui est partie intégrante du Craton Ouest Africain (WAC) ;
- La partie septentrionale de la chaîne des Mauritanides (Adrar Soutouf/Oulad Dlim) qui se prolonge vers le nord dans la chaîne des Zemmour via le tronçon de Dahlou ;
- et enfin le bassin néogène de Boujdour-Laâyoune (Fig. 65).

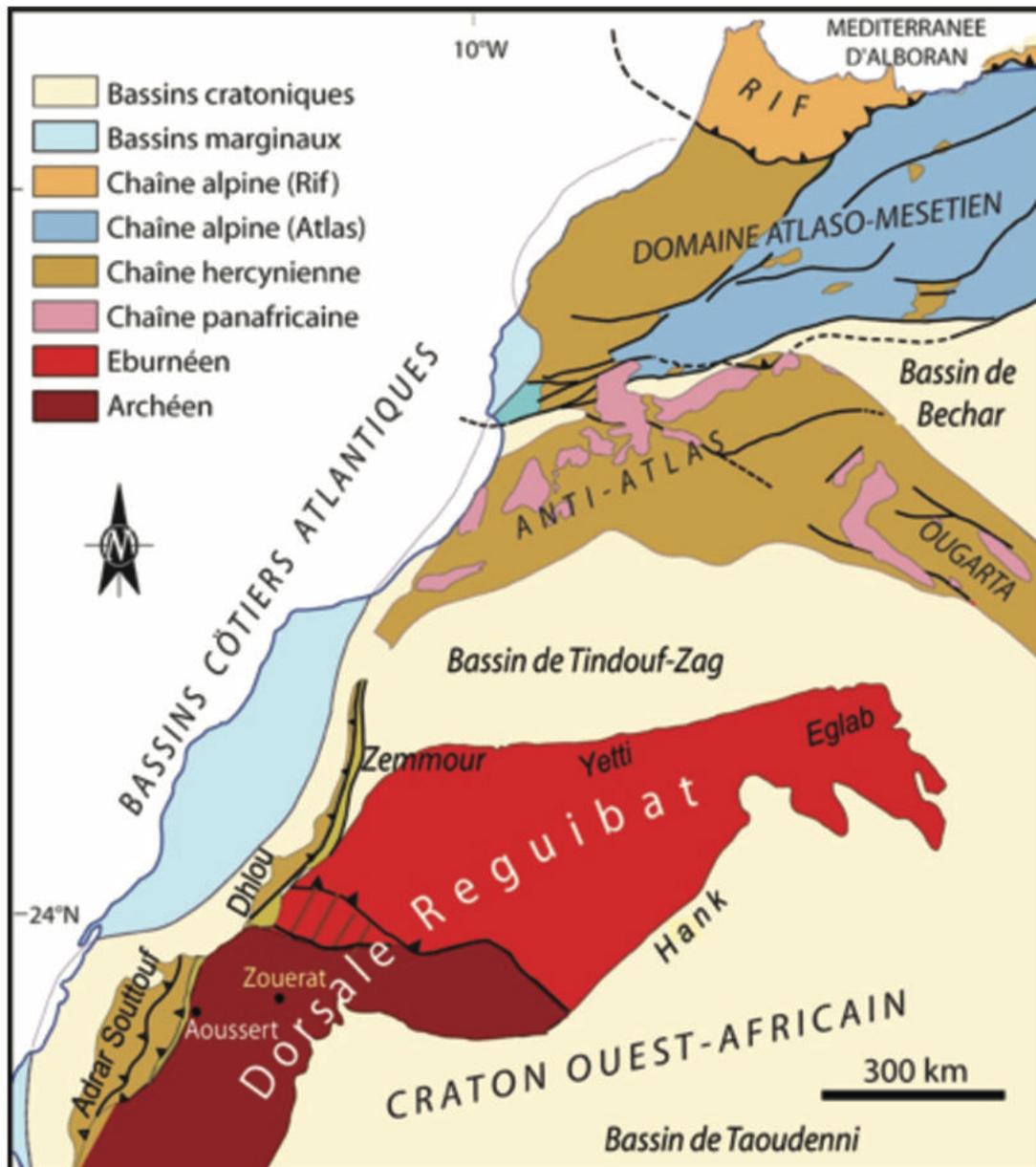


Figure 64 : les domaines structuraux du Maroc (in Michard et *al.*, 2008)

Le Craton ouest-africain est constitué de terrains archéens et éburnéens. Il s'étend sur des millions de kilomètres carrés dans le désert du Sahara, avec un socle cristallin dans le Bouclier ou dorsale Reguibat, où l'Archéen est dominé par les gneiss et les roches granitiques ; alors que l'Éburnéen se compose de roches granitiques et métasédimentaires du Paléoproterozoïque. La couverture du WAC est constituée par des sédiments peu ou pas déformés dans les bassins de Tindouf et de Taoudenni ; l'âge des dépôts dans ces bassins s'étend du Néoproterozoïque au Cénozoïque, soit environ 1 Ga, sans aucune lacune interne.

Le Craton ouest-africain est entouré par la ceinture (ou chaîne) panafricaine qui s'est d'abord formée entre 760 et 660 Ma (phase B1), puis entre 630 et 550 Ma (phase

B2). Il s'agit de l'orogénèse panafricaine dont les événements (s.l.) sont responsables de la construction du supercontinent Gondwana.

Dans la région d'Awsard (Aousserd), quelques événements magmatiques d'âge protérozoïque sont remarquables et se retrouvent localement dans le socle archéen (Figs. 66 à 69). Il s'agit d'affleurements de syénites qui attestent d'une activité magmatique prolongée depuis l'Archéen jusqu'au Protérozoïque dans cette région. Bea *et al.* (2013)<sup>242</sup> montrent que le pluton d'Awsard contient les plus anciennes roches kalsilitiques découvertes à ce jour, avec un zircon U/Pb SHRIMP de  $2,46 \pm 0,01$  Ga. Le pluton est composé de syénites néphéliniques, de syénites kalsilitiques et de syénites mineures saturées en silice ; toutes avec les mêmes compositions isotopiques initiales primitives en Sr et Nd.

Les syénites saturées en silice sont en fait des fénites de contact qui se transforment en syénites néphéliniques, mais les deux syénites à feldspathoïdes sont de véritables roches magmatiques qui ont cristallisé à partir de deux magmas contemporains hautement fractionnés, riches en K et avec des compositions chimiques très différentes.

Selon ces mêmes auteurs, le pluton d'Awsard, spatialement associé aux carbonatites et autres roches alcalines, ne marque pas une zone de subduction fossile archéenne tardive, mais représente la première manifestation d'une province alcaline paléoprotérozoïque de la dorsale Reguibat (Fig. 70).

Les régions de l'Adrar Souttouf et de Dahlou-Zemmour représentent la partie la plus septentrionale de la chaîne des Mauritanides (Sougy, 1969), qui en plus de son caractère hercynien est liée à la chaîne des Appalaches-Mauritanides. Elle montre, dans sa partie la plus méridionale, des éclogites dont les zircons ont livré un âge Panafricain (595 Ma), ce qui permet d'émettre l'hypothèse d'une chaîne polyphasée, comme les Mauritanides centrales et méridionales (Villeneuve *et al.* 2006).

---

<sup>242</sup> Bea, F., Montero, P., Haissen, F., El Archi, A., 2013. 2.46 Ga kalsilite and nepheline syenites from the Awsard pluton, Reguibat Rise of the West African Craton, Morocco. Generation of extremely K-rich magmas at the Archean-Proterozoic transition. *Precambrian Res.* 224, 242–254.

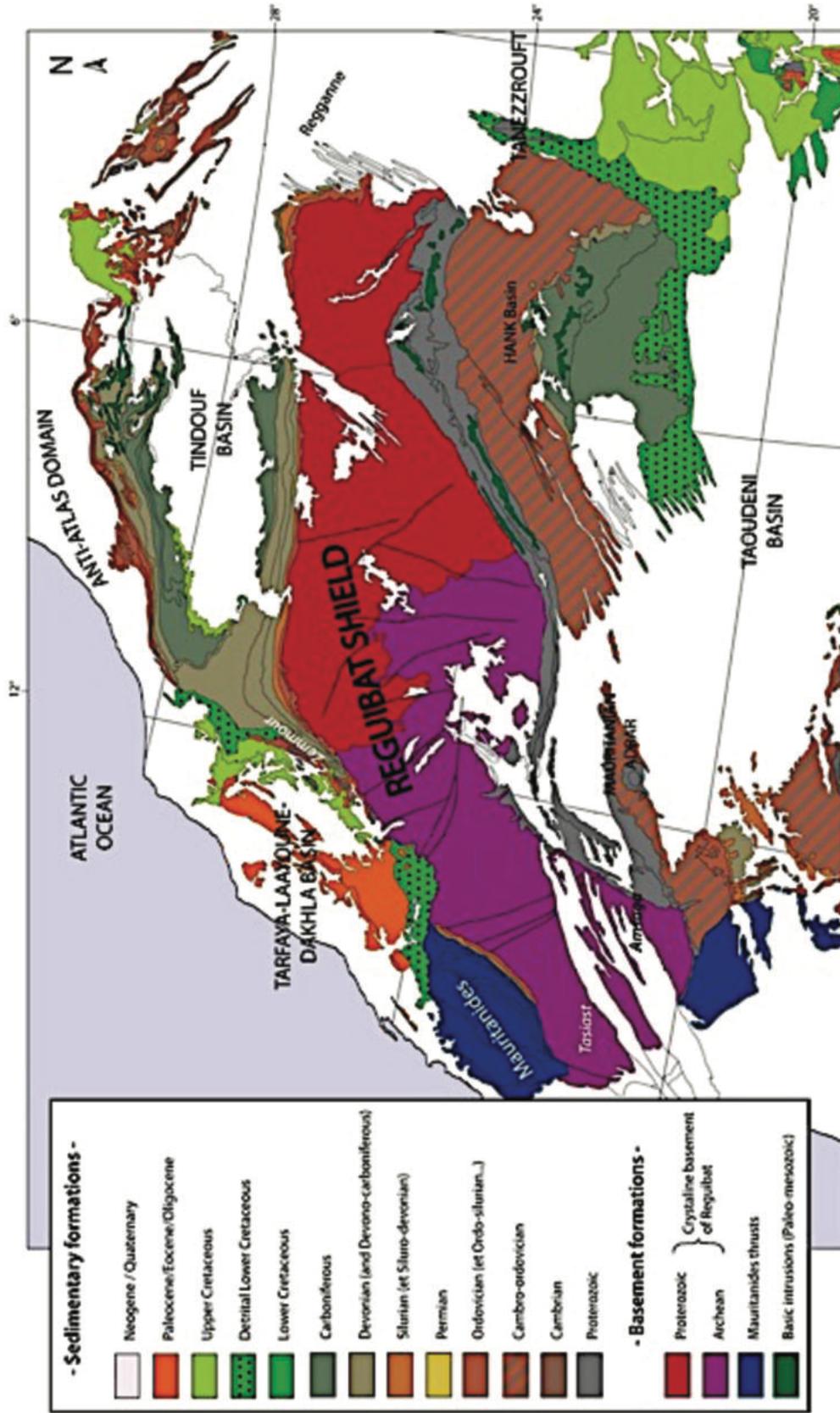


Figure 65 : Carte géologique du Nord du WAC, centrée sur la dorsale Reguibat (in Leprêtre, 2015).



Figure 66 : Vue aérienne des syénites d’Awsard (Aousserd), en structure annulaire elliptique, entourées de granites rubanés et dykes basiques Archéen dont la direction majeure est NE-SW (photo Google-maps).

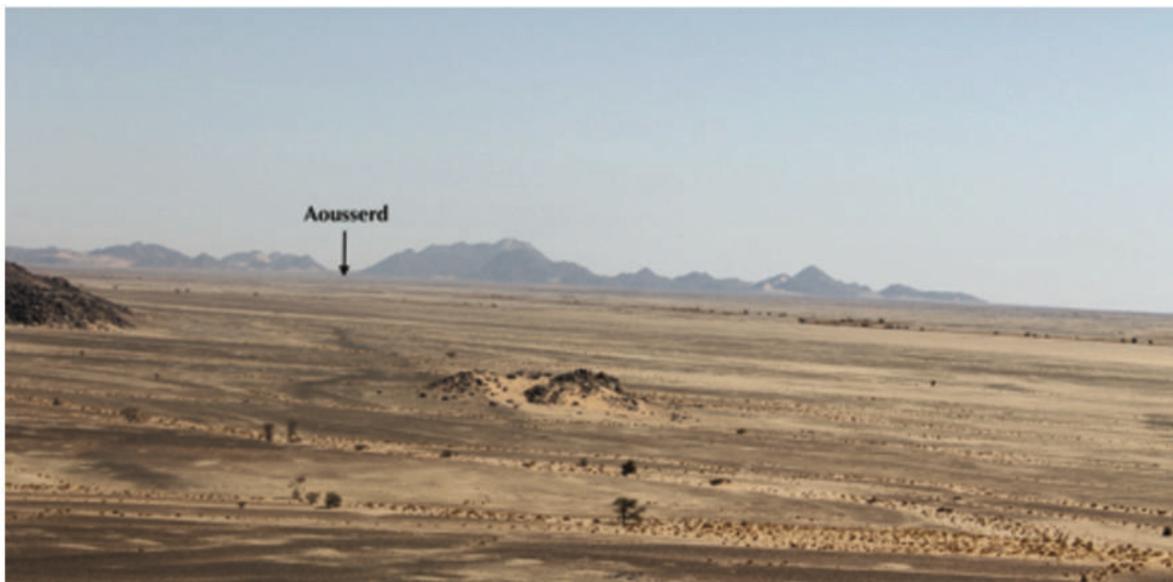


Figure 67 : Panorama de l’ensemble des syénites néphéliniques depuis le Sud-Ouest d’Aousserd, la plaine est constituée par les granites et les migmatites de l’Archéen, érodés, de la dorsale Réguibat (photo prise par Ibn Tatou depuis la localité de Bou Leriah).



Figure 68 : Affleurements de syénites de part et d'autres d'Aousserd.



Figure 69 : Panoramas montrant les syénites précambriennes de la région d'Aousserd d'âge 2.46 Ga (Bea et *al.* 2013) ; (photos Ibn Tatou).

La structure de la région est aussi marquée par le cycle orogénique hercynien ou varisque (360-290 Ma) qui s'exprime fortement dans les nappes des Mauritanides septentrionales (Oulad Dlim/Adrar Souttouf) (Figs. 70 à 73).

Ce complexe montre des nappes tectoniques à vergence E-SE (Figs. 71 et 72), qui se prolonge vers le nord par les chaînes plissées du Zemmour, puis de l'Anti-Atlas, et dont l'âge de mise en place est estimé entre 270 et 330 Ma (Sougy, 1962 ; Villeneuve, 2005, 2008 ; Michard *et al.*, 2010).

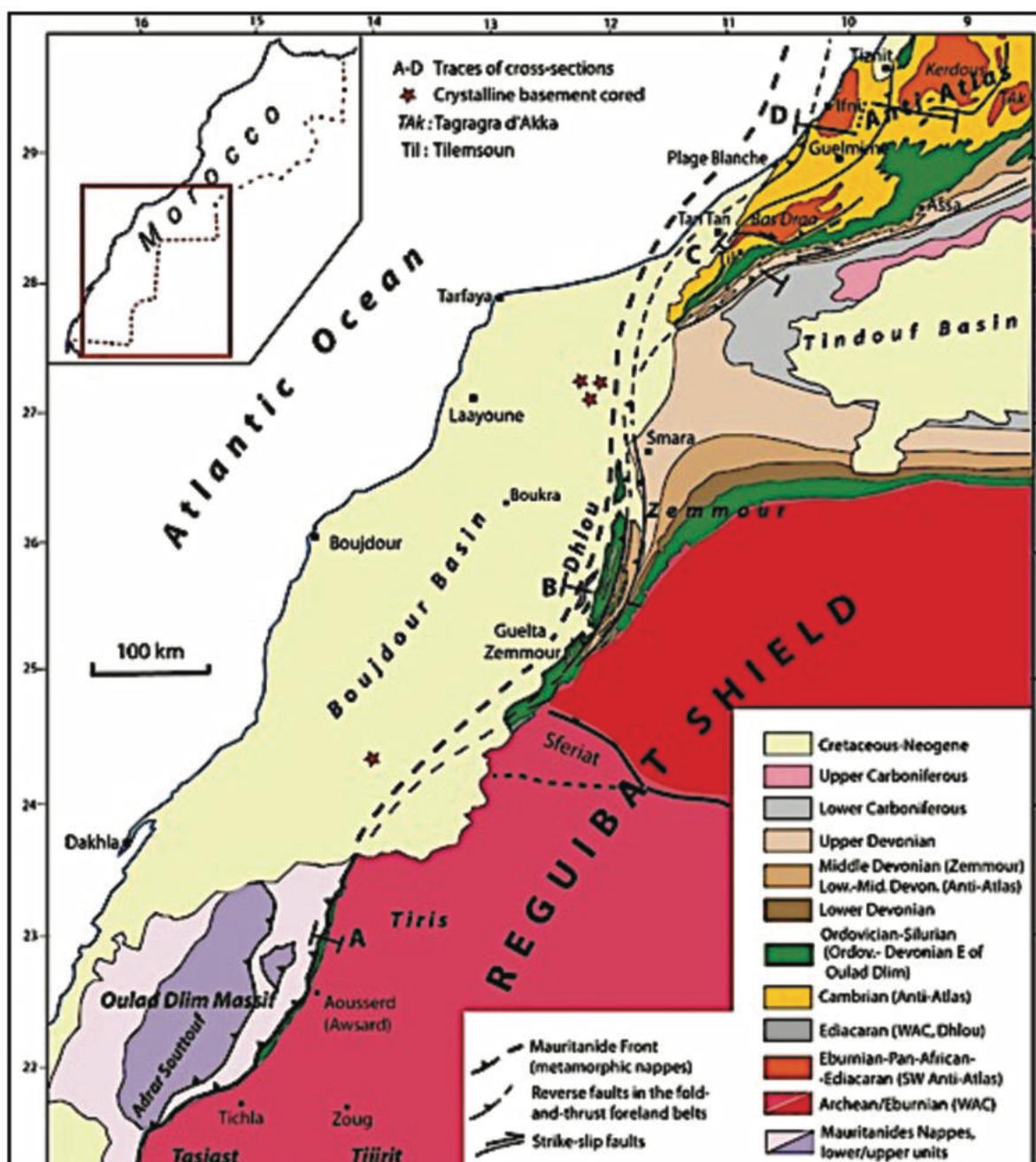


Figure 70 : carte géologique simplifiée du domaine saharien (in Rjimati *et al.*, 2011).

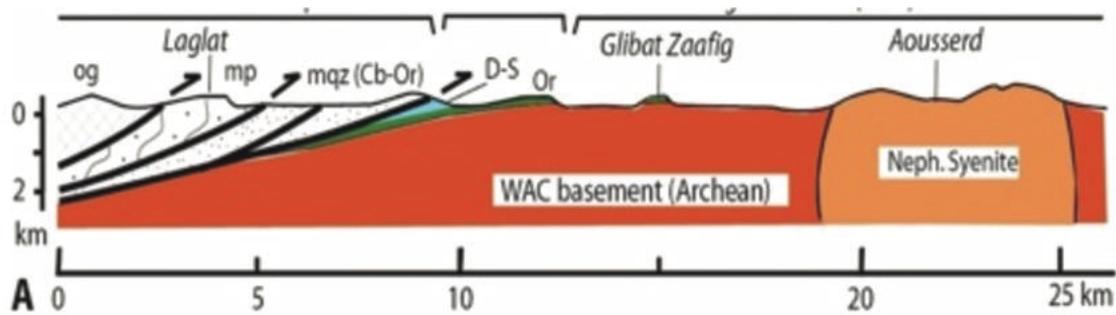


Figure 71 : coupe (A) montrant les structures varisques, en nappes de charriage sur le WAC, dans le transect d'Aousserd, et dont la vergence est grossièrement de l'Ouest vers l'Est (d'après Rjimati et *al.*, 2011).

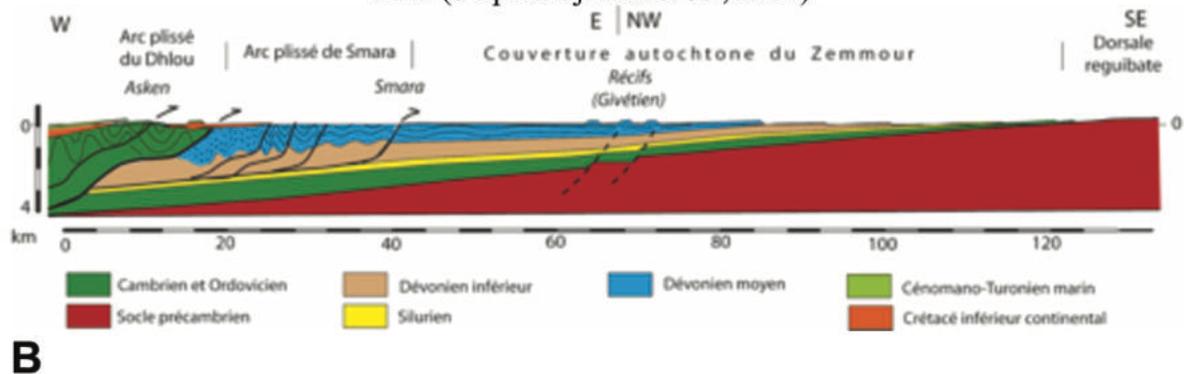


Figure 72 – Coupe (B) montrant le type de structures géologiques dans le domaine saharien, sur le transect de Smara (d'après Rjimati et *al.*, 2011)



Figure 73 : Photo montrant une partie de l'Adrar Soutouf (Mauritanides septentrionales) dans la localité de Entajta (Photo Ibn Tatou).

La couverture paléozoïque peut être suivie depuis la partie nord des Mauritanides, en passant par la chaîne du Zemmour noir et moule la dorsale Reguibat. A la base se trouvent des grès à *Scolithes* inférieurs du Cambrien moyen, transgressifs sur le socle archéen. Les dépôts du Cambrien se déposent directement sur le socle de la dorsale Reguibat, ce qui atteste de la présence à cette période d'un socle érodé en table rase. Les formations du Cambro-ordovicien constituent un ensemble stratigraphique

homogène, avec des dépôts de grès, argiles, quartzites avec cependant peu de fossiles permettant d'attribuer avec certitude un âge ailleurs que dans le Zemmour. Vers le sommet (Ordovicien supérieur - Silurien) une discordance est observée à l'échelle du WAC-Nord, dans son ensemble ; elle correspond à des dépôts glaciaires, c'est la «Tillite supérieure» de Sougy (1964).

L'environnement postglaciaire déclenche, en effet, une transgression majeure dont témoignent les dépôts riches en matières organiques ; ce sont les «pélites noires» du Silurien de la plateforme au Nord du Gondwana. Cette transgression est préservée partout au Nord de la dorsale Reguibat. Il s'agit, selon Sougy, 1964 et Villeneuve, 2005, d'un environnement sédimentaire conservé dans les bassins au Nord et au Sud du Bouclier Reguibat, qui appartenaient à un domaine marin commun, unissant les deux domaines pendant la période silurienne. Le sommet du Silurien est marqué par la discordance du Dévonien sus-jacent (Deynoux et *al.*, 1985 ; Boote et *al.*, 1998).

Enfin, le Carbonifère montre l'alternance de transgression et de régression ultime avant les événements orogéniques hercyniens. Le Carbonifère est concordant sur les épaisses séries du Dévonien et présente des formations continentales à sa base jusqu'au Viséen inférieur (Villemur, 1967 ; Legrand-Blain, 1985 ; Legrand-Blain et Perret-Mirouse, 2000), suivies par une sédimentation marine jusqu'au Namurien inférieur.

### ***Les récifs dévoniens de Lafrayrina : un site à protéger***

Vu l'importance des séries dévoniennes, nous insisterons particulièrement sur celles-ci, qui représentent des constructions récifales spectaculaires, qui affleurent sur le flanc sud du Bassin de Tindouf. Le but de cet ouvrage n'est pas de présenter une stratigraphie détaillée de cet ensemble, mais plutôt insister sur l'importance patrimoniale des sites géologiques. On y connaît, en effet, au Sud-Est de Smara (environ 50 Km) dans la localité dite Sebkhla Lafrayrina (Uein Terguet et Gor Loutad) d'importantes structures récifales (Figs. 74-75). L'environnement sédimentaire des séries dévoniennes (photos des Figs. 77, 78 et 79 ; d'après les travaux de Königshof et *al.*, 2003 ; 2004) montre qu'il s'agit de bancs coralliens spectaculaires, des biostromes et de petites structures coralliennes récifs (patch-reefs) se trouvant dans une bande étroite le long de la marge nord du craton ouest-africain (dorsale Reguibat). Wendt et Kaufmann (2006) ont distingué six cycles récifaux dans le Givétien, séparés par des schistes et des grès (Fig. 76).

Le premier cycle est constitué par des monticules de boue à stromatactis qui forment probablement aussi le noyau du 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> cycle récifal. Le biote du 2<sup>ème</sup> au 6<sup>ème</sup> cycle est, selon ces auteurs, dominé par de grands stromatoporoïdes, associés à des coraux rugueux tabulés ainsi qu'à des coraux rugueux solitaires et coloniaux et à une grande variété d'organismes récifaux. Cette cyclicité peut être soit le résultat de

changements eustatiques relatifs du niveau de la mer, soit l'apport siliciclastique oscillant de la marge du plateau du craton ouest-africain, qui a interrompu à plusieurs reprises la croissance des récifs.

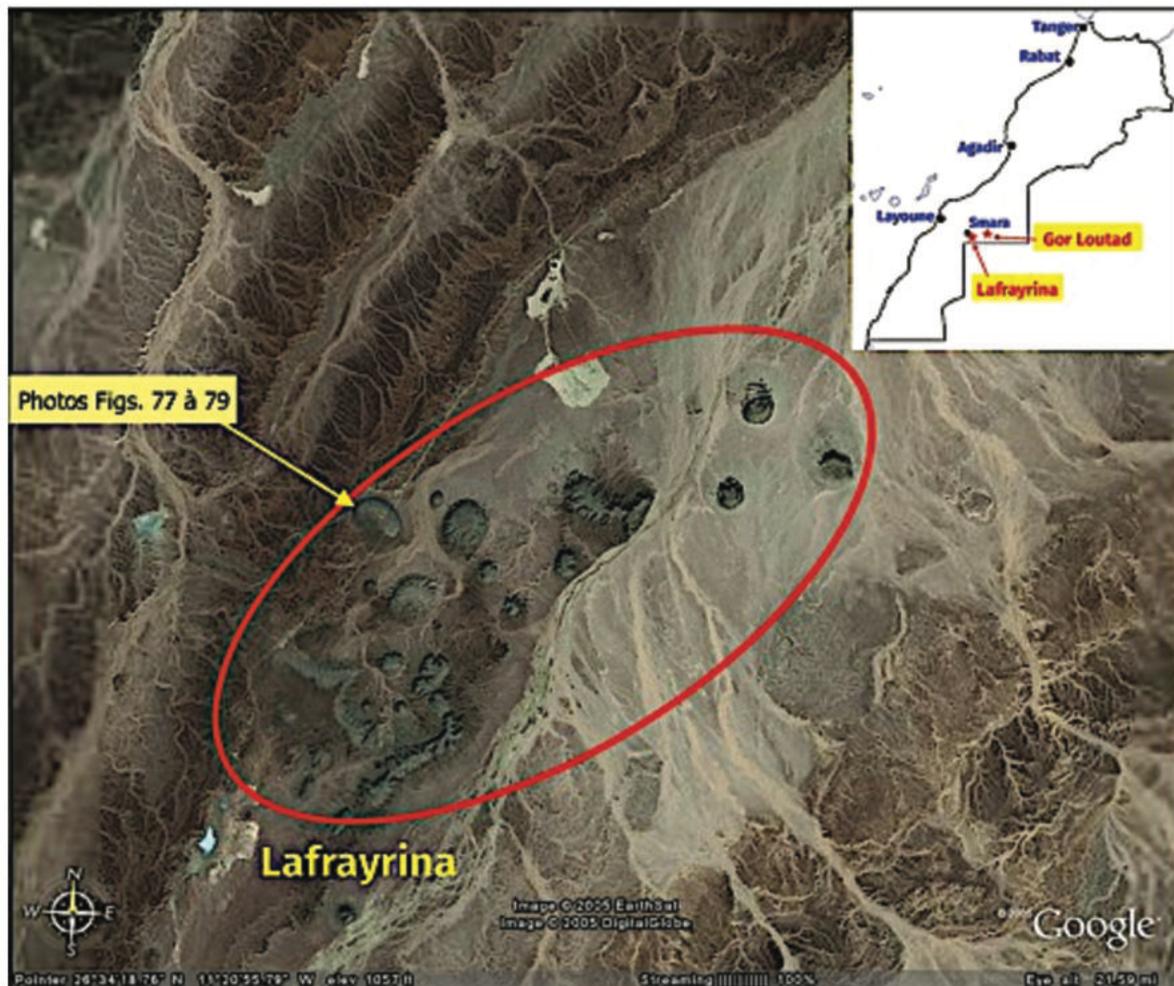


Figure 74 : Carte satellite -Google- des ensembles récifaux proéminents du Givétien, ellipse rouge, situés au NE de Sebkhia Lafrayrina (à l'ouest de l'oued Uein Terguet). La flèche jaune indique où ont été prises les photos des figures 77, 78 et 79. Encadré : carte du Maroc avec la position des deux groupes de construction récifales (Uein Terguet au SE de Smara et Gor Loutad à l'Est).

L'analyse des accumulations de récifs occidentaux dévoniens montre qu'il s'agit de structures à grande échelle dominées par des stromatoporoides et plusieurs petits biohermes (Königshof et *al.*, 2003 ; 2004). En raison d'une faible intensité de la tectonique hercynienne, du manque de végétation et de la très faible altération diagénétique, la préservation de ces structures récifales est extraordinaire.

Le premier exemple est celui du monticule récifal de Gor-al-Hessen, au SE de Smara, qui est présenté comme un exemple de récif iso-tabulaire à petite échelle ; il a une hauteur de 17 m et mesure environ 300 m de diamètre. Le récif, dont l'âge est Givétien supérieur, est construit grâce aux principaux constructeurs que sont les

coraux, (e. g., thamnoporidés, favositides, alvéolites, *Phillipsastrea* et, dans une moindre mesure, *Heliolites*, *Scoliopora*, *Rhaphidopora* et *Roemerolites*). Les stromatoporoïdes y contribuent également, mais ils sont moins fréquents. La conservation en position de vie est fréquemment observée à l'affleurement dans les deux groupes d'organismes. Les crinoïdes sont très abondants, mais uniquement sous forme de débris. Dans des zones distinctes du récif (surtout les dépressions), prolifèrent les brachiopodes et les petits coraux solitaires.

Dans ce récif, la zonation verticale et horizontale se reconnaît dans ses moindres détails. En effet, la croissance initiale du récif commence sur un banc rocheux sous-marin constitué de siltstones siliciclastiques, comprenant diverses traces sédimentaires caractéristiques, telles que les stratifications entrecroisées et les ondulations des vagues; ces interférences d'ondulations suggèrent une formation dans un environnement d'eau très peu profonde.

Les premiers organismes constructeurs de récifs sont des chaetédidés encroûtant, suivis de colonies de *Phillipsastrea* à croissance plate; et enfin des thamnoporidés. Les calcaires des récifs sus-jacents comprennent principalement différents coraux et, dans une moindre mesure, des stromatoporoïdes. Ces derniers sont à peine répartis à la fois verticalement et horizontalement, selon leur position dans le récif. Les formes de croissance sont plus robustes (bulbeuses) face à des conditions hydrodynamiques plus élevées sur le front du récif, en bordure méridionale. La partie supérieure de la structure récifale est entièrement constituée de débris calcaires, composés principalement de thamnoporides-crinoides, intercalés avec des stromatoporoïdes détritiques en plaques. En général, la présence de fragments relativement gros atteste d'un faible transport des débris. Cette «phase de débris», qui n'a pas été érodée, représente la dernière étape du développement des récifs à Gor-al-Hessen.

Le deuxième exemple représente une structure récifale à grande échelle de plusieurs km<sup>2</sup> dominée par les stromatoporoïdes. La croissance initiale du récif commence au-dessus de calcaires oolithiques de plusieurs mètres d'épaisseur reposant sur des siltstones siliciclastiques. Cette séquence est coiffée de stromatoporoïdes, avec des lits de corail intercalés, certains d'entre eux sont encore in situ. La partie la plus élevée de ce complexe carbonaté est constituée par un sommet de récif plat formé par des stromatoporoïdes géants (la structure aplatie est observable même sur photographies satellites).



Figure 75: Photo satellite (3D) montrant les récifs dévoniens de Uein Targuet, à sommets aplatis (Source : Google-Earth)

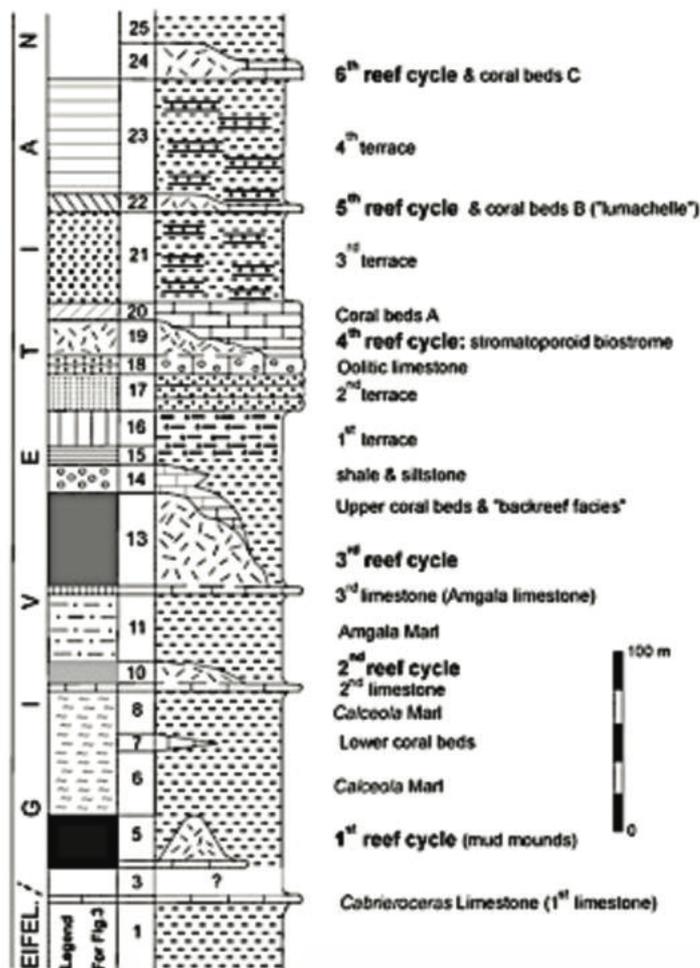


Figure 76: Log synthétique de la séquence de 6 cycles récifaux superposés dans le Givétien dans la région d'Uein Terguet (d'après les travaux de Payan & Sendrier, 1962 ; Dumestre & Illing, 1967 ; Rjimati & Zemmouri, 2002 ; Wendt & Kaufmann, 2006).

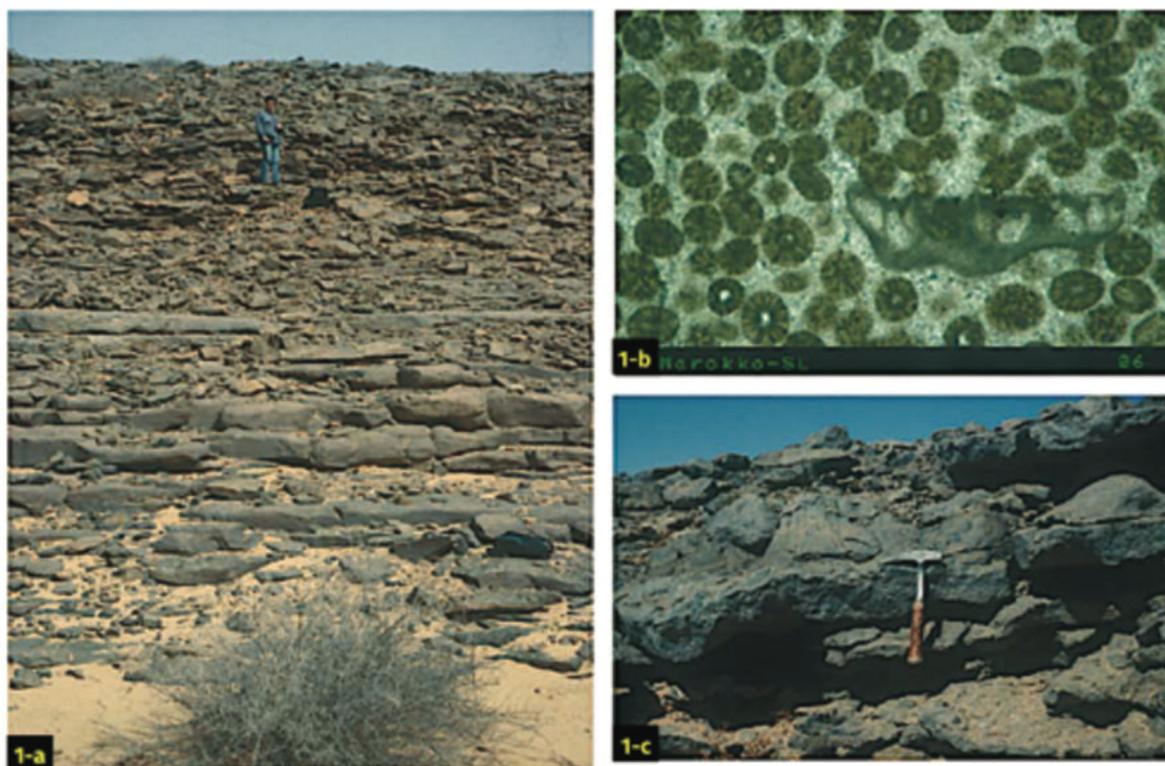


Figure 77: Photos de la partie inférieure du complexe récifal de Sabkhat Lafrayrina (Est de Smara) montrant des siltstones et des grès recouverts d'oolites (photo 1-a), le détail des oolites (1-b) et les calcaires récifaux (1-c).

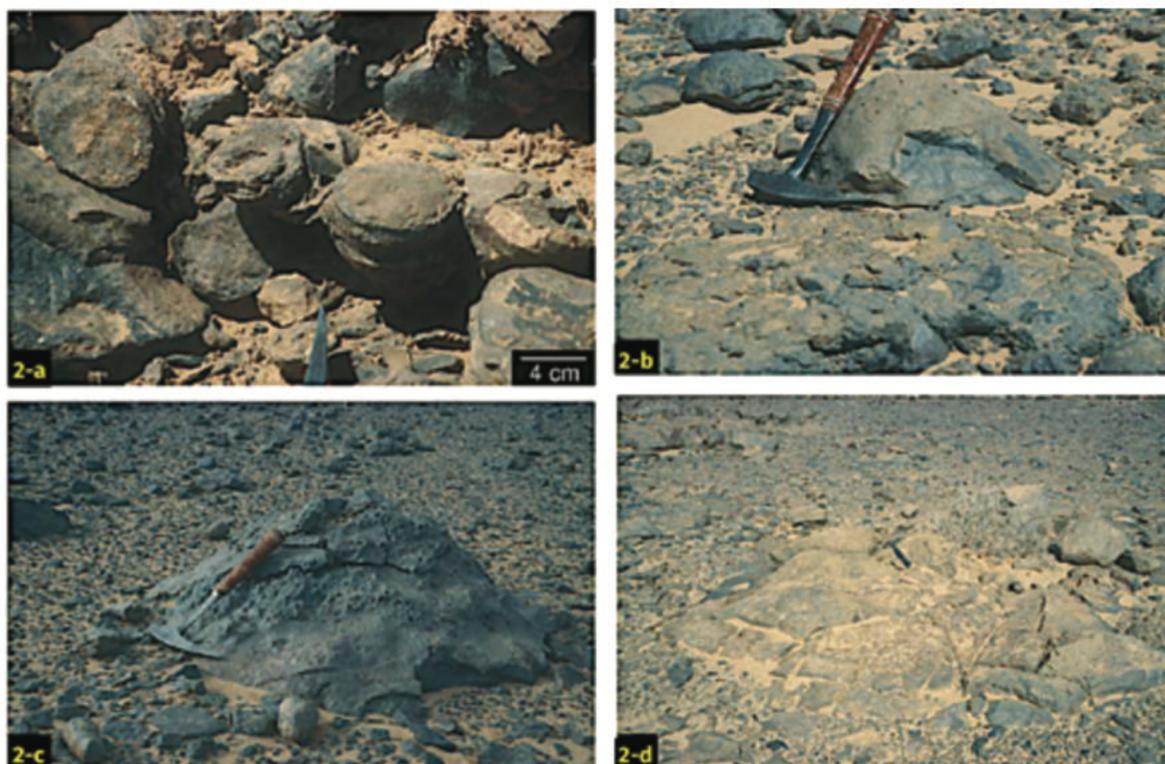


Figure 78 : Photos montrant les structures stromatolitiques : coral genus "*Mesophyllum*" (2-a); stromatoporoides en dômes (zone récifale) (2-b); stromatoporoides en dôme (détail) (2-c) et largees stromatoporoides (2-d) (le Marteau en échelle).

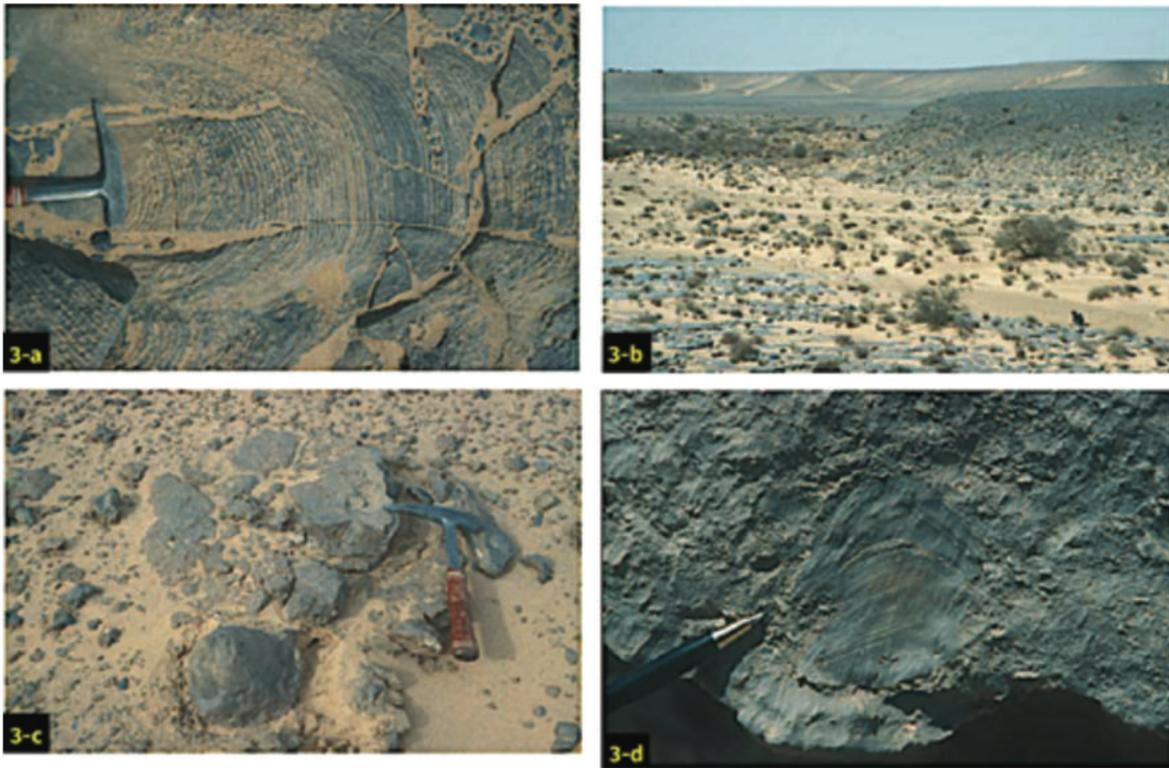


Figure 79 : Photos montrant les exemples de stromatoporoïdes (3-a, 3-c et 3-d) bien conservés avec des bandes de croissance, dans la partie supérieure de la section à Sabkhat Lafrayrina aux alentours d'un des gigantesques mud-mounds (3-b) dévoniens au SE de la ville de Smara<sup>243</sup>.

Sur la base des données biostratigraphiques, cette structure appartient au Givétien le plus élevé, et représente le troisième cycle récifal de Dumestre et Illing (1967) dans le Sahara marocain. Sur la base de l'extraordinaire situation d'affleurement, une différenciation détaillée des faciès latéraux et horizontaux est observée, comportant une sédimentation récifale en plusieurs cycles superposés (Fig. 80).

L'horizon le plus important pour la corrélation des unités du dévotion moyen dans toute cette région est un calcaire bleu grisâtre mince et foncé contenant des *Goniatites*, appelé ici le premier calcaire. il a été reconnu depuis la Mauritanie et se continue parfaitement jusqu'en Algérie. L'identification par Sougy (1962) de *Werneroceras crispiforme* l'a amené à placer ce calcaire à la base du Givétien. Cependant, la présence dans ces calcaires de *Agoniatites* sp. et de *Anarcestes lateseptatus* (Beyrich) suggère qu'ils ne sont pas loin de la limite Eifelien-Givétien.

<sup>243</sup> Photos provenant de l'étude réalisée dans le cadre de la coopération maroco-allemande. Voir : Königshof, P., Bensaid, M., Birenheide, R., El-Hassani, A., Jansen, U., Plodowski, G., Rjimati, E., Schindler, E., Wehrmann, A. (2004): Carbonate buildups in the Middle Devonian – examples from the western Sahara. 74. Jahrestagung der Paläontologischen Gesellschaft, 02.-08.10.2004, Universitätsdrucke Göttingen 2004, pp : 128-130.

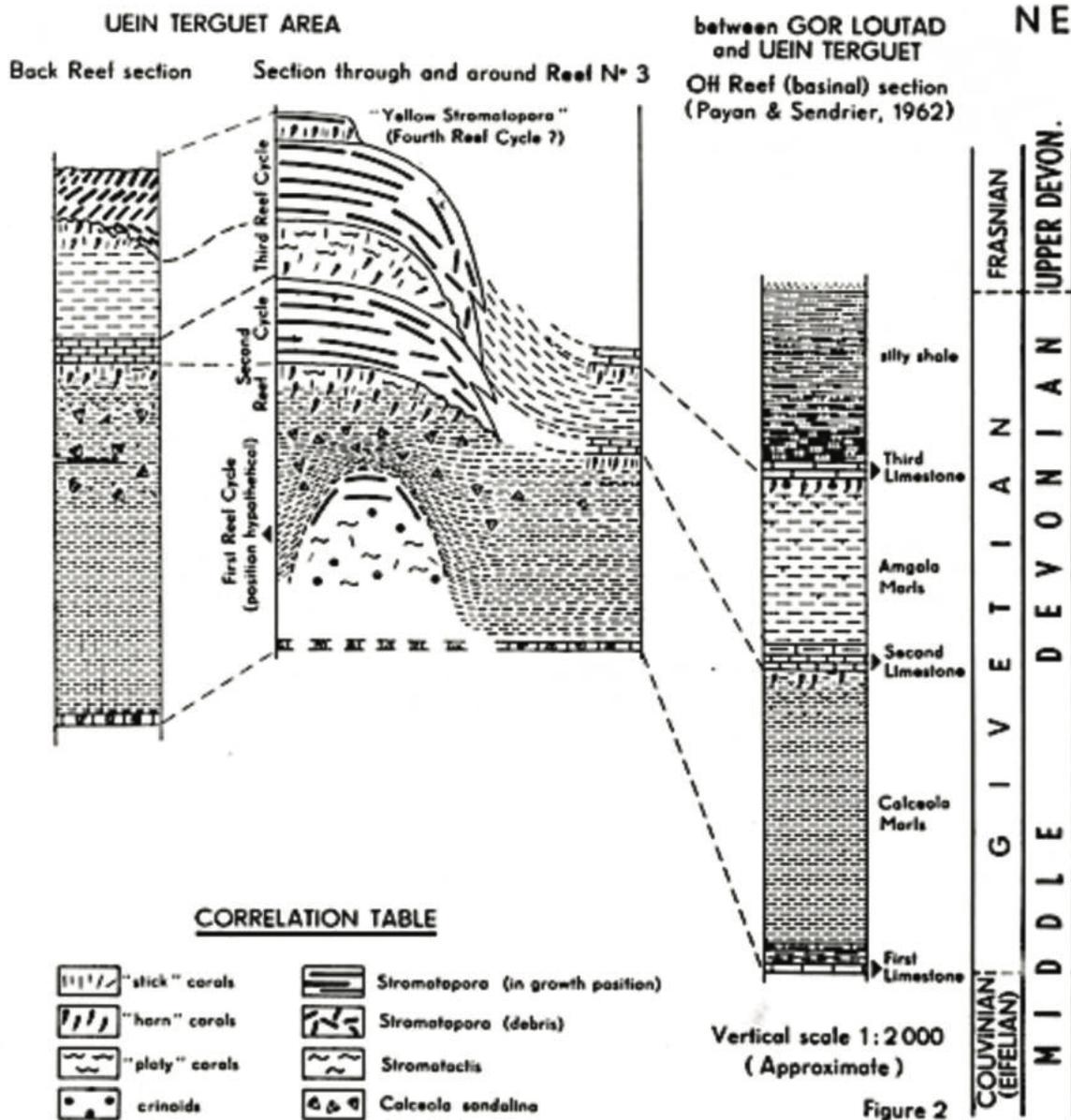


Figure 80 : Table des corrélations du Dévonien récifal de la zone Uein Terguet (d'après Dumestre & Illing, 1967).

En termes de taille, d'étendue et de contexte géologique, ces auteurs mentionnent qu'il existe une similitude étroite entre les biohermes isolés du Dévonien moyen et ceux d'âge similaire dans la région de Rainbow (nord de l'Alberta) ; leur croissance et leur développement sont très proches de ceux du sud marocain. Ici, par une érosion chanceuse, ils ont été exhumés de leur manteau enveloppant de siltstones et de schistes, et sont maintenant mis à nu. Il s'agit de l'un des plus beaux exemples de récifs fossiles que l'on trouve partout dans le monde.

Le domaine saharien comprend enfin, le bassin Tarfaya-Dakhla (parfois appelé aussi bassin de Boujdour ; Fig. 81). Il s'agit, pour le Maroc, du bassin atlantique le plus méridional qui s'étend sur plus de 1000 km le long de la marge ouest du Sahara. Sa

stratigraphie est connue en partie grâce aux études géophysiques qui montrent que les séries du Trias supérieur au Jurassique inférieur n'existent qu'en profondeur, où elles recouvrent en discordance angulaire le socle précambrien supérieur de la dorsale Reguibat et probablement aussi le Paléozoïque des Mauritanides (Hafid et *al.*, 2006).

Les séries suivantes attestent de l'approfondissement de ce bassin d'abord continental, pour devenir de plus en plus marin et s'estomper au Maastrichtien, entraînant des dépôts relativement moins profonds. Dans cette série, le Crétacé inférieur est représenté par des dépôts mixtes, clastiques (dominants) et carbonatés. Le Crétacé supérieur est transgressif sur les terrains sous-jacents, avec des faciès gréseux à silteux présentant des passées de dolomie gréseuse et de calcaire argileux. Ces dépôts traduisent un environnement marin lagunaire à néritique interne, qui s'approfondit progressivement de sorte à entraîner le dépôt d'argile calcaire à intercalations de calcaire (Fig. 82). Le maximum de transgression a été atteint au Cénomaniens terminal – Turonien basal et au Campanien.

Des vertébrés fossiles ont été trouvés et décrits dans ce bassin notamment par Adnet et *al.* (2010) ; Zouhri et *al.* d'abord sur le pourtour est de la Baie de Dakhla (2014) puis à Sebkhât Gueran (2018), située à l'intérieur de ce bassin.



Figure 81 : panorama montrant le type de relief observé dans la partie sud du Bassin méso-cénozoïque de Boujdour au SE de la baie Cintra (GPS : 21° 57,65' N x 16° 27°,09 W), dont les séries sont discordantes sur l'ensemble des nappes des Mauritanides septentrionales (Photo : Ibn Tatou).



Fig. 82 : à gauche, paysage du bord Est de la Baie de Dakhla montrant les terrains de couverture ; à droite, panorama de la partie est de la Lagune de Dakhla montrant la séquence stratigraphique de la formation Samlat (nomenclature stratigraphique et photos d'après Adnet et *al.* 2010). Les géologues se trouvent à l'emplacement du site fossilifère.

## Le domaine de l'Anti-Atlas

Ce domaine, qui prolonge la chaîne du Zemmour, est situé entre l'embouchure de l'oued Draa à l'Ouest et la région du Tafilalt à l'Est et s'étend en direction ENE-WSW (Fig. 83). Au point de vue structural, il s'agit d'un vaste bombement anticlinal que l'on peut suivre au-delà, avec une direction NW-SE, dans la chaîne de l'Ougarta en Algérie. Les terrains anciens, précambriens, affleurent dans des boutonnières de petites tailles par rapport au WAC, et jalonnent l'Anti-Atlas d'Ouest en Est; les plus importantes, en superficie, sont celles du Bas-Draa, Ifni, Kerdous, Ighrem, Zenaga, Bou-Azzer, Saghro et Ougate. Ces boutonnières enregistrent la majorité des orogènes précambriennes.

Les terrains paléozoïques couvrent les flancs de l'Anti-Atlas; ils sont très peu développés sur la bordure nord, le plus souvent faillés et dominent les sillons sud-atlasiques; par contre, ils s'étalent largement sur le flanc sud en constituant la bordure nord du bassin de Tindouf. Ce domaine est privilégié pour les études stratigraphiques et paléontologiques du Paléozoïque, du fait de la faible déformation des séries ainsi que par la très grande continuité des bancs exposés et les conditions parfaites d'affleurement. En effet, les lits de trilobites cambriens, l'Ordovicien «Fezzouata Lagerstätte» et les couches incroyablement fossilifères du Dévonien au Carbonifère inférieur peuvent être suivis sur des dizaines de kilomètres et font actuellement l'objet d'une exploitation excessive et abusive par les marchands de fossiles (Fig. 84). Les ammonoïdes, les trilobites, les crinoïdes, les brachiopodes et les coraux sont localement si abondants que des lits de fossiles spécifiques ont été exploités sur plusieurs kilomètres, laissant des tranchées marquantes dans le désert, pouvant être facilement repérées sur les photos aériennes (exemple : Jbel Issimour – Maider – Anti-Atlas oriental) (Figs. 84 et 85).

La stratigraphie du Paléozoïque dans les régions du Maider et du Tafilalt (Figs. 86 et 87) est l'une des plus complètes au Maroc, dont la bonne préservation est due à une faible tectonique hercynienne (plis à grand rayon de courbure et failles).

Le début du Paléozoïque est marqué par l'apparition des Trilobites (explosion de la faune au Cambrien). Il s'agit de la famille des *Paradoxides* qui forment de très belles plaques (omniprésentes dans les bazars du Tafilalt), dans un faciès constitué essentiellement de schistes et de grès, assez épais. La série stratigraphique (Fig. 87) se poursuit par l'Ordovicien qui comprend les nouvelles découvertes de la faune de la Formation Fezouata (Ordovicien inférieur), la Formation de Ktaoua de l'Ordovicien supérieur.

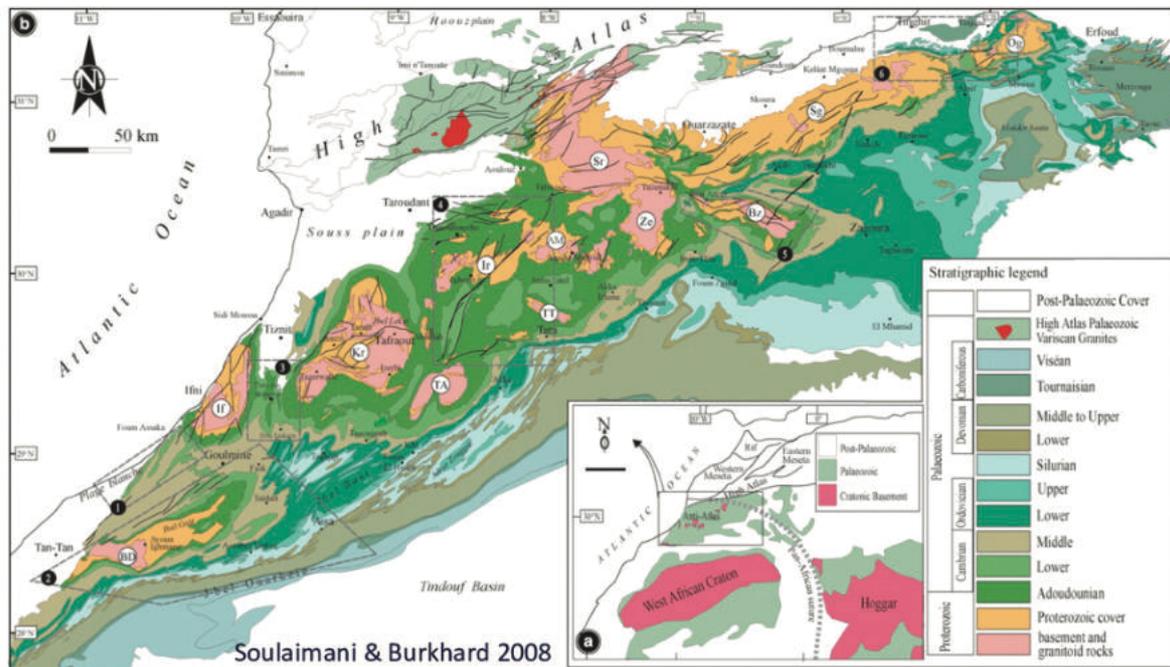


Figure 83 : Carte géologique simplifiée du domaine de l'Anti-Atlas (d'après Soulaïmani et Burkhard, 2008) qui montre un ensemble de boutonnières précambriennes sur lesquelles affleurent les épaisses séries du Paléozoïque.



Figure 84 : Tranchée de recherche fossiles – Image-Sat (Apple-maps) : la flèche jaune montre les traces de fouille/recherche de fossiles.



Figure 85 : Photos montrant (à gauche) une partie du Jbel Issimour (dans le Maider) à la recherche des trilobites dévoniens (la flèche jaune montre l'ampleur de fouille) ; à droite les gigantesques tranchées d'exploitation des tables à Encrines (*Schiphocrinites*) au Nord du Jbel Boutchrafine (Erfoud).

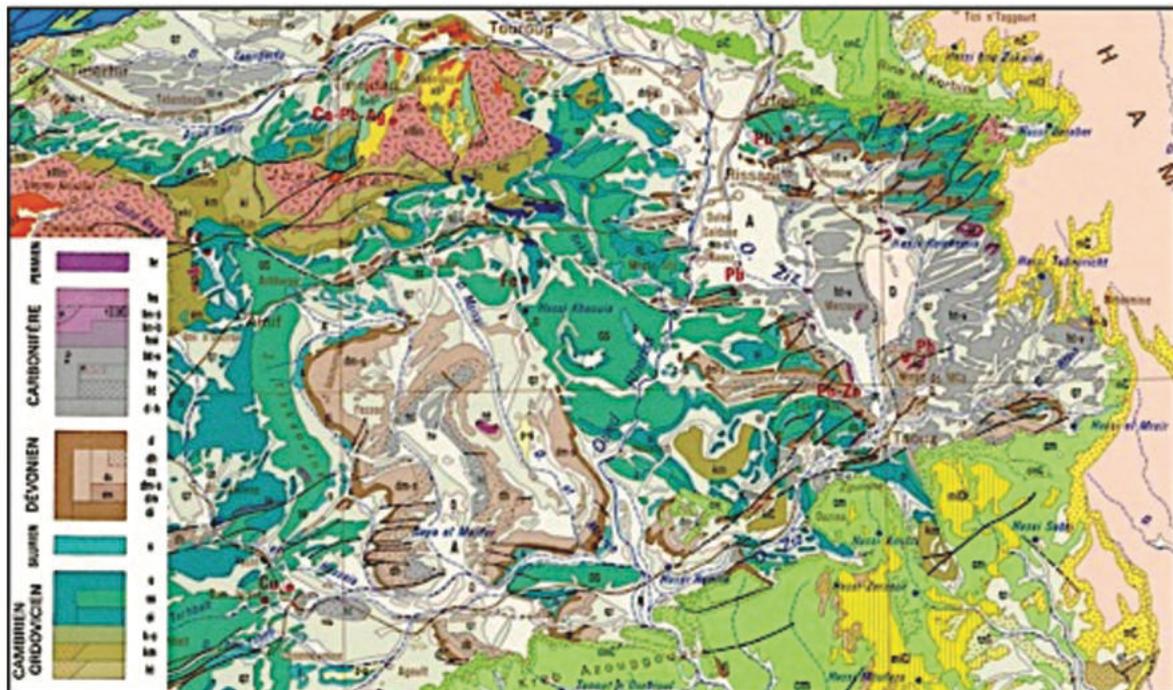


Figure 86 : Carte géologique de l'Anti-Atlas oriental (Extrait du millionième du Maroc) de Maider et Tafilalt, montrant des plis cartographiques (à grand rayon de courbure) ainsi que des failles parfois décrochantes. Pour le détail se référer à la carte originale (*Notes & Mémoires du Service géologique du Maroc N° 260 ; 1985*).

Tout à fait au début du Cambrien (au Fortunien à - 541 Ma), l'Anti-Atlas était en position proximale du continent Gondwana, très sensible aux variations climato-eustatiques et tectoniques qui vont façonner l'empilement et l'architecture des dépôts. La sédimentation d'abord mixte, carbonatée et détritique (Cambrien

inférieur), devient entièrement détritique durant la période allant du Cambrien moyen à l'Ordovicien (Destombes et *al.*, 1985). De rares manifestations volcaniques franches, de type alcalin intraplaque, sont observées au Cambrien inférieur (exemple au Jbel Boho) et au passage Cambrien-Ordovicien (dans la boutonnière de l'Ougnate).

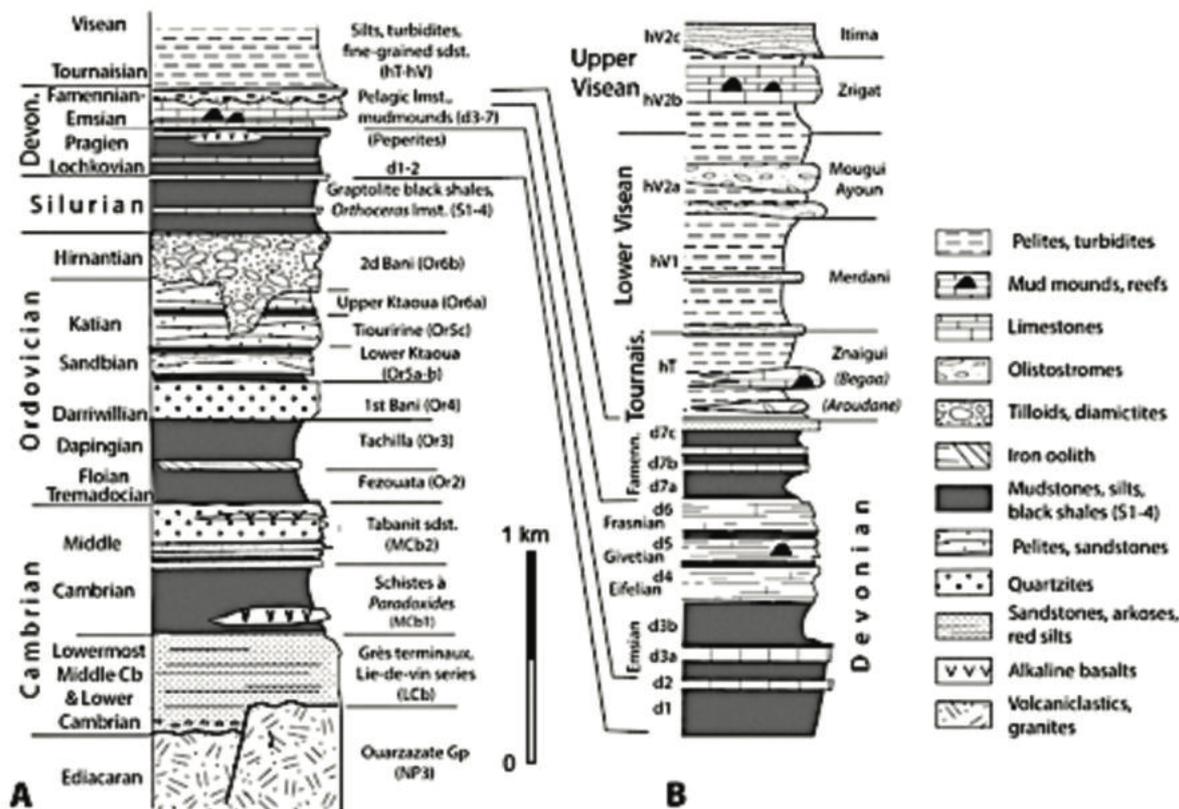


Figure 87 : Logs Stratigraphiques de la série paléozoïque du Tafilalt (Baïdier et *al.* 2016)

Cette période est caractérisée par ce qui est communément appelé par les auteurs « *explosion cambrienne* », une des périodes les plus dynamiques de l'histoire de la Terre. Cette explosion est la phase visible initiale de la diversification animale ; elle est définie par l'apparition dans les restes fossiles d'un large spectre de nouvelles anatomies et fonctionnalités, et par des systèmes écologiques complexes qui n'ont pas d'équivalent dans le Précambrien. L'explosion cambrienne est déclenchée par des facteurs d'interactions multiples et complexes, notamment une augmentation sensible du taux d'oxygène des eaux océaniques et les modifications des facteurs géochimiques, qui seraient les précurseurs du développement de la vie. C'est ainsi que prolifèrent les Trilobites notamment. Lefebvre et collaborateurs (2010) expliquent cet événement par l'accroissement et la complexité des réseaux trophiques, avec l'apparition de la prédation, et le développement d'organes de locomotion, vision, fouissage, biominéralisation.

L'évolution des espèces et leur écologie sont mises en évidence par plusieurs Konservat-Lagerstätten du Cambrien précoce à moyen (Fig. 88), qui ont donné des restes abondants et diversifiés d'organismes coquilliers et non biominéralisés tels que ceux des «schistes de Burgess» (Martin et *al.*, 2015)<sup>244</sup>.

L'Ordovicien, localement discordant sur le Cambrien, est caractérisé stratigraphiquement par quatre groupes principaux : les Feijas externes ; le Premier Bani ; le Groupe de Ktaoua et enfin le deuxième Bani.

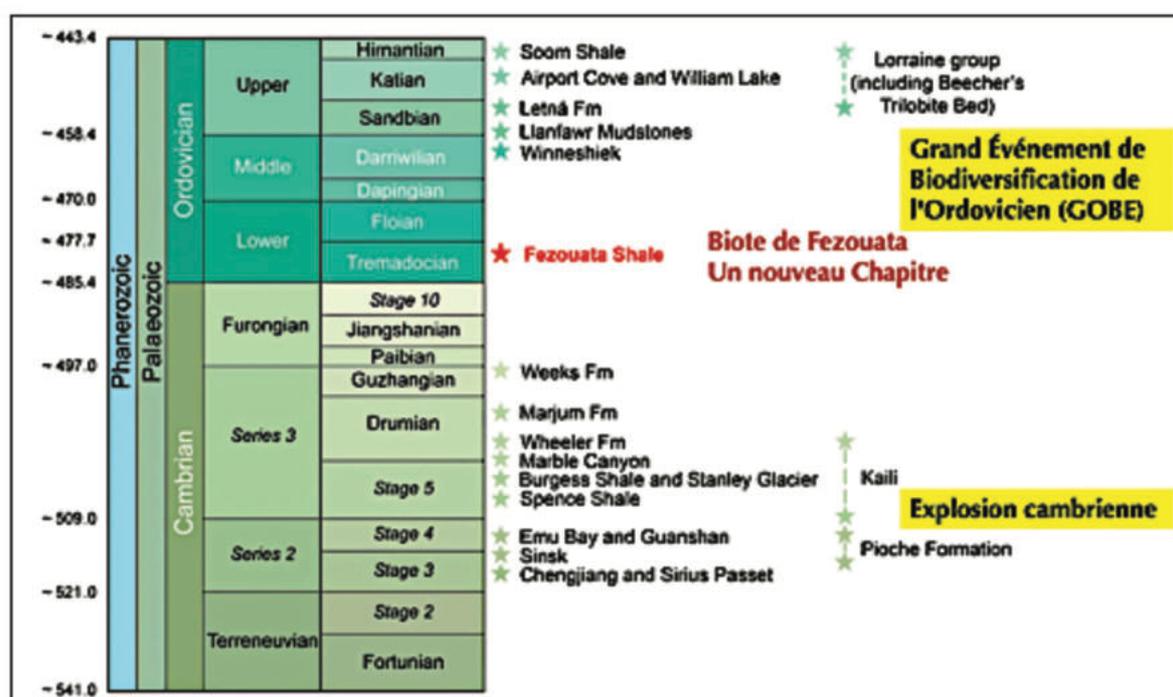


Figure 88 : Distribution stratigraphique des principales faunes exceptionnelles du Cambrien et de l'Ordovicien (d'après : Van Roy et *al.* 2010 ; Martin et *al.*, 2015 ; El Hariri, 2020).

Après l'explosion cambrienne, le Grand Événement de Biodiversification de l'Ordovicien (GOBE) représente la deuxième explosion majeure de la biodiversité marine. Pendant la majeure partie de la période ordovicienne se produit une diversification exponentielle soutenue dans presque tous les phylums animaux. Contrairement à l'explosion cambrienne, le GOBE est principalement reconnu à partir d'analyses de cette diversité, basée sur les fossiles et les microfossiles. En effet, les Lagerstätten de l'Ordovicien sont rares et la plupart surviennent à l'Ordovicien supérieur, longtemps après les étapes initiales du GOBE (Fig. 88). De plus, ils contiennent généralement des faunes, de faible diversité, qui vivaient dans des environnements marins restreints (Martin et *al.*, 2015).

<sup>244</sup> The Lower Ordovician Fezouata Konservat-Lagerstätte from Morocco: Age, environment and evolutionary perspectives. Gondwana Research, December 2015 DOI: 10.1016/j.gr.2015.03.009

On s'intéressera ici particulièrement à l'Ordovicien inférieur, qui débute par des dépôts argilo-silteux et grésopélimitiques, en transgression sur une topographie irrégulière, formant le **Groupe des Feijas externes**. Le milieu de sédimentation correspond à une plateforme distale dominée par les marées et les vagues. Des fluctuations cycliques sont marquées par des niveaux à fer oolithique et, plus à l'ouest de l'Anti-Atlas, par des récurrences gréseuses et quartzitiques plus ou moins importantes. Ces fluctuations permettent de définir trois formations (Razin et al., 2020) : formations inférieure et supérieure de Fezouata, Formation du Jbel Tachilla occupant l'Ordovicien inférieur et moyen (Trémadocien à Darriwilien).

Outre les formes classiques de trilobites et de graptolites, les niveaux argileux, notamment ceux du Fezouata inférieur, viennent de révéler l'explosion d'une étonnante faune (le *Lagerstätte* des Fezouata) en très bon état de conservation (Lefebvre et al. 2020).

En effet, la découverte d'un *Lagerstätte* de type Burgess Shale dans l'Ordovicien inférieur du Maroc (Van Roy et al., 2010) a fourni des possibilités inattendues et sans précédent pour obtenir des informations à haute résolution permettant ainsi une meilleure compréhension des deux événements que sont l'explosion cambrienne et le tout début du GOBE.

### ***Le Fezouata Lagerstätte***<sup>245</sup>

Le *Lagerstätte* des Schistes de Fezouata est situé dans le site de Bou Izargane (à environ 20 km au Nord de Zagora, Anti-Atlas central), où les dépôts de l'Ordovicien inférieur affleurent dans la plaine des Ternata, en discordance sur les grès cambriens de Tabanit (Fig. 89). C'est dans cette vaste plaine qu'ont été découverts tous les principaux gisements emblématiques du *Lagerstätte* des Fezouata (Elhariri, 2020).

L'Ordovicien inférieur de l'Anti-Atlas central est caractérisé par le *Lagerstätte* du « *Burgess Shale* », devenu l'un des plus célèbres au monde (Elhariri et al., 2018), avec la découverte d'une nouvelle faune dans la région de Zagora (Fig. 90). Cela a permis l'illustration de l'une des périodes les plus critiques du Paléozoïque inférieur et explique parfaitement la transition entre l'explosion cambrienne et la Grande Biodiversification Ordovicienne -GOBE- (Lefebvre et al., 2016)<sup>246</sup>. Ces auteurs qualifient cet épisode de « nouveau chapitre : Fezouata Biota » (Fig. 88).

L'analyse sédimentologique des dépôts de Fezouata (Ordovicien inférieur) a permis de préciser qu'il s'agit de dépôts de tempêtes, dans des conditions

<sup>245</sup> traduit de l'allemand et désigne, en paléontologie, les dépôts sédimentaires remarquables par la richesse ou la qualité de la préservation de leur contenu fossilifère (Seilacher, 1970 ; Allison, 1988).

<sup>246</sup> Lefebvre B., El Hariri K., Lerosey-Aubril R., Thomas Servais T. & Van Roy P. (2016): The Fezouata Shale (Lower Ordovician, Anti-Atlas, Morocco): A historical review. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 460 (2016) 7–23.

environnementales exceptionnelles pour la préservation du biote de Fezouata (Vaucher et *al.* 2017).

Cette préservation s'explique par des conditions marines de la vie des organismes animaux, et plus précisément, à une profondeur se situant entre 50 et 150 mètres. La dynamique caractérisant cet environnement est en faveur d'un enfouissement rapide d'une faune dont la majorité sera immédiatement ensevelie, ce qui permet la préservation également des parties molles (El Hariri, 2020).

### **Groupe du Second Bani**

Les niveaux gréseux du Second Bani constituent la dernière barre résistante, en forme de cuesta, avant les basses plaines du Draa occupées par les terrains siluro-dévonien.

À l'Hirnantien, comme partout dans le Nord gondwanien, l'Anti-Atlas est le siège d'une importante chute glacio-eustatique coïncidant avec les dépôts de formations détritiques parfois grossières du Groupe du 2<sup>ème</sup> Bani (Figs. 91 et 92).

Ensuite, se développe une formation composée d'argiles microconglomératiques, dont l'épaisseur varie de 10 à 130m (grains quartzeux dispersés dans une matrice argileuse), conglomérats à galets exotiques, ainsi que les figures sédimentaires suggèrent un environnement glaciaire, corroboré par la présence de planchers striés. Les planchers glaciaires et les paléovallées présentent des stries qui ont une orientation subméridienne. Une faune réduite, surtout à brachiopodes (par exemple *Hirnantia sagittifera*) est proche de celle de la Bohème, qui caractérise l'Ashgill supérieur. Ainsi, les dépôts glaciaires de l'Anti-Atlas correspondent à ceux de l'Ordovicien terminal du Sahara et, comme eux, ils témoignent de la glaciation fini-ordovicienne (Sougy, 1964).

La fin de l'Ordovicien est marquée par *la présence d'affleurements de conglomérats d'origine glaciaire qui attestent d'une position polaire à cette époque* (pôle Sud).



Figure 89 : Situation des affleurements ordoviciens de Fezouata dans la plaine de Ternata, au Nord de Zagora ; On remarque aussi sur cette photo l'ampleur des tranchées de fouilles établies par les marchands de fossiles (images Google Earth).

La période silurienne est marquée par une transgression, à la suite de la fonte de la calotte glaciaire polaire, qui dépose des sédiments uniformes dans l'ensemble de la région avec des niveaux calcaires à Orthocères et à Crinoïdes (*Schiphocrinites*) activement exploités par les vendeurs de fossiles. La stratigraphie de ce système est aisément établie grâce à une riche faune de graptolites, décrite par Destombes, Hollard et Willefert (1985)<sup>247</sup>, dans les deux principales coupes représentatives de plusieurs centaines de mètres à Ain-Deliouine et à Iriqui (dans la plaine du Dra) ; puis dans l'Anti-Atlas oriental où les épaisseurs sont beaucoup réduites dans la cuvette de Tazarrine, Maïder et Tafilalt. Ces auteurs décrivent ce système dans une coupe à Tizi ou-Mekhazni (formation de Tizi Ambed) sur la route d'Alnif à Rissani (page 256).

<sup>247</sup> Lower Palaeozoic rocks of Morocco. In: Lower Palaeozoic of north-western and west central Africa; Edited by C. H. Holland (1985), John Wiley & Sons Ltd., pp: 91-336.

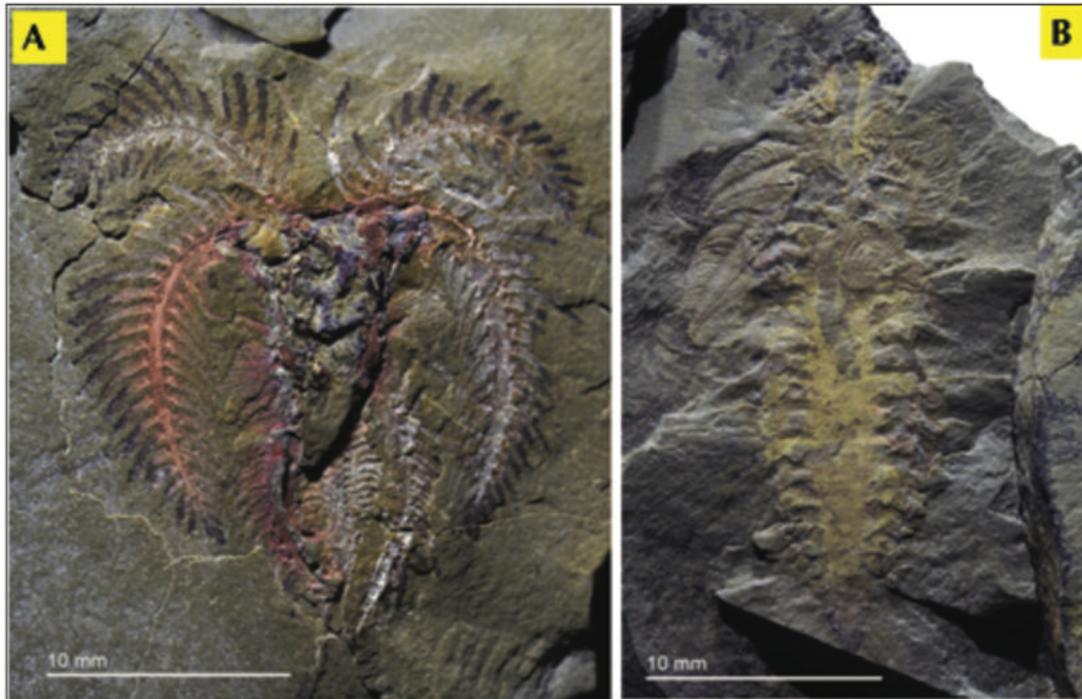


Figure 90 : Quelques fossiles exceptionnellement préservés du biote de Fezouata.  
 (A) Arthropode marrellomorphe, probablement appartenant au genre *Furca* (déposé au Muséum d'Histoire naturelle de Toulouse) ; (B) Le fossile qui a résolu les affinités machaeridian: *Plumulites bengtsoni*, le premier annélide machaeridian avec des tissus mous préservés (in : Lefebvre et al., 2016)

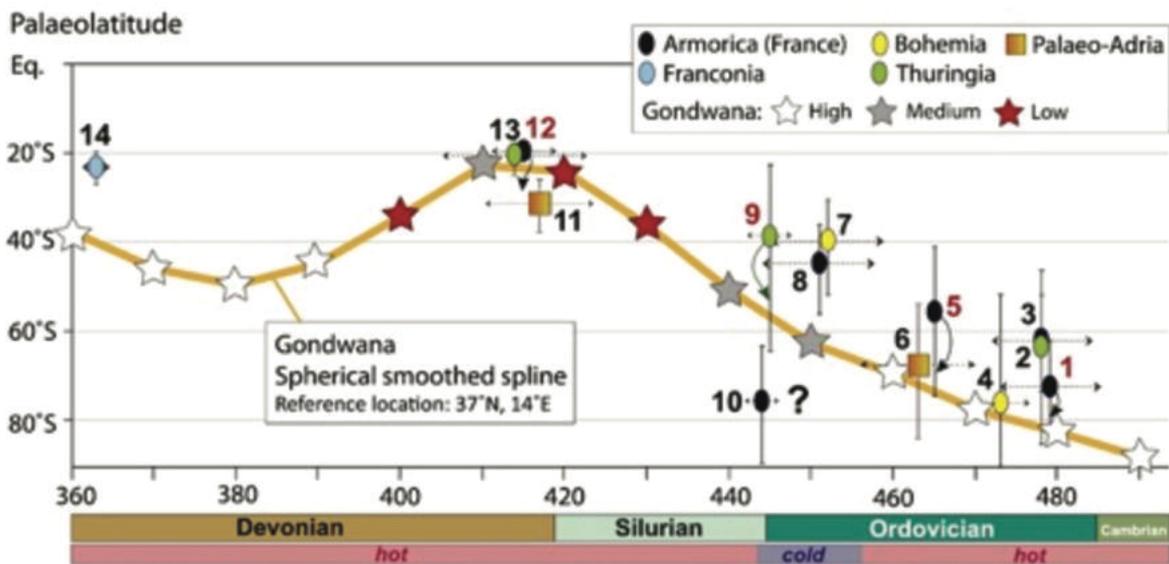


Fig. 91 : Estimation des paléo-latitudes du Cambrien au Dévonien pour le Gondwana et les terres limitrophes (Armorique, Bohême, Thuringe, Franconie et Paléo-Adria) ; d'après Franke et al. (2017)<sup>248</sup>.

<sup>248</sup> Franke W., Cocks L. & Torsvik T.H. (2017): The Palaeozoic Variscan oceans revisited. *Gondwana Research* 48, pp: 257–284.



Figure 92 : Panorama montrant (à droite) le synclinal perché de Jbel Kissane avec au sommet le deuxième Bani puis (à gauche) les conglomérats de l'Hirnantien d'origine glaciaire

**L'Anti-Atlas se caractérise aussi par une série dévonienne complète.** Ici, les affleurements dévoniens recouvrent de manière conforme ceux du Silurien, sans aucune lacune ni changement notable du type de sédimentation. Cependant, le Dévonien est une période qui montre une nette différenciation des faciès au sein de l'Anti-Atlas ; une plateforme carbonatée peu profonde à l'Est, et un sillon relativement profond avec une épaisse série gréseuse à l'Ouest (Figs. 93 et 97). Des faciès de transition entre les deux zones peuvent être observés dans certaines parties de la zone de Maider. Il devient donc nécessaire de faire la distinction entre les zones occidentales (vallée du Dra), et les zones orientales (Tafilalt et Maider).

**Le Tafilalt** appartient à l'extrémité nord-orientale de l'Anti-Atlas (Fig. 94). Le Dévonien y affleure de manière continue sur de vastes étendues et les faciès y sont héli-pélagiques à pélagiques. Bultynck et Walliser (2000)<sup>249</sup> y distinguent 14 lithofaciès et unités stratigraphiques majeurs. En se basant sur la coupe de référence dans la région d'Achguig, située à 34 km à l'est-sud-est d'Erfoud (Fig. 93), ces auteurs décrivent un Dévonien inférieur, en continuité stratigraphique sur les derniers termes à *Scyphocrinites* du Silurien, représenté par environ 160 m de pélites et de calcaires héli-pélagiques. Ceux-ci sont surmontés par environ 35 mètres de calcaires pélagiques et héli-pélagiques à *Goniatites* d'âge Eifelien et Givétien (unités F à K). Près de la base et du sommet des sédiments sombres de l'Eifelien se trouvent des sédiments correspondant aux événements d'extinction biologique du Chotec et du Kačák (Fig. 94).

Dans cette coupe, le Frasnien est constitué de calcaires pélagiques et héli-pélagiques, extrêmement condensés (environ 20 m) en particulier dans le nord du Tafilalt, où il ne fait que quelques mètres d'épaisseur et où des lacunes de diverses étendues peuvent apparaître.

<sup>249</sup> Bultynck, P. & Walliser, O. (2000) : Emsian to middle Frasnian sections in the Northern Tafilalt. Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc 399, pp : 11–20.

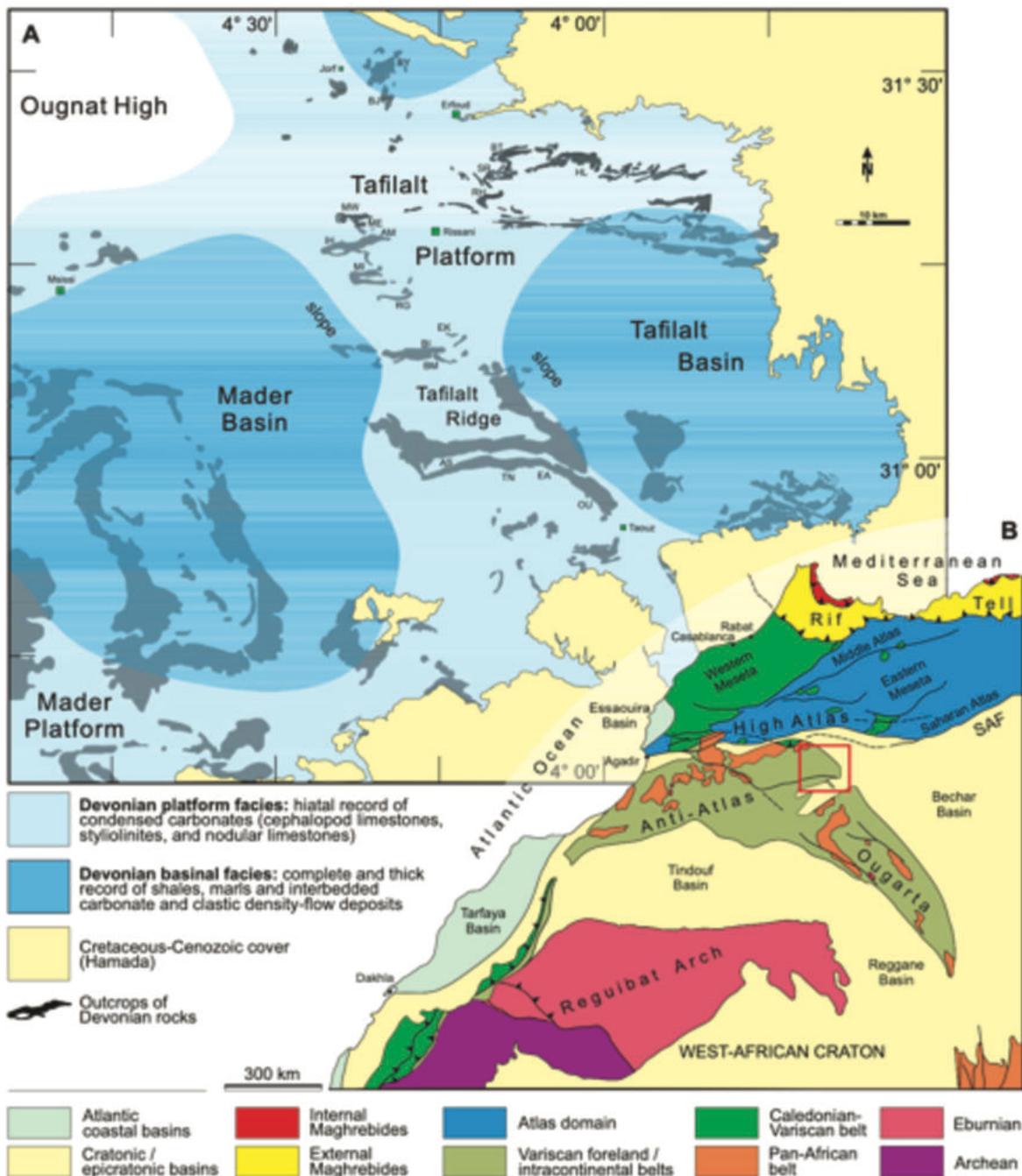


Figure 93 : Cadre géologique et emplacement de la plateforme du Tafilalt.

(A) Modèle global des litho-faciès et paléogéographie de la région de Tafilalt à la fin du Givétien et au début du Frasnien ; (B) Carte tectonique du Maroc, montrant la partie nord du craton ouest-africain et les ceintures plissées adjacentes, avec l'emplacement (encadré) de la région de Tafilalt. (*in* : Hueneke et *al.*, 2021) ; avec l'emplacement de la coupe d'Achguig (AS).

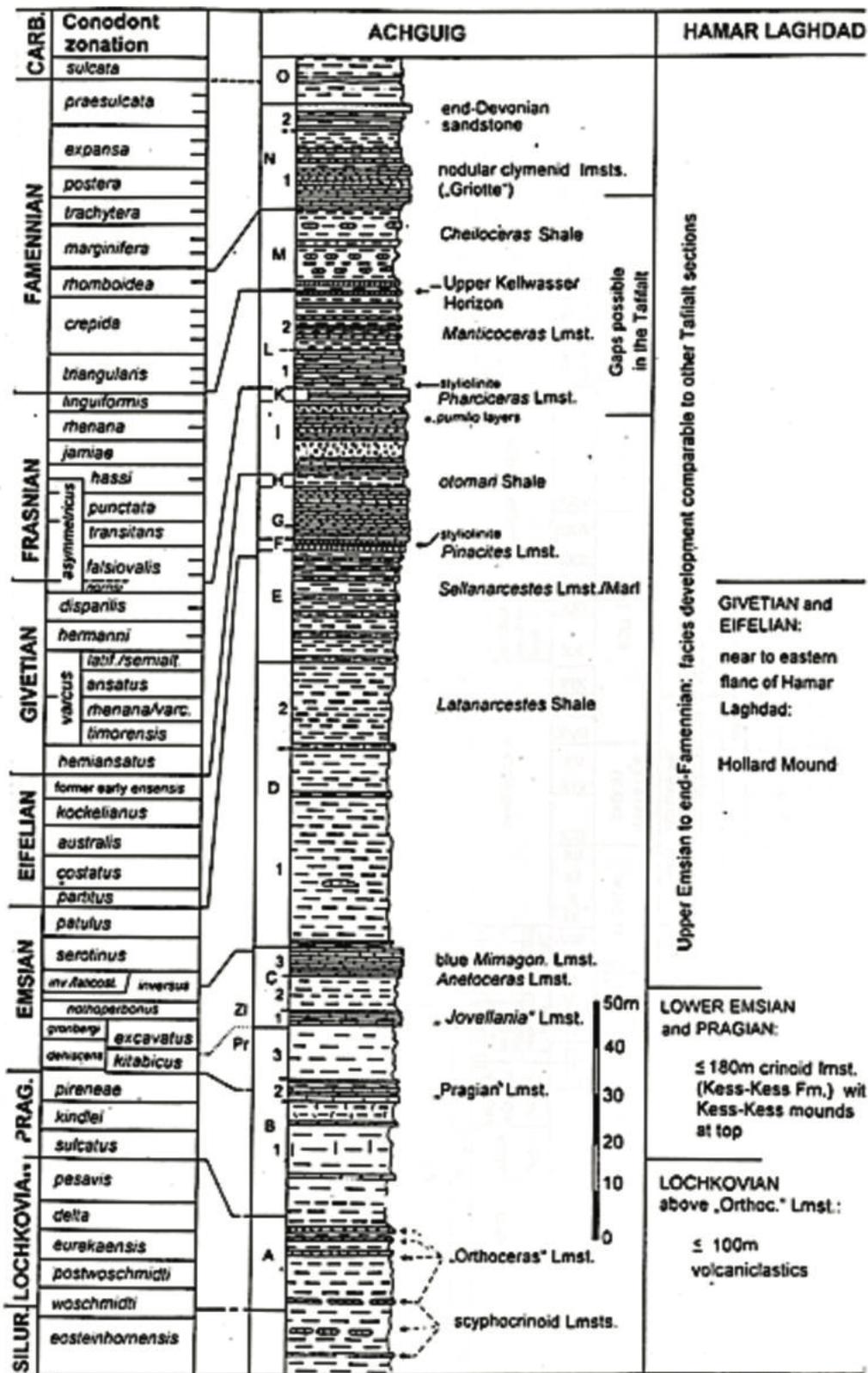


Figure 94 : Coupe de référence du Dévonien de l'Anti-Atlas oriental à Achguig, située à 34 Km ESE d'Erfoud (Bultynck & Walliser, 2000). A-O : Litho-/faciès des unités stratigraphiques ; Pr/Zi : limite entre le Praguien (Praha Formation) et le Zlichovien dans le Barrandien de Bohême.

Des calcaires noirs représentant l'événement de Kellwasser sont développés au sommet du Frasnien (Fig. 95). Le Famennien, épais d'une quarantaine de mètres, est plus schisteux avec une faune à Goniatites souvent pyritisées. La partie inférieure de l'unité N est caractérisée par des calcaires à céphalopodes avec dans le nord du Tafilalt le typique brun rougeâtre de plusieurs décamètres d'épaisseur, connu sous le nom de "Dalles d'Erfoud" avec Goniatites et Orthocères, qui est utilisé pour la production de plaques polies (Fig. 96). La partie supérieure de l'unité N commence par des sédiments limoneux et se termine par des grès.

**Dans la vallée du Dra** (Fig. 97), l'environnement sédimentaire qui régnait pendant le Dévonien est celui d'un bassin profond où se déposent des séries beaucoup plus épaisses que celles du Tafilalt. La série stratigraphique, décrite par Hollard et Jacquement (1956), est la suivante :

- Le Silurien est caractérisé par des faciès pélagiques dans un bassin marin bien ouvert sur le large dont le fond est relativement stable. Il montre un ensemble de faciès argileux du Silurien, où le Llandovery à graptolites a été reconnu par ces auteurs ; suivi du Wenlock caractérisé par des argiles où s'intercalent des bancs de calcaires bleus ; enfin, le Ludlow est représenté par des sédiments gréseux. La puissance totale est d'environ 1000 m.
- Le Dévonien inférieur est caractérisé par trois termes (i : détritico-calcaréo-gréseux rouge ; ii : marneux avec quelques calcaires ; et enfin, iii : gréseux, formant la série des Richs). Il débute dans sa partie inférieure par une sédimentation à grès, calcaires détritiques et des conglomérats rouges ; ensuite ce sont les faciès marneux et marno-calcaires à Brachiopodes et Trilobites ; surmontés, enfin, par les grès des Richs à éléments grossiers qui manifestent la proximité de reliefs (peut-être datant du Calédonien). L'épaisseur totale varie de l'Est (Jbel Hamsaïlikh) vers l'ouest de 600 à 860m (Figs. 98 et 99).
- Le Dévonien moyen est transgressif ; il est caractérisé par l'apparition des calcaires à Goniatites dans les marnes et aussi par la fin des dépôts gréseux. L'Eifelien et le Givétien y sont datés.
- Le Dévonien supérieur est représenté par une sédimentation à dominante argileuse, avec de rares niveaux gréseux, et où toutes les zones classiques des Goniatites ont été reconnues par les auteurs. Ce terme se termine par le Strunien caractérisé par des grès à Brachiopodes. Son épaisseur totale est, à certains endroits, de l'ordre de 1500 m.



Figure 95 : A - Panorama du Jbel Irhas, montrant la séquence du Dévonien moyen avec la position de l'important événement Kellwasser. B – Détail du faciès Kellwasser à Goniatites, Orthocères et Lamellibranches.



Figure 96 : photo montrant les large *Gonioclymenia*, sur des calcaires verticaux du Famennien supérieur au Jebel Kfiroun (W of Taouz).

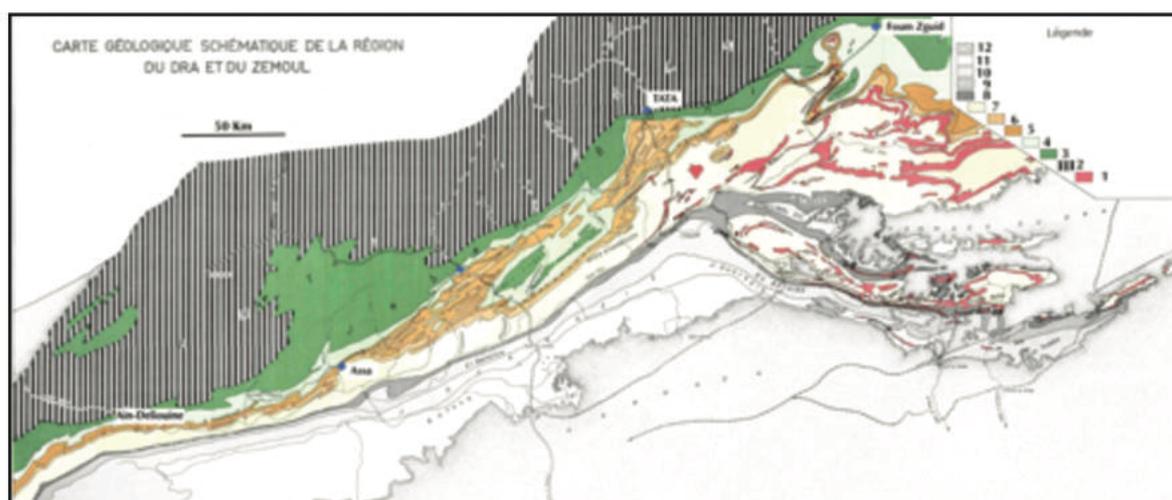


Figure 97 : carte géologique simplifiée de la partie ouest de l'Anti-Atlas (Vallée du Draa) *in* Hollard et al. (1956)<sup>250</sup>.

1 : Dolérites ; 2 : Précambrien, Cambrien ; 3 : Ordovicien ; 4 : Silurien ; 5 : Dévonien inférieur ; 6 : Dévonien moyen ; 7 : Dévonien supérieur (Strunien compris) ; 8 : Tournaisien ; 9 : Viséen inférieur ; 10 : Viséen supérieur ; 11 : Carbonifère moyen (et supérieur) ; 12 : Couverture post-paléozoïque.

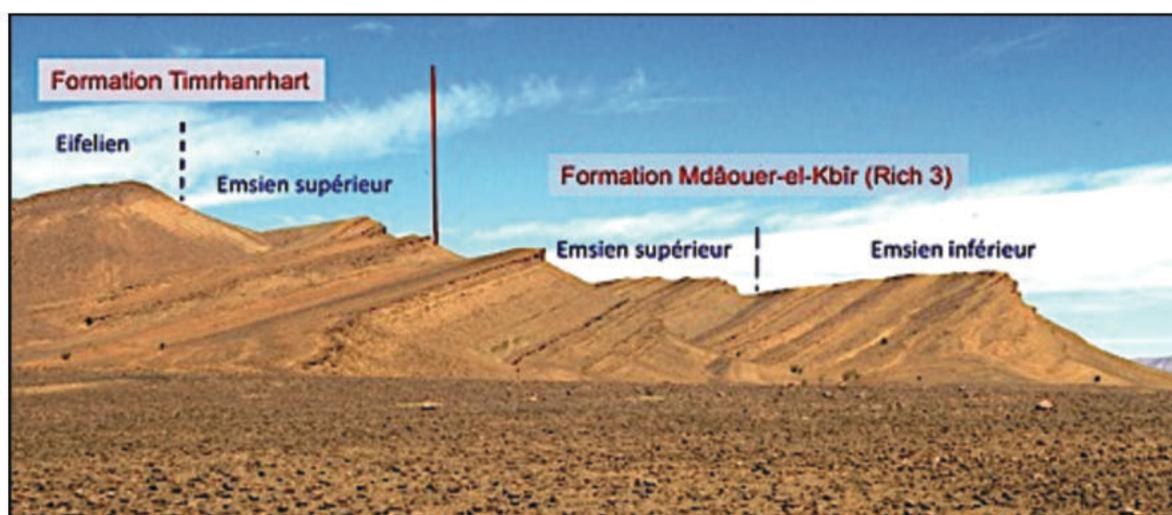


Figure 98 : Panorama des affleurements dévoniens de Fou Zguid (NE de la vallée du Dra) ; avec à l'Est la Formation Mdâouer-el-Kbîr (à trois membres) dont l'âge va de l'Emsien inférieur à la partie basale de l'Emsien supérieur. Elle est surmontée par la Formation de Timrhanhart, Emsien supérieur à Eifelien (description *in* Becker et al., 2004)<sup>251</sup>

- Le Dévonien est recouvert en conformité par les marnes à Goniatites dans la moitié inférieure du Tournaisien ; puis par des grès à Brachiopodes dans

<sup>250</sup> Hollard H. et Jacquemont (1956) : Le Gothlandien, le Dévonien et le Carbonifère des régions du Draa et du Zemoul (Confins algéro-marocains du Sud). Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc, N° 135, pp : 7-33.

<sup>251</sup> Devonian of the western Anti-Atlas : correlations and events. Doc. Inst. Sci, Rabat, 19, 2004, 3-18.

la partie supérieure ; enfin, le Viséen inférieur est schisto-gréseux, alors que le Viséen supérieur est calcaire.

Notons enfin que la vallée du Dra n'est pas aussi fréquentée par les chercheurs de fossiles que le Tafilalt-Maider (Anti-Atlas oriental) ; cela permet pour le moment la bonne conservation des coupes géologiques.



Figure 99 : Photo montrant le Rich 3 (de la Formation de Madaouer-el-Kbîr) du Dévonien inférieur dans la région d'Oufrane (20 Km au Sud de Tata), surmonté par le Dévonien Moyen de la Formation de base de Timrhanrhart, (GPS: N 29 ° 33,602', W 07 ° 59,422')<sup>252</sup>,

### Exemples de sites patrimoniaux dans l'Anti-Atlas oriental

A titre d'exemples, dans l'Anti-Atlas oriental, deux sites patrimoniaux nécessitent une attention particulière. Il s'agit des structures récifales en mud-mounds de Hamar Lakhdad et le stratotype de la limite Eifélien-Givétien de Mech Irdane à l'Ouest de Rissani. La valeur scientifique de ceux-ci oblige à les protéger et à les conserver pour les générations futures à titre de patrimoine géologique et paléo-écologique.

#### *Les mud-mounds de Hamar Lakhdad*

La région du Tafilalt se caractérise également par les spectaculaires mud-mounds (Figs. 100 et 101) affleurant à Hamar Lakhdad. Il s'agit de monticules coniques

<sup>252</sup> La section latérale (Oufrane – Nord) expose la meilleure séquence actuellement à travers les parties inférieure et médiane de la Formation de Timrhanrhart. Des collections auxiliaires de Goniatites emsiennes tardives ont été réalisées à proximité de la cascade (souvent sèche) à environ x = 248,55, y = 286,55. Cette localité, Oufrane W, forme la base d'une succession givétienne tardive très fossilifère (Ebbighausen et al., 2004).

(mud-mounds) situés à environ 18 km au sud-est de la ville d'Erfoud. La série sédimentaire dévonienne à prédominance carbonatée s'est déposée sur un large plateau continental de la marge nord-est du Gondwana.



Figure 100 : une vue d'ensemble d'une partie des mud-mounds dévoniens de Hamar Lakhdad.

Selon Belka (1998) ces structures auraient pour origine les éruptions volcaniques sous-marines du Dévonien inférieur (les pépérites) pour la production de ce genre de structures sous-marines en cônes. Selon cet auteur, ces cônes ont été ensuite enterrés ou recouverts par une épaisse formation (environ 140 m) de calcaires crinoïdiques qu'il appelle «formation de Kess-Kess». Ces monticules se sont probablement développés dans un environnement aphotique, dans des conditions d'eau relativement peu profonde, puis complètement ensevelis par des schistes, des calcaires nodulaires et des marnes du Dévonien moyen (Belka, 1998).

L'érosion ne semble pas avoir supprimé la morphologie initiale de ces monticules, mais la disparition complète des dépôts sus-jacents a permis de les mettre en évidence. Leur forme conique, observée dans la partie est de cette région au niveau de ce qui est communément appelé «Hollard-Mound», est originale (Fig. 101). Les études structurales ont permis d'affirmer que la plupart de ces structures suivent l'orientation des failles tangentiels et radiales et indiquent plusieurs événements de reprise de la fracturation existante (Belka, 1998).

Une synthèse détaillée de l'état des connaissances et leurs mises à jour a été faite par Becker et *al.* (2018).

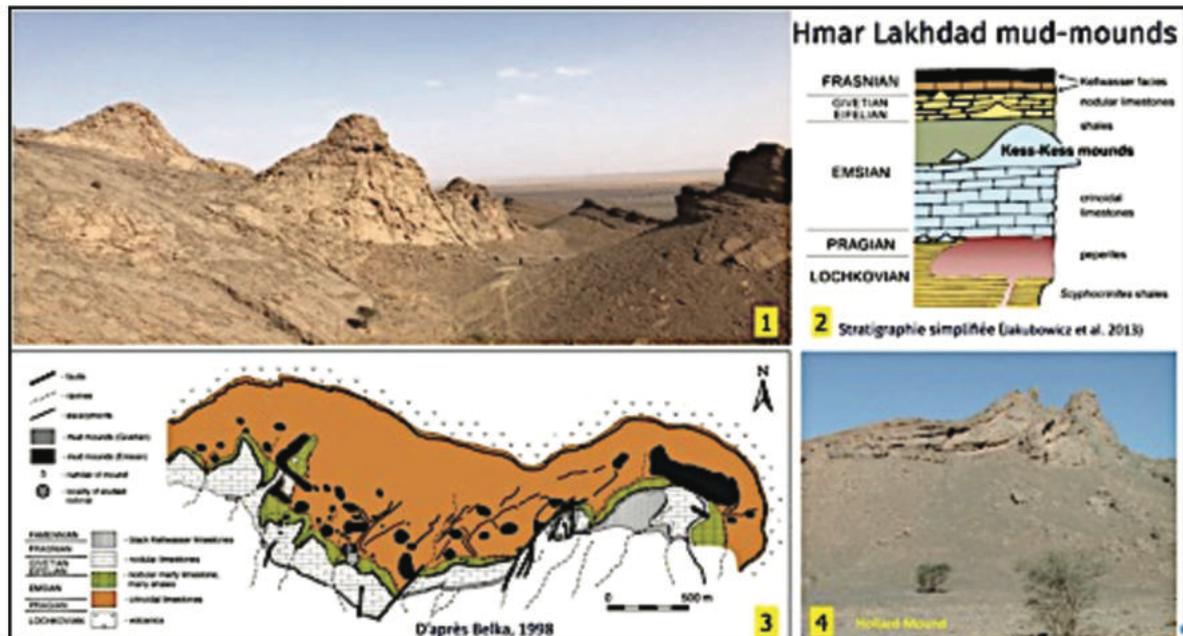


Figure 101 : Les structures sédimentaires des mud-mounds de Hamar Lakhdad : 1. Photo du cône central no. 3 (environ 35 m de haut) nivelés en calcaires inter-monticules solides et condensés de l'Emsien inférieur, recouverts par des strates riches en céphalopodes de l'Emsien supérieur et de l'Eifélien supérieur, avec des équivalents de schiste de Daleje (unité K) formant la principale pente altérée et une falaise formée par les calcaires de l'Eifélien (unité M / N) formant la plaque supérieure au-dessus des calcaires nodulaires moins saillants (unité L). 2. Une carte de la répartition spatiale des mud-mounds (appelé aussi Kess-Kess) par rapport aux failles radiales et tangentielles (Belka, 1998). 3. La succession lithostratigraphique simplifiée à Hamar Lakhdad (d'après Belka 1998, modifié par Jakubowicz et *al.* 2013), comprenant des roches volcaniques (pépérites) au Nord, les calcaires crinoïdes du membre inférieur de la formation Kess-Kess, les monticules Kess-Kess représentent le membre Hamar Lakhdad, les schistes sus-jacents les équivalents basaux du schiste du Daleje Shale (Emsien sup). Le faciès de l'événement Kellwasser qui comprend à la fois les styliolinites du Frasnien inférieur et la succession noire du Frasnien supérieur. 4. Vue d'ensemble du monticule givétien (Hollard-Mound) à l'extrémité est de Hamar Lakhdad, avec une faille synsédimentaire formant une incision marquée et la transition progressive (vers l'ouest = à gauche) du monticule vers la pente condensée et le réglage de la plateforme pélagique.

### *Le site (Stratotype) de Mech Irdane*

Ce site est mondialement connu de la communauté des géoscientifiques car il a fourni le stratotype de la limite globale Eifélien-Givétien (ratifié par l'IUGS<sup>253</sup> en 1994, officiellement publié par Walliser et *al.* 1995)<sup>254</sup>. La section GSSP<sup>255</sup> se trouve à environ 25 km au sud-ouest d'Erfoud et à 12 km à l'ouest de Rissani (Figs. 102, 103), coordonnées de Lambert: x = 599,2 et y = 470,6. La crête complète forme un synclinal (E-W) d'environ 4 km de long, avec le Frasnien moyen / supérieur au sommet de la falaise (Fig. 102).

La section du Jbel Mech Irdane, appartient à la partie ouest de la plateforme carbonatée du Tafilalt, caractérisée par des taux de sédimentation réduits et des discordances importantes. Cette plateforme devait avoir un paléorelief à petite échelle, en partie à cause de la présence de failles synsédimentaires.

La plaine au pied nord de la crête est réputée auprès du grand public comme point de départ des principaux événements touristiques, comme le «Marathon des Sables» ou le «Rallye Aicha des Gazelles». La section du GSSP a également suscité une large attention, lorsque des preuves d'impact supposées associées aux événements mondiaux de Kačák ont été publiées (Ellwood et *al.* 2003)<sup>256</sup>.

La transition d'étage (Fig. 104) est marquée par l'intervalle de l'événement global de Kačák polyphasé. La succession publiée du GSSP va des lits numérotés 104 à 143 (Walliser et *al.* 1995 ; Walliser & Bultynck 2011). La partie supérieure (G) se situe dans la zone *Tortodus kockelianus*, qui peut être divisée par l'entrée de *Polygnathus eiflius* et *Po. amphora*. Le premier entre localement dans le lit 115, le second un peu plus tôt, dans le lit 112. Les faunes ammonoïdes de ce niveau sont encore incomplètement étudiées mais le *Cabrieroceras crispiforme* est un représentant typique (Walliser, 2000).

La série stratigraphique se poursuit du Givétien moyen vers le Frasnien. Au-dessus du deuxième plateau se trouve le niveau ayant enregistré les événements du *pumilio* inférieur et supérieur.

<sup>253</sup> International Union of Geological Sciences.

<sup>254</sup> Publié dans : The Geologic Time Scale, Gradstein F.M. et al. (Eds) ; Elsevier, 2012 ; page: 568 (Fig. 22.6 : The basal-Givetian GSSP in the western part of Jebel Mech Irdane, western Tafilalt, Anti-Atlas, SE Morocco).

<sup>255</sup> Global Boundary Stratotype Section and Point.

<sup>256</sup> Ellwood B. B., Benoist S.L., El Hassani A., Wheeler C., & Crick R. (2003) : Impact Ejecta Layer from the Mid-Devonian: Possible Connection to Global Mass Extinctions, *Science* (Jun 13th 2003) Vol:300 (N°:5626) : 1734-1737.

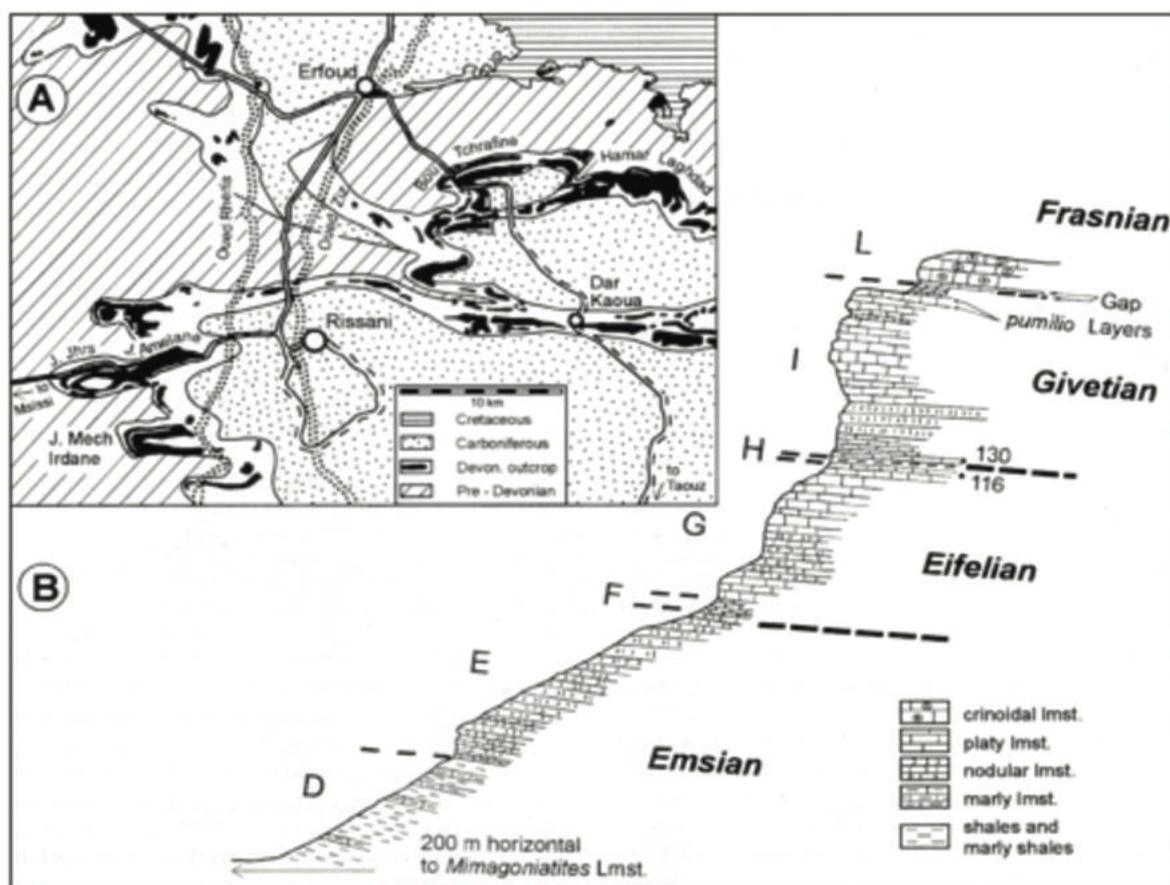


Figure 102 : (A) Carte et coupe géologique montrant la position du Jbel Mech Irdane dans le Dévonien à l'Ouest de Rissani (ouest du Tafilalt). (B) Les unités lithostratigraphiques locales de l'Emsien au Frasnien (extraites de Walliser, 2000, fig. 2A-B). La base Givetian GSSP se trouve dans la mince unité H.

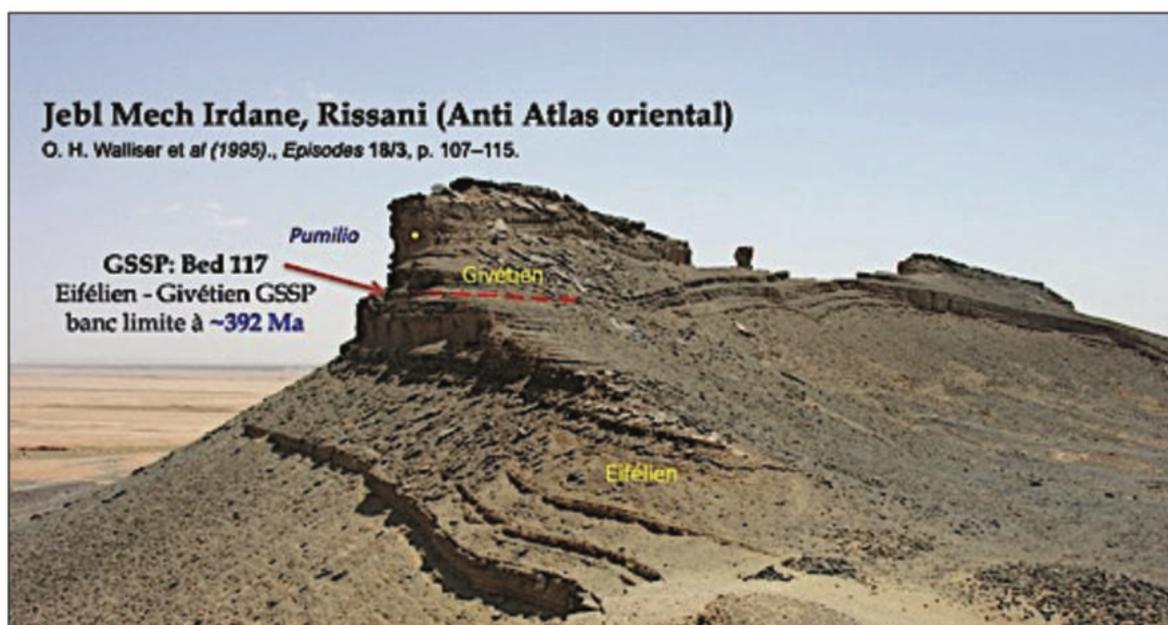


Figure 103 : Le stratotype de la limite Eifelien-Givetien du Jbel Mech Irdane (W de Rissani).

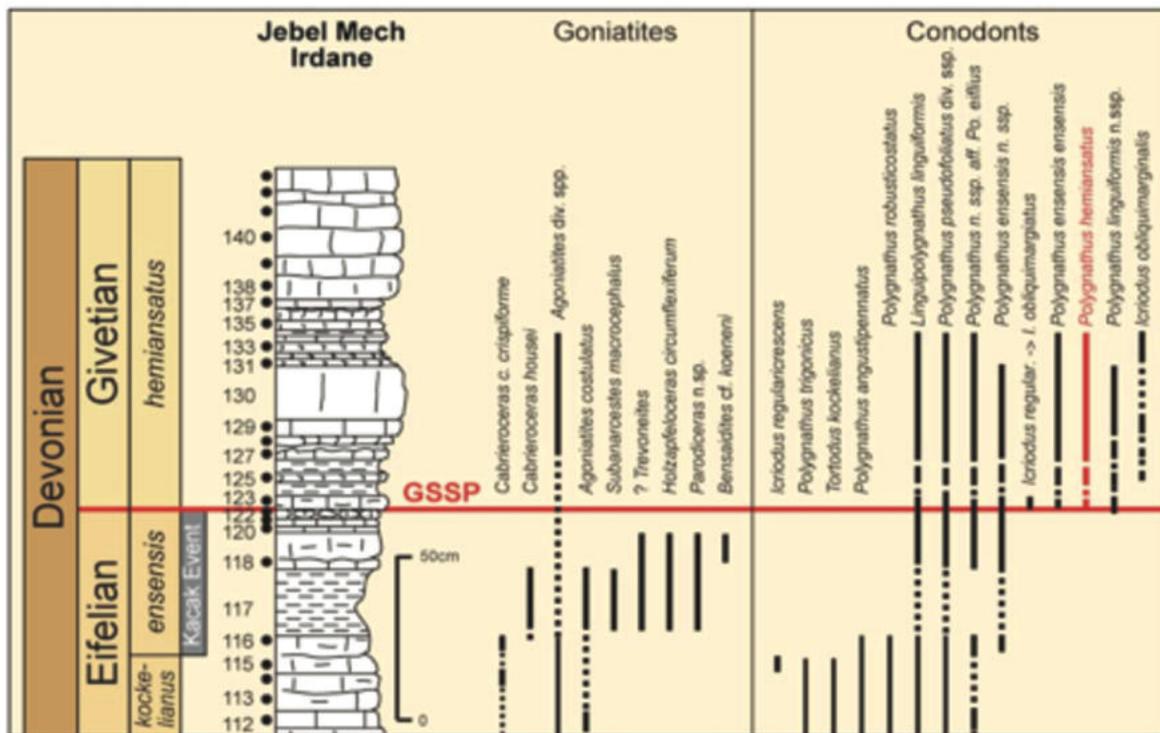


Figure 104 : Série stratigraphique de la base du Givétien (GSSP) dans la partie ouest du Jbel Mech Irdane, montrant la des distribution des Goniatites et des Conodontes marqueurs autour du GSSP (Becker et *al.* 2012 ; in : The Geologic Time Scale, Elsevier)

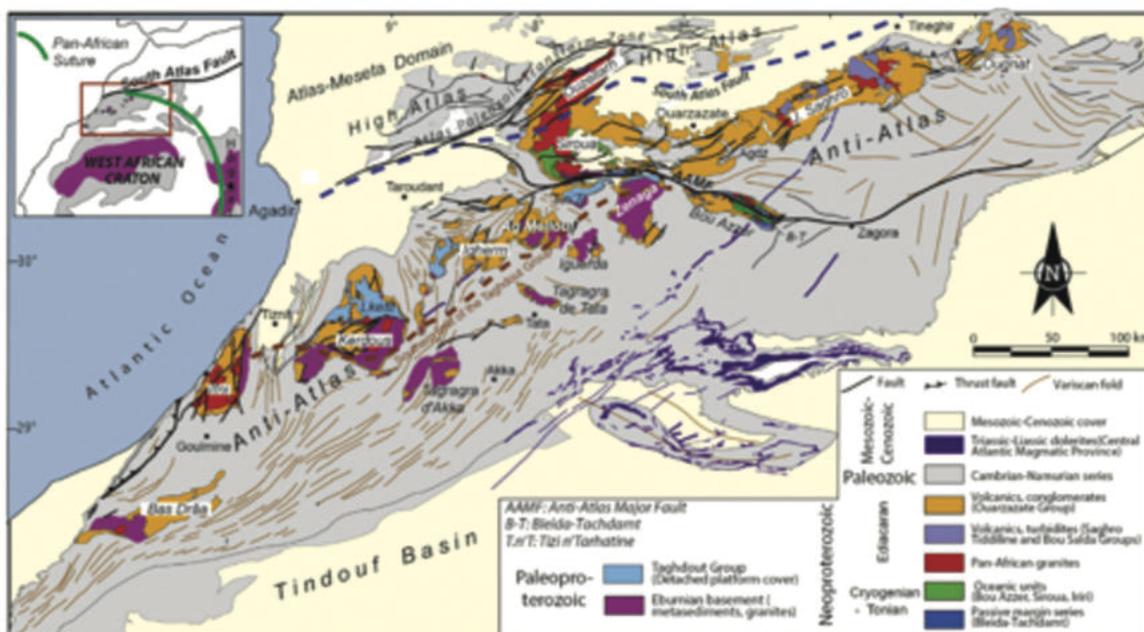


Figure 105 : Carte montrant la position de l'accident majeur, attestant de la fermeture de l'océan précambrien moyen (d'après Gasquet et *al.*, 2008).

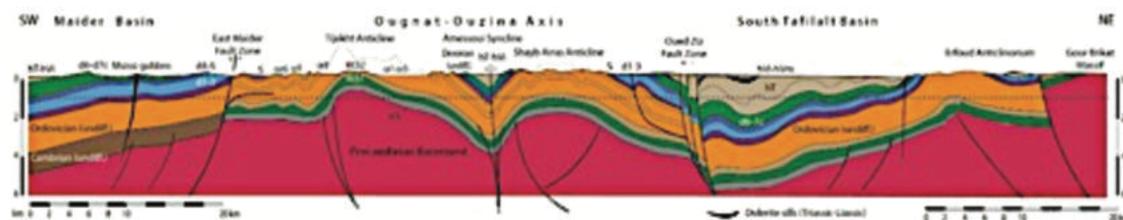


Figure 106 : Coupe NE-SW à travers le Tafilalt et Maider (Baïdder *et al.* 2016), montrant le style tectonique de ces régions.

Les couches de calcaires noduleux juste au-dessus de la couche supérieure de *pumilio* a donné la Goniatite indicatrice du Givétien moyen (*Maenioceras terebratum* ssp.). L'événement Kellwasser, de la limite Frasnien/Famennien affleure le long de la crête du synclinal sud.

**Le domaine de l'Anti-Atlas** a été structuré essentiellement par les différentes orogénèses du Précambrien (notamment l'orogénèse panafricaine) et, à l'Hercynien, il se caractérise par des plissements modérés (décamétriques à kilométriques) et des failles (Figs. 105 et 106).

Les traits structuraux de ce domaine se caractérisent essentiellement par deux choses (Figs. 106 et 107) :

- Une suture océanique (dite accident majeur de l'Anti-Atlas) qui est la signature de la fermeture de l'océan du Précambrien moyen par l'orogénèse panafricaine (Soulaïmani *et al.*, 2018). Cette fermeture d'océan est soulignée par la présence des ophiolites dans la boutonnière de Bou Azzer, qui sont parmi les premières ophiolites précambriennes à avoir été décrites. Elles possèdent les caractéristiques typiques d'ophiolites supposées être des fragments de la croûte océanique du Protérozoïque supérieur (Fig. 108).

Il s'agit du groupe de Bou Azzer (Cryogénien supérieur), correspondant à un complexe ultramafique fortement serpentinisé et interprété comme une ophiolite démembrée et incomplète ; il s'agit de reliques de la suture océanique de l'orogénèse Panafricaine (Leblanc, 1975 ;1981). L'ophiolite a été datée à  $658 \pm 8$  Ma (Blein *et al.*, 2014) grâce à des zircons appartenant à un dyke de granodiorites associés aux gabbros du complexe ultramafique de Bou Azzer. Le groupe de Bou Azzer comporte également les diorites quartziques systématiquement en contact avec les serpentinites.

- Une série paléozoïque complète et exceptionnelle (surtout dans la partie Est de la chaîne : Maider et Tafilalt) dont les effets de l'orogénèse hercynienne sont minimes par rapport à ceux de la Meseta marocaine (Michard, 1976 ; Baïdder *et al.*, 2019). Ces effets sont matérialisés par des plis à grand rayon de courbure (décamétrique à kilométrique) et des failles.

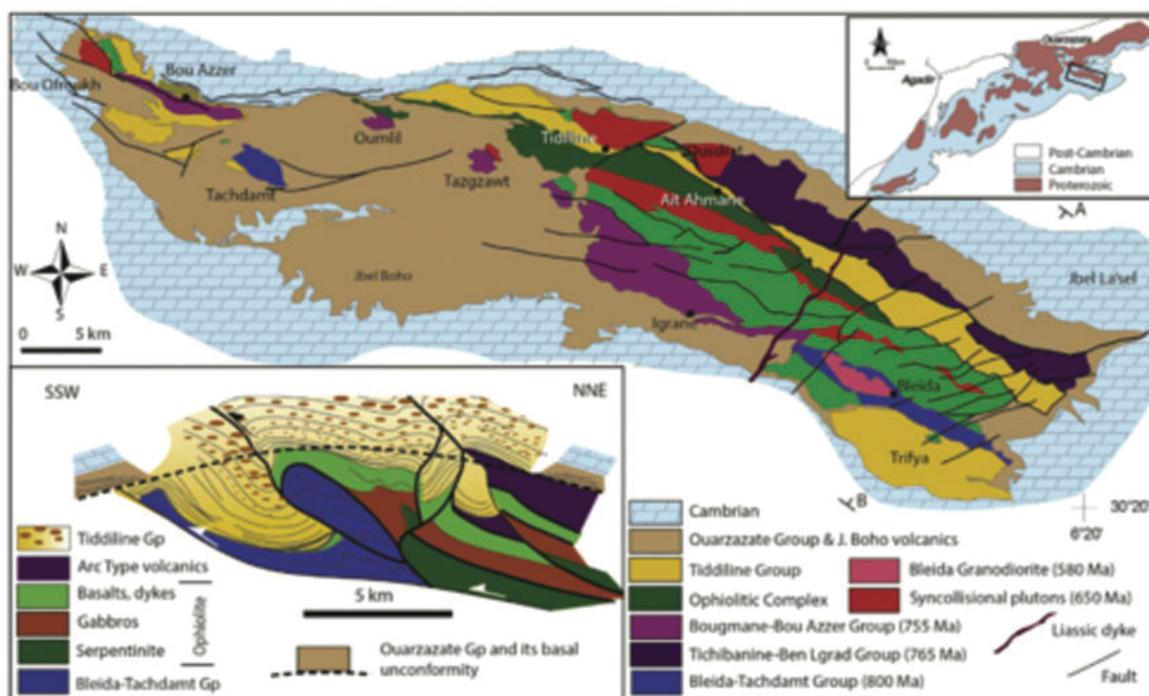
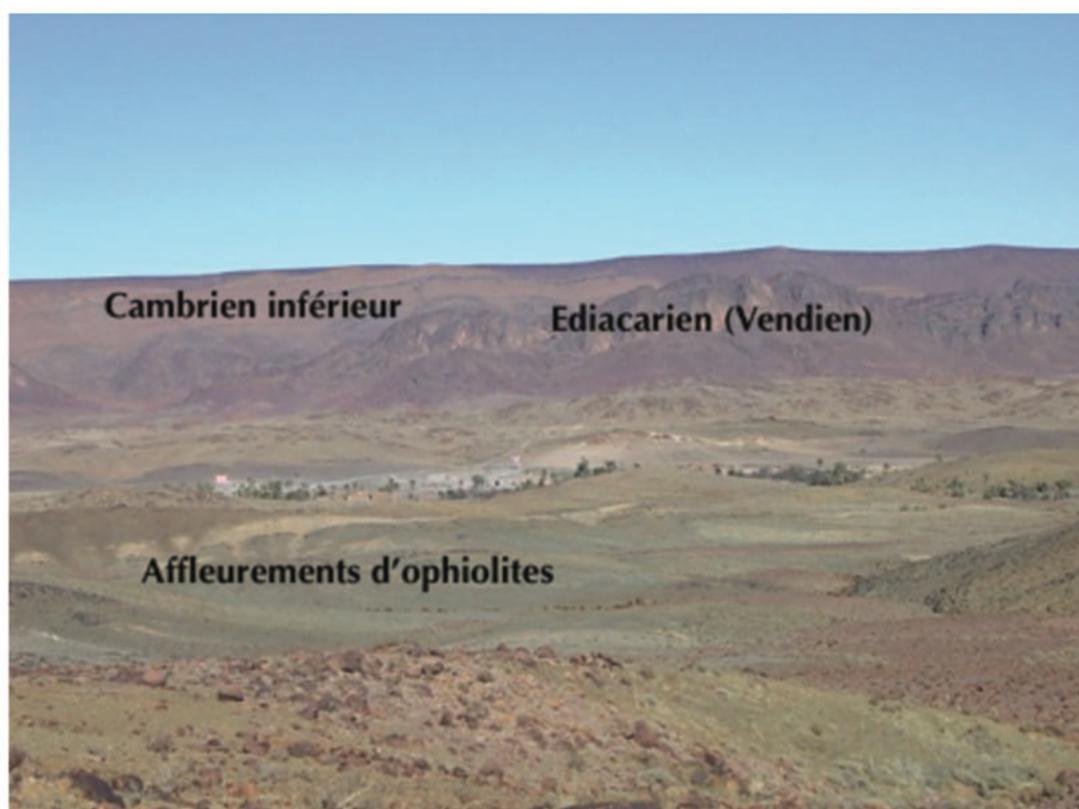


Fig. 107 : Carte de la boutonnière de Bou Azzer, montrant le style tectonique de la région englobant le cortège ophiolitique – *in* Soulaïmani et *al.* (2018)



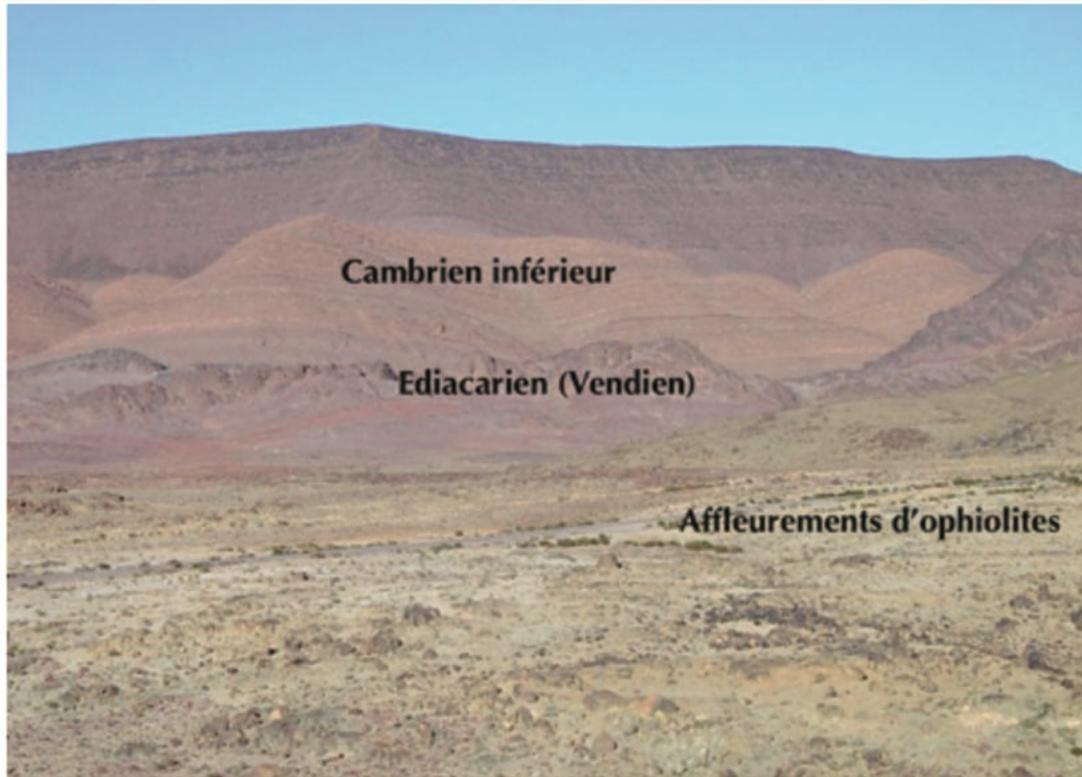


Figure 108 : Photos montrant des parties d'ophiolites (premier plan) ; l'Ediacarien et le Cambrien inférieur en arrière-plan dans la boutonnière de Bou Azzer (photos H. Elhadi).

### **Le domaine de la Meseta marocaine**

Ce domaine a la caractéristique de présenter un socle paléozoïque (structuré et aplani par les orogénèses calédonienne et hercynienne : Fig. 109) : la Meseta marocaine ; et une couverture secondaire et tertiaire : chaîne intracontinentale atlasique, plaines et plateaux : Fig. 111). La Meseta marocaine constitue, avec les boutonnières paléozoïques du Haut Atlas et Moyen Atlas, la partie méridionale des *Hercynides externes*, dont les terrains siluro-dévono-carbonifères se continuaient vers ceux, beaucoup moins déformés, de l'Anti-Atlas. Comprendre la paléogéographie, la stratigraphie et l'évolution tectonique syn-sédimentaire des Hercynides marocaines est nécessaire pour reconstituer les différentes étapes de son évolution et replacer la Meseta marocaine dans son cadre géodynamique adéquat.

#### ***Le Bloc des Sehoul***

Au NW de la Meseta occidentale se trouve la zone des Sehoul (ou bloc des Sehoul, défini par Piqué, 1979), à la limite nord de la région de Rabat-Tiflet. Elle affleure sur quelques kilomètres seulement de large dans les vallées des oueds Bou Regreg, El Hamma et Tiflet. Au Nord, les roches qui la constituent sont des phyllades et quartzophyllades ; elles disparaissent sous la couverture tertiaire et quaternaire du

bassin du Gharb. Cette zone est représentée par un ensemble de séquences grésopélitiques dans une organisation sédimentaire deltaïque (El Hassani, 1990).

Le cycle calédonien caractérise la zone des Sehoul, représenté par une série détritique du Cambrien (p.p.) qui, du fait d'une importante subsidence, a une épaisseur de plusieurs centaines de mètres environ. Sa polarité sédimentaire, obtenue grâce à l'étude des structures sédimentaires parfois très bien conservées (granoclassements, structures obliques, figures de base,...). Elle est orientée du Nord vers le Sud. On y reconnaît les trois zones typiques d'une architecture deltaïque (prodelta, front de delta, et plaine deltaïque). Les terrains de la zone des Sehoul étaient attribués, par Piqué (1979), au Cambrien moyen, par analogie de faciès avec les séries de la Meseta (en particulier les «schistes à trous»). Cette datation a été confirmée par El Hassani & Willefert (1991) grâce à la découverte de deux gisements fossilifères: l'un à Trilobites, de la famille des *Solenopleuridae* (*Parasolenopleura* sp.), l'autre à *Oldhamia*, auxquelles sont associés des Lingules, des Hyolithidés et des plèvres de Trilobites, mais la présence de l'Ordovicien inférieur ne peut pas être exclue.

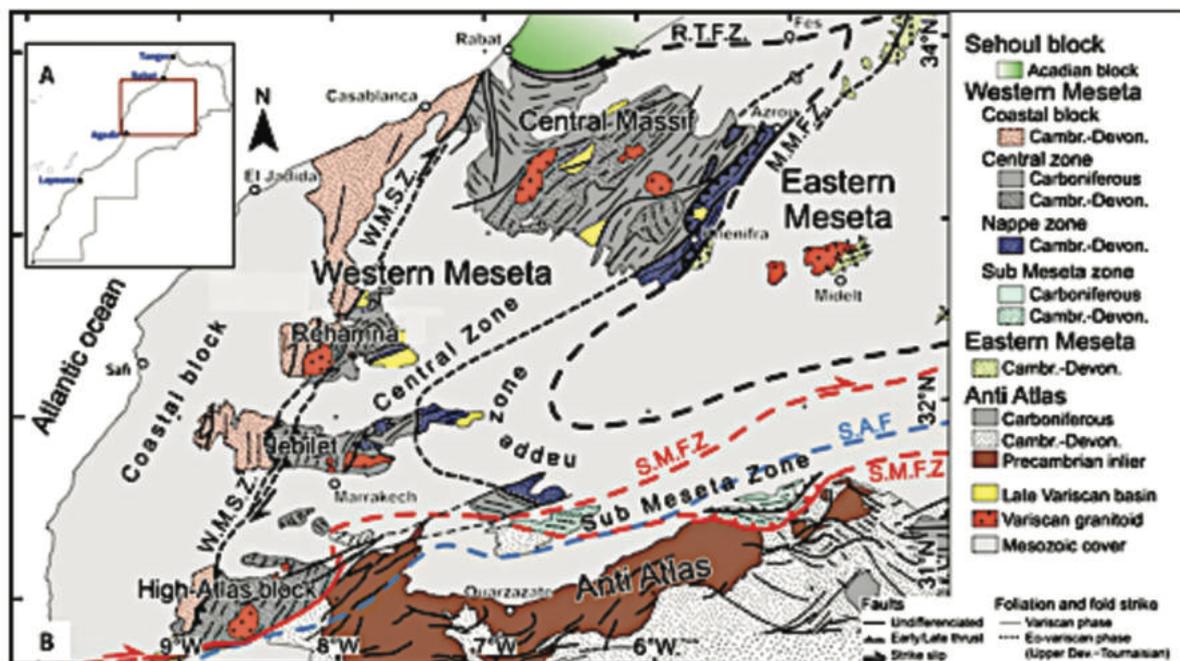


Figure 109 : A : carte de situation du domaine mésétien ; B : Carte structurale simplifiée de la Meseta marocaine et de la partie NW de l'Anti-Atlas (Hoëpfner et al., 2005), montrant les différentes zones. RTFZ : Zone de failles de Rabat-Tiflet ; WMSZ : Faille majeure de la Meseta occidentale ; MMFZ : Zone de failles de la Meseta moyenne ; SMFZ : Zone de failles du Sud de la Meseta.

La compression calédonienne est surtout connue dans le Bloc métamorphique des Sehoul, avec des effets dans la zone sédimentaire (ordovicienne) située au sud. En

effet, les phyllades et les quartzophyllades formant la zone des Sehoul sont affectés par une déformation souple qui a donné des plis d'amplitude variable: décamétrique (à Kern Nesrani) à centimétrique, voir millimétrique souvent isoclinaux (phyllades du barrage Sidi Mohammed Ben Abdellah de Rabat). Ces plis, de direction N 50° à N 70°, déversés ou couchés vers le Sud-Est, sont contemporains d'une schistosité qui se développe progressivement depuis le type dissolution évoluée (à Kern Nesrani au Nord) à la schistosité de flux (barrage de Rabat au SW et vallée de l'oued Tiflet au SE). Une évolution parallèle du métamorphisme régional est également observée dans le même sens. El Hassani (1990) a réalisé des datations isotopiques K/Ar (à Lausanne en Suisse) qui ont permis de constater que ce métamorphisme est daté à 450 Ma, conférant ainsi un âge ordovicien moyen à cette phase des Sehoul (El Hassani *et al.*, 1991)<sup>257</sup>.

L'extension souterraine vers le nord du bloc de Sehoul est très probable sous l'avant-pays ouest de la chaîne du Rif. En effet, Wdowiarz, 1987)<sup>258</sup> a reconnu dans le forage MAM1 (à une dizaine de Km de Kenitra) des dépôts paléozoïques sous forme de schistes verts, gris foncé à noirâtres chloritiques, plus ou moins plissés, avec des intercalations de grès à chlorites et de quartzites. Au voisinage de Sidi Kacem, cet auteur reconnaît en sondages des granites probablement intrusifs. Plus à l'Est dans la région de Fès, l'extension de la zone de Rabat-Tiflet et de son socle néoproterozoïque est suggérée par la présence de galets de granite et de rhyolite dans les conglomérats dévoniens (Emsien) de la boutonnière d'Imouzer du Kandar (Charrière et Regnault, 1989), mais l'extension du bloc de Sehoul lui-même n'est pas prouvée dans cette région. On peut donc admettre une importante extension du Bloc des Sehoul vers le nord, sous la plaine du Rharb.

S'agissant de la problématique de l'âge des lentilles granitiques dans la région de Rabat-Tiflet, suite aux travaux de Cogney (1957) et Garcia (1961), Charlot *et al.*, (1973) ont analysé huit échantillons, seuls deux provenant de la lentille granitique de Sidi Ahmed (aujourd'hui sous l'eau du barrage Sidi Mohamed Ben Abdellah) ont donné un âge de 415 Ma ; ces auteurs mentionnent que vers Tiflet, le granite de Taïcha est très probablement anté-Ordovicien, mais n'y ont fait aucune datation géochronologique. Rappelons que Wipern (1955) avait précédemment formulé l'idée de la présence de deux familles de granites (l'un serait anté-ordovicien, c'est le granite de Taïcha, dont on ne voit pas l'encaissant métamorphique ; et un autre granite qui serait varisque, au nord de Tiflet ; ce dernier est retrouvé dans des carottes

<sup>257</sup> El Hassani A., Huon S., Hoepffner Ch., Wittechurch H. & Piqué A (1991). - Une déformation d'âge ordovicienmoyen dans la zone des Sehoul (Meseta marocaine septentrionale). Regard sur les segments «calédoniens» au NW de l'Afrique. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 312, II, pp: 1027-1032.

<sup>258</sup> Wdowiarz S. (1987) : État de la reconnaissance géologique de la structure profonde du Rif. Notes Mém. Serv. Géol. Maroc, N° 321, pp. 233-253

de sondage comprenant également une auréole de métamorphisme de contact). Ces observations ont été confirmées pour le granite de Taïcha par El Hassani (1990) qui a observé des niveaux conglomératiques ainsi que des occurrences de lits rouges de type «vieux grès rouges» du Silurien supérieur - Dévonien inférieur au sommet des lentilles granitiques à plusieurs endroits de la zone de Rabat-Tiflet.

Les datations de Tahiri et *al.* (2010) sur des zircons du granite de Rabat ont donné un âge de  $367 \pm 8$  Ma (U – Pb La-ICPMS) et  $367 \pm 3$  Ma (207Pb – 206Pb évaporation par étapes), alors que ceux du granite de Taïcha ont donné des âges à  $605 \pm 4$  Ma (Fig. 110). Ce qui confirme les hypothèses précédemment avancées pour le granite de Taïcha (Wippert, 1955 ; El Hassani, 1990).

Les granites du Bloc des Sehouls ont développé un métamorphisme de contact dont les minéraux, en phénoblastes (andalousite, cordiérite, biotite et chlorite), sont postérieurs à la schistosité de flux, ce qui indique que cette granitisation est postérieure à la tectonique calédonienne.

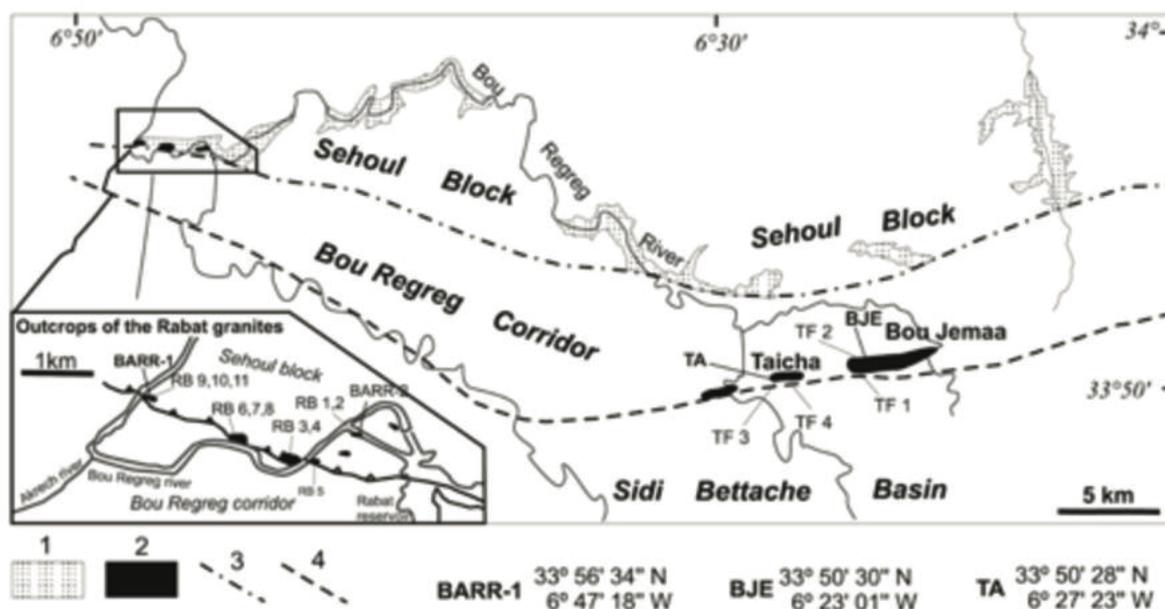


Figure 110 : Emplacement des échantillons analysés, avec les coordonnées géographiques sont des échantillons étudiés pour la géochronologie. 1: affleurements des schistes de Sehouls; 2: granitoïdes; 3 et 4: limites tectoniques supérieure et inférieure du couloir du Bou Regreg (Tahiri et *al.*, 2010).

Signalons enfin que dans la zone sédimentaire de Rabat-Tiflet, les mouvements «calédoniens» s'expriment par une importante lacune sédimentaire, allant du Llanvirn à la fin du Silurien inférieur, soit environ 60 Ma. Cette même lacune, parfois un peu réduite, est connue ailleurs en Meseta occidentale ; en effet, Gigout (1955) avait décrit des phénomènes analogues en signalant plusieurs lacunes et des niveaux conglomératiques dans le Dévonien inférieur de Mechra Ben Abbou

(Rehamna septentrionales)<sup>75</sup>. Ces données fournies par l'auteur indiquent la présence d'un épisode orogénique contemporain de la déformation calédonienne. Dans la zone Sehoul (s.s), la déformation hercynienne était faible par rapport au reste de la Meseta, et elle se limite à sa marge sud par la réactivation de failles à faible pendage.

**La Meseta marocaine** est subdivisée en *Meseta occidentale* et *Meseta orientale* (Fig. 109). Elle est géographiquement située entre la chaîne alpine du Rif, au nord, et la chaîne atlasique au sud. Cependant, sur le plan structural elle s'étendrait plus vers le sud du Haut Atlas dans ce qu'on appelle actuellement la zone sub-mésétienne qu'on suit depuis Tineghir jusqu'au nord d'Erfoud et dont le tracé est situé au sud de la faille sud atlasique SAF (Fig. 109) ; cette limite est nommée zone de faille sub-mésétienne (Hoepffner et *al.*, 2005). Les boutonnières paléozoïques du Haut Atlas témoignent également de la prolongation de la Meseta vers le sud.

Aussi bien en *Meseta occidentale* qu'orientale, les séries paléozoïques affleurent dans des boutonnières ou massifs, séparés cartographiquement par la couverture. Dans la *Meseta occidentale* on distingue du Nord au Sud : le massif du Maroc central (le plus important en termes de surface), les Rehamna et les Jébilet (Fig. 111).

Sur le plan paléogéographique, ce que l'on peut retenir pour la Meseta marocaine, durant l'ère paléozoïque, où elle se situait dans une aire péri-gondwanienne, c'est sa migration à partir du Cambrien depuis le pôle Sud vers des positions plus tempérées ; ce qui se manifeste sur le terrain par l'observation d'une sédimentation siliciclastique au Cambro-Ordovicien dont la provenance est en partie due à l'érosion du Craton ouest africain et aussi la présence à la fin de l'Ordovicien (Hirnantien), comme dans l'Anti-Atlas, d'une sédimentation d'origine glaciaire. Dès le Silurien, avec la migration du Gondwana vers le nord, les conditions sédimentaires ont changé et on assiste, dans le domaine mésétien, au développement d'une plateforme carbonatée dans la *Meseta occidentale* (avec le développement d'une faune récifale au Givétien) alors qu'un bassin profond existait dans la *Meseta orientale*. Pendant le Carbonifère, si certaines régions ont connu les premiers mouvements hercyniens (phase éovarisque) d'autres connaissent le développement de bassin de sédimentation (tel le bassin de Sidi Bettache au sud de Rabat ; Piqué, 1979), où se dépose une épaisse pile stratigraphique schisto-gréseuse et calcaire, avant que l'ensemble de la Meseta ne soit structuré par l'orogénèse hercynienne dont la phase majeure est namuro-westphalienne (Michard, 1976). Les dépôts permien, molassiques, sont connus dans quelques bassins (*i.e.*, Bassin de Khénifra), et correspondent au début de l'érosion de la chaîne hercynienne marocaine.

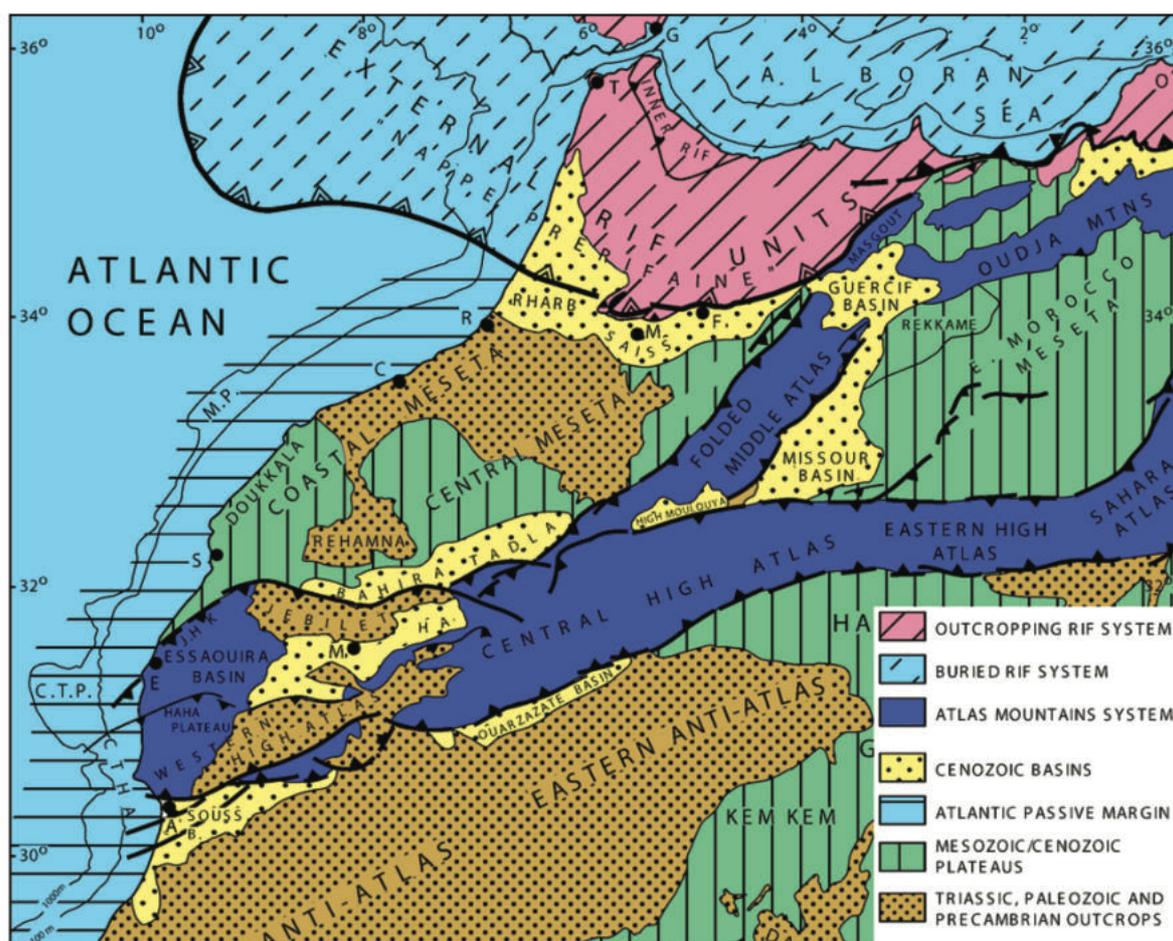


Fig. 111 : Physiographie du domaine de la Meseta et de l'Atlas (d'après Hafid et *al.* 2006).

Contrairement à l'Anti-Atlas où la stratigraphie des termes paléozoïques est très bien connue, le domaine de la Meseta n'a pas connu un tel engouement, probablement en raison d'abord de la qualité des affleurements et aussi (surtout) à cause du faible contenu faunique de ceux-ci. Cependant, pour une meilleure caractérisation des orogènes paléozoïques (calédonienne et hercynienne) il est nécessaire de connaître dans le détail les séquences de chaque étage du Paléozoïque. Les travaux de stratigraphie sont malheureusement rares dans ce domaine et n'ont pas engendré une discussion avancée des événements paléogéographiques permettant, comme dans l'Anti-Atlas, de mieux connaître les différentes phases sédimentaires et tectoniques de cette région. Néanmoins il existe, à nos jours, un certain nombre de travaux dédiés à la stratigraphie et aux interprétations paléogéographiques de ce domaine (Becker et *al.*, 2020 ; 2021).

Les récents travaux de l'équipe dirigée par Ahmed El Hassani (Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Maroc) et par Thomas Becker (Université Münster, Allemagne), publiés particulièrement dans le Journal scientifique de cette Académie, viennent à temps pour surmonter une partie de ces lacunes. Leurs travaux (pendant

plus d'une décennie) consistent en une révision stratigraphique profonde des formations siluriennes, dévoniennes et carbonifères de la Meseta occidentale, et ont concerné l'étude de sections/coupes clés pour chaque unité structurale de la Meseta occidentale, avec l'implication également de plusieurs spécialistes d'autres groupes fossiles, afin de comprendre les différentes phases dites «précoces» ou phase éovarisque de l'orogénèse hercynienne. Ainsi, la combinaison et les corrélations de toutes les données obtenues par cette équipe permettent désormais de dégager une image raffinée de cette phase au niveau de la Meseta marocaine occidentale, grâce à une meilleure connaissance de la paléogéographie et de la chronologie des mouvements éovarisques, dans le temps et dans l'espace, pour ce domaine (Fig. 112). La synthèse des travaux de cette équipe montre que toutes les zones de la Meseta occidentale ont été affectées par les mouvements éovarisques. La région la plus stable reste le bloc/môle côtier (Oulad Abbou, au sud de Casablanca), alors que toutes les autres localités ont subi ces mouvements à des degrés divers.

Les cinq phases tectoniques synsédimentaires durant le cycle éovarisque dévoniennotournaisien (soit sur un intervalle de 65 Ma) se résument comme suit:

1. Lochkovien à Eifélien (phase prélude éovarisque): événements restreints et localisés, avec une certaine concentration dans les parties méridionales de la Meseta occidentale ;
2. Givétien Moyen/Supérieur (1<sup>ère</sup> phase majeure éovarisque): responsable de la formation de blocs basculés, de brèches et une resédimentation polyphasée à travers toute la Meseta ;
3. Frasnien à Famennien inférieur: condensations extrêmes et lacunes à l'Ouest, formation de brèches polygéniques dans le bassin d'Azrou-Khénifra à l'Est ;
4. Famennien Moyen/Supérieur : (2<sup>ème</sup> phase majeure éovarisque): Paroxysme de jeux des failles, avec érosion généralisée, affaissement, glissement des olistolites, qui comprend aussi le cannibalisme des conglomérats Givétien, puis initiation de subsidence rapide générant la formation d'un bassin de flysch (création du bassin de Sidi Bettache, décrit par Piqué en 1979);
5. Tournaisien: responsable de la formation d'épais «mass-flows» et de grandes olistolites dans la région d'Oulmès, s'étendant vers l'est à une discordance angulaire comprenant, parmi les éléments, un Givétien remobilisé.

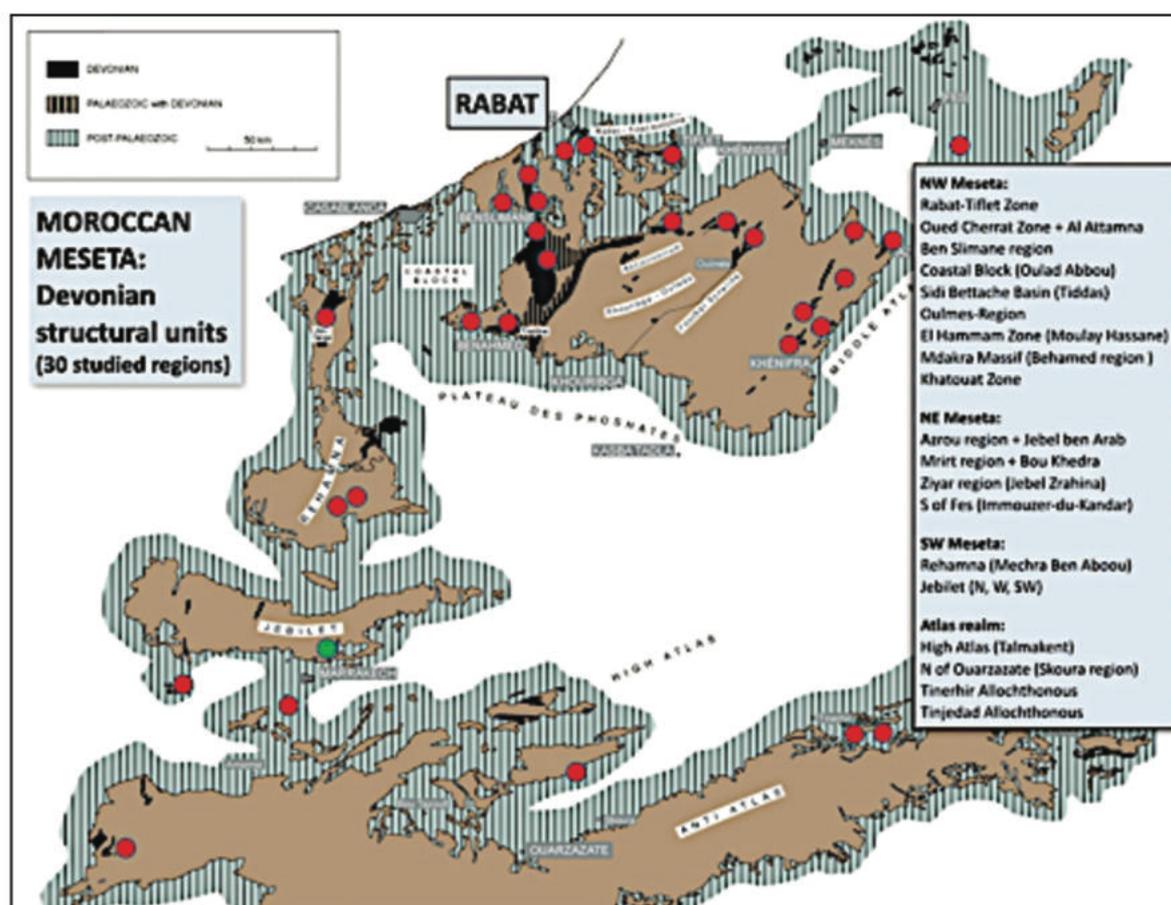


Figure 112 : Position des sections étudiées dans la Meseta occidentale et les Atlas.

Dans cette étude, l'événement Kellwasser (LKW et UKW) attire l'attention par son absence dans la majorité des coupes de la Meseta occidentale (Fig. 113), où la limite Frasnien-Famennien correspond à un intervalle tectoniquement calme ; il ne commence à apparaître qu'à partir de la partie orientale du Maroc central (Bassin d'Azrou-Khénifra) et dans la zone sub-mésétienne (région de Tinejdad).

Cela permet de se poser des questions sur les relations paléogéographiques entre les grandes régions (Ibérie, sud de la France, l'Anti-Atlas) pour le déclenchement de cet événement et ses rapports avec les mouvements varisques ; si à cette époque les liens entre le sud de la France et la partie est de la Meseta marocaine sont prouvés pour cet événement ; il n'en est en revanche pas le cas pour le sud-ouest du Dévonien portugais / espagnol.

Pendant la période dévonien moyen-supérieur la Meseta marocaine forme la partie la plus méridionale de la ceinture orogénique varisque à grande échelle et, par conséquent, est un segment clé pour la compréhension de cette tranche de temps géologique, des schémas paléogéographiques et des processus ayant abouti à la collision Gondwana-Laurussia (Pangée). Pour cela, une meilleure caractérisation de

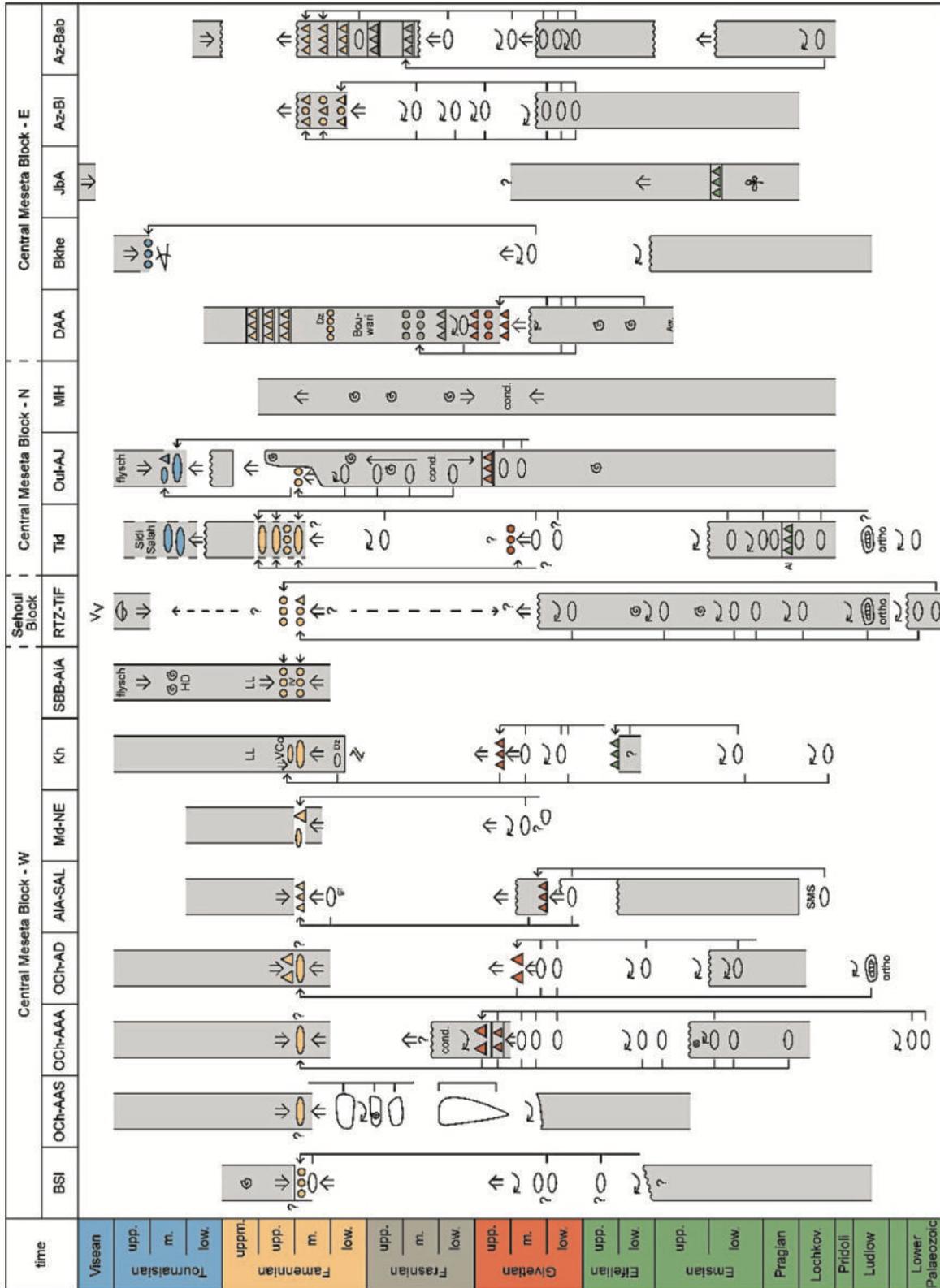
la tectonique éovarisque doit être basée sur des données stratigraphiques plus détaillées qui permettent l'établissement de corrélations précises des unités structurales individuelles, une reconstruction raffinée des faciès et des changements paléogéographiques, et, par conséquent, un âge précis pour l'avènement des divers éléments paléogéographiques/structuraux (failles, blocs basculés, affaissement et soulèvement).

### **L'environnement sédimentaire du Dévonien de la Meseta et prélude de l'orogénie varisque**

L'époque dévonienne est une période clé dans l'évolution sédimentaire et tectonique de la Meseta marocaine. Elle connaît l'instauration des bassins sédimentaires et la configuration paléogéographique de ceux-ci. Cette époque se termine par les mouvements précoces qui guideront ensuite l'histoire tectono-métamorphique de la Meseta marocaine.

Le Dévonien est présent dans les différentes zones structurales hercyniennes de la Meseta marocaine. Contrairement à ceux du Silurien, les terrains du Dévonien inférieur et moyen sont caractérisés par une variation de faciès, ce qui témoigne d'une différenciation en plusieurs domaines paléogéographiques (Figs 112 ; 113 et 114). Dans la Meseta nord-occidentale, ces terrains affleurent essentiellement dans les rides encadrant les bassins dévono-dinantiens (*i.e.*, Bassin de Sidi Bettache), comme c'est le cas de la ride de Rabat-Tiflet (Fig. 114). Dans la partie est du Maroc central, ils sont représentés en grande partie dans les unités orientales allochtones de la zone de transition. Dans la Meseta orientale, le Dévonien affleure dans plusieurs boutonnières, sauf que dès le Dévonien supérieur cette zone est déformée (c'est la phase précoce dite éovarisque).

Dans ce domaine, la sédimentation du Dévonien inférieur prolonge, sans lacune notable, celle du Silurien. Elle est variable et caractérisée par l'installation des carbonates en liaison avec une diminution des terrigènes provenant du craton ouest-africain (WAC) et par un réchauffement climatique. Plusieurs auteurs (*i.e.*, Piqué et *al.*, 1983 ; Hoepffner, 1987; Piqué & Michard, 1989 ; El Hassani, 1990) ont montré que l'ensemble de la Meseta marocaine occidentale correspond, au Dévonien inférieur-moyen, à une plateforme carbonatée à l'Est de laquelle se différencie un sillon de flysch (la Meseta orientale) qui s'étend en direction NE-SW de Marrakech à Oujda (Piqué et Michard, 1989 ; Fig. 115). L'évolution paléogéographique de ce domaine au Dévonien inférieur et moyen se caractérise par une configuration en trois domaines paléogéographiques distincts (Piqué & Michard, 1989) :



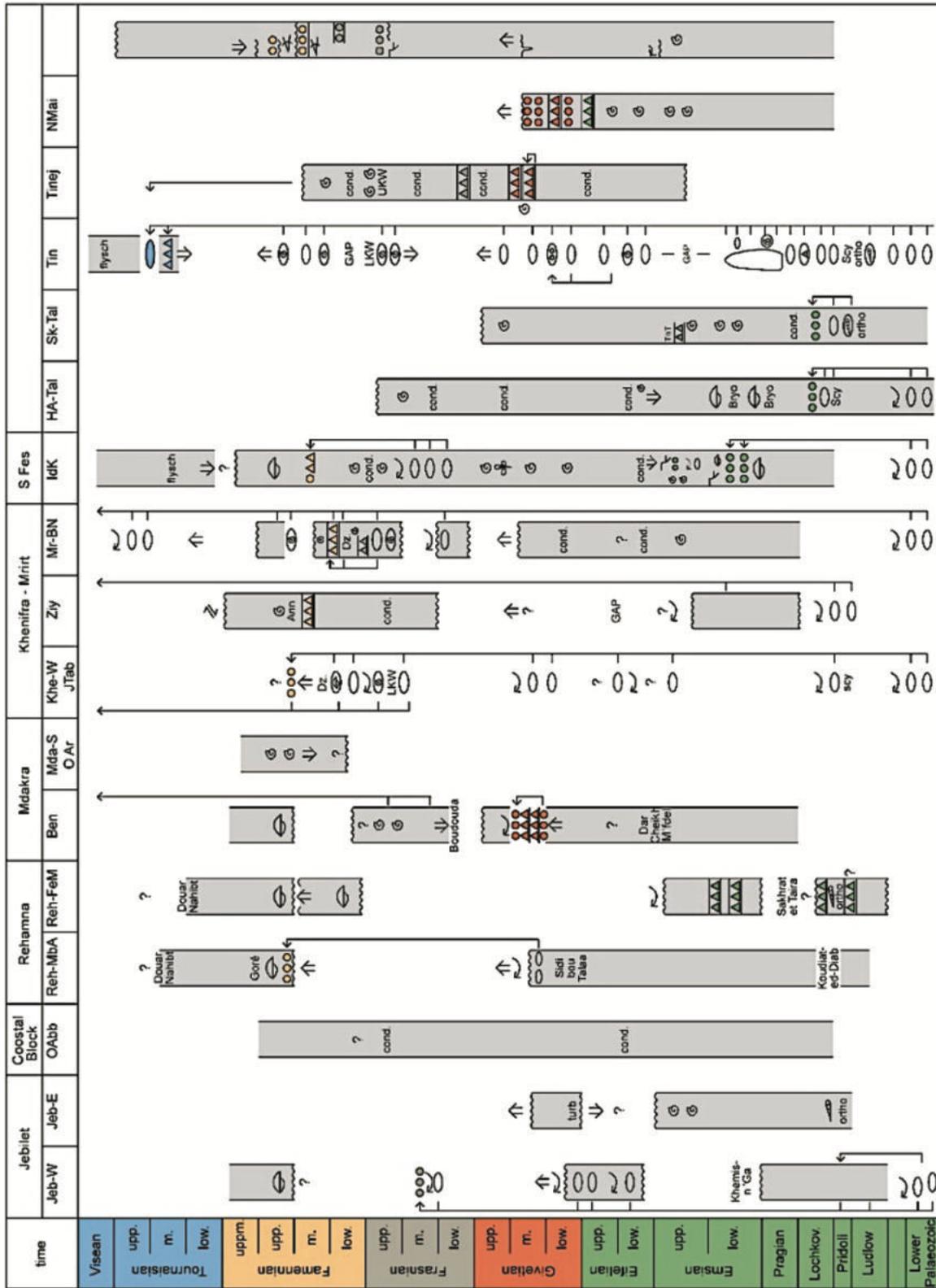


Figure 113: Intervalles stratigraphiques des coupes de la Meseta, avec l'âge des blocs remobilisés (ellipses ouvertes), l' âge de resédimentation dans les conglomérats (cercles), les brèches (triangles) et les olistolites (ellipses), les niveaux à plantes,

- un domaine occidental où domine une plateforme carbonatée s'étendant à l'Ouest de la ligne Khénifra-Azrou-Tazekka ;
- un domaine de transition correspondant à la partie Est du Maroc central, la partie est des Jébilet et les boutonnières paléozoïques du Haut Atlas;
- enfin, un domaine oriental occupé par le sillon profond de Marrakech-Oujda.

### **La plateforme carbonatée occidentale**

Cette plateforme n'est pas homogène ; elle a enregistré des mouvements précoces (flexures, surrection, affaissement) qui ont contrôlé la sédimentation et ont abouti à la différenciation de plusieurs aires sédimentaires qui se manifestent par des rides et des sillons subsidents, où se dépose une sédimentation variée (carbonatés sur les rides et moins carbonatée au niveau des sillons plus profonds). Cette période connaît également l'émergence de quelques terres en bordure desquelles s'édifient des complexes récifaux (Figs. 116 et 117).

Ces mouvements sont guidés par d'anciennes limites structurales (ou failles) du socle. Ainsi, le sillon de Benslimane-Mdakra s'installe suivant une direction subméridienne parallèlement à la future zone de cisaillement de la Meseta occidentale (Piqué & Michard, 1981). Il se prolonge jusqu'au Haut Atlas occidental en passant par les Rehamna et les Jébilet (Cornée, 1989; El Kamel, 1991). Il est bordé à l'Est par le haut-fond du Cherrat-Al Attamna, de direction subméridienne, qui connaît à la même époque (Emsien) une sédimentation carbonatée à tendance récifale. Il en est de même dans la zone de Rabat-Tiflet où une ride carbonatée s'installe parallèlement à la limite E-W du bloc "calédonien" des Sehoul (El Hassani, 1990 ; Fig. 114-a). Dans la zone des Zaër, la paléogéographie est dominée par des sillons (Sidi Al Ghazi) et des rides parallèles à la terre probablement émergée des Zaër (Tahiri, 1991 et Chakiri, 1991)<sup>259</sup>. Ces trois zones délimitent une aire centrale qui occupe l'emplacement actuel du bassin de Sidi Bettache (Fig. 118). Plus à l'Est, dans la région d'Oulmès, s'installe une plate-forme carbonatée bordée dans sa partie SE par des aires plus profondes (Tahiri, 1991). Selon ce dernier, l'Emsien exceptionnellement quartzitique dans cette dernière zone, témoigne de la proximité d'une terre en surrection.

---

<sup>259</sup> Chakiri S. (1991) : Le Paléozoïque de la région de Tsili- Tiddas (Maroc central occidental): Stratigraphie, sédimentologie et évolution structurale hercynienne. Thèse 3<sup>ème</sup> Cycle, Univ. Mohammed V, Fac. Sci. Rabat, 227 p.



Figure 114-a : Panorama montrant une partie de la série dévonienne dans la zone de Rabat à Ras-Nouala. Un plan de faille de direction N120° est bien visible.

Les indices d'une instabilité tectonique synsédimentaire (faciès de calcaires griottes, failles synsédimentaires, slumping, variations latérales de faciès et d'épaisseurs) sont connus dans plusieurs zones tectoniquement actives dès le Lochkovien. Cette activité semble s'atténuer à l'Emsien avec une tendance en général à la stabilité. A l'Eifelien, la plateforme carbonatée subit un affaissement. Des sédiments argileux à Goniatites se déposent dans les zones plus profondes (aire de Sidi Bettache, aire des Mdakra, etc...) limitées par des rides qui se maintiennent en position haute avec une sédimentation argilo-carbonatée ou même récifale (exemple la ride du Cherrat, Fig. 114-b).

Au Givétien, un mouvement de surrection général entraîne la formation d'une plateforme récifale proprement dite qui devient par la suite stable ; la plateforme carbonatée atteint sa maturité (Figs. 115 à 117). Elle est bordée au Nord par la Terre émergée des Sehoul, à l'Ouest par celle du "Môle côtier" actuel et au Sud par celle des Zaër. A Oulmès, la plateforme récifale est bordée au Nord, semble-t-il, par une terre émergée qui serait la continuité du bloc des Sehoul. Ces tendances à l'émersion se confirment au Frasnien, souvent lacunaire, dans plusieurs aires de sédimentation, particulièrement dans la partie occidentale. Cependant, dans la région d'Oulmès, la sédimentation continue dans la région de Aïn Jemaa, où l'on observe des calcaires récifaux du Givétien à nombreuses structures récifales de Stromatopores, de Thamnopores, d'Alveolitides, d'Amphipores, etc. (Fig. 119).



Figure 114-b : Vue depuis le sud des calcaires récifaux de Sakhrat Mohammed-Ben-Brahim (Oued Cherrat), attribués à l'Emsien inférieur.

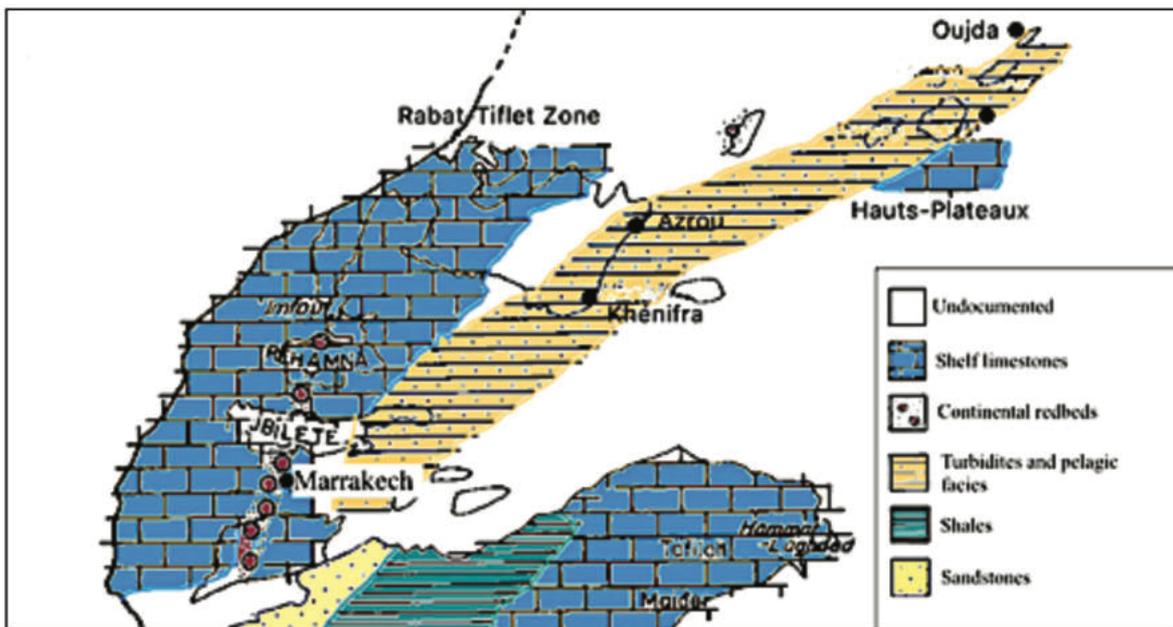


Figure 115 : Faciès sédimentaires du Dévonien inférieur dans le Nord du Maroc ; les séries sont dessinées à leurs emplacements actuels (d'après Piqué & Michard, 1989 ; modifié)

Ces calcaires sont surmontés par des argilites noires renfermant des lentilles calcaires à *Homoctenus ultimus* du Frasnien, avec à leur sommet le niveau "Kellwasser". Ce sont ensuite des argilites gris-olive avec de petites *Goniatites* pyritisées du genre *Cheiloceras*, qui datent le début du Famennien, surmontées par d'autres argilites, jaunâtres (couleur d'altération), dans lesquelles sont intercalées des

argilites calcareuses à Clymenides, parmi lesquels il y a *Clymenia annulata* du Famennien IV. Enfin, la séquence se termine par de quartzites à miospores du Famennien terminal (Strunien ; Kaiser *et al.* 2007).



Figure 116 : Photo montrant les calcaires récifaux du Givétien sur la rive droite de l'oued Oum Er-rabia (Rehamna septentrionaux ; à l'Est du village de Mechra Ben Abbou)



Figure 117 : photo montrant le détail des composants récifaux à Sidi Bou Talaa (Rehamna septentrionaux).

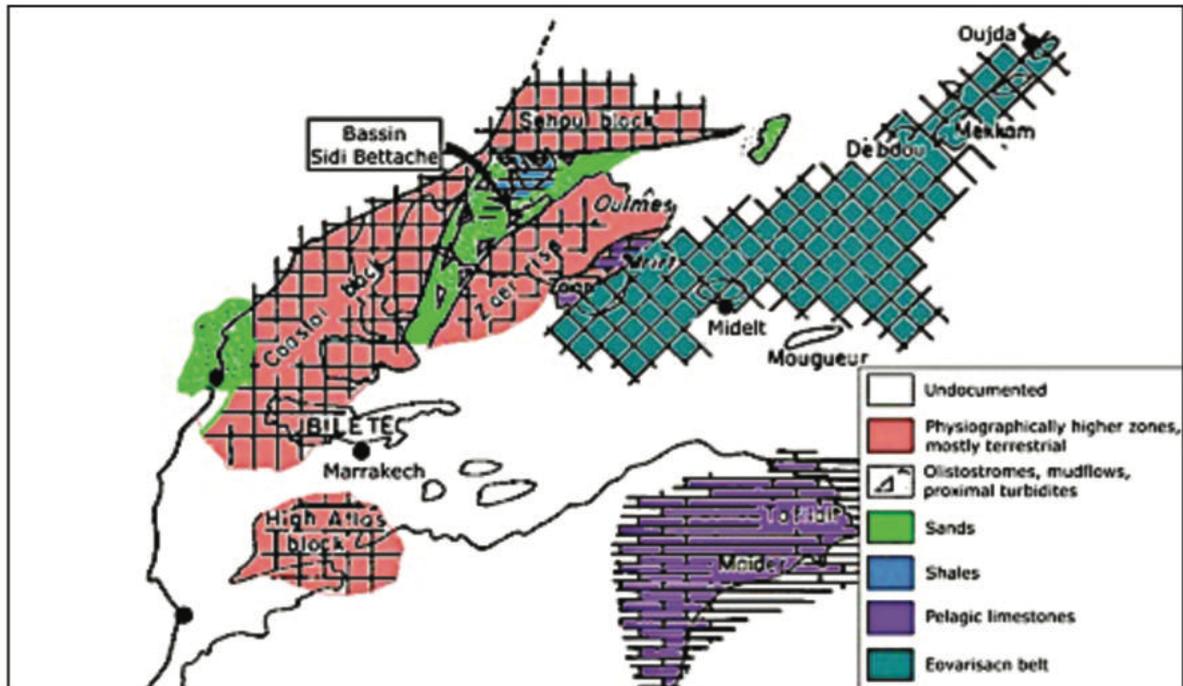


Figure 118 : Faciès sédimentaires du Dévonien supérieur et le Tournaisien dans le Nord du Maroc (d'après Piqué et Michard, 1989 ; modifié)

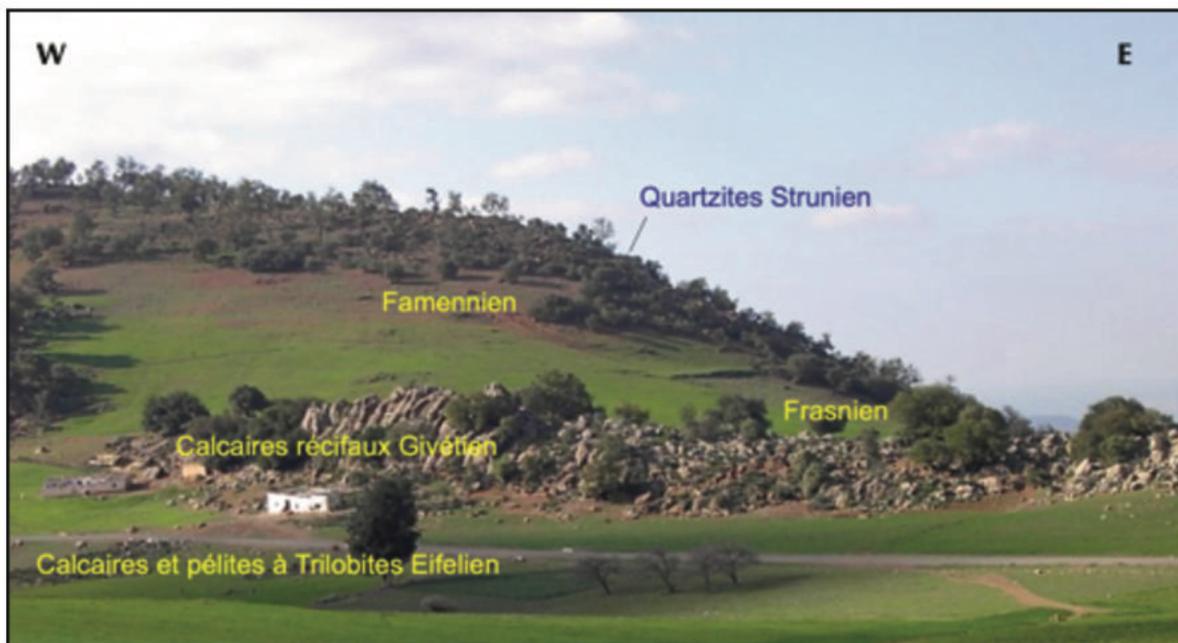


Figure 119 : Panorama de la localité Ain Jemaa (Nord d'Oulmès) montrant une coupe complète du Dévonien moyen et supérieur (Eifélien à Strunien), constituée de bas en haut : de calcaires en nodules et pélites à *Phacopides* (Eifélien), les calcaires deviennent lités avec des *Goniatites* (*Anarcestes*) puis passent vers une formation de calcaires récifaux du Givétien ; vient ensuite le Frasnien avec des *Trilobites* (*'Phacops'* cf. *cryphoides*) et *Goniatites* dans un faciès de pélites grises riches en styliolinides et se termine par les faciès noirs du Kellwasser (avec la conservation de quelques archéoceratides pyritisés et *Aulatornoceras* sp., dans les pélites noires) ; l'assemblage de *Goniatites*, ainsi que la présence

de *Buchiola*, est typique du faciès de Kellwasser. Ces derniers niveaux sont surmontés par une lumachelle de brachiopodes et de crinoïdes du Famennien 2 à *Cheiloceras*; ensuite viennent des pélites à nodules calcaires et Goniatites et à clyménides (*Mimitoceras*). La partie supérieure du Famennien commence par des pélites noires (Hangenberg Black Shale) devenant ensuite jaune-olive à *Chéiloceras*? Elle se termine par une alternance grésopélimitique à nodules et concrétions pyritiques riches en hématite, indiquant la persistance d'une faible oxygénation. La série se termine par les quartzites (à miospores) du Strunien qui font saillies dans le paysage (se référer à la note de Kaiser et *al.*, 2007, pour les détails de ce panorama)<sup>260</sup>.

### **La zone intermédiaire (ou zone des nappes)**

Cette zone, dite également zone de transition ou Meseta moyenne, correspond à la marge ouest de la zone orientale et comprend l'est du Maroc central (bassin d'Azrou-Khénifra; Bouabdelli, 1989; Becker et *al.*, 2020, dont la base repose en discordance angulaire sur l'Ordovicien), les Jébil oriental et la boutonnière d'Ait Tamelil dans le Haut Atlas. Cette zone est caractérisée par l'individualisation d'un bassin turbiditique, tournaisien à viséen supérieur, qui constitue l'avant-pays de la zone interne de la Meseta avec la mise en place d'un système de nappes originaire très probablement de l'Est, ayant glissé dans le bassin de sédimentation dinantien.

L'examen des colonnes stratigraphiques permet de se rendre compte de la variété de celles-ci (Fig. 120), montrant par ailleurs plusieurs lacunes d'un endroit à un autre. Au Silurien supérieur - Dévonien inférieur, cette partie de la Meseta est bordée à l'Est par un domaine marin subsident individualisé dès le Praguien et où s'accumulent des sédiments de type flysch proximal représentés actuellement dans les nappes de Aït Mimoun-Bou Agri.

Cette sédimentation est suivie à l'Emsien par des calcaires récifaux. Au Dévonien moyen, l'environnement sédimentaire des deux domaines est pratiquement le même. Il correspond à celui d'un talus instable à sédimentation diversifiée (flysch, calcaires griottes). Ce talus constitue le passage de la plateforme occidentale à un domaine de plus en plus subsident et profond vers l'est en direction de la Meseta orientale.

Dans cette partie de la Meseta, l'événement "Kellwasser" du Frasnien terminal est bien individualisé. Il est représenté par des sédiments noirs (pélites ou calcaires intercalés dans ces pélites), anoxiques et disaérobiques. Il a été trouvé dans les coupes d'Aïn Jemaa, de Ziyar, d'Anajdam et au SW de la Gara de Mrirt.

---

<sup>260</sup> Kaiser S. I., Becker R. T. & El Hassani A. (2007): Middle to Late Famennian successions at Ain Jemaa (Moroccan Meseta) —implications for regional correlation, event stratigraphy and synsedimentary tectonics of NW Gondwana. *Geological Society, London, Special Publications* 2007, v.278; p237-260. doi: 10.1144/SP278.11

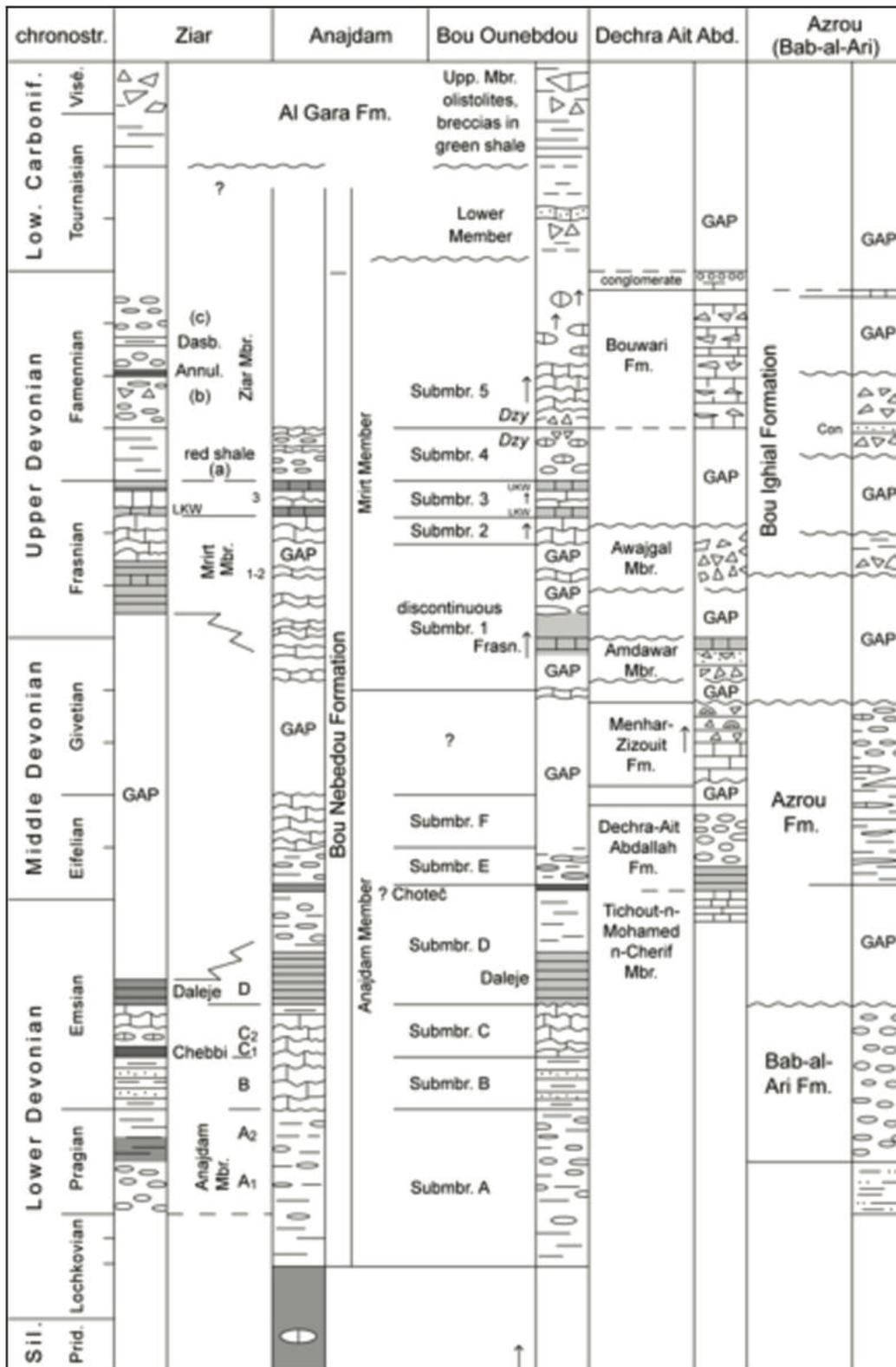


Figure 120 : Comparaison des séries dévoniennes de la nappe de Ziar-Azrou (séparé pour Ziar, Anajdam et Bou Ounebdou) avec le Dévonien du Dechra Aït Abdallah à l'ouest de Mirt (Dzy = Dzieduszyckia, Frasn. = Événement Frasne, LKW / UKW = Niveaux inférieur et supérieur de Kellwasser, Con = Événements Condroz, Annu. = Événement Annulata, Dasb = Événement Dasberg); d'après Becker *et al.*, 2020.

### **Le bassin oriental (ou Meseta orientale)**

Ce bassin s'ouvre dès le Dévonien inférieur (Emsien). Il fonctionne au moins jusqu'au Frasnien et reçoit une sédimentation turbiditique et pélagique dans un milieu relativement profond. Son alimentation semble assurée par des zones voisines en surrection et même émergées comme l'indique la présence de végétaux flottés du Dévonien moyen à supérieur (Marhoumi & Rauscher, 1984)<sup>261</sup>. En raison de la réduction des aires d'affleurements en petites boutonnières, la géométrie et les limites de cette région sont mal connues. Les séries de Debdou-Mekam et de Beni-Snassen en constituent la partie NE.

Par des considérations structurales fondées sur la disposition des terrains allochtones de la zone de transition, on pense que ce bassin se prolonge jusqu'à l'Est des Jébillet orientales, suivant une direction NE-SW (Piqué & *al.* 1983). Sa limite SE est mal connue à cause de la couverture secondaire des Hauts-Plateaux qui masque le Paléozoïque. Par contre, vers l'est ce bassin serait limité par une plateforme carbonatée dont les dépôts carbonatés de la région des Zekkara et dans le Nord de la boutonnière de Tamlelt seraient des témoins (Hoepffner, 1987 ; Piqué et Michard, 1989 : Fig. 115).

L'ouverture de ce bassin se serait produite au Dévonien inférieur à moyen par le biais de mouvements tectoniques distensifs précoces, plus accentuée dans cette zone que dans la partie occidentale, mais relativement limités. C'est seulement au Dévonien supérieur (Fig. 118) que ceux-ci deviennent importants à l'Ouest (Meseta occidentale) aboutissant à la dislocation de la plateforme carbonatée. Au même moment, commencent les mouvements de serrage précoces dans la Meseta orientales ; ils ont donné des plis, un métamorphisme et l'un des premiers granites hercyniens (granite et leucogranite de Midelt, qui affleurent au sud immédiat du village de Zaida, et également dans la vallée de l'oued Moulouya, avec une minéralisation en Plomb, exploité dans les mines d'Aouli et Mibladen ; Figs. 121 et 122).

**Sur le plan structural**, Faisant partie des Variscides méridionales, le Maroc hercynien comprend les successions paléozoïques fortement tectonisées, au nord de la partie cratonique plus ou moins stable du nord-ouest du Gondwana, et l'Anti-Atlas, qui n'a connu que des plis et failles modérés au Carbonifère supérieur. La Meseta marocaine est plutôt une sorte de mosaïque, de terrains assez complexes, formée de blocs autochtones et d'unités partiellement allochtones, ayant chacun une histoire particulière pour sa faune, ses facies et ses événements tectoniques syn-sédimentaires.

---

<sup>261</sup> Marhoumi R. & Rauscher R. (1984) : Un plancton dévonien de la Meseta orientale au Maroc. Review of Palaeobotany and Palynology ; Volume 43, Issues 1-3, pp : 237-253



Figure 121 : Photo prise depuis le sud, montrant au premier plan le granite hercynien de la zone de Midelt, dans la localité de Zaida ; en arrière-plan on y observe les montagnes du Moyen Atlas.

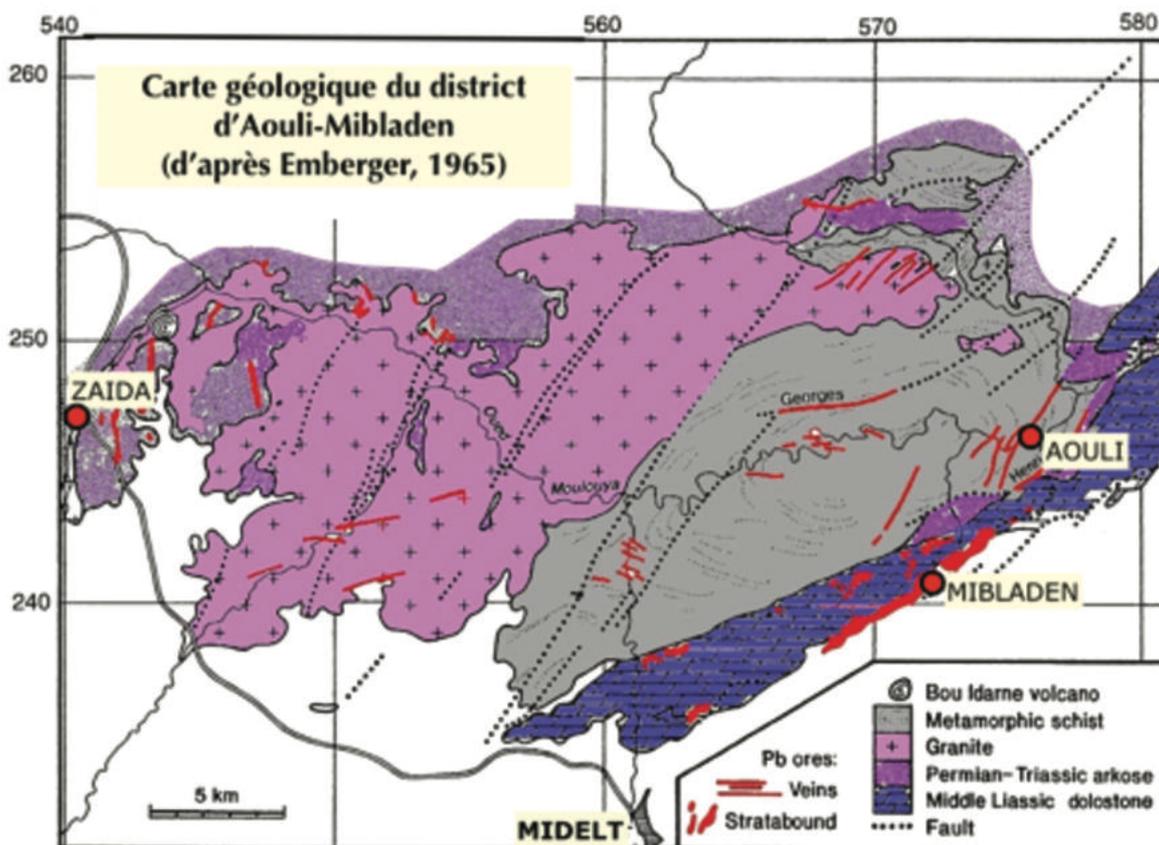


Figure 122 : Carte géologique du district d'Aouli-Mibladen (d'après Emberger, 1965), montrant les affleurements du granite. Les datations isotopiques par U-Pb sur zircon et titanite ont donné un âge de  $333 \pm 2$  Ma pour la granodiorite et  $319 \pm 1.5$  Ma pour le granite gris (c'est-à-dire à la limite Viséen-Serpukhovien). Cette différence d'âges entre les deux

unités soutient l'hypothèse d'un pluton à émissions multiples (Oukeimini, 1993)<sup>262</sup>. Ce granite s'est mis en place dans les micaschistes et amphibolites de Mibladène, d'âge Dévonien supérieur ou Tournaisien.

Un régime de tectonique en extension globale, au moins pour la Meseta occidentale, génère une structure en blocs basculés limités par des failles majeures, ayant entraîné le soulèvement, l'érosion, le remaniement et la redéposition dans des bassins adjacents, souvent en nappes gravitaires ou en olistolites.

C'est ce que Piqué (1979) a qualifié de "*révolution famennienne*". Cependant, la configuration régionale proposée, souffrait d'un manque de données stratigraphiques détaillées pour proposer une reconstitution paléogéographique acceptable pour les différents blocs qui composent la Meseta marocaine. A ce titre, les travaux de Becker et *al.* (2020 ; 2021) apportent des précisions stratigraphiques importantes, qui permettent une meilleure lecture de cette configuration.

En conclusion, le domaine mésétien présente les caractéristiques suivantes pour la période Cambrien à Carbonifère :

- Toutes les zones de la Meseta présentent une séquence marine (Cambrien à Carbonifère) presque complète; à l'exception du bloc des Sehoul et de l'escarpement Mazagan dont l'âge est compris entre le Néoprotérozoïque supérieur et le Cambrien ;
- La sédimentation dévonienne est caractérisée par le développement d'une plateforme carbonatée dans la Meseta occidentale avec développement de récifs (au Givétien) et un bassin profond turbiditique dans la Meseta orientale. Une zone de transition existe entre les deux environnements ; celle-ci connaît au Dinantien un bassin (bassin d'Azrou – Khénifra) où glissent des nappes synsédimentaires à matériel siluro-dévonien notamment ;
- Une variation de la déformation hercynienne et du gradient du métamorphisme de l'Ouest vers l'Est et du Nord vers le Sud. Le paroxysme de la déformation et du métamorphisme est enregistré au niveau des Rehamna centraux (schistosité de flux et métamorphisme à staurotide et disthène) ;

---

<sup>262</sup> Oukeimini D. (1993) : Géochimie, géochronologie (U-Pb) du pluton d'Aouli et comparaisons géochimiques avec d'autres granitoïdes hercyniens du Maroc par analyse discriminante. Thèse de doctorat de l'Université du Québec à Montréal, 129 p.

- L'âge de cette déformation est de plus en plus récent en allant de l'est (boutonniers paléozoïques de la région d'Oujda) vers l'ouest (Môle côtier, côtes atlantiques) ;
- Quatre principaux événements orogéniques sont connus dans la Meseta marocaine :
  - Un événement calédonien dans le bloc des Sehoul, qui montre un métamorphisme régional daté de 450 Ma (El Hassani et *al.*, 1991) ;
  - des déformations éovariques ayant débuté dès le Dévonien inférieur (Becker et *al.*, 2014) ; dont le développement est plus important dans la Meseta orientale ; Cette phase est beaucoup plus importante dans la Meseta orientale, où il s'agit de la phase majeure de déformation, ayant développé des micaschistes et des amphibolites d'âge Dévonien supérieur ou Tournaisien, suivie par des intrusions granitiques aux alentours de la limite viséen-serpukhovien (330 et 320 Ma) ;
  - une déformation intraviséenne (Hoepffner et *al.*, 2005) ;
  - enfin, une déformation majeure varisque / hercynienne d'âge carbonifère (300-290 Ma) relatée par plusieurs auteurs.
- Les intrusions granitiques ont un âge de plus en plus ancien en allant de l'ouest vers l'est.

### La période permienne

Au Maroc, l'époque permienne est marquée par la création de bassins intra-montagneux remplis par d'épaisses séries volcano-sédimentaires rouges. La chaîne varisque qui vient d'être créée, est injectée d'importantes masses magmatiques qui remontent plus ou moins haut, au cœur de la chaîne en la réchauffant. El Hadi et *al.* (2014)<sup>263</sup> font remarquer que cette période a connu deux principaux événements volcaniques successifs (un volcanisme bimodal calco-alcalin, au Permien inférieur et un volcanisme tholéitique de basaltes et d'andésites). Il s'agit de traceurs magmatiques de l'évolution de l'Atlantique central, au Trias moyen et supérieur. En définitive, l'époque permienne et triasique serait responsable de l'architecture essentielle actuelle de la Meseta marocaine occidentale (particulièrement le massif du Maroc central). En effet, la formation de la chaîne hercynienne est suivie d'un découpage en plusieurs blocs à géométrie différenciée, limités par des failles

---

<sup>263</sup> El Hadi et al. (2014): Geodynamic setting context of the Permian and Triassic volcanism in the Moroccan Meseta. Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Terre, n° 36, 55–67.

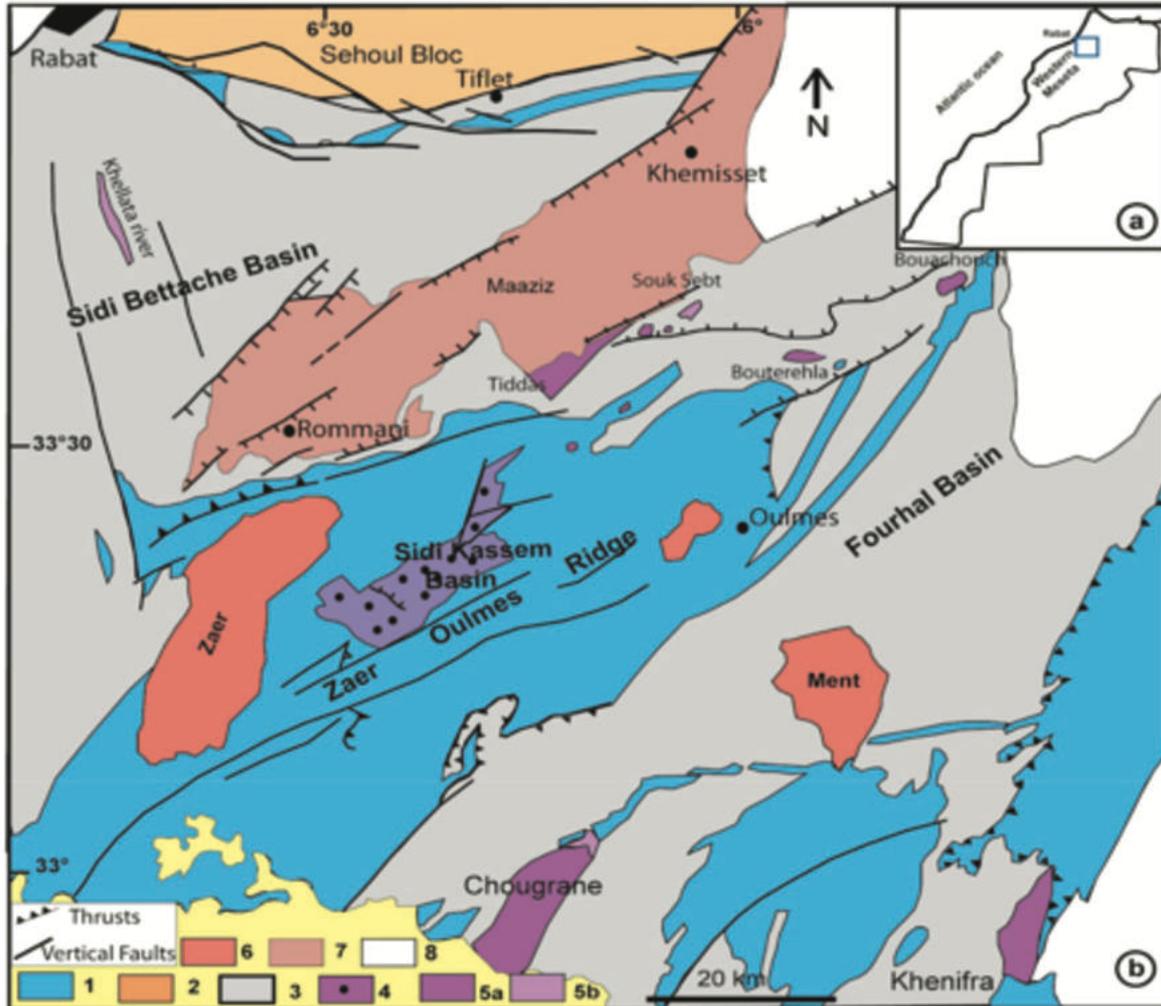
profondes qui servent de drains à une importante circulation de fluides hydrothermaux chargés en éléments polymétalliques, et qui finissent par précipiter dans plusieurs paragenèses de forte, avec une température moyenne à faible (El Wartiti et *al.*, 2017).

L'ouverture en distension des bassins permien s'est faite selon des directions NNW-SSE à NW-SE ; elle est toujours accompagnée de manifestations volcaniques sous forme d'appareils greffés sur des failles profondes. De nombreux marqueurs mettent en évidence l'enfouissement des bassins avec plusieurs épisodes de comblement, favorisés par la présence de failles synsédimentaires et de discordances progressives, d'épaississements de séries vers le centre, et la présence de petits horsts et grabens. L'activité permanente des failles bordières engendre une accentuation de la subsidence pendant le Permien inférieur.

Les formations continentales du Permien sont conservées dans de petits bassins tardi-orogéniques. Ce sont des dépôts rouges à dominante détritique, souvent carbonatée et associées aux produits volcaniques. Les principaux bassins permien sont localisés dans le centre-ouest du Maroc (Fig. 123) ; ce sont les bassins de Souk Sebt-Tiddas, de Bouterehla, de Bouachouch, de Khénifra et Chougrane (Cailleux et *al.*, 1983 ; Zouine, 1986 ; El Wartiti, 1990 ; Youbi, 1998 ; Saidi, 2005). D'autres affleurements sont connus dans les bassins de Rehamna, à Mechra Ben Abbou et à Dalaat (El Wartiti, 1990 ; Muller et *al.*, 1990) et enfin dans les bassins ouest et est des Jébilet (Essamoud, 1989 ; Sebban 1990). Les variations d'épaisseur et de faciès sont brusques ; la subsidence est soulignée par la succession de petites séquences ; ce qui implique que les bassins sont alimentés en majorité par le substratum (Cambrien à Carbonifère) environnant, alors en relief ; localement le matériel provenant des granites et de leurs auréoles métamorphiques participe au comblement.

Dans ces bassins, les sédiments détritiques sont datés du Permien inférieur (Autunien), basé sur une paléoflore mixte, abondante et diversifiée et contemporaine des paléoflores du Permien inférieur de l'Europe occidentale (El Wartiti et *al.*, 2017). Selon Hmich et *al.* (2006), ces formations contiennent également des empreintes de pistes de Vertébrés, attribuées à *Limnopus*, *Dromopus* et *Batrachichnus* (pistes de Vertébrés attribuées à *Limnopus*, *Dromopus* et *Batrachichnus*, qui ont été trouvées dans les pélites rouges des bassins de Tiddas et de Khénifra ; ainsi que des empreintes de pistes d'Invertébrés, de pas de Vertébrés et de gouttes de pluie, selon El Wartiti et *al.*, 1986 ; Broutin et *al.*, 1987). La présence de végétaux hygrophiles dans les pélites grises et rouges contemporaines indique un environnement à périodes humides, confirmé par la structure d'un bois (Aassoumi et *al.*, 1996). Des spores fossiles (macrospores et microspores), diversifiées et abondantes ont été trouvées dans les trois bassins de Tiddas, de Bouachouch et de Khénifra. L'ensemble

de ces associations a été corrélé avec celles connues dans les bassins continentaux du Permien inférieur de l'Europe occidentale (El Wartiti et *al.*, 2017)<sup>264</sup>.



<sup>264</sup> El Wartiti M., Zahraoui M. & El Hassani A. (2017) : Les marqueurs permien comme patrimoine géologique à promouvoir et à protéger dans le massif hercynien du Maroc central. *Géologues* N° 194, *Revue de la Société géologique de France*, pp : 118-126.

### Le domaine des chaînes atlasiques

Le **système atlasique (ou chaîne/domaine atlasique)**, désigne communément l'ensemble des plaines, plateaux et chaînes montagneuses compris entre le Rif, au Nord, et l'Anti-Atlas et ses confins sahariens, au Sud (Fig. 124). La chaîne des Atlas correspond à la zone la plus montagneuse du Maroc et la plus haute d'Afrique du Nord, composée de diverses unités structurales, différentes par l'âge et la structure du matériel qui les constituent : le Haut Atlas, le Moyen Atlas, le bassin de Guercif, le Maroc nord-oriental et la Meseta orientale. Cette chaîne est encadrée par des linéaments majeurs, appelés accidents bordiers sud et nord atlasiques, auxquels sont subordonnées les dépressions sub-atlasiques.

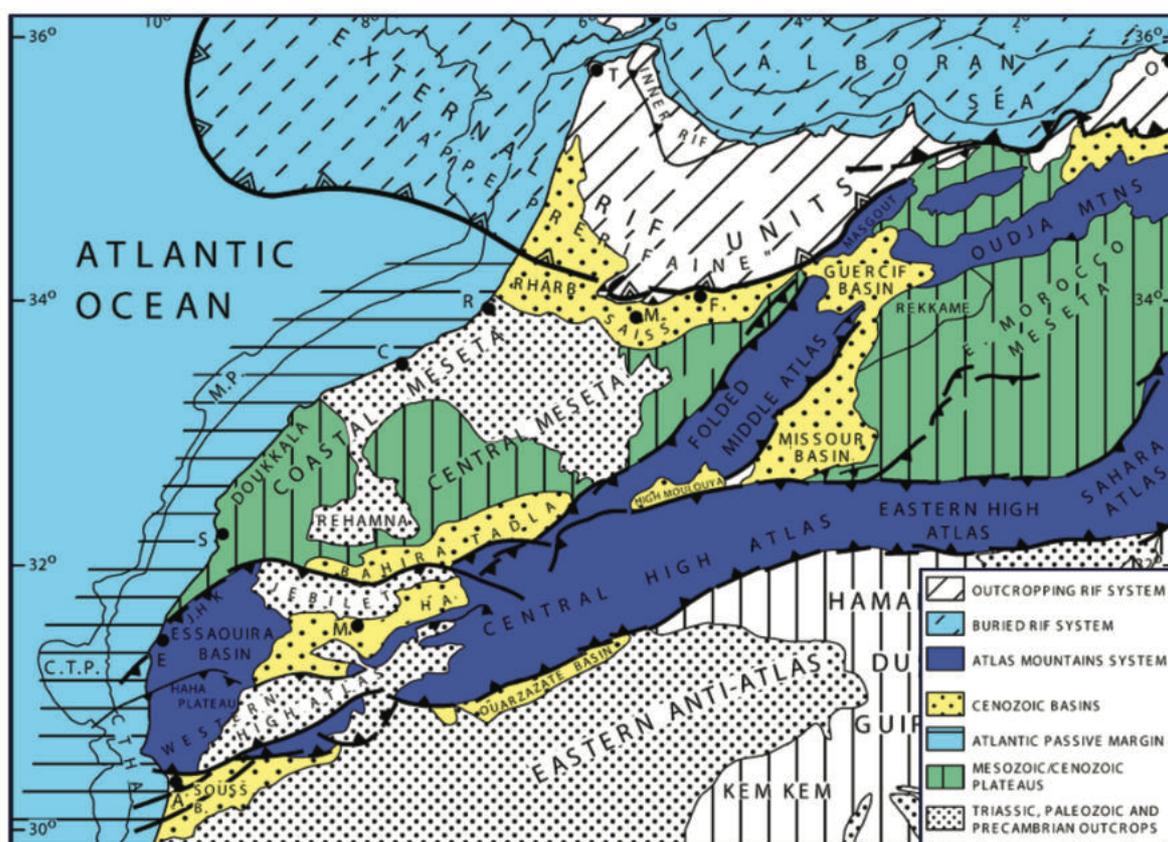


Figure 124 : les différents composants de la chaîne atlasique (adapté de Hafid et *al.* 2006).

### Stratigraphie sommaire du système atlasique (Figs : 125 à 127)

Le **Moyen Atlas** est limité au Nord par la plaine du Saïss et le front de la nappe pré-rifaine, au NE par le bassin de Guercif, à l'Est et au SE par les dépressions de la Moulouya, et à l'Ouest par le Maroc central. Il est composé par la juxtaposition de deux domaines structuraux : le **causse** et le Moyen Atlas plissé. Ces deux domaines sont séparés par un linéament majeur (Accident nord moyen atlasique). Le **causse**, subtabulaire est composé essentiellement de carbonates néritiques du Lias inférieur et moyen. Celui-ci est organisé en plateaux étagés reflétant une structuration en blocs

basculés. Le **Moyen Atlas plissé**, orienté NE-SW, allongé sur plus de 400 km, est composé de larges dépressions synclinales que délimitent des rides anticlinales aiguës. Les dépressions synformes sont occupées essentiellement par les dépôts du Toarcien et du Dogger. Les sédiments Crétacé et au Paléogène sont cantonnés dans les dépressions situées à l'Ouest du méridien de Boulemane ; alors que le Néogène affleure largement au NE. Les rides anticlinales forment des anticlinaux étroits : leurs charnières, généralement représentées par les carbonates du Lias, sont souvent affectées par des failles et injectées d'argilites triasico-liasiques et/ou intrudées par les intrusions jurassico-crétacées. La pile stratigraphique est résumée ici dans la colonne (inédiée) de Charrière (Fig. 125).

Le **Haut Atlas** est bordé au Nord par les plaines du Haouz et du Tadla, le Moyen Atlas, les vallées de la Moulouya ; et au Sud par la plaine du Souss, le volcan du Siroua et le sillon sud-atlasique. Il peut être subdivisé en quatre domaines morphostructuraux différents : le Haut Atlas atlantique, le massif ancien, le Haut Atlas central et le Haut Atlas oriental (Fig. 124).

Dans le **Haut Atlas occidental**, la série mésozoïque se distingue de celle du Haut Atlas central par ses dépôts marins au Jurassique supérieur et au Crétacé, en liaison avec ceux de la marge atlantique qui se forme à cette époque (Adams *et al.*, 1980). De vastes bassins remplis de couches rouges silicoclastiques continentales se sont ouverts au cours du rifting de la Pangée, pendant l'intervalle Permien supérieur-Trias supérieur, en liaison avec l'ouverture de l'Atlantique central. Une partie seulement de ces bassins est visible en surface, le couloir d'Argana est une de ces zones d'affleurements (Fig. 126), avec des strates particulièrement bien exposées et peu déformées, relativement riches en restes de Vertébrés (Dutuit & Heyler, 1983 ; Jalil, 1996)<sup>265</sup>. Le Permien y est représenté par des faciès à dominance fluviatile. Après une discordance locale, on retrouve le faciès des argilites inférieures, lacustres, deltaïques et fluviatiles avec des traces de Chirothéroïdes, daté du Trias inférieur (Tourani *et al.*, 2010). Les coulées basaltiques qui surmontent les argilites inférieures appartiennent à l'événement CAMP (Central Atlantic Magmatic Province). La série se termine par les argilites rouges supérieures, dont le sommet représente la limite avec le Lias (Medina *et al.*, 2011)<sup>266</sup>.

<sup>265</sup> Jalil N. (1996) : Les Vertébrés permien et triasiques de la Formation d'Argana (Haut Atlas occidental) : liste faunique préliminaire et implications stratigraphiques. In : Médina F. (Ed), Le Permien et le Trias du Maroc : état des connaissances. Pumag, Marrakech, pp : 227-250.

Dutuit J.M. & Heyler D. (1983) : Taphonomie des gisements de Vertébrés triasiques marocains (couloir d'Argana) et paléogéographie. Bull. Soc. Géol. Fr, XXV, 4, pp : 623-633.

<sup>266</sup> Médina *et al.*, (2011) : Le Circuit C11 du Haut Atlas occidental. Notes & Mémoires Service géologique N° 562, pp : 9-62.

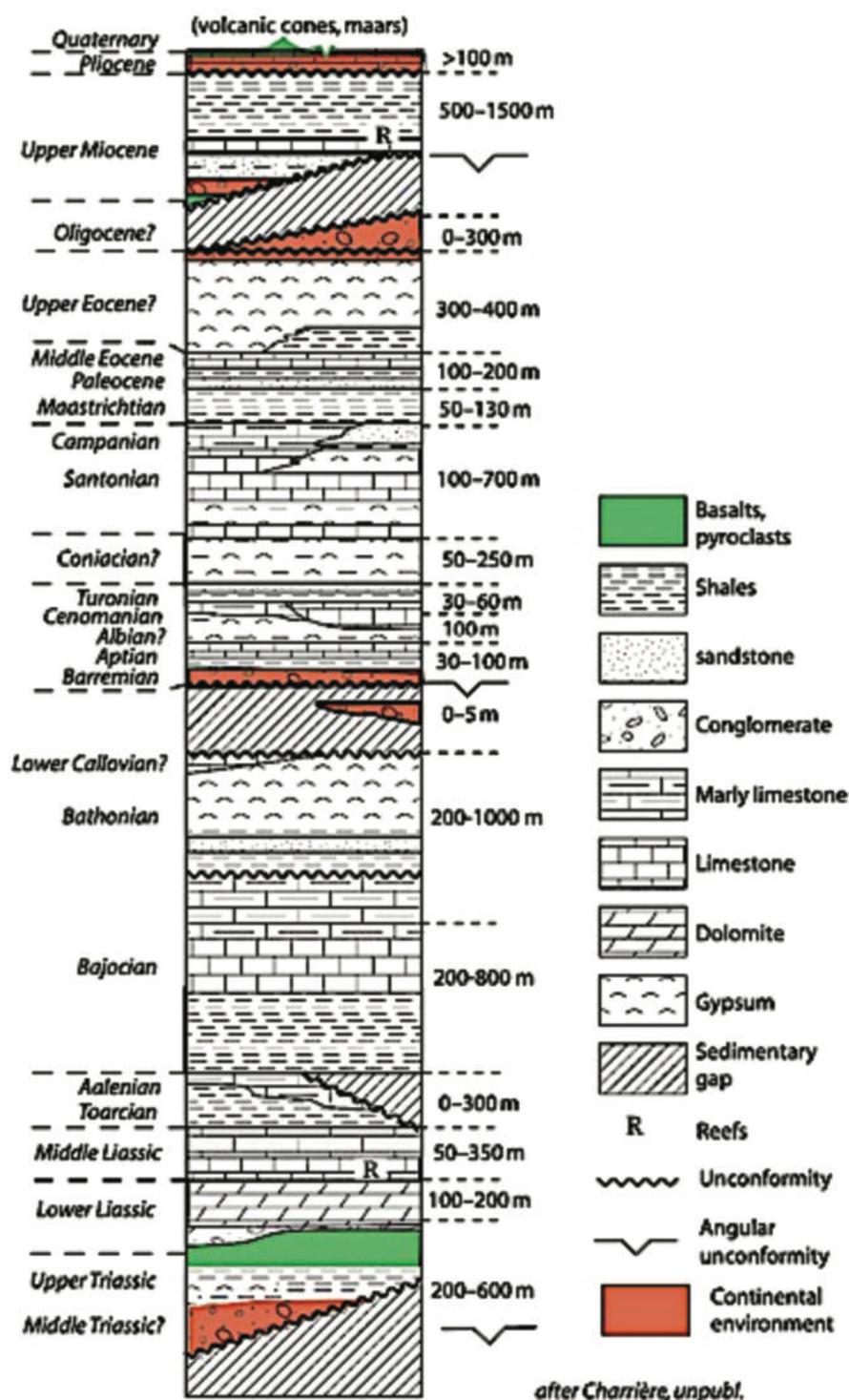


Figure 125 : Colonne stratigraphique du Moyen Atlas (d'après un document non publié d'A. Charrière, *in litt.*, 2007) où l'on note l'occurrence de trois cycles tectono-sédimentaires majeurs durant le Méso-Cénozoïque (*in* Michard et *al.*, 2008).



Figure 126 : Panorama montrant les séries du Permien, Trias et du Lias dans le bassin (ou couloir) d'Argana (Haut-Atlas occidental).

Les conglomérats et les argilites triasiques présentent une épaisseur considérablement plus grande que dans les autres parties du Haut Atlas. Au Jurassique inférieur et moyen, le Haut Atlas occidental est un domaine épicontinental avec une série carbonatée du Lias, surtout dolomitique, et une série rougeâtre constituée de conglomérats, de grès et d'argiles du Dogger.

Le **Massif ancien du Haut Atlas** (MAHA) est constitué de terrains du Paléozoïque et du Protérozoïque supérieur. Il est déformé, métamorphisé et granitisé au cours de l'orogénèse hercynienne, et a été fortement soulevé puisqu'il contient à présent les points culminants de la chaîne atlasique. Ce massif constitue la transition entre deux domaines hercyniens : la Meseta marocaine au Nord, avec à l'Ouest le Môle côtier d'âge cambrien à dévonien, modérément plissé et à l'Est une zone orogénique ; et l'Anti-Atlas au Sud, peu déformé. Cette partie du Haut Atlas est constituée essentiellement de roches cambriennes traversées par des granites hercyniens et découpées en blocs lors de l'orogénèse atlasique. Les terrains ordoviciens à Dévonien sont également connus au Sud d'Imi-n-Tanoute (Cornée et *al.*, 1987)<sup>267</sup>. Le MAHA n'a pas subi de déformation atlasique souple, la surface de la pénéplaine post-hercynienne et sa mince couverture restent horizontales. Par contre, lors des

<sup>267</sup> Cornée J.J., Destombes J. & Willefert (1987): stratigraphie du Paléozoïque de l'extrémité nord-ouest du Haut Atlas occidental (Maroc hercynien); interprétation du cadre sédimentaire du Maroc occidental. Bull. Soc. Géol. France (8), t. III, N° 2, pp:327-335.

mouvements atlasiques, ce massif cratonisé a été découpé par de nombreuses failles subverticales hercyniennes réactivées au Mésozoïque et au Cénozoïque (Cornée, 1989). Ce sont ces failles qui découpent le MAHA en panneaux inégalement soulevés. C'est ainsi que la partie centrale du Massif ancien domine la plaine du Haouz, avec un rejet vertical cumulé de 4.000 m. Ce dénivelé est moins important vers le Sud de la chaîne atlasique, en particulier dans la région du massif du Siroua (Anti-Atlas). La déformation atlasique se concentre plus sur les bordures qu'au sein même du MAHA.



Figure 126 : Série stratigraphique montrant les salines du Trias, la trilogie de ce dernier et le passage progressif vers les premiers dépôts calcaires du Lias inférieur dans la région de Ouirgane (Haut-Atlas occidental).

Le **Haut Atlas central (HAC)** est composé, le long de la transversale Midelt - Er-Rachidia, par la juxtaposition de deux domaines structuraux différents : le HAC septentrional, est encadré par Tizi n'Talghemt au Nord et Foug Zabel au Sud ; et le HAC méridional que délimite l'accident sud-atlasique.

Du point de vue sédimentaire, les bassins triasico-liasiques sont comblés par les produits de démantèlement et le lessivage des terres émergées et des paléoreliefs avoisinants. Le terme ultime de leur remplissage (série post-rift) est représenté par les argilites rouges supérieures du Trias, qui évoluent en carbonates lors du maximum transgressif au Lias inférieur (Fig. 127) ; d'où l'extension des dépôts marins et la généralisation de la sédimentation carbonatée presque à tout le domaine atlasique. Cette amorce de la sédimentation carbonatée néritique devient effective durant le Lias moyen avec l'installation d'une plateforme carbonatée différenciée et l'individualisation de milieux relativement plus profonds (Fig. 128).

Le **HAC septentrional** est organisé en vastes dépressions synformes que séparent des rides anticlinales étroites : le soubassement des synclinaux, en partie drapé par les placages plio-quadernaires, est composé de dépôts essentiellement marneux du Toarcien et du Dogger ; les rides, à ossature carbonatée (Lias inférieur et moyen), sont faillées et injectées d'argilites triasico-liasiques et/ou intrudées d'intrusions jurassico-crétacées. Le **HAC méridional**, subtabulaire, est un vaste plateau formé essentiellement de carbonates néritiques du Lias et de l'Aaléno-Bajocien ; la série sédimentaire de ce domaine est contaminée par les détritiques terrigènes et silico-clastiques ainsi que par les évaporites.



Figure 128 : Synclinal à fond plat des formations calcaires à *Cancellophycus* de l'Aalénien-Bajocien, culminant dans les pinacles de récifs des «calcaires corniches» de Jbel Assemour n'Ait Fergane à l'est de la ville de Rich, Centre-Est du Haut Atlas (photo encadrée).

### Évolution sédimentaire et structurale du domaine atlasique (Fedan & El Hassani, 2018)

La première étape de l'évolution du domaine atlasique est caractérisée par une stabilité relative. Toutefois, les dépôts du Lias inférieur-moyen ont enregistré une déformation synsédimentaire qui se généralise et s'intensifie vers la fin du Domérien où elle s'exprime sous forme d'un épisode tectonique. En effet, la «crise tectonique» qui marque le passage Domérien-Toarcien est responsable de la dislocation de la plateforme carbonatée liasique et de l'individualisation des bassins atlasiques (Moyen Atlas et Haut Atlas). Ces bassins, de forme losangique, sont encadrés par les plateformes résiduelles et organisés en dépocentres que délimitent des rides actives pendant la sédimentation. Ce sont des rides anticlinales qui ont des directions et des structures variées ; elles sont jalonnées par des failles et des injections d'argilites triasico-liasiques. Ces rides sont disposées en relais alternants et ont connu une activité complexe au cours du Lias supérieur et du Dogger : les rides

actives pendant le Toarcien et l'Aaléno-Bajocien sont fossilisées et relayées par une autre direction durant le Bathonien- ? Callovien ; la remobilisation d'une même ride peut être diachrone.

La série de remplissage de ces bassins, à dominante détritique (argilites, marnes et grès), montre des récurrences carbonatées et évaporitiques, avec des développements locaux de la matière organique. Le comblement de ces aires de dépôts s'est déroulé, essentiellement, pendant le Toarcien et l'Aaléno-Bajocien où il est marqué par une inflation de la sédimentation et le développement de deux vasières : l'une au Toarcien inférieur-moyen et l'autre au Bajocien inférieur (zones à *Sauzei* et à *Humphriesianum*). Ces épandages argileux et marneux entraînent l'engorgement des structures des bassins et l'envasement partiel des plateformes résiduelles. Les vasières sont bloquées par l'instauration de deux régimes néritiques carbonatés : du Toarcien supérieur jusqu'au Bajocien inférieur (zone à *Laeviuscula*) et pendant le Bajocien supérieur-Bathonien basal. Ces deux épisodes carbonatés, bien exprimés sur les marges des bassins et au droit des rides actives, perdent de leur identité lithologique et acquièrent un cachet marneux dans l'axe des dépo-centres. Le remblaiement des bassins se termine durant le Bathonien- ? Callovien par une sédimentation à dominante détritique terrigène, matérialisant la sénescence de ces bassins qui se réduisent à de simples gouttières, suite à un début de serrage. Ce paysage bathonien ? - callovien est complété par l'installation de lagunes côtières et de cônes molassiques, produits de l'érosion des premiers reliefs atlasiques. Les bassins atlasiques, ainsi comblés, sont cicatrisés et suivent une évolution continentale au même titre que les plateformes résiduelles adjacentes. Après quoi, la mer se retire dans le Maroc nord-oriental où règnent encore, durant le Malm, des conditions marines franches.

A cette évolution structuro-sédimentaires des bassins jurassiques est associée une activité magmatique, bien exprimée et très différenciée dans le Haut Atlas central. Ces intrusions subvolcaniques sont localisées dans les zones de recouvrement des rides majeures et dans leurs terminaisons distensives. Elles attestent d'un amincissement crustal qui a engendré dans l'encaissant sédimentaire un métamorphisme général. Quant aux intrusions, elles ont généré un métamorphisme de contact dont l'intensité diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne des plutons ou que l'on monte dans la série de remplissage.

Le jurassique atlasique marocain a enregistré les différents événements ayant marqué la marge sud de la Téthys. L'instabilité du domaine atlasique et la mobilité du réseau de fractures qui l'affecte ont instauré le canevas structural ayant guidé les paléogéographies successives. De plus, cette activité tectonique pérenne a favorisé la mise en place des venues magmatiques, étagées dans le temps. L'inondation de ce cadre morphostructural par la Téthys de reconquête a permis le dépôt de corps

sédimentaires très variés dont les enchaînements sont contrôlés par les variations eustatiques. Ce plan d'eau (la Téthys) a facilité le brassage de peuplements fauniques appartenant à des provinces paléogéographiques différentes : boréale et arabo-malgache, en particulier ; sans oublier le foisonnement des vertébrés (crocodiliens et dinosauriens) et des coraux bioconstructeurs.

La **région d'Aït Athmane** (HAC) est intéressante pour la connaissance de l'environnement sédimentaire de cette partie du Haut Atlas, par la présence de **calcaires bioconstruits jurassiques** (Fig. 129).

Le Lias et le Dogger forment les entablements carbonatés du Haut Atlas central méridional, qui sont entaillés par l'oued Ziz. Sur la rive droite de ce cours d'eau, en aval de la localité d'Aït Athmane et le long de la route principale n° 21 (Meknès - Er-Rachidia), affleurent le Lias moyen et l'Aaléno-Bajocien. Les différents termes de la succession liasiques affleurent largement, et la transition Domérien-Toarcién est bien cernée.

Le sommet du Domérien est représenté par des calcaires bioconstruits, gris à noirâtres, de stratonomie variée et localement dolomités, où s'intercalent des passées de marnes rouges. La biophase est composée essentiellement de grands Lamellibranches (*Megalodon* sp., *Lithiotis* sp et *Cochlearites* sp.), en position de vie ou remaniés, auxquels sont associés des Polypiers, des algues et des Gastéropodes. Une surface ferrugineuse, à ammonites encroûtées, clôture ces carbonates néritiques. Vient ensuite, la succession des termes suivants : des calcaires noduleux à grands Lamellibranches remaniés, où s'intercale un banc pluri-décimétrique de calcaire bioclastique et oolithique au sommet ; un calcaire bioclastique à grands Lamellibranches. Cet ensemble carbonaté est coiffé par une surface irrégulière ferrugineuse.

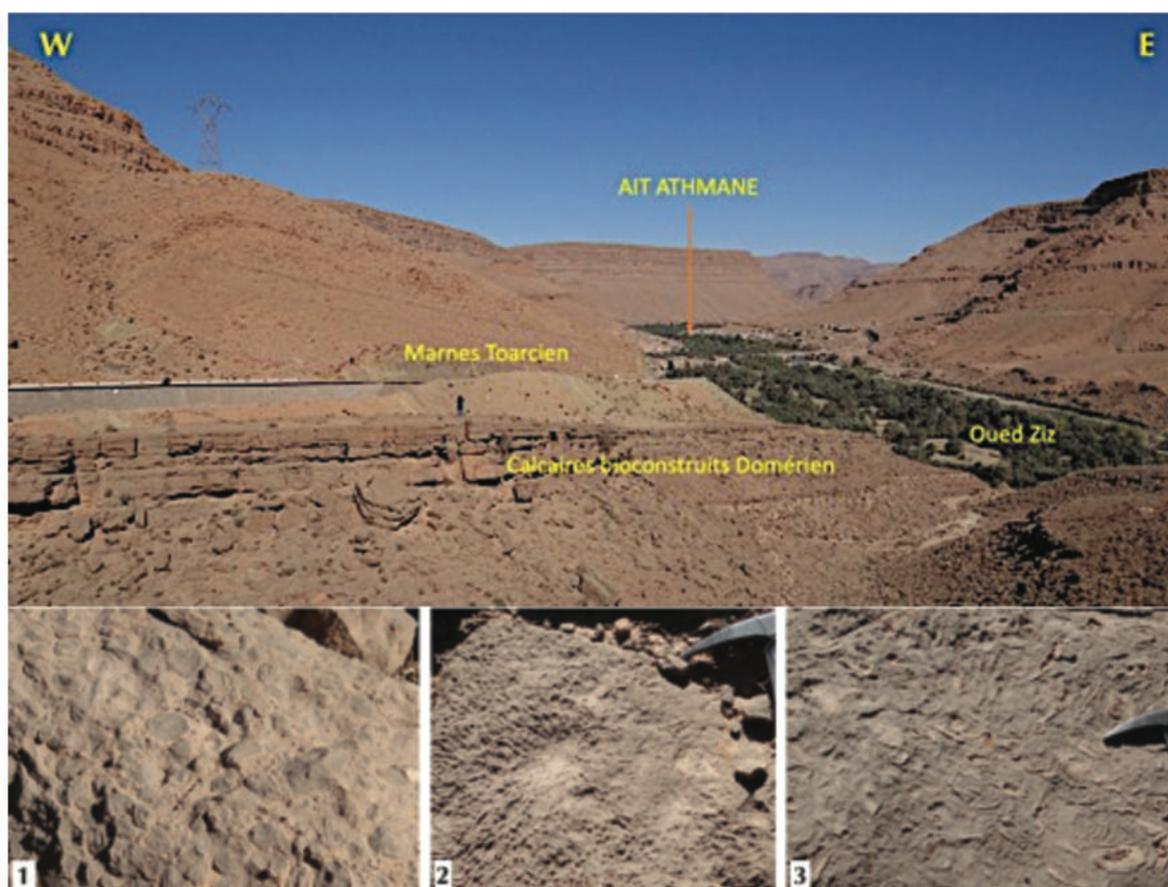


Figure 129 : Les constructions récifales du Domérien au sud du village Ait Athmane (Haut Atlas central) ; Les agrandissements montrent les différents faciès des calcaires biostromaux : 1. Massifs, 2. avec petits coraux phacéloïdes et 3. à gros bivalves.

Les dépôts toarciens, à dominante marneuse, sont très variés à la base. Ils débutent par une semelle lumachellique à huîtres phosphatées, ferrugineuse au sommet. Vient ensuite, un banc pluridécimétrique de calcaire argileux, bioclastique et noduleux, à : lamellibranches, gastéropodes et brachiopodes (*Stolmorhynchia bouchardi* Davidson) du Toarcien inférieur (zone à Levisoni). Il est coiffé par une surface d'érosion ferrugineuse. Leur succèdent des marnes vertes à versicolores, qui sont armées, à la base, de lentilles et de bancs décimétriques noduleux, de calcaires argileux. Ces marnes, très dilatées, ont livré une biophase diversifiée du Toarcien moyen (zone à *Bifrons*) : ammonites (*Hildoceras* sp., *H. lusitanicum* Meist., *H. sublevisoni* Fuc., *Harpoceras* sp. et *Phylloceras* sp.), nautilus, brachiopodes, lamellibranches (*Pholadomies*) et gastéropodes. Cette succession de faciès toarciens est coiffée par les carbonates **toarço-aaléno-bajociens**, qui forment des corniches, bien repérables dans le paysage.

**En conclusion**, l'évolution structuro-sédimentaire du domaine des chaînes atlasiques au Mésozoïque peut se résumer en trois étapes majeures. La première (**Trias supérieur - Lias inférieur**) est marquée par l'individualisation et l'évolution

de bassins subsidents à dépôts détritiques rouges où s'intercalent des coulées de basaltes tholéiitiques, ensuite par le développement d'une plateforme carbonatée où se différencient les bassins du Haut Atlas et du Moyen Atlas, d'obédience téthysienne. La deuxième (**Toarcien - Bajocien**) se caractérise par la dislocation de la plateforme carbonatée liasique et l'apparition de bassins subsidents, organisés en rides et en dépo-centres, à remplissage essentiellement marneux. La troisième (**Bathonien - Malm**) voit le comblement des bassins (Haut Atlas et Moyen Atlas) se terminer par des évaporites et des détritiques terrigènes, circonscrits dans des cuvettes peu subsidentes, qui témoignent de leur sénescence. Le style tectonique est généralement celui de plis à grand rayon de courbure et des failles de différente nature : normale, inverse, chevauchante, décrochante (Fig. 130).

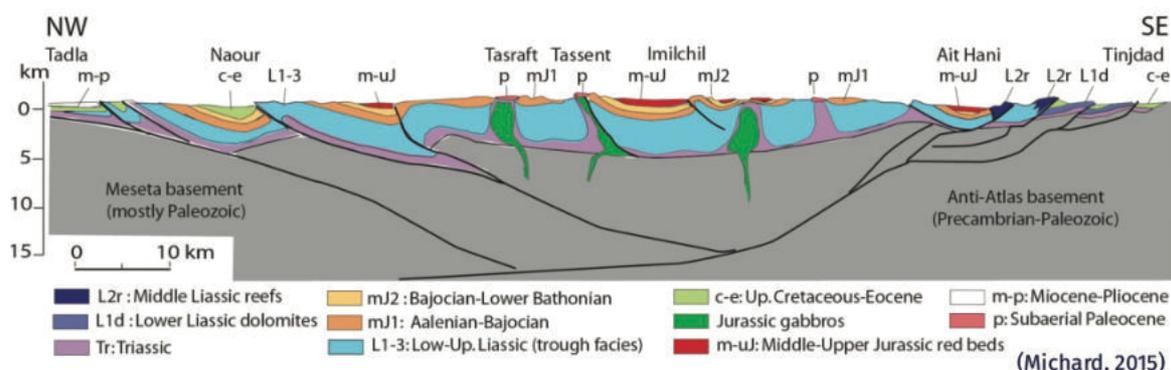


Fig. 130 : style tectonique de la transversale NW-SE du Haut Atlas.

Les formations du Jurassique et surtout celles du Crétacé (Barrémien-Aptien) sont souvent riches en fossiles (ammonites notamment), mais font souvent l'objet d'un vandalisme et une exploitation abusive (fig. 131). Un commerce florissant dont la population locale en bénéficie très peu. Ce pillage est tellement important que ces «receleurs de trésors fossilifères» finiront, si rien n'est fait, à nuire aux recherches géologiques au Maroc et à la connaissance profonde de son patrimoine (et donc à son histoire). En effet, il s'avère que beaucoup de fossiles découverts dans certaines régions du Royaume par des amateurs, échappent aux scientifiques marocains (ou travaillant sur la géologie marocaine) car ils sont soit vendus aux étrangers, soit tout simplement exposés comme décor dans certaines habitations. Ce pillage risque à court terme de nuire et masquer une partie de la richesse géologique du Maroc et en conséquence nuire à la recherche scientifique.

A ce titre, les lois qui devraient être établies par les autorités compétentes, permettront de réduire ce pillage surtout si elles mettent en place un système de surveillance qui permettra de veiller, par tous les moyens, à l'application des lois et devraient limiter l'accès à des sites d'intérêts géologiques, définis auparavant. Ces actions permettront une sauvegarde des sites et contribueront sans aucun doute à une exploitation rationnelle et durable de ce patrimoine.



Fig. 131 : photos montrant l'énormité du pillage des ammonites dans un pays qualifié par la communauté des géoscientifiques de « Paradis des géologues », avec un exemple de fouilles dans les montagnes au Nord d'Agadir dans le Haut Atlas occidental.

### Le domaine du Rif

C'est le domaine le plus septentrional du Maroc et aussi le plus jeune du point de vue structural, avec la particularité du prolongement des structures vers le nord par la chaîne ibérique (Espagne) et aussi vers l'est dans le Tell algérien. Ainsi, la chaîne du Rif forme la partie la plus occidentale de la chaîne maghrébine (alpine), qui s'étend le long de la côte nord-africaine et continue vers l'est jusqu'en Sicile et en Calabre dans le sud de l'Italie, se poursuivant ensuite dans les Alpes françaises et suisses, puis en Grèce. Le Rif forme le membre méridional de l'arc de Gibraltar, dont la partie nord correspond aux cordillères bétiques (Fig. 132). Dans ces dernières, on retrouve la même séquence de nappes que celles du Rif, avec la Dorsale calcaire, les Malaguides qui sont l'équivalent des Ghomarides et les Alpujarides qui sont

l'équivalent des Sebtides. Les péridotites de Ronda sont l'équivalent ibérique des péridotites de Béni Bousera, en dessous desquelles se trouvent les nappes crustales très développées ; ce sont les Nevado-Filabrides, qui représentent la partie la plus profonde du Domaine d'Alboran, dont on retrouve l'équivalent à Ceuta (orthogneiss du Monte Hacho).

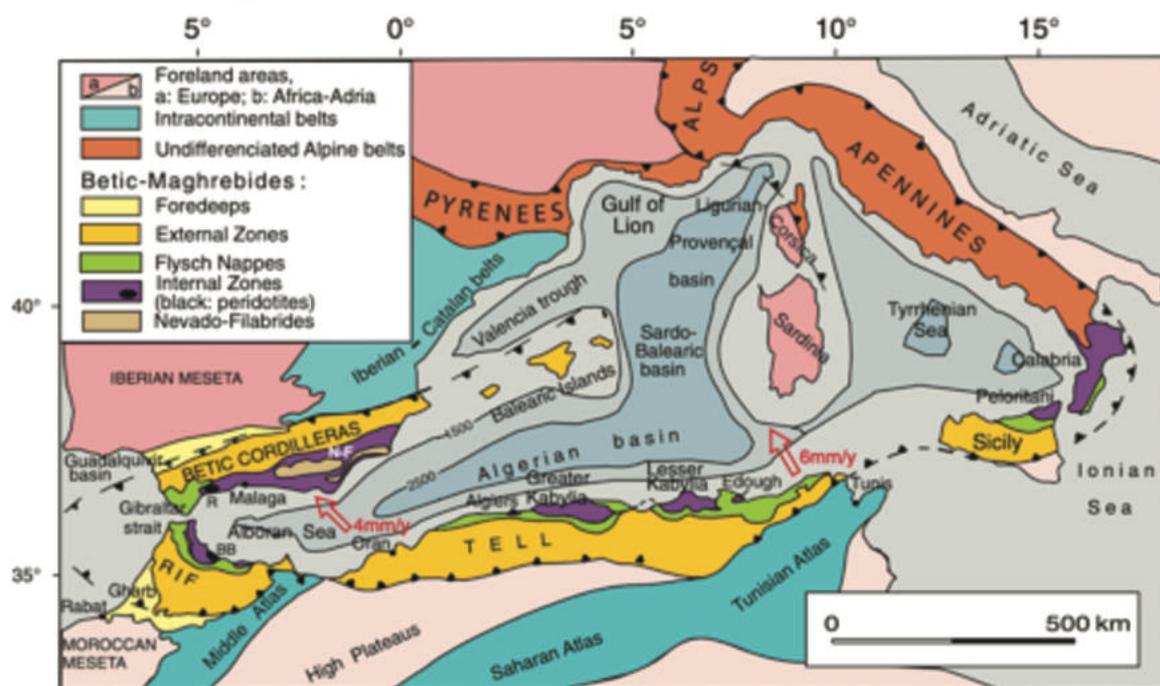


Figure 132 : Carte montrant la chaîne alpine dans son cadre des chaînes alpines de la Méditerranée occidentale. Flèches rouges : direction et vitesse de la convergence récente Afrique-Europe. BB : Beni Bousera ; N-F : Nevado-Filabrides ; R : Ronda (*in* Chalouan et al., 2008)

Le Service de la Carte géologique (créé en 1921) et les géologues travaillant au Maroc ont toujours privilégié ce domaine. Après avoir achevé l'excellente carte géologique du Maroc nord, en six feuilles au 1 :500.000<sup>ème</sup> (dont les feuilles de Rabat et d'Oujda, publiées en 1954, couvrent la totalité de la chaîne du Rif), ce Service se lance rapidement dans la cartographie du Rif au 1 :50.000<sup>ème</sup>, alors que le reste du Maroc est cartographié au 1 :100.000<sup>ème</sup> (domaine atlasique) ou au 1 :200.000<sup>ème</sup> (domaine de l'Anti-Atlas). Par ailleurs, deux cartes au 1 :500.000<sup>ème</sup> du Rif ont été réalisées par Suter en 1975 (publiées en 1980), l'une géologique, l'autre structurale, matérialisant la mise à jour des données nouvelles, sous forme de synthèse de tous les documents disponibles à cette date (Fig. 133). Ces cartes, contrairement à l'habitude, n'ont pas été accompagnées de notices explicatives.

La chaîne du Rif appartient à un orogène beaucoup plus grand, c'est-à-dire l'orogène Bético-Rifo-Tellien, qui occupe une position clé dans le système orogénique qu'est la chaîne alpine méditerranéenne encore plus grande. Cette chaîne, née d'une

collision, est constituée par un empilement de nappes de charriage que les géologues résument en trois grandes unités (Fig. 134).

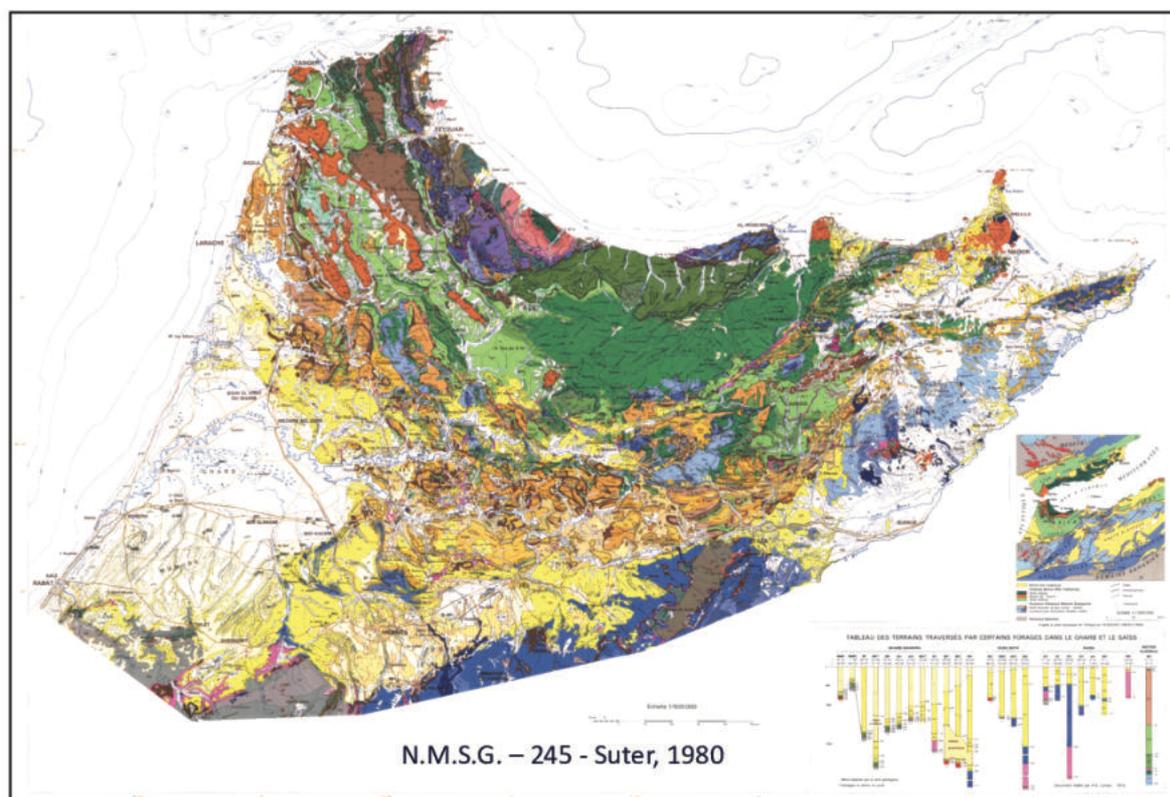


Fig. 133 : Carte géologique du domaine rifain montrant une structure arquée (Suter, 1980)

Cette chaîne, faite d'un empilement très complexe d'unités tectoniques, est subdivisée en trois unités structurales majeures, formant l'arc de Gibraltar ; on distingue ainsi de l'intérieur vers l'extérieur de la chaîne du Rif et de bas en haut, (Fig. 134) :

- les **zones internes** (Internides rifaines) ou **domaine d'Alboran**, puisqu'on les retrouve dans les Bétiques de l'autre côté de la mer d'Alboran et même dans celle-ci (Chalouan et *al.*, 2008), sont à leur tour constituées de trois parties : les Sebtides, les Ghomarides et la Dorsale calcaire. Ces zones sont aussi caractérisées par un métamorphisme qui a atteint des degrés très élevés dans les unités les plus profondes. Les synthèses géologiques *offshore* indiquent la présence de sédiments néogènes déformés, un socle continental faillé (semblable à celui des Sebtides) dans la mer d'Alboran, et enfin des volcans calco-alcalins, semblables à ceux du Rif oriental

*onshore*. Ainsi, la mer d'Alboran correspond alors à un domaine de croûte continentale amincie<sup>268</sup>.

- les **zones externes**, subdivisées depuis Suter (1980) en Intrarif, Mésorif et Prérif, dont les séries sédimentaires se raccordent à celles de l'avant-pays (domaines mésétien et atlasique) ;

- les **nappes des Flyschs maghrébins**, entre ces deux grandes zones, où dominent les séries à dominante turbiditique, dont les plus anciennes (Jurassique à Éocène) sont typiques d'un domaine océanique, aujourd'hui disparu.

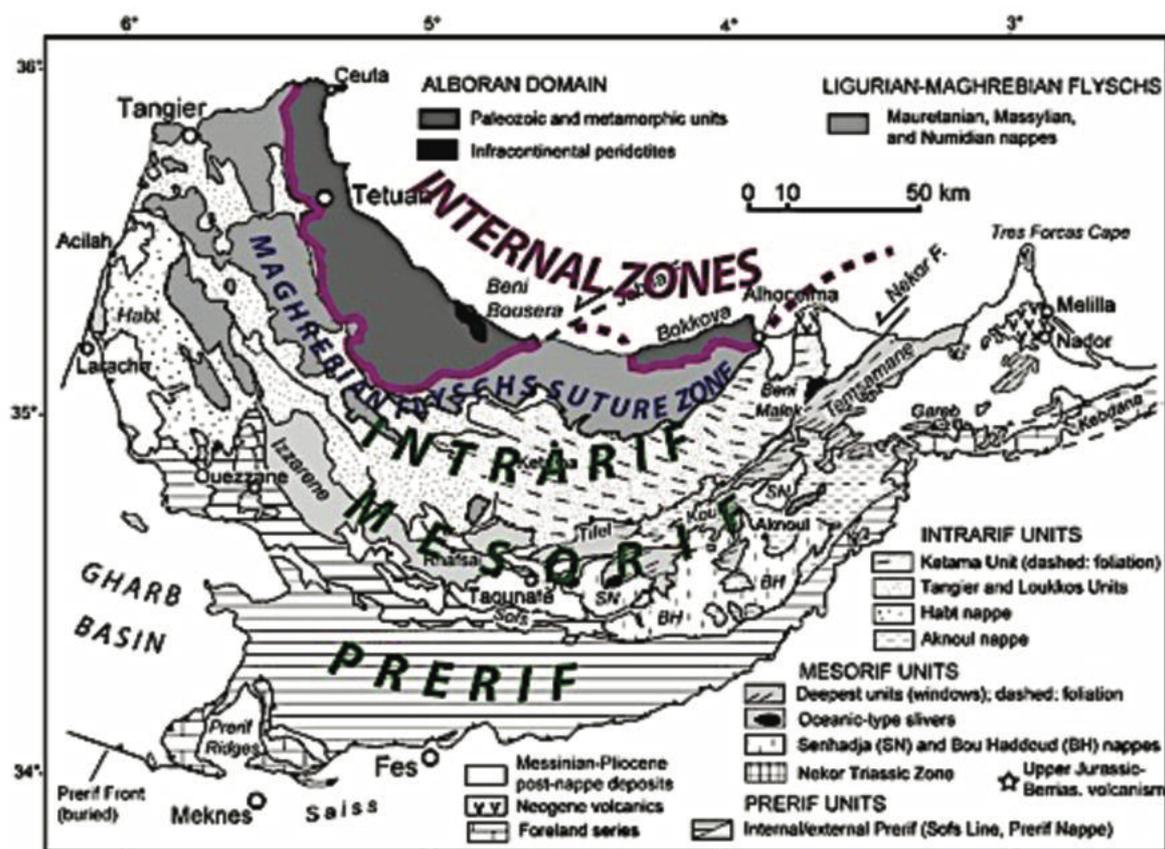


Figure 133 : Carte montrant les zones structurales majeures (synthèse de Michard 2015, inédit, d'après les données de Suter, 1980 et de Chalouan et *al.*, 2008<sup>269</sup>)

<sup>268</sup> Voir: Chalouan A. *et al.*, in Michard et al., *Geology of Morocco*, 2008; et Michard et al., 2011, *Nouveaux Guides géol. Maroc*, vol. 1 : Présentation des circuits, Introduction à la géologie du Maroc ; Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc, N° 556 ; 68p.

<sup>269</sup> Chalouan A. *et al.*, in Michard et al., *Geology of Morocco*, 2008; et Michard et al., *Nouveaux Guides géol. Maroc*, vol. 1, 2011

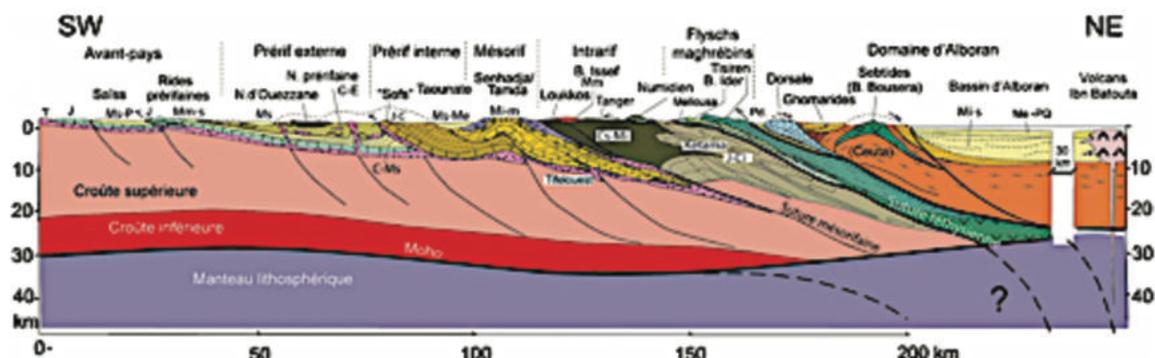


Fig. 134 : Coupe crustale interprétative (Chalouan et *al.*, 2008)

Dans cette architecture, les zones internes sont séparées des zones externes par une cicatrice qualifiée de suture majeure. Les zones externes dérivent de la marge africaine, les zones internes sont allochtones, elles sont venues s'accoler à la marge africaine lorsque l'océan des flyschs a disparu (Michard et *al.*, 2008).

**Les zones internes**, affleurent dans Rif septentrional à l'ouest et dans le massif des Bokoyas à l'est (Figs. 135, 136 et 137). On y trouve trois complexes de nappes ; le plus externe est celui de la Dorsale calcaire, que vient chevaucher le complexe des nappes Ghomarides, chevauché à son tour par le complexe des Sebtides, situé sous les Ghomarides entre Ceuta (Sebta) et les Beni Bousera.

- Les **Sebtides** sont constituées d'unités continentales déplacées vers l'ouest sur plusieurs centaines de kilomètres. Elles forment respectivement les plaques supérieure et inférieure d'un complexe de noyau métamorphique. Dans le Rif, la plaque inférieure correspond à l'unité des Sebtides, constituée principalement de roches crustales relativement profondes telles que les micaschistes, les migmatites et les granulites (Figs. 138 a et b), associées aux péridotites du manteau (péridotites de Beni Bousera). Les Sebtides supérieures (unités Federico) comportent aussi des couches permiennes et triasiques continentales, mais cette fois métamorphiques.
- Les **Ghomarides** sont constituées par des roches sédimentaires du Paléozoïque (Ordovicien, Silurien, Dévonien et Carbonifère) sous forme de schistes et calcaires. Il s'agit d'un ensemble de nappes, séparées les unes des autres par les couches de grès rouges continentaux du Trias.
- La **Dorsale calcaire**, dominée par des carbonates du Trias et du Lias, représente la nappe la plus externe du Rif interne et donne des reliefs assez importants, comme c'est le cas au Nord et au Sud de la ville de Tétouan.

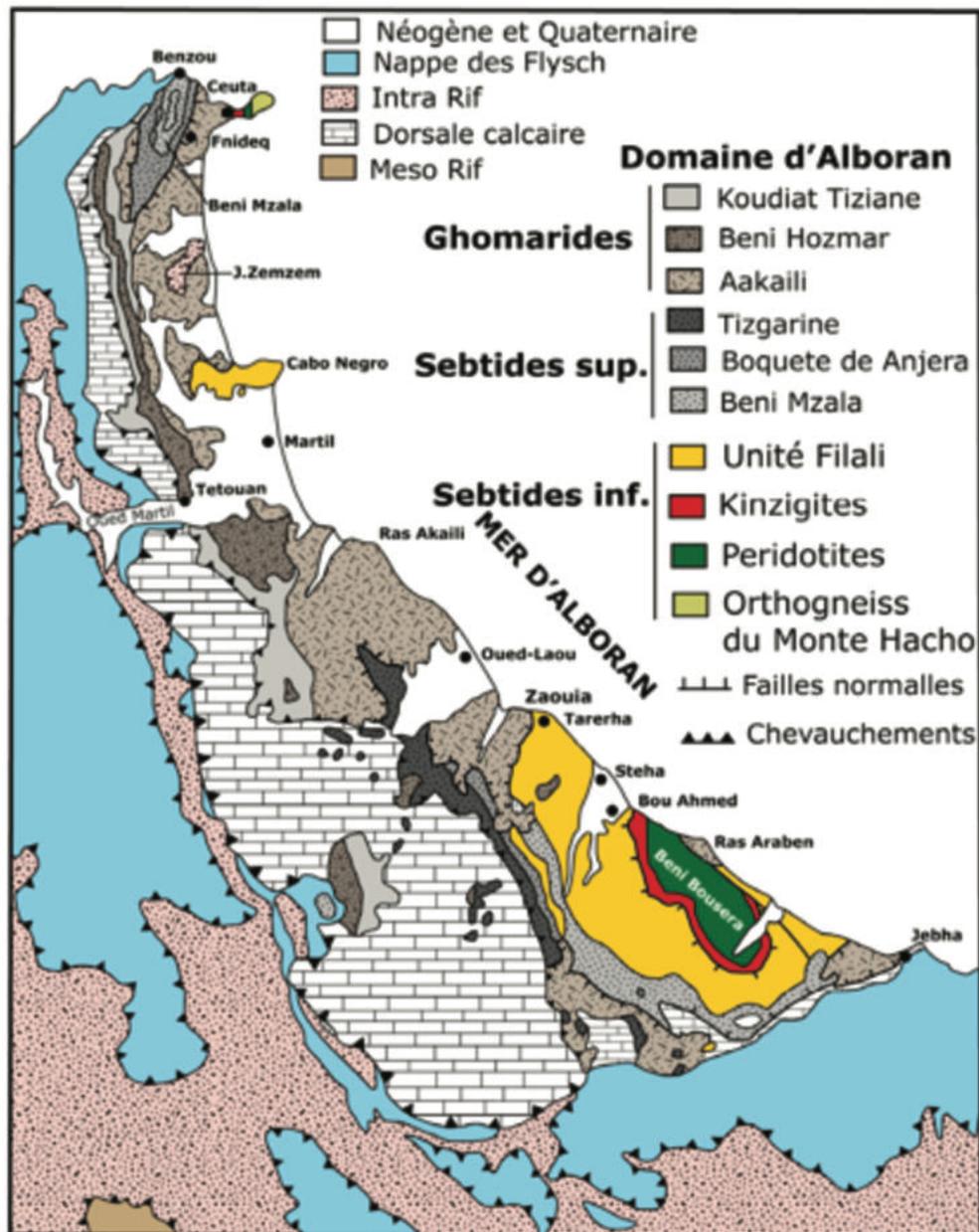


Figure 135 : Carte montrant les différentes composantes du Rif interne (in Afiri, 2011).

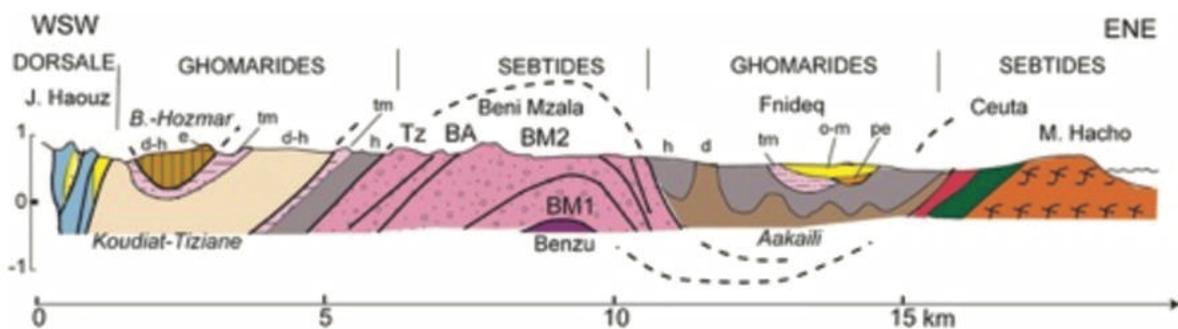


Figure 136 : Coupe géologique du Rif interne dans la partie nord de ce domaine (d'après Chalouan et al., 2008, 2011)



Figure 137 : Panorama montrant les trois constituants du Rif interne (du NE au SW : les Sebides, les Ghomarides et enfin la Dorsale calcaire).



Figure 138-a : Photo montrant les gneiss du socle cristallophyllien des Sebides inférieures (à l'Est du port de Mdiq, en contrebas nord de Koudiat Taïfour) correspondant à l'Unité Filali.



Figure 138-b : Photos montrant le détail des gneiss du socle cristallophyllien des Sebtides inférieures (l'Unité Filali).

### **Le massif de Béni Bousera (péridotites de Béni Bousera)**

L'un des sites les plus spectaculaires du Rif est celui des péridotites de Béni Bousera (ou massif de Béni Bousera) qui sont constituées par un empilement de trois ensembles à caractéristiques lithologiques contrastées (Afiri, 2011) : Sebtides (péridotites, granulites, micaschistes et gneiss de Filali, schistes de Federico), Ghomarides (sédiments détritiques) et la Dorsale calcaire (Fig. 135).

Les contacts entre les unités Ghomarides et les unités Sebtides sous-jacentes, et entre l'unité de Filali (micaschistes et gneiss) et les péridotites sont des failles normales à faible pendage (Chalouan et *al.*, 1995). A Ras Aaraben, les Ghomarides sont séparées des péridotites par une faille normale (Kornprobst, 1974). Le contact entre les péridotites et les granulites est un cisaillement ductile de haute température (Reuber et *al.*, 1982).

Ces péridotites représentent *un témoin du manteau*, dont le mécanisme d'exhumation et l'insertion dans l'arc bético-rifain seraient ceux d'une croûte à partir du manteau subcontinental pendant la formation de la chaîne alpine (Saddiqi et *al.*, 1988). Il s'agit, de ce fait, d'un affleurement important pour l'histoire géologique de la chaîne alpine ouest méditerranéenne (Fig. 139), ce qui lui vaut d'être visité par plusieurs géologues et mériterait d'être classé en tant que site géologique à sauvegarder.

Ces péridotites forment un bombement anticlinal tardif (sorte de dôme elliptique) de direction NW-SE, faillé sur son bord NE, qui du reste est bien dessiné par la foliation et le rubanement des lits de pyroxénite. C'est un corps de près de 2 km d'épaisseur, prise entre deux lames de roches crustales. Les péridotites de Beni Bousera ont leurs équivalents en Espagne (à Ronda) ; toutes deux constituent les plus beaux exemples connus de péridotites infracontinentales.

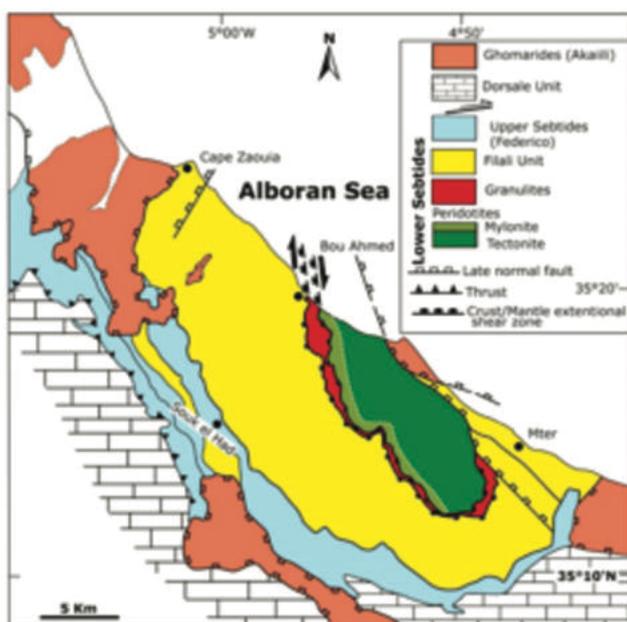


Fig. 139 : Carte géologique simplifiée du Massif de Béni Bousera (modifiée d'après Kornprobst, 1974) montrant la nature des contacts entre les différentes unités (Afiri, 2011).



Photo des péridotites en bord de mer (Saddiqi)

**La zone des Flysch maghrébins** est caractérisée par des séries sédimentaires de mer profonde dont l'âge va du Crétacé inférieur au Miocène inférieur. Structuralement, ces flyschs sont disposés en nappes au-dessus de l'unité parautochtone de Ketama (Fig. 134), et sont interprétés comme issues d'un bassin océanique étroit entre le domaine de la marge mésorifaine au sud et le domaine d'Alboran au nord, rattaché à la partie sud-est de la marge ibérique. Des écailles basaltiques (en pillow-lavas) se retrouvent au niveau de cette suture de flyschs. Cette zone, qui se situait entre les Internides, originellement rattachées à l'Europe, et les Externides africaines, a donc été océanisée au moins partiellement et jouait alors le rôle d'accident transformant entre Atlantique médian et domaine océanique ligurien, en cours d'ouverture (Durand-Delga et al., 2000)<sup>270</sup>.

**Les zones externes**, affleurent de chaque branche de l'arc de Gibraltar et proviennent respectivement de deux paléomarges distinctes de l'Afrique et de la péninsule ibérique. Par conséquent, contrairement aux nappes des zones internes et des Flyschs, les zones externes du Rif ne présentent aucune continuité stratigraphique / structurale à travers le détroit de Gibraltar. Structuralement, chaque unité se compose de complexes tectoniques constitués de nappes empilées, avec des lithologies similaires au sein d'un complexe donné, mais contrastant d'un complexe à l'autre. Il en résulte des morphologies de surface, illustrées par la coupe transversale associée (Figs. 134 et 141), mettant en évidence les principales lignes structurales de la chaîne du Rif sur la base d'études approfondies et intégrées et d'une cartographie détaillée (Fig. 140). Ces études ont permis à Michard et al. (2014) de

<sup>270</sup> Durand-Delga M., Rossi Ph., Olivier Ph. & Puglisi D. (2000) : Situation structurale et nature ophiolitique de roches basiques jurassiques associées aux flyschs maghrébins du Rif (Maroc) et de Sicile (Italie). C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes, N°331, pp : 29-38.

tracer deux coupes structurales, interprétatives, N-S (Rif central ; Fig. 141) et NW-SE (Rif oriental ; Fig. 142), qui permettent d'avoir une meilleure idée sur le style structural des zones externes. Ces zones sont classiquement divisées, de haut en bas, en zones Intrarif, Mésorif et Prérif (Suter, 1980) ; (Figs. 133 et 140).

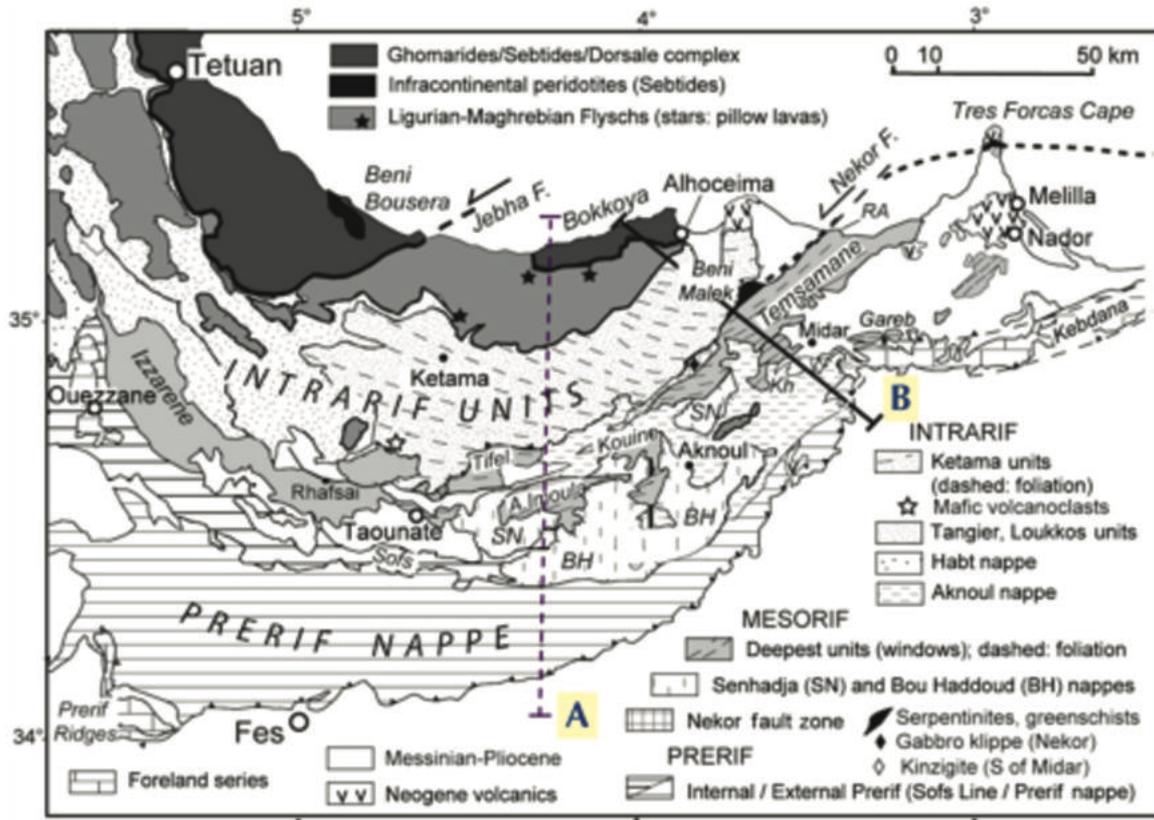


Figure 140 : Carte structurale du Rif central et oriental avec accent sur les zones externes, d'après Michard *et al.* (2014). A : coupe interprétative dans le Rif central (Fig. 141) et B : coupe dans le Rif oriental (Fig. 142).

**La zone intrarifaine** correspond à l'unité de Kétama dans le Rif central et oriental. Elle est constituée principalement de pélites et de turbidites siliciclastiques d'âge Crétacé inférieur ; les unités de marnes et de schistes du Crétacé supérieur de Tanger et du Loukkos, partiellement détachées de l'unité de Kétama, et les nappes du Crétacé supérieur-Cénozoïque tardif de Habt (Rif occidental) et d'Aknoul (Rif oriental), entièrement détachées et charriées sur les zones mésorifaine et prérifaine.

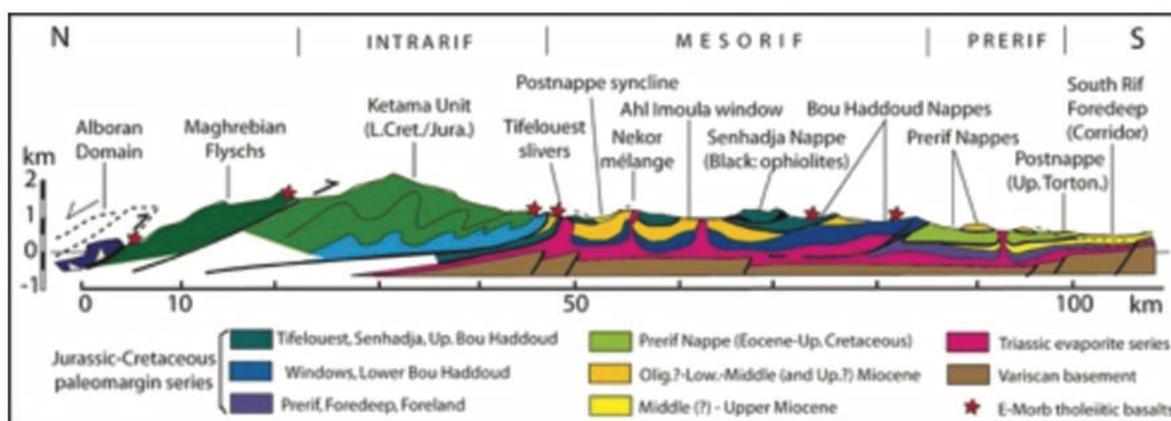


Figure 141 : Coupe transversale schématique du Rif central basée sur la carte structurale du Rif, échelle 1:500 000 (Suter, 1980), et sur la carte géologique du Maroc, échelle 1:50 000, feuilles Taineste (Leblanc, 1983) et Dhar Souk (Vidal, 1983). Voir la figure 140 pour la localisation., d'après Michard et *al.* (2014)<sup>271</sup>.

**La zone mésorifaine** est constituée d'unités allochtones (sous forme de nappes) comprenant des formations du Trias au Miocène inférieur. Ces nappes chevauchent les unités parautochtones du Mésorif, qui affleurent dans des fenêtres tectoniques et dont les séries se terminent par des turbidites et des olistostromes du Miocène moyen-supérieur. Des affleurements du Trias évaporitique sont dispersés dans les contacts tectoniques au sein des nappes mésorifaines, ainsi que dans les intrusions diapiriques dans les fenêtres du Mésorif. Les évaporites sont fréquemment associées à des basaltes altérés ou "ophites" vraisemblablement liés à la Province Magmatique de l'Atlantique Central, qui est bien définie dans l'avant-pays (Mahmoudi & Bertrand, 2007).

**La zone prérifaine** est constituée d'unités du Jurassique à Miocène moyen, détachées sur les évaporites triasiques sous-jacentes et charriées vers l'avant-pays. Les carbonates et les séquences "ferrysch" du Jurassique se présentent sous forme de guirlandes ou d'alignements de rochers affleurant dans une topographie marneuse et "molle", appelés "sofs" dans le Prerif interne, tandis que les séquences marneuses du Crétacé-Éocène et du Miocène se détachent plus au Sud. Le front de la nappe du Prerif (Fig. 143), est interstratifié dans les marnes sableuses du Miocène supérieur de l'avant-pays du Rif (bassin du Gharb).

Les principaux contacts de plis et de chevauchements de l'ensemble des zones externes sont scellés par la transgression de conglomérats et de marnes sableuses du Tortonien supérieur (molasses) qui enregistrent l'effondrement vers le sud du prisme tectonique (Samaka et *al.*, 1997). Ces dépôts marins les plus jeunes de la région ont été plissés pendant le Messinien-Pliocène et sont préservés aujourd'hui dans de

<sup>271</sup> Bull. Soc. géol. France, 2014, t. 185, no 5, pp. 313-328

grands synclinaux "post-nappe". Des diapirs triasiques sont dispersés dans toute la région, fréquemment associés à des étangs salés et des carrières de gypse (Chalouan *et al.*, 2011).

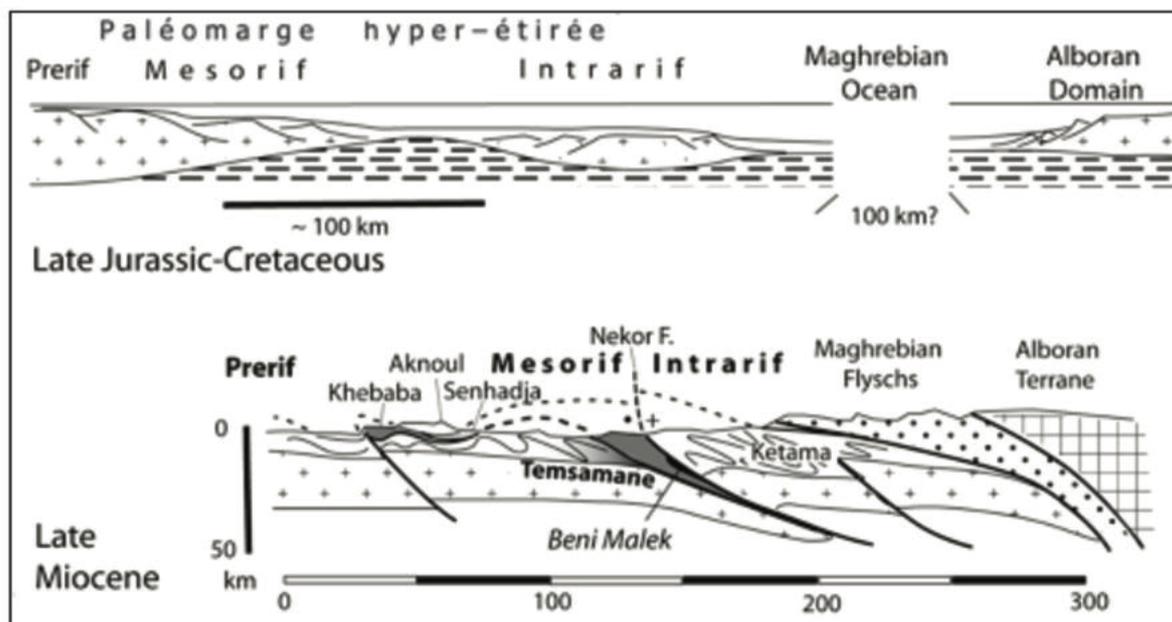


Figure 142 : Coupe dans le Rif oriental montrant le style tectonique de la région (d'après Michard *et al.*, 1992, 2007 et 2014)



Figure 143 : Vue des rides pré-rifaines du Jbel Zerhoun constituant le front des nappes rifaines, avec en contre-bas le sillon sud rifain (plaine du Saïss), vue depuis la ville de Meknès.

### **Bref aperçu des unités formant le Rif oriental et volcanisme plio-quadernaire.**

Le massif des Beni Malek constitue un point saillant de cette région (Figs. 144 à 147). Ce sont des serpentinites qui apparaissent comme un corps étranger entre les roches sédimentaires faiblement métamorphiques de l'Unité de Tamsamane au SE (Mesorif) et celle de Ketama au NW (Intrarif).

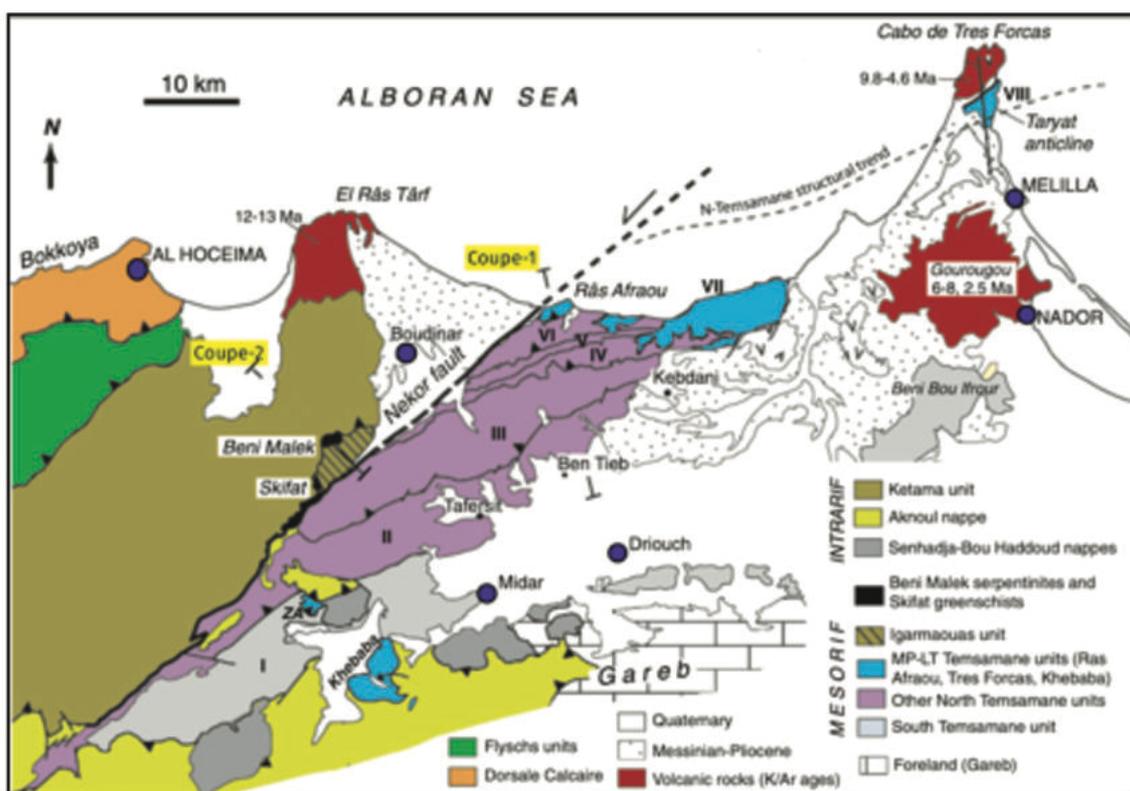


Figure 144 : schéma structural simplifié du Rif oriental (in Chalouan et *al.*, 2008 ; d'après Frizon de Lamotte, 1985 ; Negro et *al.*, 2007).

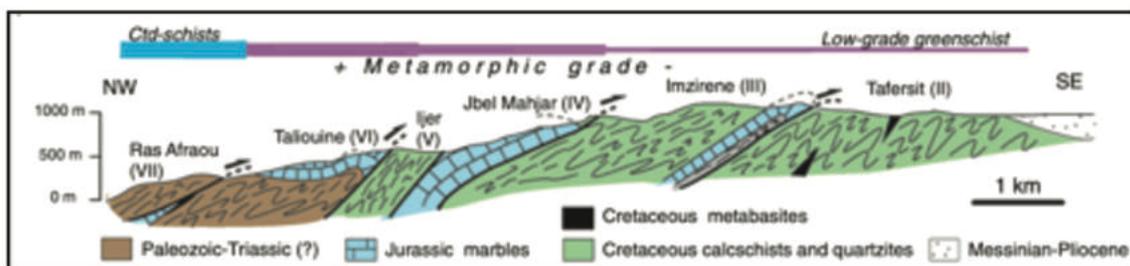


Figure 145 : Section géologique (coupe 1) montrant le style structural et la variation du degré du métamorphisme ; d'après Frizon de Lamotte (1985), Negro et *al.* (2007), et Michard et *al.* (2007), modifié. Massif de Khebaba d'après Darraz & Leblanc (1989). Les âges K/Ar (Ma) des volcans post-orogéniques sont d'après El Azzouzi et *al.* (1999) et Münch et *al.* (2001).

Ces serpentinites sont en partie prises dans le couloir de la faille du Nekor (subverticale décrochante sénestre), qui est une composante essentielle dans la région pendant la collision miocène. Ce massif dérive de l'obduction d'un fragment de croûte océanique formé au Jurassique-Crétacé inférieur entre le Mésorif et l'Intrarif (Michard et *al.*, 1992). Par la suite, l'exploitation des cartes aéromagnétiques de cette région a permis à El Azzab et *al.* (1997) de modéliser la présence d'une lame ultrabasique à faible profondeur sous l'écaïlle affleurant (Fig. 142).

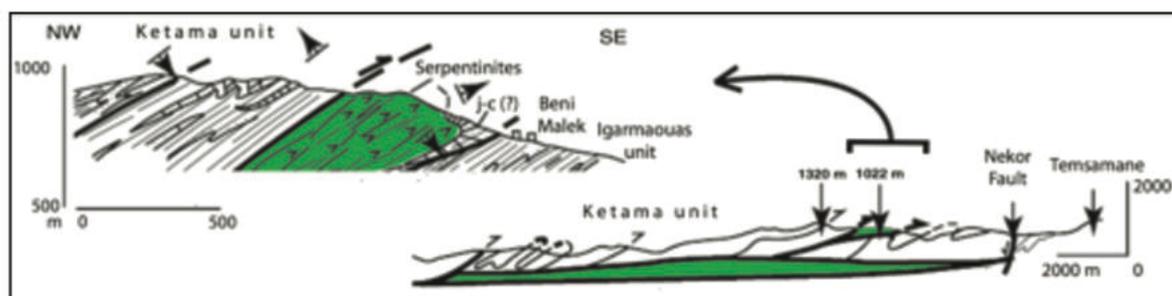


Figure 146 : Section géologique du massif ultrabasitique de Beni Malek (coupe 2) d'après Michard et *al.* (1992), et interprétation 2D de l'anomalie aéromagnétique régionale suggérant la présence d'un corps ultrabasitique cryptique, d'après Elazzab et *al.* (1997). j-c(?): carbonates avec clastes de serpentinite (Jurassique supérieur - Crétacé inférieur ?)

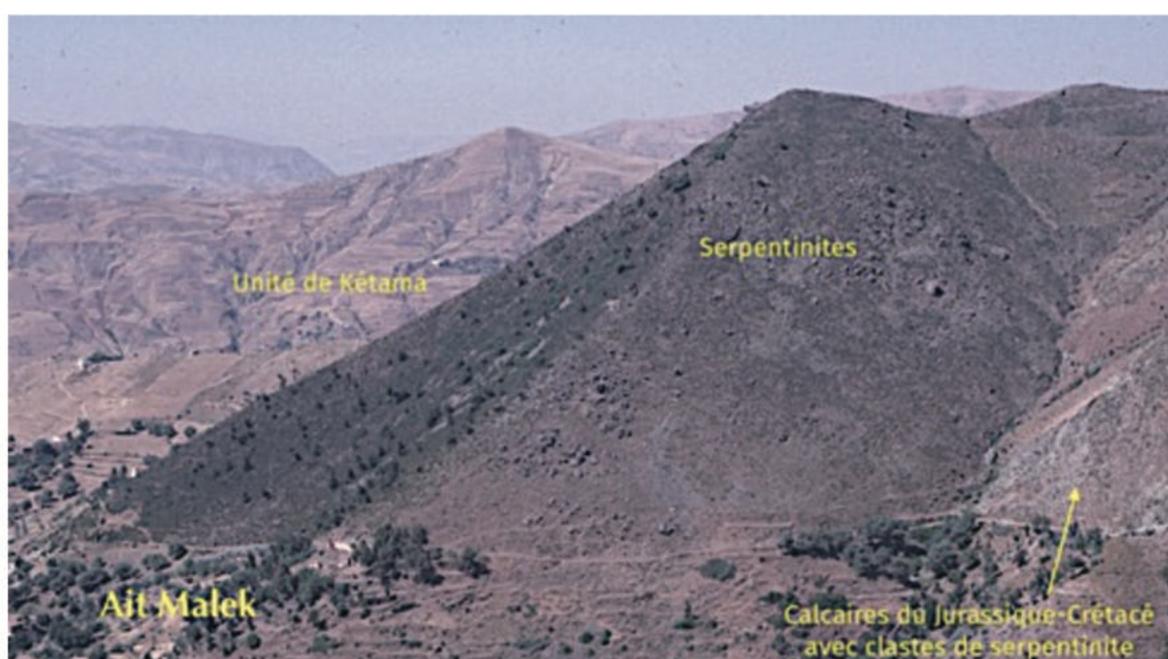


Figure 147 : Les péridotites océaniques, fortement serpentinisées, d'Ait Malek, à proximité de la commune d'Iguermaouas, vue depuis le SE (photo A. Michard).

Les unités (ou massif) de Temsamane correspondent à un allongement cartographique de direction NE-SW et affleurent à l'Est de la faille des Nékor. Les unités Temsamane sont composées d'unités sédimentaires du Mésozoïque au Cénozoïque avec de rares intercalations mafiques. Les travaux de Frizon de Lamotte (1985) ont permis de dégager la stratigraphie et la structure de ces unités. C'est ainsi que cet auteur a divisé ce massif en sept unités tectoniques distinctes (Fig. 144), chacune avec sa propre succession stratigraphique. Les unités sont délimitées par des poussées inclinées vers le nord, qui sont parallèles à la longueur du massif (Negro et *al.*, 2007).

Les unités nord de Temsamane ont été considérées comme n'ayant connu qu'un métamorphisme à faible teneur avec des assemblages chlorite-muscovite-

paragonite-quartz, avec une teneur métamorphique croissante vers le nord. Les unités sud de Tamsamane ne sont affectées que par un métamorphisme anchizonal de très faible teneur après le Miocène moyen (Frizon de Lamotte 1985).

Les unités de Tamsamane ont connu une déformation ductile qui est caractérisée par une linéation d'étirement homogène ENE-WSW à NE-SW comme décrit par Frizon de Lamotte (1985). Cette linéation est marquée par des minéraux argileux et des muscovites rares ou des clastes et des galets sédimentaires étirés. Vers le nord, une linéation plus pénétrative apparaît avec une teneur métamorphique croissante ; elle est marquée par des chlorites ou des micas. Le caractère pénétrant de la déformation ductile augmente également vers le nord. Dans la zone de Tafersite (*i.e.*, Tizi Azza, Fig. 148), la déformation est presque coaxiale, et caractérisée par des structures de boudinage symétriques dans le schiste ou les veines de quartz. Les axes des plis sont sub-parallèles à la direction d'étirement principale et compatible avec une composante d'aplatissement majeure (Frizon de Lamotte 1987).

### **Le bassin de Boudinar**

Le bassin néogène de Boudinar, installé sur les terrains crétacés des unités de Kétama et de Tamsamane, occupe une zone triangulaire ouverte sur la Méditerranée dans le NE de la chaîne du Rif (Figs. 144 et 149). Il est limité à l'Est par l'accident du Nékor et au Nord-Ouest par un accident tectonique qui le sépare du massif volcanique néogène de Ras Tarf. Selon Houzay (1975) et Choubert et *al.* (1984), ce bassin aurait enregistré trois cycles sédimentaires marins entre le Miocène supérieur et le Pliocène inférieur. Des travaux d'ordre sédimentologique (El Kharrim 1991) et paléontologique (Wernli 1988, Benmoussa 1991, El Hajjaji 1992, et Barhoun 2000) ont apporté des précisions sur les milieux de sédimentation. L'évolution structurale de ce bassin a été développée par Morel (1988) et Achalhi et *al.* (2016).

La géométrie triangulaire de ce bassin a été assimilée à une forme «pull-apart» dont la moitié nord se serait effondrée en Mer d'Alboran (Ammar 1987). Le rapprochement des plaques africaine et européenne devait être le moteur pour le jeu de l'accident du Nékor comme agent principal pour la genèse de ce bassin, depuis le Miocène supérieur, et qui s'accompagnait de déformations syn-sédimentaires (Morel 1988).



Figure 148 : les schistes métamorphiques montrant le style de la déformation dans les unités nord de Tamsamane, ainsi que les linéations d'étirement dans la localité de Tizi Azza (au Nord de Tafersite).

Le Néogène du bassin de Boudinar connaît une sédimentation, influencée par les variations eustatiques, constituée du Tortonien terminal, du Messinien et du Pliocène basal. Les cortèges sédimentaires identifiés ont des homologues dans les bassins voisins du cap des Trois Fourches (Azdimoussa et *al.*, 2006). Cependant, le Tortonien déformés du cap des Trois Fourches, ainsi que la discordance angulaire intra-tortonienne qu'on y rencontre, souvent qualifiée de limite entre le Tortonien et le Messinien (Azdimoussa & Bourgois 1993), ne figurent pas dans le bassin de Boudinar. Cela pourrait indiquer que ce dernier se soit ouvert plus tardivement que ses voisins, postérieurement à la discordance intra-tortonienne. Pendant le Messinien, la sédimentation, concordante sur le Tortonien, est fondamentalement influencée par les variations eustatiques globales du niveau de la mer (Figs. 150 a et b).

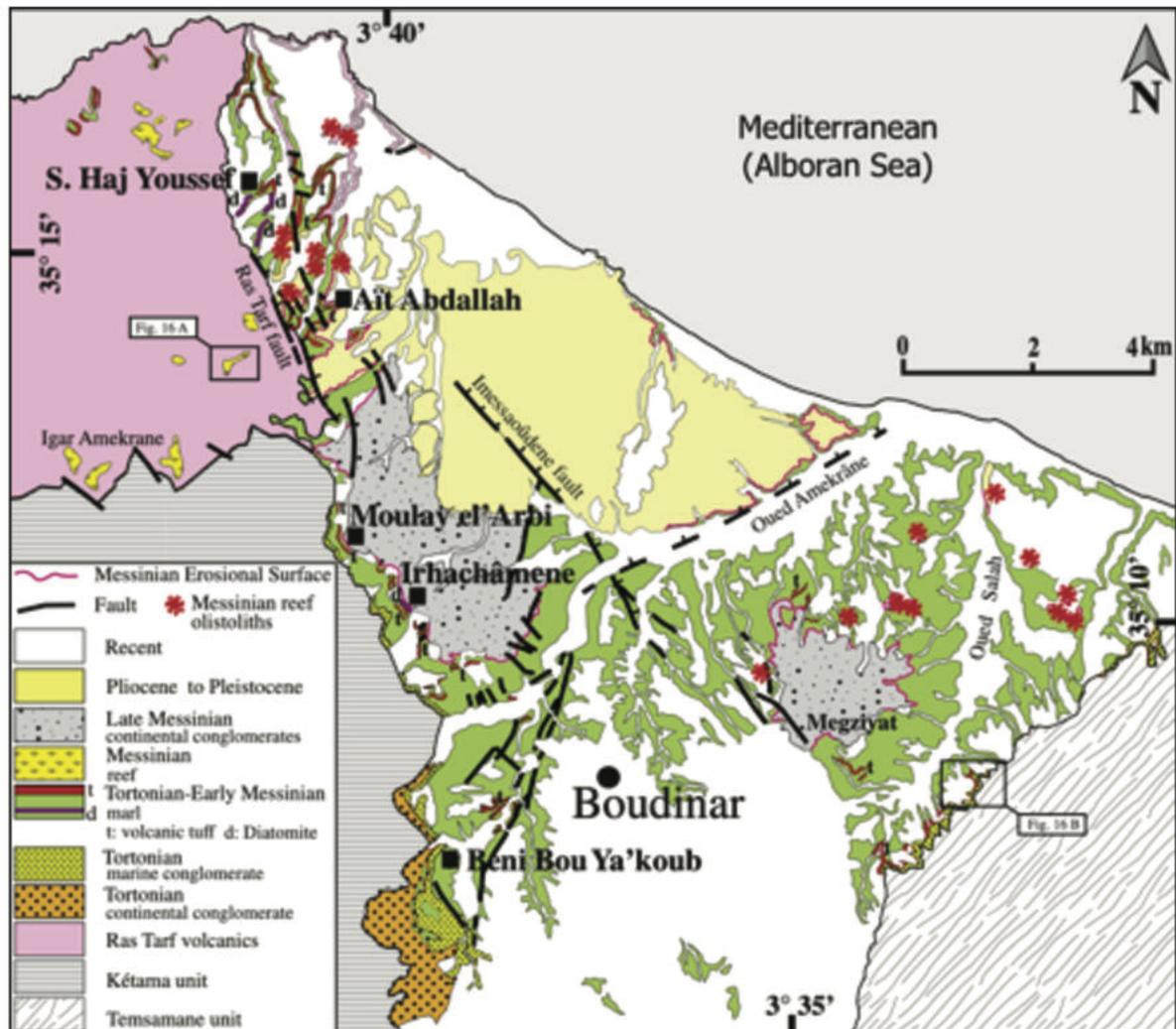


Figure 149 : Carte géologique simplifiée du Bassin de Boudinar (in : Achalhi et *al.*, 2016)



Figure 150-a : Paysage des marnes et diatomites messiniennes du Bassin de Boudinar, à l'ouest de l'accident sénestre du Nékor (ce sont les 'badlands' de bord de mer dans les alentours de la région d'Ichniwane-Plage de Sidi Driss).

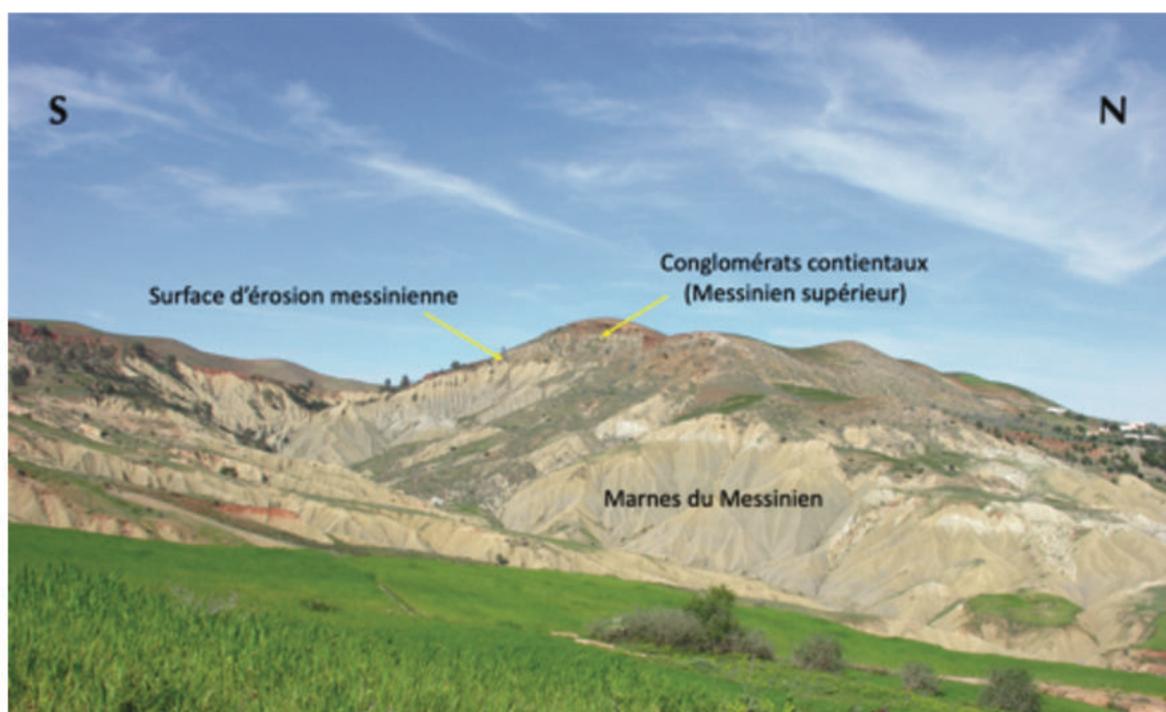


Figure 150-b : Panorama montrant les marnes messiniennes du Bassin de Boudinar, avec à leur sommet les niveaux conglomératiques continentaux (Messinien supérieur), reposant sur une surface d'érosion messinienne

L'environnement sédimentaire du bassin de Boudinar ne montre pas de niveaux évaporitiques, liés à la crise de salinité messinienne induite par la fermeture du détroit de Gibraltar, comme cela est d'ordinaire marqué dans les bassins néogènes du pourtour de la Méditerranée occidentale (Bourgeois et *al.*, 1992). Le rivage de la mer de Boudinar à cette époque devait être beaucoup trop bas pour permettre une telle sédimentation dans le bassin.

L'importante épaisseur des niveaux régressifs du Messinien semble être liée à un important apport détritique et aussi à une subsidence contrôlée par une distension généralisée. Cette dernière a perturbé l'évolution géodynamique du bassin ainsi que celle de toute la région du Maroc oriental. Elle est aussi à l'origine de la reprise de l'activité volcanique, marquée dans le bassin de Boudinar par des tufs volcaniques interstratifiés.

L'émersion du bassin de Boudinar, qui s'effectue à la fin du Messinien, est associée au recul du niveau marin global et à la reprise d'activités tectonique et volcanique. L'absence de sédimentation marine au Pliocène terminal dans le bassin de Boudinar est due à une émersion tectonique en compression de direction subméridienne (Guillemin & Houzay 1982, Morel 1989, Azdimoussa 1991), qui s'est poursuivie jusqu'à l'Actuel comme l'atteste la sismicité de la région (Figs. 151 et 152 ; Cherkaoui & El Hassani, 2012).



La géologie du Rif oriental est marquée par une importante activité volcanique intervenue durant le Miocène et le Plio-Quaternaire (Figs. 153 à 156). Ce volcanisme apparaît lié à une forte distension dans le bassin néogène de Nador. De nombreux travaux de recherche, d'ordre pétrologique, géochimique et géochronologique ont été consacrés à ce volcanisme rifain (Hernandez et Bellon, 1985 ; Hernandez et *al.*, 1987 ; El Bakkali, 1995, El Bakkali et *al.*, 1998, 2003 ; El Azouzi et *al.*, 1999 et 2011).



Figure 153 : Panorama du massif volcanique quaternaire du Gourougou, vu depuis la ville de Nador.



Figure 154 : Le complexe volcanique du Gourougou, vue depuis la mine de fer de Ouixane, située au Sud (photo El Amrani)

Ce complexe volcanique est sous forme de strato-volcan, situé au NW de Nador, qui se compose d'un massif central d'environ 15 km de diamètre et qui culmine à 887

m d'altitude. Ce grand massif s'entoure de plusieurs appareils satellitaires : Cap des Trois Fourches, Bou Touil, Tidiennit, Beni Bou Ifrou, Amjar, etc. Les manifestations éruptives liées à cette activité volcanique ont donné naissance à trois massifs volcaniques ; le plus important est le strato-volcan de Gourougou entouré par ses appareils satellitaires (Fig. 144) ; le volcan du Cap des Trois Fourches et enfin le petit massif volcanique de Ras Tarf, près d'Al Hoceima. La mise en place de ces volcans s'est faite après la tectonique de collision ; ce sont essentiellement des rhyolites, des dacites, des rhyodacites et des andésites qui ont transformé profondément la morphostructure de la région de Nador.

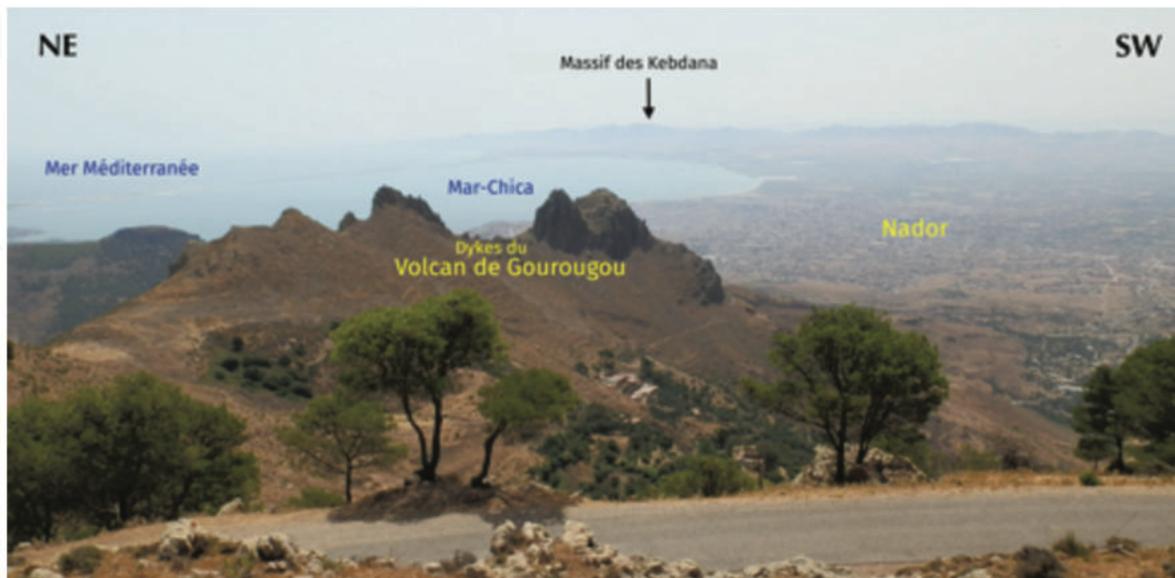


Figure 155 : Vue d'une partie SE du volcan de Gourougou dont le sommet offre une vue panoramique sur le dyke trachy-andésitique de Bou Idoudane ; la ville de Nador étant située en contre-bas



Figure 156 : Vue panoramique de la partie ouest du volcan de Gourougou (vue à partir du plateau dans sa partie ouest).

Ce volcanisme calco-alcalin post-collisionnel du Miocène moyen-supérieur est considéré comme lié à la déchirure de la plaque d'Alboran et de la lithosphère océanique liguro-maghrébienne plongeante (Spakman & Wortel, 2004). Cependant,

des coulées de basaltes alcalins d'âge Plio-Quaternaire (~3 Ma) sont aussi présentes, et qui sont à rattacher à la mise en place de l'anomalie lithosphérique chaude responsable du soulèvement du Maroc occidental (Azdimousa et *al.*, 2011).

Sur le plan du géotourisme, ces trois massifs volcaniques constituent des stations d'une grande attractivité, car chacun d'entre eux offre de nombreux géosites dont les morphostructures et les produits volcaniques sont remarquables par leur état de conservation et aussi par leur qualité didactique.

Un autre appareil volcanique affleure à la terminaison nord du **Cap des Trois Fourches**. Celui-ci correspond à un massif volcanique satellite du strato-volcan de Gourougou. Il se situe à l'extrémité nord de la Province de Nador et de Melilla et constitue un promontoire de roches volcaniques qui pénètre la mer Méditerranée sur une vingtaine de kilomètres (El Amrani et *al.*, 2020).

## **Quatrième partie**

# **Le patrimoine géologique marocain : une richesse à inventorier, à valoriser et à préserver**

*«Les écosystèmes actuels ne sont en fait que la dernière image d'un film, que le géologue cherche à restituer».*

De Wever P. et al., 2006

## Introduction

Dans une perspective de développement durable, où le rôle de l'homme dans l'évolution de son environnement est essentiel, l'intégration de la géologie dans les problèmes de société actuels est de plus en plus grande ; cette durabilité concerne la compréhension, la gestion et la prévention des risques naturels, la recherche de ressources naturelles (matières premières, énergie, eau) et aussi la résolution des problèmes de pollution de l'atmosphère, des sols et des nappes ; du changement climatique, ... Ceci passe par une bonne connaissance du patrimoine naturel, notamment celui relatif à la géologie.

Le terme "*patrimoine géologique*" considère tous les objets (patrimoine ex-situ) et les sites (patrimoine in-situ) relatifs aux disciplines des Sciences de la Terre, qui présentent un intérêt exceptionnel pour la mémoire de la Terre.

La notion de patrimoine géologique, telle qu'elle est admise aujourd'hui, concerne la mémoire, la conservation et la protection de celui-ci. Pour cela, recenser les sites et les objets géologiques ne sont qu'une première étape ; la suivante, qui est la plus importante, est de mettre en œuvre des procédures de sauvegarde de ce patrimoine chaque fois que c'est nécessaire ; enfin la dernière étape consiste à assurer la conservation de toutes les composantes de celui-ci.

Pour comprendre et assimiler cette notion de patrimoine géologique, il est nécessaire ici de rappeler quelques notions de base.

**La notion de géodiversité :** selon la définition de Gray (2018), c'est l'équivalent abiotique de la biodiversité qui décrit la variété des caractéristiques et processus géologiques, géomorphologiques, pédologiques et hydrologiques. La géodiversité est un concept relativement nouveau qui a connu son essor au début des années 1990 ; il s'agit alors d'un élément de la diversité naturelle qui inclue les éléments géologiques, géomorphologiques et paléontologiques, témoins de l'évolution de notre planète depuis sa création il y a 4.6 Ma, jusqu'à l'Actuel.

**Quelle est sa place dans la diversité naturelle?** Il s'agit d'une composante de la nature qui recouvre les minéraux, les roches, les fossiles, les reliefs et les paysages, les sols et les processus actifs associant géologie et géomorphologie, dont la conservation (ou géo-conservation) implique souvent la sélection de sites représentatifs de la géodiversité d'une zone à tous les niveaux (international, national et régional). Elle profite à la société en lui fournissant un grand nombre de biens et de services (services des écosystèmes ou services écosystémiques abiotiques) dont dépendent le bien-être de l'Homme et par conséquent sa prospérité. Avec la biodiversité, la géodiversité constitue la diversité naturelle de la planète Terre ; elle est constituée par des éléments remarquables et qui méritent donc d'être sauvegardés pour les générations futures.

**Le patrimoine géologique ou «géo-patrimoine»** fait référence aux éléments de la géodiversité de la planète qui sont jugés dignes de conservation et repose donc sur un jugement subjectif. La notion de patrimoine géologique a pris ses racines en Haute-Provence (France), lors du premier symposium international sur la protection du patrimoine géologique (Digne, en 1991), sous l'égide de l'UNESCO et en donne la définition suivante (*in* De Weber, 2014) :

*Le patrimoine géologique est constitué d'objets remarquables, particulièrement les sites naturels observables à différentes échelles : du paysage à l'affleurement et aux échantillons (roches, fossiles, minéraux, ...) relatifs à l'ensemble des disciplines des sciences de la Terre (paléontologie, pétrographie, tectonique, minéralogie, géomorphologie, ...).*

Sa composante est un complément incontournable du patrimoine biologique et en fait naturellement un **patrimoine fragile, soumis à des phénomènes d'altération et d'érosion**. En ce sens, il se rapproche du patrimoine archéologique pour les problèmes de conservation. Toute dégradation de l'un d'eux (géo-patrimoine et archéologie) est malheureusement définitive, contrairement au patrimoine biologique qui peut faire l'objet de programmes de restauration ou de réintroduction.

Bien avant cela, l'UNESCO a adopté en 1972 une **Convention** qui traite de la notion de «**patrimoine mondial**». Celle-ci vise à la protection des objets, des sites et des paysages les plus précieux à travers le monde. Au cœur de ce programme se trouve la notion de «**valeur universelle exceptionnelle**» qui doit être démontrée pour chaque bien demandant à être reconnu comme patrimoine mondial. Bien qu'elle ne soit pas définie explicitement dans la Convention concernant la protection du patrimoine mondial culturel et naturel, la valeur universelle exceptionnelle est comprise comme une valeur de portée mondiale, s'étendant au-delà des frontières politiques de pays particuliers ou de sphères d'intérêt étroites de diverses disciplines universitaires (Migon, 2018).

**Le patrimoine dans sa définition est un bien qu'on tient par héritage de ses ascendants. Il est par définition tout objet du Passé, un objet de valeur et une sorte de trésor.**

**Le patrimoine, dans sa composante géologique** englobe tous les objets et sites symbolisant la **Mémoire de la Terre**. Il inclut à la fois des éléments **in-situ** (géosites, roches, fossiles, mines, sols et minéraux, structures, paysages, ...) et des éléments **ex-situ** (collections de spécimens géologiques dans les musées, collections géologiques, bazars, archives, publications, cartes, coupes, lames minces, ...). Les deux types d'éléments ont des valeurs paléontologiques, géomorphologiques,

minéralogiques, pétrographiques ou stratigraphiques (El Hassani, 2016 ; El Hassani *et al.*, 2017)

- **Patrimoine in-situ** ; ce sont les roches à l’affleurement, les fossiles, les mines aussi bien en surface qu’en subsurface, les sols et les minéraux, les structures géologiques et les paysages ;
- **Patrimoine ex-situ** ; ce sont les collections géologiques des établissements universitaires, des ministères de tutelle, des musées et des magasins (bazars) ainsi que les publications, les cartes géologiques, les lames microscopiques, les archives, etc.

La figure 157, ci-dessous, est un exemple de paysage de ce patrimoine.

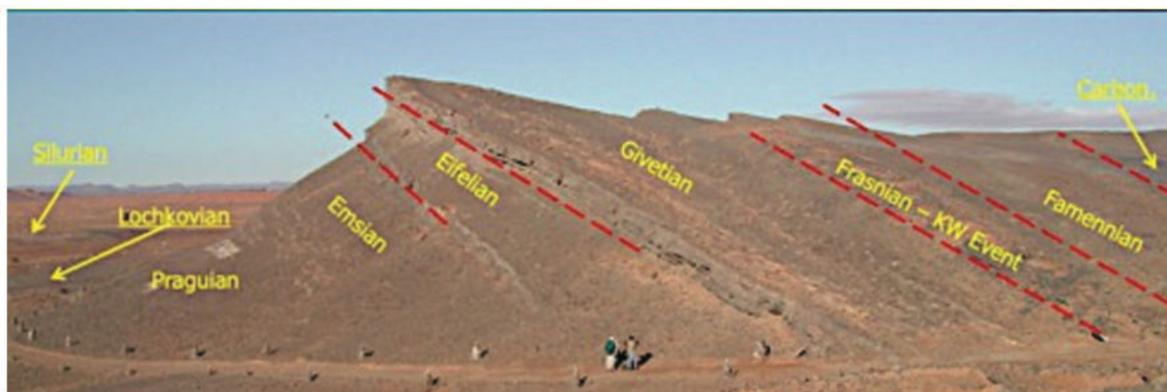


Fig. 157 : Un exemple de patrimoine in-situ – représentant le Panorama ouest-est de la terminaison sud du jbel Boutchrafine (au sud d’Erfoud- Anti-Atlas), montrant la coupe complète de la période dévonienne et les bio-événements associés (le Kellwasser notamment) ; soit environ 60 millions d’années, selon la Charte Chronostratigraphique Internationale de 2019.

**Quel est le message des fossiles ?** L’étude des fossiles relève du domaine de la Paléontologie, une discipline située à la charnière entre les Sciences de la Vie et les Sciences de la Terre. Son objectif est la reconstitution de l’histoire des êtres vivants, une évolution qui a conduit à l’apparition des premières bactéries depuis l’état le plus primitif, vieux de 3,8 Ga, jusqu’à l’émergence de l’Homme. En effet, une très longue filiation nous relie aux premières formes de vie et les fossiles nous racontent ainsi l’histoire de nos origines. L’étude de ces fossiles permet de formuler un répertoire de la biodiversité et de la géodiversité. L’une des premières constatations est que les fossiles nous renseignent sur l’extrême diversité du monde vivant qui a peuplé notre planète. Tout au long des temps géologiques, une multitude d’animaux et de plantes se sont succédé, la plupart n’ayant plus de représentants dans la nature actuelle ; à titre d’exemple on cite les trilobites, disparus à la fin du Paléozoïque, et les dinosaures à la fin du Crétacé (Mésozoïque). Des formes anciennes disparaissent,

des espèces nouvelles naissent au rythme des millions d'années ; ce qui témoigne de la fabuleuse capacité d'innovation de la vie sur Terre.

### Le Patrimoine géologique (Quel est le constat pour le Maroc ?)

Le Maroc a connu une histoire géologique assez complexe, mais aussi assez complète depuis les temps précambriens jusqu'à l'Actuel. Elle est marquée par des environnements sédimentaires et climatiques variés et aussi par la formation de chaînes de montagnes dont l'âge varie depuis les plus vieilles sur terre (orogénèse éburnéenne) jusqu'aux chaînes alpines. Nous retraçons ici, à titre patrimonial, une partie de cette histoire à partir de la phase fini-précambrien à 600 Ma (l'orogénèse panafricaine) qui a donné une chaîne du même nom aux pourtours du Craton Ouest Africain (Fig. 158).

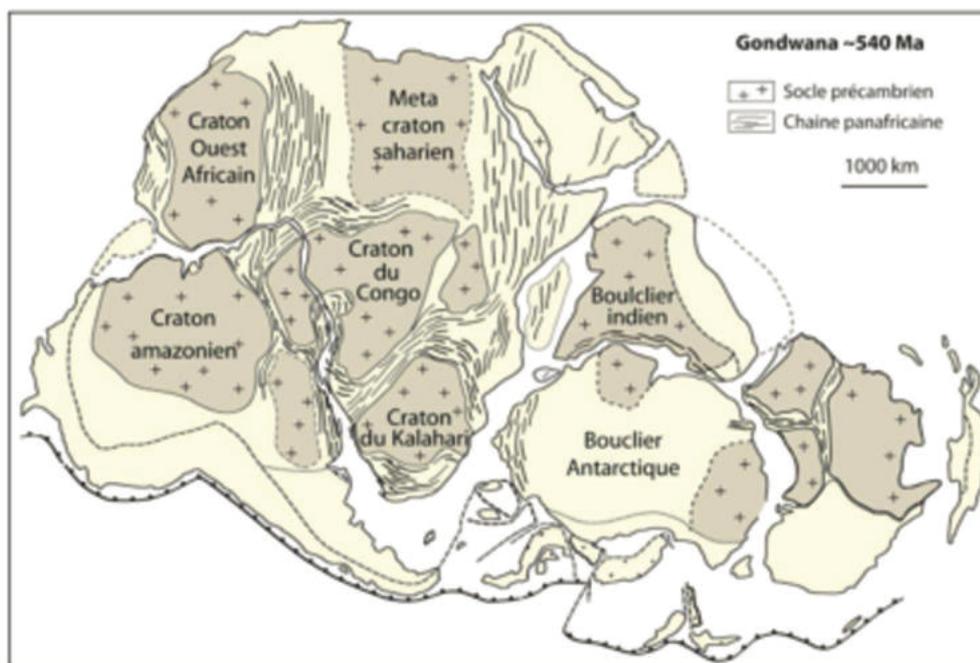


Figure 158 : Reconstitution du super continent **Gondwana** à la fin du Précambrien, vers - 541 Ma (d'après Gray et *al.*, 2008)

La géologie marocaine est ainsi connue pour sa richesse exceptionnelle, aussi bien du point de vue minéralogique que paléontologique, possédant ainsi un patrimoine fossilifère très riche et très varié à travers ses nombreux affleurements. Le Maroc constitue ainsi une source irremplaçable dans la connaissance de l'Histoire de la Terre, depuis sa création à nos jours. Chacune de ses régions se caractérise par un nombre impressionnant de sites et de curiosités géologiques, de gîtes minéralogiques variés et de gisements fossilifères remarquables. Du point de vue paléontologique, **le Maroc constitue un endroit de rêve pour tous les géologues et les paléontologues**

*avec de nombreux niveaux riches en restes organiques depuis la fin du Précambrien (Néoprotérozoïque) jusqu'au Quaternaire.*

A l'échelle globale, le Maroc présente un grand intérêt géologique, on y trouve une **succession de terrains**, presque complète, depuis les roches les plus anciennes (Archéen) jusqu'aux plus récentes (Quaternaire) ; on y trouve aussi des **structures complexes** qui résultent d'une alternance de périodes calmes et de périodes de déformations tectoniques ayant structuré les différents domaines et ont donné naissance à des chaînes de montagnes. Sa situation dans le NW de l'Afrique est privilégiée, par son passé géologique, puisque le pays a été en contact avec trois continents (Afrique, Amérique, Europe) et deux océans (Atlantique et Téthys/Méditerranée). Cette situation géographique lui confère un important rôle pour la visibilité des relations/reconstitutions géologiques entre l'Afrique et l'Europe, d'une part, et entre l'Afrique et l'Amérique, d'autre part.

Le Maroc est aussi un des rares pays au monde qui permet une lecture aisée de son histoire géologique à travers les pans de ses affleurements et de ses splendides paysages, dévoilant ainsi les mystères du passé, par la richesse et la diversité de ses roches, minéraux et fossiles (vertébrés et invertébrés).

Sur le plan paléontologique, pour mettre en relief cette richesse, depuis le milieu du XX<sup>ème</sup> siècle, les géologues travaillant au Maroc (et sur le Maroc) ont produit des monographies sur les riches gisements du Paléozoïque de la Meseta et de l'Anti-Atlas (*i.e.*, celles publiées sous le titre de *Paléontologie marocaine* par Henri et Geneviève Termier, dans les *Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc*)<sup>272</sup>.

Par sa géodiversité, le Maroc est l'un des pays les plus riches au monde en termes de patrimoine géologique, ce qui justifie amplement le qualificatif largement utilisé aujourd'hui par tous : "**Paradis des géologues**". Cette géodiversité nécessite un **inventaire systématique complet des richesses du Pays et une évaluation** de celles-ci. Ce travail permettra l'adoption de stratégies innovantes et adaptées pour

---

<sup>272</sup> Ces Mémoires sont édités en 2 tomes (5 volumes), avec presque 1400 pages et des centaines de planches de fossiles (Termier & Termier, 1947, 1950 a-d) :

- Termier, G. & Termier, H. (1947) : Paléontologie Marocaine. Tome I, Généralités sur les invertébrés fossiles. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 69 : 1-391.
- Termier, G. & Termier, H. (1950-a) : Paléontologie Marocaine. Tome II, Invertébrés de l'Ère Primaire. Fascicule I, Foraminifères, Spongiaires et Coelentérés. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 73 : 1-220.
- Termier, G. & Termier, H. (1950-b) : Paléontologie Marocaine. Tome II, Invertébrés de l'Ère Primaire. Fascicule II, Bryozoaires et Brachiopodes. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 77 : 1-253.
- Termier, G. & Termier, H. (1950-c) : Paléontologie Marocaine. Tome II, Invertébrés de l'Ère Primaire. Fascicule III, Mollusques. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 78 : 1-246.
- Termier, G. & Termier, H. (1950-d) : Paléontologie Marocaine. Tome II, Invertébrés de l'Ère Primaire. Fascicule IV, Annélides, Arthropodes, Échinodermes, Conularides et Graptolithes. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 79, 1-279.

assurer la durabilité des géosites et des géomorphosites ; les rendre importants et attrayants aussi bien pour le public que pour les décideurs, et d'en faire un levier de développement à travers la promotion de nouvelles opportunités touristiques par le géotourisme et la création de géoparcs. Ainsi, plusieurs régions peuvent profiter de cette nouvelle stratégie, surtout celles qui souffrent des effets liés au changement climatique. Le meilleur exemple est celui de l'Anti-Atlas où le contenu géologique (roches, minéraux, mines et fossiles) est l'un des plus riches au Maroc.

Rappelons que la biodiversité occupe une place de plus en plus importante dans les préoccupations de l'opinion publique, du monde politique mais surtout des scientifiques, car protéger la biodiversité est devenu aujourd'hui un impératif dont la prise de conscience est relativement récente. Chacun d'entre nous est concerné, car la diversité biologique constitue une condition essentielle de l'environnement humain et de sa conservation. C'est pour cela que l'un des objectifs premiers des scientifiques est de comprendre, à travers la géodiversité, la complexité des processus qui déterminent l'actuelle biodiversité sur Terre. Dans cette optique, les scientifiques attirent l'attention sur le fait que **le monde actuel se lit pour une très grande part à la lumière de son passé**. Selon Saint Martin et al. (2010)<sup>273</sup> : «*Les formes de vie qui existent aujourd'hui sur la planète sont celles d'un instant ; leur évolution, leur disparition, ne sont intelligibles que si on les replace dans leur très longue histoire*». Pour retracer l'histoire de la biodiversité et pour l'analyser il faut donc faire appel aux fossiles qui sont ainsi les clés de la compréhension de l'évolution de la biodiversité à travers les temps géologiques.

La Direction de la Géologie (Ministère de l'Énergie et des Mines) veille à l'élaboration de cartes géologiques qui retracent l'inventaire et la richesse de notre pays en termes des Sciences de la Terre. Elle a produit une excellente carte géologique au 1.000.000<sup>ème</sup> et bien sûr d'autres cartes à différentes échelles.

En plus de la grande diversité des terrains géologiques, des Stratotype et plusieurs groupes de fossiles ont été identifiés au Maroc, où ils sont le mieux représentatifs à l'échelle planétaire (*i.e.*, la faune de l'Ordovicien inférieur de Fezouata, dans l'Anti-Atlas central). Le Maroc présente également plusieurs curiosités (paysages) géologiques rares à l'échelle globale (exemple : les mud-mounds dévoniens de Hamar Lakhdad dans le Tafilalet, les péridotites de Beni Bousera dans le Rif interne, les nombreuses grottes, ...).

Ces richesses restent de nos jours méconnues par la majorité des marocains, y

---

<sup>273</sup> Saint Martin, J.-P., Saint Martin, S., Oaie, G., Seghedi, A. & Grigorescu, D., (2010) : Avant-propos, Le patrimoine paléontologique. Des trésors du fond des temps. In: J.-P. Saint Martin, S. Saint Martin, G. Oaie, A. Seghedi, D. Grigorescu (Eds.), Le patrimoine paléontologique. Des trésors du fond des temps. GeoEcoMar, Bucarest, pp :7-20.

compris les gestionnaires des espaces naturels, voire la communauté scientifique non spécialisée. Ceci incite à des études de type «inventaire» auxquelles les géologues se livrent rarement, mais qui ont un rôle fondamental dans la sensibilisation du public à la sauvegarde, à la valorisation et à l'utilisation rationnelle de ce patrimoine.

Malheureusement, un commerce florissant (national et surtout international) s'est développé ces dernières décennies au Maroc. La valeur commerciale prédomine au détriment des raretés minéralogiques et fossilifères ; cela engendre une exploitation massive, voire abusive, de ces richesses qui conduiront inévitablement à leur disparition à court ou à moyen termes. Les autres valeurs (scientifiques, éducatives, culturelles, touristiques, esthétiques, ...) restent méconnues, sinon très mal satisfaites et passent au second degré. Il résulte de cette ignorance une faible sensibilisation à l'échelle nationale envers la conservation et/ou la valorisation respectueuse des «sites patrimoniaux».

### **Protection réglementaire<sup>274</sup>**

Dans le but de *“préserver le patrimoine géologique national”*, le Ministère de l'énergie et des mines, et de l'environnement a proposé, en 2019, un projet de décret pour la gestion de ce patrimoine<sup>275</sup>. Ce projet porte sur l'application de l'article 116 de la loi n°33-13 relative au code minier. En effet, cet article précise que *“l'extraction, la collecte et la commercialisation des spécimens minéralogiques et fossiles et des météorites sont subordonnées à l'octroi d'une autorisation délivrée par l'administration, selon les modalités fixées par la voie réglementaire”*.

Ce projet de décret, *en cours de conception*, devrait réglementer l'extraction, la commercialisation et l'exportation des minéraux et fossiles, d'interdire celles des spécimens rares et surtout d'ériger une collection nationale, à travers la création de musées nationaux et régionaux.

L'objectif de cette procédure est la préservation et la valorisation du patrimoine géologique marocain. Ce projet comporte donc un ensemble de mesures et de dispositions juridiques, qui visent à organiser l'extraction, la collecte et la commercialisation des spécimens minéralogiques, des fossiles et des météorites. Il

---

<sup>274</sup> Voir aussi :

- Dahir n° 1-02-130 du 13 juin 2002 portant promulgation de la loi n°0801 relative à l'exploitation des carrières...
- Dahir n° 1-03-59 du 12 mai 2003 portant promulgation de la loi n° 11-03 relative à la protection et à la mise en valeur de l'environnement.
- Dahir n° 1-03-60 du 12 mai 2003 portant promulgation de la loi n° 12-03 relative aux études d'impact sur l'environnement ...
- Arrêté ministériel de 1994 fixe la liste des marchandises faisant l'objet de restrictions à l'exportation, comme ceux présentant un intérêt paléontologique.

<sup>275</sup> La VieEco- 9 janvier 2019.

est accompagné d'une note précisant les propositions de mise en application de celui-ci, particulièrement en ce qui concerne:

- Les modalités de l'octroi des autorisations relatives à l'extraction des spécimens minéralogiques et fossiles en fonction de leurs catégories;
- Les modalités selon lesquelles la direction de la géologie émet son avis dans le cas de l'exportation des spécimens;
- Les modalités d'export et d'import des spécimens minéralogiques et fossiles;
- Le droit de préemption de l'autorité en charge du domaine géologique sur les spécimens minéralogiques et fossiles et des météorites destinés à l'export.

Cependant, de l'avis de tous les géologues du pays, la base juridique reste insuffisante et la nomenclature n'est pas assez précise pour assurer une protection adéquate de notre patrimoine géologique, car il n'y a pas de législation spécifique à l'export de celui-ci.

### **Quels sont les types de patrimoine géologique ?**

Le développement socio-économique d'un pays nécessite, entre autres, une bonne connaissance de l'environnement naturel dans lequel évolue l'espèce humaine. Il est alors indispensable de considérer (adopter) une approche géologique dans ses rapports avec la nature, la culture et l'histoire avec lesquelles elle interagit continuellement ; et dans ce sens, le terme géologie (par ses branches que sont la paléontologie, la minéralogie, la tectonique, la sédimentologie...) est à prendre ici dans son sens le plus large.

#### **Le patrimoine *in-situ***

Le fonctionnement et l'évolution de la Terre et de la vie peuvent être lus par l'examen et l'étude des affleurements (paysages/sites géologiques) qu'offre une région donnée ; ce qui engendre la connaissance de ceux-ci. Certains de ces sites sont qualifiés de stratotypes, car ils représentent des références internationales permettant de comparer et d'établir des liaisons entre deux ou plusieurs régions distinctes sur notre planète.

#### ***Les stratotypes***

Lire l'histoire géologique d'une région revient à définir les différents étages géologiques qui la constituent (faciès et contenu faunique/fossilifère). Un étage géologique est l'unité chronostratigraphique fondamentale en géologie ; il représente une tranche de temps de quelques millions d'années. Ainsi, un stratotype correspond à une *coupe type* (représentant un intervalle ou division géochronologique) qui sert de référence (au niveau international) à un étage. Il s'agit de la *division de base* [des

*couches sédimentaires*] définie par rapport à un affleurement type (étalon) que l'on nomme stratotype . Le nom donné à l'étage est le plus souvent dérivé de celui d'un lieu géographique (actuel ou antique) auquel on ajoute le suffixe -ien (Foucault & Raoult, Dictionnaire de *Géologie*, 1980, s.v. *stratigraphie*). Une fois défini, le stratotype est validé par l'IUGS (*Union Internationale des Sciences Géologiques*), il est ensuite utilisé par les géo-scientifiques afin de parler un langage commun, dans toutes les formes d'expression ; il est alors considéré comme valeur scientifique universelle. Dès lors, le site ainsi défini relève du domaine patrimonial et mérite d'être sauvegardé. L'utilisation de ces «paquets stratigraphiques» de référence permet aux stratigraphes de reconstituer les événements du passé sur une échelle des temps ; d'où la création de la charte chronostratigraphique internationale, qui est régulièrement mise à jour, en fonction des nouvelles découvertes<sup>276</sup>.

Les stratotypes sont généralement définis en fonction des fossiles qu'ils contiennent et sont choisis dans des localités particulièrement riches en restes paléontologiques. Ces sites correspondent à des milieux de dépôts proches du littoral puisque c'est là que les restes d'organismes sont les plus fréquents (De Wever, 2009).

On distingue ainsi deux types de stratotypes : stratotypes d'unités et stratotypes de limites. L'unité chronostratigraphique (qui est un intervalle de temps) est caractérisée à partir de ses deux limites, supérieure et inférieure. Les stratotypes de limites donnent une meilleure expression de la durée d'un étage, même si ces limites ne se trouvent pas sur une seule coupe, ou si elles ne sont pas représentées dans une même région (Rey, 1997)<sup>277</sup>. La définition d'une limite est fonction des éléments qu'elle sépare, à condition qu'ils s'insèrent dans un ensemble continu de couches, les unes sous-jacentes et les autres sus-jacentes à cette limite et représentant des repères précis, concrets et fixes, qui sont scellés sur cet ensemble de couches. Ces limites sont qualifiées de «clous d'or» et sont appelées "*Global Stratotype Section and Point – GSSP*" (prosaïquement représentées par un clou en acier inoxydable).

On est ainsi passé de la notion de «stratotype de couche» à celle de «stratotype de limite» ; les stratigraphes ont décidé de ne plus définir les étages par les espaces entre leurs limites (inférieure et supérieure) mais par les limites elles-mêmes, de sorte que celles-ci soient limitées par un événement. Il s'agit, en général, de l'apparition ou la disparition d'un fossile ou d'un groupe de fossiles.

Bien que le Maroc soit qualifié par la communauté scientifique de «Paradis des géologues» il ne possède malheureusement, à l'heure actuelle, que deux stratotypes (Fig. 159). Tous deux sont des stratotypes de limites et concernent : la limite

<sup>276</sup> <https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2019-05French.pdf>

<sup>277</sup> Rey J. (Ed.) (1997) : Stratigraphie, terminologie française. Bull. Centres Rech. Explor. -Prod. Elf Aquitaine, Mém. 19, 164 p.

Eifelien/Givétien (Dévonien) et la limite Tortonien/Messinien (Miocène). Rappelons que leur définition obéit à une règle de priorité «premier stratotype défini, premier adopté», et on constate que la majorité de ceux-ci se trouvent en Europe puisque la géologie y a pris son envol très tôt par rapport au Maroc. Ces stratotypes sont :

**Le stratotype de Mech Irdane**, qui se trouve dans le jbel portant le même nom à l'ouest de la ville de Rissani (Fig. 160) ; feuille topographique Erfoud au 1 : 100 000, NH30-XX-2 (coordonnées Lambert, x=599,2 et y=470,6). Ce site englobe le GSSP après avoir été recommandé par la Subcommission de Stratigraphie du Dévonien (SDS) en séminaire (1991) puis ratifiée par l'IUGS en 1994 (Walliser *et al.*, 1995)<sup>278</sup>.

Le jbel Mech Irdane est une structure synclinale située dans la partie SE du Tafilalt à 12 km au SW de la ville de Rissani. Comme partout ailleurs dans le Tafilalt, la coupe peut être entamée dès les niveaux calcaires à *Scyphocrinites* caractérisant dans l'Anti-Atlas la limite Silurien-Dévonien.

La partie correspondant au Dévonien inférieur est très bien représentée et elle est riche en fossiles (Goniatites notamment) : les calcaires à *Mimagoniatites* avec le groupe des *Anetoceras*, *Nowakia cancellata* qui apparaissent dans la transition calcaires-schistes noirs du Dalejien (Emsien supérieur).

Les calcaires Eifelien à Jbel Mech Irdane sont très fossilifères, avec d'abondants trilobites, des pélécy-podes du groupe "*Panenka*", orthocones céphalopodes et Goniatites, en particulier *Subanarcestes* et *Cabrieroceras*, mais aussi *Werneroceras*, *Fidélites*, *Agoniatites*, et d'autres espèces.

La limite Eifelien-Givétien est située au niveau du banc 117 (Fig. 160), limite attestée aussi bien par des méthodes paléontologiques (Walliser *et al.*, 1995) que magnéto-stratigraphiques (Ellwood *et al.*, 2011).

---

<sup>278</sup> Walliser O.H., Bultynck P., Weddige K., Becker R.T. & House M.R. (1995): Definition of the Eifelian-Givetian Stage boundary. Episodes, Vol 18, N° 3, pp: 107-114.

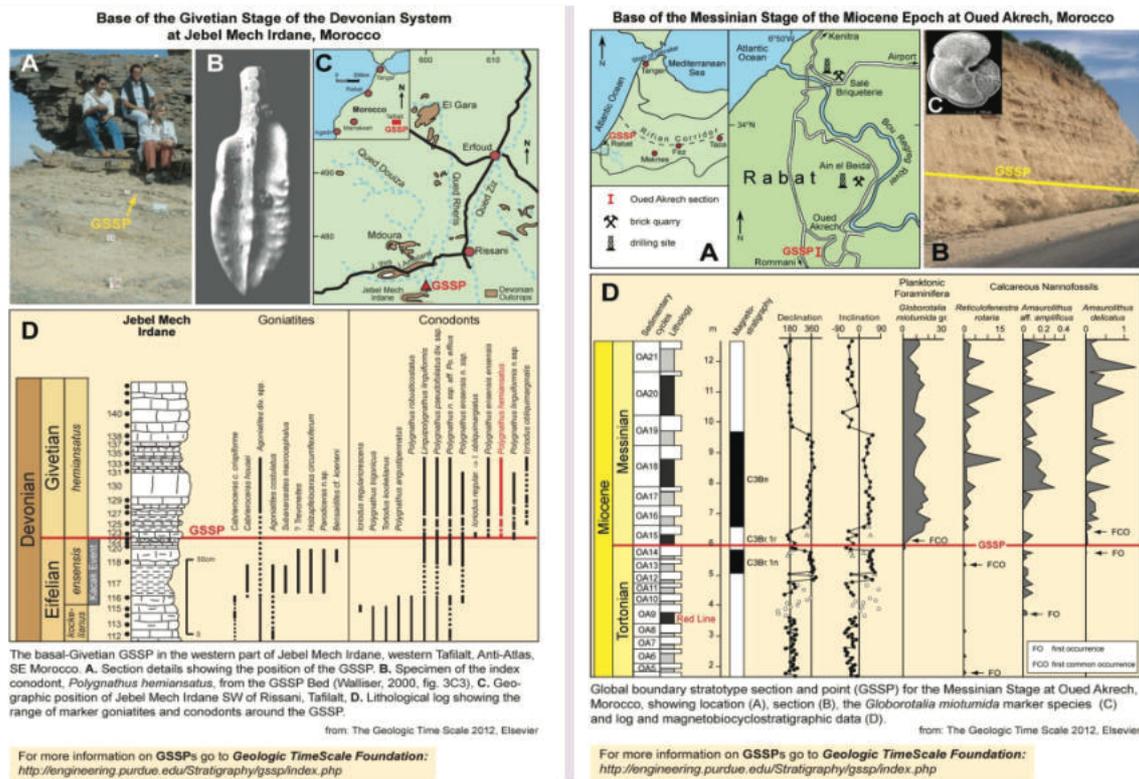


Figure 159 : Les deux stratotypes du Maroc : A gauche, coupe stratigraphique et localisation du stratotype de Mech Irdane (*in the geological time scale, 2012, vol2, p : 568*). A droite, localisation et coupe de l’oued Akrech et lithologie (*in the geological time scale, 2012, vol2, p : 932*).

Le Givétien montre une large séquence de calcaires noduleux et lamellaires avec deux niveaux de *pumilio*, provoqués par les tsunamis (Lottmann, 1990). Ils sont situés à la base et dans la partie centrale de la zone *varcus*, et avec la séquence de calcaire fins noduleux, caractéristiques de la partie supérieure comprenant les genres *Maenioceras*, notamment le *M. terebratum* et *Pharciceras amplexum*. Les calcaires à *Pharciceras*, qui coïncident avec l'ancienne zone à *lunulicosta* du Dévonien supérieur *Ia*, sont absents dans cette coupe. Au-dessus de cette lacune, affleurent les calcaires à *Manticoceras* dans un faciès crinoïdique.

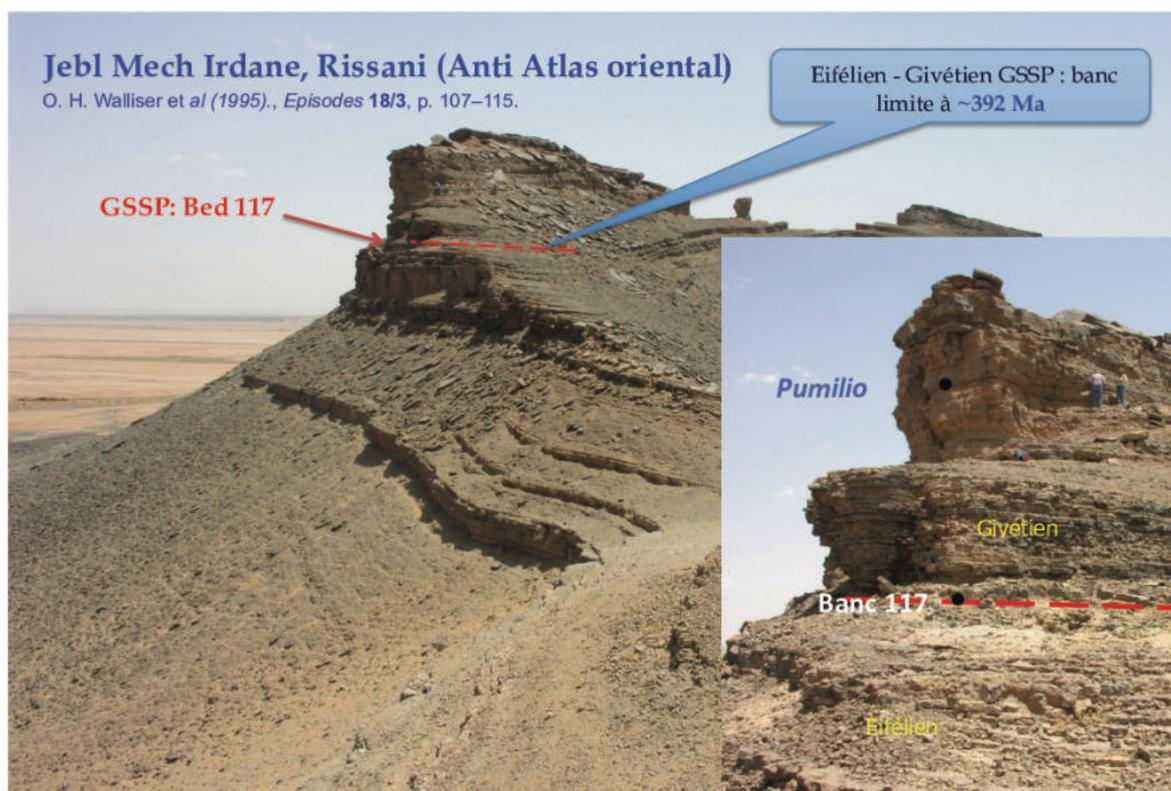


Figure 160 : le stratotype de Mech Irdane (à l'Ouest de Rissani, Tafilalt).

**Le stratotype de l'Oued Akrech** : il s'agit du stratotype marquant de la limite Tortonien/Messinien, situé à 10 km au SSE de Rabat, dans la vallée de l'Oued Akrech (33°56'13"N; 6°48'45"W), Feuille topographique NI-29-XII-3C, aux coordonnées : 370.2–370 à 371 (Figs. 159 et 161).

La série stratigraphique miocène commence par des sables jaunâtres, d'épaisseur assez constante (5 à 6 m), et qui reposent partout sur le substratum paléozoïque (Ordovicien à Carbonifère) en discordance angulaire, ce sont des grès à glauconie peu profonds du Tortonien supérieur appelés "Molasse de Base" ou «conglomérat de base». Cette notion de conglomérat est remarquablement discrète, car la roche ne montre que quelques galets épars, peu arrondis, provenant du Paléozoïque sous-jacent. Ce premier terme est surmonté par un niveau phosphaté durci (Banc à coraux)<sup>279</sup> qui correspond à une période de forte réduction du taux de sédimentation. C'est un horizon bioturbé de la plateforme que Wernli (1988) place en rebord externe, sous l'influence des upwellings des fonds marins de 100 m et plus, comme le confirment l'abondance du plancton et les coraux ahermatypiques, du Miocène

<sup>279</sup> 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* N° 331, 270 p.

supérieur, décrits par Chevalier (1962)<sup>280</sup>. Cet horizon remarquable de 30 cm, souligne la limite entre les «sables jaunes biodétritiques» et les «marnes de Salé». Au-dessus viennent des marnes sableuses à glauconie et des marnes arénacées (2 m d'épaisseur) de mer profonde qui se termine avec un niveau à coraux (*Flabellum*). Ce terme est daté du Tortonien (Hilgen et al., 2000).

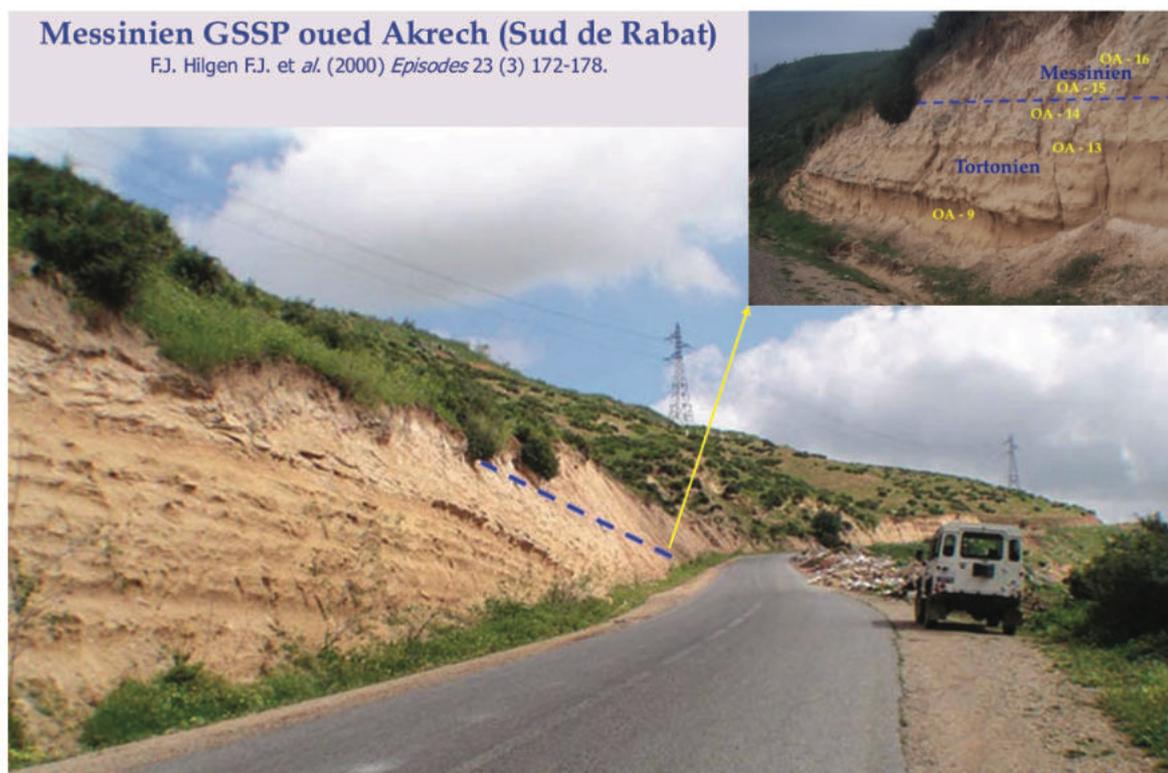


Figure 161 : le stratotype de l'oued Akrech (au SSE de Rabat)

Le Messinien débute par des marnes jaune-beige de mer profonde qui montrent des bancs rougeâtres. Au niveau de la couche phosphatée, l'environnement du dépôt marin change rapidement (microfaune benthique). Il passe du sublittoral au bathyal supérieur (profondeur de sédimentation estimée entre 500 à 700 m). Le GSSP de la base du Messinien est ainsi formellement défini à la base du niveau rougeâtre de la couche n°15 dans la coupe de l'Oued Akrech (Hilgen et al., 2000)<sup>281</sup>. Ce point coïncide étroitement avec la première occurrence régulière (FRO) du groupe des foraminifères planctoniques (*Globorotalia miotumida*) et de la première occurrence (FO) du nannofossile calcaire (*Amaurolithus delicatus*). Ainsi, la limite entre le Tortonien supérieur et le Messinien est datée de 7,251Ma (Hilgen et al., 2000).

<sup>280</sup> Chevalier J. P. 1962. — Les madréporaires miocènes du Maroc. *Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc* N° 173 ; p : 74.

<sup>281</sup> Hilgen et al., 2000 : The Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) of the Messinian Stage (uppermost Miocene). *Episodes*, Vol. 23, no. 3, pp: 172-178.

## Les sites géologiques exceptionnels

Le Maroc mérite bien son qualificatif de «**Paradis des géologues**», c'est pourquoi il est difficile de faire un choix parce que les exemples sont nombreux. Le Maroc est lui-même un méga-site géologique, cependant pour rapprocher le lecteur de quelques-uns de ces sites on citera, à titre d'illustration, quelques exemples :

### *Les monticules (mud-mounds) dévoniens de Hamar Lakhdad*

L'une des curiosités du Paléozoïque marocain reste manifestement les monticules dévoniens de Hamar Lakhdad (Hamer el Khdad, Ahmar-el-Khdad, or Hmar Lakhdad), dans le Tafilalet à l'Est d'Erfoud (Figs. 162, 163 et 164) et qui sont visités chaque année par de nombreux scientifiques et touristes.

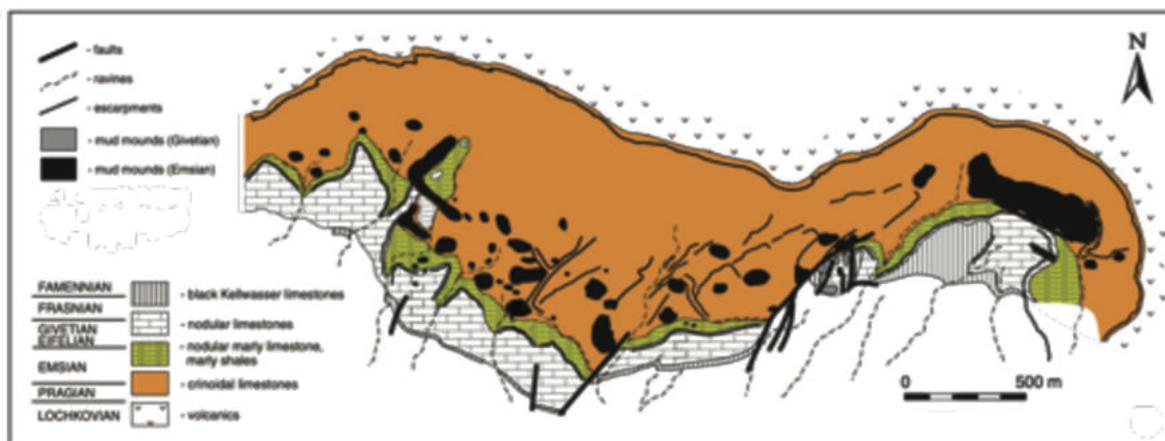


Figure 162 : schéma simplifié des monticules de boue (d'après Belka, 1998)

Ces structures assez particulières ont été décrites dès le début du siècle dernier par Nicolas Menchikoff (géologue pétrolier franco-russe), comme une *accumulation d'origine récifale* (Roch, 1934), puis divers termes ont été utilisés pour décrire l'environnement sédimentaire et le développement de ces monticules :

- *protubérances ou bulles pleines* (Roch, 1934),
- *curieux pitons récifaux* (Massa et al., 1965),
- *formations récifales* du Dévonien inférieur (Hollard, 1963),
- *récifs* du Dévonien inférieur (Hollard, 1974 ; Michard, 1976),
- *mud mounds* (Gendrot, 1974 ; Brachert et al., 1992 ; Hüssner, 1994 ; Belka, 1998)
- *buildups, reef-mounds* ou *mud mounds* (Tönebohn, 1991),
- *venues hydrothermales* localisées au droit du massif magmatique de Hamar Lakhdad (Mounji et al., 1996 ; Belka, 1998)
- *monticules de boue* (Belka et al., 2015)



Figure 163 : Vue, depuis le sud, de la partie centrale des mud-mounds de Hamar Lakhdad (noter la forme très large de la base).

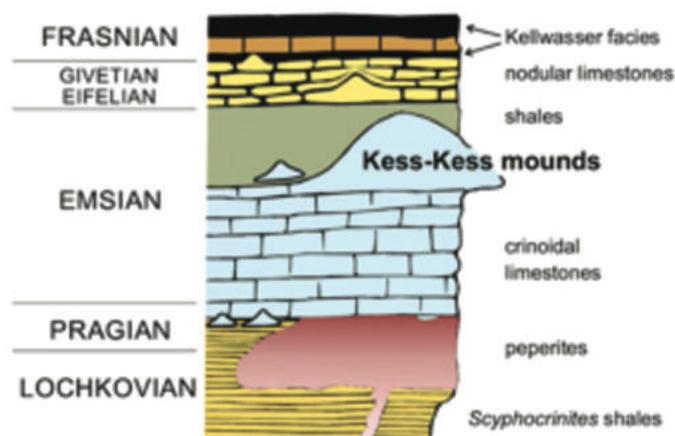


Figure 164 : Succession lithostratigraphique simplifiée des monticules de Hamar Lakhdad (d'après Belka, 1998 ; modifié par Jakubowicz *et al.*, 2013, fig.3). Les roches volcaniques (pépérites) sont appelés Formation d'Oumejjoud par Becker *et al.*, 2018. Les calcaires à crinoïdes forment le membre inférieur de la formation de Kess-Kess, les monticules de Kess-Kess représentent le membre de Hamar Lakhdad, les schistes sus-jacents sont les équivalents basaux des schistes de Daleje (Emsien supérieur). Le faciès de Kellwasser représenté comprend à la fois les styliolinites du Frasnien inférieur et la succession noire du Frasnien supérieur.

Il s'agit en fait *d'accumulations de carbonates* du Dévonien qui affleurent dans la partie est de l'Anti-Atlas (Tafilalt). Ces accumulations sont connues sous le nom des

monticules (ou Kess-Kess : Nom qu'on donne au couscoussier traditionnel au Maroc). Cette appellation locale décrit parfaitement la morphologie de ces édifices: coniques, à base subcirculaire et sommet pointu pour la majorité d'entre eux (Fig. 163). Ils sont au nombre de 46, étalés sur 7 km en direction E-W et dont la hauteur est comprise entre 3 et 45m avec des pentes variables de 15 à 60°, mais généralement plus fortes vers le nord.

Ces structures constituent un exemple classique de *monticules de boue* en eau profonde liés à l'hydrothermalisme. Elles ont été créées par des éruptions volcaniques sous-marines au Dévonien inférieur. Les infiltrations hydrothermales ont persisté pendant une longue période de temps, depuis la fin du Praguien jusqu'au début du Frasnien (soit 25 Ma). La réactivation des processus magmatiques vers la fin de l'Emsien a permis la formation de structure en dômes du complexe volcanique, recouvrant des strates sédimentaires, et en conséquence création d'un réseau de failles, qui a servi à la conduite de fluides chauds qui migrent sur le fond marin. Les données géochimiques suggèrent que les carbonates des monticules de boue se sont formés par un mélange de fluides hydrothermaux et d'eau de mer (Belka et al. 2015).

L'un des traits caractéristiques de ces monticules de boue est la présence d'un grand nombre de cavités, qui sont des fragments de plus grands espaces libres. À l'origine, ils constituent un système complexe de fissures, des cheminées et des espaces ouverts remplis de sédiments laminés micritiques à grains fins et à ciments de calcite.

***Cet environnement fait de cette région un lieu exceptionnel dans le monde, qui mérite d'être conservé et protégé.***

Bien que les phases de formation de ces monticules aient duré pendant une courte période de temps (qui correspond à une seule zone de conodontes)<sup>282</sup>, ces monticules sont restés un lieu d'activité animale intense. En effet, les parties supérieures de ces structures offrent une meilleure circulation des eaux ; elles ont été colonisées par des communautés diverses de Rugueux, de Coraux Tabulés, de Bivalves, de Crinoïdes et de Brachiopodes. Les cavités et les fissures, les anciennes voies de migration de fluide de ces structures sont devenues le lieu de développement du biote (Le biote cryptique incrustant le toit des cavités se composait principalement de quatre groupes d'invertébrés: coraux rugueux, crinoïdes, compile, et les éponges), avant d'être remplies par des sédiments. En outre, ces cavités ont été visitées périodiquement par des centaines de trilobites (*Scutellum*, *Harpes*) qu'on retrouve actuellement à l'état fossile (Becker et al., 2018).

---

<sup>282</sup> Pour plus de détail consulter : Becker T.R., Aboussalam Z.S., Helling S., Afhüppe L., Baidder L. & El Hassani A. (2018): The world-famous Devonian mudmounds at Hamar Laghdad and overlying cephalopod-rich strata. Münster. Forsch. Geol. Paläont. N°110; pp: 188-213

### *Le Récif jurassique d'Aït Athmane*

La localité d'Aït Athmane est située sur la partie nord de la plateforme saharienne à environ 16 km vers le sud de la localité dite Foum Zabel (ou Tunnel de la Légion). Le récif (calcaires bio-construits) jurassique est situé en rive droite de l'oued Ziz, à quelques centaines de mètres au sud du village d'Aït Athmane (Fig. 165).



Figure 165 : Panorama, depuis la RN-21, du récif d'Aït Athmane (sommet de la Formation d'Aganane, juste avant le passage vers la Formation d'Aït Athmane) ; Faciès carbonaté grossier avec des larges coraux (*Scleractinia*) et des bivalves (*Lithiotidae*) et Calcaire à oïdes et à oncoïdes avec des traces de compaction physique.

Du point de vue sédimentaire, les séries du Lias et du Dogger forment les entablements carbonatés du Haut Atlas central méridional, entaillés par l'oued Ziz. Sur la rive droite de ce cours d'eau, en aval de la localité d'Aït Athmane et le long de la route principale n° 21, se trouvent le Lias moyen et l'Aaléno-Bajocien, dont les différents termes affleurent largement ; la transition Domérien-Toarcién est bien individualisée.

Le sommet du **Domérien** est représenté par les calcaires bio-construits, gris à noirâtres, de stratonomie variée et localement dolomités, où s'intercalent des passées de marnes rouges. La biophase est composée essentiellement de grands lamellibranches (*Megalodon* sp., *Lithotis* sp et *Cochlearites* sp.), en position de vie ou remaniés, auxquels sont associés des polypiers, des algues et des gastéropodes. Une surface ferrugineuse, à ammonites encroûtées, clôture ces carbonates néritiques. Vient ensuite, la succession des termes suivants : des calcaires noduleux à grands lamellibranches remaniés, où s'intercale un banc pluri-décimétrique de calcaire

bioclastique et oolithique au sommet ; un calcaire bioclastique à grands Lamellibranches. Cet ensemble carbonaté est coiffé par une surface irrégulière ferrugineuse. Ce site est très pédagogique et mérite amplement d'être préservé pour servir d'explication pour l'environnement sédimentaire à la limite Domérien-Toarcien et illustrer ainsi une partie de la géologie du Haut Atlas central au Jurassique.

### ***Les péridotites de Béni Bousera (Rif interne)***

Dans le Nord de la *chaîne alpine du Rif*, on peut observer des affleurements rares témoignant d'un morceau de manteau ; il s'agit des péridotites de Beni Bousera (Fig. 166). Ces dernières sont qualifiées de sous- continentales et appartiennent au domaine interne de la chaîne alpine du Rif, constitué par un complexe métamorphique comportant un ensemble supérieur (Dorsale calcaire et Ghomarides) et un ensemble inférieur (Sebtides). Les péridotites de Béni Bousera sont constituées dans leur partie centrale par des lherzolites rubanées. Ce rubanement est dû à la présence de pyroxénolites. La paragenèse primaire indique des conditions de cristallisation voisines de 1.400°C et 25 kb. Au toit du massif, les péridotites s'enrichissent en grenats, dont l'origine est discutée par plusieurs auteurs (elle est soit mantellique, résultant d'une trempe par refroidissement à la périphérie des péridotites en remontée rapide, soit provenant d'une cristallisation tectonique, due à une contamination crustale des péridotites lors de leur charriage). Ces péridotites sont faiblement serpentinisées au cœur du massif ; le phénomène de serpentinitisation est total sur une épaisseur parfois pluri-décamétrique, au toit du massif. Des filons leucocrates tardifs recoupent les structures syn-métamorphiques.

Ces affleurements, avec ceux de Ronda dans la cordillère bétique, constituent des témoins exceptionnels pour la compréhension d'une partie de la chaîne alpine méditerranéenne et méritent amplement d'être sauvegardés, en tant que parc géologique, à titre de patrimoine naturel universel.

L'évolution de la déformation dans la zone des Béni Bousera a subi la tectonique (collision) hercynienne qui a entraîné le métamorphisme des métapélites de l'Unité de Filali (Sebtides inférieures). Durant le cycle alpin, au Miocène moyen, une phase d'extension affecte l'ensemble de la chaîne bético-rifaine, la lithosphère est amincie et les péridotites sont alors exhumées (Afiri, 2011). Cette extension est probablement liée, selon le même auteur, à un retrait de la zone de subduction vers le sud.

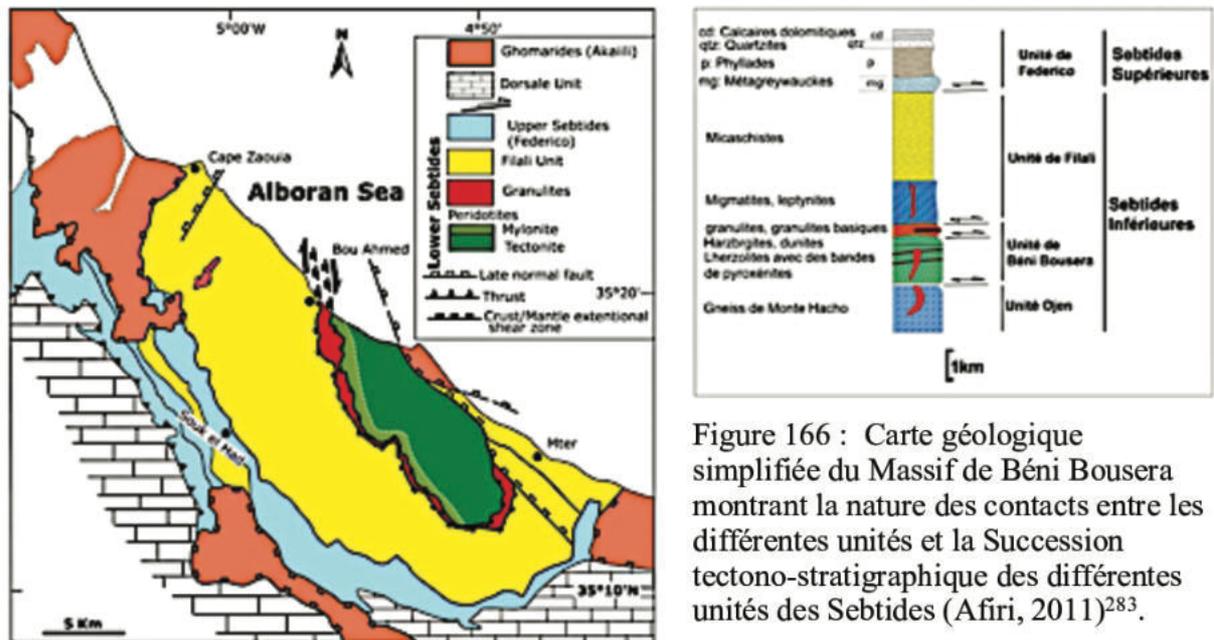


Figure 166 : Carte géologique simplifiée du Massif de Béni Bousera montrant la nature des contacts entre les différentes unités et la Succession tectono-stratigraphique des différentes unités des Sebtides (Afiri, 2011)<sup>283</sup>.

***Un exemple des volcans du Quaternaire dans le Rif oriental : un potentiel géoparc qui pourrait contribuer au développement durable de la province de Nador.***

Une importante activité volcanique, survenue au Miocène et au Plio-Quaternaire, caractérise la région du Rif oriental. De nombreux travaux de recherche géologique, d'ordre structural, pétrologique, géochimique et géochronologique permettent aujourd'hui d'avoir des idées claires sur le volcanisme du Rif oriental (Hernandez & Bellon 1985 ; Hernandez et al., 1987 ; El Bakkali 1995 ; El Bakkali et al. 1998, 2003 ; El Azouzi et al., 1999 ; Msaadi et al., 2020 ; El Amrani et al., 2021). Les manifestations éruptives liées à cette activité volcanique ont transformé profondément la morphostructure de cette région et ont donné naissance à trois massifs volcaniques : le strato-volcan du Gourougou, entouré par ses appareils satellitaires ; le Cap des Trois Fourches au Nord et le petit massif volcanique de Ras Tarf à l'ouest (Fig. 167).

- Le strato-volcan de Gourougou (Figs. 168 et 169), situé au NW de Nador, culmine à 887 m et se compose d'un massif central dont le diamètre avoisine les 15 km. Il est entouré d'appareils satellitaires (Bou Touil Tidiennite, Béni Bou Ifrou, Amjar, ...)
- Le volcanisme du Cap des Trois Fourches (Fig. 170), situé au nord de Melilla, est considéré par les auteurs comme un massif volcanique satellite du strato-

<sup>283</sup> Afiri A. (2011) : Étude pétro-structurale des péridotites de Béni Bousera et des roches crustales sus-jacentes (Rif interne, Maroc) : Implications géodynamiques. Thèse de l'Université Cadi Ayyad de Marrakech, 430 p.

volcan de Gourougou ; il affleure au niveau de la mer Méditerranée sur trois facettes (nord, est et ouest) ;

- Le petit massif de Ras Tarf, d'une dizaine de km de diamètre, se situe à l'ouest du Gourougou et à 20 km à l'Est d'Al Hoceima ; lui aussi affleure en bordure de la Méditerranée, au voisinage d'une grande zone de décrochement limitée par le bassin post-nappes de Boudinar.

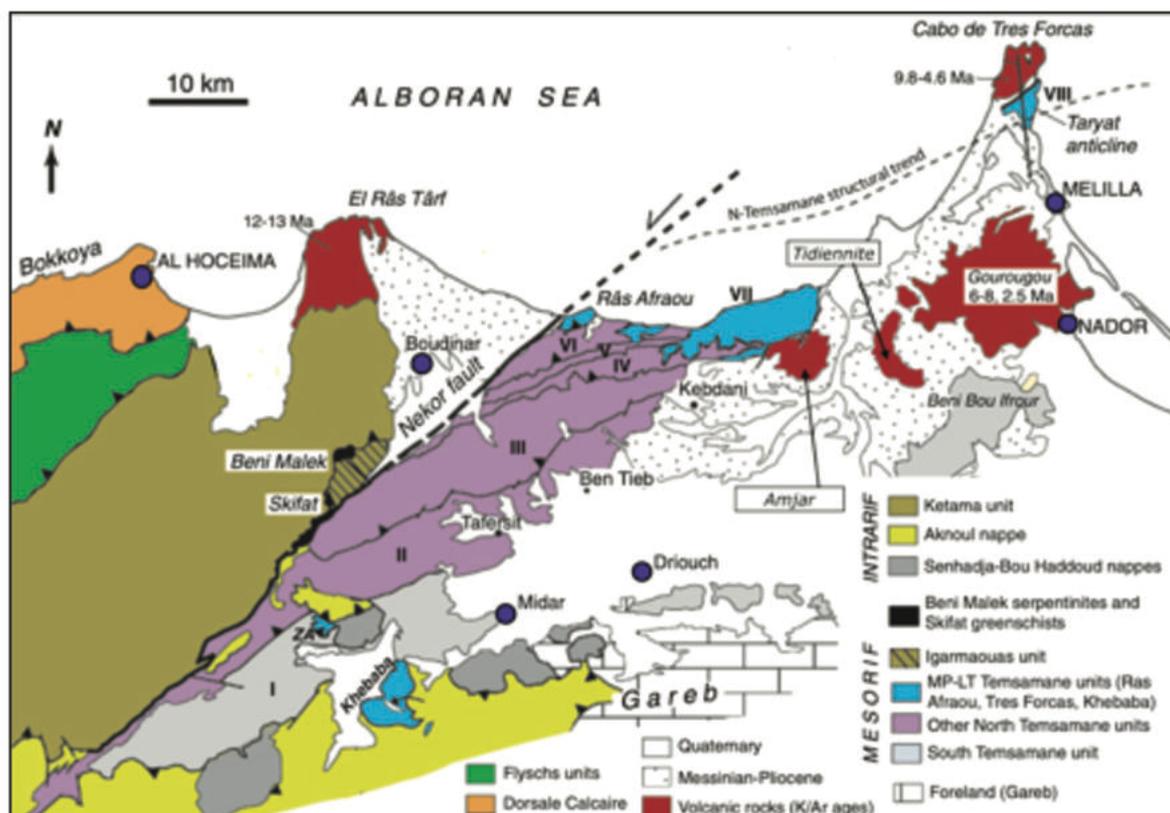


Figure 167 : Situation des trois localités volcaniques du Rif Oriental (Negro et *al.*, 2007).

Ces trois massifs volcaniques constituent des géosites d'une grande potentialité géotouristique. En effet, chaque station offre de nombreux géosites à morphostructures et à produits volcaniques remarquables par leur état de conservation et par leur qualité didactique. L'étude menée par Mssadi (2017), dans le cadre d'un mémoire de fin d'étude de Master a permis de faire l'inventaire des principaux géosites de la région et de proposer un circuit passant par les trois massifs volcaniques<sup>284</sup>.

<sup>284</sup> Rapport interne El Amrani et *al.* (2020) : projet V2GV-phase2 ; (financé par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques).



Figure 168 : photo montrant une partie des dykes du Gourougou, avec en contre-bas la ville de Nador, édifiée sur les bords de Mar-Chica, et le massif des Kibdana en arrière-plan.



Figure 169 : Vue du complexe volcanique du Gourougou depuis le site de la mine de Ouichane (située à l'Ouest)



Figure 170 : Photo montrant une partie des produits volcaniques (rhyolites à biotites et amphiboles ; tufs rhyolitiques indifférenciés) du Cap des Trois Fourches.

A cet égard, des études d'inventaire ont été réalisées par Msaadi et *al.* (2020), ce qui leur a permis de proposer un circuit géotouristique pour les amateurs de la nature et du volcanisme, afin de mettre en valeur les géosites et les produits de cette province volcanique. Ce circuit comprend une douzaine d'arrêts d'un grand intérêt scientifique montrant différentes structures volcaniques (cônes volcaniques, dykes du Gourougou, orgues basaltiques d'Amjar, dépôts de tufs rhyolitiques, basalte en boules (pillow-lavas) dans la zone d'Agharabo Yarzan, etc.) et des formations géologiques (andésite, basalte, bentonite de Tidiennite, rhyolite, tufs, verre volcanique perlé, etc.). Ces auteurs recommandent que les offices de tourisme, les agences de voyages, les Tour-opérateurs, guides touristiques puissent s'intéresser à cet important volet et en tirer le plus grand bénéfice pour le développement de la région de l'Oriental, dans le cadre d'un développement durable<sup>285</sup>. La création d'un géoparc est une des solutions qui permettra de mettre à profit les excellents paysages et géosites du Rif oriental et, sans aucun doute, de tirer beaucoup de profits, aussi bien le plan économique, écologique et touristique.

#### ***La vallée du Bou Regreg (ou extrémité occidentale de la zone de Rabat-Tiflet)***

La zone de Rabat-Tiflet est une des zones clés pour la compréhension du Maroc hercynien, en raison de la superposition des structures et de sa position

<sup>285</sup> Rapport El Amrani et *al.* (2021) : projet V2GV-phase3 ; Bilan Geomat Rif (Rapport interne).

septentrionale dans le domaine mésétien. Elle permet d'envisager des liens à l'époque considérée avec l'Amérique du Nord et l'Europe occidentale.

La vallée du Bou Regreg constitue la partie ouest de la zone exceptionnelle de Rabat-Tiflet. Il s'agit d'une région qui est communément appelée «synclinal des carrières» ; elle est de très petite superficie (environ 5 km<sup>2</sup>) où on peut lire une bonne partie de l'histoire paléozoïque de la Meseta marocaine occidentale. La région de Rabat-Tiflet, au sens large, est formée par deux unités principales: 1) la zone métamorphique de Sehoul ou Bloc Sehoul, 2) la zone sédimentaire de Bou Regreg (ou zone de Rabat-Tiflet, au sens strict).

*Les affleurements du bloc de Sehoul* sont situés au nord de cette région et montrent des structures orientées ouest-est. Ils représentent ainsi la bordure nord, surélevée, du bassin carbonifère de Sidi Bettache dans la Meseta nord-occidentale (Piqué, 1979). Le bloc de Sehoul est constitué par une épaisse série de phyllades et de quartzo-phyllades du Cambrien inférieur-moyen, affectées par un plissement synchrone d'un faible métamorphisme ; ce dernier a été daté par la méthode K/Ar de 450 Ma (El Hassani et al., 1991). Les plis sont isoclinaux et ont une vergence sud-sud-est ; ils sont associés à un clivage de flux. Ces événements sont rattachés par ces auteurs à une phase calédonienne. Le bloc des Sehoul comprend quelques lentilles d'un granite calco-alcalin, qui a développé un métamorphisme de contact à andalousite, cordiérite, biotite et chlorite. La présence de plusieurs pointements granitiques aussi bien dans le Bloc des Sehoul que dans la zone de Rabat-Tiflet n'est toujours pas clairement élucidée, mais offre plusieurs exemples didactiques dans la vallée du Bou Regreg, particulièrement au niveau du déversoir du Barrage Sidi Mohamed ben Abdellah<sup>286</sup>.

La séquence paléozoïque du bloc de Sehoul se termine par des conglomérats continentaux discordants sur ce bloc, qui affleurent sur la rive gauche du Bou Regreg, en aval de l'Oued Akrech, et aussi à Jbel Bakkach où ils sont datés du Viséen inférieur par la présence d'une paléoflore de fougères (Danzé-Corsin, 1960).

*La zone sédimentaire de Bou Regreg (ou zone de Rabat-Tiflet, s.s.)*

Dans la région de Tiflet (oued Satour, Taicha et Oued Bou Regreg) des affleurements granitiques constituent le socle d'une couverture sédimentaire datée de l'Ordovicien au Carbonifère (Viséen supérieur). Ces granites seraient selon Wippert (1955) antérieurs à l'Ordovicien, ce qui a été confirmé par des datations géochronologiques autour de 605 ± 4 Ma (Tahiri et al., 2010), lui donnant un âge néoprotérozoïque à ce socle comme dans d'autres zones de la Meseta occidentale (El Jadida, Rehamna Centraux et Pays Zaïan). Ajoutons enfin que, la discordance des couches rouges du

---

<sup>286</sup> Pour plus de détails, consulter le chapitre précédent (différentes facettes de la géologie du Maroc).

Silurien supérieur-Dévonien inférieur sur les pélites de l'Ordovicien inférieur et sur le socle granitique témoigne de la survenue d'un événement tectonique calédonien, qui ne se produit pas ailleurs dans la Meseta occidentale (El Hassani, 1990).

La série stratigraphique du Bou Regreg est relativement condensée et on peut suivre ainsi sur de petites distances les termes ordoviciens à carbonifères, dans le «synclinal des carrières» de la vallée du Bou Regreg, au SE de la ville de Rabat (Figs. 171 et 172) .



Figure 171 : Vue générale sur le « synclinal des carrières » dans le Dévonien de la vallée du Bou Regreg au SE de Rabat.

L'Ordovicien de Rabat est constitué de pélites surmicacées et bioturbées ; de barres de quartzite ; de pélites micacées, écrasées, en amygdales ; d'une alternance de grès, en bancs continus ou en lentilles ; d'une alternance de pélites et de grès (à plis centimétriques et traversés par plusieurs systèmes de fractures) ; enfin, des pélites finement micacées, à rares niveaux gréseux, de couleur vert-foncé ou noire.

Cette série sédimentaire contient, dans sa partie basale, des roches volcaniques interstratifiées dans les grésopélites. Les analyses chimiques montrent qu'il s'agit de basaltes peu différenciés, fortement spilitisés, dont la nature géochimique est proche de celle des laves calco-alcalines. La présence de ces roches magmatiques distingue cette région du reste de la Meseta occidentale.

Dans cette région du Bou Regreg, deux gisements fossilifères datent l'Ordovicien de Rabat par macrofaune : le premier gisement à Bled Dfa comprend une association de trilobites, de graptolithes et d'ostracodes; le deuxième à Hosseine a livré un Trilobite et plusieurs exemplaires d'un Brachiopode (El Hassani *et al.*, 1987 ; 1988). L'analyse de ces faunes de Rabat montre que l'Ordovicien se limite ici à l'Arenig moyen, l'Arenig supérieur et/ou le Llanvirn inférieur.

On peut remarquer, dans cette région, une importante lacune sédimentaire de l'Ordovicien moyen-supérieur et du Silurien inférieur (soit environ 60 Ma), très probablement en relation avec les mouvements de soulèvement et de compression calédoniens que connaît cette région.

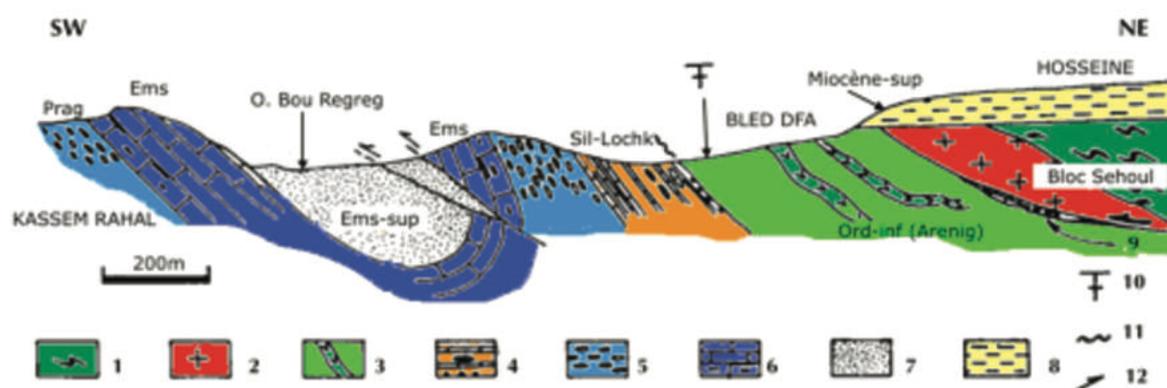


Figure 172 : coupe dans le «synclinal des carrières» dans la vallée du Bou Regreg, au SE de Rabat. 1. Phyllades et quartzo-phyllades des Sehoui ; 2. Granite éovarisque (367 Ma, Tahiri *et al.*, 2010) ; 3. Ordovicien inférieur à coulées basiques ; 4. Silurien supérieur – Lochkovien ; 5. Praguien ; 6. Emsien ; 7. Schistes de Daleje (Emsien supérieur) ; 8. Marnes du Miocène supérieur ; 9. Site fossilifère ; 10. Discordance ; 11. Sens de charriage.

### *La période siluro-dévonienne (plateforme carbonatée)*

Après une période d'émersion, la sédimentation reprend au Silurien supérieur ; la transgression, progressive de Rabat à Tiflet, est marquée par un niveau microconglomératique, suivi par des sédiments très fins, pélites et calcaires, en bancs ou en nodules sédimentaires, à Graptolithes, Trilobites, Orthocères et Brachiopodes. Ces faciès, presque uniformes dans toute la Meseta marocaine, sont ceux d'une mer ouverte, relativement calme.

Le passage vers le Dévonien est continu, sans changement évident des sédiments<sup>287</sup>. Les dépôts d'abord pélagiques (pélites et calcaires fins) évoluent dans le temps vers une séquence de comblement. Le début de la période dévonienne se marque ainsi

<sup>287</sup> La coupe de Bled Dfa montre un passage progressif du Silurien au Dévonien, la limite entre les deux étages est d'ordre paléontologique (apparition de *Monograptus uniformis*), ce qui lui a valu d'être proposée comme stratotype auxiliaire pour cette limite (Alberti, 1977 ?).

par une nette prédominance des faciès argileux qui prolongent, sans discontinuité, ceux du Silurien. Les premiers termes du Lochkovien marquent la fin d'une sédimentation confinée, de mer calme et profonde, et dépose une alternance de pélites et de calcaires qui comprennent à la base *Monograptus uniformis* et *Icriodus* cf. *woschmidti*, et au sommet une importante association faunique du Lochkovien supérieur (*in* Alberti, 1969 ; El Hassani et *al.*, 1988). Le faciès et la faune correspondent aux calcaires supérieurs de Radotin (Lochkovien supérieur), dans le massif de Bohême en Tchéquie à l'est de la ville de Lochkov, de mer relativement profonde et confinée.

Vers la fin du Lochkovien, un autre type de sédimentation s'installe. Il s'agit du développement du faciès de plateforme carbonatée à environnements récifaux ou péri-récifaux où les faciès détritiques sont également représentés. Ces faciès devant s'étendre largement en Meseta occidentale, au moins jusqu'au Famennien pour ce qui est de la Meseta nord-occidentale (Piqué, 1979 ; El Hassani, 1990).

Au Praguien, un changement brutal de faciès se produit à Rabat, par le passage des calcaires en plaquettes à interlits pélitiques du Lochkovien à des calcaires noduleux (griottes) du Praguien. C'est justement l'endroit en Meseta occidentale, où le contact entre le Lochkovien et le Praguien est le mieux tranché (Hollard, 1967) ; c'est ce que Walliser et *al.*, (1995) ont qualifié de «time specific facies». Le passage du Praguien à l'Emsien est également assez net. Il se marque par la disparition des calcaires noduleux (griottes) et l'apparition de niveaux calcaires à accidents siliceux. L'Emsien se confirme par le dépôt de calcaires massifs de plusieurs mètres d'épaisseur et comprenant à leur base des niveaux siliceux (cherts) interstratifiés. Ces calcaires sont intensément exploités par concassage pour la production de gravier pour les constructions de la région de Rabat-Salé (Fig. 171).

Le passage vers l'Emsien supérieur (Dalejien) est progressif ; il est représenté par les pélites noires typiques du *Daleje-Event* avec à leur base une faune de Goniatites (*Anarcestes lateseptatus*) et aussi quelques trilobites (*Phacops* sp.) de petite taille (1 à 3 cm), que Coney (1957) a qualifié de «schistes cartons» à trilobites.

Dans cette vallée du Bou Regreg, on peut également observer, parallèlement à l'évolution verticale du faciès, une évolution de la faune. Elle est d'abord pélagique (prolifération des Graptolithes au Siluro-Lochkovien), puis néritique (Encrines, Echinodermes, Polypiers, Bryozoaires,... au Praguien-Emsien).

A Rabat, le Dévonien le plus récent est daté de l'Emsien supérieur, alors que plus à l'Est, à Tiflet (gorges du Khaloua et oued Tiflet) on retrouve des affleurements

calcaires à stromatopores et autres faunes récifales du Givétien (sous forme de faciès récifal), confirmé par ailleurs par les études de Hüneke & Krienke (2004)<sup>288</sup>.

*Notons enfin que, par sa faune et son faciès le Siluro-Dévonien de la zone de Rabat-Tiflet rappelle ceux du Barrandien (Bohême).*

Les perturbations synsédimentaires (failles) conduiront, à l'Emsien supérieur, à des variations locales de faciès (pélites à Rabat et calcaires à Tiflet). La plateforme emsienne se prolongerait ici jusqu'au Givétien. Ces perturbations sont les prémices de l'individualisation, vers la fin du Dévonien – début du Carbonifère, du bassin de Sidi Bettache, dont la marge septentrionale se situe entre Ain Hallouf (près d'Ain El Aouda) et le Bas oued Grou (de part et d'autre de la retenue du barrage Sidi Mohammed Ben Abdellah).

Des épisodes conglomératiques sont issus de l'émersion et l'érosion de cette ride ; l'une d'entre eux se trouve dans la vallée du Bou Regreg et qui affleure sur les rives de cet oued. Ceux du Jbel Bakkach sont datés en (x= et y= ) du Viséen inférieur par la présence d'une paléoflore à Lépidodendrons.

Suite aux événements de l'orogénèse hercynienne, la région de Rabat fut émergée pendant très longtemps, pour subir les facteurs de l'érosion et devenir une pénéplaine. C'est seulement au Miocène supérieur (Tortonien) que la région est recouverte, à nouveau, par une série marneuse qu'on observe parfaitement de part et d'autre de la vallée du Bou Regreg et aussi dans les carrières de l'Oulja à Salé. Ces marnes ont été ensuite affectées par un système de failles verticales en escalier (à regard nord), permettant la conservation de plus en plus de marnes à mesure qu'on se déplace vers le nord, avant d'être scellé par les dépôts horizontaux du Quaternaire (Fig. 173).



Figure 173 : panorama des formations miocènes en rive gauche du Bou Regreg (au Nord d'Akrech).

<sup>288</sup> Hüneke, H., Krienke, K. Toe-of-slope deposits of a Givetian reef-rimmed platform: provenance of calcareous density-flow deposits (Rabat-Tiflet-Zone, Morocco). *Facies* **50**, 327–346 (2004). <https://doi.org/10.1007/s10347-004-0019-4>

### *Les géoparcs*

C'est à partir des années 2000 et 2010 que les géoparcs connaissent une croissance importante à travers le monde et s'imposent comme des territoires reconnus pour le géotourisme en vue du développement durable des nations.

Le Géoparc est défini comme un lieu renfermant un certain nombre de sites (de toutes tailles) ou une mosaïque d'entités géologiques d'une rareté, d'une beauté ou d'un intérêt particulier, représentatif de l'histoire géologique d'une région donnée, ainsi que les événements et les processus qui l'ont formé. Le Maroc, bien qu'il ne jouisse que d'un seul parc géologique, reste le *trésor de la mémoire de la Terre*.

Actuellement, le Maroc développe une stratégie de développement touristique sur plusieurs territoires, intégrant un plan de développement du tourisme rural et de nature.

Dans le Haut Atlas central, la province d'Azilal possède les plus importants gisements de Dinosaures du Royaume ; de nombreuses pistes d'empreintes de dinosaures y ont été mises à jour, ainsi que le squelette presque complet de l'*Atlasaurus Imelakei*, âgé de 160 Ma. Ainsi est né le Géoparc de M'Goun, minéralogique et paléontologique, dans la région Tadla Azilal. En effet, ce dernier reste exceptionnel et suscite l'intérêt de la communauté scientifique nationale et internationale (Fig. 174).

Sa réalisation a permis au Maroc, premier pays arabe et africain, d'intégrer le réseau mondial des géoparcs. Il a été honoré à travers sa labellisation par l'UNESCO (6<sup>ème</sup> Conférence mondiale des Géoparcs) en tant que «**Global Geopark**» lors d'une cérémonie qui s'est tenue au Canada le 22 septembre 2014.

Du point de vue patrimonial, ce géoparc rappelle la disparition des Dinosaures, attribuée à la cinquième extinction de la fin du Crétacé il y a 65 Ma.

A titre de rappel et d'information, on note que plusieurs hypothèses ont été avancées, celle qui reste la plus plausible est résumée par Taquet (2008). Le scénario proposé par cet auteur est le suivant: *«à la fin du Crétacé, 5 ou 6 millions d'années avant la limite Crétacé-Tertiaire, le climat se refroidit à la suite d'une moindre activité solaire et par suite des changements intervenant dans les courants océaniques avec la nouvelle disposition des continents. Puis d'importantes éruptions volcaniques se déclenchent sur la péninsule du Deccan en Inde à la limite Crétacé-Tertiaire et ce, pendant 500.000 ans; à ces éruptions s'ajoute la chute d'une grosse météorite; enfin la compétition opère un tri parmi les espèces animales et végétales et seules vont survivre les plus adaptées. La crise de la fin du Crétacé n'est donc pas due à une cause unique mais à une série de causes dont la somme va provoquer une crise environnementale majeure»*.



Figure 174 : le géoparc de M'Goun, un exemple pour illustrer la route des dinosaures.

### *La Protection de ce patrimoine géologique doit être envisagée*

**D'abord sur site** par la création de réserves naturelles ou géoparcs, de musées de sites permettant :

- d'interdire la collecte d'échantillons à des fins autres que scientifiques,
- de valoriser des sites géologiques par la création d'itinéraires guidés (qu'on peut tirer à partir de l'excellente collection des Notes et Mémoires du service géologique du Maroc et des cartes géologiques publiées par ce même service),
- de réaliser des panneaux explicatifs à fixer sur les géosites, en organisant des conférences grand public, en confectionnant et en mettant en vente des moulages (à buts éducatif et économique), ainsi que des films documentaires relatant la richesse du patrimoine géologique marocain.

**Ces actions engendreront automatiquement la création d'emplois et contribueront au développement durable d'une région donnée.**

**En ex-situ (hors site)** par les collections de Musées et par l'éducation relative à la conservation du patrimoine environnemental (au niveau des écoles).

Dans l'état actuel, au vu de la rareté des musées, des magasins (bazars) sont bien développés un peu partout au Maroc, mais particulièrement dans la région du Tafilalet (Erfoud, Rissani, Alnif, Ouarzazate, ...). Ces bazars offrent de jolis spécimens mis à la vente, bien qu'une bonne partie a été façonnée d'une manière erronée.

De petits musées ont également été élaborés dans le Tafilalt par des particuliers où l'on peut admirer aussi bien la richesse de la région par l'exposition de pièces rares de la région de valeurs scientifiques inestimables que celles d'autres régions par l'exposition de copies de Dinosaures et de reptiles et poissons du plateau des phosphates (région de Khouribga) et aussi par l'exposition de météorites de tailles et de types différents. L'un des plus importants musées de ce genre se situe au cœur de la palmeraie entre Erfoud et Rissani dans une bâtisse traditionnelle offrant à l'extérieur une emblématique copie de Dinosaur (Fig. 175). Ce Musée comprend une partie exposition et une partie magasin de vente. Les espèces rares sont jalousement gardées. Son objectif est de vulgariser ce type de produits en le rapprochant d'un public large et diversifié (écoliers, touristes, scientifiques) toutes catégories confondues ; l'entrée est gratuite.

Le commerce des fossiles dans l'Anti-Atlas oriental (surtout le Tafilalt) est une source de revenu pérenne pour bon nombre de familles tout au long de l'année et permet d'attirer des touristes (dont des scientifiques). La réalisation (mise à jour) de pièces mises en vente nécessite un travail acharné par des équipes de spécialistes (de fortune) pendant plusieurs jours, voire plusieurs semaines pour dégager un trilobite, un crinoïde (étoile de mer) ou une Goniatite (fig. 176).



Figure 175 : Photo montrant un moulage de Dinosaures à l'entrée du Musée Tahiri (privé).



Figure 176 : photos montrant la préparation par le groupe Adam Aaronson (Rabat) et le résultat de dégagement d'une table à Trilobites ordoviciens (Trémadoc supérieur) du genre : *Dikelocephalina* sp. et *Asaphellus* sp. Cette plaque est rattachée à la Formation de Fezouata inférieure dans l'Anti-Atlas central.

Cette richesse en fossiles et en minéraux est menacée de surexploitation ; seule prime ici le prix de vente alors que les valeurs scientifiques sont souvent laissées de côté. Cette menace existe bien que le Tafilalet figure dans le réseau mondial des réserves de biosphère de l'UNESCO (convention de 1970 concernant les mesures à prendre pour interdire et empêcher l'importation, l'exportation et le transfert de propriété illicites des biens culturels) et qui cite les fossiles comme biens naturels à protéger (Article premier, paragraphe a) ; cette convention a été ratifiée par le Maroc en février 2003.

### *Les Musées sur place*

***Une nouvelle tendance de la protection du patrimoine géologique consiste à opter pour les Musées sur place.*** En raison de la qualité de la roche supportant les objets géologiques, certains de ces derniers peuvent être efficacement protégés en dehors des salles de musées (expositions à ciel ouvert). Les objets affichés de cette manière sont généralement résistants aux facteurs externes. En effet, lorsque des objets géologiques remarquables sont trop vulnérables, ne pouvant les extraire pour une conservation *ex-situ*, la question se pose de les conserver in situ dans un ***musée de site*** (Fig. 177).

La conservation de ces sites géologiques sensibles peut être assurée grâce à différents outils et moyens mis en œuvre.



Figure 177 : Panorama d'un musée sur site, montrant les pistes de Théropodes à Ait Iouaridene (photo Ph. Taquet).

La construction / Élaboration de musées de sites est l'une des solutions pour protéger un gisement donné des différentes menaces naturelles et anthropiques, à condition que l'administration assure :

- une protection juridique : cela nécessite l'application des textes de lois élaborés, ou en cours ou à venir pour la sauvegarde du patrimoine géologique, sa valorisation et son utilisation rationnelle ;
- fournir l'information pour la sensibilisation : donc rôle capital de la communication auprès du public pour la préservation de ce patrimoine ;

- une protection physique : les sites les plus fragiles sont soumis aux agressions des agents atmosphériques, mais également aux actions anthropiques, que ce soit intentionnellement ou involontairement ;
- une intervention, chaque fois que nécessaire afin d'assurer une protection physique par:
  - o la construction de musées de sites ;
  - o la mise en place d'une couverture de protection et de fermeture définitive ou provisoire du site ;
  - o la construction de musées régionaux dans les villes principales.

Il faut noter cependant que, lorsqu'un tel site (qui servirait de musée sur place) possède des caractéristiques géologiques bien identifiées pour son développement en tant que géosites, il doit d'abord être au centre de la *géoconservation* et aussi de l'utilisation rationnelle de ce genre de sites.

Une fois que les mesures de conservation nécessaires et appropriées ont été mises en place, ces sites devraient être développés pour le *géotourisme*, avec une planification adéquate et une gestion appropriée de l'accès au site pour garantir que les objets géologiques du site sont utilisés de telle manière que les avantages (environnementaux, communautaires et économiques) l'emportent sur tout impact négatif. Dans ce cas, le géotourisme aura un rôle à jouer dans la sensibilisation du public au géo-patrimoine et surtout à en préserver les composantes pour un développement durable.

### **Le patrimoine *ex-situ***

Ce type de patrimoine comprend les **collections géologiques** (musées, collections spécialisées, collections d'amateurs, bazars) et il est particulièrement important pour la sauvegarde de divers types du patrimoine géologique.

Les collections institutionnelles préservent un matériel paléontologique *ex-situ*, émanant d'études scientifiques focalisées sur des niveaux géologiques bien définis. Elles assurent, en outre, la conservation de ce patrimoine, sa gestion et sa vulgarisation et sont soit sous forme de collections spécialisées (réservées aux chercheurs dans des salles spécialisées), soit des collections publiques (dans les musées).

#### ***Les collections spécialisées***

Les collections des sciences de la Terre (des météorites aux fossiles et de l'Archéen à l'Actuel) couvrent tous les aspects mentionnés ci-dessus. Ce sont des matériaux de référence, car la notion de spécimens types s'applique à la paléontologie et à la minéralogie, mais aussi à la géologie avec la définition des stratotypes. De même, tous les sites minéralogiques remarquables sont représentés dans les collections

spécialisées ou dans les musées car il s'agit du seul moyen pratique de protéger ces spécimens précieux et fragiles et servir de références pour la recherche scientifique.

Les collections géologiques permettent de préserver les découvertes passées, dans des endroits sûrs/protégés, comme des références à toute vérification ultérieure. Les échantillons qui la constituent, sorte de mine d'informations, témoignent de l'environnement de leur formation et contribuent à retrouver les paléogéographies anciennes. La notion de patrimoine favorise actuellement une meilleure utilisation des collections géologiques et encourage à les enrichir et surtout à les manipuler avec soins.

Ce genre de collections a toujours servi, à travers les temps, à l'éducation, à la recherche fondamentale et appliquée et aux expositions, pour une meilleure sensibilisation du public. Les collections acquièrent ainsi une certaine pertinence qui induit nécessairement à la prise en compte de l'unicité et de la fragilité du milieu naturel. Cette prise de conscience fait partie d'un autre cadre de référence et il apparaît clairement que la pertinence des collections est de nos jours bien plus grande que par le passé.

### *Les Musées*

Les musées présentent des collections d'objets au public et correspondent à la rencontre de la passion d'un individu, ou d'un groupe d'individus, et d'un lieu pour les présenter et les mettre en valeur. Le «musée» est l'archétype de la présentation de collections.

**Le musée** (définition professionnelle) *est une institution permanente, sans but lucratif, au service de la société et de son développement, ouverte au public, et qui fait des recherches concernant les témoins matériels de l'homme et de son environnement, acquiert ceux-là, les conserve, les communique et notamment les expose à des fins d'études, d'éducation et de délectation (ICOM, 1987).*

Les musées publics ont été créés pour remplacer les collections privées en exposant les œuvres rassemblées où le grand public pouvait profiter d'une expérience partagée.

L'étude de l'art, des artefacts et de tous les objets imaginables devait devenir plus accessible à tous, un moyen de découverte et d'émerveillement.

Un musée est généralement considéré comme un édifice public présentant des objets d'intérêt artistique, culturel, historique ou scientifique, par le biais d'expositions permanentes ou temporaires. Ainsi, **les musées ont une histoire à raconter** ; celle-ci peut être influencée par les scientifiques afin de véhiculer un message qu'ils jugent important. En fournissant un espace de diffusion de l'information, les musées jouent

un rôle important dans la sensibilisation, ce qui contribue à la préservation du patrimoine culturel.

**Un musée doit répondre aux attentes du public**, car ce que recherche le public au travers de son expérience muséale, c'est satisfaire sa curiosité et développer sa culture.

**Pour assurer le bon Fonctionnement des musées et la pérennité des salles de collections**, il y a nécessité de les préserver, ce qui implique l'acquisition, l'enregistrement, la documentation, la conservation et la restauration des objets.

Les musées peuvent s'enrichir par les legs de collectionneurs, les prêts d'autres musées, le commerce avec le secteur privé et les achats sur le terrain. Il est clair que le travail de terrain est une source importante à partir de laquelle les musées géologiques, en particulier, peuvent créer de nouvelles collections avec la participation directe des géologues.

Par ailleurs, un musée remplit deux fonctions de base principales que sont la communication et la recherche scientifique :

**La communication** avec le public par le biais d'expositions, d'éducation et de publications. Le moyen le plus efficace pour un musée de communiquer avec le public consiste à organiser une exposition. Celle-ci se décline en trois contextes :

- *Le contexte personnel*: connaissances, expériences et attentes de l'individu. Cela définit la manière dont un visiteur voit et comprend l'exposition ;
- *Le contexte social*: l'environnement social, les membres de la famille et les amis. Le visiteur est-il seul ou avec un groupe petit ou grand? Les accompagnants peuvent influencer sur l'expérience du musée ;
- *Le contexte physique*: non seulement l'exposition elle-même (les vitrines, les couleurs utilisées et l'éclairage), mais aussi le complexe de bâtiments ou de musées. Différents types d'expositions peuvent être distingués et où les objets peuvent être rangés dans différents ordres: chronologique, par thème, en utilisant une histoire comme point de départ, etc.

**La recherche scientifique**, à travers les actions suivantes :

- **Importance** des collections qui sont souvent utilisées pour la recherche ; non seulement les objets eux-mêmes sont utilisés, mais plus important encore, les informations sur leur contexte d'origine sont étudiées ;
- **Mémorisation** des informations contextuelles qui sont généralement entrées dans un système de base de données dès que les objets sont collectés et arrivent au musée ;

- **Une utilisation rationnelle** avec l'accès aux données patrimoniales via les collections de référence, les Bases de données et les sites web (lithothèque, ...);
- La **Publication** de ces données qui sont cruciales pour les chercheurs qui n'étaient pas présents lors de la découverte ou de la fouille des objets géologiques qu'ils utiliseront ultérieurement.

**Quelques exemples de Musées au Maroc** (une solution pour la préservation du patrimoine naturel) ; (Figs. 178 à 182)



Entrée principale du Musée, il s'agit de la réhabilitation d'un ancien magasin de l'OCP.



Squelette suspendu d'un crocodilien



Figure 178 : Le Musée de la mine de Khouribga, relevant de l'Office Chérifien des Phosphates (une des galeries du Musée).



Figure 179 : Le Musée universitaire des météorites à Agadir

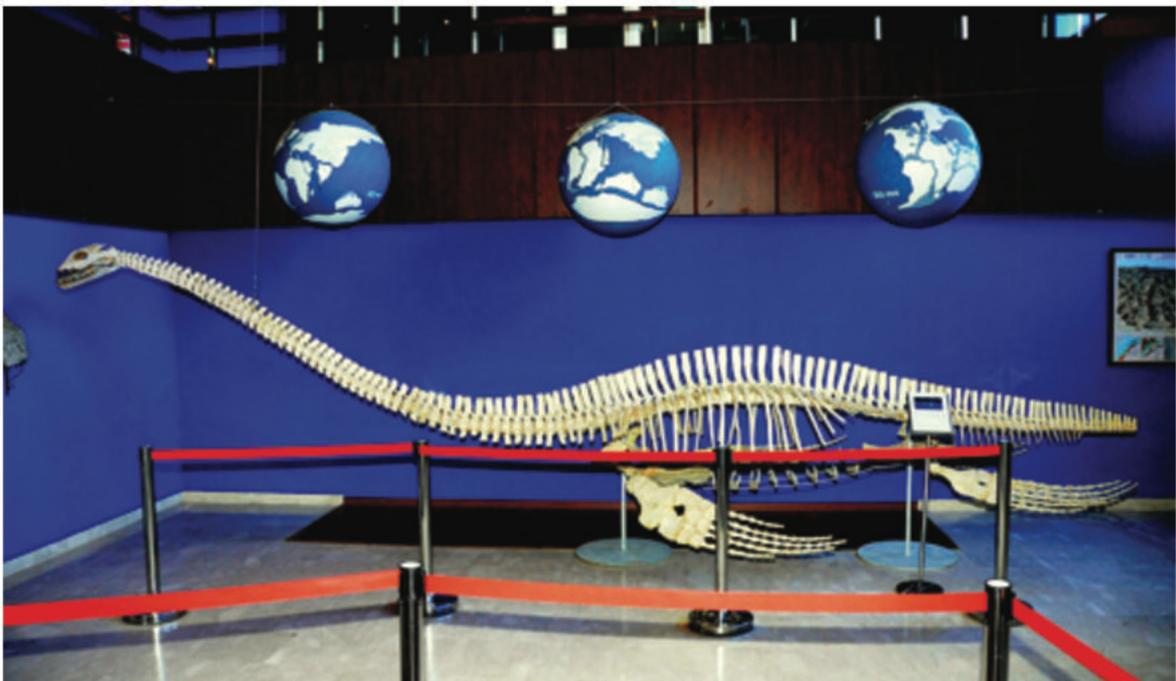


Figure 180 : Musée du Ministère de l'Énergie et des Mines (Direction de la géologie), photo montrant une partie du Musée du Ministère de l'Énergie et des Mines avec Le Plésiosaure, *Zarafasaura oceanis* (photo MEM) : Espèce marocaine découverte dans le Crétacé supérieur du bassin des phosphates de Sidi Daoui ; elle est caractérisée par son long cou qui se termine par une petite tête. Il appartient aux grands reptiles marins carnivores aquatiques et présente de ce fait un corps parfaitement hydrodynamique ; les quatre membres sont transformés en palettes natatoires.



Figure 181 : La galerie de la minéralogie du Musée de la Direction de la géologie(photo MEM).

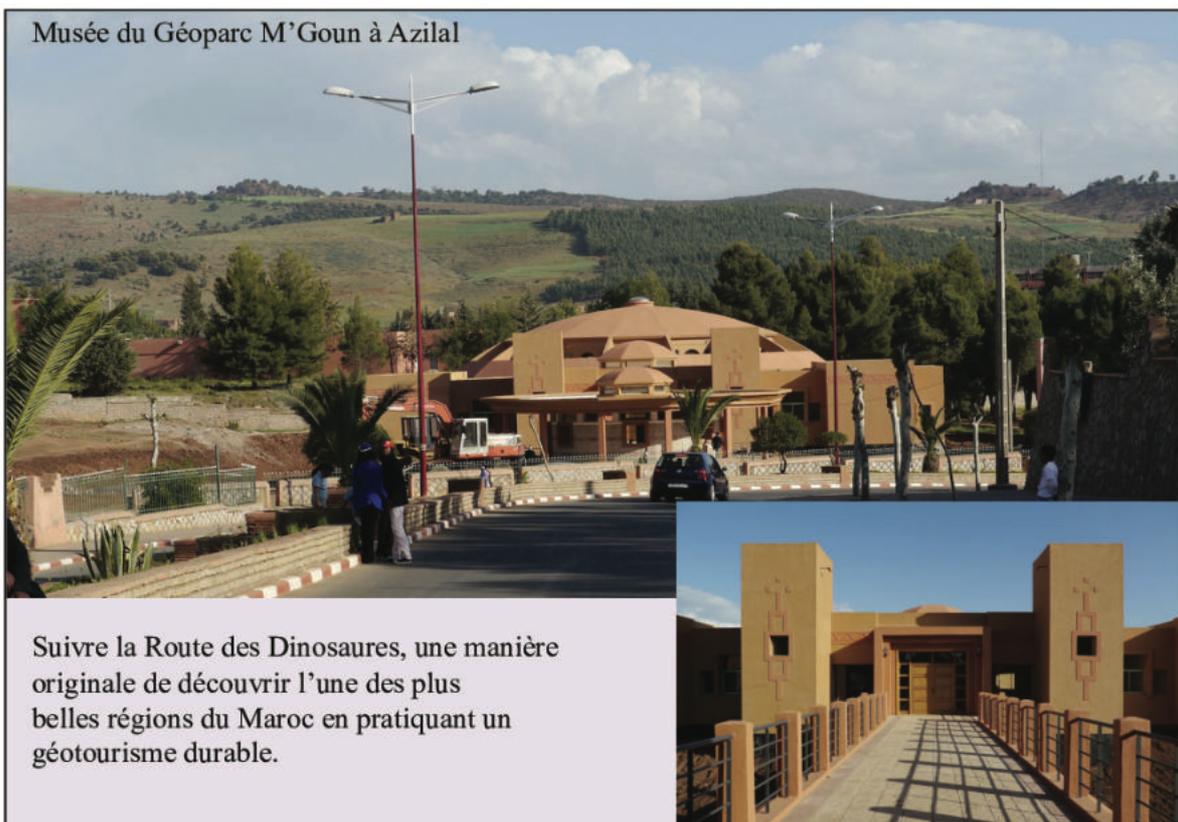


Figure 182 : Le Musée du Géoparc de Mgoun à Azilal.

## L'aspect commercial du patrimoine géologique

Le grand public connaît les fossiles du Maroc parce qu'ils sont présents dans tous les musées et boutiques de minéraux et fossiles du monde entier, et également à travers les nombreuses foires (ou bourses) des fossiles et des minéraux (Fig. 183). Donc la menace pour la géologie du Maroc vient essentiellement de la commercialisation croissante des minéraux et des fossiles. Malgré la vigilance de l'administration, les trafiquants arrivent à sortir les squelettes en plusieurs fois, cachés dans des voitures sous forme de tas de pierres et d'os, profitant de l'absence d'une formation spécialisée des contrôleurs. Tel était le cas du squelette de plésiosaure (un reptile marin) qui a ressurgi en 2017 lors d'une vente aux enchères à l'hôtel Drouot, à Paris, et qui a depuis été restitué au Maroc et ensuite exposé au Musée du Ministère de l'Énergie et des Mines à Rabat (Fig. 180).

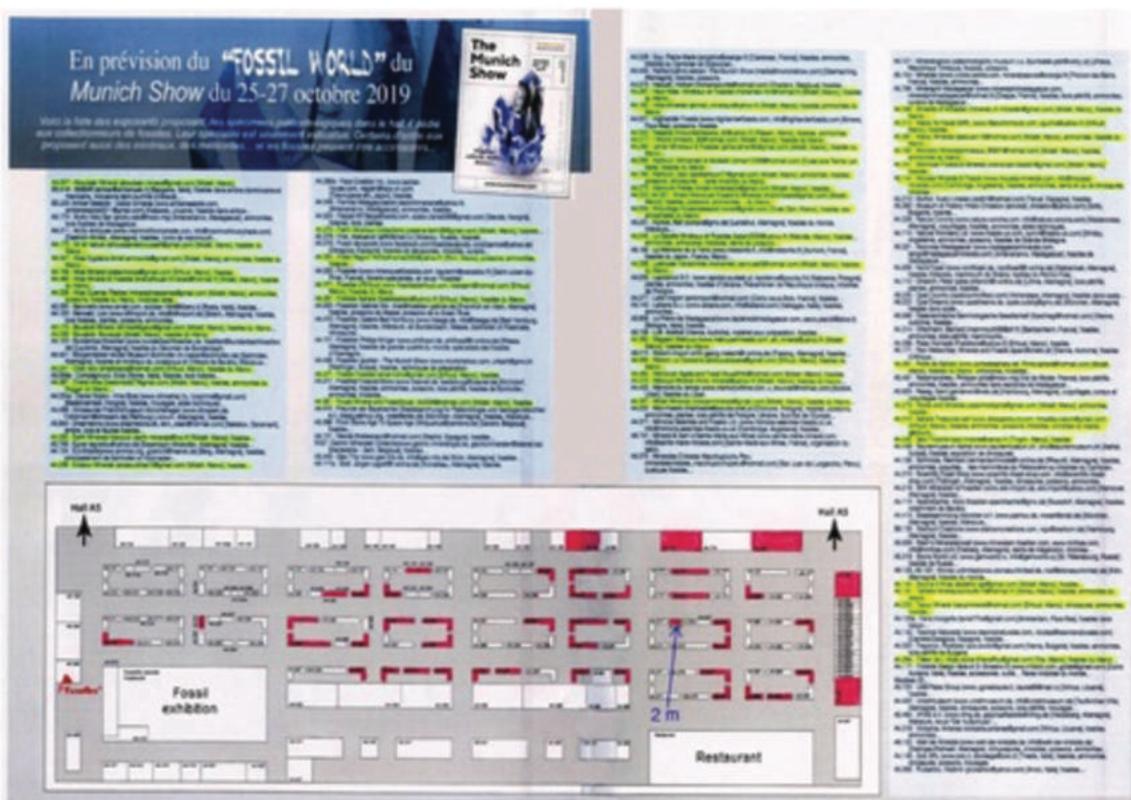


Figure 183 : Plan d'exposition des fossiles à la Foire de Munich (octobre 2019), montrant le fort pourcentage de la participation marocaine (in, Gutierrez-Marco, 2020: Liste des exposants et plan général du pavillon dédié aux fossiles à la Foire de Munich (Allemagne) en 2019, avec en bas le plan général de la foire qui montre (en rouge) les stands des marchands marocains. Reproduit de *Fossiles*, n° 39; Juillet-Août-Septembre 2019; p. 62-63.

Il existe malheureusement ou heureusement (difficile de se prononcer) des milliers d'extracteurs sans licence, qui vendent leurs trouvailles à des grossistes locaux. La marchandise est alors distribuée aux bazars marocains qui les revendent parfois dix

fois leur prix d'achat (sinon plus) aux touristes, ou les exportent pour les vendre à des musées un peu partout dans le monde. La visite de ces bazars permet d'observer des cartons dans de petits ateliers annexes, où des ouvriers, dans une poussière blanche, transforment en assiettes des pierres remplies de fossiles d'Orthocères et/ou de Goniatites (des genres éteints de mollusques céphalopodes). Le business le plus juteux se fait avec les collectionneurs, les musées et les universités étrangers, à la recherche de pièces rares et de vertébrés et à qui ont été expédiés ces cartons sans aucune autorisation.

A partir de l'année 2000, paraissent un certain nombre d'articles et d'émissions (documentaires) télévisuels.

L'un de ceux-ci, sous le titre «Les pierres truquées de Marrakech» attire l'attention sur l'ampleur de ce commerce illégal.

Un autre article paru dans le très célèbre journal *The New York Times*, en l'an 2000, sous le titre : «The Fossil Frenzy» (la frénésie des fossiles). Lui aussi attire l'attention sur les fossiles du Maroc et parle d'une véritable «industrie des fossiles» au Maroc, dont la vente rapporte environ 40 millions de dollars par année. Selon le journaliste Lawrence Osborne, c'est un commerce qui n'est pas régulé mais qui, déjà en 2000, constituait le principal moyen de vie d'environ 50 000 marocains.

La très célèbre BBC montre, en 2010, une série documentaire très réussie, intitulée «First Life» et présentée par le célèbre naturaliste David Attenborough. Ce dernier explique comment au Maroc sont recherchés et produits les fameux trilobites dévoniens, qui grâce aux grands soins de préparation, permettant de bien voir les épines que portaient ces animaux (Fig. 184). Le documentaire montre comment ces fossiles ont été collectés dans des tranchées étroites, qui s'étendent sur des kilomètres dans les régions de Tafilalt et de Maïder (Anti-Atlas oriental), et sont ouverts par des ouvriers locaux travaillant dans des conditions très difficiles dans des zones désertiques.

Les produits finis (généralement d'une excellente qualité) se retrouvent annuellement en vente dans les principales foires internationales, où les fossiles du Maroc atteignent également une grande importance commerciale ; à titre d'exemples :

- Tucson (USA) : Janvier-Février; avec la participation de plusieurs exposants/vendeurs marocains.
- Denver (USA) : Septembre;
- Tokyo (Japon) : Novembre-Décembre.
- Munich (Allemagne) : Octobre, avec une cinquantaine d'exposants marocains (Figs. 164);

- Sainte-Marie-aux-Mines (France) : Juin, généralement avec la participation de plus d'une centaine de vendeurs marocains.



Figure 184 : les trilobites dégagés après de longues journées de travail minutieux montrant toutes les caractéristiques morphologiques de ces Arthropodes fossiles.

### **Conclusions et recommandations**

Contrairement aux espèces biologiques, les objets géologiques ne se reproduisent pas et la détérioration d'un objet ou d'un site entraîne la perte définitive : conservation et protection ne sont plus à considérer comme anodines. La préservation, comme la mise en valeur de certains sites, apparaît particulièrement pertinente lorsqu'elle permet d'apporter une valeur ajoutée à la compréhension ou à la conservation de la diversité naturelle environnante.

L'environnement géologique et l'histoire de la Terre fournissent des indices qui permettent de comprendre l'évolution de la vie et de la biodiversité actuelle.

L'étude du patrimoine géologique marocain permet de constater que l'histoire de la Terre et l'histoire de la vie sur Terre sont marquées par plusieurs épisodes enregistrés dans les couches stratigraphiques et leurs contenus en minéraux et fossiles. Elle nous apprend/confirme que les constituants de la Terre bougent (plaques tectoniques), que les climats et le niveau des mers changent sans cesse, que la flore et la faune changent et évoluent constamment et que l'on s'achemine très probablement vers la sixième

extinction. Contrairement aux précédentes, celle-ci serait complètement due à la présence de l'Homme et de l'impact de ses actions sur les écosystèmes terrestres, dont le plus grave reste le réchauffement climatique qui pourrait provoquer l'élévation du niveau de la mer par suite de la fonte des glaces de l'Arctique et de l'Antarctique.

Aujourd'hui, il est du devoir des académiciens, des hommes de science et des sociétés savantes d'informer les responsables et les décideurs de ce que nous savons de l'état de la planète Terre. La connaissance du patrimoine géologique marocain et sa conservation sont des valeurs scientifiques internationales qu'il faut préserver à tout prix. Le futur Musée National d'Archéologie et des Sciences de la Terre (MNAST), prévu à Rabat, reste une excellente idée qu'il faudrait multiplier dans la majorité des régions du Maroc, avec peut-être une spécification pour chaque Région.

Cependant, pour mieux protéger il faudrait envisager un certain nombre de mesures. Ceci passe par l'établissement de l'inventaire national, sous forme de base de données, des sites géologiques à valeur patrimoniale. Il est également nécessaire d'établir des sites web traitant et faisant connaître le « Patrimoine géologique du Maroc ». Ces sites web devraient comprendre des propositions et des mesures à prendre pour la conservation et l'utilisation rationnelle des ressources géologiques.

De telles initiatives nécessitent des *mesures réglementaires et incitatives* dont certaines sont déjà prises par le Ministère de l'Énergie et des Mines en proposant des textes juridiques pour la protection de ce patrimoine. Ces mesures réglementaires vont certainement permettre de remédier à la disparition progressive du patrimoine géologique national (par l'établissement de listes de fossiles, minéraux et sites à protéger, donc interdit à la vente). Le Plan Directeur des Aires Protégées, établi par le Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification, identifie un large réseau de SIBE et qui évoque de temps en temps les valeurs géologiques et qu'il va falloir mieux développer comme contribution à la connaissance, la préservation et la protection de ce patrimoine.

### **Quelles sont les actions à entreprendre ?**

*Les Mesures urgentes se résument comme suit :*

- Faire un inventaire national pour combler cette lacune et compléter le travail élaboré par l'administration forestière ;
- Veiller à l'application des mesures établies par le Ministère de l'Énergie et des Mines et aussi du Dahir (Loi) de 2002 relatifs à l'exploitation des carrières, en collaboration avec Ministère de l'Équipement ;
- Mettre l'accent sur les moyens d'exploitation durable des ressources et sur la mise en valeur conservatrice de ces ressources.

Des **Partenariats** avec les institutions éducatives sont à encourager dans le cadre de projets intégrés pouvant impliquer les universités (Facultés des Sciences), les AREF (Académies Régionales de l'Education et de la Formation), Le Ministère de l'Énergie et des Mines (Division du Patrimoine Géologique), les Autorités et Collectivités locales, les Sociétés savantes, la Société civile. Tous doivent se rendre compte qu'il s'agit d'un patrimoine dont l'exploitation abusive est irréversible et que son utilisation rationnelle est devenue aujourd'hui plus que nécessaire.

De telles initiatives permettront la Description des sites et leur richesse, par la Cartographie, le Système d'Information Géographique (SIG) et aussi par l'élaboration de Programmes d'inventaire, d'une documentation scientifique, de la vulgarisation des connaissances et sa médiatisation grâce à l'organisation de Colloques, de Séminaires thématiques et de Rencontres avec les élus et les populations locales.

Toutes ces actions entraîneront, sans aucun doute, des **Impacts et des Retombées scientifiques** (contribution à l'avancement des connaissances sur le patrimoine géologique marocain et à sa conservation en tant que valeur scientifique internationale), en facilitant au public et aux gestionnaires l'accès aux données «patrimoniales» via la Base de données et le Site Web. Elles entraîneront, par ailleurs, des **retombées socio-économiques**, en contribuant à une exploitation durable des ressources géologiques à caractère patrimonial, tout en proposant de nouvelles formes de mise en exploitation des valeurs éducatives et touristiques. Ces retombées permettront finalement la participation au développement durable par la création d'activités et d'emploi rémunérés autour des géosites.

## Références bibliographiques

- Aassoumi H., Broutin J., Youbi N.E., El Wartiti M. & Galtier J.(1995) : Découverte de *Scleromedulloxylon* cf. *aveyronense* , bois fossile de coniférophyte, dans le complexe volcanique permien du bassin de Khénifra (Maroc) : intérêt stratigraphique et floristique. *Ann. Paléont.* , 81, pp: 1-16., Masson – Paris
- Achalhi, M., Münch, P., Cornée, J.-J., Azdimoua, A., Melinte-Dobrinescu, M., Quillévéré, F., ... & Feddi, N. (2016): The late Miocene Mediterranean-Atlantic connections through the North Rifian Corridor: New insights from the Boudinar and Arbaa Taourirt basins (northeastern Rif, Morocco). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 459, 131–152.
- Adnet S., Cappetta H. & Tabuce R. (2010): A Middle–Late Eocene vertebrate fauna (marine fish and mammals) from southwestern Morocco; preliminary report: age and palaeobiogeographical implications. *Geol. Mag.* 147 (6), 2010, pp. 860–870. Cambridge University Press.
- Afiri A. (2011) : Étude pétro-structurale des péridotites de Béni Bousera et des roches crustales sus-jacentes (Rif Interne, Maroc) : Implications géodynamiques. *Thèse Univ. Cadi Ayyad Marrakech*, 430 p.
- Alberti, G.K.B. (1977) : Rabat-Tiflet area in Morocco. The Silurian-Devonian boundary. *IUGS, series A, Stuttgart*, pp : 159-167.
- Allary A., Lavenu A. & Ribeyrolles M. (1976) : Étude tectonique et micro-tectonique d'un segment de la chaîne hercynienne dans la partie sud orientale du Maroc central ; *Notes et Mémoires Service géologique Maroc*, N°261, 170 p.
- Allison, (1988) : Konservat-Lagerstätten: cause and classification. *Paleobiology*, 14 (4), pp : 331–344.
- Alvarez L.W., Alvarez W., Asaro F. & Michel H.V. (1980) : Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction ; *Science*, 208, pp.1095-1108.
- Álvaro, J. J., & González-Acebrón, L. (2019) : Sublacustrine hydrothermal seeps and silicification of microbial bioherms in the Ediacaran Oued Dar'a caldera, Anti-Atlas, Morocco. *Sedimentology*, 66 (6), 2048–2071. <https://doi.org/10.1111/sed.12568>
- Álvaro, J. J., Ezzouhairi, H., Ait Ayad, N., Charif, A., Solá, R., & Ribeiro, M. L. (2010) : Alkaline lake systems with stromatolitic shorelines in the Ediacaran volcanosedimentary Ouarzazate Supergroup, Anti-atlas, Morocco. *Precambrian Research*, 179 (1–4), 22–36.
- Ammar A. (1987) : Analyse sismique des corps sédimentaires quaternaires de la marge méridionale de la mer d'Alboran. *Thèse Univ. Perpignan*, 145 p.
- Anonyme (1962) : Excursion scientifique de la section «Jeunes Naturalistes» dans le Tafilalt. *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 28, 5-6, pp. 84-99. Compte rendu d'une excursion mixte (géologie, hydrologie, botanique, zoologie), dirigée par J.-P. Thauvin et J.-P. Ruhard.

- Anonyme (Service de physique du globe du Maroc) (1972) : Bulletin séismologique 1972. *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 38, pp. 88-89.
- Azdimoussa A. (1991) : La géologie des bordures méridionales de la mer d'Alboran des Tamsamane jusqu'au cap des Trois Fourches (Rif oriental, Maroc). *Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Université Mohammed I<sup>er</sup>, Oujda*, 219 p.
- Azdimoussa A. & Bourgois J. (1993) : Les communications entre l'Atlantique et la Méditerranée par le couloir sud-rifain du Tortonien à l'Actuel: stratigraphie séquentielle des bassins néogènes de la région du cap des Trois Fourches (Rif Oriental, Maroc). *J. Afr. Earth. Sci.*, 17, 975-980.
- Azdimoussa A., Poupeau G., Rezqi H., Asebriy L., Bourgois J. & Ait-Brahim L. (2006) : Géodynamique des bordures méridionales de la mer d'Alboran ; application de la stratigraphie séquentielle dans le bassin néogène de Boudinar (Rif oriental, Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre*, 2006, n°28, 9-18.
- Badia Y., Leblisch D. [Ali Bey El Abbassi] (1814): Viajes por Marruecos. Edición preparada por Salvador Barbera (1984). Clásicos para una Biblioteca Contemporánea, Madrid.
- Baidder L., Michard A., Soulaïmani A., Fekkak A., Eddebbi A., Rjimati E.C. & Raddi, Y. (2016): Fold interference in thick-skinned tectonics; a case study from the Paleozoic Belt of Sub-Saharan Morocco. *J. Afr. Earth Sci.* 119, 204-225.
- Balan B. (2011) : L'Évolution des idées en géologie – Des Cosmogonies à la Physique du Globe. *Vrin éditeur, Paris*, 285 p.
- Barhoun N. (2000) : Biostratigraphie et paléoenvironnement du Miocène supérieur et du Pliocène inférieur du Maroc septentrional : apport des foraminifères planctoniques. *Thèse d'Etat Univ. Casablanca*, 241 p.
- Bazin R. (1921) : Charles de Foucauld, Explorateur du Maroc, Ermite au Sahara. *Edition Plon, Paris*, 502 p.
- Bea, F., P. Montero, F. Haissen, & A. El Archi (2013), 2.46 Ga kalsilite and nepheline syenites from the Awsard pluton, Reguibat Rise of the West African Craton, Morocco. Generation of extremely K-rich magmas at the Archean-Proterozoic transition. *Precambrian Res.*, 224, pp: 242–254.
- Beaudet G. (1969) : Le Plateau central marocain et ses bordures. Étude géomorphologique, Rabat ; 478 p. (avec carte géomorphologiques au 1/200000 en 4 feuilles [Thèse Lettres, Paris, 24 mai 1969, sous la direction de J. Dresch].
- Becker R.T., Aboussalam Z.S., El Hassani A. (2020): Devonian to Lower Carboniferous stratigraphy and facies of the western Moroccan Meseta: implications for palaeogeography and structural interpretation. *Frontiers in Science and Engineering*, Journal de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, vol. 10, N°1, 194 p.
- Becker R.T., Aboussalam Z.S., El Hassani A. (2021): Devonian to Lower Carboniferous stratigraphy and facies of the South-Western Moroccan Meseta: implications for palaeogeography and structural interpretation. *Frontiers in Science and*

*Engineering*, Journal de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, vol. 10, N°2, 340 p.

- Becker R.T., Aboussalam Z.S., El Hassani A. & Baidder L. (2015) : The timing of Eovariscan block faulting, reworking and re-sedimentation in the Devonian to Tournaisian of the Moroccan Hercynides. *STRATA*, 2015, Série 1, vol 16, IGCP596-SDS Symposium Brussels. p. 14
- Becker R.T., El Hassani A. & Tahiri A. (2013) : International Field Symposium « The Devonian and Lower Carboniferous of northern Gondwana » : Field guidebook. *Document de l'Institut Scientifique*, N° 27; 150 p.
- Becker T., Aboussalam S.Z., El Hassani A. & Baidder L. (2018) :The world-famous Devonian mudmounds at Hamar Laghdad and overlying cephalopod-rich strata. Field Guidebook 10<sup>th</sup> International Symposium “Cephalopods – Present and Past”. Münster. *Forsch. Geol. Paläont.* , 110 ; pp : 188-213. ISBN-978-3-00-059200-3
- Belka, Z. (1998) : Early Devonian Kess-Kess mud mounds of the eastern Anti-Atlas (Morocco) and their relation to submarine hydrothermal venting. *Journal of Sedimentary Research*, 68: 368-377.
- Benmoussa A. (1991) : Les Bivalves néogènes des secteurs occidental et oriental du Maroc septentrional. Biostratigraphie, paléobiogéographie et paléoécologie. *Thèse Doctorat Etat.*, Université de Lyon 1, 295 p.
- Beraaouz M. & Abioui M. (2019) : Precambrian (Ediacaran) stromatolites in the Amanen'n'Tourhart (Anti-Atlas, Morocco). *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)* doi: 10.1007/s00531-019-01690-1
- Berthelemy A. (1955) : Le Quaternaire marin océanique du Maroc. *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 21, N° 8. pp. 134-135.
- Bertrand M. (1887) : La chaîne des Alpes et la formation du continent Européen. *Bulletin de la Société Géologique de France*, série 3, v. 15, pp : 423–447.
- Biberson P. (1953) : Compte rendu de la découverte d'une grotte à remplissage pléistocène à la carrière de Sidi Abderrahman, près de Casablanca. *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 19, N° 5, pp : 79-82.
- Biberson P. (1954) : Stations paléolithiques des regs du Draa inférieur (Aperçu géographique et géologique). *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 20, N° 2, pp : 56-57.
- Biberson P. (1956) : Chronologie du Quaternaire côtier marocain. *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 22, N° 1, pp : 33-36.
- Boote, D.R.D, Clark-Lowes, D.D., Traut, M.W., 1998. Palaeozoic petroleum systems of North Africa. In : MacGregor, D.S., Moody, R.T.J., Clark-Lowes, D.D. (Eds.), Petroleum Geology of North Africa. *Geol. Soc. Spec. Pub.*, London, 132, pp: 7-68.
- Bourcart, Choubert G. & Marçais J. (1949) : Sur la stratigraphie du Quaternaire côtier à Rabat, *C. R. Acad. Sci.*, t. 228, pp : 108-109.

- Bourgeois J., Mauffret A., Ammar A. & Demnati, A. (1992): Multichannel seismic data imaging of inversion tectonics of the Alboran sea Ridge (Western Mediterranean sea). *Geomar. Lett.*, 12, pp : 117-122.
- Brives A. (1905) : Les terrains crétacés dans le Maroc Occidental (*Bull. Soc. Géol. de Fr.*, 4<sup>ème</sup> sér., V, p. 81-96, pl. I : carte géol.), et Contribution à l'étude géologique de l'Atlas marocain (*Ibid.*, p. 379-398, pl. XI : carte géol.).
- Brives A. (1905) : Contribution à l'étude géologique de l'Atlas marocain (*Bulletin de la Société géologique de France*, 4<sup>ème</sup> série, V ; pp : 379-398 ; carte géol., à l'échelle 1 : 750.000, pl. XI).
- Brives A. (1905) : Sur la géologie du Maroc (*Bulletin de la Société géologique de France*, 4<sup>ème</sup> série, V ; pp : 754-755 ; avec une carte géol., col. à l'échelle 1 : 1.000.000, pl. I)
- Brives A. (1909) : Voyages au Maroc, 1901-1907. Typographie Adolphe Jourdan, Alger ; 647 p., 6 pl. dont 3 cartes géol. (p. 463-581 : Étude géologique).
- Broutin J., El Wartiti M., Freytet P., Heyler D., Lahrhib M. & Morel J.L.(1987) : Nouvelles découvertes paléontologiques dans le bassin détritico carbonaté permien de Tiddas (Maroc Central). *C. R. Acad. Sci. Paris* , 305, II, pp: 143-148.
- Bultynck, P. & Walliser, O. (2000) : Emsian to middle Frasnian sections in the Northern Tafilalet. *Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc* 399, pp : 11–20.
- Caillé J. (1953) : La mission du capitaine Burel au Maroc en 1808. *Notes et Documents de l'Institut des Hautes-études marocaines*, N°XIII, 130 p.
- Cailleux Y., Gonord H., Le Guern M. & Sauvage M. (1983) : Taphrogenèse et magmatisme permien dans le Maroc central. *Bulletin de la Faculté des Sciences de Marrakech*, N°1, pp :24-39.
- Candel Vilar R. (1931) : Notes sur les formations secondaires du Maroc oriental espagnol. *B. Soc. Sci. Nat. Maroc*, Rabat, t. 11, N° 1-3. pp. 57-59.
- Chakiri S. (1991) : Le Paléozoïque de la région de Tsili- Tiddas (Maroc central occidental): Stratigraphie, sédimentologie et évolution structurale hercynienne. *Thèse 3ème Cycle*, Univ. Mohammed V, Fac. Sci. Rabat, 227 p.
- Chalouan A., Michard A., El Kadiri Kh. & Saddiqi O. (2011). - Rif central et nord-occidental/Central and northwestern Rif belt. In: A. Michard, O. Saddiqi, A. Chalouan and A. Mouttaqi, Eds, Nouveaux guides géologiques et miniers du Maroc/New Geological and mining guidebooks of Morocco. *Notes Mém. Serv. géol. Maroc*, 560, 9-90.
- Chalouan, A., Benmakhlof, M., Mouhir, L., Ouazani-Touhami, A., Saji, R. & Zaghloul, M.N. (1995). Les étapes tectoniques de la structuration alpine du Rif interne (Maroc). *Comunicaciones del IV Coloquio Internacional Sobre el Enlace Fijo del Estrecho de Gibraltar*, pp. 163–192. S.E.C.E.G, Madrid, Tomo III.
- Chalouan, A., Michard, A., El Kadiri, K., Negro, F., Frizon de Lamotte, D., Soto, J.I, and Saddiqi, O. (2008). The Rif belt, in: *The Geology of Morocco*, edited by Michard, A., Saddiqi, O., Chalouan, A., Frizon de Lamotte. *Springer*, Berlin, 203-302.

- Charlot R., Rhalib M. & Tisserant D. (1973) : Étude géochronologique préliminaire des granites de la région de Rabat-Tiflet (Maroc occidental). *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc*, 249, pp: 55-58.
- Cherkaoui T-E. & El Hassani A. (2012) : Seismicity and Seismic Hazard in Morocco 1901-2010. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre*, n° 34, p. 45-55.
- Cherkaoui T.-E. (1988) : Fichier des séismes du Maroc et des régions limitrophes 1901-1984. *Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique*, N° 17, 168 p.
- Chevalier J. P. (1962) : Les madréporaires miocènes du Maroc. *Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc*, 173, p : 74.
- Choubert G. & Faure-muret A. (1971) : Anti-Atlas (Maroc) in *Tectonique de l'Afrique ; UNESCO Paris*, pp : 163-175.
- Choubert G. (1946): Aperçu de la Géologie marocaine. *Extrait de la Revue de Géographie marocaine*, 2-3, pp : 77-79.
- Choubert G. (1952): Géologie du Maroc ; Fascicule 1 : Aperçu structural (en collaboration avec J. Marçais) ; Fascicule 2 : Histoire géologique du domaine de l'Anti-Atlas. *Notes et Mémoires du Service Géologique*,- 100, 194 p.
- Choubert G. & Marçais J. (1952) : Aperçu structural, in : Géologie du Maroc. Notes & M. Serv. géol. Maroc, 100, et 9<sup>ème</sup> Congrès géol. Intern., Alger, Monographie régionale, 3<sup>ème</sup> série : Maroc, 6, pp : 9-73.
- Choubert G., Dresney du R. & Hindermeyer J. (1950) : Sur les calcaires à *Collenia* de la Région Safsaf-Aïn Chaïr. *Notes et Mémoires du Service Géol. Maroc*, N° 76, pp : 93-103.
- Choubert G., Faure-Muret A., Hilali E.A. & Houzay J.P. (1984) : Carte géologique du Rif au 1/50.000, feuille Boudinar. *Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc*, 299.
- Choubert G., Hindermeyer J. & Hollard H. (1952) : Note préliminaire sur le *Collenia* de l'Anti-Atlas. *Notes et Mémoires du Service Géol. Maroc*, 95, pp : 85-102.
- Choubert G., Hindermeyer J. & Hollard H. (1952): Sur la présence de *Collenia* dans le Précambrien III et le Géorgien de l'Anti-Atlas. *C. R. Acad. Sci.* t 234 ; pp : 543-545.
- Chraiki I., Bouougri EH., Chi Fru E. Lazreq N., Youbi N., Boumehdi A., Aubineau J., Fontaine C. & El-Albani A. (2020) : A 571 million-year-old alkaline volcanic lake photosynthesizing microbial community, the Anti-atlas, Morocco. *Geobiology*, 19, pp :105-124.
- Cogney G. (1957) : Recherches géologiques au confluent des oueds Bou Regreg, Grou et Akrech (Maroc occidental). *Trav. Instit. Sci. Chérif.; sér. Géol. et Géogr. Phys.*, 6, 56p.
- Cogney G. & 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. et Géogr. phys.*, N° 8, 54 pages.

- Colo G. (1961) : contribution à l'étude du Jurassique du Moyen Atlas septentrional. *Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc*, N° 139 ; 226 p.
- Coquand H. (1846-1847) : Description géologique de la partie septentrionale de l'empire du Maroc. *Bull. Soc. Géol. de France*, série W., IV, 2<sup>ème</sup> partie, pp :1188-1249.
- Cornée J.J., Costagliola C. & Leglise H. (1984) : Lithostratigraphie et tectonique des terrains anté-Cénomaniens d'El Jadida, Meseta marocaine hercynienne. *Bull. Fac. Sci. Marrakech*, N°2 ; pp: 23-42.
- Cornée J.J., Destombes J. & Willefert (1987): stratigraphie du Paléozoïque de l'extrémité nord-ouest du Haut Atlas occidental (Maroc hercynien); interprétation du cadre sédimentaire du Maroc occidental. *Bull. Soc. Géol. France* (8), t. III, N° 2, pp:327-335.
- Daniel F. , «la Face de la Terre (E. Suess)», Encyclopædia Universalis.
- De Wever P., Egoroff G., Cornée A. & Lalanne A. (eds.) (2014) : Géopatrimoine en France. *Mém. hors-série. Soc. géol. Fr.*, 14, 180p.
- De Wever P., Le Nechet Y. & Cornée A. (2006) : Vade-mecum pour l'inventaire du patrimoine géologique national. *Mém. hors-série Soc. Géol. Fr.* 12, 162 p.
- Debrach J. & Bidault G. (1952) : Tremblement de terre du Japon enregistré au Maroc sur des magnétographes. *Bull. Soc. Sci. Nat. Maroc*, t. 32, pp : 3-9.
- Destombes J. (1960) : Sur l'extension du Trémadoc dans le Sud marocain. *C. R. Soc. Sci. Nat. et Phys. Maroc*, t. 26, n° 3, pp : 45-47.
- Destombes J., Hollard H. et 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.
- Devaere, L., Clausen, S. & Álvaro, J.J. (eds.) (2014) : Stratigraphic Overview of the Ediacaran and Cambrian from the Anti-Atlas, Morocco. Univ. Lille 1 ed., France.
- Deynoux, M., Sougy, J. & Trompette, R., (1985) : Lower Palaeozoic rocks of West African craton and Western parts of Central Africa. In: C. H. Hollard (ed.), Lower Palaeozoic Rocks North-Western and West-Central Africa, Chichester, New York, Wiley & Sons, pp. 337-495.
- Dresch J. ; Joly F. & Raynal R. (1952) : Livret-Guide de l'excursion C40 : Géomorphologie du Maroc (étude de quelques aspects régionaux).
- Dumestre, A., Illing, L.V., (1967) : Middle Devonian reefs in Spanish Sahara. In: Oswald, D.H. (Ed.), International Symposium on the Devonian System, vol. 2. Alberta Society of Petroleum Geologists, Calgary, pp. 333–350.
- Durand-Delga M., Rossi Ph., Olivier Ph., & Puglisi D. (2000) : Situation structurale et nature ophiolitique de roches basiques jurassiques associées aux flyschs maghrébins du Rif (Maroc) et de Sicile (Italie). *C. R. Acad. Sci. Paris*, Sciences de la Terre et des planètes, N°331, pp : 29-38.

- Dutuit J. M. (1970) : Quelques aspects techniques des recherches sur les Vertébrés triasiques de l'Atlas occidental. *Bull. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 50, pp : 9-25.
- Dutuit J.M. & Heyler D. (1983) : Taphonomie des gisements de Vertébrés triasiques marocains (couloir d'Argana) et paléogéographie. *Bull. Soc. Géol. Fr*, XXV, 4, pp : 623-633.
- El Amrani et al. (2020) : projet V2GV-phase2 ; Rapport interne inédit (financé par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques).
- El Amrani et al. (2021) : projet V2GV-phase3 ; Bilan Geomat Rif (Rapport interne inédit).
- El Attari, A. (2001) : Etude lithostratigraphique et tectonique des terrains cambro-ordoviciens du Môle Côtier (Meseta occidentale, Maroc). *Thèse sciences, Université Mohammed V, Rabat*, 389 p.
- El Gharbaoui A. (1981) : La terre et l'Homme dans la Péninsule tingitane, étude sur l'homme et le milieu naturel dans le Rif occidental. *Travaux de l'Institut Scientifique; Série Géologie et Géographie physique*, N° 15, 439 pages.
- El Hadi, H. ; Tahiri, A. ; El Maidani, A. ; Saddiqi, O. ; Simancas, F. ; Lodeiro, F.G. ; Azor, A. ; Martinez-Poyatos, D. ; Tahiri, M. & De La Rosa Diaz, J. (2014) : Geodynamic setting context of the Permian and Triassic volcanism in the Moroccan Meseta. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Terre*, n° 36, pp :55-67.
- El Hajjaji K. (1992) : Les Bryozoaires du Miocène supérieur du Maroc Nord-oriental. *Doc. Lab. géol. Lyon*, 123, 355 p
- El Hariri, K., & Kouraiss, K., (2018) : Fezouata Biota : Un Patrimoine paléontologique unique au monde – une fenêtre ouverte sur la transition entre Explosion cambrienne et Grande biodiversification ordovicienne (Anti-Atlas, Maroc). *Numéro Spécial Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, dédié au Patrimoine Géologique du Maroc. 77-97.
- El Hassani A. (1990) : La bordure nord de la chaîne hercynienne du Maroc, chaîne "calédonienne" des Sehoul et plateforme nord-mesétienne. *Thèse de Doctorat d'État, Université Louis Pasteur de Strasbourg, France* ; 208 pages.
- El Hassani A. (1991) : La Zone de Rabat-Tiflet : Bordure nord de la Chaîne Calédonno-Hercynienne du Maroc. *Bulletin de l'Institut Scientifique*, N° 15, 132 p.
- El Hassani A. (2016) : Patrimoine géologique marocain et développement durable. *Bulletin Académie Hassan II des Sciences*, N°18, pp : 11-36.
- El Hassani A. (2020): Évolution des sciences géologiques à l'Institut Scientifique ; Ouvrage publié à l'occasion du Centenaire de création de l'Institut Scientifique 1920 – 2020 ; *Document de l'Institut Scientifique*, N°33 ; 121 pages.
- El Hassani A. (Ed.)- (2004): Devonian Neritic–Pelagic Correlation and Events in the Dra Valley; Western Anti-Atlas, Morocco. *Document de l'Institut Scientifique*, N° 19 ; 100 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., Aboussalam S.Z., Becker T; El Wartiti M. & El Hassani F. (2017) : Patrimoine géologique marocain et développement durable : L'exemple du Dévonien du Tafilalt, Anti-Atlas oriental. *Géologues SGF*, N° 194 ; ISSN 0016.7916 – pp : 112-117.
- El Hassani A., Destombes J. et Willefert S. (1988 ) : 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). *Bull. Inst. Sci. Rabat*, 12, pp: 27-45.
- El Hassani A., El Wartiti M., Zahraoui M., Destombes J. & Willefert S. (1988) : Découverte d'une macrofaune arénigienne (Ordovicien inférieur) à Trilobites et Graptolithes dans la région de Rabat, Meseta côtière nord-occidentale (Maroc). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 307, II, pp: 1589-1594
- El Hassani A., Piqué A. et Tahiri A. (1995) : Géologie du Paléozoïque du Maroc central et de la Meseta orientale. *Bulletin de l'Institut Scientifique*, N°18, 215 p.
- 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*, N° 16, 30 pages.
- 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.
- El Houicha M., Pereira M. F., Jouhari A., Gama C., Ennih N., Fekkak A., ... & Silva J. B. (2018) : Recycling of the Proterozoic crystalline basement in the Coastal Block (Moroccan Meseta): New insights for understanding the geodynamic evolution of the northern peri-Gondwanan realm. *Precambrian Research*, 306, pp :129–154.
- El Kharrim Y. (1991) : Sédimentologie et palynologie du Néogène du bassin de Boudinar. Implications paléogéographiques et paléoclimatiques (Rif nord-oriental, Maroc). *Doc. Lab. géol. Lyon*, 117, 153 p.
- El Wartiti M., J. Broutin J. & Freytet P. (1986) : Premières découvertes paléontologiques dans les séries rouges carbonatées permienes du bassin de Tiddas (Maroc Central). *C. R. Acad. Sci. Paris* , 303, II, pp: 263-268.
- El Wartiti M., Zahraoui M. & El Hassani A. (2017) : Les marqueurs permien comme patrimoine géologique à promouvoir et à protéger dans le massif hercynien du Maroc central. *Géologues N° 194, Revue de la Société géologique de France*, pp : 118-126.
- Elhariri K. (2020): Exemples de protection urgente du patrimoine géologique dans l'Anti-Atlas (Faune de Fezouata) ; Actes Session plénière Académie Hassan II des Sciences et Techniques ; pp : 89-101.
- Élie de Beaumont, L. (1834) : Faits pour servir à l'histoire des montagnes de l'Oisans. *Ann. Mines, Paris*, (3), 5, 63 p.

- Ellwood B. B., Benoist S.L., El Hassani A., Wheeler C, & Crick R. (2003) : Impact Ejecta Layer from the Mid-Devonian: Possible Connection to Global Mass Extinctions, *Science* (Jun 13th 2003) Vol. 300 (N°:5626), pp:1734-1737.
- Ennouchi E. (1948) : Les mammifères du Quaternaire de Rabat (Premiers résultats). *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, pp. 34-36 (Observations de C. Arambourg et J. Marçais).
- Ennouchi E. (1955) : Découverte d'une défense géante dans les formations pléistocènes des environs de Rabat. *B. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 35, pp. 125-130.
- Ennouchi E. (1958) : Découverte d'une deuxième défense géante d'*Elephas atlanticus* dans les environs de Rabat. *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 24, 6 mai, N° 5, pp. 100-101.
- Ennouchi E. (1962) : L'homme d'Irhoud et ses origines. *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 28, N° 8, pp : 151-152.
- Ennouchi E. (1962) : Origine du Néanderthalien d'Irhoud. *Bull. Soc. Sci. Nat. & phys. Maroc*, t. 42, pp : 247-266.
- Ennouchi E. (1962) : Un crâne d'Homme ancien au Jebel Irhoud (Maroc). *C. R. Acad. Sci, Paris*. 13 juin, t. 254, N° 25, pp : 4330-4332
- Ennouchi E. (1962) : Un Néandertalien : l'Homme du Jebel Irhoud (Maroc) *L'Anthropologie*. Paris, t. 66, n° 3-4, pp : 279-299.
- Ennouchi E. (1968-69) : Présence d'un éléphant fossile au sud d'Agadir. *Bull. Soc. Sci. Nat. & phys. Maroc*, t. 48, pp : 15-25.
- Ennouchi E. (1969) : Découverte d'une mandibule d'enfant néanderthalien au Jebel Irhoud. *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 35, pp. 19-21.
- Erwin, D. (1994) : The Permo–Triassic extinction. *Nature* 367, pp : 231–236.
- Essamoud R. (1989) : Dynamique fluviale dans la série stéphano-permienne de la région de Marrakech (Haut Atlas nord–sondages du Haouz–Jéilet orientales). Dynamique sédimentaire, Pétrographie. *Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne*, Dijon, 279 p.
- Fallot P. (1937) : Essai sur la géologie du Rif septentrional. *Notes et Mém. Service Mines et Carte géologique Maroc*, N° 40, 553 p (deux volumes).
- Fedan B. (1990) : Évolution géodynamique d'un bassin intraplaque sur décrochements : le Moyen Atlas (Maroc) durant le Méso-Cénozoïque. *Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique*, N° 18, 144 p.
- Fedan B. & El Hassani A. (2018): The Jurassic of the Atlas Domain (Morocco). Field Guidebook 10<sup>th</sup> International Symposium “Cephalopods – Present and Past” . *Münster. Forsch. Geol. Paläont.* , 110 ; pp : 119-144. ISBN-978-3-00-059200-3
- Fischer Th. (1900) : Wissenschaftliche Ergebnisse einer Reise im Atlas-Vorlande von Marokko (Petermanns Mitteil., Erg.-Heft Nr. 133, 165 p., 3 cartes, 1900; en particulier p. 152 et suivantes).

- Fischer Th. (1902) : *Meine dritte Forschungsreise im Atlas-Vorlande von Marokko* (Mitth. der Geogr. Gesellsch. Hamburg, XVIII, 1902, p. 1-199, 2 cartes).
- Foucauld (de) Ch. (1939) : *Reconnaissance au Maroc 1883-1884. Journal de route.* Conforme à l'édition de 1888 et augmentée de fragments inédits rédigés par l'auteur pour son cousin François de Bondy. *Soc. Ed. Géogr. marit. et colon.* Paris, 1 vol., 1 atlas de 20 cartes.
- Franke W., Cocks L. & Torsvik T.H. (2017): *The Palaeozoic Variscan oceans revisited. Gondwana Research*, 48, pp: 257–284.
- Frey R. & Yovanovitch B. ( 1934 ) : *Roches éruptives du Cap Mazagan. C. R. Somm . Soc. Géol. Fr. , pp : 20-21.*
- Frizon de Lamotte, D. (1985) : *La structure du Rif Oriental (Maroc): rôle de la tectonique longitudinale et importance des fluides. Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, Paris.*
- Frizon de Lamotte, D. (1987) : *La structure du Rif externe (Maroc); mise au point sur le rôle des décrochements des chevauchements et des glissements gravitaires. Journal of African Earth Sciences*, 6 (5), pp : 755–766.
- Garcia C. (1961) : *Roches éruptives et métamorphiques de la région de Rabat. Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique, n° 12, 39 p.*
- Gasquet, D., Ennih, N., Liégeois, J.P., Soulaïmani, A. & Michard, A., (2008) : *The Pan-African Belt. In: Michard, A., Saddiqi, O., Chalouan, A., Frizon de Lamotte, D. (Eds.), Continental evolution: the geology of Morocco. Lect. Notes Earth Sci. 116, pp : 33-64.*
- Gentil L. (1900) : *Mission de Segonzac. Dans le Bled es Siba. Explorations au Maroc. III-80, xv-340 p., Paris;*
- Gentil L. (1904-1905) : *Mission de Segonzac au Maroc. Recherches de Géologie et de Géographie Physique (in : Mission de Segonzac, Au cœur de l'Atlas. Mission au Maroc, 1904-1905. In-8°, Paris, 1910, pp : 695-773, phot. pl. LXXXIII-LXXXIX, carte géol. h. t., 2 fig. cartes).*
- Gentil L. (1906) : *Observations géologiques dans le Sud-Marocain (Ibid., p. 521-523); du même, Contribution à la Géologie et à la Géographie physique du Maroc (Annales de Géogr., XV, 1906, p. 133-151, pl. IV-V), et Note sur l'Esquisse géologique du Haut Atlas Occidental (Ibid., XVI, 1907, p. 70-77, pl. II : carte géol.).*
- Gentil L. (1907) : *Notice sur l'Esquisse géologique du Haut-Atlas occidental (Maroc) ; Annales de géographie, XVI, pp :70-77 ; avec la carte géol. à 1 :1.000.000<sup>ème</sup>. Également parue dans le Tome 3 de l'ouvrage de Suess – la Face de la Terre (1909).*
- Gentil L. (1908) : *Itinéraires dans le Haut-Atlas marocain (La Géographie, XVII, 1908, 1er sem., p. 177- 200, fig. 44-56, pl. II : carte géol. en couleurs en 2 feuilles à l'échelle 1: 250 000); Rapport sur une Mission géologique au Maroc, janvier-novembre 1907 (Nouvelles Archives des Missions Scientifiques, XVI, 1908, p.*

- 189-216); Rapport sur une Mission scientifique au Maroc en 1908 (Ibid., XVIII, 1909, p. 29-71).
- Gentil L. (1910) : Une leçon de Géographie Physique sur le Maroc (Revue de Géogr. Annuelle, III, 1909, p. 471-495, 29 fig., 1 carte h. t., 4 pl. phot.); Le Maroc et ses richesses naturelles, Conférence faite à la Société de Géographie (La Géographie, XXI, 1<sup>er</sup> sem., p. 301-320, fig. 52- 63).
- Gentil L. (1912) : La géologie du Maroc et la genèse de ses grandes chaînes. *Annales de Géographie*, t. 21, n°116, 1912. pp. 130-158.
- Gentil L. (1912) : Le Maroc Physique. Nouvelle collection scientifique dirigée par Émile Borel ; Librairie Felix Alcan ; 326 p.
- Gentil L. (1918).- Notice sur les titres et travaux scientifiques de L. Gentil. LAROSE (Ed.) Paris, 132p.
- Gigout M. (1951) : Études géologiques sur la Meseta marocaine occidentale (arrière-pays de Casablanca, Mazagan et Safi) Tome I (textes) et II (Atlas de cartes et photos). *Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique ; N° 1*, 509 p.
- Gigout M. (1955) : Recherches géologiques à Mechrâ Benâbbou. *Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique ; N° 3*, 56 p. Ce travail est accompagné par une carte géologique de la région au 1 :20.000<sup>ème</sup>.
- Gigout M. (1955) : Sur deux cratères d'explosion de la région du Michlifén (Moyen Atlas). *Bull. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 35, pp. 3-7.
- Gigout M. (1956) : Les conglomérats métamorphiques des Rehamna et roches associées. *Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique ; N°4*, 149 p.
- Gigout M. (1956) : Recherches sur le Pliocène et le Quaternaire atlantique marocains. *Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique*, n° 5, 94 pages.
- Gigout M. (1957) : Recherche sur le Quaternaire marocain. *Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique ; N°7*, 77 pages.
- Gradstein F.M. et al. (Eds)- (2012) : The Geologic Time Scale, Elsevier ; page: 568 (Fig. 22.6 : The basal-Givetian GSSP in the western part of Jebel Mech Irdane, western Tafilalt, Anti-Atlas, SE Morocco).
- Gray M. (2018) : Chapter 1 - Geodiversity: The Backbone of Geoheritage and Geoconservation, in *Geoheritage : Assessment, Protection, and Management*, pp : 13-25.
- Guilcher A. & Joly F. (1954) : Recherches sur la morphologie de la côte atlantique du Maroc. *Travaux de l'Institut Scientifique chérifien ; série géologie et géographie physique N° 2 ; 140 pages, 14 planches h.t.*
- Guillemin M. & Houzay J.-P. (1982) : Le Néogène post-nappes et le Quaternaire du Rif Nord oriental. Stratigraphie et tectonique des bassins de Melilla, de Kert, de

- Boudinar et du piémont des Kebdana. Notes & Mém. Serv. géol. Maroc, 314, pp : 7-239.
- Hafid M., Tari G., Bouhadioui D., El Moussaid I., Echarfaoui H., Aït Salem A., Nahim M. & Dakki M. (2008) : Atlantic Basins in : A. Michard et *al.*, Continental Evolution: The Geology of Morocco. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, *Lecture Notes in Earth Sciences*, 116, pp: 303-329.
- Hejja, Y., Baidder, L., Ibouh, H., Bba, A.N., Soulaïmani, A., Gaouzi, A. & Maacha, L., (2019) : Fractures distribution and basement-cover interaction in a polytectonic domain: A case study from the Saghro Massif (Eastern Anti-Atlas, Morocco). *Journal of African Earth Sciences* 11; DOI:10.1016/j.jafrearsci.2019.103694
- 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, no. 3, pp: 172-178.
- Hmich, D., Schneider, J. W., Saber, H., Voigt, S. et El Wartiti, M., (2006) : New continental Carboniferous and Permian faunas of Morocco: implications for biostratigraphy, palaeobiogeography and palaeoclimate. From: Lucas, S. G., Cassinis, G. & Schneider, J. W. (eds) 2006. Non-Marine Permian Biostratigraphy and Biochronology. *Geological Society, London, Special Publications*, N°265, pp : 297-324.
- Hoepffner Ch. , Ouanaimi H. et André Michard A. (2017) : La Meseta, un terrain vagabond ou la marge fragmentée de l'Anti-Atlas ?. *Géologues SGF*, N° 194 ; ISSN 0016.7916 – pp : 19-23.
- Hoepffner Ch., Soulaïmani A. & Piqué A. (2005) : The Moroccan hercynides. *Journal of African Earth Sciences*, 43, pp : 144–165.
- Hollard H. (1960) : Quelques caractères des phacopinés éodévoniens du Maroc présaharien. *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 26, pp. 42-44.
- Hollard H. (1967) : Le Dévonien du Maroc et du Sahara nord occidental. Int. Sympos. Devonian Syst., Calgary, 1967, vol. 1, *publ. Alberta Soc. Petrol. Geol.*, pp : 203-244.
- Hollard H. et Jacquemont (1956) : Le Gothlandien, le Dévonien et le Carbonifère des régions du Dra et du Zemoul (Confins algéro-marocains du Sud). *Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc*, N° 135, pp : 7-33.
- Hooker J. D. & Ball J. (1878): *Journal of a Tour in Morocco and the Great Atlas*, by, London, Mc Millan & co., 542 p.
- Hottinger L. & Suter G. (1961-62) : La structure de la zone pré-rifaine au Sud du moyen Ouerrha. *C.R. Acad. Sci. Paris* ; publ. 3 janv. 1962, tome 254, n° 1, pp: 140-142.
- Houzay J.-P. (1975) : Géologie du bassin de Boudinar (Rif oriental, Maroc). *Thèse 3<sup>ème</sup> cycle. Univ. Paris Sud*, Orsay, 227 p.
- Hüneke H., Krienke, K. (2004): Toe-of-slope deposits of a Givetian reef-rimmed platform: provenance of calcareous density-flow deposits (Rabat-Tiflet-Zone, Morocco). *Facies* 50, pp : 327–346.

- Huvelin P. (1977) : Étude géologique et gîtologique du massif hercynien des Jébillet (Maroc occidental). 308 pp., (plus 3 cartes en pochette) ; *Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc*, N° 232 et N°232-bis, 307 pages.
- Jakubowicz, M., Berkowski B. & Belka Z. (2013) : Devonian rugose coral Amplexus and its relation to submarine fluid seepage. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 386, pp : 180-193.
- Jalil N. (1996) : Les Vertébrés permien et triasiques de la Formation d'Argana (Haut Atlas occidental) : liste faunique préliminaire et implications stratigraphiques. In : Médina F. (Ed), *Le Permien et le Trias du Maroc : état des connaissances*. Pumag, Marrakech, pp : 227-250.
- Jansen U., Becker G., Plodowski G., Schindler E., Vogel O. & Weddige K. (2004) : The Emsian to Eifelian near Foum Zguid (NE Dra Valley, Morocco). Devonian of the western Anti-Atlas : correlations and events. *Doc. Inst. Sci, Rabat*, 19, 2004, 19-28.
- Joleaud L. (1937) : Rapport sur l'attribution du prix Fontannes à M. Henri Termier ; *C.R. somm. Soc. géol. Fr.* 7 juin 1937, 11, pp : 143-145.
- Joly F. (1962) : Études sur le relief du Sud-Est marocain. *Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique*, N° 10 ; 578 p.
- Kaiser S. I., Becker R. T. & El Hassani A. (2007) : Middle to Late Famennian successions at Ain Jemaa (Moroccan Meseta) – implications for regional correlation, event stratigraphy and synsedimentary tectonics of NW Gondwana. *Geological Society, London, Special Publications*, 278; pp: 237-260.
- Königshof P., Wehrmann A., Schindler E., Jansen U. & Plodowski G. (2003) : Geologische Expedition in die westliche Sahara. *Natur und Museum*, 133 (10), pp : 302-310.
- Königshof, P., Bensaid, M., Birenheide, R., El Hassani, A., Jansen, U., Plodowski, G., Rjimati, E.-C., Schindler, E., Wehrmann, A., (2004) : Carbonate buildups in the Middle Devonian-examples from the western Sahara (Poster). 74. Jahrestagung der Paläontologischen Gesellschaft Göttingen, 02.-08. Oktober 2004, Kurzfassungen der Vorträge und Poster, Universitätsdrucke Göttingen, pp : 128-130.
- Königshof, P., Bensaid, M., Birenheide, R., El-Hassani, A., Jansen, U., Plodowski, G., Rjimati, E., Schindler, E., Wehrmann, A. (2004) : Carbonate buildups in the Middle Devonian – examples from the western Sahara. 74. Jahrestagung der Paläontologischen Gesellschaft, 02.-08.10.2004, Universitätsdrucke Göttingen, pp : 128-130.
- Königshof, P., Wehrmann, A., Schindler, E., Jansen, U., Plodowski, G., (2003) : Geologische Expedition in die westliche Sahara. *Natur und Museum*, 133, pp : 302–310.
- Koning (de) G. (1957). Géologie des Ida ou Zal (Maroc). Stratigraphie, pétrographie et tectonique de la partie SW du bloc occidental du Massif ancien du Haut-Atlas (thèse Univ. Leyde). Edvard Ijde NV Leyde, 210 p.

- Kornprobst J. (1974) : Contribution a l'étude pétrographique et structurale de la zone interne du Rif (Maroc septentrional); petrography and structure of the Rif inner area, northern Morocco. *Notes et Mémoires du Service Géologique*, Rabat, 251, 256 p.
- Leblanc M. (1981) : Chapter 17 - The Late Proterozoic Ophiolites of Bou Azzer (Morocco): Evidence for Pan-African Plate Tectonics. *Developments in Precambrian Geology*, 435-451.
- Lecointre G. (1925) : Carte géologique provisoire des Chaouia-Nord, Arab et Zaer-Ouest au 1 :200.000<sup>ème</sup>. Service géographique du Maroc.
- Lecointre G. (1934) : Carte géologique provisoire de la région comprise entre Rabat et Tiflet (Schoul et Aït Belkassam), au 1 :100.000. *Notes & Mém. Serv. Géol. Maroc*, N° 35.
- Lecointre G. (1952) : Recherches sur le Néogène et le Quaternaire marins de la côte atlantique du Maroc ; Tome 1 : Stratigraphie ; Tome 2 : Paléontologie (en collaboration avec Marie P. pour les Foraminifères ; Roger J. pour les Pectinidés ; Ranson G. pour les Ostréidés et Vigneaux pour les Bryozoaires). *Notes & Mém. Serv. Géol. Maroc*, N° 99 ; 525 p.
- Lecointre G. (1962) : Recherches sur le Néogène et le Quaternaire marins de la côte atlantique du Maroc ; Tome 3 : Les acquisitions nouvelles durant la période de 1952 à 1962 (Stratigraphie et paléontologie) ; il s'agit d'un supplément au mémoire n° 99 publié en 1952. *Notes & Mém. Serv. Géol. Maroc*, N° 174 ; 80 p.
- 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 et mémoires du service géologique, Maroc*, N° 28, 80 p.
- Lecointre G. & Gigout M. (1950a). Carte géologique provisoire des environs de Casablanca au 1 :200.000°. *Notes et mémoires du Service géologique du Maroc*, N° 72.
- Lecointre G. & Gigout M. (1950b). Notice explicative de la carte géologique provisoire des environs de Casablanca au 1 : Lecointre, G. (1926) : Recherches géologiques dans la Meseta marocaine. Mémoires de la Société des Sciences naturelles du Maroc, Rabat, 14, 25 mars 1926, 158 p., 32 fig., 12 tabl., 18 pl. photo, 1 carte à 1/200 000. *Notes & Mém. Serv. Géol. Maroc*, N° 72-bis, 42 p.
- Lecointre, G. (1926) : Recherches géologiques dans la Meseta marocaine. Mémoires de la Société des Sciences naturelles du Maroc, Rabat, 14, 25 mars 1926, 158 p., 32 fig., 12 tabl., 18 pl. photo, 1 carte à 1/200 000.
- Lefebvre B., Akodad M., El Hariri K., Gutiérrez-Marco J.C., Kouraïss K., Pittet B., Saleh F., Servais T. & Vidal M. (2020) : Les *Lagerstätten* ordoviciens ; Les Fezouata : le *Burgess Shale* ordovicien du Maroc. *Géochronique*, 153, pp : 37-44
- Lefebvre B., El Hariri K., Lerosey-Aubril R., Thomas Servais T. & Van Roy P. (2016) : The Fezouata Shale (Lower Ordovician, Anti-Atlas, Morocco): A historical review. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 460, pp : 7-23.

- Lefebvre, B., Guensburg, T. E., Martin, E. L., Mooi, R., Nardin, E., Nohejlová, M., Saleh, F., Kouraiss, 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*, 52, 27-36.
- Lefebvre, B., Noailles, F., Franzin, B., Régnault, S., Nardin, E., Hunter, A. W., Zamora, S., Van Roy, P., El Hariri, K., Lazreq, N., (2010) : Les gisements à échinodermes de l'Ordovicien supérieur de l'Anti-Atlas oriental (Maroc): un patrimoine scientifique exceptionnel à préserver. *Bulletin de l'Institut scientifique*, Rabat, 32, pp : 1-17.
- Legrand-Blain, M. (1985) : Taoudeni basin, In: Wagner, R.H., WinklerPrins, C.F. and Granados, L.F. (Eds), *The Carboniferous in the world*, Vol.2, pp : 319-322.
- Legrand-Blain, M. and Perret-Mirouse, M.F., (2000) : Brachiopodes et Conodontes carbonifères du bassin de Taoudeni (Mali, Afrique de l'Ouest) : biostratigraphie et paléogéographie, *Trav. Inst. Scient. Rabat, série géologie et géographie physique*, 20, pp : 92-107.
- Lemoine P. (1905) : Mission dans le Maroc Occidental. Rapport au Comité du Maroc. In-12, 224p., carte, Paris.
- Lepretre R. (2015) : Évolution phanérozoïque du Craton Ouest Africain et de ses bordures Nord et Ouest. *Thèse de Doctorat de l'Université Paris-sud*, 420 pages.
- Leprêtre, R., Y. Missenard, J. Barbarand, C. Gautheron, O. Saddiqi, & R. Pinna-Jamme (2015) : Postrift history of the eastern central Atlantic passive margin: Insights from the Saharan region of South Morocco, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 120, pp : 4645–4666.
- Liouville J. (1921) : Rapport Général sur l'Institut Scientifique Chérifien ; *Variétés scientifiques* recueillies par la Société des Sciences naturelles du Maroc, Tome 1, N° 3 du 1<sup>er</sup> juillet 1923 ; 21p.
- Liouville J. (1923) : Le Maroc et la recherche scientifique contemporaine (Participation de l'Empire Chérifien aux assemblées du Conseil International de Recherches Scientifiques de 1922) ; *Variétés scientifiques* recueillies par la Société des Sciences naturelles du Maroc, Tome 1, N° 1 du 1<sup>er</sup> octobre 1921 ; 59p.
- Loup J. (1960) : L'Oum-er-Rebia. Contribution à l'étude hydrologique d'un fleuve marocain. *Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique*, N° 9 ; 251 p.
- Mahmoudi A. & Bertrand H. (2007) : Identification géochimique de la province magmatique de l'Atlantique central en domaine plissé : exemple du Moyen Atlas marocain. – *C. R. Geosciences*, 339, pp : 545-552.
- Marhoumi R. & Rauscher R. (1984) : Un plancton dévonien de la Meseta orientale au Maroc. *Review of Palaeobotany and Palynology* ; Volume 43, Issues 1–3, pp : 237-253
- Martin L., Pittet B., Gutiérrez-Marco J.C., Vannier J., El Hariri K., Lerosey-Aubril R., Masrour M., Nowak H., Servais T., Vandenbroucke T., Van Roy P., Vaucher R., & Lefebvre (2016) : The Lower Ordovician Fezouata Konservat-Lagerstätte from

- Morocco : Age, environment and evolutionary perspectives. *Gondwana Research* 34, pp: 274–283.
- Maurer G. (1968) : Les montagnes du Rif central. Études géomorphologiques. *Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique*, n° 14, 500 pages.
- Médina et al. (2011) : Le Circuit C11 du Haut Atlas occidental. *Notes & Mémoires Service géologique du Maroc*, N° 562, pp : 9-62.
- Medioni R. (2008) : Philibert Russo (1885-1965), pionnier de l'exploration géologique du Maroc. *Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie*, Comité français d'Histoire de la Géologie, 2008, 3ème série (tome 22), pp : 37-54.
- Medioni R. (2011) : L'œuvre des géologues français au Maroc. *Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie*, 3eme série (tome 25, 1), pp : 1-52.
- Menchikoff N. (1945) : Sur la présence du Cambrien dans la région de Talzaza (confins algéro-marocains). *C. R. Acad. Sci.* t.221 ; p : 510.
- Michard A. (1976) : Éléments de Géologie marocaine, *Notes et Mémoires du Service Géol. Maroc*, N°-252, 408 p.
- Michard A., Mokhtari A., Chalouan A., Saddiqi O. & Rossi PH. (2014) : New ophiolite slivers in the External Rif belt, and tentative restoration of a dual Tethyan suture in the western Maghrebides; *Bull. Soc. géol. France*, t. 185 (5), pp : 313-328.
- Michard A., Saddiqi O., Chalouan A. & Frizon-de-Lamotte D. (2008) : Lecture Notes in Earth Sciences ; Continental Evolution: The Geology of Morocco, Springer, 424p.
- Michard, A., Soulaïmani, A., Hoepffner, C., Ouanaïmi, H., Baïdder, L., Rjimati, E.C. and Saddiqi, O. (2010) : The South-Western Branch of the Variscan Belt: Evidence from Morocco. *Tectonophysics*, 492, pp :1-24.
- Migon P. (2018) : Chapter 13 – Geoheritage and world heritage sites. in *Geoheritage :Assessment, Protection, and Management*, pp : 237-249.
- Monbaron M. & Monbaron J. (2015) : La route des dinosaures, itinéraires à travers le géoparc M'Goun, Haut Atlas, Maroc. Edition du Conseil Régional de Tadla-Azilal, 139 p.
- Morel J.-L. (1988) : Évolution récente de l'orogène rifain et de son avant-pays, depuis la fin de la mise en place des nappes (Rif, Maroc). *Mém. Géodiffusion*, 4, 226 p.
- Morin Ph. (1959) : Le Maroc Central, aperçu structural et orogénique. Notes marocaines, 11-12, pp : 16-25, Rabat.
- Muller J., Cornée J.J. & El Kamel F. (1990) : Évolution tectono-sédimentaire d'un bassin molassique post-orogénique: l'exemple des séries conglomératiques stéphano-triasiques de Mechra Ben Abbou, Rehamna, Maroc. *Géologie Méditerranéenne*, N°17, pp :109-122.
- Navarro L. F. (1909) : La península del Cabo Tres Forcas (Yebel Guork). Noticia físico – geológica ; *Bol. R. Soc. Española de Hist. Nat.* IX, 1909, pp : 421-436.

- Negro F., Agard P., Goffé B. & Saddiqi O. (2007) : Tectonic and metamorphic evolution of the Temsamane units, External Rif (northern Morocco): implications for the evolution of the Rif and the Betic-Rif arc. *Journal of the Geological Society, London*, N°164, pp :829–842.
- Oukeimini D. (1993) : Géochimie, géochronologie (U-Pb) du pluton d'Aouli et comparaisons géochimiques avec d'autres granitoïdes hercyniens du Maroc par analyse discriminante. *Thèse de doctorat de l'Université du Québec à Montréal*, 129 p.
- Payan, J. & Sendrier, R. (1962) : Cuadrícula 18. Sahara español. Campagne géologique 1961-62. IPESA, Internal Report, 8 maps, 72 pages.
- 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. (1989) : Variscan terranes in Morocco. *Geol. Soc. Amer., Special Paper*, 230, pp : 115-129.
- Puzenat L. (1948) : Les minéraux du Djebel Gueliz de Marrakech. *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, 10 juin, pp. 59-62.
- Raaben ME (1980) : Some stromatolites of the Precambrian of Morocco. *Earth Sci Rev.*, 16 (2–3), pp :221–234.
- Razin Ph., J.-F. Ghienne J. -F., Loi A. & Marante A. (2020) : Architecture et dynamique des systèmes sédimentaires de l'Ordovicien antéglaciaire de l'Anti-Atlas. *Géochronique*, N° 153 ; pp : 25-32.
- Reuber I., Michard A., Chalouan A., Juteau T. and Jermoumi B. (1982) : Structure and emplacement of the Alpine-type peridotites from Beni Bousera, Rif, Morocco: A polyphase tectonic interpretation. *Tectonophysics*, 82, 231-251.
- Rey J. (ed.) (1997) : Stratigraphie, terminologie française. *Bull. Centres Rech. Explor. - Prod. Elf Aquitaine*, Mém. 19, 164 p.
- Rjimati EC, Michard A., Saddiqi O. (2011) : Circuit 10, Anti-Atlas occidental et Provinces sahariennes. In: Michard A, Saddiqi O, Chalouan A, Rjimati EC, Mouttaqi A (eds) Nouveaux guides géologiques et miniers du Maroc, vol 6. *Notes Mém Serv Géol Maroc*, N° 561 ; pp : 1-95.
- Rjimati, E., Zemmouri, A., (2002) : Carte géologique du Maroc au 1/100000. Feuille de Smara. Mémoire explicatif. Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc ; N° 438bis, 52 pages.
- Roch E. (1930) : Études géologiques dans la région méridionale du Maroc occidental. *Notes & Mém. Serv. Mines & Carte géol. Maroc*, n° 9, 542 p.
- Roch E. (1950) : Histoire stratigraphique du Maroc. *Notes Mém. Serv. Géol. Maroc*, N° 80 , 440 p.
- Rousselle L. (1960) : A propos d'une Rhynchonelle du Dogger du Djebel Msedrid (Haut Atlas de Midelt). *Bull. Soc. Sci. Nat. & phys. Maroc*, t. 40, pp. 269-273.

- 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*, n° 11, 58 pages.
- Rousselle L. (1965) : Rhynchonellidae, Terebratulidae et Zeilleriidae du Dogger marocain (Moyen Atlas septentrional, Hauts plateaux, Haut Atlas). *Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien ; Série Géologie et Géographie physique*, n° 13, 186 pages.
- Russo Ph. (1930) : Recherches sur les déplacements tectoniques des aires continentales. *Mémoire de la Société des Sciences Naturelles & Physique du Maroc*, 25, 67p.
- Russo Ph. (1932). Exposé des titres et travaux de Philibert Russo. Louis Jean imprimeur., Gap, 39 p.
- Russo. Ph (1933) : Essai d'une coordination tectonique de l'évolution de la Méditerranée. *Mém. Soc. Sci. natur. Maroc*, Rabat, n° 34. 31 mars. 39 p.
- Saddiqi O., Reuber I. & Michard A. (1988) : Sur la tectonique de dénudation du manteau infracontinental dans les Béni Bousera, Rif septentrional, Maroc. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Série II, 307, pp : 657-662.
- Saidi A. (2005) : État de contrainte et mécanismes d'ouverture et de fermeture des bassins permien de la Meseta marocaine. Apport de la télédétection à la reconnaissance des faciès et des réseaux de failles. *Thèse de Doctorat, Université Mohammed V*, Rabat, 222 p.
- Saint Martin, J-P., Saint Martin, S., Oaie, G., Seghedi, A., Grigorescu, D., (2010) : Avant-propos, Le patrimoine paléontologique. Des trésors du fond des temps. In: J.-P. Saint Martin, S. Saint Martin, G. Oaie, A. Seghedi, D. Grigorescu (eds.), Le patrimoine paléontologique. Des trésors du fond des temps. *GeoEcoMar*, Bucharest, pp :7-20.
- Saint-Martin (de) V. & Schrader F. (1937) : Atlas Universel de Géographie. Librairie Hachette., Paris.
- Samaka F., Benyaich A., Dakki M., Hçaine M. & Bally A.W. (1997) : Origine et inversion des bassins miocènes supra-nappes du Rif Central (Maroc). Etude de surface et de subsurface. Exemple des bassins de Taounate et de Tafrannt. – *Geodin. Acta*, 10, pp : 30-40.
- Schirmer H. (1912) : Le Haut Pays oranais et le Sahara d'après Mr G. -B. – M. Flamand.
- Schmitt M (1978) : Stromatolites from the Tiout section, Precambrian- Cambrian boundary beds, Anti-Atlas, Morocco. *Geol. Mag* ; 115(2) ; pp : 95–100.
- Schnell P. (1898) : L'Atlas marocain d'après les documents originaux. Trad. par Auguste Bernard (Publications de l'École des Lettres d'Alger). In-8°, x-316 p., 1 carte, Paris.
- Schulte P.D. et al., (2010) : The Chicxulub asteroid impact and mass extinction at the Cretaceous-Paleogene boundary ; *Science*, 327, pp : 1214-1218.
- Sebban S. (1990) : Étude palynologique du Permien inférieur du Haouz oriental (Maroc). *Thèse de Doctorat, Université de Paris VI*, 216 p.

- Segonzac (de) M. (1910) : Au Cœur de l'Atlas, Mission au Maroc (1904-1905). Émile Larose, Libraire-Éditeur, Paris ; 1010 p.
- Segonzac R. de (1901) : La traversée du Rif. *La Géographie*, Paris, t. 4, pp : 184-186.
- Segonzac R. de (1903) : Voyages au Maroc (1899-1901). A. Colin éd., Paris, 404 p.
- Seilacher (1970) : Begriff und Bedeutung der Fossil-Lagerstätten. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, pp :34-39. (traduit de l'allemand et désigne, en paléontologie, les dépôts sédimentaires remarquables par la richesse ou la qualité de la préservation de leur contenu fossilifère).
- Şengör A.M.C. (2015) : The Founder of Modern Geology Died 100 Years Ago: The Scientific Work and Legacy of Eduard Suess. *Geoscience Canada*, vol 42, pp : 181-246.
- Sheehan P.M. (2001) : The Late Ordovician Mass Extinction, Annual Review of Earth and Planetary Sciences ; Vol. 29; pp : 331-364.
- Sougy J. (1962) : West African fold belt, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 73 (7), pp : 871-876.
- Sougy J. (1964) : Les formations paléozoïques du Zemmour noir (Mauritanie septentrionale). Étude stratigraphique, pétrographique et paléontologique. *Thèse publiée dans Ann. Fac. Sci. Univ. Dakar*, 15, 695 pages.
- Sougy J. (1969) : Grandes lignes structurales de la chaîne des Mauritanides et de son avant-pays (socle précambrien et sa couverture infracambrienne et paléozoïque), Afrique de l'Ouest. *Bulletin de la Société géologique de France* 11, pp : 133-149.
- Soulaimani A., Burkhard M., (2008) : The Anti-Atlas chain (Morocco): the southern margin of the Variscan belt along the edge of the West African Craton, in Ennih N., Liégeois J.P. (Eds.), The boundaries of the West African Craton. *Geological Society, London, Special Publications*, 297, pp : 433-452.
- Soulaimani, A., Ouanaïmi, H., Saddiqi, O., Baïdder, L., & Michard, A., (2018) : The Anti-Atlas Pan-African Belt (Morocco): Overview and pending questions. *C. R. Geosci.* 350, pp : 279- 288.
- Spakman W., Wortel R. (2004) : A tomographic view on Western Mediterranean geodynamics, in : W. Cavazza, F. Roure, W. Spakman, G.M. Stampfli and P.A. Ziegler (Eds), The TRANSMED Atlas – the Mediterranean region from crust to mantle, Springer, Berlin.
- Suess E. (1875) : Die Entstehung der Alpen; German Edition ; W. Braumüller (1<sup>st</sup> Edition) Wien ; 168 p.
- Suess E. (1885-1909) : Das Antlitz der Erde. Tempsky, Prag und Freitag, Leipzig.
- Suess E. (1897) : La Face de la Terre (Das Antlitz Der Erde). Armand Colin et Cie (Libraires-Éditeurs) Paris, 225p. Traduit de l'Allemand et annoté sous la direction de Emm. De Margerie, avec une préface par Marcel Bertrand.
- Suess E. (1912-1918) : La Face de la Terre. Traduction française sous la direction de E. de Margerie, Paris. Editions A. Colin. Tome 1 (1912), 835p. ; Tome 2 (1918), 878 p. ; Tome 3, 1<sup>ère</sup> partie (1912), pp : 1-530 ; 2<sup>ème</sup> partie (1912), pp : 531-956;

- 3ème partie (1913), pp : 957-1360 ; 4<sup>ème</sup> partie (1918), pp : 1361-1724. Tables générales (1918), pp : 1-258.
- Suter G. (1980a) : Carte géologique du Rif, 1/500 000. *Notes Mém. Serv. géol. Maroc*, 245.
- Suter, G. (1980b) : Carte structurale de la chaîne rifaine au 1:500.000. *Notes Mém. Serv. géol. Maroc*, 245 bis.
- Tahiri, A., Montero, P., El Hadi, H., Martínez Poyatos, D., Azor, A., Bea, F., Simancas, J. F. & González Lodeiro, F. (2010): Geochronological data on the Rabat-Tiflet granitoids: Their bearing on the tectonics of the Moroccan Variscides. *Journal of African Earth Sciences*, 57, pp : 1-13.
- Termier H. (1932) : Carte géologique provisoire du Maroc central au 1/200,000°, Service des Mines et de la Carte géologique du Maroc. *Notes et Mémoires du Service géol. Maroc*, n° 22.
- Termier H. (1936) : Études géologiques sur le Maroc central et le Moyen Atlas septentrional ; tome 1 : Les terrains primaires et le Permo-Trias ; tome 2 : Les terrains post-triasiques ; tome 3 : Paléontologie, Pétrographie; tome 4 : Atlas des figures & des tableaux h.t. *Notes et Mémoires du Service Mines & Carte géol. Maroc*, n° 33, 1566 p.
- Termier H. (1971) : Le massif granito-dioritique du Tichka (Haut - Atlas occidental). *C. R. Soc. Sci. Nat. & Phys. Maroc*, t. 37, pp : 37-40.
- Termier H. & Termier G. (1950) : Les sédiments antécambriens et leur pauvreté en fossiles. *La Revue Scientifique*, N° 3, 302, pp : 74-84.
- Termier H. et Dubar G. (1939) : Carte géologique provisoire du Moyen- Atlas septentrional au 1/200.000°. Service des Mines et de la Carte géologique du Maroc, *Notes et Mémoires du Service géol. Maroc* n° 24bis.
- Termier, G. & Termier, H. (1950) : Paléontologie Marocaine. Tome II, Invertébrés de l'Ère Primaire. Fascicule IV, Annélides, Arthropodes, Échinodermes, Conularides et Graptolithes. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 79, pp : 1-279.
- Termier, G., and Termier, H. (1947) : Paléontologie Marocaine. Tome I, Généralités sur les invertébrés fossiles. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 69, pp : 1-391.
- Termier, G., and Termier, H. (1950-a) : Paléontologie Marocaine. Tome II, Invertébrés de l'Ère Primaire. Fascicule I, Foraminifères, Spongiaires et Coelentérés. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 73, pp : 1-220.
- Termier, G., and Termier, H. (1950-b) : Paléontologie Marocaine. Tome II, Invertébrés de l'Ère Primaire. Fascicule II, Bryozoaires et Brachiopodes. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 77, pp : 1-253.
- Termier, G., and Termier, H. (1950-c) : Paléontologie Marocaine. Tome II, Invertébrés de l'Ère Primaire. Fascicule III, Mollusques. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 78, pp : 1-246.

- Thomson J. (1889) : Travels in the Atlas and Southern Morocco, a narrative of exploration. *George Philip & sons*, London. 488 p.
- Thomson J. (1888-1889) : Geological Map of Southwestern Morocco, 1:1.500.000 (Travels in the Atlas and Southern Morocco, London)
- Van Roy, P., Orr, P.J., Botting, J.P., Muir, L.A., Vinther, J., Lefebvre, B., El Hariri, K. el, & Briggs, D.E.G., (2010) : Ordovician faunas of Burgess Shale type. *Nature* 465, pp : 215-218.
- Vaucher, R., Pittet, B., Hormière, H., Martin, E. L., & Lefebvre, B., (2017) : A wave-dominated, tide-modulated model for the Lower Ordovician of the Anti-Atlas, Morocco. *Sedimentology*, 64 (3), pp : 777-807.
- Villemur, J. R., (1967) : Reconnaissance géologique et structurale du Nord du bassin de Taoudeni (Mauritanie), *Mém. Bur. Rech. Géol. Min.*, Paris, 51, 151p.
- Villeneuve M., Bellon H., El Archi A., Sahabi M., Rehault J.P., Olivet J.L. & Aghzer A.M. (2006) : Événements panafricains dans l'Adrar Souttouf (Sahara marocain) *C. R. Geosciences*, 338, pp : 359–367.
- Villeneuve, M. (2005) : Paleozoic basins of West Africa and the Mauritanides fold belt, *J. Afr. Earth Sci.*, 43, pp :166-195.
- Villeneuve, M. (2008) : Review of the orogenic belts on the western side of the West African craton: the Bassarides, Rokelides and Mauritanides, In: Ennih, N., and J.P. Liégeois (eds.), The boundaries of the West African Craton. *Geol. Soc. Spec. Pub.*, vol. 297, pp : 169-201.
- Villeneuve, M., Bellon, H., El Archi, A., Sahabi, M., Rehault, J. P., Olivet, J. L. and Aghzer, A. M., (2006) : Événements Panafricains dans l'Adrar Souttouf (Sahara marocain), *C.R. Geosciences*, 338, pp : 359–367.
- Walliser O.H., Bultynck P., Weddige K., Becker R.T. & House M.R. (1995) : Definition of the Eifelian-Givetian Stage boundary. *Episodes*, Vol 18, N° 3, pp: 107-114.
- Walsh, G.J., Benziane, F., Aleinikoff, J.N., Harrison, R.W., Yazidi, A., Burton, W.C., Quick, J.E. & Saadane, A. (2012) : Neoproterozoic tectonic evolution of the Jebel Saghro and Bou Azzer-El Graara inliers, eastern and central Anti-Atlas, Morocco. *Precambrian Res.*, 216-219, pp: 23-62.
- Wdowiarz S. (1987) : État de la reconnaissance géologique de la structure profonde du Rif. *Notes Mém. Serv. Géol. Maroc*, N° 321, pp : 233-253.
- Wegener A. (1912) : «Die Entstehung der Kontinente» [La formation des continents], *Geologische Rundschau, Zeitschrift für allgemeine Geologie, dritter Band*, p. 276-292 (en allemand).
- Wegener A. (1924) : La Genèse des continents et des océans (traduction par M. Reichel de la 3e éd. de "Die Entstehung der Kontinente und Ozeane"), Blanchard, Paris, 161 p.
- 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*, N° 331, 270 p.

- Willefert S. (1997) : Découverte des terrains à graptolithes du Maroc de 1845 à 1958. *Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie*, Comité français d'Histoire de la Géologie, 3<sup>ème</sup> série (tome 11), pp : 1-57.
- Youbi N. (1998) : Le volcanisme "post-collisionnel": un magmatisme intraplaque relié à des panaches mantelliques, étude volcanologique et géochimique exemples d'application dans le Néoprotérozoïque Terminal (PIII) de l'Anti-Atlas et le Permien du Maroc. *Thèse de Doctorat d'Etat, Université Cadi Ayyad, Marrakech*, 505 p.
- Yovanovitch B. (1938-a) : sur l'existence de plissements calédoniens dans la Meseta marocaine occidentale. *Comptes Rendus sommaires de la Société géologique de France*, 17, pp : 335-337.
- Yovanovitch B. (1938-b) : sur l'aire d'extension probable du système calédonien marocaine. *Comptes Rendus sommaires de la Société géologique de France*, 17, pp : 356-358.
- Zimmermann M. (1905) : Mission du comité du Maroc. Explorations de MM. de Segonzac, Gentil, de Flotte de Roquevaire. *Annales de Géographie*, t. 14, n°75, pp : 285-286.
- Zouhri S., Gingerich P., Adnet S., Bourdon E., Jouve S., Khalloufi B., Amane A., Elboudali N., Rage J.C., De Lapparent De Broin F., Kaoukaya A. & Sebti S. (2018) : Middle Eocene vertebrates from the sabkha of Gueran, Atlantic coastal basin, Saharan Morocco, and their peri-African correlations. *C. R. Geosciences*, 350, pp : 310–318.
- Zouhri S., Gingerich P., Elboudali N., Sebti S., Noubhani A. Rahali M. & Meslough S. (2014) : New marine mammal faunas (Cetacea and Sirenia) and sea level change in the Samlat Formation, Upper Eocene, near Ad-Dakhla in southwestern Morocco. *C. R. Palevol*, 13, pp : 599–610.
- Zouine E.M. (1986) : Évolution structurale tardi-hercynienne de la bordure NW du Maroc central entre Tiddas et Jebel Tariona. *Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure, Rabat*, 131p.

