



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
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 :**

**Description lithostratigraphie et interprétation sédimentologique  
de la Formation de Kheneg el Aatène (Arénig) dans la région  
éponyme (Monts d'Ougarta, Sahara algérien nord-occidental)**

**Présenté par : Mlle GHENNI Radjaa**

**Devant le jury composé de :**

- **Président : M. BELKHEDIM S.**
- **Encadrant : M. BOUTERFA B.**
- **Examineur : M. MAHBOUBI C.Y**

**Année universitaire : 2021/2022**

## Dédicaces

Je remercie Allah le Tout Puissant de m'avoir donné la volonté pour terminer  
mes bonnes années d'étude

A la mémoire de mon Cher et regretté Père. Qu'Allah lui accorde sa miséricorde et  
l'accueille dans son vaste paradis

Un grand merci à ma Maman qui m'a beaucoup aidé. C'est grâce à elle  
que j'ai pu réaliser ce que je suis maintenant

Je dédie ce modeste travail à :

- Mes chers neveux Adel, Malek, Ferial, Aymen
- Toute ma famille, Mes sœurs, la famille **Laggoun**
- **Boucetta A., Taourit S. et Arbouche M,**
- Mes camarades Taouaf K., Telli N., Dahmani M, Chouate N, Rechidi H., Chirindza A., Rahmani A, Sahnoun T., benaaoum H., Sanaa Y., Bendjerd H., Bouazza S.

Je tiens à remercier vivement mes camarades d la mission de terrain,

**Akriche Imane et Bouhajera Chakib**

## Avant-propos

La personne que je dois remercier intensément est mon encadrant et rapporteur Monsieur **BOUTERFA B.** Merci de m'avoir fait l'honneur de diriger ce mémoire. Vous demeurez pour moi un exemple à suivre pour vos qualités scientifiques et humaines. J'ai apprécié votre gentillesse inégalée, votre aide et vos conseils si précieux. J'ai eu la chance d'être votre étudiante durant mes études de master.

J'exprime ma profonde et sincère gratitude à **M. BELKHDIM S.** pour avoir accepté de présider le jury de ma soutenance.

Je remercie profondément **M. MAHBOUBI C.Y.** pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de faire partie du jury de ce mémoire. Qu'il trouve dans ce travail l'expression de mon profond respect.

Je tiens également à remercier **M. NAIMI N.** (Université de Ouargla) pour son aide à la détermination et l'interprétation des traces fossiles. Sa collaboration m'a été très importante dans l'interprétation sédimentologique.

Je remercie également **MM. BENRAMDANE Hocine** et **SADDJI Redouane** pour avoir contribué à ma formation.

J'exprime enfin mes vifs remerciements à **MM. Hocine BOUZA** et **Rachid** pour leur aide dans la confection des lames minces.

A tous, Merci

# Résumé

Notre travail est une contribution à l'étude des terrains ordoviciens du Sahara algérien. Il est consacré à une étude détaillée de la formation de Kheneg el Aatène (Arénig), dans les Monts d'Ougarta (Région de Beni Abbès).

L'étude lithostratigraphique de la formation nous a permis de définir 2 membres, un Membre inférieur des Grès micacés (50 m), constitué d'une alternance argilo-gréseuse, et un autre supérieur Quartzitique (50 m), matérialisé par 2 grands ensembles à dominance gréseuse, séparés par un niveau argileux.

La partie sédimentologie, basée sur la description et l'interprétation des faciès et sous-faciès, en terme hydrodynamique et paléontologique, nous a permis de définir 3 associations (notés A, B, C), traduisant un environnement d'abord d'*offshore transition* (Membre inférieur des Grès micacés), puis *shoreface* (Membre supérieur Quartzitique) et, enfin, d'*offshore* (partie terminale de la formation).

L'essai d'interprétation séquentielle des dépôts montre une phase transgressive (Association A), au sein d'un Cortège Transgressif, suivi par une autre régressive (Association B), dans un Cortège de Haute Niveau.

**Mots-clés :** Lithostratigraphique, Sédimentologie, Organisation séquentielle, Arénig, Kheneg el Aatène, Monts d'Ougarta, Sahara algérien.

# Chapitre 1

## Généralités

## INTRODUCTION

L'objectif du travail effectué dans ce chapitre consiste à présenter la situation générale et locale de la région d'étude, aussi bien dans son contexte géographique que géologique et structural et enfin, l'état de connaissance sur les principaux travaux réalisés sur la formation faisant l'objet de notre étude à savoir, la formation du Kheneg el Aatène

## I- CADRE GEOGRAPHIQUE

### A- Situation générale de la Chaîne d'Ougarta (Fig. 1)

Les Monts de l'Ougarta sont localisés sur la partie nord-ouest du Sahara algérien. Ils s'étendent sur 450 km de long et 200 km de large et sont situés à 250 km au Sud de la ville de Béchar. Ces reliefs sont limités au Nord, par le Hamada du Guir, au NE, par le Grand Erg occidental, au NW, par le Kem Kem et la Hamada du Draa, au SE, par le Touat et au SW, par l'Erg Iguidi et Erg Chech (Fig. 1).

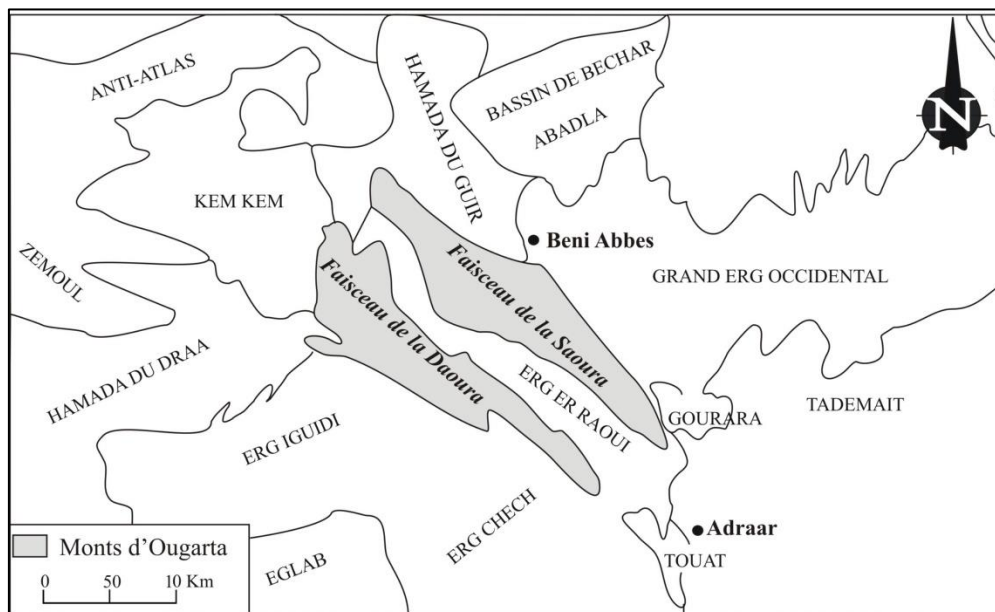


Fig. 1 : Situation géographique des Monts d'Ougarta (d'après Fabre, 1976, modifié in HERVOUET et DUEE, 1996).

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

Notre secteur d'études se situe à Kheneg el Aatène, à 70 km au SW de la ville de Beni Abbès et 13 km au Sud du village d'Ougarta. Il est limité au Nord par El Mizane, au Sud par El Kseib, à l'Est par une grande dépression (sebkha d'Ougarta) le séparent de Erg el Djemel et à l'Ouest par Koudiat el Mdaga (Fig. 2).

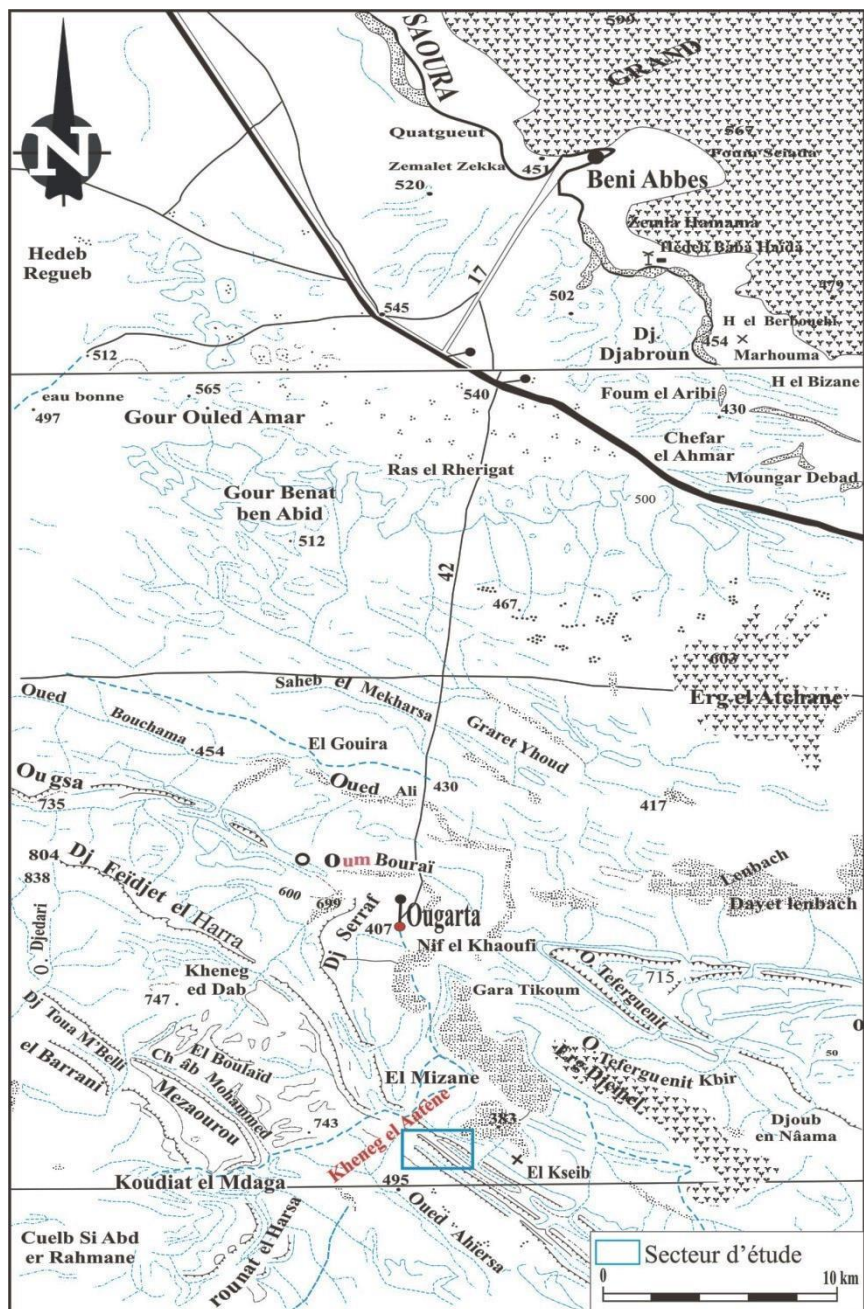


Fig. 2- Cadre géographique du secteur d'étude (Extrait de la carte topographique au 5000 000 de Béchar).

## II- CADRE GEOLOGIQUE

### A- Cadre géologique général de Monts d'Ougarta

D'après HERVOUET et DUEE (1996), les Monts d'Ougarta forment une chaîne chevauchante caractérisée par l'existence de plis massifs et affectée par l'orogénèse calédonienne et hercynienne.

La Chaîne d'Ougarta constitue une zone mobile aulacogène (SHATSKY, 1955 ; DONZEAU, 1974; COLOMB et DONZEAU, 1974). Elle est formée par un substratum volcanique et

volcano-sédimentaire, d'âge précambrien, surmonté par une couverture sédimentaire, allant du Cambrien au Carbonifère (DONZEAU, 1971 ; FABRE, 1976).

Le Précambrien est constitué à l'Est (Sebkha el Melah) et au Sud (Erg el Atimine) de dépôts sédimentaires attribués à des flyschs et, à l'Ouest (Djebel Bou Kabaïssat et Djebel Bet Touaris), d'épandages rhyolitiques occupant le cœur des anticlinaux (CHIKHAOUI, 1974 et 1981).

Le Paléozoïque est représenté par 4 barres gréseuses bien marquées dans le paysage (Fig. 3) ; deux parmi elles intéressent le Cambrien au sein de la formation d'Ain en Néchéa (Barre I et II) et deux autres l'Ordovicien (Barre III : Formations de Kheneg el Aatène et Barre IV : Formation de Bou M'Haoud).

Le Silurien, essentiellement argileux, apparaît dans des dépressions synclinales, notamment aux alentours d'Ougarta au Nord (Draa Ben Zerg), au SE (Erg El Djemel) et à l'Ouest (Bou M'Haoud-Erç Chebhi).

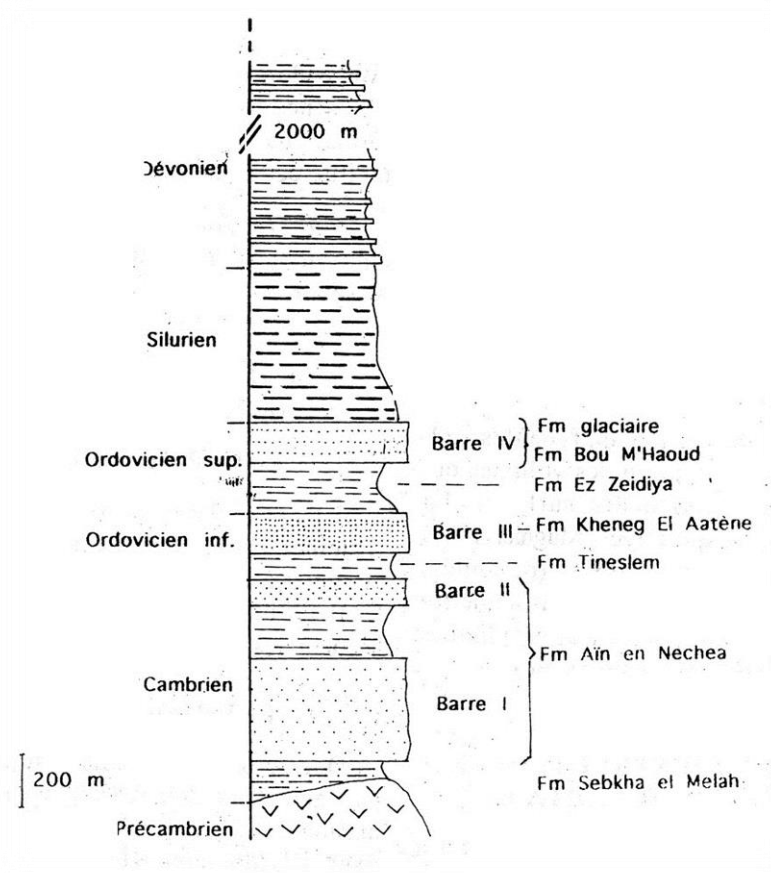


Fig. 3- Colonne stratigraphique synthétique des formations du Paléozoïque des Monts d'Ougarta (DONZEAU, 1971b ; Fabre, 1976, in HERVOUET et DUEE, 1996).



## B- Cadre géologique du secteur d'étude (Fig. 4)

Le secteur de Kheneg el Aatène est caractérisé par l'affleurement de toutes les formations de l'Ordovicien. Il s'agit de 5 formations (Fig. 3) :

- la formation de Foug Tineslem, notée O<sup>1</sup>;
- la formation de Kheneg el Aatène, notée O<sup>2</sup>, O<sup>2-3</sup> et O<sup>3</sup> ;
- la formation de Foug el Zeidiya, notée O<sup>4</sup> ;
- la formation de Bou M'haoud, notée O<sup>5</sup> ;
- la formation de Djebel Serraf, notée O<sup>6</sup>.

Ces formations occupent, dans ce secteur, le flanc oriental d'un grand anticlinal dont l'axe est orienté NE-SW.

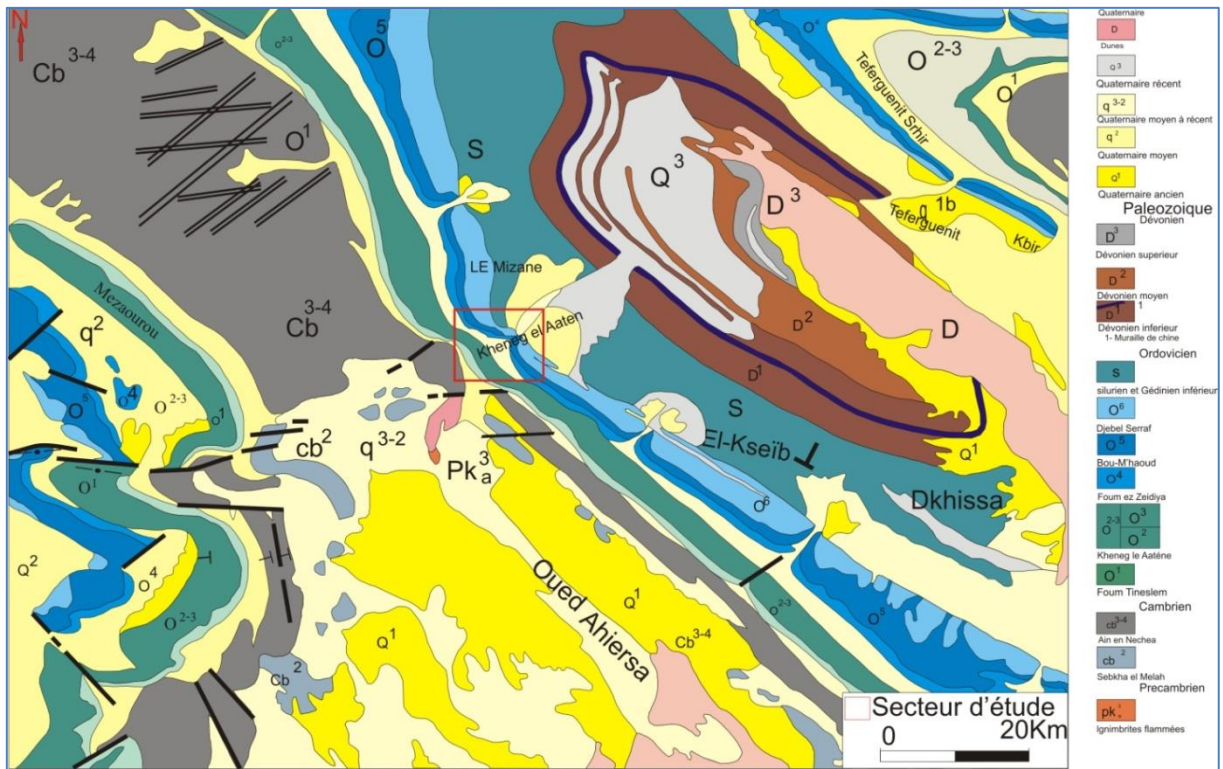


Fig. 4- Carte géologique de secteur d'étude (Extrait de la feuille NH-30-X au 1/200 000 d'Ougarta, in BACHIR, 2017).

## III- CADRE STRUCTURAL DE LA CHAÎNE D'OUGARTA

Les Monts d'Ougarta constituent une zone de plissement varisque, bâtie sur l'emplacement d'une fosse subsidente, allongée NW-SE (HERVOUET et DUEE, 1996).

L'étude structurale réalisée par DONZEAU (1971, 1974) dans les Monts d'Ougarta a révélé que la série paléozoïque et son substratum précambrien sont affectés par un plissement en vastes synclinaux et anticlinaux, allongés généralement suivant une direction NW-SE.

HERVOUET et DUEE (1996) notent la présence de 4 unités structurales avec un autochtone relatif à Erg Chech (Fig. 5).

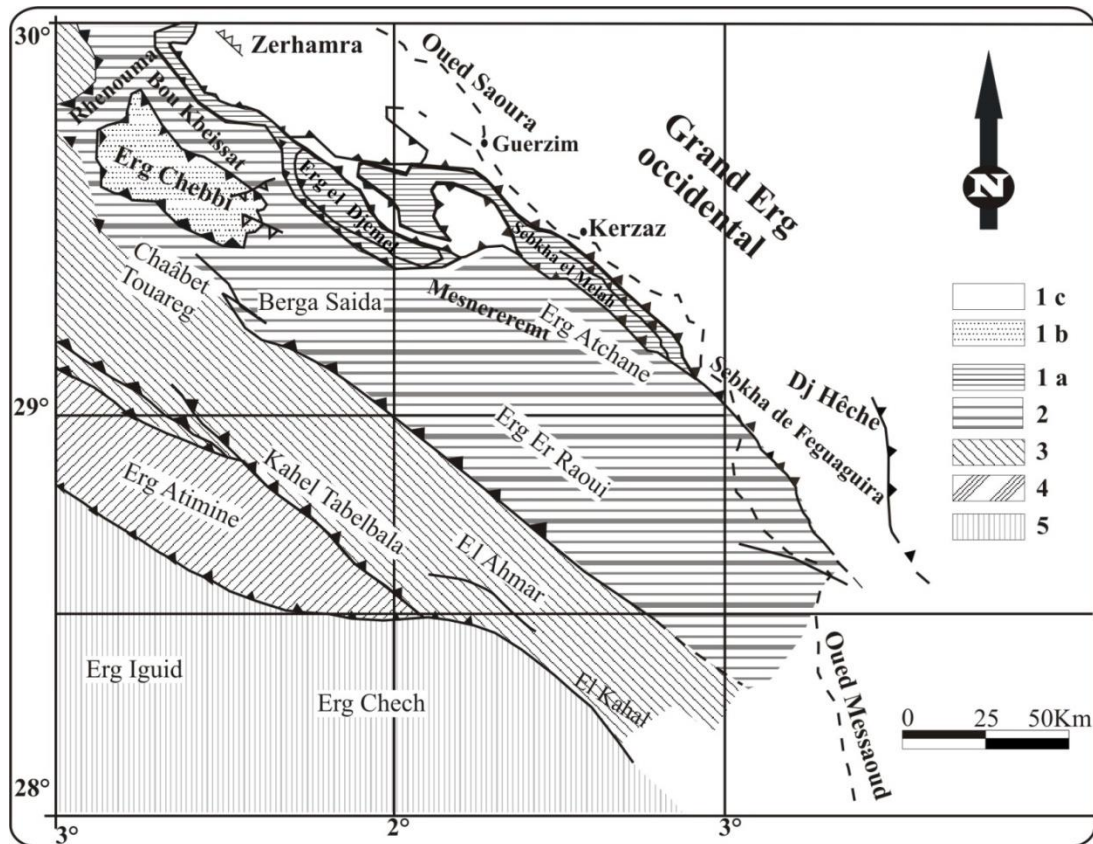


Fig. 5- Carte présentant les unités structurales des Monts d'Ougarta (D'après HERVOUET et DUEE, 1996).

Légende : 1- Unité septentrionale (1a : Sebka el Melah ; 1b : Dar Oussakh ; 1c : Guerzim ; 2- Djebel Boukbeissat-Erg Atchane ; 3- Kahal Tabelbala ; 4- Erg Atimine ; 5- Erg Chech (autochtone relatif).

#### IV-HISTORIQUE DES PRINCIPAUX TRAVAUX SUR LA FORMATION DE KHENEG EL AATENE

C'est en 1963 que GOMES SILVA *et al.* donnent la nomenclature et définissent, pour la première fois, les 5 formations ordoviciennes des Monts d'Ougarta. Celles-ci sont comprises entre "la Dalle à Lingules" (Sommet de la formation d'Ain en Néchéa - Cambrien) et les argiles du Silurien. Il s'agit des formations suivantes : (1) Argilo-gréseuse de Foug Tineslam, (2) Kheneg el Aatène, (3) Argilo-gréseuse de Foug ez Zeidiya, (4) Bou M'haoud et enfin (5) Djebel Serraf.

L'épaisseur de la formation de Kheneg el Aatène a été estimée par ces auteurs à 200 m. Elle est définie comme étant constituée de 2 membres :

(1) un membre inférieur des grès micacés (90 m) : il est composé par des grès rouges, ferrugineux, en bancs décimétriques ou en plaquettes qui passent vers le haut à des bancs mieux individualisés, plus épais et de nature quartzitique.

(2) un membre supérieur (110 m) : ce membre forme la première crête de l'Ordovicien dans la Chaîne d'Ougarta. Il est formé par un ensemble continu de quartzite en bancs métriques, surmontés de bancs plus minces à Tigillites (*Skolithos*). Le sommet est souligné par un niveau de minerai ferrugineux à oolithes chloriteuses.

Puis en 2005, **FABRE** et **KAZI-TANI** effectuent une synthèse sur l'histoire géologique du Sahara algérien dans laquelle il note que la formation de Kheneg el Aatène est formée de deux membres à dominante détritique. Cette formation est clôturée par un minerai de fer (oolithes ferrugineuses) qui se serait déposé dans un milieu marin calme, peu profond, et qui marquerait l'amont d'une transgression. Il note également que les quelques brachiopodes découverts dans les grès (Lingulidés, Obolidés) permettent de les attribuer à l'Arénig.

Deux ans plus tard, **GHIENNE *et al.***, dans leur étude sur les dépôts cambro-ordoviciens des Monts D'Ougarta, suggèrent la présence d'une succession de 6 séquences transgressives / régressives. Les séquences 4 et 5 concernent, en partie, notre formation d'étude (Kheneg el Aatène). La 4<sup>ème</sup> séquence comprend la partie supérieure de la formation du Foug Tineslem et la partie inférieure de celle du Kheneg el Aatène. Il s'agit d'un cortège régressif qui atteint jusqu'à 400 m d'épaisseur et qui s'est mis en place depuis une plate-forme interne, jusqu'à la *shoreface*. La 5<sup>ème</sup> séquence de dépôt correspond à la partie supérieure de la formation du Kheneg el Aatène et à la partie inférieure de celle du Foug ez Zeidiya. Cette séquence comprend des dépôts tidaux et de *shoreface*, relativement épais (60 m) et s'intègre dans un cortège transgressif.

En 2017, **BACHIR** a présenté un travail sur la lithostratigraphie, la sédimentologie et l'organisation séquentielle de la coupe-type de la formation du Kheneg el Aatène (Arénig). Cette étude lui permet de reconnaître et de décrire les 2 membres cités précédemment par **GOMES SILVA *et al.*** (1963) : un membre inférieur des grès micacés (40 m) constitué d'une alternance argilo-gréseuse, et un membre inférieur quartzitique (110 m), matérialisé par une succession serrée de bancs de quartzite, riches en structures hydrodynamique et en traces fossiles.

Cet auteur définit 3 associations de faciès (notées A, B et C), traduisant un environnement d'abord d'*offshore transition* (Membre inférieure des grès micacés), puis *shoreface* (majorité

du membre supérieur quartzitique), et enfin *offshore* (dernière combe d'argiles et niveau oolithique ferrugineux de la formation). Ces dépôts s'organisent dans une phase à tendance régressive (Associations A et B) au sein d'un cortège de haut niveau, suivi d'un autre de Bordure de Plate-forme, puis dans une phase transgressive (Association C) dans un cortège rétrogradant et transgressif.

En **2020**, **BOUSMAHA** étudie la formation de Kheneg el Aatène dans le secteur du Kheneg Tlaia. Elle reconnaît les 2 deux membres : un membre inférieur (150 m) des Grès micacés, caractérisé par une alternance argileux-gréseux et un membre supérieur (60 m) correspondant à une succession serrée de bancs de quartzite. L'interprétation des faciès et sous-faciès, en terme surtout hydrodynamique, lui permet de définir 2 associations de faciès notés A et B et correspondant respectivement à un environnement d'*Offshore de transition* (membre inférieur des grès micacés), puis le *Shoreface* (membre supérieur quartzitiques).

Enfin, en **2021**, **ZENNOUCHE** aborde l'étude de cette formation dans le secteur de Nif el Khaoufi où elle décrit 2 membres : un membre inférieur des grès micacés (20 m), constitué d'une combe argileuse à intercalations de bancs de grès micacés, et un autre inférieur quartzitique (60 m), formé d'une succession serrée de bancs de quartzites, à structures sédimentaires hydrodynamiques et à traces fossiles.

L'étude sédimentologique de cette formation a permis à l'auteur de définir 2 associations de faciès traduisant un environnement d'abord d'*offshore transition* (Membre inférieure, association A), puis de *shoreface* (Membre supérieur, association B) qui s'inscrivent respectivement dans une phase transgressive, puis une autre régressive.

## **V- OBJECTIF & METHODE DE L'ETUDE**

### **A- Objectif de l'étude**

Le but de notre travail est l'étude lithostratigraphique et sédimentologique d'une coupe levée dans la formation de Kheneg el Aatène (Monts d'Ougarta), au cours d'une mission réalisée au mois de mars 2022. Cette étude nous permettra de définir les environnements de dépôts ainsi que l'organisation séquentielle des corps sédimentaires.

### **B- Méthode de travail**

Notre travail est basé sur deux phases :

- **une première phase de terrain** : Elle consiste à un levé d'une coupe géologique détaillée ("banc par banc"), avec des prélèvements d'échantillons de roches, en utilisant

un marteau de géologue, une loupe de poche et un appareil photo numérique pour les illustrations ;

- **une seconde phase** : elle est basée sur la recherche de documentation relative à notre thématique et sur un travail de laboratoire. Ce dernier a été réalisé à l'atelier du Département des Sciences de la Terre (Université Oran2). Il consiste à la préparation et l'étude, au microscope polarisant, des sections de lames minces des échantillons prélevés au cours de notre mission de terrain, ce qui nous permettra de compléter la description des faciès de notre coupe.

Au cours de cette phase, les ichnofossiles trouvés dans la coupe ont été déterminés et décrits par M. NAIMI Mohammed Nadir (Université de Laghouat Amar Telidji).

# Chapitre 2

Description  
Lithostratigraphique



## INTRODUCTION

Ce second chapitre est consacré à la description lithostratigraphique de la coupe de Kheneg el Aatène. Elle concerne la formation hyponyme définie pour la première fois par GOMES SILVA *et al*, en 1963.

## I- DISCRIPTION LITHOSTRATIGRAPHIQUE

### A- Situation de la coupe

La coupe a été levée à la sortie ouest de Kheneg el Aatène, pas loin de la piste menant à Bou M'Haoud (Fig. 6). Ses coordonnées GPS sont :

A : N29°32'32.00'' W002°17'07.40''

B : N29°32'40.26'' W002°16'40.67''

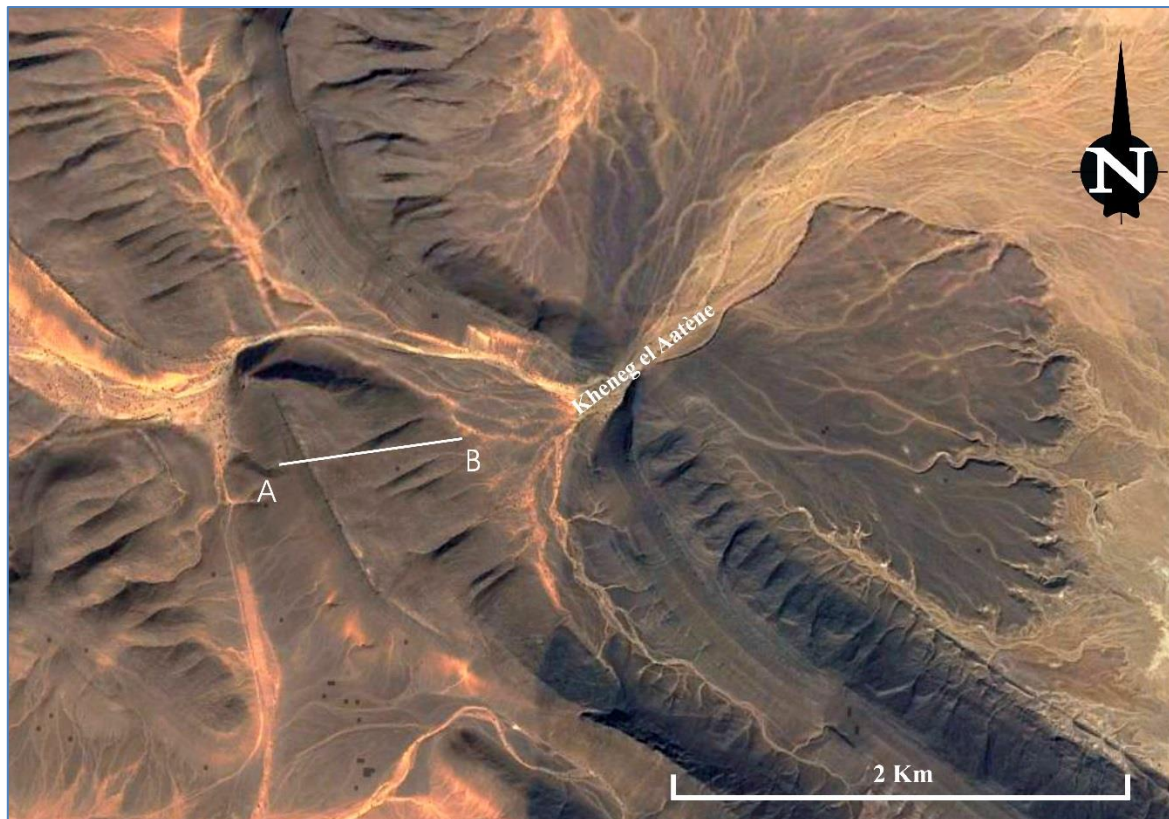


Fig. 6- Image satellite montrant la situation de la coupe de la formation de Kheneg el Aatène.

### B- Description de la coupe (Fig. 7)

La formation de Kheneg el Aatène commence après une épaisse combe argileuse appartenant à la partie sommitale la formation de Foum Tineslem (Fig. 7 et 8).

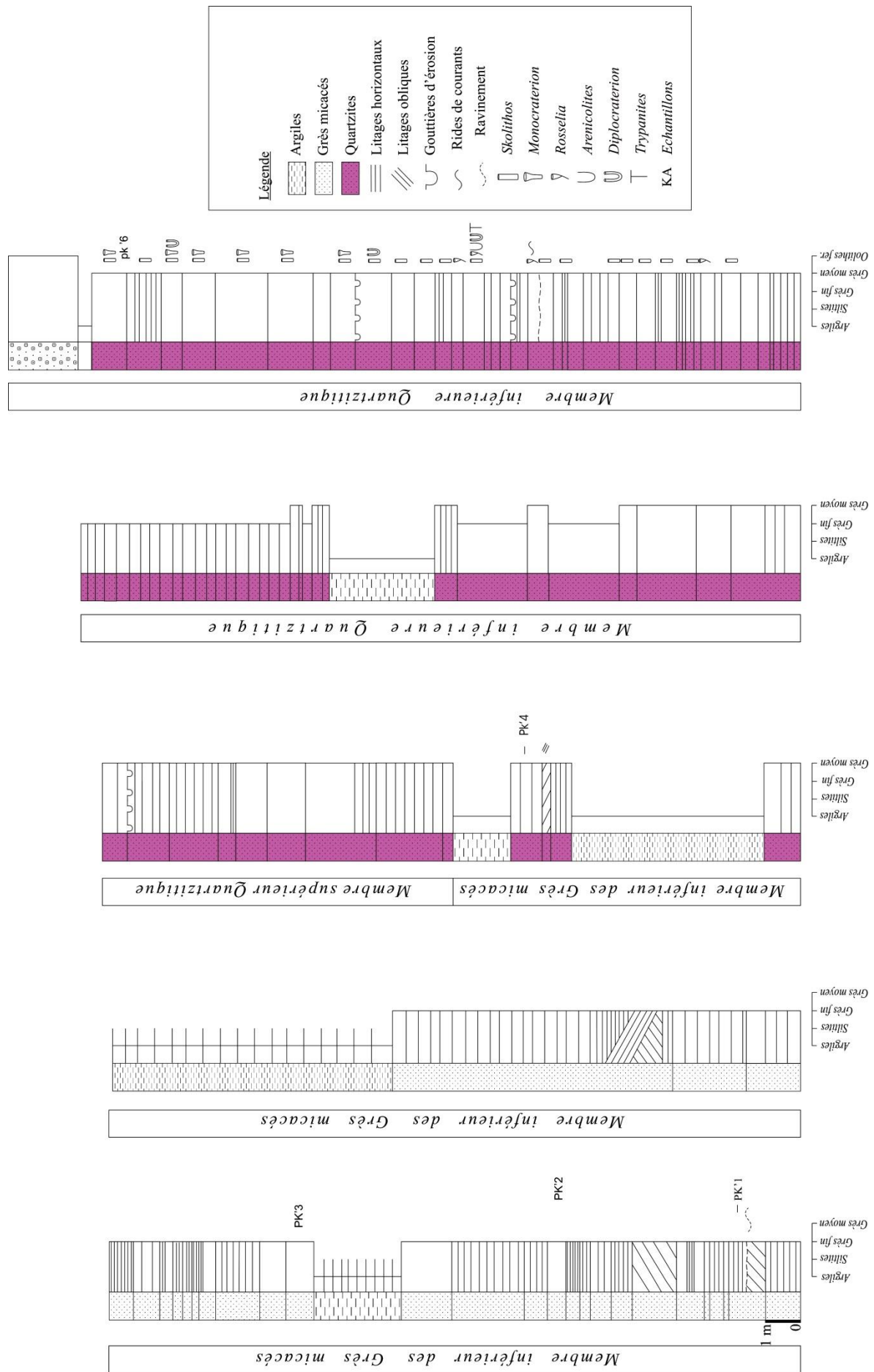


Fig. 7- Colonne lithologique de la coupe de Kheneg el Aatène.





Fig. 8 - Photo panoramique montrant les affleurements des formations de Foum Tineslem (A) et de Kheneg el Aatène (B).

Légende : a : Membre inférieur des Grès micacés, b : partie basale du membre supérieur Quartzitique.

Notre coupe a une épaisseur d'environ 100 m. Elle est constituée par des dépôts essentiellement détritiques et montre les 2 membres définis classiquement par GOMES SILVA *et al.*, en 1963 : un membre inférieure des Grès micacés et un membre supérieur Quartzitique (Fig. 7 et 8).

### **1- Membre inférieur des Grès micacés (50 m)**

Le membre inférieure de la formation de Kheneg el Aatène commence par un premier ensemble (14,50 m) de bancs de grès fins, micacés (psammites), de couleur brunâtre à la patine et rougeâtre à la cassure, peux carbonatés. L'épaisseur de ces bancs varie de 0,15 à 2,00 m et sont souvent d'aspect feuilleté. Certains bancs montrent la présence de litages horizontaux (Pl. I, fig. 1 et 2), d'autres, des litages obliques (base du membre - Pl. I, fig. 3).

Le membre se poursuit par un niveau argileux de 2,50 m d'épaisseur, puis par un second ensemble épais (18,00 m) formant une alternance serrée de bancs de grès micacés rougeâtres, d'ordre décimétrique à métrique. On y note principalement des litages horizontaux. Cependant, une des strates montre des litages obliques en mamelons (*Hummock Cross-*

*Stratifications* ou HCS), surmontés par des litages de rides de vagues en chevrons, puis enfin par des litages horizontaux (Pl. I, fig. 4).

La partie supérieure du membre est matérialisée par une combe argileuse à plaquettes de siltites, dans laquelle s'intercalent deux petits niveaux gréseux, respectivement de 1,00 et de 1,80 m d'épaisseur. Le premier est d'abord très induré et à litages horizontaux discrets ; il s'effrite ensuite en plaquettes (Pl. I, fig. 5). Le second niveau de quartzite est constitué de 3 bancs dont le premier et le dernier sont massifs et le médian (0,30 m), à litages obliques favorisant la formation de plaquettes (Pl. I, fig. 6).

## **2- Membre supérieur Quartzitique (50 m)**

La partie basale de ce second membre est bien visible dans le paysage et forme une véritable corniche (Fig. 7 et 8). Elle est constituée de 2 grands ensembles à dominance gréseuse, séparés par un niveau argileux d'environ 3,00 m d'épaisseur (Fig. 7).

Le premier ensemble à dominance gréseuse est matérialisé par une succession serrée de bancs de quartzite, de couleur grisâtre à la patine et blanchâtre à la cassure. Leur épaisseur varie entre 0,50 à 2,00 m (Pl. II, fig. 1). Ils sont d'aspect induré ou en plaquettes et séparés par des joint argileux ou des diastèmes.

La plupart des strates ne montre aucune figure sédimentaire. Cependant, la base d'un grand banc quartzitique, d'environ 2,50 m d'épaisseur (Pl. II, fig. 1), est soulignée à la base par des gouttières d'érosion ou *gutter casts* (Pl. II, fig. 2) et montre en section des laminations horizontales discrètes (Pl. II, fig. 3).

Ce premier ensemble est clôturé par une superposition de bancs de quartzite mal stratifiés, formant le sommet de la crête (Pl. II, fig. 4).

Le deuxième ensemble à dominance gréseuse affleure sur le versant oriental du relief. Il montre également une succession serrée de bancs quartzitiques, d'épaisseur variable (0,20 à 1,50 m), généralement massifs, parfois en plaquettes, de couleur sombre à la patine, blanchâtre à la cassure et à rares litages horizontaux et rides de courant.

Certaines strates sont marquées à leurs bases par des structures d'érosion de type gouttières (Pl. II, fig. 5).

Par ailleurs, cet ensemble est caractérisé par la présence de traces d'activité organique (ichnofossiles). Celles-ci occupent la section ou le sommet des strates et sont de divers type. Il s'agit de *Skolithos*, *Monocraterion*, *Arenicolites*, *Asteriacites* et *Tripanites* (Pl. III, IV et V). On note que les *Skolithos* sont les plus abondants avec une longueur variable (de 5 à 30 cm).

La fin de la formation de Kheneg el Aatène coïncide avec un niveau ferrugineux de 2 m d'épaisseur, bien visible sur le revers oriental de la colline. Il est de couleur rougeâtre à brunâtre et sépare cette formation de celle de Foum ez Zeidiya.

## **II- ATTRIBUTION STRATIGRAFIQUE**

L'attribution stratigraphique sera basée sur les travaux des anciens auteurs, vu qu'aucun fossile n'a été trouvé dans notre coupe.

D'après GOMEZ SILVA et *al.* (1963) notent, dans la coupe-type de Kheneg el Aatène, située à environ 700 m au Nord de notre secteur d'étude, la présence de brachiopodes inarticulés (*Lingulidae* et *Obolidae*) la base du membre supérieur et dans le minerai de fer clôturant cette formation. Cette faune ne leur permet pas d'avancer un âge précis à ces dépôts qu'ils attribuent alors au Cambrien *s.l.* (p. 139).

FABRE (1976), ensuite FABRE et KAZI-TANI (2005), citent cette même faune de fossiles qu'ils attribuent à l'Arénig, mais sans apporter de preuves paléontologiques supplémentaires.

Actuellement, cette formation est considérée comme étant de l'Arénig.

# Chapitre 3

## Sédimentologie & Organisation séquentielle

## **INTRODUCTION**

Ce dernier chapitre sera consacré à la définition des principaux faciès de la formation du Kheneg el Aatène, dans le but de déterminer les conditions de mise en place et les environnements de dépôts. Ces faciès seront définis à partir des attributs observés tout au long des affleurements, notamment la lithologie, la granulométrie, la stratonomie et les structures sédimentaires.

## **I- DESCRIPTION & INTERPRETATIONS DES FACIES**

Trois principaux faciès ont été définis dans la formation de Kheneg el Aatène. Il s'agit des **Argiles**, des **Grès** et des **oolithiques ferrugineuses**.

### **A- Faciès argileux (FI)**

#### **1- Description**

Les argiles caractérisent le mieux le membre inférieure de la formation. Leur épaisseur varie du simple de joints de stratifications ou d'assez grandes, à 6 m. Elles admettent souvent en leur sein des plaquettes de siltites.

#### **2- Interprétation**

Les dépôts argileux se sont mis en place par phénomène de décantation (empilement lent et vertical) des particules fines en suspension, dans un milieu plutôt calme, après la diminution de la vitesse du flot hydrodynamique.

### **B- Faciès gréseux (FII)**

#### **1- Description**

Ce faciès caractérise presque toute la formation. Il se présente soit en bancs de grès micacés, notamment dans le membre inférieur, soit quartzitiques, dans la partie sommitale de ce membre et dans tout le second membre (Fig. 7, p. 13).

Dans le premier membre, il s'agit de bancs de 0,15 à 2,00 m, de teinte brunâtre à la patine, rougeâtre à la cassure, à grain généralement fins, peux carbonatés et s'effritant souvent en plaquettes (Pl. I, fig. 1 à 5).

L'étude microscopique des quelques échantillons de roches (PK'1, PK'2) (Pl. VI, fig. 1 et 2) montre que les grains de quartz sont fins et présentent une forme sub-anguleuse à anguleuse. Les micas blancs se présentent en paillettes allongées (5%), les noirs ont une proportion de 3%. Le ciment est généralement de nature argilo-ferrugineuse (7%).

Quant aux bancs quartzitiques (Pl. I, fig. 6 ; Pl. II, 1 à 5), ils sont généralement plus indurés, d'épaisseur allant de 0,5 à 2,0 m, grisâtres à la patine, blanchâtres à la cassure, massifs ou à litages horizontaux s'effritant en plaquettes.

L'étude microscopique d'un échantillon des quartzites (PK'4) (Pl. VI, fig. 3) montre que les grains de quartz présentent une forme sub-anguleuse à sub-arrondie et leurs contacts sont généralement longs et concavo-convexes. On note également quelques grains de muscovite (10%).

Le faciès des Grès (FII) peut être subdivisé en 7 sous-faciès.

### **1.1- Sous faciès des grès à laminations horizontales (FII-a)**

#### **a)- Description**

Ce sous-faciès s'observe dans les deux membres de la formation d'étude, au sein des grès micacés et des quartzites (Pl. I, 1, 2 et 5 ; Pl. II, fig. 3). Certaines laminations horizontales favorisent le feuilletage des bancs.

#### **b- Interprétation**

Ce type de laminations s'observe dans des sédiments sableux et argileux (COJAN et RENARD 2013). Les laminations horizontales reflètent l'action d'un courant unidirectionnel mis en place sous l'effet d'un régime d'écoulement hydrodynamique inférieure à supérieure (COJAN et RENARD, 2013). Le courant est trop rapide pour permettre la formation de mégarides, mais encore trop lent pour que naissent des antidunes (Fig. 9). Les particules de sables se déplacent par charriage, et petits glissement centre le fond (CHAMELY, 2000 ; COJAN et RENARD, 2013).

### **1.2- Sous-faciès des grès à laminations obliques tabulaires (FII-b)**

#### **a)- Description**

Les laminations obliques tabulaires ont été observées à la base et au sommet du premier membre des Grès micacés (Pl. I, fig. 3). La base de ces figures est angulaire.

#### **b- Interprétation**

Les laminations obliques tabulaires naissent dans des zones peu profondes, soumises à un régime d'écoulement supérieur et une forte énergie (zones côtières de plages, d'estuaires, de delta, rivières).

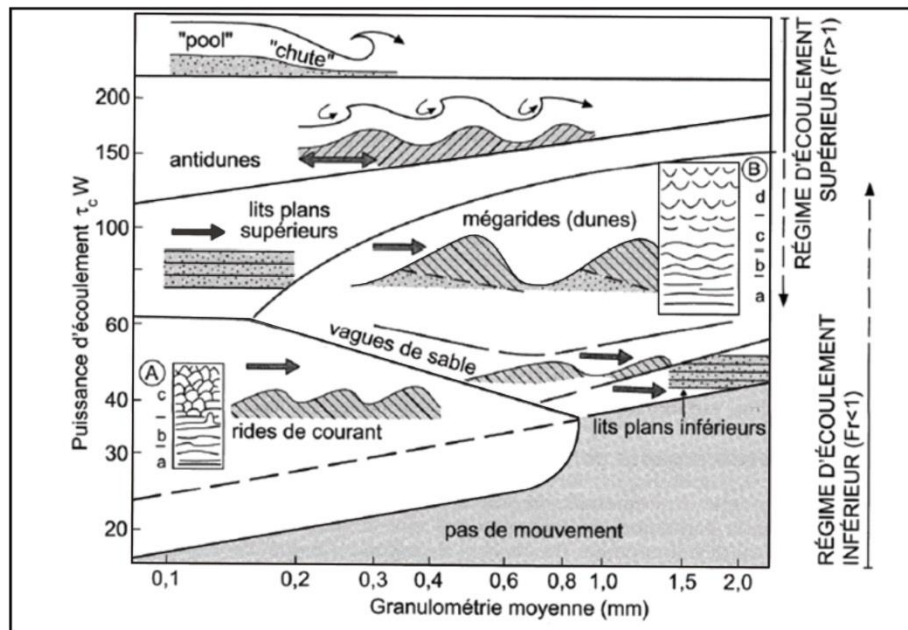


Fig. 9- Principales formes sédimentaires en fonctions du régime d'écoulement unidirectionnel (d'après BLATT *et al.*, 1980 et REINECK et SINGH, 1980).

Ces structures sont généralement attribuées aux laminations des mégarides 2D (crêtes rectilignes) et correspondent aux mégarides de Type I de DARLRYMPLE *et al.* (1978), structures équivalentes des "petites dunes".

Ces structures se forment sous l'action d'un courant rapide, sous un régime d'écoulement supérieur (Fig. 9), et sont fréquentes dans des milieux peu profonds, soumis à une forte énergie (fleuves, estuaires, baies exposées, etc.). Elles peuvent également se former à de plus grandes profondeurs (plate-forme), lorsque les courants sont violents, c'est le cas dans la Manche (CHAMLEY, 2000 ; CHAMLEY et DECONINCK, 2011).

### 1.3- Sous-faciès des grès à litages obliques en mamelons (FII-c)

#### a)- Description

Les litages obliques en mamelons, ou *Hummocky Cross-Stratification*, sont observés au sein d'une strate gréseuse à grains moyens, de couleur rougeâtre à la cassure, brunâtre à la patine, dans le membre inférieure de notre formation.

#### b- Interprétation

Les litages obliques en mamelons sont des stratifications entrecroisées qui s'observent aussi bien dans les sédiments sableux ou gréseux que carbonatés (TUKER, 2003). Ils sont caractérisés par de larges ondulations, faiblement inclinée. Leur taille granulométrique se



situe entre les grains fins à moyens (DEVLEESCHOUWER, 2009). Ce type de stratifications est généré par des vagues de tempêtes, dans un régime d'écoulement intermédiaire entre la formation des rides et les stratifications entrecroisées de rides de vagues (LECKIE et WALKER, 1982, *in* MULDER *et al.*, 2009) (Fig. 10).

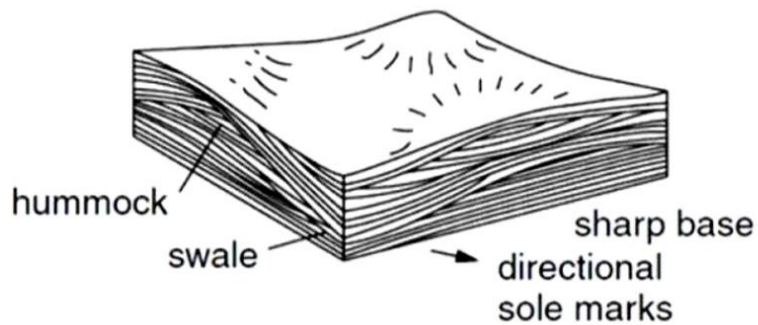


Fig. 10- Litages obliques en mamelons (d'après TUKER, 2003).

Les litages obliques en mamelons sont communs sur les plates-formes dominées par les courants de tempêtes, au-dessus de la limite d'action des vagues de tempêtes (Fig.11). Leur mise en place s'effectue dans l'*offshore supérieur* ou *offshore transition*.

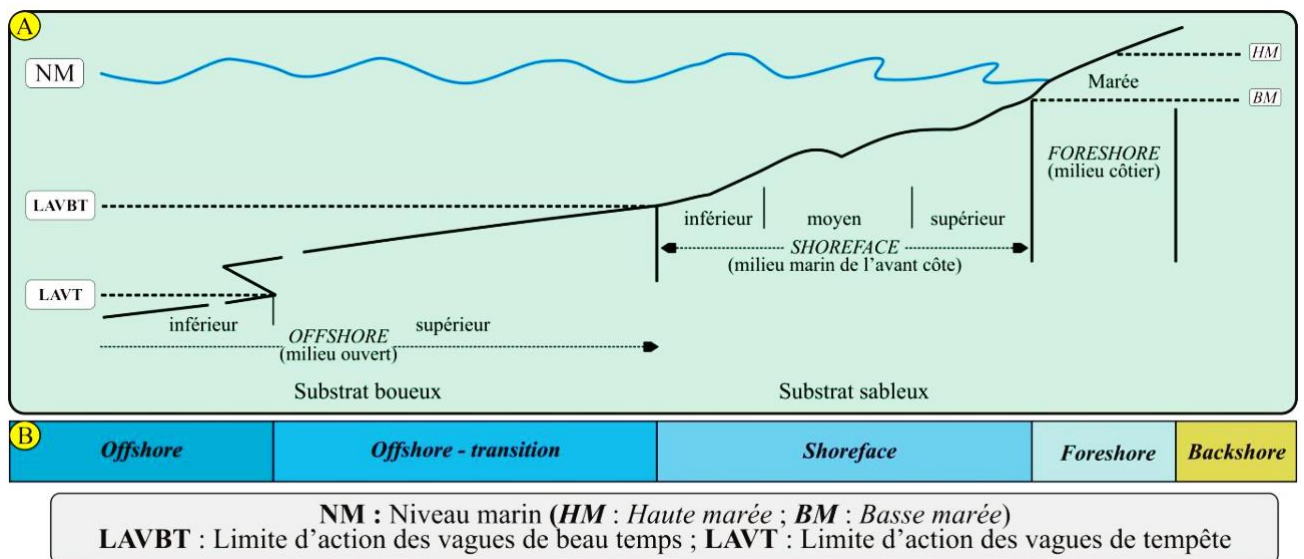


Fig. 11- Profil d'une plate-forme (nomenclature en fonction de l'hydrodynamisme) (*in* ABBACHE, 2019).

Légende : A : Subdivision de GUILLOCHEAU *et al.*, 1983 et PLINT *et al.*, 1992. B : Subdivision de KOMAR, 1976 et de READING et COLLINSON, 1996.

#### 1.4- Sous Faciès des quartzites massifs (FII-d)

##### a)- Description



Ce sous-faciès correspond à des bancs gréseux qui ne montrent aucune figure. Il implique les derniers bancs du membre inférieur et presque la majeure partie du second membre de la formation d'étude.

### **b)- Interprétation**

Plusieurs hypothèses ont été avancées par les auteurs pour expliquer l'absence des structures sédimentaires primaires au sein des bancs :

- une intense bioturbation qui vient complètement oblitérer les structures sédimentaires primaires (COJAN et RENARD, 1997). Dans ce cas, des terriers peuvent être visibles dans les sédiments adjacents (COLLINSON et MOUNTENEY, 2019), comme c'est le cas dans certains bancs observés dans notre coupe.
- l'aboutissement d'une sédimentation rapide (TUKER, 2003), ou très probablement d'une décélération d'un courant fortement chargé de sédiments (COLLINSON et MOUNTENEY, 2019)
- phénomène physique qui consiste à un remaniement intense des sédiments gorgés d'eau (liquéfaction) (COLLINSON et MOUNTENEY, 2019)
- action de la diagenèse. Ce phénomène est bien illustré dans notre coupe, notamment dans le membre supérieure de la formation qui est constitué uniquement de grès quartzitiques. Ces derniers sont formés de cristaux de quartz soudés, issus d'une cimentation par diagenèse d'un grès.

## **1.5- Sous-faciès des quartzites à gouttières d'érosion (II-e)**

### **a)- Description**

Les gouttières d'érosion, ou *gutter casts*, sont des structures d'érosion entaillant la base des bancs. Elles ont été observées à la base de bancs quartzitiques, dans le second membre de la formation. Leurs largeurs varient de 13 à 20 cm et leur profondeur environ 10 cm (Pl. II, fig. 2 et 5).

### **b)- Interprétation**

D'après MYROW (1992), les gouttières d'érosion sont des figures formées dans la zone côtière (*nearshore*), caractérisée par l'érosion et le transit sédimentaires, au cours des tempêtes. La force hydrodynamique de ces tempêtes crée les dépressions qui sont remplies par le matériel ramené par ces courants. L'érosion se produit sous un puissant flot dirigé

unidirectionnellement vers l'*offshore*. Ces structures semblent disparaître vers le large où les courants érosifs perdent de leur compétence.

### 1.5- Sous-faciès de quartzites à ichnofossiles (FII-f)

#### a)- Description

Les traces fossiles ou ichnofossiles apparaissent au sein des bancs de quartzite, dans la partie supérieure du second membre et deviennent plus abondantes en allant vers la fin de la formation du Kheneg el Aatène. Elles occupent les sections et les sommets des strates,

Trois formes principales (*Skolithos*, *Monocraterion* et *Arenicolites*), et d'autres accessoires (*Palaeophycus*, *Diplocraterion*, *Asteriacites* et *Rosselia*) de traces d'activité organique sont observées dans les affleurements (Fig. 12).

<b>Ichnotaxon</b>	<b>Toponomie</b>	<b>Abondance</b>	<b>Ethologie</b>	<b>Producteurs</b>
<i>Arenicolites isp.</i>	Epichnia, endichnia	Commun	Domichnia	Polychètes, crustacés
<i>Diplocraterion isp.</i>	Epichnia	Commun	Domichnia	Crustacés, Polychètes
<i>Rosselia erecta</i>	Epichnia	Commun	Domichnia, fodinichnia	Polychètes
<i>Skolithos isp.</i>	Epichnia	Commun	Domichnia	Vers, crustacés
<i>Skolithos linearis</i>	Endichnia, epichnia	Abondant	Domichnia	Vers, crustacés

Fig. 12- Tableau résumant les principales caractéristiques des ichnoassemblage étudié.

#### - *Arenicolites* SALTER, 1857

##### \* *Arenicolites isp.* (Pl. III, fig. A, B et C)

Ce sont des terriers verticaux en forme de U, ayant une longueur maximale de 150 mm, et composés d'une paire de tubes parallèles de 55 mm de long. Ils sont préservés en position épichniale et rarement endichniale. Leur diamètre est de l'ordre de 10 à 18 mm. La distance entre les deux ouvertures de terriers varie entre 20 et 40 mm. Certains spécimens sont remplis par un matériel gréseux quartzitique similaire à celui de la roche encaissante.

#### - *Diplocraterion* Torell, 1870

##### \* *Diplocraterion isp.* (Pl. III, fig. C et Pl. IV, fig. A et B)

Terriers verticaux en forme de U, préservés en position épichniale au sommet des bancs de grès quartzitiques. Le diamètre des cheminées est de 7 à 10 mm. Les deux ouvertures sont très rapprochées où elles sont distantes de 0 à 2 mm uniquement et possèdent parfois la forme d'un entonnoir. Les caractéristiques spécifiques de cet ichnotaxon telles les spreites sont

absentes dans les spécimens rencontrés due à leur conservation dans une position épichniale et non pas endichniale.

- **Rosselia** Dahmer, 1937

*Rosselia erecta* (Torell, 1870) (Pl. III, fig. C et Pl. IV, fig. C et D)

Des terriers verticaux à subverticaux simple, préservés en position épichniale, avec une ouverture ayant la forme d'entonnoir. Certains spécimens sont très semblables à *Skolithos*. Cette trace, attribuée classiquement à l'ichnoggenre *Monocraterion*, a été révisée récemment par KNAUST (2021) qui l'a intégrée dans l'ichnofamille des Rosselichnidae.

- **Skolithos** Haldeman, 1840

\* *Skolithos isp.* (Pl. IV, fig. D et V, fig. A)

Terriers verticaux, simples, cylindriques, de 3 à 7 mm de diamètre, préservés en position épichniale.

\* *Skolithos linearis* Haldeman, 1840 (Pl. V, fig. C, D et E)

Ils sont simples, droits, cylindriques, verticaux à subverticaux et non ramifiés, de 40 à 350 mm de long et 3 à 7 mm de diamètre, préservés en position épichniale. Les ouvertures sont dans la plupart des cas circulaires et rarement ovales. Ces terriers sont remplis d'un matériel boueux plus sombre et plus fin par rapport à celui de la roche encaissante quartzitique.

## **b) Interprétation**

*Arenicolites* est considérée comme une trace de demeure ou d'habitat (domichnia) produite par divers organismes suspensivores dans des substrats meubles. Des cas actuels sont produits par des polychètes et des crustacés (GINGRAS *et al.*, 2008 ; BRADSHAW, 2010 ; BAUCON *et al.*, 2014). Dans les environnements marins peu profonds, cette trace est associée à des dépôts de haute énergie (MANGANO et BUATOIS, 2016 ; KNAUST, 2017). *Arenicolites* est connue depuis le Cambrien (CRIMES *et al.*, 1977) jusqu'à l'actuel (BAUCON et FELLETTI, 2013), et consiste à une composante importante de l'ichnofaciès à *Skolithos* (KNAUST, 2017).

*Diplocraterion* correspond à une trace d'habitat, produite par des polychètes et des crustacés dans des substrats meubles ou fermes, et dans des contextes carbonaté ou siliciclastique (KNAUST, 2017). Cette trace est connue depuis le Cambrien jusqu'à l'actuel (MANGANO et

BUATOIS, 2016) et caractérise les environnements marins peu profonds et l'ichnofaciès à *Skolithos*.

*Rosselia erecta* est une trace d'habitat produite par des polychètes (ALPERT et MOORE, 1975 ; MCLLOY et GARTON, 2010 ; KNAUST, 2021), et/ou peut-être des anthozoaires cérianthaires (HALLAM et SWETT, 1966 ; KNAUST 2021), dans des environnements margino-littoraux (*foreshore*) et marins peu profonds (*shoreface*) (KNAUST, 2021). Cette trace est connue depuis le Cambrien (étages 2-3) (TORELL, 1870 ; ALPERT et MOORE, 1975) jusqu'au Crétacé (KUNDAL et SANGANWAR, 2000).

L'ichnogène *Skolithos* est considéré comme une trace d'habitat produite par divers organismes tels les vers suspensivores (VINN et WILSON, 2013), les crustacés (DASHTGARD et GINGRAS, 2012) et les anémones de mer (HERTWECK, 1972). Il est le principal ichnotaxon de l'ichnofaciès à *Skolithos* (Fig. 13). Cette trace fossile est utilisée généralement comme indicateur des conditions de haute énergie dans les environnements margino-littoraux (KNAUST, 2017). *Skolithos* est connu depuis le Cambrien jusqu'à l'actuel (MANGANO et BUATOIS, 2016).

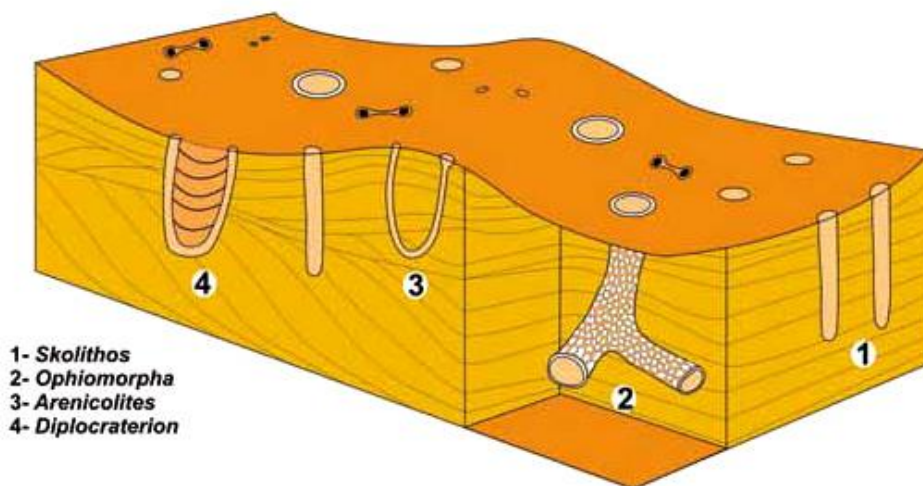


Fig. 13- Reconstitution schématique de l'ichnofaciès à *Skolithos* (D'après BUATOIS & MANGANO, 2011).

L'ichnoassemblage étudié est dominé par des traces d'habitat produites essentiellement par des polychètes. La trace la plus abondante est *Skolithos linearis*. Cette dernière forme avec *Rosselia erecta* (anc. *Monocraterion*) les *pipe-rocks* qui caractérisent les dépôts margino-littoraux du Paléozoïque inférieur. Les traces étudiées indiquent l'ichnofaciès à *Skolithos* (Fig. 13), et donc un milieu marin très peu profond à hydrodynamisme plus ou moins élevé (Fig. 14).

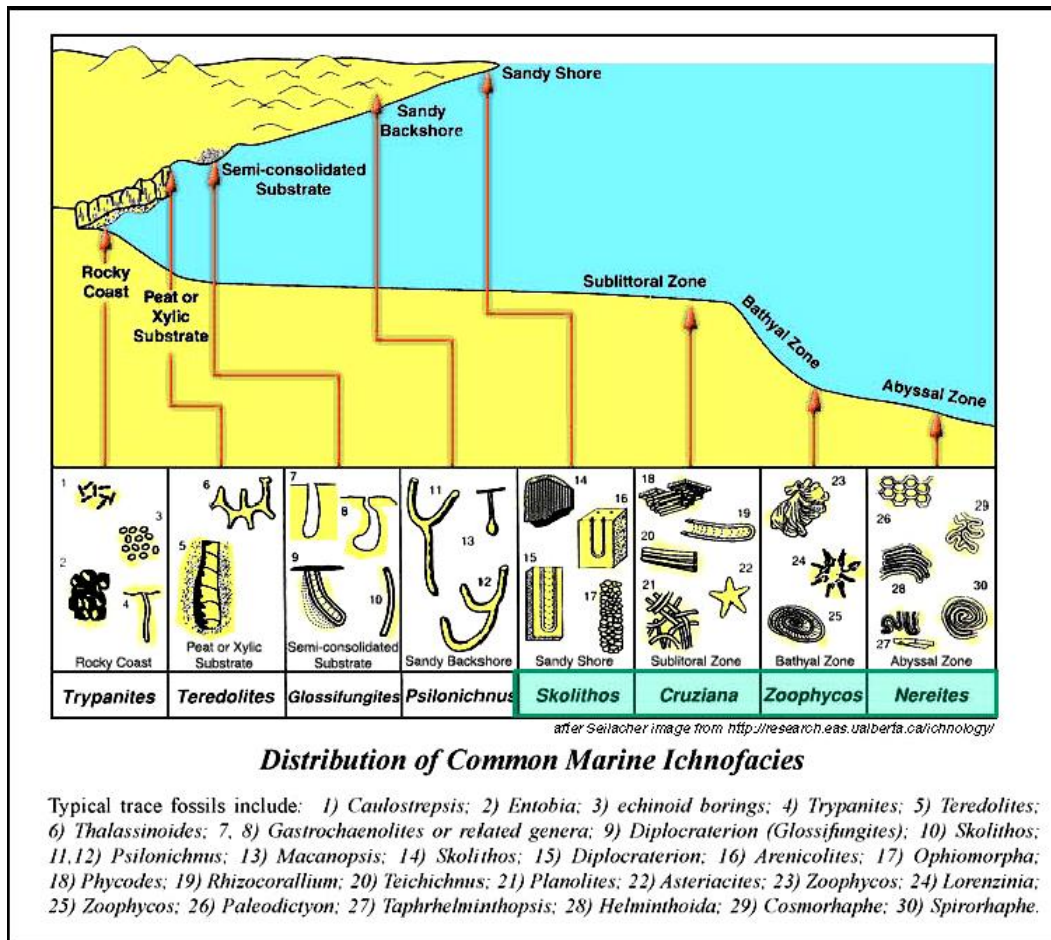


Fig. 14- Distribution des principaux ichnofaciès marins (D'après PEMPERTON *et al.*, 1992).

## C- Faciès oolithique ferrugineux (FIII)

### 1- Description

Ce dernier faciès occupe la partie sommitale de notre formation d'étude et la sépare de celle de Foum ez Zeidiya. Il a une épaisseur 2 m et une teinte noirâtre à rougeâtre.

L'étude microscopique de l'échantillon PK'6 (Pl. VI, fig. 4) montre qu'il s'agit d'un faciès riche en grains de quartz de différentes tailles, de forme sub-arrondie à arrondie et de quelques grains d'oolithes ferrugineuses dont le nucleus est quasiment constitué de quartz. Le ciment est argilo-ferrugineux.

### 2- Interprétation

Différents processus ont été évoqués pour la genèse des oolithes ferrugineuses (*in* GUERRAK, 1988) :

- Processus intrasédimentaires d'accrétion développée autour de particules dispersées dans une boue riche en fer : CAILLERE et KRAUT (1953), JAMES (1955), CHAUVEL et GUERRAK (1986).
- Ferruginisation des oolithes de nature aragonitique : SORBY (1857), CAYEUX (1922), KIMBERLEY (1978).
- Précipitation chimique d'oxyde de fer autour d'un nucleus dans une eau agitée : ILLING (1954), CAROZZI (1960), BUBENICEK (1968).

Ce niveau ferrugineux clôturant la formation du Kheneg el Aatène correspond au **type extensif** (*Extensive Iron Deposition* ou EXID) de GUERRAK (1987). D'après cet auteur, ce type de minerai est constitué par des lits d'épaisseur constante (0,25 - 3,00 m) et une extension horizontale importante (plus de 50 Km). Il l'intégrer, par la suite (1988), dans son faciès détritique ou *facies with ooliths scattered in a quartz-rich matrix* (FOD), en tenant compte de la nature et la répartition des particules (oolithes, intraclastes et grains détritiques) dans la roche. Il s'agit d'un faciès avec des oolithes dispersés dans une matrice riche en quartz comme c'est le cas pour notre niveau d'étude.

## II- ASSOCIATIONS DES FACIÈS & MILIEUX DE DEPOT

A partir de la description et l'interprétation faciologique, on peut définir 2 associations de faciès notées A et B.

### A- Association A

La première association représente tous le membre inférieur des Grès micacés de la formation de Kheneg el Aatène. Elle rassemble le faciès argileux (FI) et gréseux (FII). Ce dernier est représenté par les sous-faciès des grès à laminations horizontales (FII-a), des grès à laminations obliques tabulaires (FII-b) et des grès à litages obliques en mamelons (FIII-c).

Cette association se caractérise par une abondance des dépôts argileux dans lesquelles s'intercalent des corps détritiques gréseux. La dynamique sédimentaire plaide pour un environnement de dépôts de type plate-forme distale, balayée par des courants de houle et, à un degré moindre, tidaux et de tempêtes.

Ces caractéristiques nous conduisent à proposer un environnement de plate-forme détritique plus au moins profonde, soumise épisodiquement à des régimes hydrodynamiques assez

puissants, capables de transporter des détritiques grossier. Il s'agit d'un environnement de type *offshore transition* (Fig. 11, p. ).

### **B- Association B**

La seconde association concerne tout le deuxième membre Quartzitique de la formation de Kheneg el Aatène. Le faciès gréseux est prédominant et s'intercale à quelques niveaux argileux (Faciès FI). Le sommet est occupé par le niveau de minerai de fer oolithique (FIII).

Le faciès FII est représenté par les sous-faciès suivant dans ce membre : grès à laminations horizontales (FII-a), quartzites massifs (FII-d), quartzites à ichnofossiles (FII-e) et des quartzites à gouttières d'érosion (FII-f).

L'abondance des dépôts détritiques grossiers dans ce membre ainsi que la fréquence élevée des traces fossiles de type *Skolithos*, *Monocraterion* et *Diplocraterion* (Pl. III, fig. C et Pl .IV, Pl. V) nous suggèrent un taux d'oxygénation important associé à énergie hydrodynamique assez élevée. Celle-ci est, par endroits, attestée par des figures d'érosion basale de bancs représentées par les sillons d'érosion. Ces caractéristiques hydrodynamiques et ichnologiques nous permettent de proposer un environnement de type *shoreface* (Fig. 11, p. ).

### **III- ORGANISATION SEQUENTIELLE**

L'étude sédimentologique et ichnologique de la formation de Kheneg el Aatène nous a permis de proposer un modèle pour l'organisation séquentielle des dépôt au cours de l'Arénig dans cette partie de la Chaîne d'Ougarta.

Notre analyse est faite selon le concept des séquences Transgressive/Régressive (Séquence T-R), selon JOHN et MURPHY (1984), JOHNSON *et al.* (1985), EMBRY et JOHANNESSEN (1992) et CATUNEANU *et al.* (2009).

La première phase transgressive est matérialisée par des sédiments d'*offshore transition* correspondant à tout le membre inférieur de la formation du Kheneg el Aatène. Ce dernier est caractérisé par l'abondance dépôts Argileux.

La seconde phase régressive intéresse tout le second membre de la formation (membre Quartzitique). Celui-ci caractérisée par une énergie hydrodynamique assez élevée et l'abondance des ichnofossiles (*Skolithos*, *Monocraterion* et *Diplocraterion*). Il s'est mis en place dans un environnement *shoreface*, dans un cortège de haut niveau.

Ces deux phases sont séparées par une surface d'inondation maximale (MFS), matérialisée par un changement net de faciès (dépôts à dominante argileuse *d'offshore* transition surmontés par des dépôts quartzitiques du *shoreface*

La dernière phase transgressive concerne la partie sommitale la formation et correspond à un niveau argileux surmonté par le banc à oolithiques ferrugineuses. Elle s'inscrit dans un environnement *offshore* et se s'est mise en place dans un cortège transgressif.



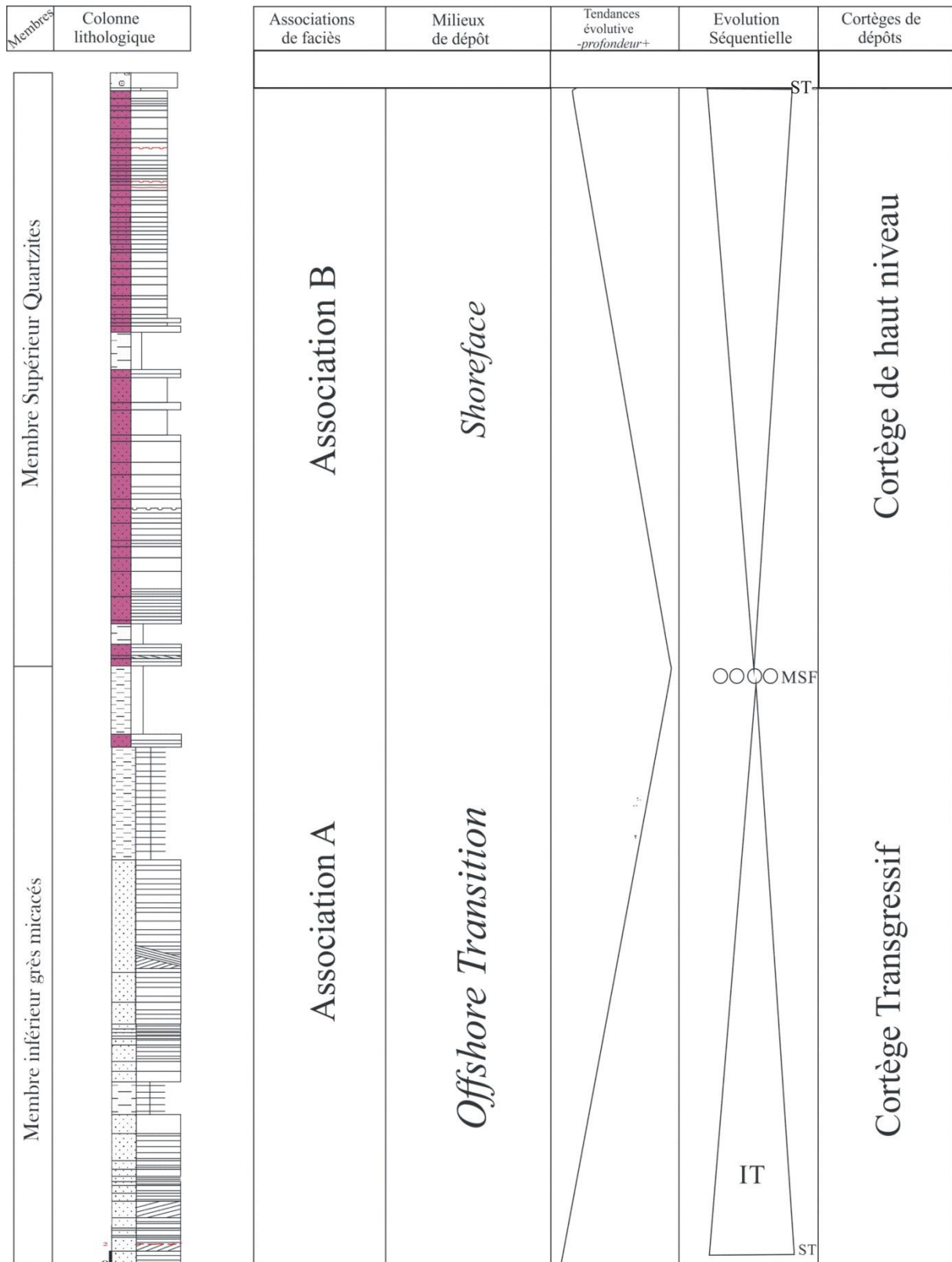


Fig. 15- Evolution séquentielle et cortèges de dépôts de la formation de Kheneg el Aatène.

ST : Surface Transgressive, SIM : Surface d'Inondation Maximale.

## Conclusion générale

L'étude de la formation de Kheneg non loin de la localité où elle a été définie par pour la première fois par GOMES SILVA *et al.* (1963), nous a permis d'apporter de nouvelles contributions dans la connaissance géologique des terrains ordoviciens de la Chaîne d'Ougarta.

Notre coupe lithologique nous a permis de reconnaître les deux membres de cette formation : (1) un membre inférieur des Grès micacés (50 m), caractérisé par une alternance de bancs de grès micacés brunâtres à la patine et rougeâtres à la cassure et de niveaux argileux et (2) un membre supérieur Quartzitique (50 m), constitué de 2 grands ensembles à dominance gréseuse, séparés par un niveau argileux d'environ 3,00 m d'épaisseur. Ce dernier est caractérisé par la prédominance des bancs quartzitiques qui admettent une variété de traces d'activité organique, notamment dans sa deuxième partie supérieure. Un niveau détritique, oolithique et ferrugineux clôture cette formation.

L'analyse sédimentologique nous a permis de définir 3 principaux faciès : argileux (FI), gréseux (FII) et oolithique ferrugineux (FIII). Le second faciès étant subdivisé en 6 sous-faciès. Leurs interprétations, en terme hydrodynamique et paléontologique a mis en évidence 3 associations de faciès :

- la première association (A) représente tout le membre inférieur des Grès micacés qui s'est mise en place dans un environnement de type *offshore-transition* ;
- la seconde association (B) concerne le deuxième membre Quartzitique déposé dans un environnement de type *shoreface*.
- la troisième et dernière association (C) suggère un retour à un milieu de dépôts de type *offshore*. Celle-ci annonce déjà l'arrivée du membre inférieur argileux de la formation de Foum ez Zeidiya.

Enfin, l'application du concept de la stratigraphie séquentielle sur des affleurements de la formation de Kheneg el Aatène nous a montré une succession de 2 phases :

- une première phase transgressive qui correspond à tout le membre inférieur de la formation. Elle est matérialisée par des sédiments d'*offshore-transition*

- une seconde phase régressive qui englobe tout le second membre Quartzitique de notre formation. Elle correspond aux dépôts de *shoreface* et s'organise dans un cortège de haut niveau.

Ces deux phases transgressive/régressive sont séparées par une surface d'inondation maximale (MFS) correspondant à un passage lithologique franc entre des argiles et des grès.

## Références bibliographiques

- AIT KACI A (1990)** - Evolution lithostratigraphique et sédimentologique du Cambrien des monts d'Ougarta (Sahara nord-occidentale). *Thèse. Doct. 3<sup>ème</sup> cycle*. USTHB., Alger, 168 p.
- ALPERT S.P., MOORE J.N. (1975)** - Lower Cambrian trace fossil evidence for predation on trilobites. *Lethaia*, 8, 3, p. 223-230.
- BACHIR A. (2017)** - Lithostratigraphie, sédimentologie et organisation séquentielle de la coupe-type de la formation du Kheneg el Aatène (Arénig) dans les Monts d'Ougarta (Sahara algérien occidental). *Mém. Ingén., Univ. Oran 2 Mohamed Ben Ahmed*, 51 p.
- BOUSMAHA F. (2020)** - La formation du Kheneg el Aatène (Arénig) dans le secteur du Kheneg Tlaia (Monts d'Ougarta, Sahara nord-occidental) : lithostratigraphique & interprétation sédimentologique. *Mém. Master, Univ. Oran 2. Mohamed Ben Ahmed*, 44 p.
- BUATOIS L., MANGANO G. (2011)** -. *Ichnology Cambridge University Press, Cambridge*, 347p.
- BUBENICEK I. (1968)** - Géologie des minéraux de fer oolithiques. *Mineral Deposita*, 3, p. 89-108.
- CAYEUX L. (1922)** - Les minerais de fer oolithique de France. Imprimerie Nat., Paris, 1105 p.
- CAROZZI A. (1960)** - Microscopic sedimentary petrography. John Willey and Sons Inc., New York, 485 p.
- CHIKHAOUI M. (1974)** - Les ignimbrites et les roches basiques du Précambrien supérieur des Monts d'Ougarta. *Th. Doc. 3<sup>ème</sup> cycle, Univ. Alger*, 2 vol., 114 p.
- CHIKHAOUI M. (1981)** - Les roches volcaniques du Protérozoïque supérieur de la chaîne panafricaine (Hoggar, Anti-Atlas, Adras des Iforas). Caractérisation géochimique et minéralogique. Implication géodynamiques. *Th. Doct. Etat, Univ. Montpellier*, 1983 p.
- CHAMELY H. (2000)** - Base sédimentologies. *Dunod* (édit), Paris, France, 178 p.
- CHAUVEL J., GUERRAK S. (1986)** - Oolitization of iron formation: example of North-African deposits. *7<sup>th</sup> Regional Meeting of Sedimentology*, Krakow, p.45-46..
- COLLOMB P., DONZEAU M. (1974)** - Relations entre Kink-bands décamétriques et d'Ougarta (Sahara occidental algérien). *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, 62, p. 89-106.
- COJAN I., RENARD M. (1997)** - Sédimentologies. *Coll. Enseig. Sc. Terre.*, Masson (édi.), p. 91-120.

- CRIMES T. (1977)** - Trace fossils of an Eocene deep-sea fan, northern Spain. *In: CRIMES, T.P., HARPER, J.C. (Eds.): Trace Fossils 2. Geological Journal, Special Issue, 9., Developments in Sedimentology, 1, p. 136-143.*
- COJAN I., RENARD M. (2013)** - Sédimentologie. *Dunod*, Paris, 3<sup>ème</sup> ed., p. 488.
- COLLINSON J., MOUNTENEY N. (2019)** - Sedimentary structures. Dunedin Acad. Press, Edinburgh, London, p. 340.
- DASHTGARD S.E., GINGRAS M. (2012)** - Marine invertebrate Neoichnology. *In: KNAUST D. & BROMLEY R.G. (Eds): Trace fossils as indicators of sedimentary environments. Chap. 10, Elsevier, p. 273-295.*
- DEVLEESCHOUWER H (2008-2009)** - Cours de géologie (GEOL-F 204). Structures sédimentaires, *Univ. libre Bruxelles (ULB)*, Belgique 139 p.
- DONZEAU M. (1971)** - Signification tectonique des diaclases du Paléozoïque des monts d'Ougarta (Sahara occidental algérien) .*Bull. Soc. Hist. nat. Afr. Nord, Alger, 62, 3-4, p. 97-115.*
- 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, 108, p. 147-200.*
- GHIENNE J-F., BOUMENDJEL K., PARIS F., VIDET B., RACHEBOUEUF P., AIT SALEM H. (2007)** - The Cambrian-Ordovician succession in the Ougarta Range (Western, Algeria, North Arica) and interference of the late Ordovician glaciations on the development of the lower Paleozoic transgression on northern Gondwana. *Bull. Of Geosci. 82(3), p. 183-214.*
- GUERRAK S. (1987)** – Paleozoic oolitic ironstones of the Algerian Sahara: a review. *Jour. African Earth Sc., vol.6, n°1, p.1-8.*
- GUERRAK S. (1988)** - Ordovician ironstone sedimentation in Ougarta Ranges: North Western Sahara (Algeria). *Jour. African Earth Sc., vol. 7, n°4, p.657-578.*
- GUILLOCHEAU F. (1983)** - Les dépôts de tempêtes: le modèle de l'Ordovicien moyen ouest-armoricain. *Thèse 3ème Cycle, Univ. Bretagne occidentale, Brest, 223 p.*
- 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<sup>ème</sup> *Cong. fr. Sédi.*, p. 40-66.
- GOMES SILVA M., PACAUD M., WIEL F. (1963)** - Contribution à l'étude du Cambro-Ordovicien des Monts d'Ougarta. *Bull. Soc. Geol. France, (7), 1, p. 134-141.*
- HERVOUET Y, DUEE G. (1996).**- Analyse morphostructurale par imagerie satellitaire et coupes structurales modélisées dans les Monts d'Ougarta (Sahara occidentale algérien) : une chaîne hercynienne chevauchante à plis passifs. *Mém. Serv. Géol. Algérie, ,n°8, p. 127-173.*

- ILLING L.V. (1954)** - Bahaman calcareous sands. *AAPG Bull.*, 38, p. 1-95.
- JAMES H. (1955)** - Sedimentary facies of iron formation. *Econ. geol.*, 49, p. 235-293.
- KOMAR P.D., LIZARAGA-ARCIEGA JR. TERICH T.A (1976)** - Changements du littoral de la côte de l'Oregon en raison des jetées. *Journal of waterways harbours & coast eng. Div.*, 102 p.
- KIMBERLEY M. (1978)** - Paleoenvironmental classification of iron formation. *Econ. Geol.*, 73, p. 215-229.
- MAIRIA L. (2015)** - Les affleurements d'Ordoviciens de la region Nif El Khaoufi (Monts d'Ougarta, Sahara Algérien) : lithostratigraphie & sédimentologie, *Mém. Master Univ. Oran2 Mohamed Ben Ahmed*, p. 66.
- MYROW P. (1992)** - Pot and gutter casts from the Chapel Island Formation, southeast Newfoundland. *J. Sed. Petrol.*, 62, p. 992-1007.
- READING H.G., COLLINSON J. (1996)** - Classic coasts. *In: REDING H.G (ed): Sedimentary environments processes, facies and stratigraphiy*, Blachwell, Oxford, Th. Ed., p. 154-231.
- SHATSKY J.F. (1955)** - Sur l'origine de la fosse de Patchesta. *Bull. Mosk. Obshchestva Lyubiteliy, Otd. Geol.*, 5, p. 5-26.
- SORBY H. (1857)** - On the origin of the cleveland hill fronstone: Geological and polytechnic Society. *West Riding of Yorkshire proceedings*, 3, p. 457-461.
- WHITAKER J. H. Me D. (1973)** - Gutter casts, a new name for scour and fill-structure; with examples from the Llandoveryan of Ringerike and Malmaya, southern Norway, *Norsk Geol*
- ZENNOUCHE M. (2021)** - Lithostratigraphie et environnements sédimentaires de la formation du Kheneg el Aatène (Arénig) dans le secteur de Nif el Khaoufi (Monts D'Ougarta, Sahara Nord-Occidental). *Mém. Master Univ. Oran 2 Mohamed Ben Ahmed*, 31 p.

## Liste des figures

	Pages
Fig. 1- Situation géographique des Monts d'Ougarta.....	3
..	
Fig. 2- Cadre géographique du secteur d'étude.....	4
Fig. 3- Colonne stratigraphique synthétique des formations du Paléozoïque des Monts d'Ougarta.....	5
Fig. 4- Carte géologique de secteur d'étude.....	6
Fig. 5- Carte présentant les unités structurales des Monts d'Ougarta.....	7
Fig. 6- Image satellite montrant la situation de la coupe de la formation de Kheneg el Aatène.....	12
Fig. 7- Colonne lithologique de la coupe de Kheneg el Aatène.....	13
Fig. 8- Photo panoramique montrant les affleurements des formations de Foum Tineslem (A) et de Kheneg el Aatène (B).....	14
Fig. 9- Principales formes sédimentaires en fonctions du régime d'écoulement Unidirectionnel.....	20
Fig. 10- Litages obliques en mamelons.....	21
Fig. 11- Profil d'une plate-forme (nomenclature en fonction de l'hydrodynamisme).....	21
Fig. 12- Tableau résumant les principales caractéristiques des ichnoassemblage étudié.....	23
Fig. 13- Reconstitution schématique de l'ichnofaciès à <i>Skolithos</i> .....	25
Fig. 14- Distribution des principaux ichnofaciès marins.....	26
Fig. 15- Evolution séquentielle et cortèges de dépôts de la formation de Kheneg el Aatène.....	30

# Table de matières

Avant-propos

	Pages
Résumé.....	1
<b>Chapitre 1 : Généralités</b>	
INTRODUCTION.....	3
I- CADRE GEOGRAPHIQUE.....	3
A- Situation générale de la Chaîne d'Ougarta.....	3
B- Situation géographique du secteur d'étude.....	3
II- CADRE GEOLOGIQUE.....	4
A- Cadre géologique général de Monts d'Ougarta.....	5
B- Cadre géologique du secteur d'étude.....	6
III- CADRE STRUCTURAL DE LA CHAINE D'OUGARTA.....	6
IV- HISTORIQUE DES PRINCIPAUX TRAVAUX SUR LA FORMATION DE KHENEG EL AATENE.....	7
V- OBJECTIF & METHODE DE L'ETUDE.....	9
A- Objectif de l'étude.....	9
B- Méthode de travail.....	9
<b>Chapitre 2 : Description lithostratigraphique</b>	
INTRODUCTION.....	12
I- DISCRIPTION LITHOSTRATIGRAPHIQUE.....	12
A- Situation de la coupe.....	12
B- Description de la coupe.....	12
1- Membre inférieur des Grès micacés.....	14
2- Membre supérieur Quartzitique.....	15
II- ATTRIBUTION STRATIGRAFIQUE.....	16
<b>Chapitre 3 : Sédimentologie &amp; Organisation séquentielle</b>	
INTRODUCTION.....	18
I- DESCRIPTION & INTERPRETATIONS DES FACIES.....	18
A- Faciès argileux (FI).....	18
1- Description.....	18
2- Interprétation.....	18



	Pages
B- Faciès gréseux (FII).....	18
1- Description.....	18
1.1- Sous faciès des grès à laminations horizontales (FII-a).....	19
a)- Description.....	19
b- Interprétation.....	19
1.2- Sous-faciès des grès à laminations obliques tabulaires (FII-b).....	19
a)- Description.....	19
b- Interprétation.....	19
1.3- Sous-faciès des grés à litages obliques en mamelons (FII-c).....	20
a)- Description.....	20
b- Interprétation.....	20
1.4- Sous Faciès des quartzites massifs (FII-d).....	21
a)- Description.....	21
1.5- Sous-faciès des quartzites à gouttières d'érosion (II-e).....	22
a)- Description.....	22
b)- Interprétation.....	22
1.5- Sous-faciès de quartzites à ichnofossiles (FII-f).....	23
a)- Description.....	23
- <i>Arinicolites</i> SALTER.....	23
* <i>Arenicolites isp</i> .....	23
- <i>Diplocraterion</i> .....	23
* <i>Diplocraterion isp</i> .....	23
- <i>Rosselia</i> .....	24
- <i>Skolithos</i> .....	24
* <i>Skolithos isp</i> .....	24
* <i>Skolithos linearis</i> .....	24
b) Interprétation.....	24
C- Faciès oolithique ferrugineux (FIII).....	26
1- Description.....	26
2- Interprétation.....	26
II- ASSOCIATIONS DES FACIES & MILIEUX DE DEPOT.....	27
A- Association A.....	27
B- Association B.....	28
III- ORGANISATION SEQUENTIELLE.....	28
Références bibliographiques.....	33

	Pages
Liste des figures.....	36
Table de matières.....	37
Planches photographiques	

# Planches Photographiques

# Planche I

## Membre inférieur

**Fig. 1 & 2** - Grès micacé (Faciès II) à laminations horizontales (Sous-faciès FII-a) s'effritant en plaquettes.

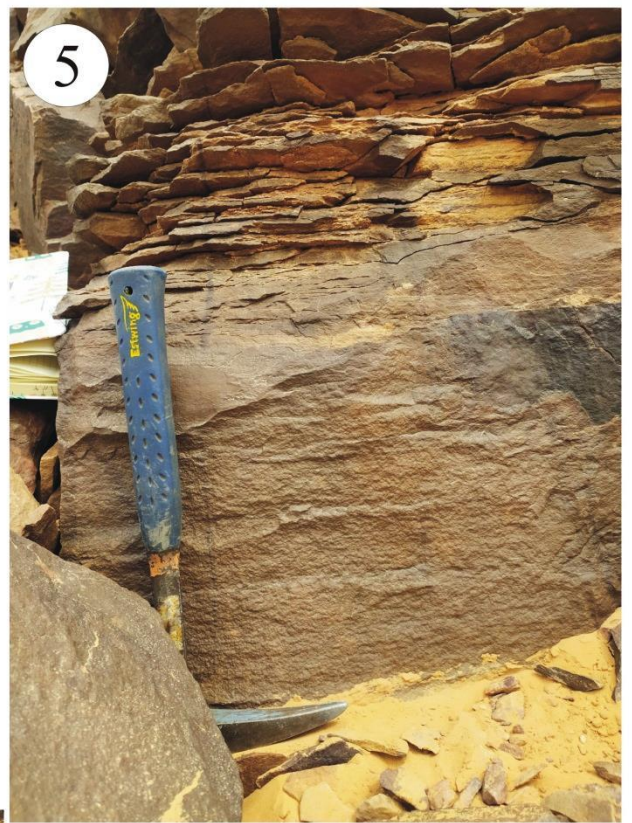
**Fig. 3** - Grès micacé (Faciès II) à laminations obliques tabulaires à la base (Sous-faciès FII-b).

**Fig. 4** - Banc de grès micacé (Faciès II) à litages obliques en mamelons ou HCS (Sous-faciès FII-c) surmontés par des litages de rides de vagues en chevrons, puis par des litages horizontaux.

**Fig. 5** - Grès micacé très induré à laminations horizontales discrètes (Sous-faciès FII-a) s'effritant ensuite en plaquettes.

**Fig. 6** - Grès micacé très induré (Faciès II) s'effritant en plaquettes horizontales dans sa partie centrale.







## Planche II

### Membre supérieur

Fig. 1- Banc de quartzites massifs (Sous-faciès FII-d) de 2 m d'épaisseur.

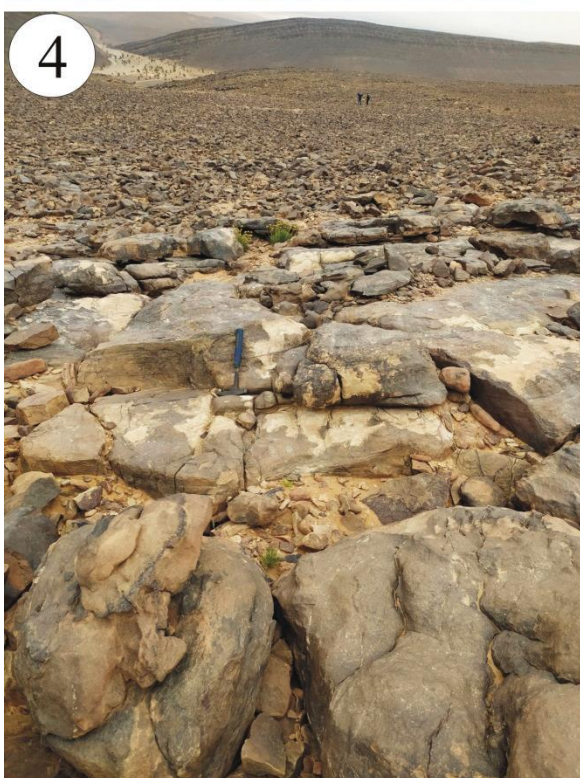
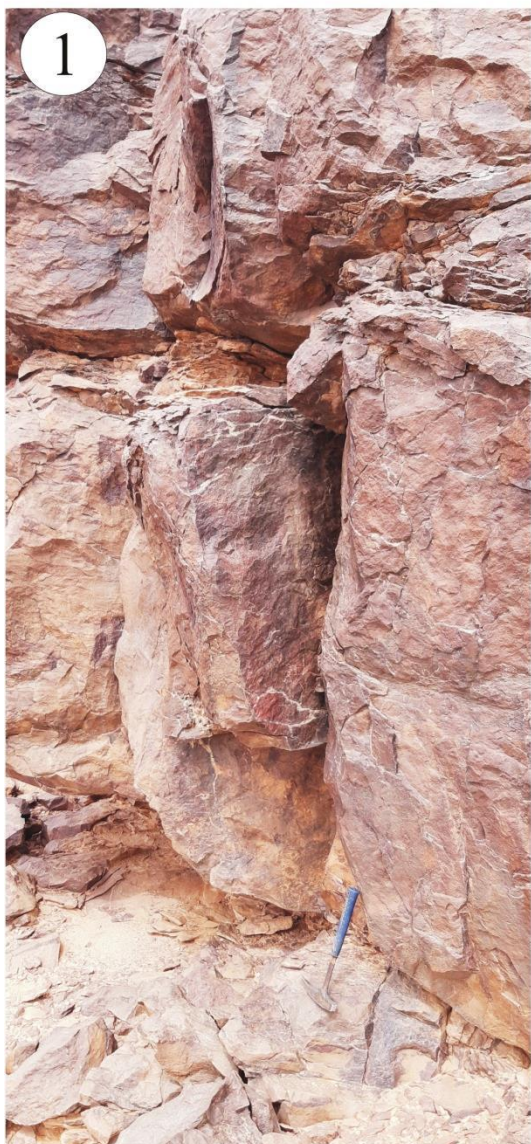
Fig. 2- Gouttière d'érosion ou *gutter cast* (flèche), à la base d'un banc de quartzites massifs (Sous-faciès FII-e).

Fig. 3- Banc de quartzites montrant en section des laminations horizontales discrètes (Sous-faciès FII-a).

Fig. 4- Succession de banc de quartzites massifs mal stratifiés (Sous-faciès FII-d) formant le sommet de la crête.

Fig. 5- Structures d'érosion de type gouttières (*gutter cast* - flèche) à la base d'un banc de quartzite (Sous faciès FII-e).







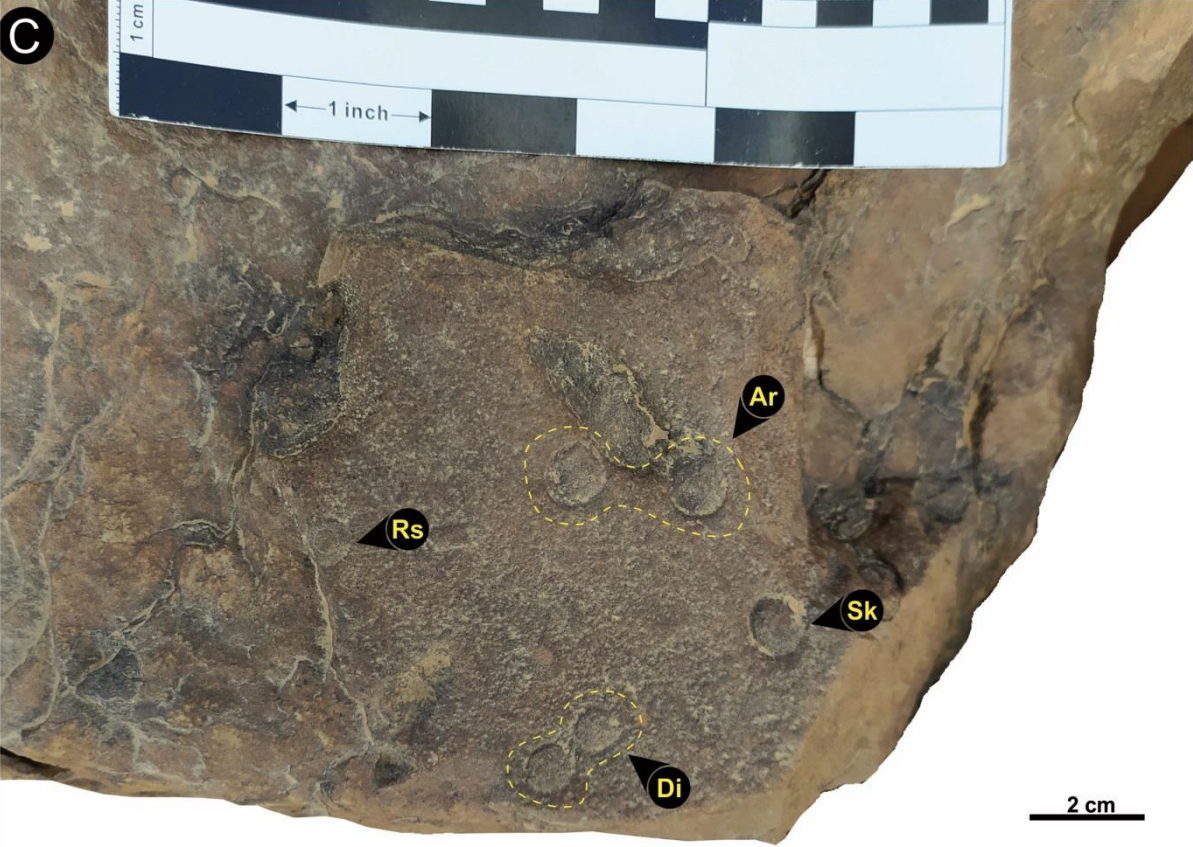
## Planche III

### Ichnofossiles du membre supérieur Quartzitique

Fig. A & B - Banc de quartzite à *Arenicolites isp.* (Sous-faciès FII-f).

Fig. C - Banc de quartzite à *Diplocraterion isp.* (Di), *Rosselia erecta* (Rs), *Arenicolites isp.* (Ar) et *Skolithos* (Sk) (Sous faciès FII-f).





## Planche IV

### Ichnofossiles du membre supérieur Quartzitique

**Fig. A et B** - Banc de quartzite à *Diplocraterion isp.* (Sous faciès FII-f).

**Fig. C** - Banc de quartzite à *Rosselia erecta* (Sous faciès FII-f).

**Fig. D** - Banc de quartzite à *Rosselia erecta* et *Skolithos isp.* (Sous faciès FII-f).





## Planche V

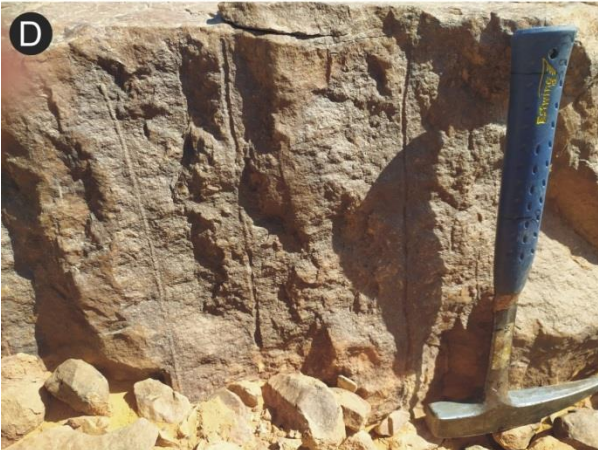
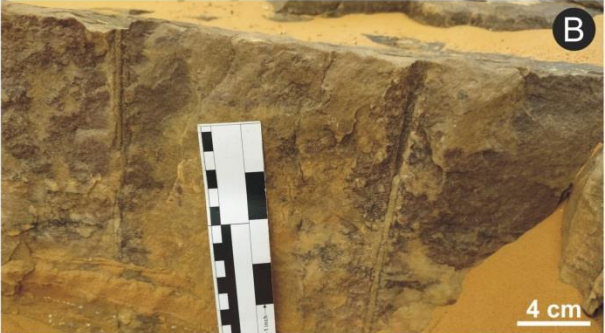
Fig. A - Banc de quartzite à *Skolithos isp.* (Sous faciès FII-f).

Fig. C - Banc de quartzite à *Skolithos linearis* (Sous faciès FII-f).

Fig. D - Banc de quartzite à *Skolithos linearis* (Sous faciès FII-f).

Fig. E - Banc de quartzite à *Skolithos linearis* (Sous faciès FII-f).





## Planche VI

### Microfaciès

**Fig.1** - Grès micacé (Faciès II) à grains de quartz anguleux à sub-anguleux (a), à paillètes de muscovite et à grains ferrugineux (c). Membre inférieur des Grès micacés. Echantillon PK'1.

Fig.2 - Grès micacé (Faciès II) à grains de quartz anguleux à sub-anguleux (a), à paillètes de muscovite et à grains ferrugineux (c). Membre inférieur des Grès micacés. Echantillon PK'2.

Fig.3 - Microfaciès d'un banc de quartzite (Echantillon PK'4) dans la partie sommitale du membre inférieure des Grès micacés. a : grains de quartz jointifs, sub-anguleux, b : muscovite.

Fig.4 - Détail microscopique du niveau ferrugineux (Faciès III - sommet de la formation de Kheneg el Aatène). a: grains de quartz, b: oolithes ferrugineuses à nucleus de quartz, c : ciment argilo-ferrugineux. Echantillon PK'6.



