الجمهوريـــــــة الجزائـريـة الديمقـراطيـة الشـعبيـــــــة
**République Algérienne Démocratique et Populaire**
وزارة التـــعليـم العـــــالـــي و البـحـث الـعـلـمـــــــي
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**
**Faculté des Sciences de la Terre & de l'Univers**
**Université d'Oran 2**
**Département des Sciences de la Terre**

**Mémoire pour l'obtention du Diplôme de Master 2**

**Option :** Géologie des Bassins Sédimentaires

**Thème :**

# La Formation du Foum ez Zeidyia (Darriwilien, Ordovicien Moyen) dans le secteur d'El Kseib (Monts d'Ougarta, Sahara algérien) : Lecture Lithostratigraphique & Sédimentologique

**Présenté par : Mlle Lekehal Badia Nour El Houda**

**Soutenu le :** 02/06/2025

**Devant le jury composé de** :

- **Président : M. KHALDI A.Y.**
- **Encadrant : M. BOUTERFA B.**
- **Examinateur : M. BELKHEDIM S.**

**Année universitaire :** 2024/2025

# DEDICACES

اولا الحمد لله حبا و شكرا و امتنانا،

أهدي هذا العمل المتواضع، والذي يُعد ثمرة سنواتٍ من الاجتهاد والمثابرة، بكل حب وامتنان:

أولًا، إلى بديعة الصغيرة ،

نفسي التي تجاوزت التحديات بقوة إيمانها وشغفها بالجيولوجيا، حتى بلغت هذه اللحظة، معتزة بذاتها، راضية بما حققته.

إلى **والديَّ العزيزين،** اللذين لولا تضحياتهما ودعمهما المستمر، لما كان لهذا النجاح أن يتحقق.

إلى **والدي،** داعمي الأول والأبدي ، الذي كان دائم التشجيع لي على المضي قدمًا نحو تحقيق طموحاتي، وانتظر هذه اللحظة بفخر.

وإلى **والدتي،** التي يعجز اللسان عن وصف مكانتها، التي كان دعاؤها المستمر مصدر بركة وتوفيق في مسيرتي.

أشكركما من أعماق قلبي، وأهديكما هذا الإنجاز المتواضع.

إلى إخوتي الأعزاء:

إلى **إكرام،** رفيقة دربي ومنطقتي الآمنة، التي كانت دائمًا مصدر طمأنينة وسندًا في كل مرحلة.

إلى **رحيم،** الذي لم يتردد يومًا في الوقوف إلى جانبي، ودعمني في لحظات الضعف بثبات وصدق.

إلى **أنفال،** التي تذكّرني دومًا بقوتي و تقف خلفي كظلي .

وإلى **فطومة،** شخصي المفضل، والتي آمنت بي واحتضنتني بمحبتها دون قيد.

كما أتوجّه بالشكر والامتنان لكل من ساندني ووقف إلى جانبي طيلة مسيرتي الدراسية، وأخص بالذكر من شككوا في قدرتي و قالوا "لا"، فقد كانوا دون قصد دافعًا إضافيًا للاستمرار والتحدي.

وفي الختام، أسأل الله عزّ وجل أن يوفقني ويبارك خطواتي، وأن يكتب لي وللجميع دوام النجاح والسداد.

*It always seems impossible until it’s done*

# AVANT-PROPOS

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à l'ensemble des enseignants et encadrants qui ont, d'une manière ou d'une autre, contribué à la réalisation de ce travail et accompagné mon parcours universitaire.

Mes remerciements les plus sincères vont à **Monsieur B. Bouterfa**, mon encadrant, pour sa disponibilité, ses conseils avisés, son accompagnement attentif, ainsi que pour la bienveillance avec laquelle il a guidé mes pas. Son implication a grandement enrichi ce mémoire, et ce fut un privilège d'être encadrée par l'un des meilleurs enseignants.

Je remercie également **Monsieur A.Y. KHALDI** pour avoir accepté de président le jury et l'honneur qu'il m'a fait en acceptant d'évaluer ce travail. J'ai beaucoup apprise de lui au cours du stage de terrain de Master 1 effectué en sa compagnie dans le Dévonien de la région de Beni Abbes.

Ma reconnaissance s'adresse aussi à **Monsieur S. Belkhedim**, dont l'enseignement a toujours été pour moi une source de motivation et d'intérêt. Je suis contente de le voir parmi les membre de mon jury.

Je n'oublie pas **Monsieur M. Bendella**, C'est lui qui m'a orientée vers la spécialité que je poursuis aujourd'hui. Il n'a jamais hésité à partager ses connaissances ni à m'apporter son soutien, avec une générosité remarquable.

Je tiens également à remercier **Messieurs B. Mansour, A. Belhadji, M. Mahboubi** et **Madame B. Bezghoud** pour leur professionnalisme, leur équité et leurs encouragements. J'ai pour eux un profond respect.

J'adresse une mention toute particulière à **Mesdames Ablaoui**, **Chreriet** et **Zekour**, rencontrées dès ma première année. Leur sens de l'écoute et leur soutien moral constant ont laissé en moi une empreinte précieuse.

Je tiens à adresser mes remerciements à **Monsieur H. BOUZA** pour la qualité remarquable des lames réalisées, ainsi qu'au personnel administratif, en particulier à **Mesdames Saliha** et **Aicha** pour leur accueil chaleureux et leur assistance précieuse.

À toutes et à tous, je dis simplement : Merci !

# R É S U M É

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une étude lithostratigraphique, sédimentologique et séquentielle de la Formation du Foum ez Zeidiya, d'âge Darriwilien (Ordovicien moyen) dans le secteur d'El Kseib (Monts d'Ougarta). Celle-ci a fait l'objet d'un levé de coupe détaillé sur une épaisseur de 280 mètres, permettant de distinguer 3 membres : un membre inférieur argileux, un membre moyen à lentilles de calcaire gréseux, caractérisé par l'alternance de 6 barres à dominante gréseuse, parfois enrichies en lentilles calcaires ("miches calcaires"), et intercalées par des combes argileuses et un membre supérieur argilo-gréseux, se terminant par un banc de grès à ciment ferrugineux.

L'analyse sédimentologique a permis de définir 3 faciès principaux : argileux (Fa), gréseux (Fg) (subdivisé en plusieurs sous-faciès) et carbonaté-gréseux (Fc). Ces faciès traduisent deux grandes associations de milieux de dépôt : l'une correspondant à un environnement calme de type *offshore transition* (Association B), l'autre à un environnement plus agité de type *shoreface* (Association A), soumis à l'action de houles et de courants de tempêtes.

L'étude de l'organisation verticale de dépôts des affleurements étudiès, nous a permis de définir 5 séquences transgressives/régressives de 3ème ordre (sommet de la Formation du Kheneg el Aatène, membre inférieur argileux et membre moyen à lentilles de calcaire gréseux de la Formation du Foum ez Zeidiya), ainsi qu'une séquence incomplète, marquée par son terme transgressif située au sommet de la formation d'étude. L'empilement de ces séquences révèle une tendance générale régressive durant le Darriwilien, matérialisée par une séquence de basse fréquence de 2ème ordre. Les résultats illustrent les changements des environnements de dépôt surtout influencés par les variations du niveau marin relatif et les apports sédimentaires.

Enfin, cette recherche contribue à la compréhension des dépôts de l'Ordovicien moyen dans les Monts d'Ougarta, à travers l'étude des affleurements de la région d'El Kseib.

**Mots-clés :** Formation du Foum ez Zeidiya, Monts d'Ougarta, El Kseib, Ordovicien moyen, Darriwilien, Lithostratigraphie, Sédimentologie, Séquences.

# A B S T R A C T

This work is part of a lithostratigraphic, sedimentological, and sequential study of the Foum ez Zeidiya Formation, dating from the Darriwilian (Middle Ordovician) in the El Kseib area (Ougarta Mountains). A detailed section survey was conducted over a thickness of 280 meters, allowing the distinction of three members: a lower clayey member, a middle member with lenses of sandy limestone, characterized by the alternation of six predominantly sandy bars, sometimes enriched with limestone lenses ("miches calcaires"), intercalated with clayey troughs, and an upper clayey-sandy member, ending with a ferruginous sandstone bed.

The sedimentological analysis defined 3 main facies: clayey (Fa), sandy (Fg) (subdivided into several sub-facies), and carbonate-sandy (Fc). These facies reflect two major depositional environment associations: one corresponding to a calm offshore transition environment (Association B) and the other to a more dynamic shoreface environment (Association A), subjected to wave action and storm currents.

The study of the vertical organization of the deposits in the examined outcrops allowed us to define five transgressive/regressive sequences of 3rd order (the top of the Kheneg el Aatène Formation, the lower clay member, and the middle member with sandy limestone lenses of the Foum ez Zeidiya Formation), as well as an incomplete sequence characterized by its transgressive terminus located at the top of the studied formation. The stacking of these sequences reveals a general regressive trend during the Darriwilian, manifested by a low-frequency 2nd order sequence. The results illustrate the changes in depositional environments, primarily influenced by variations in relative sea level and sedimentary inputs.

Finally, this research contributes to the understanding of Middle Ordovician deposits in the Ougarta Mountains through the study of outcrops in the El Kseib region.

**Keywords**: Foum Ez Zeidiya Formation, Ougarta Mountains, El Kseib, Middle Ordovician, Darriwilian, Sedimentology, Sequences.

# *Chapitre 1*

# Généralités

## INTRODUCTION

Ce chapitre présentera d'abord une vue d'ensemble de la région et du secteur d'étude sous leurs aspects géographiques et géologiques. Ensuite, il donnera un aperçu des formations présentes dans cette zone. Nous passerons après en revue les principales recherches menées dans cette région sur notre formation d'étude à savoir, celle du Foum ez Zeidiya. Enfin, nous définirons les objectifs de cette recherche et détaillerons la méthodologie utilisée pour l'analyse et l'interprétation des données.

## I- CADRE GÉOGRAPHIQUE

### A- Situation géographique de la région d'étude

La région qui intéresse notre étude correspond aux Monts d'Ougarta. Ces derniers sont situés dans le Sahara algérien nord-occidental, à environ 800 km au Sud d'Oran et à 200 km au Sud de Béchar. Cet ensemble montagneux s'étend sur près de 310 km de longueur et 130 km de largeur, constituant l'une des principales structures géomorphologiques de la région. Il est délimité au Nord par la Hamada du Guir, au NE par le Grand Erg Occidental, au NW par le Plateau du Kem Kem et la Hamada du Drâa, au SE par la région du Touat, et au SW par les ergs Iguidi et Chech (Fig. 1).

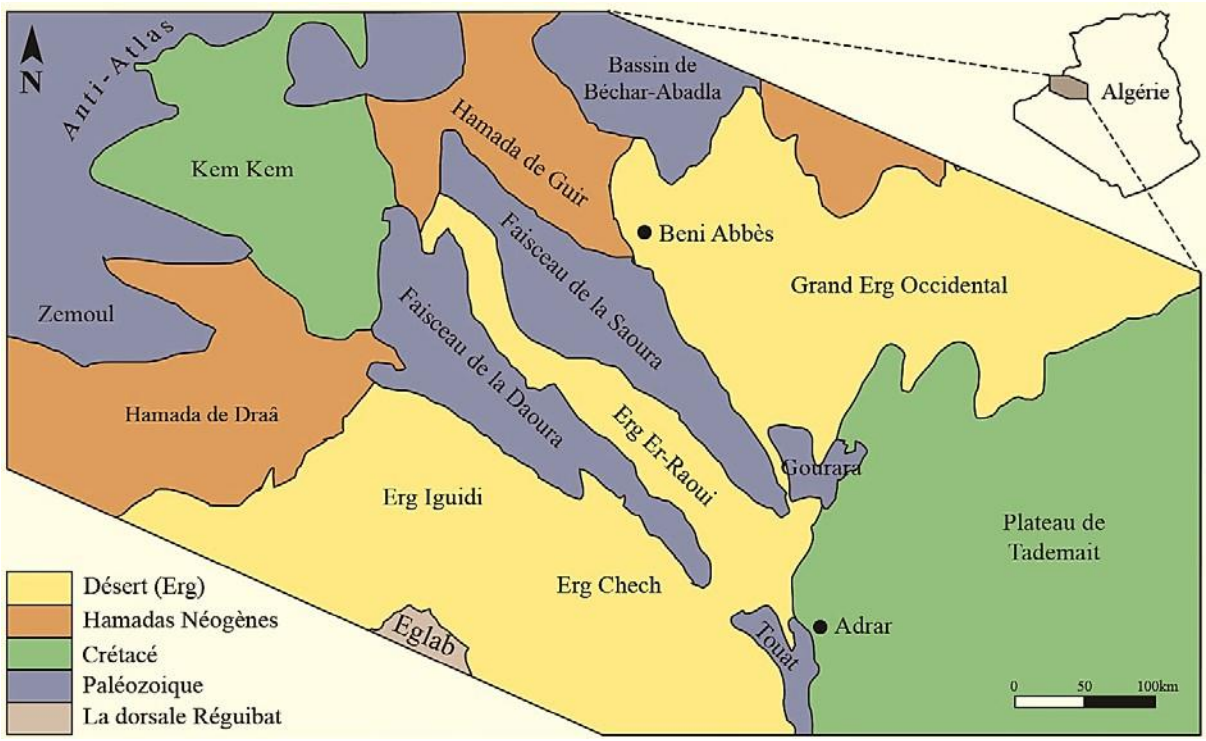



**Fig. 1 :** Situation géographique des Monts d'Ougarta (d'après Fabre, 1976 ; modifié).

D'un point de vue morphologique, les Monts d'Ougarta présentent une organisation en deux faisceaux montagneux d'orientation NW-SE, séparés par l'étroit Erg Er-Raoui (Alimen *et al.*, 1952) (Fig. 1) :

* **le faisceau de la Saoura,** également désigné sous le nom de Monts d'Ougarta *stricto sensu*, situé au NE ;

* **le faisceau de la Daoura,** au SW, qui englobe plusieurs reliefs majeurs tels que le Kahal Tabelbala, le Djebel Ben Tadjin et les Monts de la Daoura.

**B- Situation géographique du secteur d'étude**

Notre secteur d'étude est situé dans le faisceau de la Saoura (Chaîne d'Ougarta), non loin du lieu-dit El Kseib, à environ 80 km au Sud de Beni Abbes et 20 km au SSE du village d'Ougarta. Il est localisé entre Kheneg el Aatène, au NW, et Foum Tineslem, au SE et limité au SW par Oued Ahïersa et au NE, par Erg Djemel (Fig. 2).

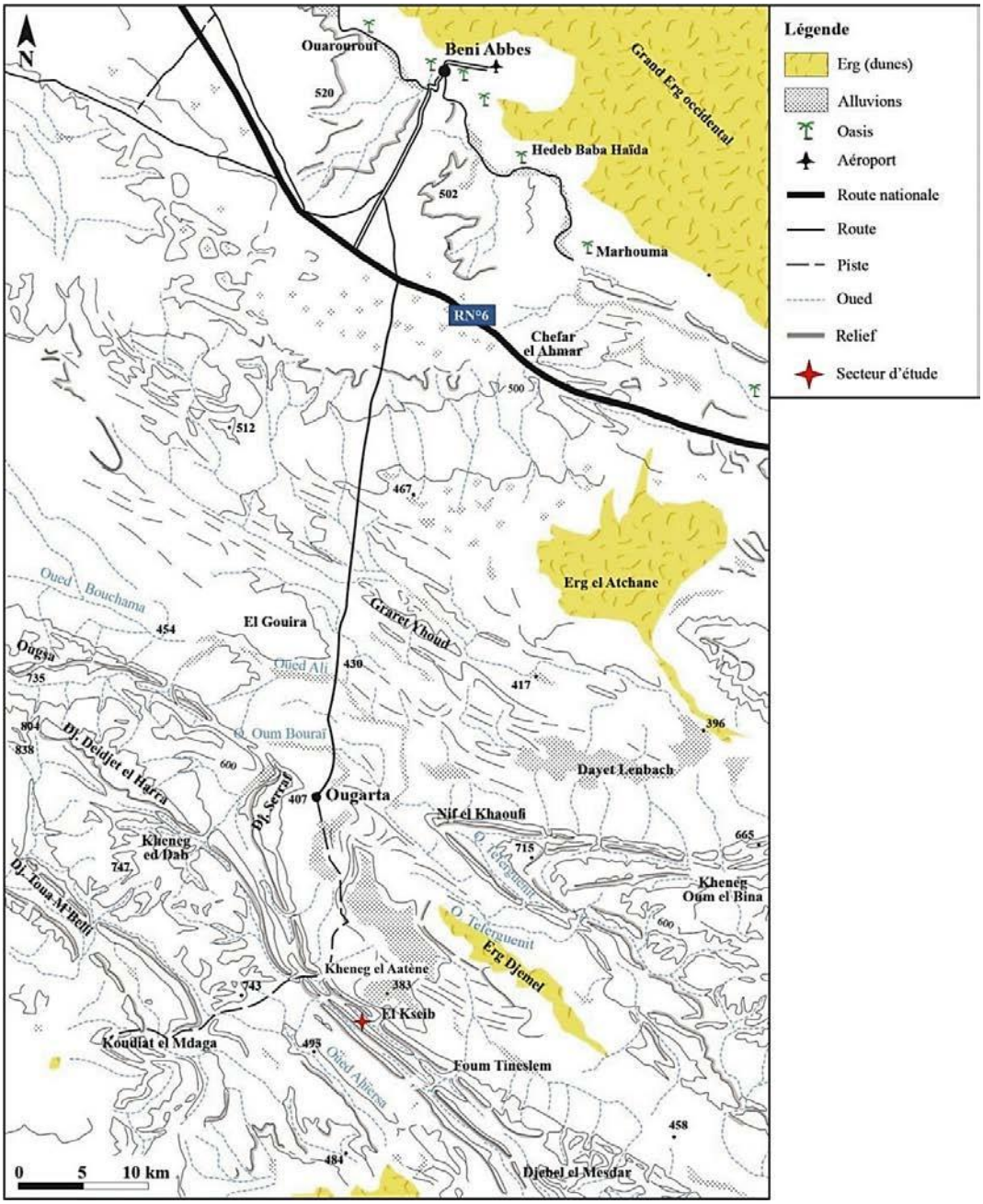
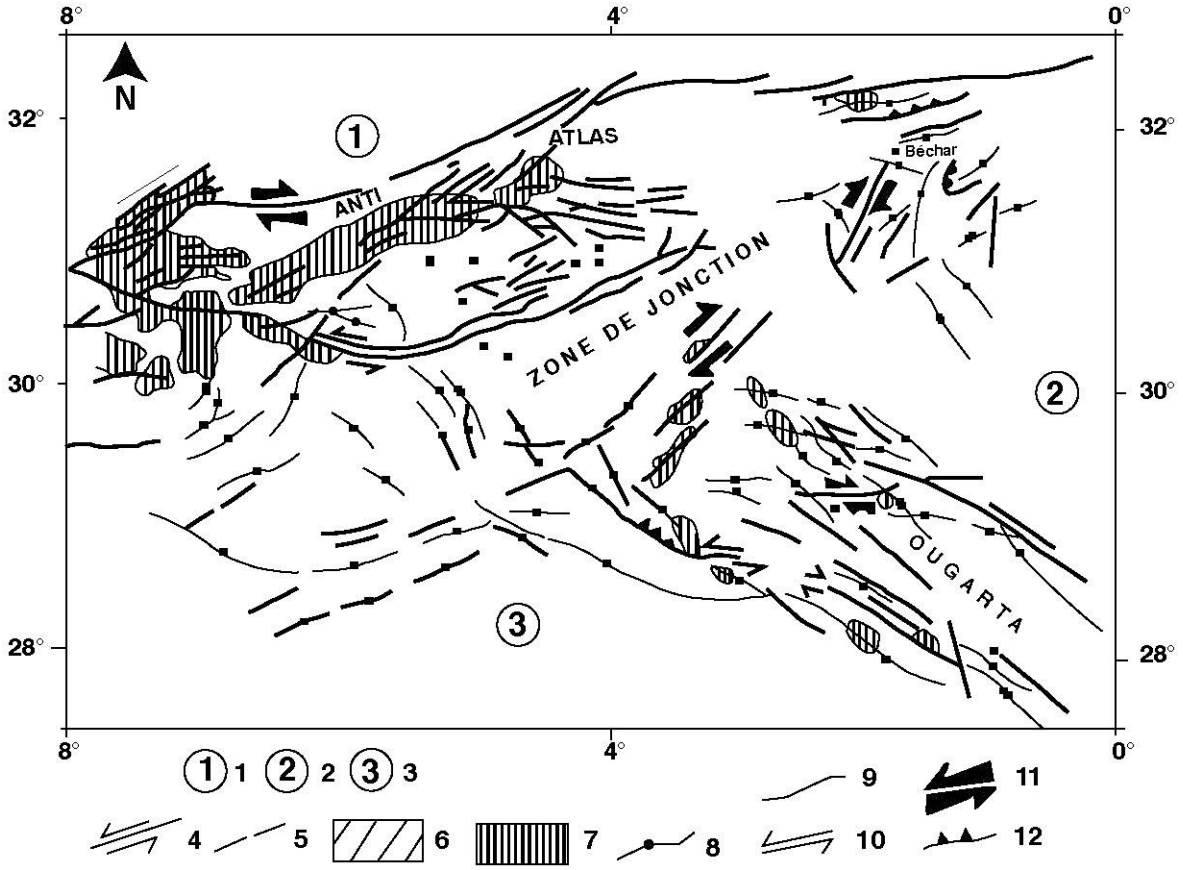



**Fig. 2 :** Situation géographique du secteur d'étude (Extrait de la carte topographique de Béchar n°NH-30-NE au 1/500 000).

## II- CADRE GÉOLOGIQUE

### A- Cadre géologique des Monts d'Ougarta

Les Monts d'Ougarta forment avec l'Anti-Atlas marocain auquel ils se raccordent au NW, un arc de cercle et occupent une zone particulièrement sensible du Sahara occidental. C'est une zone de suture (Bayer et Lesquer, 1978, *in* Nedjari *el al.*, 2021) et de transition entre deux domaines qui, en raison de leur âge, histoire et rigidité, se comportent différemment : le bouclier Targui et le Craton Ouest Africain (Fig. 3).




**Légende : 1:** Domaine atlasique (substratum hercynien anté-viséen), **2:** bouclier du Hoggar (dernière orogenèse 550-600 Ma), **3:** Craton Ouest Africain (dernière orogenèse 2000 Ma), **4:** accident décrochant, **5:** limite de la zone subsidente incorporant partiellement les marges du Craton Ouest Africain, **6:** zone subsidente et aulacogène Anti-Atlas - Ougarta, **7:** affleurements précambriens, **8:** axe anticlinal, **9:** faille, **10:** décrochement hercynien, **11:** décrochement tardi-hercynien, **12:** chevauchement.

**Fig. 3 :** Schéma tectonique de l'Arc Anti-Atlas - Ougarta
(Donzeau et Zellouf, 1973, *in* Nedjari *el al.*, 2021).

Les Monts d'Ougarta constituent une chaîne chevauchante caractérisée par un socle précambrien surmonté en discordance par une couverture paléozoïque plissée (Menchikoff, 1933 ; Fabre, 1976 ; Ait Kaci, 1990 ; Fabre, 2005) (Fig. 4).

Le socle précambrien est composé de terrains volcaniques et volcano-sédimentaires, notamment des épandages rhyolitiques, d'ignimbrite et d'andésite, visibles à l'Ouest (Djebel Bou Kbeïssat et Djebel

Bet Touaris), ainsi que de dépôts sédimentaires attribués à des flyschs à l'Est (Sebkha el Melah) et au Sud (Erg el Atimine) (Chikhaoui, 1974, 1981).

La couverture paléozoïque repose en discordance sur ce socle et se compose majoritairement de roches silicoclastiques (80%), avec des calcaires, dolomies et évaporites en moindre proportion (Guerrak, 1991).

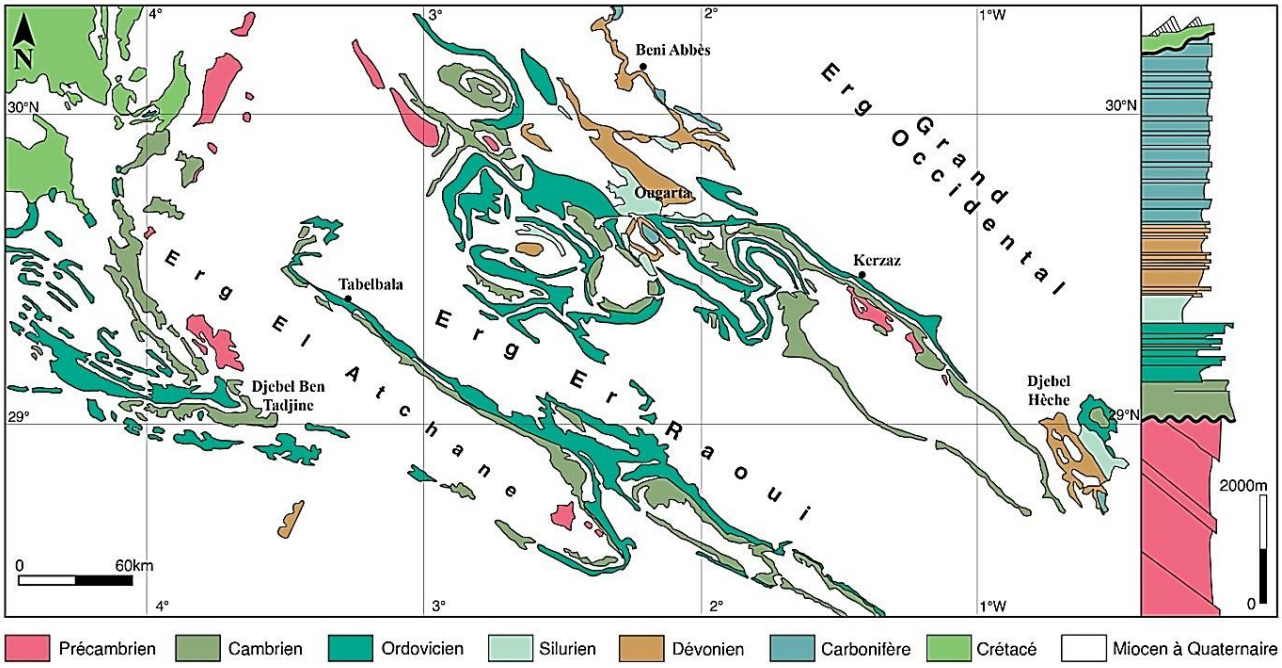



**Fig. 4 :** Carte géologique simplifiée de l'Ougarta et colonne synthétique de la succession sédimentaire (d'après Ghienne *et al.*, 2007 ; modifié).

D'un point de vue structural, la Chaîne d'Ougarta est une structure plissée hercynienne, classée comme un bassin aulacogène (Collomb et Donzeau, 1974), marquant une zone de transition entre le Bouclier Targui à l'Est et le Craton Ouest-africain à l'Ouest (Ait Ouali et Nadjari, 2006). Les déformations résultent des orogenèses calédonienne et hercynienne, qui ont généré des plis massifs (Hervouet et Duée, 1996) et contribué au plissement d'une épaisse série sédimentaire paléozoïque sous l'effet de la compression varisque (Legrand et Bouterfa, 2021).

La série cambro-ordovicienne des Monts d'Ougarta façonne 4 principales crêtes (Fabre, 1976, 2005) (Fig. 5) :

- le Cambrien est représenté par deux formations, la ***formation des Grès arkosiques de la Sebkha el Melah*** et la formation ***des Quartzites d'Aïn en Nechea***. La transition vers l'Ordovicien est marquée par la **Dalle à Lingules**.
- l'Ordovicien occupe les 2 dernières crêtes et comprend 5 formations (Gómes Silva *et al.*, 1963).

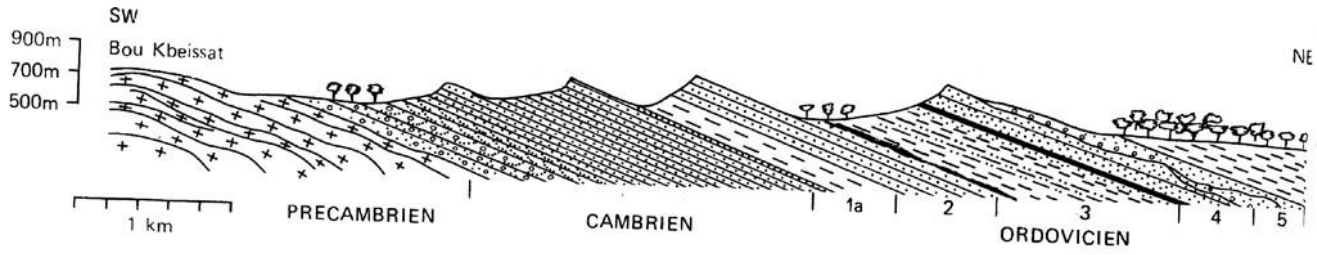



**Fig. 5 :** Coupe schématique de l'Ordovicien à Kheneg Tlaïa (d'après Fabre, 2005).

**Légende : 1.** Dalle à Lingules (Trémadoc) surmontée par les Argiles de Foum Tineslem (1a) ; **2.** Grès du Kheneg el Aatène (Floian et Dapingian) ; **3.** Argilo-gréseux de Foum ez Zeidiya (Llanvirnien-Darriwilien) ; **4.** Argilo-gréseux à croûtes ferrugineuses de Bou M'Haoud (Sandbien-Katien) ; **5.** Formation glaciaire du Djebel Serraf (Hirnantien).

Les 5 formations de l'Ordovicien sont, de la base au sommet (Gómes Silva *et al.*, 1963 ; Fabre, 1976, 2004) (Fig. 6) :

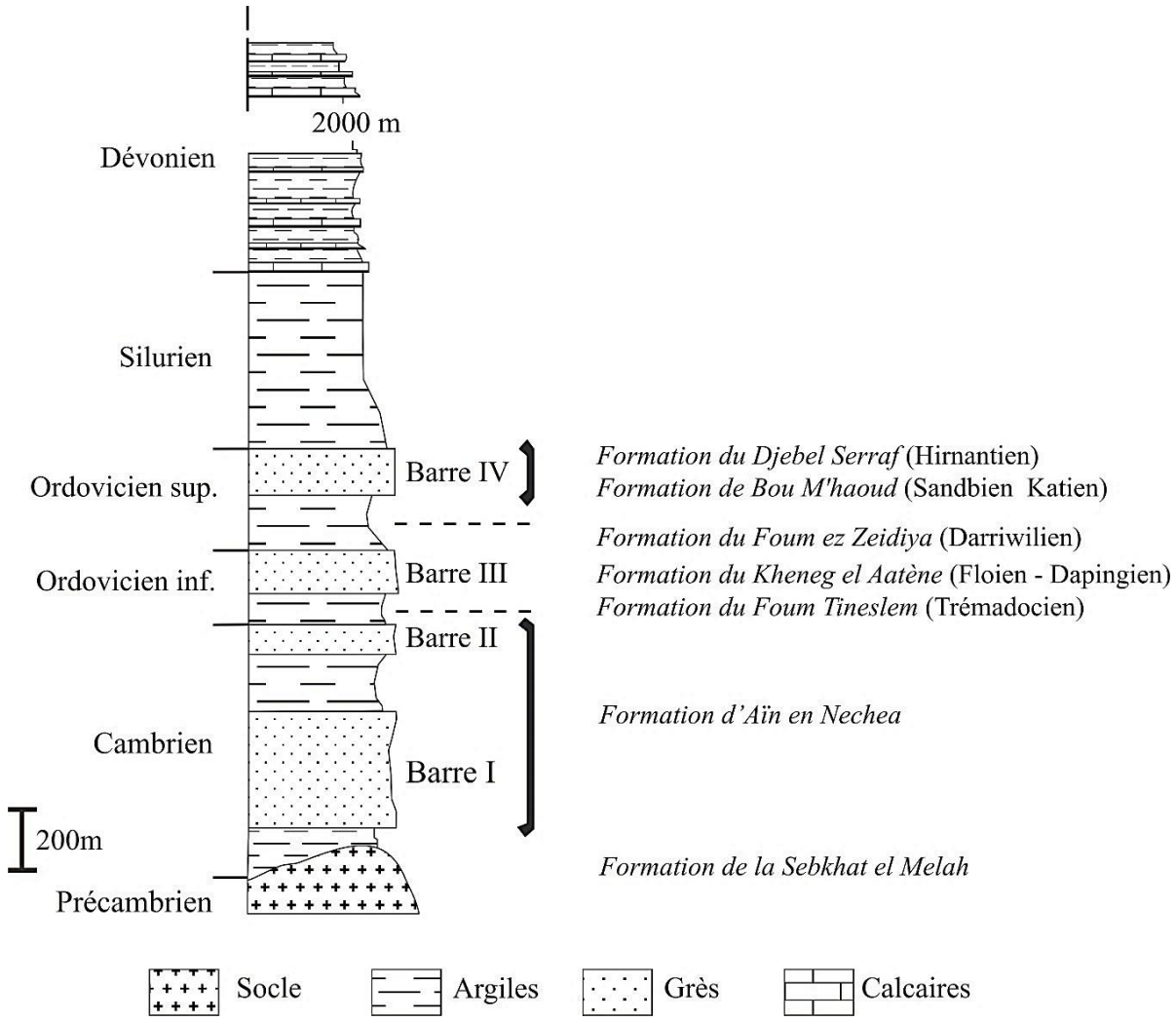



**Fig. 6 :** Colonne stratigraphique synthétique des formations paléozoïques des Monts d'Ougarta (D'après les travaux de Donzeau, 1971 et Fabre, 1976, *in* Hervouet et Duée, 1996, modifié).

***(1) Formation du Foum Tineslem*** (130 m) : datée du Trémadocien, elle est composée d'un membre inférieur argilo-gréseux (30 m) à argiles silteuses et grès fins rouges ou verts, et d'un membre supérieur argileux (100 m) riche en débris de lingules, graptolithes et trilobites, avec des plaquettes calcaires à structures *cone-in-cone*.

***(2) Formation du Kheneg el Aatène*** (200 m) : attribuée à l'Arénig (Floian et Dapingian actuellement) elle est formée par un membre inférieur (90 m) de grès micacés rouges ferrugineux en plaquettes ou bancs décimétriques et un membre supérieur quartzitique (110 m) à bancs métriques et à tigillites (*Skolithos*).

***(3) Formation du Foum ez Zeidiya*** (240 m) : attribuée à l'Arénig supérieur (Dapingien à Darriwilien) au Llanvirn (Darriwilien à Sandbien), elle est subdivisée en 3 membres. Le membre inférieur (80 m) est constitué d'argiles vertes et violacées, riches en fossiles marins (brachiopodes, trilobites, ostracodes, graptolithes) et présentant 3 niveaux ferrugineux. Le membre médian (100 m) est formé de grès micacés en plaquettes avec plusieurs lentilles calcaires. Le membre supérieur (60 m) comprend une alternance d'argiles, de grès fins et de silt argileux avec des lentilles calcaires fossilifères et deux niveaux ferrugineux. Notre étude sera consacrée à cette formation.

***(4) Formation de Bou M'haoud*** (150 m) : elle est datée du Caradocien (Sandbien-Katien actuellement) et constituée de grès quartzeux en plaquettes avec intercalation de schistes et de calcaires lenticulaires. Le membre inférieur (60 m) présente des niveaux gréseux ferrugineux et une base argileuse, tandis que le membre supérieur (90 m) est une alternance d'argiles, de silts et de grès en plaquettes, avec des lentilles calcaires riches en bryozoaires, brachiopodes et trilobites.

***(5) Formation du Djebel Serraf*** (180 m) : d'âge Asghillien (Hirnantien actuellement), elle est divisée en 3 membres. Le membre inférieur (120 m) débute par une barre quartzitique avec des lentilles conglomératiques et se termine par des bancs métriques à grandes stratifications obliques. Le membre médian (45 m) est constitué d'argiles jaunâtres, et le membre supérieur (15 m) de grès argileux jaunâtres surmontés de quartzites microconglomératiques lenticulaires.

Notons enfin que l'Ordovicien de la Chaîne d'Ougarta est marqué par des dépôts détritiques et par la présence de 12 niveaux ferrugineux (Guerrak, 1984).

**B- Cadre géologique du secteur d'étude**

Notre étude a été réalisée dans une série datant de l'Ordovicien moyen. La zone d'investigation se distingue par l'affleurement de l'ensemble des formations ordoviciennes mentionnées précédemment.

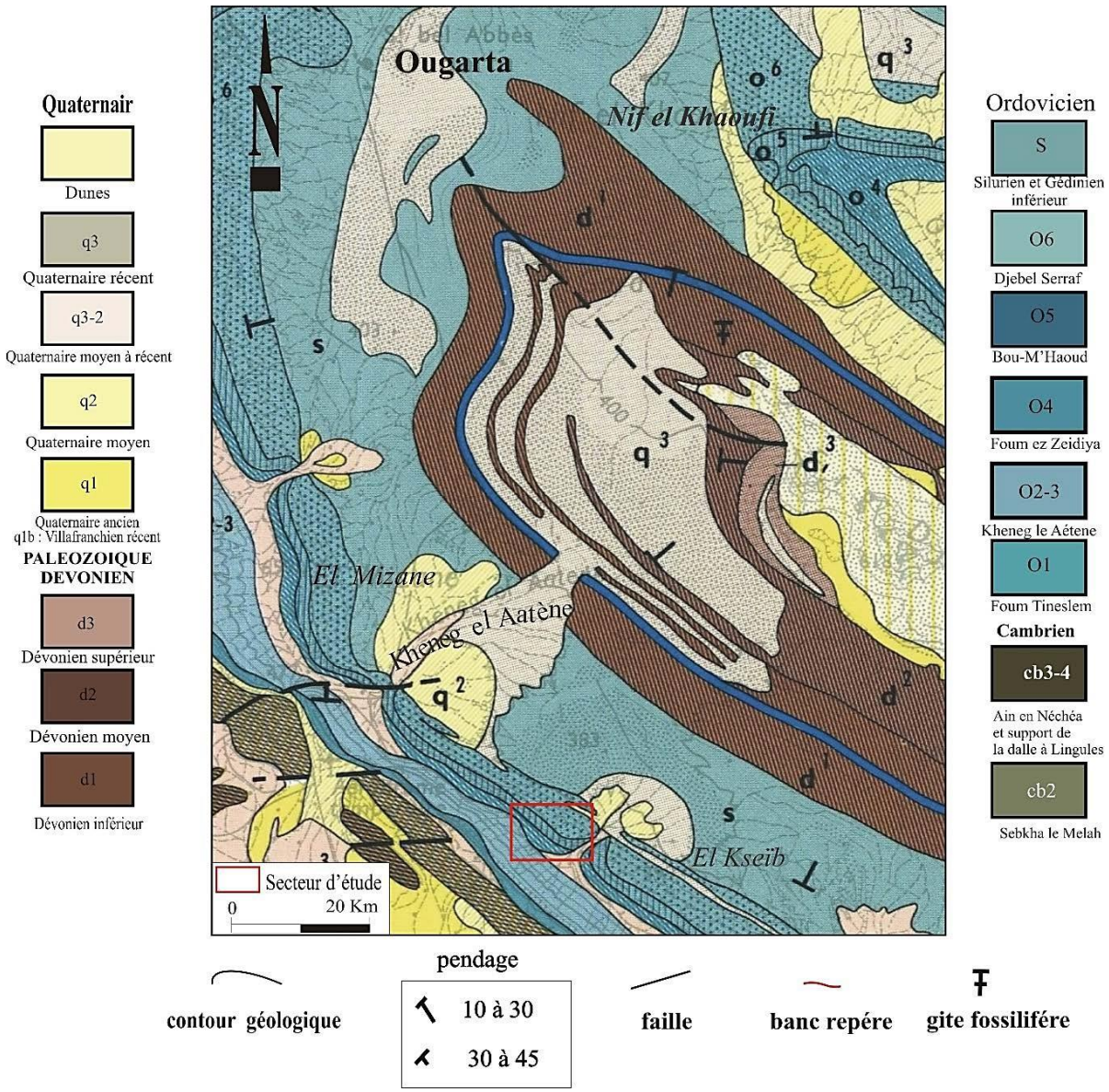



**Fig. 7 :** Cadre géologique du secteur d'étude (Extrait de la carte Géologique d'Ougarta n°NH-30-X au 1/200 000 e ; modifié).

## III- ETAT DES CONNAISSANCES SUR LA FORMATON DU FOUM EZ ZEIDIYA

Le Sahara algérien, notamment la chaîne des Monts d'Ougarta, a fait l'objet de nombreuses investigations géologiques, mettant en évidence une succession stratigraphique bien définie. Ces travaux ont permis de préciser l'évolution paléoenvironnementale et les caractéristiques lithostratigraphiques des formations ordoviciennes, dont celle du Foum ez Zeidiya.

Dès 1962, Arbey met en évidence, à travers l'étude d'une coupe stratigraphique, la présence de 4 corniches empilées. Les deux premières se terminent par un banc calcaire connu sous le nom de *Dalle à Lingules*, attribuée au Trémadocien, tandis que les deux suivantes appartiennent à l'Ordovicien.

L'année suivante, Gómes Silva *et al.* (1963) établissent une subdivision des dépôts ordoviciens situés entre la *Dalle à Lingules* et les argiles siluriennes. C'est à eux que nous devons la nomenclature des

formations de ce système utilisée jusqu'à maintenant, dont celle de la formation argilo-gréseuse du Foum ez Zeidiya ou formation du Foum ez Zeidiya. Ces auteurs subdivisent celle-ci en 3 membres :

- **Le membre inférieur** (80 m, Arénigien supérieur, actuellement Floien), composé d'argiles vertes et gris violacé renfermant une faune abondante, notamment des trilobites, ostracodes, graptolites, bivalves et brachiopodes.
- **Le membre moyen** (100 m, Llanvirnien, actuellement Dapingien), constitué de grès micacés en plaquettes et de lentilles calcaires fossilifères contenant des genres tels que *Dalmanita* et *Synhomalonotus.*
- **Le membre supérieur** (60 m), caractérisé par une alternance d'argiles grises et vertes avec des niveaux de grès fins et de calcaires riches en brachiopodes et en débris de trilobites.

Legrand (1964) confirme l'attribution du membre inférieur à l'Arénigien supérieur grâce à la présence de *Didymograptus fractus*.

Par la suite, Fabre (1976, 2005) consacre un chapitre à l'Ordovicien des Monts d'Ougarta, où il décrit une séquence constituée d'une base argilo-fossilifère, d'un niveau médian gréso-micacé et d'un sommet argilo-gréseux marqué par une couche ferrugineuse. En ***1983***, il interprète les dépôts argileux silteux du membre inférieur comme le résultat d'une transgression débutant l'Arénigien supérieur.

Ghienne *et al.* (2007) décrivent les formations ordoviciennes de la région d'Ougarta comme une succession silicoclastique composée de grès, de siltites et d'argilites, traduisant des environnements de dépôt peu profonds à transitionnels.

La formation du Foum Ez Zeidya a été attribuée du Tremadocien à l'Hirnantien, grâce à la présence de graptolites (*Dicellograptus, Normalograptus*), de chitinozoaires. Elle a été subdivisée en 2 membres :

- Un membre inférieur : Dominé par des argilites verdâtres à jaunâtres, Il présente souvent une base masquée par les alluvions, ce qui rend l'observation directe difficile. Localement, il montre des argiles en plaquettes, parfois fissiles.
- Un membre supérieur : il est représenté par des grès fins à moyens avec lentilles psamitiques, des rides de courant, des litages obliques, voire des traces fossiles ainsi que des lentilles calcaires détritiques vers le sommet.

Selon ces auteurs, cette formation comprend une seule séquence transgressive complète, correspondant à une séquence de type 1, au sens de Vail *et al.* (1987).

En 2008, Mazouzi aborde l'étude lithostratigraphique et sédimentologique de la formation du Foum ez Zeidiya dans les régions de Kerzaz et de Kheneg Tlaia, mettant en évidence un environnement marin peu profond, oscillant entre l'*offshore* supérieur et le *shoreface*.

Rahal et Temzine (2013) se penchent sur les affleurements du flanc ouest du Djebel Serraf et identifient 9 barres gréso-dominantes séparées par des niveaux argileux montrant, par endroits, des lentilles de calcaire gréseux. Elles notent la présence d'un niveau ferrugineux au somment de la formation. L'étude sédimentologique leur permet de proposer un environnement de dépôt de type plate-forme détritique proximale, dominée par les courants de marées, et à un degré moindre de tempêtes (*shoreface - offshore supérieur*).

En 2015, Mairia aborde en partie l'étude de cette formation dans le secteur de Nif el Khaoufi. Elle note la présence de 6 barres gréso-dominantes intercalées par des argiles et propose un environnement de type plate-forme détritique offshore

Plus récemment (2022), Akriche réalise une étude lithostratigraphique et séquentielle à Kheneg el Aatène, identifiant deux unités principales :

- un membre moyen (102 m), caractérisé par 6 barres gréseuses alternant avec des niveaux argileux et des lentilles calcaires.
- un membre supérieur (20 m), composé d'une alternance d'argiles silteuses et de bancs de quartzites en plaquettes.

L'ensemble de cette formation est interprété comme s'étant déposée dans un environnement *d'offshore transition*.

En fin, en 2024, Zerhouni réalise une étude géologique détaillée de la formation du Foum ez Zeidiya dans le secteur du Kheneg el Aatène où il reconnaît 3 membres :

- un membre inferieure argileux à passées silteuses (270 m) ;
- un membre moyen (117 m) formant une alternance de 7 barres à dominance gréseuses et d'argile à "miches" calcaires ;
- un membre supérieur argileux gréseux (23 m).

Il interprète les faciès définis comme étant déposés dans l'*offshore transition* et *foreshore-shorface.*

## IV- BUT & METHODOLOGIE DE TRAVAIL

### A- But du travail

Notre étude vise à établir un levé de coupe lithologique détaillée des affleurements de la formation de Foum ez Zeidiya dans le secteur d'El Kseib. Celle-ci nous servira de base pour l'interprétation sédimentologique et la définition des environnements de dépôt et la compréhension de leur organisation séquentielle.

### B- Méthodologie de travail

Cette étude repose sur une approche combinant observations de terrain et analyses en laboratoire.

#### 1- Travail de terrain

Une mission de terrain a été menée dans la région de El Kseib afin d'établir une coupe lithostratigraphique détaillée (banc-par-banc). Cette étape inclus la description des lithologies et des phénomènes géologiques observées, tels que les structures sédimentaires et la stratonomie. Elle a été accompagnée par un échantillonnage représentatif de roches et des prises de photos pour illustrer et compléter ces observations.

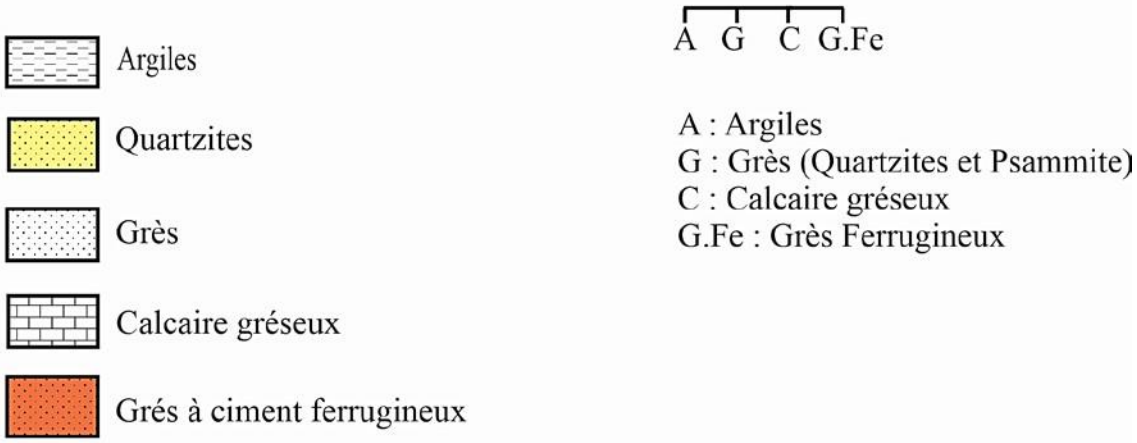
#### 2- Analyse en laboratoire

Les échantillons collectés ont fait l'objet d'une étude pétrographique à travers l'analyse microscopique des lames minces. Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire du Département des Sciences de la Terre de l'Université Oran 2 Mohamed Ben Ahmed.

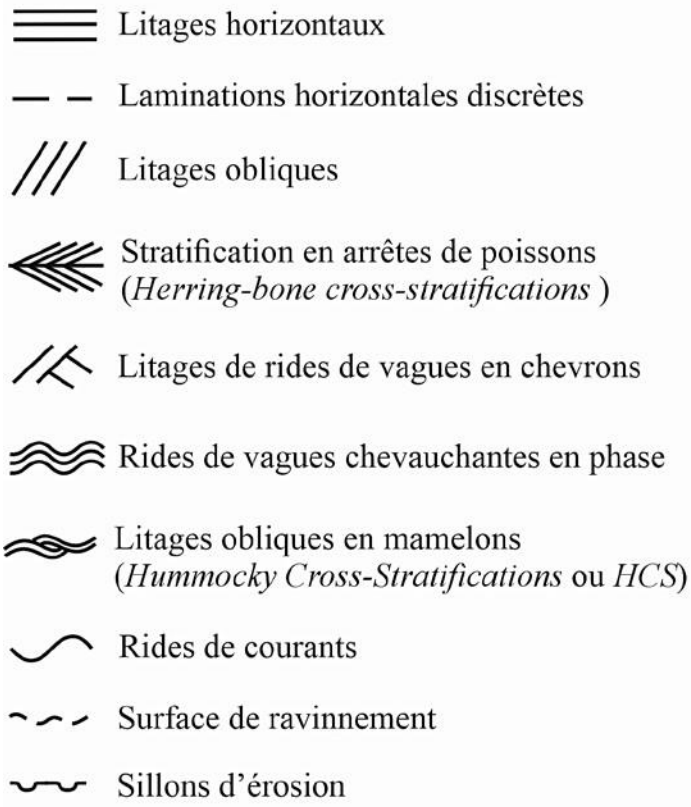
# *Chapitre 2*
# *L i t h o s t r a t i g r a p h i e*

# ***Légende***

**Lithologie**




**Figures sédimentaires**




**Ichnofossiles**

Echantillons **K**

**Fig. 8** : Figurés et symboles utilisés dans la coupe.

## INTRODUCTION

Le second chapitre est consacré à la description lithologique de la coupe de la Formation de Foum ez Zeidiya, étudiée au niveau de la région d'El Kseib. Il vise à décrire et caractériser les différentes unités lithologiques observées, en mettant en évidence leur nature pétrographique, leur organisation verticale ainsi que les variations de faciès identifiables tout au long de la succession.

## I- DESCRIPTION LITHOLOGIQUE

### A- Localisation de la coupe

La coupe a été réalisée suivant une direction SW-NE, au NW de l'ancien Ksar d'El Kseib, à environ 80 km au Sud de Beni Abbes et 20 km au SSE du village d'Ougarta (Fig. 9).

Les coordonnées GPS du site de la coupe sont les suivantes :

**A** — **N**29°31'01.04" ; **W**02°14'19.36"

**B** — **N**29°31'07.26" ; **W**2°14'10.00"



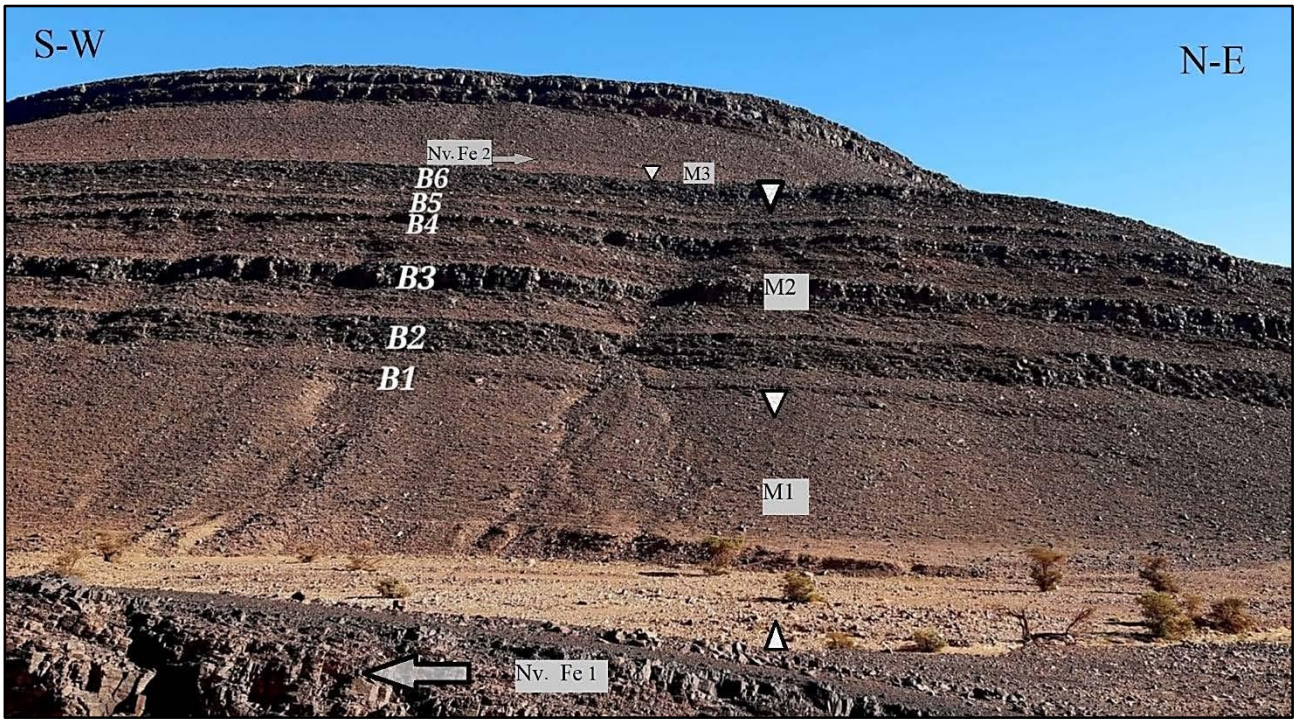

**Fig. 9 :** Vue satellite montrant la localisation et le tracé de la coupe (A-B).

### B- Description de la coupe

La coupe levée dans le secteur d'El Kseib forme une succession lithostratigraphique bien développée, qui s'étend sur une épaisseur totale de 280 m (Fig. 9). Conformément à la subdivision classique proposée par Gómez Silva *et al.* (1963)**,** 3 membres ont été distingués (Fig. 10) :

- un membre inférieur argileux ;
- un membre moyen à lentilles de calcaires gréseux ;
- un membre supérieur argilo-gréseux.

La coupe débute par des niveaux ferrugineux attribués à la partie terminale de la formation sous-jacente du Kheneg el Aatène (Fig. 10 ; Pl. 1, fig. 1, Nv. Fe 1). Ce sont 3 bancs de grès à ciment ferrugineux, d'épaisseurs respectives de 0,85, 0,60 et 1,90 m**.**




**Légende** : Nv. Fe 1 : niveaux gréseux ferrugineux du sommet de la formation du Kheneg el Aatène ; Nv. Fe 2 : niveaux gréseux ferrugineux du sommet de la formation du Foum ez Zeidiya ; M1 : Membre inférieur argileux ; M2 : Membre moyen à lentilles de calcaires gréseux ; M3 : Membre supérieur argilo-gréseux ; B1 à B6 : barres à dominance gréseuse.

**Fig. 10 :** Vue panoramique des affleurements de la formation du Foum ez Zeidiya (M1, M2 et M3).

**1- Membre inférieur argileux (133 m - Fig. 10)**

Le membre inférieur argileux de la formation du Foum ez Zeidiya commence par des argiles jaunâtres feuilletées ou en plaquettes, de 3 m d'épaisseur (Pl. 1, fig. 2 et 3) qui se poursuivent par des affleurements masqués par des alluvions d'un cours d'eau (95 m). Ces derniers sont surmontés par des argiles formant le premier talus à la base du relief (Fig. 10). Il s'agit d'argiles, souvent cachées par des éboulis, de 35 m de puissance montrant parfois des plaquettes de siltites.

**2- Membre moyen à lentilles de calcaires gréseux (121 m - Fig. 10)**

Le membre moyen commence par une alternance d'argiles (jusqu'à 8 m d'épaisseur) et de lentilles gréseuses au nombre de 6 et passe ensuite à une autre alternance bien visible sur le paysage de 6 barres à dominance gréseuse et de combes argileuses

.

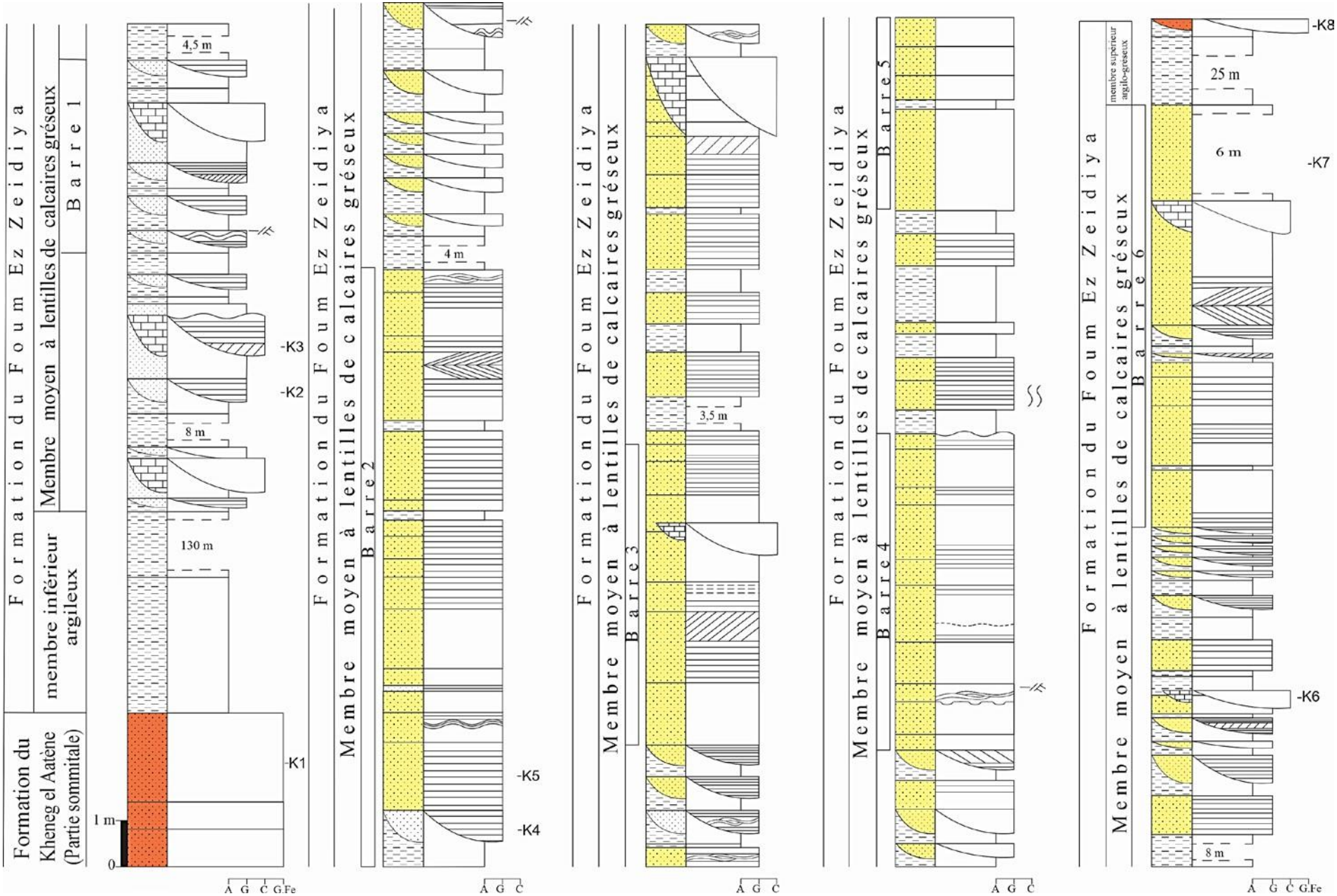



**Fig. 11 :** Coupe lithostratigraphique de la formation du Foum ez Zeidiya.

Les lentilles gréseuses de la base du membre sont de nature psammitique, brunâtres à la patine et jaunâtre à la cassure, d'épaisseur variable (20 à 50 cm). Certaine montrent des litages horizontaux. Deux parmi ces lentilles admettent dans leurs parties centrales d'autres lentilles de nature calcaréo-gréseuse ("miches" calcaires), à litages obliques ou horizontaux. Ce sont des corps sédimentaires souvent très indurées, de teinte brunâtre tant à la patine qu'à la cassure, pouvant atteindre 1,20 m d'épaisseur (Fig. 11, Pl. 1, fig. 4). L'une d'elles montre des rides de courant dans sa partie sommitale.

Ces affleurements passent par la suite à l'alternance des barres à dominance gréseuse et d'argiles citée précédemment (Fig. 11).

### 2.1- Barre 1 (3,50 m)

Cette première barre débute par une lentille de grès psammitique d'environ 0,50 m d'épaisseur, présentant des litages subhorizontaux, des rides de vagues chauchantes en phase, des litages obliques en mamelons (*Hummocky Cross-Stratifications* ou HCS) et d'autres de rides de vagues en chevrons (Pl. 1, fig. 5). Cette lentille est surmontée par une alternance d'argiles jaunâtres et 2 niveaux lenticulaires de grès en plaquettes (0,5 et 0,8 m), associées à des litages horizontaux et obliques (Pl. 1, fig. 6). La partie supérieure de la barre est marquée par une miche de calcaires gréseux, d'environ 1,30 m, surmontée par des argiles, puis une dernière lentille de grès micacé en plaquettes.

### 2.2- Barre 2 (13 m)

La seconde barre vient après 4,5 m d'argiles à plaquettes centimétriques de siltites. Elle débute par une lentille de grès psammitique en plaquettes (1,20 m), surmontée par une superposition de bancs de quartzite, séparés le plus souvent par des diastèmes ou de minces niveaux argileux. Il s'agit généralement de grès micacé brunâtre à grisâtre, parfois en plaquettes, d'épaisseurs variables de (0,30 à 1,50 m). Certains bancs montrent des figures sédimentaires telles que des rides chevauchantes en phase (Pl. 2, fig. 1 et 2) des litages horizontaux et des HCS (- Pl. 2, fig. 3).

Au-dessus de cette barre, se développe une combe argileuse de 4 m d'épaisseur, suivie d'abord d'une succession de 7 lentilles quartzitiques (0,4 à 0,9 m) dont la dernière montrent **des** laminations obliques, horizontales, de rides de vagues chevauchantes en phase et d'autres litages de rides de vagues en chevrons **(Pl. 2, fig. 4)**. Ces lentilles sont surmontées par un banc gréseux à HCS, puis par 3 autres lentilles à litages horizontaux et, parfois à HCS **(Pl. 2, fig.5)**, séparées par des argiles.

### 2.3- Barre 3 (7 m)

Cette barre est constituée de 8 bancs massifs très indurés, noirs à brunâtres en patine et brunâtres à la cassure, d'épaisseur comprise entre 0,3 et 1,6 m, associés à des laminations horizontales, souvent discrètes, et des laminations obliques (Pl. 2, fig. 6). Deux bancs centraux évoluent latéralement vers une lentille de calcaire gréseux de 0,70 m d'épaisseur (Pl. 3, fig. 1).

Au-dessus de cette troisième barre affleure une combe argileuse d'environ **3,5 m d'épaisseur, suivie** d'une **alternance d'argiles et de bancs de quartzites en plaquettes**, montrant parfois des **laminations obliques**. On observe également un **passage latéral de 5 niveaux de quartzite vers une lentille de grès carbonaté** (*"miche calcaire"*).

### 2.4- Barre 4 (7 m)

La quatrième barre est matérialisée par une succession comprend plusieurs bancs de quartzite, entre massifs et en plaquettes, noirs à brunâtres à la patine et brunâtres à la cassure, avec des épaisseurs variant de 0,35 à 0,9 m.

La plupart des bancs constituant cette barre sont massifs. Cependant, certains montrent des laminations horizontales. On note, en plus, un niveau gréseux souligné à la base par un sillon d'érosion (*furrow-casts*), surmonté par des litages obliques en mamelons (HCS), puis des litages de rides de vagues en chevrons (Pl. 3, fig. 2).

Cette barre est clôturée par un banc de grès à rides de courant (Pl. 3, fig. 3). Elle est surmontée par une alternance d'argiles et de bancs de quartzite en plaquettes dont l'un montre une structure d'activité biologique appartenant à l'ichnogenre *Daedalus* (Pl. 3, fig. 4).

### 2.5- Barre 5 (4,5 m)

Cette barre n'est matérialisée que par 4 bancs de quartzite massifs, de 0,55 à 2,2 m d'épaisseur. Elle est surmontée par une combe argileuse (8 m), suivie d'une intercalation de bancs ou de lentilles de quartzite, décimétriques à métriques et d'argiles. Certains niveaux montrent des laminations horizontales. On note aussi au sein d'une lentille gréseuse la présence de litages horizontaux, surmontés par des litages obliques (Pl. 3, fig. 5). Enfin, une seule lentille de calcaire gréseux a été trouvée dans ces affleurements (0,45 m). Celle-ci montre des figures sédimentaires de types litages obliques en mamelons et litages de rides asymétriques grimpantes ou *climbing ripples* (Pl. 4, fig. 1). Elle est soulignée par endroits par des ravinements.

### 2.6- Barre 6 (13 m)

Cette dernière barre du membre moyen à lentilles de calcaire gréseux débute par un ensemble de bancs de quartzite, parfois en plaquettes, surmontés par 2 lentilles de même nature, à laminations horizontales ou obliques (Pl. 4, fig. 2). On observe ensuite un banc de quartzite massif puis à litages horizontaux (1,70 m), admettant une lentille de calcaire gréseux, d'épaisseur maximale 0,60 m, avec laquelle elle est séparée par des surfaces de ravinements (Pl. 4, fig. 3). La barre se termine par une épaisse succession de bancs de quartzite mal stratifiés (6 m).

## 3- Membre supérieur argilo-gréseux (25 m - Fig. 10)

Le dernier membre de la formation du Foum ez Zeidiya est constitué par une combe argileuse masquée par des éboulis, d'environ 25 m de puissance, formant une partie du dernier talus du relief (Fig.10 Pl. 4, fig. 4). Cette combe est surmontée par un niveau plus ou moins continu de de grès à ciment ferrugineux, d'environ 0,4 m d'épaisseur, qui marque la limite supérieure de la formation et qui la sépare de celle de Bou M'haoud.

## II- Attribution stratigraphique

L'attribution stratigraphique de la formation du Foum ez Zeidiya est basée sur les travaux précédents car aucun fossile n'a été trouvé dans notre coupe.

Selon Gómes Silva *et al.* (1963), le membre inférieur, constitué d'argiles, est daté de l'Arénig supérieur grâce à la découverte de fossiles (lamellibranches, brachiopodes, trilobites, ostracodes, graptolites). Le membre moyen, à lentilles de calcaire, est attribué au Llanvirn en raison de la présence de trilobites du groupe des Asaphidae à la base et des Ogygiocarinae au sommet. Le membre supérieur n'a pas pu être daté faute de fossiles.

En 1964, Legrand a confirmé l'âge arénigien pour le premier membre grâce à la découverte du graptolite *Didymograptus v-fractus*.

Plus récemment, Popov et al. (2009) attribut cette formation au Darriwilien.

Enfin, Legrand et Bouterfa (2021) ont proposé un âge Darriwilien, au moins pour la partie supérieur de la formation, ce qui correspond aux anciennes limites Arénig supérieur / Llanvirn.

# *Chapitre 3*

# Sédimentologie & Organisations Séquentielle

## INTRODUCTION

Ce chapitre a pour objectif de décrire et d'analyser les faciès principaux et secondaires de la Formation du Foum ez Zeidiya, en se basant particulièrement sur la lithologie, la fréquence des figures sédimentaires et l'étude des lames minces. La classification de Folk (1980) sera utilisée dans la description des microfaciès des grès.

Par ailleurs, une approche en stratigraphie séquentielle sera appliquée afin de mieux comprendre les relations entre ces faciès et l'évolution des environnements de dépôt, dans le but de proposer un modèle évolutif de la formation.

## I- Description et interprétation des faciès

Trois (3) faciès principaux ont été identifiés au sein de la formation du Foum ez Zeidiya :

(1) faciès argileux (Fa)

(2) faciès gréseux (Fg)

(3) faciès des calcaires gréseux ou "miches calcaires" (Fc)

Chacun de ces faciès fera l'objet d'une description suivie d'une interprétation sédimentologique, dans le but de comprendre les conditions de leurs mises en place.

### A- Faciès argileux (Fa)

#### 1- Description

Le faciès argileux est présent tout au long de la formation, mais il domine largement le membre inférieur (argileux) où son épaisseur atteint les 130 m (Fig. 10, p. 17 et fig. 11, p. 18). Dans les niveaux supérieurs de la formation, les argiles apparaissent sous forme d'intercalations, insérées entre les barres à dominante gréseuse ainsi qu'entre les niveaux de grès ou de siltites.

#### 2- Interprétation

La mise en place des argiles se fait par la décantation de particules très fines, présentes en suspension dans la colonne d'eau, formées par floculation des feuillets ou minéraux argileux, lorsque la vitesse du liquide par gravité devient suffisamment faible (Cojan et Renard, 2021). Toutefois, la présence de bancs gréseux et de passées silteuses intercalés au sein de ces niveaux argileux traduit l'intervention ponctuelle de courants plus énergiques, capables de transporter des particules détritiques plus grossières.

Ce faciès témoigne donc d'un environnement caractérisé par une dynamique alternée : des phases prolongées de calme hydrodynamique favorisant la décantation argileuse, interrompues de manière

épisodique par des événements à plus forte énergie, responsables de l'interstratification gréseuse ou silteuse observée.

**B- Faciès gréseux (Fg)**

Les grès sont présents dans toute la formation, mais se concentrent surtout au niveau des six grandes barres principales (Fig. 10, p. 17 et fig. 11, p. 18). Leur épaisseur varie de quelques centimètres à plusieurs mètres.

Les grès micacés sont bien développés dans la première barre du membre moyen, puis deviennent moins fréquents dès la deuxième barre, et presque absents dans le reste de la coupe. Ils forment des bancs ou parfois des lentilles,

L'analyse au microscope des échantillons K2 et K4 (Fig. 12) montre que ces grès sont composés en majorité de grains de quartz (80%), incolores, limpides, de taille fine à moyenne. Ces grains sont assez homogènes et modérément triés et ont des formes anguleuses à sub-arrondies. On trouve aussi des micas (muscovite et biotite) et quelques feldspaths dispersés dans une matrice argileuse peu abondante. Les grains sont souvent en contact direct, parfois avec des formes qui s'imbriquent les unes dans les autres. D'après la classification de Folk (1980), ce type de grès correspond à des arénite lithique.

Les échantillons K5 et K7 (Fig. 13) correspondent aux quartzites. Ils sont presque entièrement faits de quartz (environ 90%). Les grains sont bien triés, de taille moyenne, sub-anguleux à sub-arrondis, et montrent parfois une extinction ondulée sous la lumière polarisée. On observe aussi quelques muscovites, des feldspaths et des minéraux opaques. La matrice est très réduite et semble être remplacée en partie par un ciment siliceux qui rend la roche très compacte. D'après la classification de Folk (1980), ces grès correspondent à des arénite quartzique.

En fonction de la fréquence des figures sédimentaires dans les grès, plusieurs sous-faciès peuvent être définis.

**1- Sous-faciès de grès à laminations horizontales (Fg-a)**

**1.1- Description**

Ce sous-faciès est observé dans le second membre de la formation. Il apparaît à l'interface de bancs centimétriques de grès micacés (Pl. 1, fig. 5 et 6) et dans des bancs de quartzites dont l'épaisseur varie du décimètre au mètre (Pl. 2, fig. 3 et 4, Pl. 3, fig. 5 et Pl. 4, fig. 2). Parfois, les laminations peuvent être discrètes.

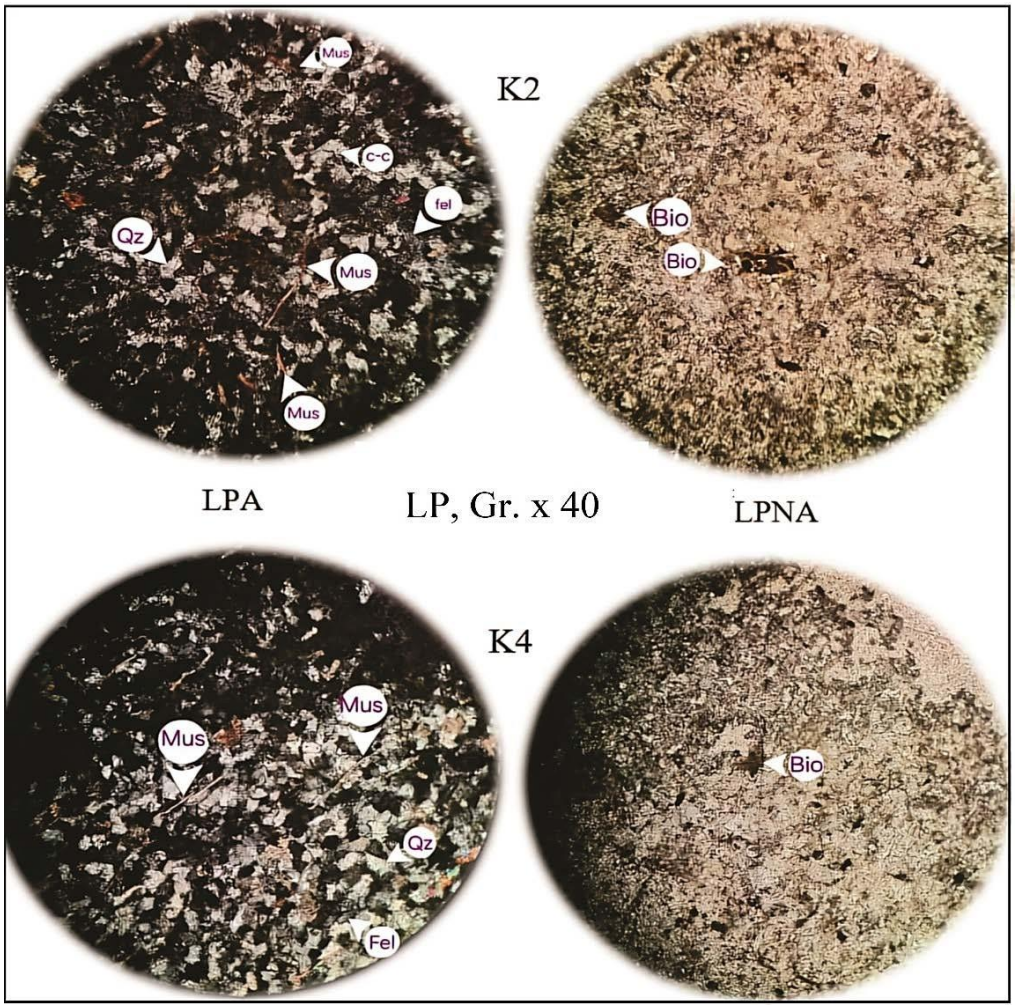



**Fig. 12 :** Photomicrofaciès des lames K2 et K4 (Membre moyen de la formation du Foum ez Zeidiya).

QZ= Quartz, Mus = Muscovite, bio = biotite, fel = feldspath, c-c= contact concave-convexe.

Les laminations horizontales, bien développées, confèrent parfois aux bancs un aspect feuilleté ; la roche peut ainsi se débiter naturellement en plaquettes parallèles à la stratification (Pl. 1, fig. 5).

Ce faciès est souvent associé à d'autres structures sédimentaires telles que les laminations ondulées ou obliques.

### 1.2- Interprétation

Les laminations planes et parallèles correspondent aux structures décrites par Campbell (1967) et Reineck et Singh (1973) (Fig. 14). Elles résultent d'un courant unidirectionnel de fond, dans un écoulement organisé (Collinson et Mountney, 2019).

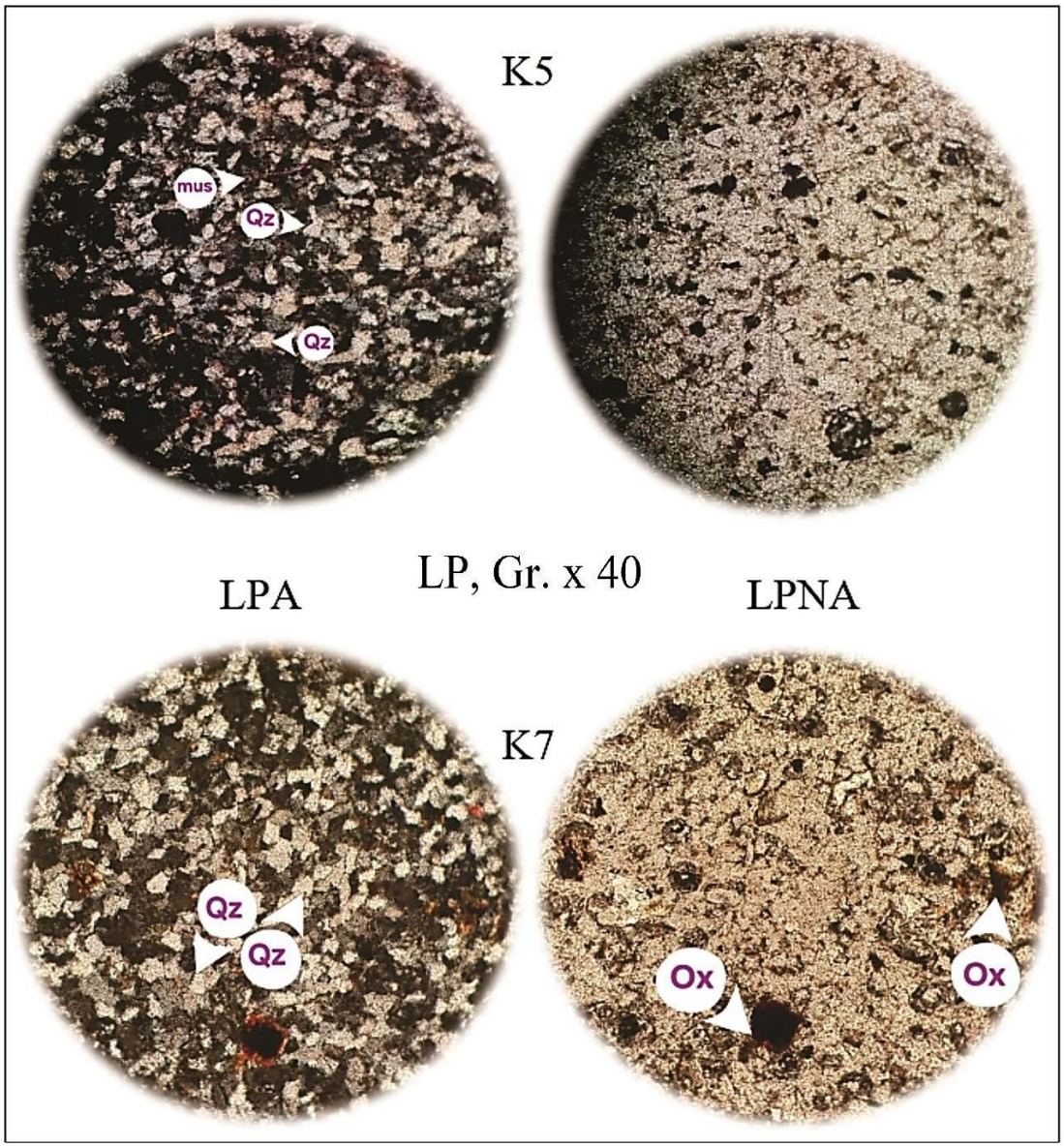



**Fig. 13** : Photomicrofaciès de les lames K5 et K7 (Membre moyen de la formation du Foum ez Zeidiya).

Qz= Quartz, mus = Muscovite, Ox =oxyde de fer.

Deux types de régimes d'écoulement peuvent être à l'origine de ces structures sédimentaires :

- un régime d'écoulement inférieur, caractérisé par une faible énergie favorisant le dépôt progressif des particules (Tucker, 2003 ; Collinson *et al.*, 2006 ; Maravelis *et al.*, 2017) ;
- un régime d'écoulement supérieur, associé à une hydrodynamique plus intense, mais qui peut générer des laminations horizontales dans certaines conditions (Cojan et Renard, 2021).

Dans notre cas, la présence de ces structures dans les grès micacés traduit un régime d'écoulement inférieur, alors que dans les quartzites, il s'agit d'un régime d'écoulement supérieur.

Par ailleurs, concernant les psammites, la composition minéralogique contribue également à la formation de ces structures : les chlorites, micas et autres minéraux argileux, généralement sous forme

de grains plats, tendent à s'aligner parallèlement à la stratification sous l'effet de la compaction. Le transport de ces particules fines en suspension nécessite un faible niveau de turbulence pour permettre leur décantation, ce qui se produit notamment lors de la transition d'un écoulement turbulent vers une zone d'eau plus calme. Avec le temps, la répétition des plans de laminations, associée à une compaction différentielle, peut induire une ouverture ou un soulèvement de ces plans, conférant à la roche un aspect feuilleté marqué. Dans certains cas, cette organisation structurelle peut évoluer vers une fissilité nette, fragmentant la roche en plaquettes minces parallèles aux plans de stratification (Boggs, 2006).

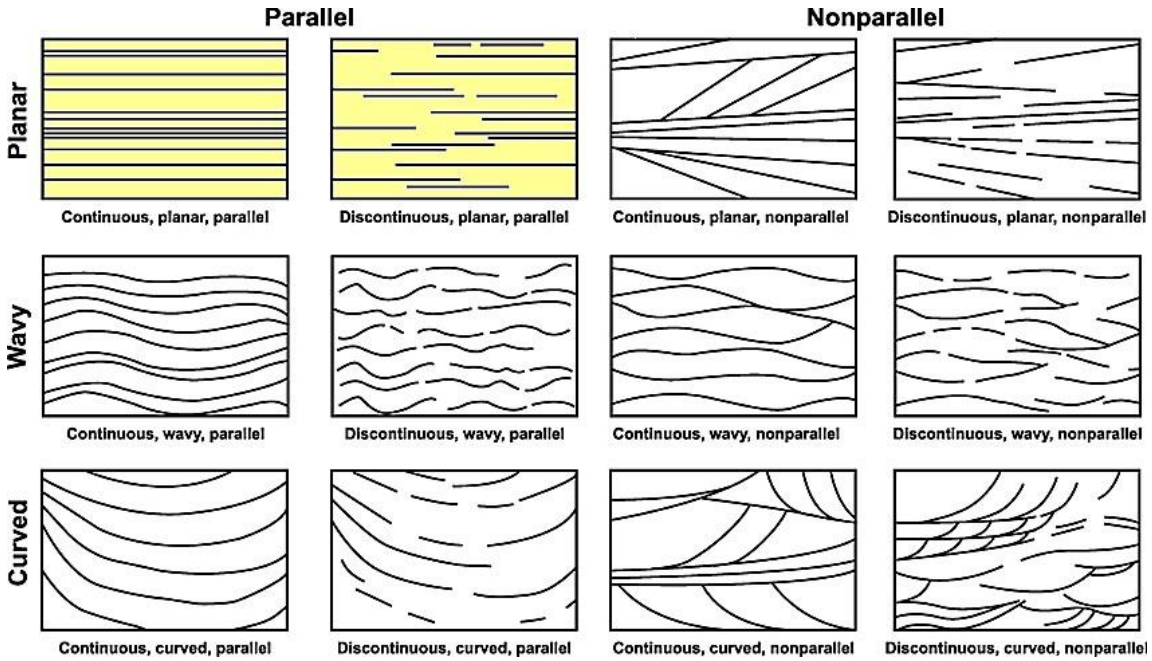



**Fig. 14 :** Terminologie des stratifications/laminations, d'après Campbell (1967) et Reineck et Singh (1973) (*in* Collinson et Mountney, 2019, modifié)

## 2- Sous-faciès de grès à laminations obliques (Fg-b)

### 2.1- Description

Ce sous-faciès est bien représenté au sein des lentilles de grès micacé dans la première barre (Pl. 1, fig. 5 et 6), ainsi que dans certains lentilles et niveaux de quartzites situées dans les combes argileuses et dans la troisième barre (Fig. 10, p. 17, Pl. 2, fig. 6 et Pl. 4, fig. 2). Il se manifeste sous forme de laminations obliques tabulaires qui peuvent coexister avec des laminations horizontales. On note également au niveau de la barre 6 des figures sédimentaire de type litages obliques en "arrêtes de poissons" ou *herring-bone cross-bedding* (Pl. 2, fig. 4 et Pl. 3, fig. 5).

### 2.2- Interprétation

Les laminations obliques résultent du déplacement de rides ou de mégarides sous l'effet de courants soutenus (Fig. 15). Elles se forment lorsque les particules sédimentaires sont transportées en saltation

ou en roulement sur le fond, puis déposées sur la face aval d'une ride en migration (Collinson et Mountney, 2019).

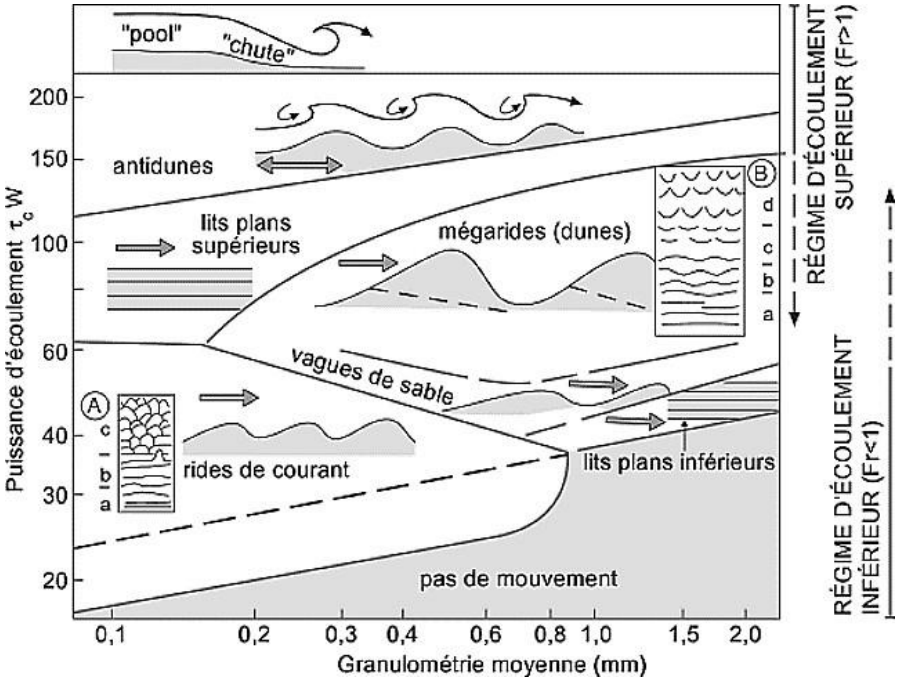



**Fig. 15** : Relation en les différents types de constructions, la granulométrie et la puissance d'écoulement (d'après Blatt *et al.*, 1980 ; ALLEN, 1985, *in* Cojan et Renard, 2021).

Vue leur dimension, les structures sont typiquement associées à un régime d'écoulement supérieur dans lequel l'énergie du courant est suffisante pour engendrer des formes sédimentaires tridimensionnelles bien développées (Tucker, 2003). Elles indiquent des conditions de dépôt dynamiques, relativement peu profondes.

Selon Dalrymple *et al.* (1978), ces laminations obliques correspondre à des mégarides de type I, caractéristiques de courants unidirectionnels forts, tels que ceux observés dans les milieux influencés par les marées, comme c'est le cas dans La Manche.

### 3- Sous-faciès des grès à rides de vagues chevauchantes en phase et litages en chevrons (Fg-c)

#### 3.1 Description

Ce sous-faciès a été identifier au sein des barres 1, 2 et 4 où il se manifeste sous forme de litages chevauchantes en phase (Pl. 1, fig. 5 et Pl. 2, fig.1, 2 et 4) et de litage de rides de vagues en chevrons (Pl. 1, fig. 5, Pl. 2, fig. 4 et Pl. 3, fig. 2) dans les grès micacés et les quartzites.

### 3.2- Interprétation

Dans les milieux marins peu profonds, les vagues peuvent former différents types de rides, selon l'énergie et la dynamique des courants oscillants. On observe principalement deux formes : les rides chevauchantes en phase et les litages de ride en chevrons.

Les rides chevauchantes en phase reflètent une structure sédimentaire caractéristique de l'action d'un courant à composante oscillatoire. Ce courant se traduit un mode de dépôt en aggradation verticale, sans influence latérale marquée. Cette structure correspond à la structure de type *S* définie par Allen (1973, 1982) (Fig. 16). Il s'agit de rides cogénétique, c'est-à-dire, une même lamine se développe en suivant plusieurs directions au sein d'un même événement de dépôt.

Ces structures sont attribuées à l'action des tempêtes. Elles se forment entre les limites d'action des vagues de tempête et de houle, sur la plate-forme détritique ou offshore supérieur, particulièrement dans les associations médianes et distales (Guillocheau, 1991a).

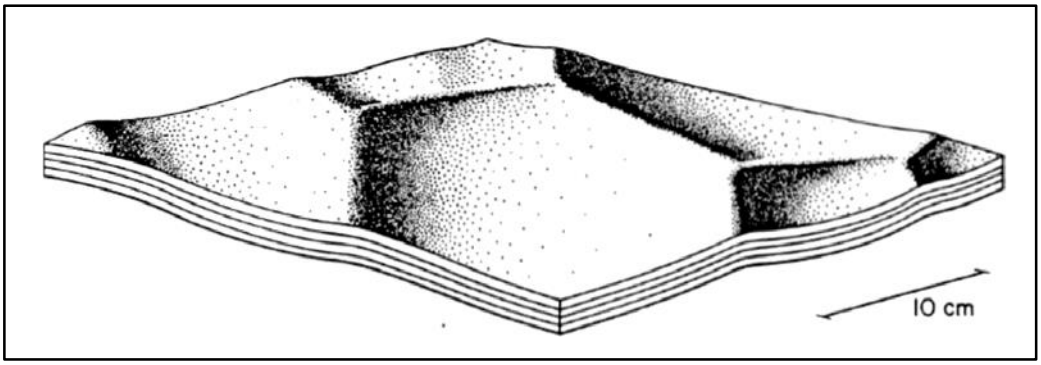



**Fig. 16 :** Rides interférentes cogénétiques et leur litage associé de rides Chevauchantes en phase (Type *S*, Guillocheau, 1991).

Les litages de rides de vagues en chevrons (Fig. 17), quant à elles, apparaissent quand le sommet des rides bouge légèrement pendant le dépôt. Cela produit une forme en V dans les lamines. Ce phénomène est lié à des variations de direction dans les courants de fond, causées par l'interférence entre vagues ou par des effets de marée ou de relief du fond marin (Van den Berg et Nio, 2010 ; Collinson et Mountney, 2019).

## 4- Sous-faciès des grès à litages obliques en mamelons ou HCS (Fg-d)

### 4.1- Description

Ce sous-faciès est observé dans les grès micacé et les quartzites, aux niveaux de membre moyen de la coupe, notamment au sein des barres 2 et 4 de grès (Pl. 1, fig. 5 ; Pl. 2, fig. 3 et 4 et Pl. 3, fig. 2 et 5), ainsi que dans une lentille gréseuse située dans une combe argileuse (Pl. 2, fig. 5). Une des strates quartzitique montre en plus une structure d'érosion basale de type sillon d'érosion ou *furrow-casts* (Pl. 3, fig. 2).

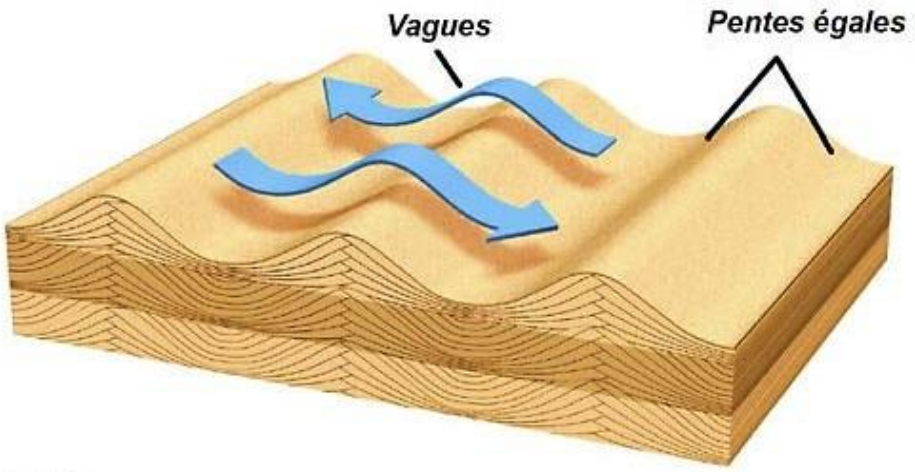



**Fig. 17 :** Représentation tridimensionnelle de rides de vagues symétriques à pentes égales, formées par un courant oscillatoire (Inman et Bowen, 1963). Notons en section, la présence de litages obliques en chevrons.

### 4.2- Interprétation

Le litage oblique en mamelon est une structure sédimentaire primaire qui a été décrite pour la première fois par Campbell en 1966 (*in* Rubino, 1984), sous le nom de *truncated wave ripples*, puis rebaptisée *Hummocky Cross-Stratification* ou HCS par Harms, en 1975 (Fig. 18). Ce dernier l'a attribué à l'action de courants oscillatoires de tempêtes.

Les structures mamelonnées de type *Hummocky Cross-Stratifications* (ou HCS), témoignent de conditions de dépôt influencées par une hydrodynamique mixte, combinant à la fois l'action de houles oscillatoires et de courants unidirectionnels (Ferry, 2002 ; Collinson et Mountney, 2019).

Selon Ferry (2002), les HCS se forment spécifiquement lors des événements de tempête, dans un intervalle situé entre la limite des vagues de beau temps (*Fair Weather Wave Base*) et celle des vagues de tempête (*Storm Wave Base*). Ces structures sont donc caractéristiques des milieux situés entre le *shoreface* inférieur et l'*offshore* supérieur ou l'*offshore transition* (Guillocheau, 1991 ; Morsilli et Pomar, 2012).

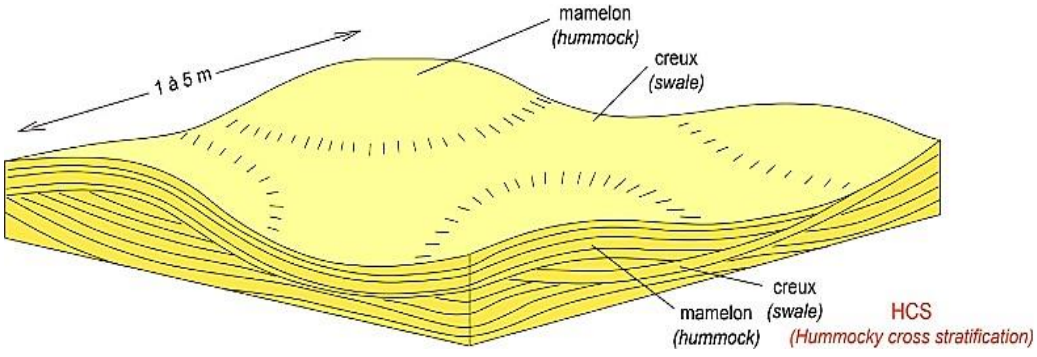



**Fig. 18** : Architecture interne et externe des HCS (Collinson et Mountney, 2019).

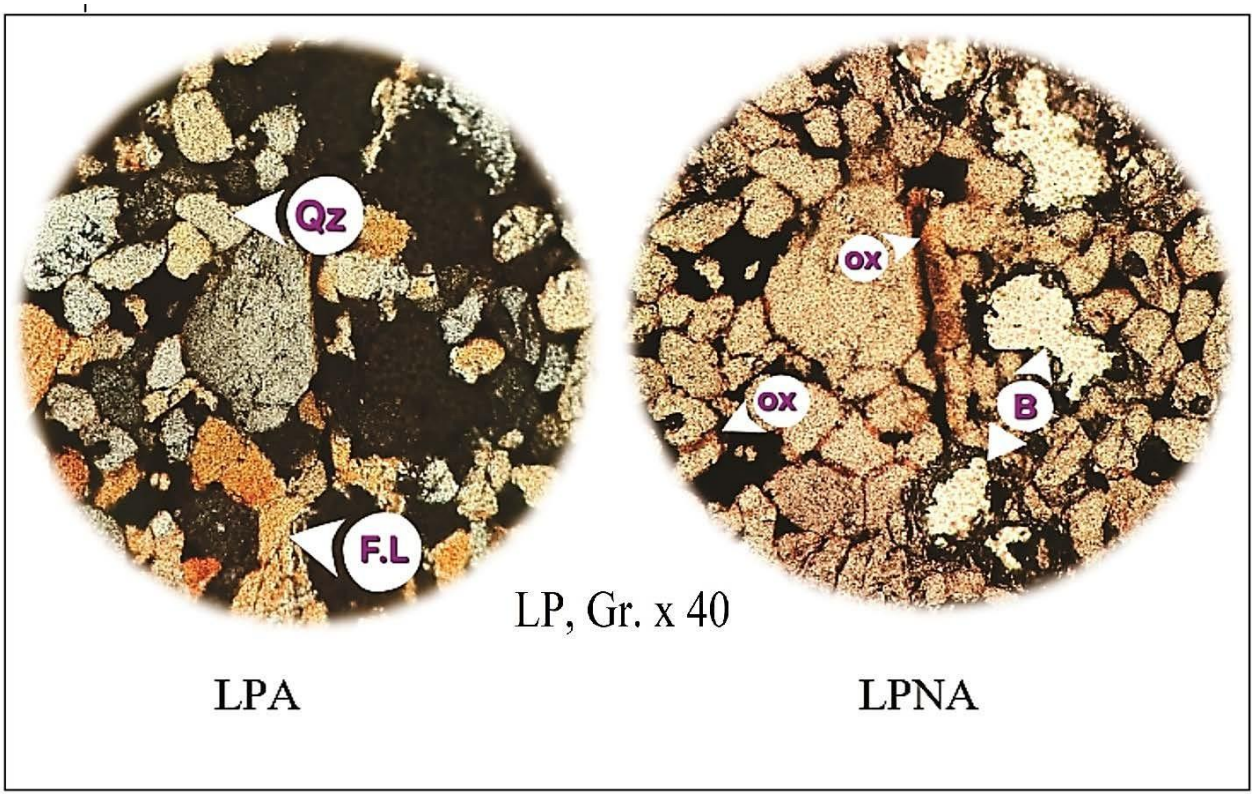
Sur le plan sédimentologique, certaines HCS peuvent présenter une architecture interne composée de lamines fines ou de plaquettes gréseuses superposées, traduisant un dépôt rythmique et impulsionnel, où chaque impulsion de courant génère une lamination distincte (Reineck et Singh, 1980).

### 5- Sous-faciès des grès ferrugineux (Fg-e)

#### 5.1- Description

Ce sous-faciès a été rencontré au début de la coupe, plus précisément au niveau de la partie sommitale de la formation du Kheneg el Aatène où il se manifeste sous forme de 3 bancs bien individualisés (Pl. 1, fig. 1). Il réapparaît également à l'extrémité supérieure de la coupe (Pl. 4, fig. 4), dans le membre supérieur argilo-gréseux, où il se présente sous forme de lentilles intercalées à des argiles.

L'étude microscopique de l'échantillon K1 (Fig. 19) montre qu'il s'agit d'un grès ferrugineux, composé majoritairement de grains de quartz (80%), de taille différente (mal classé), aux contours sub-anguleux à sub-arrondis. Les interstices entre les grains sont comblés par une matrice intergranulaire sombre, vraisemblablement riche en oxydes de fer, indiquant un ciment ferrugineux (- 15%). On note également la présence de fragments lithiques, de bioclastes (acritarches ?) et de minéraux opaques. Cet échantillon est classé comme une quartz-arénite ferrugineuse, selon la classification de Folk (1980).

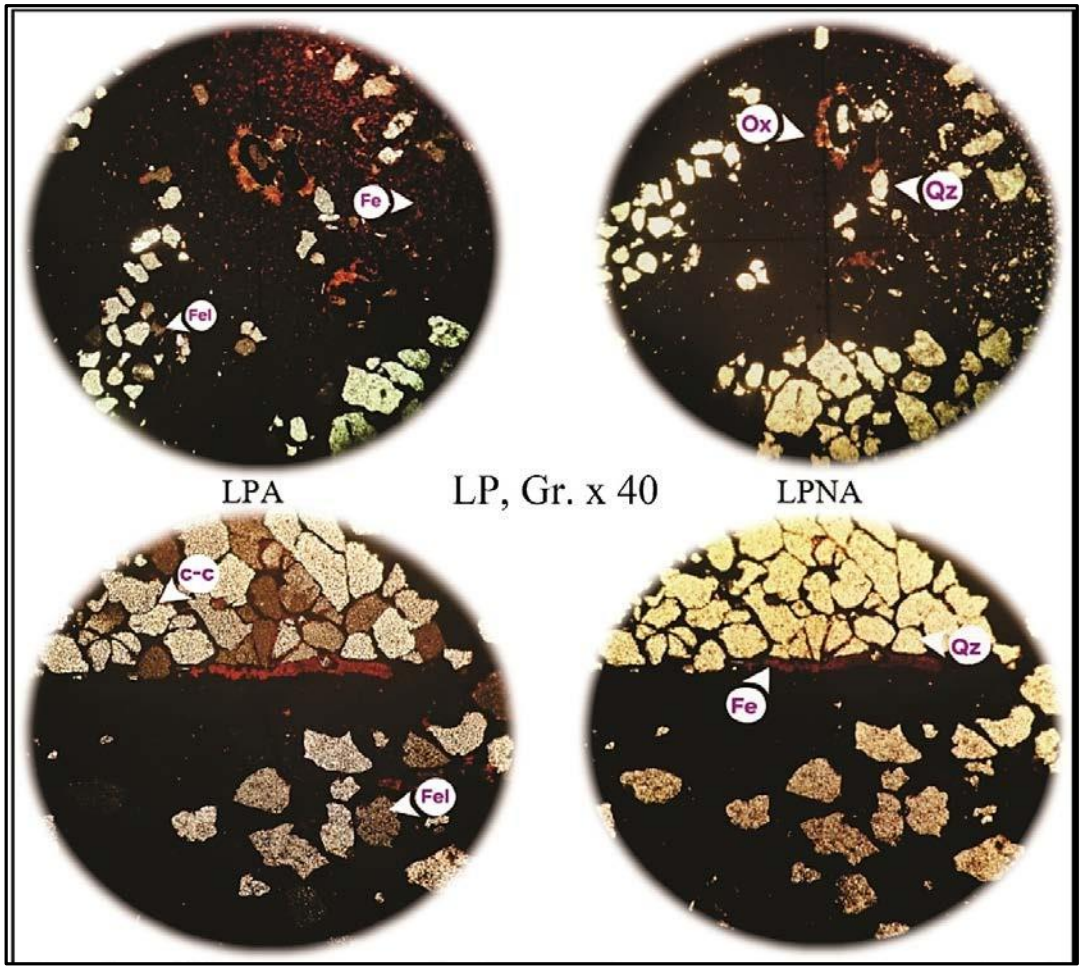



Qz= Quartz, F.L = fragment lithique, Ox =oxyde de fer, B = bioclaste (Probablement reste d'acritarches).

**Fig. 19** : Photomicrofaciès de la lame K1 (Limite supérieure de la formation du Kheneg el Aatène).

L’analyse de la lame mince K8 (Fig. 20) met en évidence un grès à ciment ferrugineux, formé principalement du quartz (40%) anguleux à sub-anguleux, mal classé, témoignant d’une maturité texturale faible. Ces grains sont enchâssés dans une matrice brun-rougeâtre riche en oxydes de fer, dont la présence est plus abondante que celle des grains eux-mêmes (+15%), traduisant un liant ferrugineux dominant. Les grains de quartz montrent un contact concave-convexe. On note également quelques feldspaths.

Cet échantillon peut être classé comme une quartz-wacke ferrugineuse, d’après la classification de Folk (1980).




Qz= Quartz, Fel = feldspath, Fe = fer, Ox =oxyde de fer, c-c = contact concave-convexe.

**Fig. 20 :** Photomicrofaciès de la lame K8 (Membre supérieur de la formation du Foum Ez Zeidiya).

### 5.2- Interprétation

La présence d’un ciment ferrugineux indique une diagenèse post-dépôt caractérisée par l’enrichissement en oxydes de fer (essentiellement l’hématite et la goethite), souvent liés à une altération en conditions oxydantes. Ce type de cimentation confère une teinte brun-rougeâtre aux bancs gréseux, typique des environnements continentaux ou littoraux bien aérés (Tucker, 2003).

Par ailleurs, la réapparition répétée de ce faciès ferrugineux aux extrémités de la séquence stratigraphique peut indiquer des phases de faible apport en sédiments fins, favorisant l'aération des sédiments et l'oxydation du fer dissous dans les eaux interstitielles. Ce processus conduit à la précipitation du ciment ferrugineux, traduisant ainsi une diagenèse influencée par la variation des conditions hydrodynamiques et chimiques (Morad *et al.*, 2000).

D'après Guerrak (1988), des niveaux ferrugineux de type extensif (EXID), bien développés dans les séries ordoviciennes de l'Ougarta, témoignent d'apports ferrugineux répartis sur de grandes distances, en lien avec des épisodes transgressifs. Leur mise en place reflète des phases d'oxydation et d'aération dans des environnements peu profonds.

### 6- Sous-faciès de quartzites massifs (Fg-f)

#### 6.1- Description

Ce sous-faciès affleure principalement dans la partie médiane à sommitale de la Formation du Foum ez Zeidiya, à partir de la deuxième barre. Il se manifeste sous forme de bancs de quartzite, d'épaisseur centimétrique à métrique, caractérisés par une absence totale de structures sédimentaires apparentes.

#### 6.2 Interprétation

Les quartzites observés au sein de notre formation sont constitués de grains détritiques de quartz entièrement soudés par un ciment siliceux néoformé, témoignant d'un processus de cimentation avancé au cours de la diagenèse. L'absence de structures primaires interpelle, et plusieurs hypothèses ont été proposées dans la littérature pour expliquer ce phénomène.

Selon Cojan et Renard (1997, 2021), une bioturbation intense – due à l'activité d'organismes benthiques – peut entraîner l'effacement complet des structures sédimentaires initiales. Tucker (2003) suggère qu'une sédimentation rapide, dépassant le temps nécessaire à la mise en place de structures, pourrait également en être la cause. Dans le même ordre d'idées, Collinson et Mountney (2019) évoquent la décélération brutale d'un courant fortement chargé en sédiments, qui provoquerait un dépôt massif sans organisation visible. Ces auteurs ajoutent aussi qu'un remaniement physique des sédiments gorgés d'eau, par liquéfaction, pourrait conduire à la destruction des structures internes. Enfin, la diagenèse joue un rôle capital. Au fil du temps, la précipitation de quartz néoformé vient combler les pores du grès initial et souder les grains, effaçant ainsi les structures originelles.

Dans le cas présent, l'aspect massif, la texture serrée et la nature cristalline des bancs suggèrent que la diagenèse est vraisemblablement le principal facteur ayant conduit à la formation de ce sous-faciès

quartzitique, en transformant un grès initial en un quartzite recristallisé, au détriment de toute structure sédimentaire observable**.**

### C- Faciès carbonaté gréseux (ou "miches calcaires") (Fc)

#### 1- Description

Ce sous-faciès se trouve dans le deuxième membre de la formation. Il est représenté par 6 lentilles ou "miches calcaires", de dimension métrique. Ces lentilles sont souvent enveloppées dans des niveaux argileux ou dans des lentilles gréseuses (Pl. 1, fig. 4, Pl. 3, fig. 1 et Pl. 4, fig. 1 et 3). Dans ce dernier cas, elles sont marquées par une surface d'érosion. Certaines présentent localement des structures internes, telles que des lits horizontaux, des laminations obliques (Pl. 1, fig. 4) ou même de HCS et des litages de rides asymétriques grimpantes ou *climbing ripples* (Pl. 4, fig. 1).

L'étude microscopique des échantillons K3 et K6 (Fig. 21) montre que cette roche est constituée de grains de quartz aux contours sub-anguleux à sub-arrondis. On distingue également la présence de minéraux opaques (probablement des oxydes) dispersés dans la matrice. Quelques micas en paillettes allongées sont visibles.

Le ciment est de nature carbonatée, modérément abondante (>15 %), remplissant les interstices entre les grains. Pour l'échantillon K3, les grains de quartz sont petits et bien triés, tandis que pour K6, la taille est moyenne avec un tri moyen.

Les échantillons K3 et K6 correspondent à des *quartzs wackes* caractérisés par un ciment carbonaté, d'après la classification de Folk (1980).

#### 2- Interprétation

Ces "miches calcaires" traduisent une précipitation carbonatée précoce autour de grain de quartz dans un contexte sédimentaire à dynamique modérée. Leur forme lenticulaire ou ovoïde, leur texture compacte et leur cimentation précoce indiquent qu'elles se sont formées rapidement après le dépôt, ce qui a favorisé la conservation de structures internes parfois laminées. La présence des grains de quartz cimentés par du carbonate suggère une origine mixte, à la fois détritique et chimique (Ghienne *et al.*, 2007 ; Tucker, 2003). Par ailleurs, le caractère érosif observé à la base de ce sous-faciès ainsi que la fréquence des figures sédimentaires, telles que les laminations oblique et les HCS indiquent que leur mise en place pourrait avoir été influencée par des épisodes énergétiques et brefs mais puissants, comme les tempêtes (Reineck et Singh, 1980 ; Boggs, 2006). Dans ce cadre, Ghienne *et al.* (2007) interprètent ces lentille comme des remplissages de petites dépressions érosives générées par des courants de retour, enrichis en matériel bioclastique et gréseux. La dissolution de la faune

coquillière aurait ensuite favorisé une cimentation rapide, conférant aux miches leur forme distincte et leur forte cohésion.

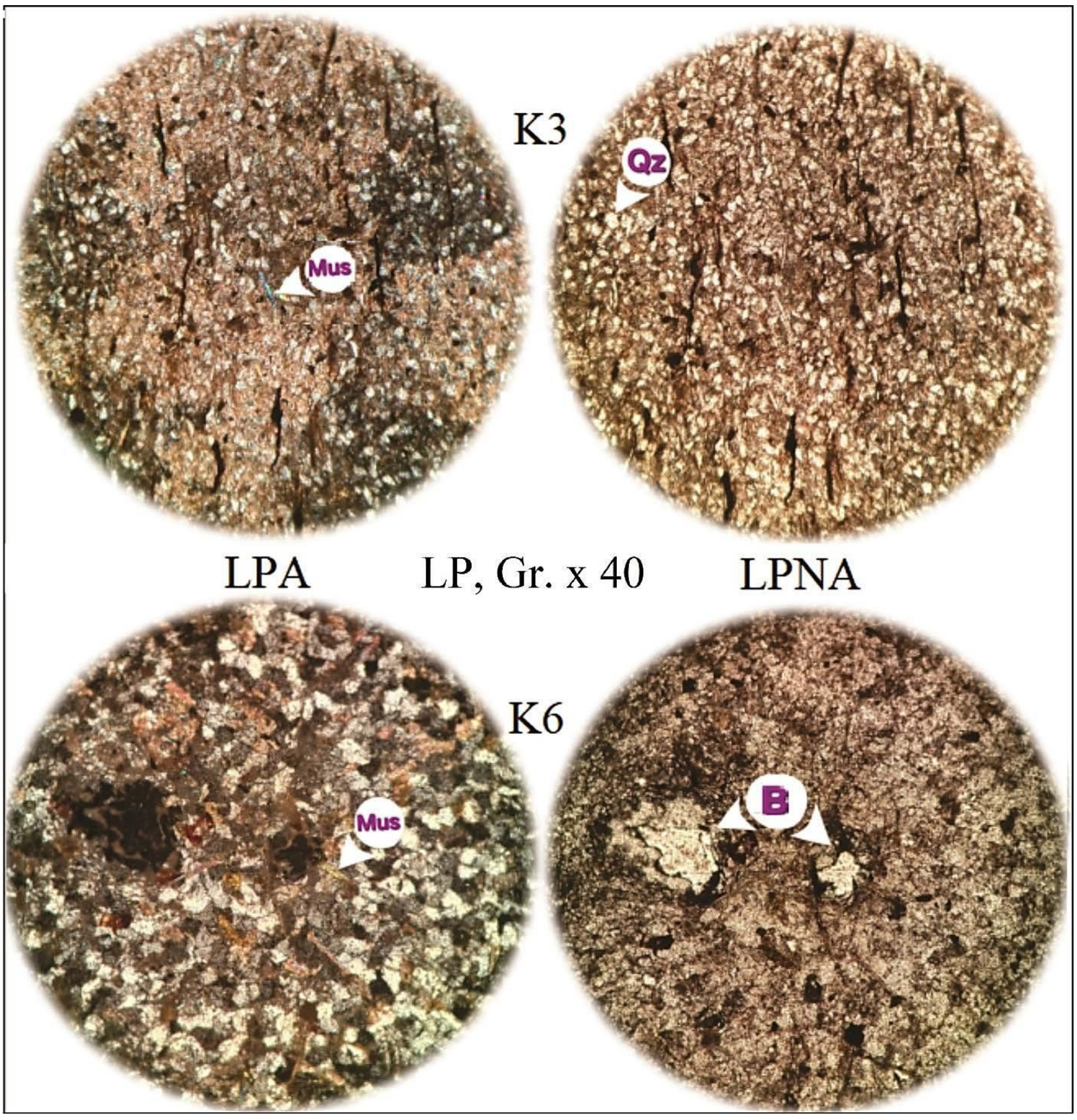



**Fig. 21** : Photomicrofaciès des lames K3 et K6 (Membre moyen de la formation du Foum Ez Zeidiya).

Qz = Quartz, Mus = Muscovite, B = bioclastes (Acritarches ?).

## II- ASSOCIATION DE FACIES & MILIEUX DE DEPOTS

À partir de la description et de l'interprétation des faciès et des sous-faciès de la Formation du Foum ez Zeidiya, 2 associations de faciès, notées A et B, ont pu être définies.

### A- Association de faciès A

L'association A regroupe les faciès gréseux (Fg) qui domine les barres, ainsi que le faciès gréso-carbonaté (Fc) et, à un degré moindre, le faciès argileux (Fa). Elle traduit des conditions de dépôt

dynamiques marquées par des vitesses de courant relativement élevées, responsables de la mise en place des détritiques grossiers.

La diversité des structures sédimentaires rencontrées dans cette association, telles que les laminations horizontales (Fg-a), obliques et obliques en "arêtes de poissons" (Fg-b), témoigne clairement de l'influence répétée des courants soutenus, de houle et de marée. En parallèle, la présence de figures telles que les HCS (Fg-d), les rides de vagues (Fg-c) et les sillons d'érosion confirme une exposition périodique à l'action des vagues de tempêtes et aux processus de remaniement du fond marin. L'ensemble de ces éléments indique un environnement de type plate-forme détritique proximale (*shoreface*), soumise conjointement aux effets des marées et des tempêtes.

**B- Association de faciès B**

Cette association correspond aux affleurements du faciès argileux (Fa), très développé dans la partie inférieure et supérieure de la formation et dans les intervalles inter-barres. Ce faciès est parfois perturbé par l'arrivées d'une sédimentation gréso-carbonatée, représentée par les lentilles de "miches calcaires" (faciès Fc) et par des strates ou des lentilles gréseuses (Faciès Fg). Ces dernières sont parfois matérialisées par les sous faciès suivants : grès à laminations horizontales (Fg-a), à laminations obliques (Fg-b), à litages de rides de vagues en chevrons (Fg-c) et à litages obliques en mamelons ((HCS - Fg-d).

La prédominance du faciès argileux dans cette seconde association ainsi que la présence parfois en son sein de celui des grès (Fg), représenté par certains de ses sous-faciès, plaide pour un environnement assez profond, dominé par des courants de faibles vitesses permettant la décantation de particules fines et balayé épisodiquement par des courants plus forts, de houle et de tempêtes. Il s'agit d'un milieu *offshore-transition*.

## III- ESSAI D'INTERPRETATION SEQUENTIELLE

### INTRODUCTION

Dans cet essai sur l'organisation verticale des corps sédimentaires de la Formation du Foum ez Zeidiya, nous utiliserons le concept des séquences « Transgressive - Régressive » (séquence T-R – Fig. 23) *sensu* John et Murphy (1984), Johnson *et al.* (1985), Embry et Johannessen (1992), Catuneanu *et al.* (2009).

Deux ordres de séquences sont classiquement définis : les séquences de troisième ordre (1 à 5 Ma) et celles du deuxième ordre (3 à 15 Ma). Ces deux ordres de séquences sont cycliques et apériodiques et elles s'empileraient dans de grands cycles transgressifs/régressifs (Vail *et al.*, 1991).

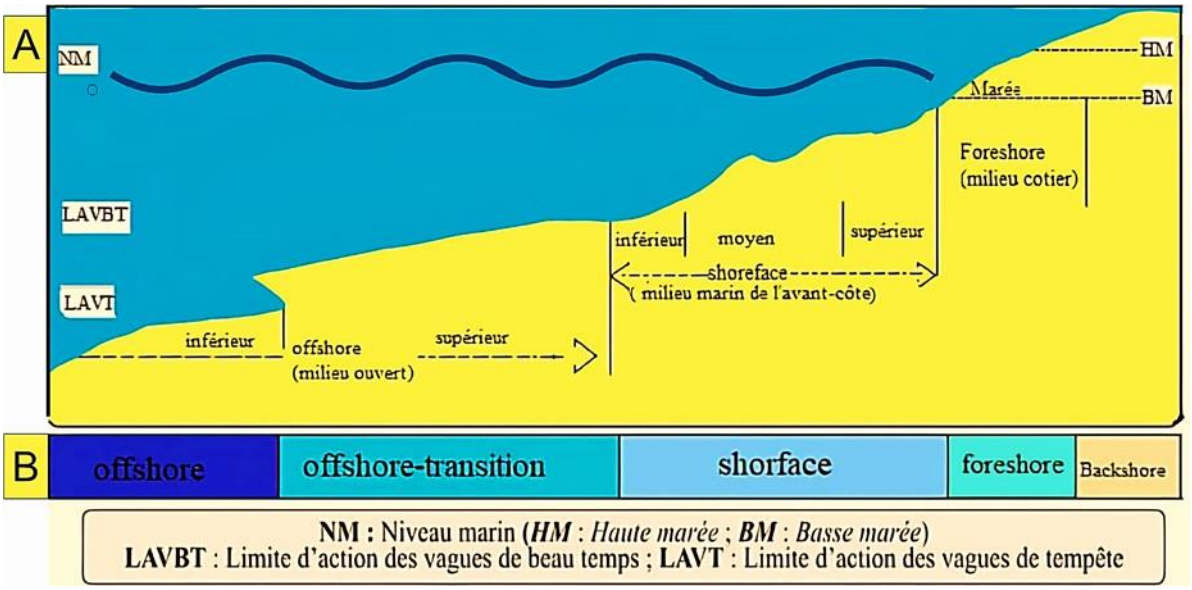



**Fig. 22** : Profil de la plate-forme (nomenclature en fonction de l'hydrodynamisme).

**A.** Subdivision de Guillocheau *et al.* (1983) et Plint *et al.* (1992) ; **B**. Subdivision de Komar (1976), Bourgeois et Leithold (1984) et Reading et Collinson (1996) (*In* Abbache, 2019, modifiée).

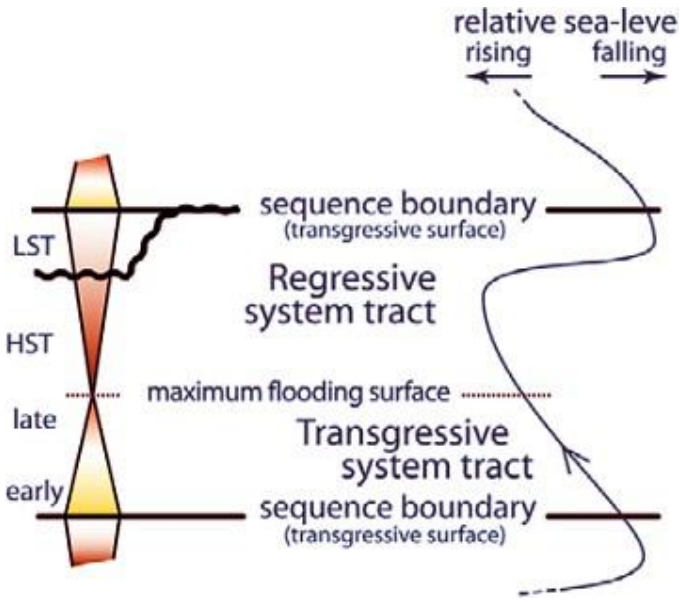



**Fig. 23 :** Architecture d'une Séquence transgressive / Régressive (T/R) (Ghienne *et al.*, 2007).

### A- Organisation des dépôts de la Formation du Foum ez Zeidiya

Cinq séquences complètes Transgressives/Régressives (T/R) et une autre incomplète, représentée par son terme transgressif. Les premières intéressent le niveau ferrugineux du sommet de la Formation du Kheneg el Aatène, le membre inférieur argileux et tout le membre moyen à lentilles de calcaire gréseux de la Formation du Foum ez Zeidiya ; la seconde, le membre supérieur argilo-gréseux de celle-ci.

Dans le membre moyen à lentilles de calcaire gréseux, chacune des 5 séquences correspond à deux termes (Fig. 24 et 25) :

(1) un terme transgressif (CT)**,** marqué par la prédominance de sédiments fins essentiellement argileux ;

(2) terme régressif (CR), dominée par des dépôts plus grossiers, notamment gréseux et gréso-carbonatés ("miches calcaires").

La transition entre ces deux termes se manifeste généralement par un changement net de la lithologie, associé à une surface d'inondation maximale (*Maximum Flooding Surface* - MFS).

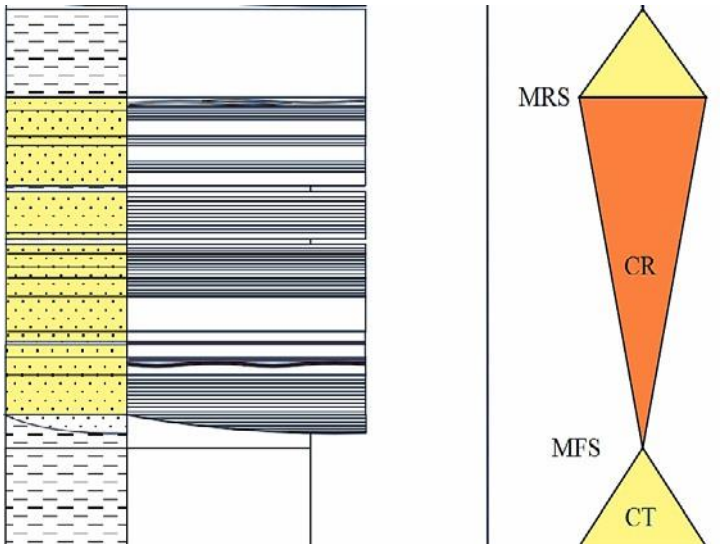



**Fig. 24** : Schéma d'un exemple de séquence Transgressive/Régressive (CT/CR) dans la Formation du Foum ez Zeidiya.

Sachant que notre formation est attribuée au Darriwilien (Ordovicien moyen), sa durée correspond à environ 8,9 millions d'années (entre 469.4 et 458.2 Ma selon ICS, 2023). De ce fait, les séquences définies le long des affleurements ont chacune une durée approximative de 1,5 Ma. Cela correspond à une durée d'une séquence de basse fréquence d'ordre 3 au sens de Vail *et al.* (1991).

**B- Tendance évolutive**

La succession verticale des séquences de 3$^{ème}$ ordre définies dans la Formation du Foum ez Zeidiya traduit une évolution cyclique et répétitive des dépôts transgressifs puis régressifs dont l'empilement s'inscrit dans une grande séquence, à tendance régressive, d'ordre 2 au sens de Vail *et al.* (1991) (Fig. 25). Ces séquences s'inscrivent parfaitement dans l'évolution des milieux de dépôts qui sont tantôt relativement profonds et transgressifs dans un environnement *offshores transition* (Association de dépôts B), tantôt moins profonds et régressifs, dans un *shoreface* (Association de dépôts A).

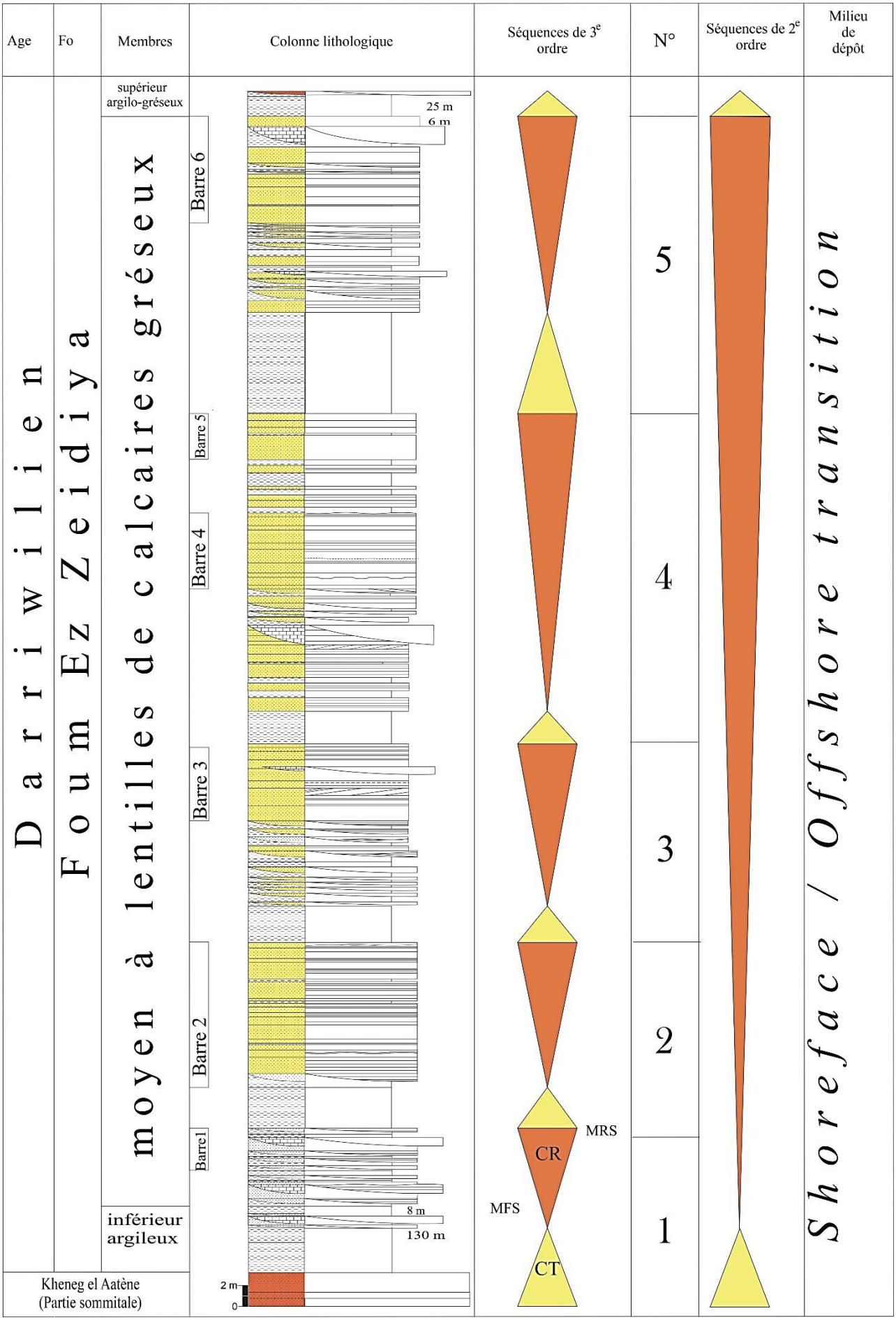



**Fig. 25 :** Organisation séquentielle et évolution des dépôts de la formation de Foum Ez Zeidiya.

# CONCLUSION GÉNÉRALE

# CONCLUSION GÉNÉRALE

Le travail réalisé sur la Formation du Foum ez Zeidiya dans le secteur d'El Kseib a permis de mieux comprendre l'organisation des dépôts sédimentaires durant le Darriwilien dans cette partie de la Chaîne d'Ougarta. La coupe levée a révélé une succession claire de 3 membres : un membre inférieur argileux, dominé par des détritiques fins perturbés par endroits par l'arrivées de bancs ou de lentilles gréseuses, voire gréso-carbonatés ("miches calcaires"), un membre moyen à lentilles calcaires gréseuses, matérialisé par de véritables barres à dominante gréseuse et un membre supérieur argilo-gréseux, totalement argileux.

L'étude sédimentologique nous a permis d'identifier 3 principaux faciès : argileux, gréseux (avec différentes structures comme les laminations horizontales, obliques, HCS, etc.) et carbonatés gréseux ("miches calcaires"). L'interprétation des faciès, des sous-faciès et leurs associations montrent que la formation s'est déposée dans un milieu marin correspondant à une plate-forme détritique. Il s'agit plus précisément de dépôts fins d'*offshore transition* (Association B), caractérisés par un environnement relativement calme, et de dépôts détritiques grossiers de *shoreface* (Association A), mis en place durant un épisode plus énergétique, en relation avec une dynamique de houle et de tempêtes.

L'enchainement séquentielle des corps sédimentaire nous a permis de définir 5 séquences transgressives/régressives de 3$^{ème}$ ordre (sommet de la Formation du Kheneg el Aatène, membre inférieur argileux et membre moyen à lentilles calcaires gréseuses) et une autre marquée seulement par sa phase transgressive, situées au somment de la formation (Membre supérieur). L'empilement vertical de ces séquences traduit une tendance globale régressive pendant le Darriwilien, matérialisée par une séquence de basse fréquence de 2$^{ème}$ ordre.

En résumé, cette étude montre que la formation de Foum Ez Zeidiya garde en mémoire les changements progressifs des environnements de dépôt, particulièrement influencés par les variations du niveau marin relatif et par les arrivées périodiques des dépôts sédimentaires. Elle contribue à mieux comprendre l'évolution des dépôts de l'Ordovicien moyen dans cette partie du Sahara algérien, et à replacer la région d'El Kseib dans le contexte plus large de la plate-forme silicoclastique de l'Ougarta.

*Planches Photographiques*

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


**ABBACHE A. (2019)** - Paléobiodiversité et évènements eustatiques du Dévonien supérieur de Ben-Zireg et Gourara (Sahara nord-ouest, Algérie). *Thèse. Doct.*,Univ. Oran 2, 350 p.

**AIT KACI A. (1990)** - Evolution lithostratigraphique et sédimentologique du Cambrien des monts d'Ougarta (Sahara nord-occidentale). *Thèse. Doct. 3ème Cycle*, USTHB., Alger, 168 p.

**AIT-OUALI R., NEDJARI A. (2006)** - Le bassin d'Ougarta : une mobilité permanente au Paléozoïque. *Mém. Serv. Géol. Nation*., n°13, pp. 23-40.

**AKRICH I. (2022)** - Lithostratigraphie, sédimentologie et organisation séquentielle de la Formation de Foum Ez Zeidiya (Ordovicien inférieur) dans la région de Kheneg el Aatène (Monts d'Ougarta, Sahara algérien nord-occidental), *Mém. Master*, Univ. Oran 2, 47 p.

**ALIMEN H., LE MAITRE D., MENCHIKOFF N., PETTER G. & POUYETOA. (1952)** -Les chaînes d'Ougarta et la Saoura. *XIXème Congr. Géol. Intern*., Alger, 1ère série. Algérie, 15, p. 1-114.

**ALLEN J.R.L. (1973)** - A classification of climbing-ripple cross-laminations. J. *geol. Soc. Lond.* vol., 129, Northern Ireland, pp. 537-541.

**ALLEN J.R.L. (1982)** - Sedimentary Structures: Their Character and Physical Basis, Volume 1, Elsevier, Amsterdam, 593 p.

**ASHLEY G.M., SOUTHARD J.B. & BOOTHROYD J.C. (1982)** - Deposition of climbing-ripple beds: aflume simulation. Sedimentology. 29, 67-79.

**ARBEY F. (1962)** - Données nouvelles sur la sédimentation vambro-ordovicienne dans les Monts d'Ougarta (Saoura). *C.R. Acad. Sc*., Paris, France, p. 3726-3728.

**BAYER R., LESQUER A. (1978)** - Les anomalies gravimétriques de la bordure orientale du Craton Ouest Africain. Géométrie d'une suture panafricaine. *Bull. Soc. Géol*. France, 7, pp. 863-876.

**BOGGS S.Jr. (2006)** - Principles of Sedimentology and Stratigraphy. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River (New Jersey), 662 p.

**BRADAI M.EA. (2021)** - Lithostratigraphie et environnements sédimentaires de la Formation des Argiles de Foum Tineslem (Ordovicien inférieur) dans sa localité éponyme (Monts d'Ougarta, Sahara algérien nord-occidental). *Mém. Master*, Univ. Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, 40 p.

**CAMPBELL C. (1966) –** Truncated wave-ripple laminae. Journal of Sedimentary Petrology, 41, p. 395-409.

**CAMPBELL C. (1967)** - Lamina, laminaset, bed and bedset. *Sedimentology*, v. 8, n°1, p. 7-26.

**CATUNEANU O., ABREU V., BHATTACHARYA J.P., BLUM M. D., DALRYMPLE R. W., ERIKSSON P. G., FIELDING C.R., FISHER W.L., GALLOWAY W.E., GIBLING M.R., HOLBROOK J.M., JORDAN R., KENDALL C.G.ST.C., MACURDA B., MARTINSEN O.J., MIALL A.D., NEAL J.E., NUMMEDAL D., POMAR L., POSAMENTIER H.W., PRATT B.R., SARG J.F., SHANLEY K.W., STEEL R.J., STRASSER A., TUCKER M.E. & WINKER C. (2009)** - Towards the standardization of sequence stratigraphy. Earth Science Reviews, 92, p. 1-33.

**CHIKHAOUI M. (1974)** - Les ignimbrites et les roches basiques du Précambrien supérieur des Monts d'Ougarta. *Th. Doc. 3ème Cycle*, Univ. Alger, 2 vol., 114 p.

**CHIKHAOUI M. (1981)** - Les roches volcaniques du protérozoïque supérieur de la chaine Pan-afriquaine dans le NW de l'Afrique (Hoggar, Anti-Atlas, Adrar des Iforas) Caractérisation Géochimique et Minéralogique, implications géodynamiques. *Th. Doct. Sci., Cent. Géol. Et Géoph.*, Montpellier, France, 183 p.

**COHEN K.M., FINNEY S.C., GIBBARD P.L. & FAN J.X. (2024) –** International Chronostratigraphic Chart v2024/12. International Commission on Stratigraphy, IUGS. Disponible sur : https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2024-12.pdf

**COJAN I. & RENARD M. (1997)** - Sédimentologie. Coll. Enseig. Sc. Terre.,Masson (éd.), 120 p.

**COJAN I. & RENARD M. (2021)** - Sédimentologie. Masson, *3ème édi*., 491 p.

**COLLINSON J., MOUNTNEY N., & THOMPSON D. (2006)** - Sedimentary Structures. *Terra Publishing*, London, 291 p.

**COLLINSON J., MOUNTNEY N. (2019)** - Sedimentary structures. *Dunedin Acad. Press*, Edinburgh, 340 p.

**COLLOMB P., DONZEAU M. (1974)** - Relations entre kink-bands décamétriques et fractures de socle dans l'Hercynien des Monts d'Ougarta (Sahara Occidental, Algerie). *Tectonophysics*, Vol. 24, Issue 3, p. 213-242 .

**DALRYMPLE R.W., KNIGHT J.R., LAMBIASE J.J. (1978)** - Bedforms and their hydraulic stability relationships in a tidal environment, Bay of Fundy, Canada. *Nature*, 275, p. 100-104.

**DOTT R., BOURGEOIS J. (1982)** - Hummocky stratification: Significance of its variable bedding sequences. *Geol. Soc. of America Bull*, pp. 663-680.

**DONZEAU M. (1971)** - Etude structurale dans le Paléozoïque des monts d'Ougarta. *Th. Doct. 3ème cycle*, Orsay, France.

**DONZEAU M., ZELLOUF K. (1973)** - La jonction Ougarta-Anti-Atlas, structure de la région Tadaout et Berhil, Sahara occidental, *Algérie. Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, vol. 64, n°3, pp.171-183.

**EMBRY A.F., JOHANNESSEN E.P. (1992)** - T-R sequence stratigraphy, facies analysis and reservoir distribution in the uppermost Triassic-Lower Jurassic succession, -Western Sverdrup Basin, Arctic Canada. Sedimentary Petrology, 2, p. 121-146.

**FABRE J. (1976)** - Introduction à la géologie du Sahara algérien et des régions voisines. Société Nationale d'édition et de Diffusion, Alger, 422 p.

**FABRE J., KAZI-TANI N. (2005)** - L'Ordovicien. In : FABRE J. (édi.) : Géologie du Sahara occidental et central. Sér. Tervuren African Geosc. Coll., Mus. Roy. Afrique Centrale, Belgique, v. 108, p. 147-200.

**FERRY S. (2002)** - Sédimentologie de faciès. *Univ. Géol*. Lyon. France. 73 P.

**FOLK R.L. (1980)** - *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publishing Company, Austin, Texas, 170p.

**GHIENNE J.F., BOUMENDJEL K., PARIS F., VIDET B., RACHEBOEUF P., AIT SALEM H. (2007)** -The Cambrian-Ordovician succession in the Ougarta Range (Western Algeria, North Africa) and interference of the late Ordovician glaciation on the development of the lower Paleozoic transgression on northern Gondwana. *Bull. of Geosci*., 82(3), p. 183-214 .

**GOMES SILVA M., PACAUD M., WIEL F. (1963)** - Contribution à l'étude du CambroOrdovicien des Monts d'Ougarta. *Bull. Soc. géol. Fr*., (7), 1. p. 134-141.

**GUERRAK S. (1988)** - Ordovician iron stons sedimentation in Ougarta ranges: North Western Sahara (Algeria). *Jours. African Earth Sci*., vol. 7, n° 4, p. 657-678.

**GUILLOCHEAU F. (1991)** - Zonation des dépôts de tempêtes en milieu marin ouvert ("Offshore, Shoreface"), Baie et replats sableux ("Sand-flats") : Visite de quelques affleurements ordoviciens en Presqu'île de Crazon (Bretagne, France). *3 e Cong. fr. Sédim*., p. 40-66 .

**HARMS J.C. (1975) –** Stratification and sequences in prograding shoreline deposits. In : HARMS J.C., SOUTHARD J.C., SPEARING D.R. & WALKER R.G. (eds) – Depositional Environments as Interpreted from Primary Sedimentary Structures and Stratification Sequences. Soc. Econ. Paleont. Miner., Short Course, 2, p. 81–102.

**HERVOUET Y., DUEE G. (1996)** - Analyse morphostructurale par imagerie satellitaire et coupes structurales modélisées dans les Monts d'Ougarta (Sahara occidental algérien) : une chaîne hercynienne chevauchante à plis passifs. *Mémoires du Service Géologique de l'Algérie*, n° 8. p. 127-173.

**INMAN D.L. and BOWEN A.J. (1963)** - *Flume Experiments on Sediment Transport*. Journal of Geophysical Research, vol. 68, n° 2, p. 589–602.

**JOHNSON J. G., MURPHY M.A. (1984)** - Time rock model for Siluro-Devonian continental shelf, western United States. Geological Society of America Bul., 95, p. 1349-1359.

**JOHNSON J. G., KLAPPERBALDWIN C.T. (1985)** - Shallow siliciclastic seas. In: Reading H.G (ed.): Sedimentary environments and facies. Boston, Blackwell, p. 229-282.

**LEGRAND P. (1964)** - Un graptolite intéressant de l'Arenigien supérieur du Sahara algérien : Didymograptus v-fraactuswieli nov. Subsp. *C. R. sommaire Soc. géol*., France, Fasc. 9, p. 360.

**LEGRAND P., BOUTERFA B. (2021)** - The shaly-sandy Bou M'haoud formation (Late Ordovician - Pre-Latest Ordovician disconformity) at its type-locality and adjoining outcrops (Ougarta range, Algerian Sahara), *Bul. Ser. géol. Algérie*, vol. 30, n°1-2, p. 47-107.

**MAZOUZI A. (2008)** - Les dépôts Arénigien supérieur-Llanvirnien de la Formation de Foum Ez Zeidiya dans la région de Karzaz et Zerhamra (Monts d'Ougarta, Nord Occidental du Sahara algérien). *Mém. Magis*. Uni. Oran. 33.

**MAIRIA L. (2015)** - Les affleurements Ordoviciens de la région de Nif El Khaoufi (Monts d'Ougarta, Sahara Algérien) : Lithostratigraphie et Sédimentologie, *Mém. Master*, Univ. Oran 2, 64 p.

**MARAVELIS A.G., CHAMILAKI E., PASADAKIS N., VASSILIOU A., ZELILIDIS A. (2017)** - Organic geochemical characteristics and paleodepositional conditions of an Upper Carboniferous mud-rich succession (Yagon siltstone) : Myall Trough, southeast Australia.Journal of Petroleum Science and Engineering, p. 322- 335.

**MENCHIKOFF N. (1933**) - La série primaire de la Saoura et des chaînes d'Ougarta. *Bul. Ser. Géol.* Algérie, v. 2, n°2, pp. 108-124.

**MIALL A.D. (2010)** - *The Geology of Stratigraphic Sequences*, 2e edi, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 522 p.

**MORAD S., KETZER J. M., De ROS L. F. (2000**) -Spatial and temporal distribution of diagenetic alterations in siliciclastic rocks: implications for mass transfer in sedimentary basins. *Sedimentology*, vol. 47, pp. 95–120.

**MORSILLI M., POMAR L. (2012)** - Internal waves vs. surface storm waves: a review on the origin of hummocky cross stratification. *Terra Nova*, pp. 1-10.

**NEDJARI A., AIT OUALI R., TERKMANE M., BEN ELKHAZNADJI BEN R. (2021)** - Phase taconique et ouverture de bassins siluriens : des évènements majeurs structurants dans l'évolution géodynamique de la Chaîne d'Ougarta (SO oranais, Sahara algérien). *Bull. Serv. géol*. Algérie, vol. 30, n°1, pp. 5-50.

**RAHAL M., TEMZINE S. (2013)** - Lithostratigraphie et sédimentologie de la formation de Foum Ez Zeidiya (Ordovicien moyen) au niveau de Djebel Serraf (Monts d'Ougarta, Sahara algérien nord-occidental). *Mém. Ingén.* Etat, Univ. d'Oran, 72 p.

**REINECK H.E., SINGH I.B. (1973)** - Depositional Sedimentary Environments. With Reference to Terrigenous Clastics. Corrected Reprint of the First Edition. New York: *Springer Verlag*, 439 p.

**REINECK H.E., SINGH I.B. (1980)** - Depositional sedimentary environments with reference to terrigenous clastics. 2 nd ed., *Springer-Verlag*, Berlin, 549 p.

**RUBINO J.L. (1984) –** Synthèse bibliographique des connaissances sur les sables de plate-forme. Total – C.F.P., Direction Fondamentale de l'Exploration I, Département Laboratoire Exploration, 61 p.

**TUCKER M.E. (2003)** - Sedimentary Rocks in the Field. John Wiley & Sons Ltd (edit), *3d edi.*, England, 234 p.

**VAN DEN BERG J.H., NIO S.D. (2010)** - *Sedimentary*. *Structures* and *their Relation* to *Bedforms* and *Flow*. *Conditions*. *EAGE Publications*, Houten, 138 p.

**VAN WAGONER J.C. (1995)** - Sequence stratigraphy and marine transgressive–regressive systems tracts. *In*: VAN WAGONER J.C. & POSAMENTIER H.W. (éds.), Sequence Stratigraphy of Foreland Basin Deposits, *AAPG Memoir*, 64, p. 39-68.

**VAIL P.R., AUDEMARD F., BOWMAN. S.A., EISNER P.N., PEREZ-CRUZ C. (1991)** – The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology. An over view. In: EINSEL G., RICKEN W., SEILACHER A. (Eds): Cycles and events in stratigraphy. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, p. 617-659.

**WALKER R. G., PLINT A. G. (1992)** - Wave- and storm-dominated shallow marine systems. In : WALKER R. G., JAMES N. P. (éds.), *Facies Models: Response to Sea Level Change*, Geological Association of Canada, GeoText 1, Newfoundland, pp. 219–238.

**ZERHOUNI Y. (2024)** - Les affleurements de la Formation du Foum Ez Zeidiya (Ordovicien moyen) au Nord du Kheneg el Aatène (Monts d'Ougarta, Sahara algérien) : lithostratigraphie, sédimentologie & organisation séquentielle. *Mém. Master*, Univ. Oran 2, 53 p.

# LISTE DES FIGURES


Page

Fig. 1 : Situation géographique des Monts d'Ougarta ……..….. 4

Fig. 2 : Situation géographique du secteur d'étude……...…… 5

Fig. 3 : Schéma tectonique de l'Arc Anti-Atlas – Ougarta……...…….. 6

Fig. 4 : Carte géologique simplifiée de l'Ougarta et colonne synthétique de la succession sédimentaire…….. 7

Fig. 5 : Coupe schématique de l'Ordovicien à Kheneg Tlaïa……..……..…….. 8

Fig. 6 : Colonne stratigraphique synthétique des formations paléozoïques des Monts d'Ougarta 8

Fig. 7 : Cadre géologique du secteur d'étude……...……..…. 10

Fig. 8 : Figurés et symboles utilisés dans la coupe……...…….. 15

Fig. 9 : Vue satellite montrant la localisation de la coupe étudiée……..…….. 16

Fig. 10 : Vue panoramique des affleurements de la formation du Foum ez Zeidiya……..…… 17

Fig. 11 : Coupe lithostratigraphique de la formation du Foum ez Zeidiya……...…….. 18

Fig. 12 : Photomicrofaciès de les lames K2 et K4 (Membre moyen de la formation du Foum Ez Zeidiya)…….. 25

Fig 13 : Photomicrofaciès de les lames K5 et K7 (Membre moyen de la formation du Foum Ez Zeidiya)…….. 26

Fig.14 : Terminologie des stratifications/laminations ……..……... 27

Fig. 15 : Relation en les différents types de constructions, la granulométrie et la puissance d'écoulement…… 28

Fig. 16 : Rides interférentes cogénétiques et leur litage associé de rides Chevauchantes en phase…….. 29

Fig. 17 : Représentation tridimensionnelle de rides de vagues symétriques à pentes égales, formées par un courant oscillatoire…… 30

Fig. 18 : Architecture interne et externe des HCS…….. 30

Fig. 19 : Photomicrofaciès de la lame K1 (Limite supérieure de la formation du Kheneg el Aatène)….. 31

Fig. 20 : Photomicrofaciès de la lame K8 (Membre supérieur de la formation du Foum Ez Zeidiya)….. 32

Fig. 21 : Photomicrofaciès des lames K3 et K6 (Membre moyen de la formation du Foum Ez Zeidiya) 35

Fig. 22 : Profil de la plate-forme (nomenclature en fonction de l'hydrodynamisme)…… 37

Fig. 23 : Architecture d'une Séquence transgressive / Régressive (T/R)……... 37

Fig. 24 : Schéma d'un exemple de séquence Transgressive/Régressive (CT/CR) dans la Formation du Foum ez Zeidiya……..….. 38

Fig. 25 : Organisation séquentielle et évolution des dépôts de la formation de Foum Ez Zeidiya…… 39

# TABLE DE MATIERES


*Page*

DEDICACE
AVANT-PROPOS
RÉSUMÉ..... 1
ABSTRACT..... 2

**CHAPITRE I : Généralités**

INTRODUCTION..... 4
I- CADRE GEOGRAPHIQUE..... 4
A- Situation géographique général des Monts d'Ougarta..... 4
B- Situation géographique du secteur d'étude..... 5
II- CADRE GEOLOGIQUE..... 6
A-Cadre géologique des Monts d'Ougarta..... 6
B- Cadre géologique du secteur d'étude ..... 9
III- ETAT DE CONNAISSANCE SUR LA FORMATION DU FOUM EZ ZEIDIYA..... 10
IV- BUT ET METHODOLOGIE DE TRAVAIL ..... 13
A- But du travail ..... 13
B- Méthodologie de travail ..... 13
1-Travail de terrain..... 13
2- Analyse en laboratoire ..... 13

**CHAPITRE II : Lithostratigraphie**

INTRODUCTION..... 16
I- DESCRIPTION LITHOSTRATIGRAPHIEQUE..... 16
A- Localisation de la coupe ..... 16
B- Description de la coupe ..... 16
1- Membre inférieur argileux ..... 17
2- Membre moyen à lentilles de calcaires gréseux ..... 17
2.1- Barre 1..... 19
2.2- Barre 2..... 19
2.3- Barre 3..... 19
2.4- Barre 4..... 20
2.5- Barre 5..... 20
2.6- Barre 6..... 20
3- Membre supérieur argilo-gréseux ..... 21
II- ATTRIBUTION STRATIGRAHIQUE..... 21

**CHAPITRE III : Sédimentologie & organisation séquentielle**

INTRODUCTION..... 23
I- DESCRIPTION & INTERPRETATION DES FACIES..... 23
A- Faciès argileux (Fa)..... 23
1- Description..... 23
2- Interprétation..... 23
B- Faciès gréseux (Fg)..... 24
1- Sous-faciès de grès à laminations horizontales (Fg- a)..... 24
1.1- Description..... 24
1.2- Interprétation..... 25
2- Sous-faciès de grès à laminations obliques (Fg-b)..... 27
2.1- Description..... 27
2.2- Interprétation..... 27

3- Sous-faciès des grès à rides de vagues chevauchantes en phase et litages en chevrons (Fg-c).. 28
3.1- Description ..... 28
3 2- Interprétation ..... 29
4- Sous-faciès des grès à litages obliques en mamelons ou HCS (Fg-d)… ..... 29
4.1- Description ..... 29
4.2- Interprétation ..... 30
5- Sous-faciès des grès ferrugineux (Fg-e) ..... 31
5.1- Description ..... 31
5.2- Interprétation ..... 32
6- Sous-faciès de quartzites massifs (Fg-f)…. ..... 33
6.1- Description ..... 33
6.2- Interprétation ..... 33
C- Faciès carbonaté gréseux (ou "miches" calcaires) (Fc) ..... 34
1- Description ..... 34
2- Interprétation ..... 34
II- ASSOCIATION DE FACIES & MILIEUX DE DEPOTS ..... 35
A- Association de faciès A ..... 35
B- Association de faciès B ..... 36
III- ESSAI D'INTERPRETATION SEQUENTIELLE …….... 36
INTRODUCTION ..... 36
A- Organisation des dépôts de la Formation du Foum ez Zeidiya ..... 37
B- Tendance évolutive ..... 38

Conclusion générale ..... 40

Références bibliographiques ..... 42
Liste des figures ..... 46
Table de matières ..... 47
Planches photos ..... 48

*Planches Photographiques*

# Planche 1

**Formation du Kheneg el Aatène (partie sommitale)**

**Fig. 1** : Vue générale des niveaux des grès ferrugineux qui marquent le sommet de la formation de Kheneg el Aatène.

**Formation du Foum ez Zeidiya (Membre inférieur argileux)**

**Fig. 2 et 3** : Argiles jaunâtres feuilletées (Faciès Fa)

**Membre moyen à lentilles de calcaire gréseux**

**Fig. 4** : Lentille gréseuse en plaquettes (1) admettant latéralement, dans sa partie centrale, une lentille de calcaire gréseux ("miche" calcaire) (2 - Faciès Fc) à litages obliques (a - Sous-faciès Fg-b) et horizontaux (b - Sous-faciès Fg-a). r : surface de ravinement.

**Fig. 5** : Succession de lentilles emboitées de grès en plaquettes montrant des litages horizontaux (a - Sous-faciès Fg-a), des rides de vagues chevauchantes en phase (b - Sous-faciès Fg-c), des litages obliques en mamelons (HCS) (c - Sous-faciès Fg-d) et des litages de rides de vagues en chevrons (d - Sous-faciès Fg-c).

**Fig. 6** : Lentille de grès en plaquettes montrant des laminations obliques (a - Sous-faciès Fg-b) et horizontales (b - Sous-faciès Fg-a).

.

Pl. 1

# Planche 2

**Membre moyen à lentilles de calcaire gréseux**

**Fig. 1** : Banc de quartzite massif (a - Sous-faciès Fg-f), devenant en plaquettes vers le haut et montrant des litages de rides chevauchantes en phase (b - Sous-faciès Fg-c).

**Fig. 2** : Détaille des litages de rides chevauchantes en phase (Sous-faciès Fg-c) de la fig. 1.

**Fig. 3** : Lentille de quartzite en plaquettes à litages horizontaux (a - Sous-faciès Fg-a), surmontées par des litages obliques en mamelons (HCS - Sous-faciès Fg-d).

**Fig. 4** : Lentille de quartzite en plaquettes montrant des rides chevauchantes en phase (a- Sous-faciès Fg-c), des rides de vagues en chevrons (b- Sous-faciès Fg-c), laminations obliques (c- Sous-faciès Fg-b), des HCS (d - Sous-faciès Fg-d), des laminations horizontales (e - Sous-faciès Fg-a). r : ravinement.

**Fig. 5** : Banc de quartzite s'effritant en plaquettes, montrant des HCS (Sous-faciès Fg-d).

**Fig. 6** : Banc de quartzite à laminations obliques (a - Sous-faciès Fg-b), horizontales, discrètes (b) ou nettes (c) (Sous-faciès Fg-a).

Pl. 2

# Planche 3

**Membre moyen à lentilles de calcaire gréseux**

**Fig. 1** : Bancs de quartzite (a) évoluant latéralement à une lentille de calcaire gréseux ("miche" calcaire) (b - Faciès Fc).

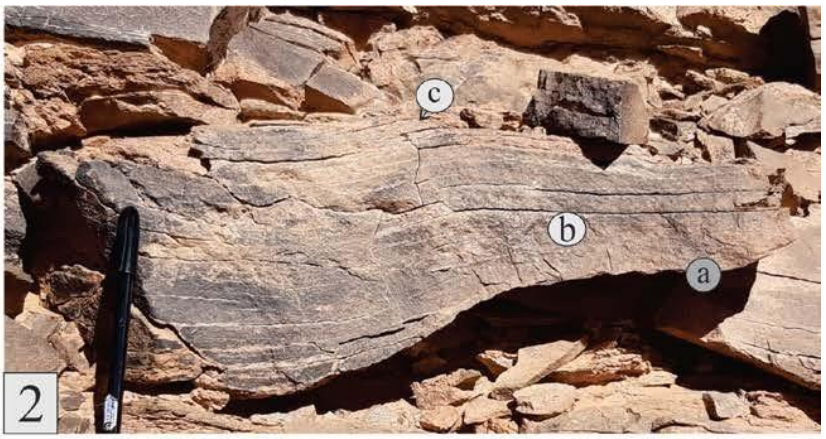
**Fig. 2** : Niveau de quartzite souligné à la base par un sillon d'érosion (*furrow-casts*) (a) surmonté par des HCS (b - Sous-faciès Fg-d) puis, des litages de rides de vagues en chevrons (c - Sous-faciès Fg-c).

**Fig. 3** : Banc de quartzique à rides de courant.

**Fig. 4** : Banc de quartzite montre une structure d'activité biologique de type *Daedalus isp.*

**Fig. 5** : Lentilles de quartzique en plaquettes à litages obliques en "arrêtes de poissons" (a - Sous-faciès Fg-b) et en mamelons (HCS) (c - Sous-faciès Fg-d).


a
b
1


c
b
a
2


3


4


b
a
5

# Planche 4

## Membre moyen à lentilles de calcaire gréseux

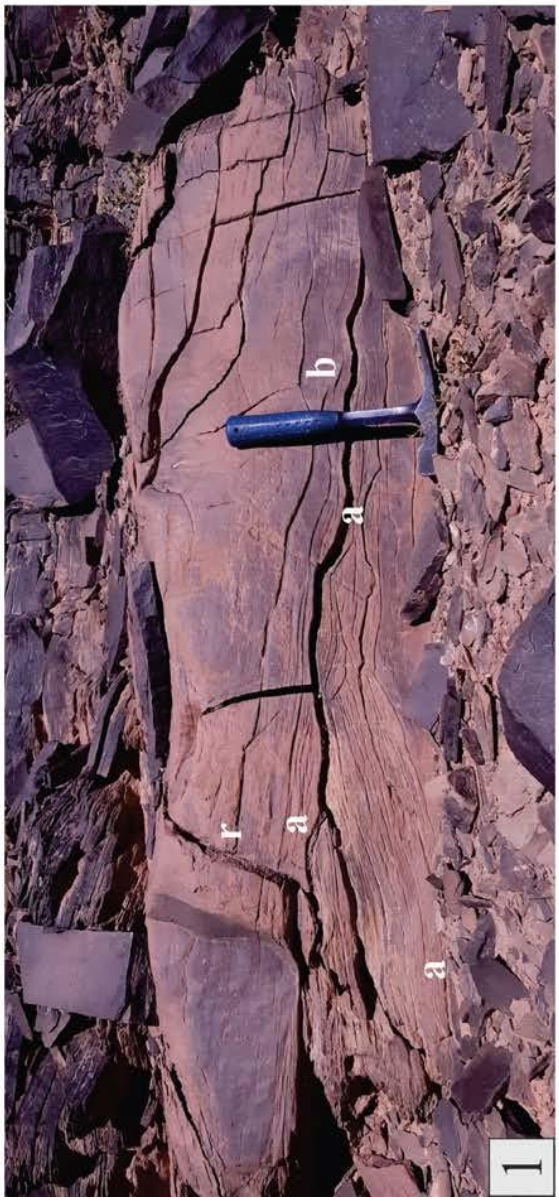
**Fig. 1** : Lentille de calcaire gréseux ("miche" calcaire - Faciès Fc) montrant HCS (a - Sous-faciès Fg-d) et des litages de rides asymétriques grimpantes (*climbing ripples*) (b). r : surface de ravinement (r).

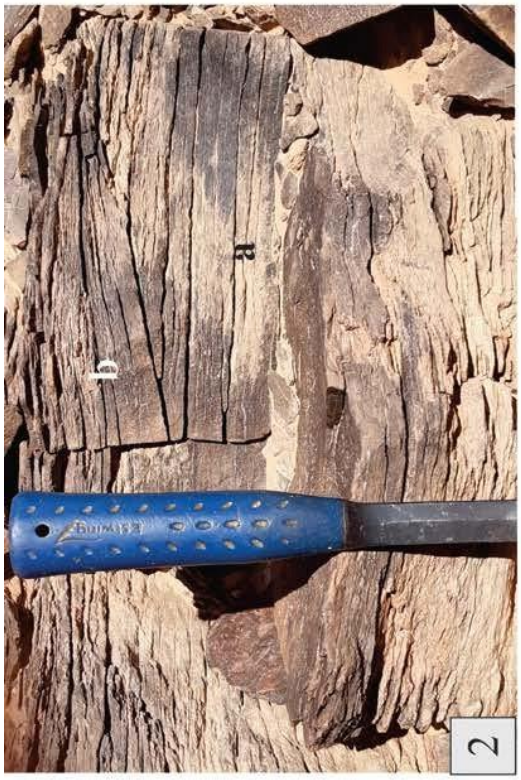
**Fig. 2** : Banc de quartzite à laminations horizontales (a - Sous-faciès Fg-a) surmontés par des litages obliques (b - Sous-faciès Fg-b).

**Fig. 3** : Niveau de quartzite (a) surmonté par une lentille de calcaire gréseux ("miche" calcaire - Faciès Fc) avec laquelle il est séparé par des surfaces de ravinement (r).

## Membre supérieur argilo-gréseux

**Fig. 4** : Dernier membre argilo-gréseux de la formation du Foum ez Zeidiya (a) occupant la base du grand talus de la montagne et séparé de la formation de Bou M'haoud (b) par l'intermédiaire d'un niveau sombre de grès ferrugineux (au niveau de la personne sur la photo).


a
r
a
b
a
1


a
b
2


a
r
b
r
a
3


b
a
4