



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 :

Faciès sédimentaires et environnement de dépôt des calcaires
à griottes du Dévonien supérieur dans la région de Marhouma
(Bassin de l'Ougarta, Sahara algérien)

Présenté par : MM. HADDOUCHE Mohammed & BENZAIM Zakaria

Devant le jury composé de :

- **Président :** M. OUALI MEHADJI A.E.K.
- **Encadrant :** M. BOUTERFA B.
- **Co-Encadrant :** M. MAHBOUBI A.
- **Examineur :** M. BELKHEDIM S.

Année universitaire : 2023/2024

AVANT PROPOS

Nous tenons tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude envers mon encadreur du présent mémoire, Professeur BOUTERFA Boumediene, et CO-encadrant Professeur Mahboubi Abdessamad, pour son soutien constant, sa patience, ses conseils précieux et sa confiance en mes capacités tout au long de ce projet. Ses commentaires judicieux et ses suggestions constructives ont grandement contribué à l'amélioration de mon travail.

Nous souhaitons également exprimer ma gratitude envers les membres de mon jury de mémoire, BOUTERFA Boumediene, OUALI MEHADJI Abdelkader et BELKHEDIM Salim, pour leur investissement, leur expertise et leur lecture attentive de mon travail. La qualité de mon travail sera certainement considérablement améliorée grâce à leurs commentaires constructifs et leurs recommandations lors de la soutenance de ce mémoire.

Nous tenons à exprimer mes sincères remerciements à nos humbles professeurs : Mr MAHBOUBI M ; Mr BOUTERFA.B ; Mr BENDELLA ; Mr MANSOUR ; Mr BENHAMOU M ; pour leur coopération avec nous avec leur soutien moral et matériel. Et aussi remercie Mr ABBACHE Abdelkader car il a contribué à nous aider à identifier le site d'étude.

Nous tenons remercier aussi Mr Habib Hakim professeur à l'université Abu Bakr Belkaid Tlemcen, Parce qu'il nous a aidé avec certains services dans Laboratoire 25 à la cité Bouhannak. (Tlemcen) Un remerciement spécial aux ingénieurs de laboratoire, Mr BOUZA H et Mr WAHID, pour leur accueil et l'aide fournie afin de réaliser ce travail, ainsi qu'au personnel administratif, Mme SALIHA H et Mr Omar pour ses aimable accueil et ses assistances.

Nous exprimons aussi ma gratitude envers ma famille pour leur soutien inconditionnel et leur encouragement tout au long de cette initiative. Grâce à leurs encouragements, nous avons pu continuer et achever mon travail dans les délais prévus.

Enfin, nous voudrions exprimer ma gratitude envers Mohamed Ben Ahmed de l'Université d'Oran 2 pour les ressources qu'il m'a fournies, telles que les équipements de laboratoire et la bibliothèque. Ces ressources ont joué un rôle crucial dans la réalisation de ce projet.

Nous ressentons de l'honneur et de la reconnaissance d'avoir eu la chance de mener à bien ce projet de recherche et je suis fier du travail réalisé. Une fois de plus, nous voudrions exprimer ma gratitude envers tous ceux qui ont joué un rôle de près ou de loin dans le succès de ce projet.

الملخص

تتكون دراستنا من استعادة الخصائص الطبّيقية والرّسوبية لسلسلة الدّفوني الأعلى بدءًا من قطع مَرْحومة (كم 30)، الواقعة في حوض الوقارّة.

كشف التحليل الطبّقي الاستراتيجرافي عن ترسيب أنوكسي قوي ممثّل بعدة أمتار من الصخور الصفراء الداكنة، مغطاة بتعاقب منتظم من الحجر الجيري الأحمر، كثيرًا ما يكون متجذّر بالكائنات الحية، والطين الداكن الخالي من الكائنات. تسمح هذه الوحدة الرّسوبية المنتمية إلى عصر الفراسني بتحديد تكوين أول، وهو تشقّار الأحمر. ويتصدّر هذا التكوّن تكوين مرحومة، الذي يتميز بترسيب طيني قوي يُظهر على قاعدته عُقد طينية كربونية مع فون نادر من عصر الفراسني الأعلى، وترسيب من الحجر الجيري الأحمر المسمّى غريوت من عصر الفامني.

يُظهر تحليل الميكرو-طبقات للحجر الجيري الغريوت هيمنة ملمس ميكريتي، مع غلبة الحفريات المتكيفة مع الحياة البلاجية مثل القرنفليات والمحاريات (الأنطوموزان)، بينما كانت التكيّفات الأخرى، مثل الحياة القاعية، نادرة جدًا. يُشير هذا الترسيب الكربوني من الفراسني والفامني إلى ظروف ترسيب هادئة في بحر مفتوح، تحت تأثير الأمواج والعواصف، نموذجية لمنحدر بعيد.

الكلمات المفتاحية : مرحومة، الدّفوني الأعلى، غريوت، منحدر بعيد، ميكرو-طبقات.

Résumé

Notre étude consiste à retracer les caractéristiques pétro-sédimentaires de la série du Dévonien supérieur à partir de la coupe de Marhouma (KM30), située dans le bassin de l'Ougarta.

L'analyse lithostratigraphique a révélé une puissante sédimentation anoxique représentée par plusieurs mètres de schistes noirs, surmontés par une alternance régulière de calcaires rouges, souvent bioturbés, et d'argiles sombres dépourvues de faunes. Cette entité sédimentaire d'âge frasnien nous permet de définir une première formation, celle de Cheffar El Ahmar. Cette dernière formation est surmontée par la formation de Marhouma, caractérisée par une puissante sédimentation argileuse montrant, à la base, des nodules argilo-carbonatés avec une faune rare d'âge frasnien supérieur, et un dépôt de calcaires rouges dits Griottes d'âge famennien.

L'analyse des microfaciès sur les calcaires griottes révèle une prédominance de texture micritique, avec une dominance des fossiles adaptés à la vie pélagique tels que les tentaculites ou les ostracodes (ontomozans), tandis que les autres adaptations, telles que la vie benthique, étaient très rares. Ce dépôt carbonaté du Frasnien et Famennien suggère des conditions de sédimentation calme dans une mer ouverte, en dessous de l'action des vagues et des tempêtes, typique d'une rampe distale.

Mots clés : Marhouma, Dévonien supérieur, Griotte, Rampe distale, microfaciès

Abstract

Our study aims to point out the petro-sedimentary features of the Upper Devonian interval from the Marhouma section (KM30), located in the Ougarta Basin.

The lithostratigraphic analysis revealed a substantial anoxic sedimentation represented by several meters of black shales, overlain by a regular alternation of red limestones, often bioturbated, and dark clays devoid of fauna. This Frasnian sedimentation allows us to define the first formation, Cheffar El Ahmar. This formation is overlain by the Marhouma formation, characterized by substantial clayey deposit showing, at the bottom, argillaceous-carbonate nodules with rare upper Frasnian fauna, and a deposit of red limestones known as Griottes of Famennian age.

The microfacies analysis of the Griottes limestones reveals a predominance of micritic texture, with a dominance of fossils adapted to pelagic life, such as tentaculites or ostracods (ontomozans), while other adaptations, such as benthic life, were very rare. This Frasnian and Famennian carbonate deposit suggests calm sedimentation conditions in an open sea, below the action of waves and storms, typical of a distal ramp.

Keywords : Marhouma, Upper Devonian, Griotte, Distal ramp, microfacies.

TABLE DE MATIERE

Avant propos

Résumé

Abstract

- CHAPITRE I : GÉNÉRALITES -

I. INTRODUCTION	01
II. CADRE GÉOGRAPHIQUE	02
1. CADRE GÉOGRAPHIQUE GENERALE	02
2. CADRE GÉOGRAPHIQUE LOCAL	02
III. CADRE GÉOLOGIQUE	02
1. CADRE GÉOLOGIQUE GENERALE	02
2. CADRE GÉOLOGIQUE LOCALE	05
IV. TRAVAUX ANTERIEURS	06
V. APERÇU GÉOLOGIQUE SUR LE DEVONIEN SUPERIEUR DES MONTS D'OUGARTA	08
1. LA FORMATION DU CHEFFAR EL AHMAR	08
2. LA FORMATION DES ARGILES DE MARHOUMA.....	08
3. LA FORMATION DES GRES DE MARHOUMA	08
VI. GENERALITES SUR LES CALCAIRES GRIOTTES	08
1. REPARTITION DES FACIES GRIOTTES DU DEVONIEN SUPERIEUR EN ALGERIE	09
2. SUBDIVISION D'APRES BOYER DU FACIES GRIOTTES DU DEVONIEN SUPERIEUR	10
3. LES DIFFERENTES HYPOTHESES LIEES A L'ORIGINE DE LA PIGMENTATION DU CALCAIRE ROUGE	10

- CHAPITRE II : MÉTHODOLOGIE -

I. PRÉLÈVEMENT	11
II. DÉMARCHE	11
1. PREPARATIONS DES ECHANTILLONS	11
2. ÉTUDE PETROGRAPHIQUE	12

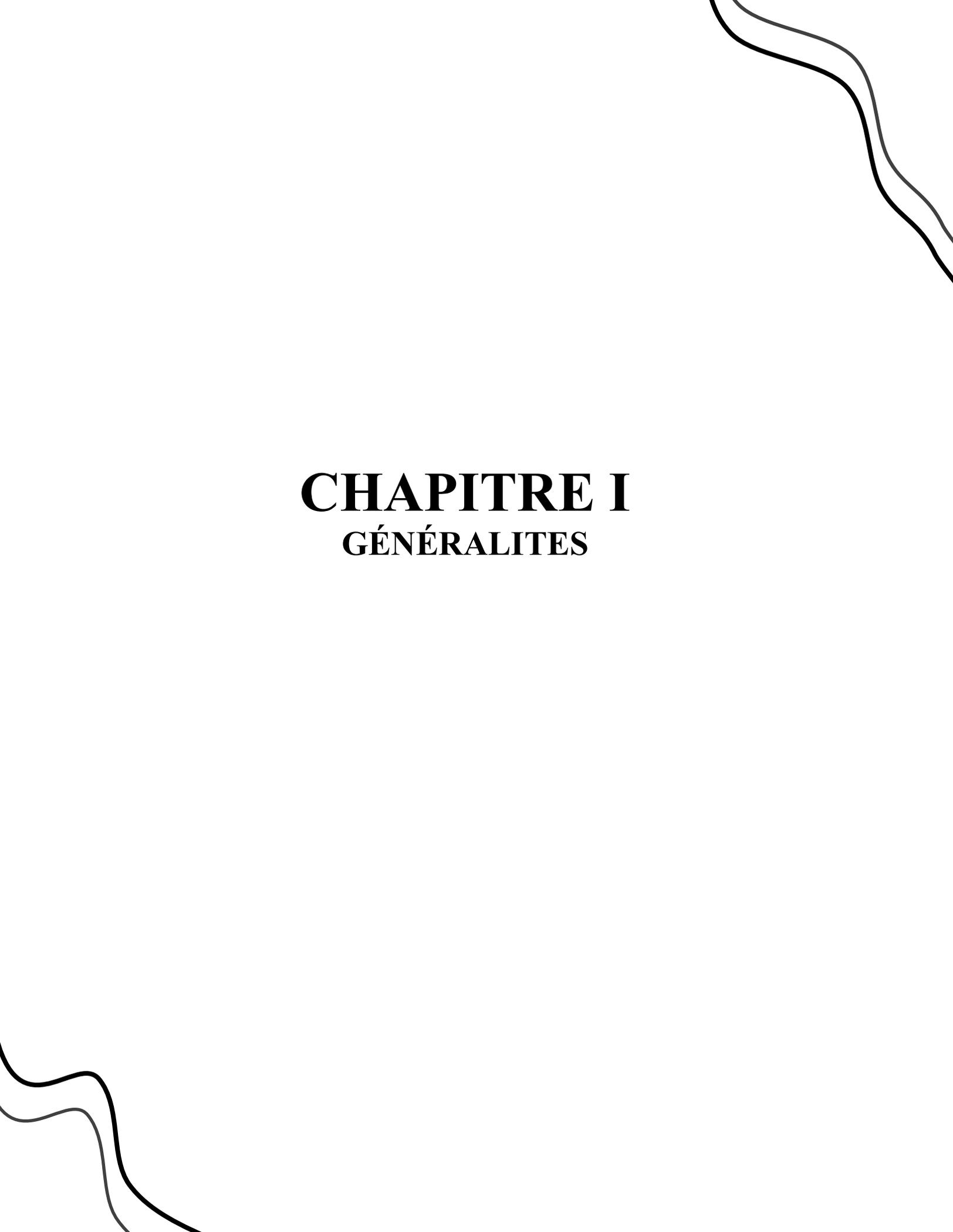
- CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATION -

I. LITHOSTRATIGRAPHIE	16
1. FORMATION DE CHEFFAR EL AHMAR.....	16
2. FORMATION DE MARHOUMA.....	19
II. ÉVOLUTION DES FACIÈS SÉDIMENTAIRES	23
1. DESCRIPTION DES FACIÈS DU FRASNIEN (COUPE DE CHEFFAR EL AHMAR)	23
2. DESCRIPTION DES FACIÈS DU FAMENNIEN (COUPE DE MARHOUMA)	30
III. FACIÈS ET ENVIRONNEMENTS DE DÉPÔTS DANS LE DÉVONIEN SUPÉRIEUR	39
1. ASSOCIATION DES FACIES DE LA FORMATION DE CHEFFAR EL AHMAR (FRASNIEN) ...	39
1.1. FACIES (F1) : BLACK SHALES	39
1.2. FACIES (F2) : MUDSTONE/CALCISILTITE A RARE FAUNE	39
1.3. FACIES (F3) : WACKESTONE A TENTACULITES	40
2. ASSOCIATION DES FACIES DE LA FORMATION DE MARHOUMA	40
2.1. FACIES (F4) : CALCAIRES A FILAMENTS	40
2.2. FACIES (F5) : CALCAIRES NODULEUX « GRIOTTES »	41

IV. ENVIRONNEMENT DE DEPOT DE FORMATION DE CHEFFAR EL AHMAR 42
V. ENVIRONNEMENT DE DEPOT DE FORMATION DE MARHOUMA 42



CONCLUSION GÉNÉRALE 44
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 46
LISTE DES FIGURES 52
LISTE DES PLANCHES 53



CHAPITRE I

GÉNÉRALITES

I. INTRODUCTION

L'ère paléozoïque est marquée par le Dévonien, qui est l'une des cinq grandes crises biologiques du Phanérozoïque (crise Frasnien-Famennien). Les mouvements épirogéniques majeurs de l'époque du Dévonien supérieur se traduisent par l'apparition d'un faciès noduleux spécifique de type « griottes » similaire à celui des « Ammonitico-Rosso » pour l'ère mézoïque. Le développement des griottes à ammonoïdes est caractéristique du Sahara nord-ouest de l'Algérie pendant cette période, en fonction de l'environnement sédimentaire des secteurs étudiés. Cette région est caractérisée pendant toute l'époque du Dévonien supérieur par la formation de faciès noduleux de type « griottes » dans un environnement de type rampe.

Le milieu marin profond (tranche pélagique) où se développent les faciès « griottes » présente des restrictions de circulation des eaux, comme le démontrent les organismes pyritisés. Cependant, il n'y a aucune valeur bathymétrique car ces faciès se développent également sur les hauts fonds et sur les pentes des plates-formes (comme des rampes carbonatées). Des différents phénomènes responsables de la formation de nodules dans le bassin sont associés à la formation de calcaires noduleux. Les « griottes » ont généralement été observées lors de la réalisation de la physiographie du bassin et ont disparu lors des contraintes hercyniennes.

Afin d'aborder cette problématique qui consiste en l'étude des faciès griottes, nous proposons trois principaux chapitres constituant l'essentiel de notre manuscrit. **I.** Dans le premier chapitre de ce mémoire, nous présentons la situation géographique du secteur d'étude et le cadre géologique de la région étudiée. Ce chapitre comprend également des généralités sur les nodules et le calcaire de type griotte, ainsi qu'un aperçu historique des travaux géologiques effectués sur les terrains des Monts d'Ougarta.

II. Le deuxième chapitre traite des méthodes et du matériel utilisés dans notre travail, grâce auxquels nous avons pu obtenir des résultats à partir des lames minces.

III. Le troisième chapitre consiste en la description lithostratigraphique, ainsi qu'à la description macroscopique et microscopique des échantillons prélevés. Nous y présentons les différents types de faciès obtenus à partir de l'étude des lames minces et de l'observation macroscopique de la coupe. À la fin de ce chapitre, nous proposons un modèle de dépôt applicable aussi bien pour le Frasnien que pour le Famennien

II. CADRE GEOGRAPHIQUE

1. Cadre géographique générale

Béni Abbès est une commune algérienne de la wilaya de Béchar, située dans le Sahara algérien, plus précisément dans la région du Saoura. Elle se trouve à environ 40 kilomètres au sud de Béchar, la capitale de la wilaya. La région est caractérisée par un paysage désertique, avec des étendues de sable, des dunes, des plateaux rocheux et des montagnes basses. Le relief est généralement plat, mais il peut être interrompu par des formations rocheuses et des montagnes isolées. Soumise à un climat aride. Les températures peuvent être extrêmes, avec des étés très chauds et des hivers relativement doux. Les précipitations sont rares et irrégulières. (Fig. 1.) (Abdelkader Ouali Mehadji 2004).

La partie nord occidentale de la plateforme saharienne est formée par une succession de chaînes orientées NW-SE, connues sous le nom des Monts d'Ougarta. Ces derniers sont situés à 250 km au Sud de la ville de Béchar. Ces reliefs s'étendent sur environ 450 km de longueur et 250 km de largeur, limités au Nord par la Hamada du Guir, au Nord -Est par le Grand Erg Occidental et au Nord-Ouest par le Kem Kem et la Hamada du Draa, au Sud-Est, par le Touat et au Sud-Ouest par l'Erg Iguidi et Erg Chech.

Les Monts d'Ougarta sont subdivisés en deux faisceaux distincts : le faisceau de la Saoura et celui de la Daoura, séparés par Erg Er-Raoui.

2. Cadre géographique local

La coupe du Dévonien supérieur des Monts de l'Ougarta se trouve à 30 km au sud de la ville de Béni-Abbès et a 7 km SE de village Marhouma et limite au Nord par Djbel Oum El Groun et Djbel Kahal et au Sud par Berg El Beida (Fig. 2). Elle traverse les formations suivantes : Formation de Cheffar El Ahmar, Formation de Marhouma.

III. CADRE GEOLOGIQUE

1. Cadre géologique générale

La Coupe de Marhouma est située dans le bassin d'Ougarta, qui s'étend sur environ 450 km de long et 200 km de large. Ce bassin est formé d'une série de reliefs orientés principalement du nord-ouest au sud-est, créant une chaîne de montagnes qui sépare le bassin de Timimoun au nord-est du bassin de Reggane au sud-ouest. Il se divise en deux ensembles de plis : l'ensemble de la Saoura au nord-est et l'ensemble de la Daoura au sud-ouest (Fig. 3).

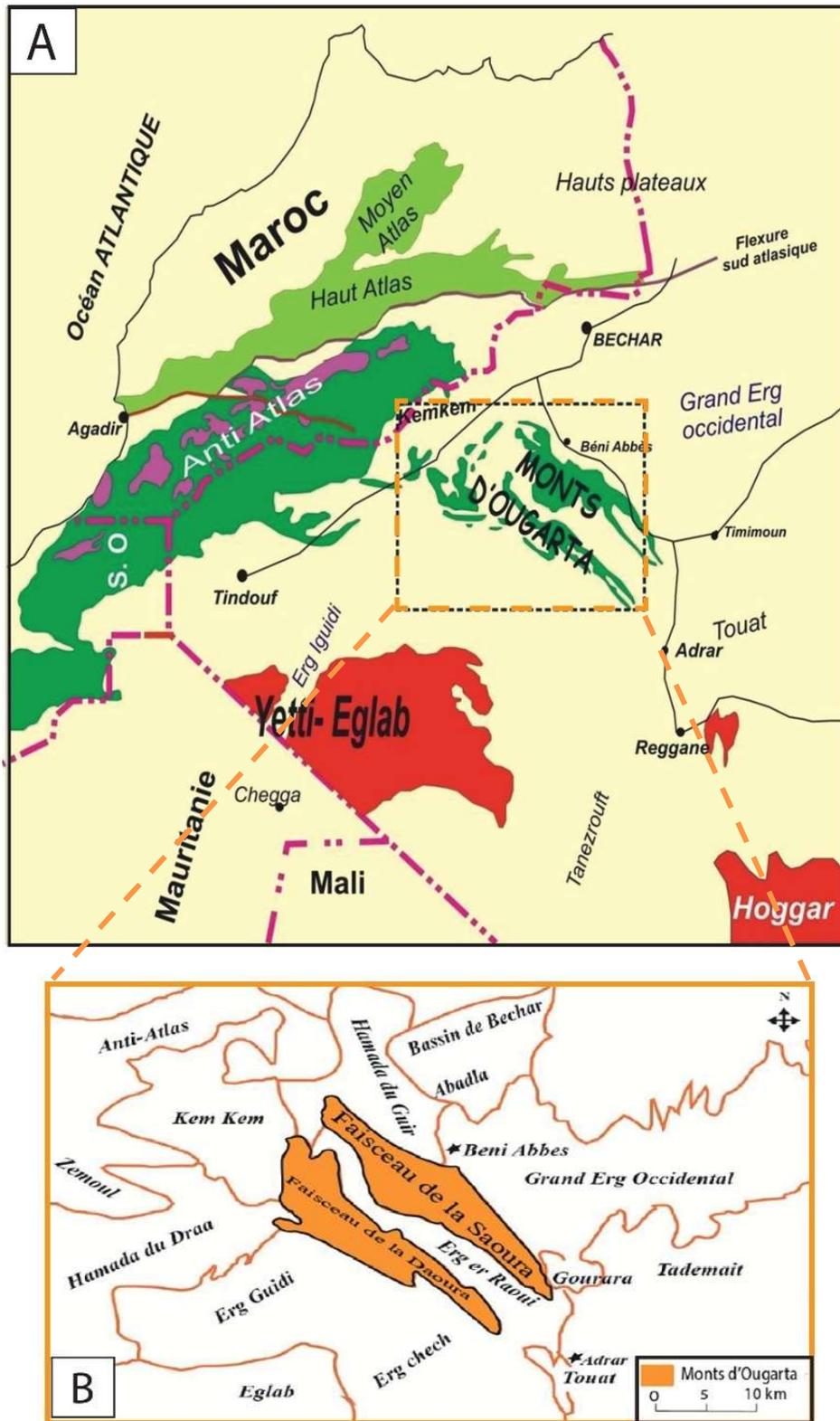


Fig. 1. : • A – Situation géographique des monts de l’Ougarta (Michard, 1976) et (Kecili Said Et Kadem Abderrahmane). • B – Représentation du deux faisceaux de la Saoura et la Daoura.

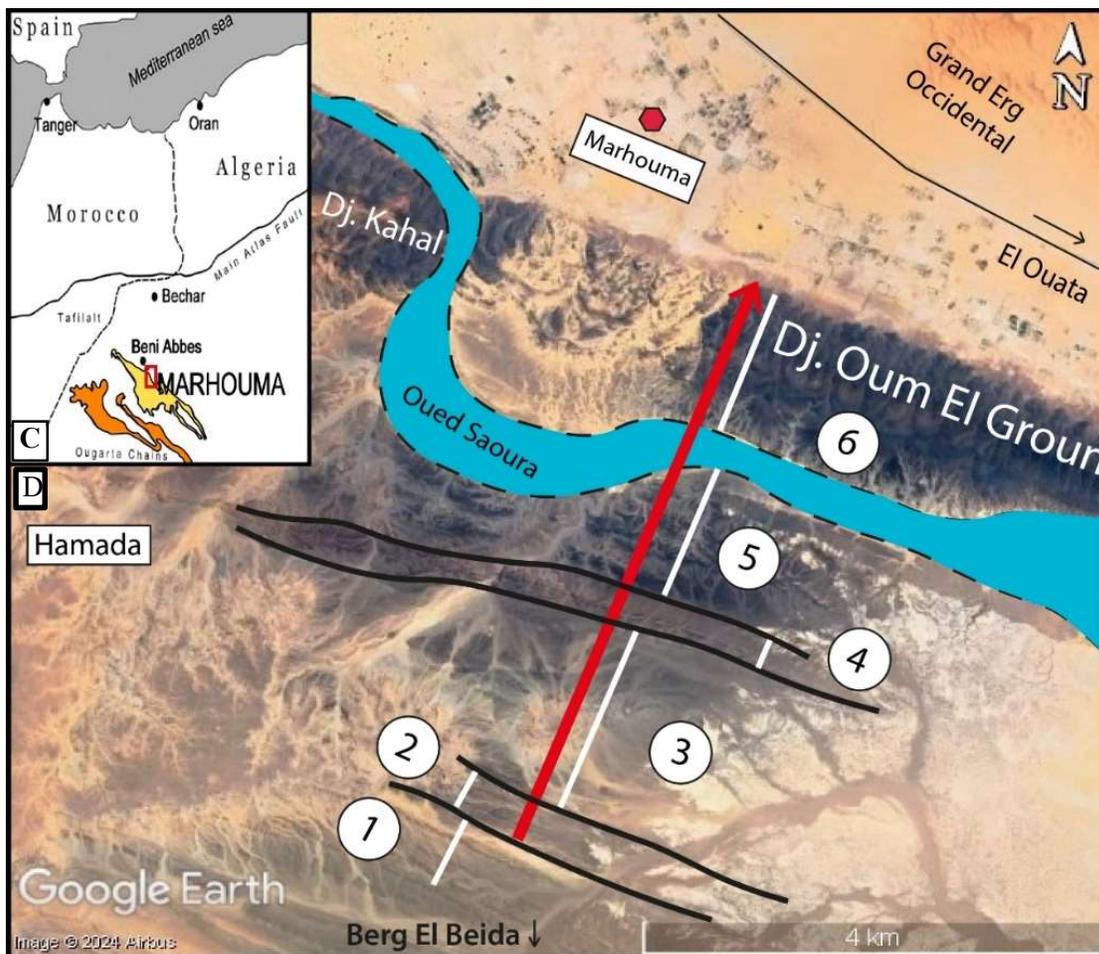


Fig. 2. Localisation géographique du site étudié dans la région de Marhouma. • C – situation de la zone de Marhouma dans les chaînes du nord de l'Ougarta, sud-ouest de l'Algérie. En jaune ; le faisceau de la Saoura et en orange ; le faisceau de la Daoura. • D – Vue satellite Google Earth de la zone SW du village de Marhouma. 1- Dévonien moyen ; 2- Frasnien ; 3-Famennien II ; 4- Famennien III, VI et V ; 5- Famennien VI ; 6- Strunien ; 1, 2- Formation de Cheffar El Ahmar ; 3, 4, 5- Formation des argiles de Marhouma ; 6- Formation des grès de Ouarourout

D'un point de vue structural, l'Ougarta est une chaîne de montagnes chevauchantes avec un faible raccourcissement, orientée du nord-est au sud-ouest. Selon Hevouet & Duée (1996), elle se compose de cinq unités structurales distinctes. Deux unités appartiennent à l'ensemble de la Saoura, comprenant l'unité septentrionale comprenant Sebkhâ Melah, Dar Oussakh et Gerzim, ainsi que l'unité Boukbeissat-Erg Atchan. Les deux autres unités, Kahal Tabelbala et l'Erg Athimine, constituent l'ensemble de la Daoura, tandis que la cinquième unité, Erg Chech, représente la partie autochtone ou l'avant-pays de la chaîne (Hervouet & Duée, 1996).

La série paléozoïque de l'Ougarta est affectée par des plis résultant de la réactivation de failles inverses dans le socle, formant des plis en forme de genou et un chevauchement qui crée des rampes et des paliers appelés "Kink-Band" (Donzeau, 1971 ; Zazoun et al., 2004).

Selon la définition de SHATSKY (1955), DONZEAU (1974) ET COLOMB & DONZEAU (1974),

Chapitre I : Généralités

la Chaîne d'Ougarta est un aulacogène. Elle se compose d'un sol volcanique et volcanosédimentaire d'origine précambrienne, recouvert d'une couverture sédimentaire qui s'étend du Cambrien au Carbonifère. En ce qui concerne la géologie, notre attention se porte sur la partie supérieure du Famennien.

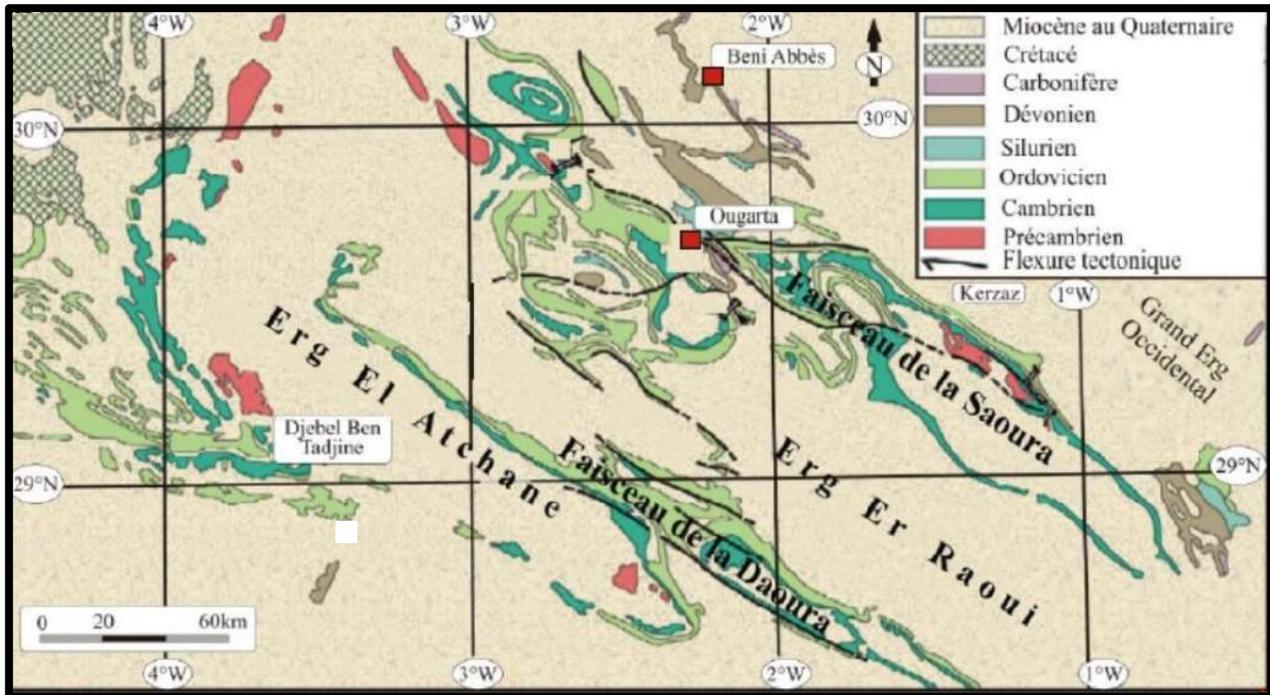


Fig. 3. Carte Géologique de la chaîne d'Ougarta

2. cadre géologique locale

Notre Secteur d'étude comprend des terrains du Dévonien supérieur (Frasnien-Famennien). Ils s'agissent des alternances des calcaires Griottes, Noduleux et ferrugineux, ensuite des Argiles vertes feuilletées.

Le Dévonien supérieur de l'Ougarta est représenté par trois formations : Les calcaires noduleux de type "griotte" sont un faciès clé pour les géologues étudiant l'histoire géodynamique de la région. La formation des Argiles de Marhouma (Famennien) et la Formation des Grès de Ouarourout (Strunien). (Abbache Abdelkader et al., May 2019).

La région des Monts d'Ougarta est caractérisée par des formations géologiques uniques et une biodiversité spécifique. Ces montagnes abritent également des vestiges archéologiques datant de différentes époques (Fig. 4). Les Monts d'Ougarta sont caractérisés par des paysages désertiques et arides, avec des sommets atteignant jusqu'à 1 000 mètres d'altitude. Cette région abrite une faune et une flore adaptées aux conditions extrêmes du désert saharien. Ils sont principalement constitués de grès et de calcaire, avec des altitudes variantes entre 600 et 800 mètres. Cette région montagneuse abrite une faune et une flore adaptées aux conditions arides du Sahara.

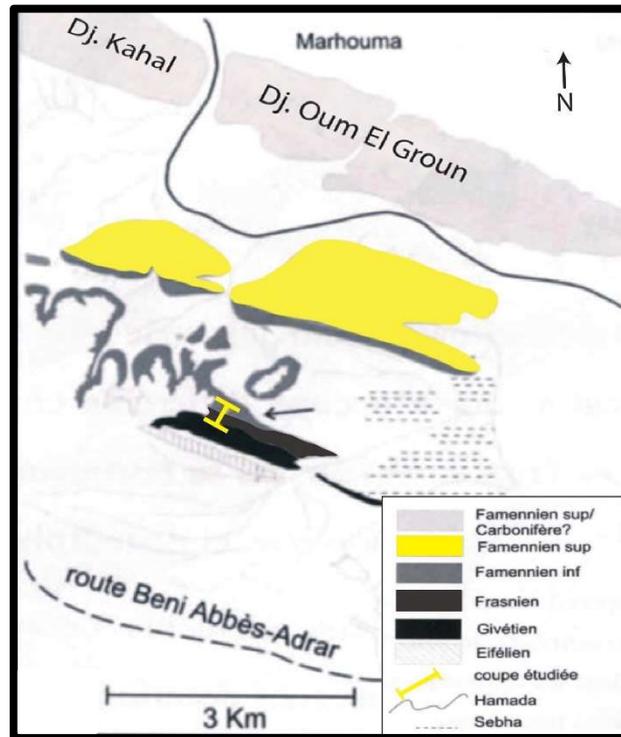


Fig. 4. Représentation géologique des principaux affleurements du Dévonien dans la région de Marhouma (Bassin de l'Ougarta, Algérie) d'après Pareyn (1961)

La région de Saoura est marquée par des calcaires noduleux de type "griotte" qui s'échelonnent depuis le Frasnien jusqu'au Famennien. Cet ensemble a fourni une riche faune de Goniatites et de Clyménies (Petter, 1952 ; Göddertz, 1987 ; Abbache, 2019) et contient des alternances marno-calcaires du Dévonien moyenne ; elle représente par une partie rougeâtre (calcaires Griottes) d'environ presque 100 m.

IV. TRAVAUX ANTERIEURS

De nombreuses recherches géologiques ont été menées sur le Sahara nord-occidental de l'Algérie, notamment sur la chaîne d'Ougarta. Nous mettrons en évidence les travaux les plus importants qui enregistrent l'évolution des connaissances sur la géologie de la région d'étude.

La première période était avant 1960, caractérisée par la reconnaissance géologique, s'est concentrée sur la description des unités lithostratigraphiques et les attributions stratigraphiques. GAUTIER (1902) a effectué la première étude géologique dans les monts de l'Ougarta. Les principales caractéristiques géologiques et stratigraphiques de la chaîne de l'Ougarta ont été étudiées par FLAMAND (1911).

MENCHINKOFF (1924), s'intéressa au Paléozoïque du Sahara algérien et a établi une échelle stratigraphique approfondie de cette période. L'écrivain mentionna les "Grès d'Ougarta" appartenant au Cambro Ordovicien, qui étaient précédemment attribués à l'Eodévonien. Un an plus tard, MENCHINKOFF (1933) identifie des faciès ordoviciens dans le faisceau de la Daoura.

Chapitre I : Généralités

La deuxième période est comprise entre 1960-1980, la recherche géologique saharienne est renforcée grâce à la découverte de pétrole à Hassi Messaoud. Les recherches de cette époque sont perçues comme un outil essentiel pour les études ultérieures. Ils se concentraient sur des synthèses lithologiques, stratigraphiques et paléontologiques.

En analysant les formations lithostratigraphiques des monts d'Ougarta, ARBEY (1962) présente quatre formations. Après une année, GOMEZ-SILVA et al (1963) effectuent une étude dans le Cambro-Ordovicien et identifient cinq formations entre la —Dalle à Lingules— et les argiles à graptolithes mentionnées dans le Silurien. La Compagnie Pétrolière Française a mené un essai de nomenclature lithostratigraphique du Cambro-Ordovicien saharien en 1964, dans lequel elle expose des formations de cône-in-cône dans des lits de calcaires rougeâtre de la "Formation de Foum-Ez-Zeidiya". Les graptolithes marqueurs (*Didymograptus fractus*) ont été utilisés pour attribuer un âge Arénigien supérieur à la même formation (LEGRAND, 1964).

Effectivement, d'autres recherches peuvent être mentionnées à titre d'exemple (PAREYN, 1961 ; ARBEY 1962 ; BASTIEN 1967 ; MAGLOIRE, 1968). Les cartes présentant les diverses traces laissées par les glaciations ont été élaborées pour résumer les écoulements glaciaires dans un schéma global (BEUF et al., 1971), qui relate les phénomènes glaciaires à la fin de l'Ordovicien dans la région saharienne.

Selon ARBEY et KOENIGUER (1979), des vestiges de végétaux ont été découverts dans le cortège glaciaire, avec des affinités avec les Nématophytes. FABRE (1976) a publié un livre sur la géologie du Sahara qui se concentre sur la synthèse du Cambro-Ordovicien de la chaîne d'Ougarta.

La troisième période a été représentée par les études récentes de géologie structurale a été menée par l'Office de recherche géologique et minière en Algérie (ORGM). Des recherches ont été menées sur les diaclases du Paléozoïque (DONZEAU, 1971) ; sur la pétrographie des roches volcaniques du Précambrien (CHIKHAOUI, 1974) ; G. CONRAD (1969) a effectué des études géologiques sur la carte d'Ougarta sur 1/200.000^e pour étudier les formations continentales. Des chercheurs algériens, comme Ait Kaci (1990), ont analysé les changements dans la lithostratigraphie et les sédiments pendant Cambrien-Ordovicien de l'Ougarta. On a également effectué des recherches structurales sur les monts de l'Ougarta. Au cours de la dernière décennie,

de nombreuses synthèses stratigraphiques et sédimentologiques ont été réalisées sur les formations détritiques du Cambro-ordovicien. Selon LEGRAND (2002), la limite de Cambro-ordovicienne est définie et appliquée. Selon ARBEY (2006), des algues de grande taille et peu fossilisées sont présentes à proximité des Nématophytes lors du dernier épisode glaciaire. Des recherches ont été réalisées par AIT-OUALI & NADJARI (2006) dans le Sahara nord-occidental (Ahnet, Ougarta et Timimoun), ce qui remet en question l'image de stabilité de la plate-forme saharienne.

En 2007, une étude de GHIENNE et al., consacrant aux terrains Cambro-Ordoviciens de l'Ougarta et MAZOUZI (2008) a présenté une étude sédimentologique dans le cadre de son mémoire de Magister basée sur l'inventaire des terrains arénigien supérieur-Ilanvirnien présents dans la région de Kerzaz et Zeghamra, cette étude se base sur l'analyse des faciès et des associations de faciès.

V. APERÇU GÉOLOGIQUE SUR LE DEVONIEN SUPERIEUR DES MONTS D'OUGARTA

On le retrouve ensuite dans les différentes formations : la partie sommitale de la Formation du Cheffar El Ahmar, la Formation des Argiles de Marhouma et enfin la Formation des Grès de Marhouma (également appelée Grès de Ouarourout).

1. La Formation du Cheffar El Ahmar (le sommet - 70 m)

Ensemble argilo-calcaire qui a représenté par deux zones à des minces passées gréseuses, zone à dominance argileuse d'âge Frasnien Ia marquée par la présence de des goniatites *Koenenites* (Petter, 1959), des conodontes de la zone à *asymmetricus* et des chitinozoaires *Ancyrochitina* sp., *Ramochitina* sp., *Ramochitina viridarium* et *Angochitinidea*. (Boumendjel et al., 1997), et zone à dominance calcaire attribuée au Frasnien Ib marquée par la présence de par la présence de goniatites *Manticoceras* (Petter, 1959), ostracodes *Entomozocea* (Casier, 1982 ; 1985) et des chitinozoaires *Angochitinae* (Boumendjel et al., 1997), marqué à la base des faciès griottes à slumps, à faune de goniatites associées avec quelques orthocères et polypiers. Les niveaux calcaires de cette formation est riche en tentaculites, ont à les *Dacryonarides* avec *Striatostyliolina striata* pour le Frasnien Ia et *Striatostyliolina menchikoffi* pour le Frasnien Ib (Malti, 2012).

2. La Formation des argiles de Marhouma (350 m)

C'est la plus épaisse formation du Dévonien supérieur. On a une grande combe argileuse à septarias à la base dans la formation argileuse de Marhouma, et faunes pyriteuses naines (Goniatites, clymenies, brachiopodes, bivalves) et au sommet dans la formation carbonatée de Marhouma par le développement des faciès griottes calcaires devenant argileux à ammonoïdes suivie par l'arrivée de passées de minces bancs silteux à caractères turbiditiques (Tedjini, 2021). Ces argiles à passées de silts et épisodes calcaires griottes vont fu Famennien II au Famennien base de VI (Petter, 1959 ; 1960 ; Abbache, 2019 : Abbache et al., 2019).

3. La Formation des grès de Marhouma (110 m)

La succession est représentée des grès noirâtres, massifs à interlits argileux. Les niveaux gréseux, métriques, montrent des structures slumpées et des figures sédimentaires de déformations synsédimentaires, des niveaux gréseux métriques montrent des structures slumpées et des figures sédimentaires de déformations synsédimentaires.

Elle est d'âge Famennien VI (niveau à Wocklumeriade Petter, 1959) dans les rares niveaux minces de calcaires. Vers le haut, les niveaux de grès quartziques et slumpés, recoupés par des failles synsédimentaires, avec des figures sédimentaires.

VI. GENERALITES SUR LES CALCAIRES GRIOTTES

Leur terminologie et leur interprétation ont suscité de nombreuses controverses. Après une discussion sur l'évolution de leur définition dans la littérature, Boyer et al. (1968), considèrent les "véritables griottes" comme des calcaires noduleux rouges, d'âge famennien, dont les nodules, séparés par des enveloppes phylliteuses, sont riches en petites coquilles d'Ammonoïdes (Mamet, 1995).

Dans la littérature pyrénéenne, le terme griotte est toutefois employé dans un sens plus large pour désigner des calcaires amygdalaires plus ou moins colorés du Dévonien ou du Carbonifère (Mamet, 1995).

Chapitre I : Généralités

Pour Mirouse (1966), le dépôt des griottes dévoniennes se serait effectué durant le maximum de régression de la mer, c'est-à-dire dans une mer peu profonde au fond instable, à proximité immédiate d'aires exondées. Le débit noduleux du calcaire serait dû à un phénomène de boudinage. Pour Aubouin (1964), les griottes sont l'équivalent probable, dans le cycle orogénique hercynien, des faciès "ammonitico-rosso" du cycle alpin. Elles se seraient déposées à la veille des mouvements orogéniques (Mamet, 1995).

Pour Boyer et al. (1968), la texture noduleuse a une origine précoce alors qu'au contraire Barrouquère et al. (1969) considèrent que cet aspect est en relation avec des déformations tectoniques agissant sur un matériel rythmique argilo-calcaire. Pour Franke & Walliser (1983) les calcaires plagiques varisques, h sédimentation lente, se seraient déposés à proximité d'une mer ouverte et correspondraient h une sédimentation de transition entre les environnements de type bassin et ceux de type néritique (Mamet, 1995).

Suivant Wendt & Aigner (1985), les calcaires noduleux du Paléozoïque se forment sur le bord extrême de la plate-forme, sur le talus ou dans un bassin peu profond. Ces auteurs considèrent que les calcaires griottes de la Montagne Noire correspondent un dépôt sur la pente et dans un bassin peu profond (plusieurs dizaines à plusieurs centaines de mètres) ; dans l'Anti-Atlas ils correspondent un dépôt de transition plateforme / bassin (Wendt & Aigner 1982) ; dans les Monts Cantabriques, les calcaires noduleux étalent déposés dans un environnement de transition talus / bassin. Ces calcaires condensent reflètent une période bien distincte de l'évolution d'un bassin sédimentaire, ils indiquent un stade intermédiaire d'approfondissement de la plateforme des marges continentales passives avant le stade de leur collision (Mamet, 1995).

Pour Dvorak (1989), les griottes ("Hercynien Facies") sont des dépôts typiques d'un environnement marin peu profond, en bordure de bassin, dans des bannes bien aérées, off les conditions oxydantes prédominaient, sans forts courants de fonds et durant une très faible subsidence. Les faunes pélagiques que l'on y trouve auraient vécu dans des eaux très peu profondes (seulement quelques mètres de profondeur) (Mamet, 1995).

Il est h noter ici que le terme "profond" a une acception fort différente suivant les auteurs cités. Pour un paléogéographe qui reconstitue des fossiles, des bassins et des plate-formes, les griottes sont "peu profondes". Pour une sédimentologue qui étudie une rampe carbonatée, les griottes sont "profondes" (Mamet, 1995).

1. Répartition des faciès griottes du Dévonien supérieur en Algérie

En Algérie, le faciès griotte est particulièrement bien développé dans la marge nord-ouest du domaine saharien. Dans la vallée de la Saoura (sud-ouest de l'Algérie), ce faciès, d'âge Frasnien Ib, forme la partie supérieure de la Formation de Cheffar El Ahmar et les argiles Famenniennes de la Formation de Marhouma (Abbache et al., 2022). Ce faciès affleure également dans la partie occidentale du bassin de Béchar (régions de Soltane El Betom, Maïder El Mahadjib et Theniet Haidoura, versant nord du Djebel Antar et du Djebel Horreit) au sein d'une série condensée formant une corniche calcaire décamétrique (Menchikoff, 1936 ; Weyant et Pareyn, 1975 ; Lemosquet et Pareyn, 1985). Dans le bassin de Gourara, les strates du Dévonien supérieur sont représentées au sein de la Formation argileuse de Kahla (Conrad et al., 1986 ; Abbache et al., 2019).

Dans la partie sud du Sahara algérien (bassins de Reggane, Ahnet et Mouydir), les gisements du Dévonien supérieur sont représentés au sein d'une épaisse série (800-1200 m) de schistes rouges et verts avec intercalation de lits limoneux et d'argiles avec des lentilles de grès sur les crêtes (Wendt et al., 2006) ou les arcs et paléohauts (Azzel Matti, Arcs d'Arak de Perron et al., 2018). Dans le bassin de Tindouf, les gisements du Dévonien supérieur sont représentés dans la Formation de Kereb En Naga (Bitam et al., 1996 ; Legrand, 2000) par l'alternance de schistes et de grès. Le faciès « Griotte » du Dévonien supérieur est également répandu dans les bassins de l'Anti-Atlas et du Tafilalt et du Maïder, au Maroc, au sein des séries de plates-formes (Hollard, 1967, 1974, 1981 ; Wendt et Belka, 1991 ; Lubeseder et al., 2010).

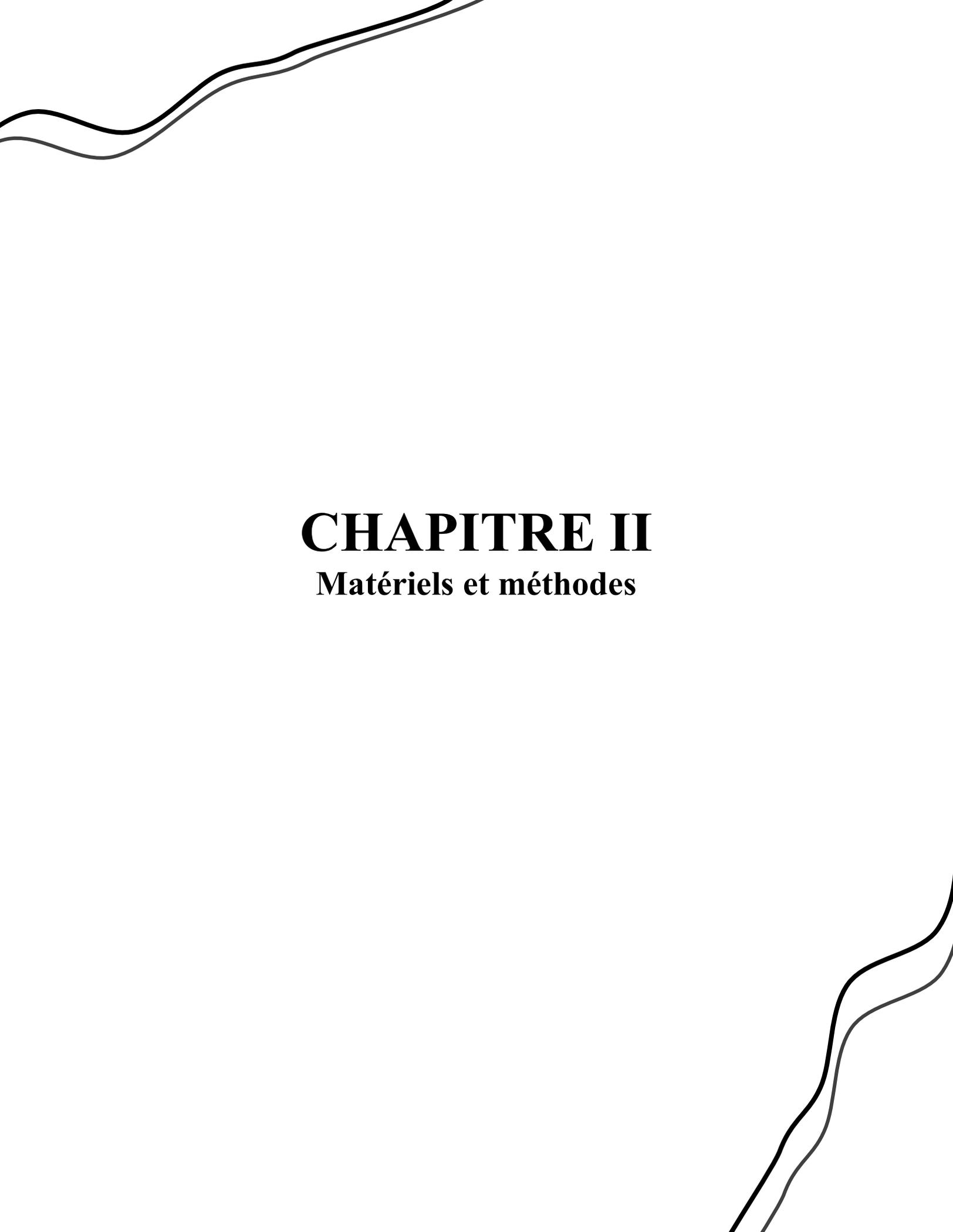
2. Subdivision d'après Boyer du faciès Griottes du Dévonien supérieur

Boyer (1964) et Boyer et al (1968) ont divisé la Griotte du Dévonien supérieur de Caunes-Minervois et de Montagne Noire en trois formations : l'Infragriotte, la Vrai Griotte et la Supragriotte. La Vrai Griotte (à laquelle le terme « griotte » était à l'origine appliqué) est un calcaire nodulaire argileux rouge, qui s'altère généralement pour donner un aspect bréchique (Fig. 4). Il a généralement une épaisseur de 10 à 15 m, est riche en ammonoïdes et est d'âge Famennien inférieur. La Supragriotte au-dessus (30-40 m d'épaisseur), du Famennien au Carbonifère inférieur, est constituée principalement de calcaires biomicrosparitiques de couleur grise ou chamois avec quelques horizons rouges. L'Infragriotte (20 à 40 m d'épaisseur), d'âge Frasnien, est plus variable le long de la Montagne Noire que la Vrai Griotte ou Supragriotte (Tucker 1974).

3. Les différentes hypothèses liées à l'origine de la pigmentation du calcaire rouge

Trois hypothèses différentes peuvent être envisagées expliquer l'origine de la pigmentation des calcaires rouges que l'on trouve sporadiquement dans tout le Phanérozoïque temps. Quelle que soit la relation avec le fer, les trois scénarios suivants sont possibles : (1) altération superficielle télogénétique (post-sédimentaire) ; (2) origine détritique du fer dérivé du fer continental altération pendant la sédimentation ; (3) présence de bactéries ferreuses au moment de sédimentation (Mamet 2006).

D'après Mamet (2006), l'hypothèse microbienne (fer-bactéries et champignons) a le mérite d'être compatible avec la plupart des observations motif pigmentaire. Il offre donc un argument raisonnable explication de la coloration de tous les sujets étudiés série pour laquelle un certain nombre de conclusions peuvent être atteint.



CHAPITRE II

Matériels et méthodes

Chapitre II : Matériels et méthodes

I. PRÉLÈVEMENT

Plus de vingtaine d'échantillons ont été récoltés au but de définir et réaliser une étude lithologique et sédimentologique des deux formations : Cheffar El Ahmar la zone à dominance carbonatés d'âge Frasnien Ia, et la coupe des argiles de Marhouma d'âge Famennien dans la Saoura, dans les terrains du dévonien supérieur de secteur des Monts de l'Ougarta. Cette opération a concerné la différenciation entre les nodules de calcaires griottes de chaque coupe qui est basée sur la morphologie des nodules, sédimentologie, et distribution stratigraphique afin d'établir l'environnement sédimentaire.

II. DÉMARCHE

1. Préparations des échantillons

▪ Au terrain

Sur le terrain, nous nous sommes basés sur les figures sédimentaires pour orienter davantage notre coupe géologique que nous avons réalisée en détail, à l'échelle d'un banc par banc. Nous avons décrit sur place les faciès sédimentaires carbonatés ainsi que la faune associée et les structures sédimentaires. Les roches prélevées ont été concassées en petits morceaux afin d'observer leur contenu faunique. À partir d'une coupe détaillée, banc par banc, nous avons noté les variations verticales et latérales des épaisseurs, complété les descriptions des faciès, et résumé les données sous forme d'une coupe appuyée par une description lithologique. Les échantillons ont été numérotés de bas en haut sur le log lithostratigraphique. L'échantillonnage a été réalisé en prélevant chaque banc et en observant les caractéristiques sédimentaires pour assurer un échantillonnage systématique.

▪ Au laboratoire

1. Le travail au laboratoire consiste à Choisir les échantillons à étudier et les diviser en deux moitiés. Une moitié est utilisée pour la préparation de lames minces, qui consiste à scier la roche en forme de sucre, coller l'échantillon sur une lame de verre et polir jusqu'à obtenir une épaisseur d'environ 30 μm . La fabrication des lames minces passe par trois étapes principales : le sciage de la roche, le collage de l'échantillon sur une lame de verre et la fabrication de la lame mince par polissage de l'échantillon. Il faut utiliser un disque diamanté de 350 mm de diamètre pour une découpe sécurisée, afin d'obtenir une tranche d'environ 1 cm d'épaisseur avec deux faces parfaitement parallèles. Cela facilite ensuite la préparation du "sucre"

✓ *Fabrication du Sucre*

Nous réalisons un surfaçage du sucre pour le rendre parfaitement lisse, en éliminant les stries par frottement dans du produit T600 ou T800 avant de le coller sur la lame. Pour la lame, nous utilisons la même méthode avec du T1000 pour obtenir une surface dépolie

✓ *Le collage sur lame de verre*

L'une des faces du "morceau de sucre" est aplanie par usure avec un abrasif à l'aide d'un tour à plateau horizontal. Après cela, la face rectifiée est collée sur une plaque de verre.

Chapitre II : Matériels et méthodes

✓ *La réalisation d'une lame mince*

Le fragment de roche collé sur la lame est ensuite réduit à une épaisseur d'environ 2 mm à l'aide d'une scie diamantée. Ensuite, cette section est encore affinée en utilisant des abrasifs sur le plateau du tour. À la fin du processus, nous vérifions au microscope polarisant le parallélisme des faces et l'épaisseur de la préparation, qui doit atteindre environ 30 μm .

Après la préparation des lames minces, l'autre moitié de chaque échantillon est utilisée pour réaliser des Slabs (Sections Polies) afin d'améliorer la qualité de l'observation et de faciliter l'interprétation.

2. Étude pétrographique

L'étude pétrographique comprend la réalisation de photographies d'une vingtaine de lames minces (10 pour chaque coupe) ainsi que l'observation microscopique des caractéristiques microfaciologiques. Les descriptions lithologiques des roches carbonatées sont basées sur les classifications de Dunham (1962) et Embry et Klovan (1971).

L'analyse de l'environnement sédimentaire repose sur plusieurs approches : la sédimentologie à travers l'étude des faciès, l'approche paléontologique qui consiste à décrire la biodiversité par la quantification des fossiles collectés, ainsi que l'étude du mode de vie et de la répartition des organismes en utilisant les travaux de Flügel (2004) et la Micro Facies Standard (MFS). L'aspect taphonomique des bioclastes a été étudié pour caractériser l'influence de l'hydrodynamisme.

▪ **Classification de Dunham (1962)**

Elle tient compte de l'organisation des éléments de la roche qui reflète la texture originelle. Son utilisation permet d'évaluer de manière relative l'hydrodynamisme du milieu de dépôt. La classification suggérée par Dunham (1962) prend en considération la présence ou non de boue carbonatée et la disposition jointive ou non jointive des grains. Cette classification est basée trois critères fondamentaux :

- La présence ou l'absence de la boue carbonatée (boue = particules inférieures à 20 μm).
- La proportion de grains présents dans la roche, les grains étant les éléments de taille supérieure à 20 μm .
- La disposition (jointifs = grain supported) ou (non jointifs = mud supported) de ces grains.

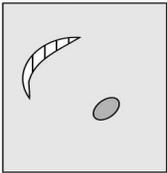
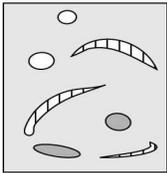
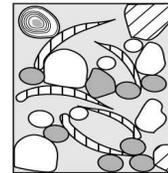
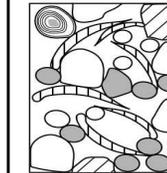
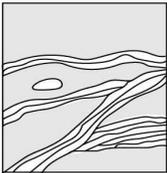
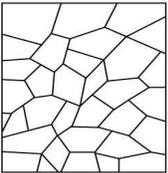
Texture d'origine reconnaissable				Composants liés au moment du dépôt	Texture d'origine non reconnaissable
Composants non liés ensemble au moment du dépôt		Composants liés ensemble au moment du dépôt			
Présence de boue carbonatée		Pas de boue			
Grains non jointifs < 10% de grains	Grains jointifs > 10% de grains	Grains jointifs	Grains jointifs		
					
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Crystalline

Fig. 5. Classification de Dunham (1962) pour les roches carbonatées

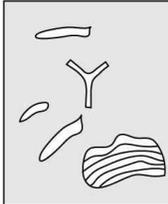
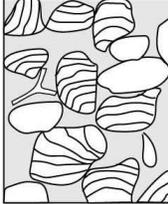
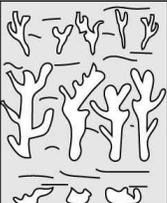
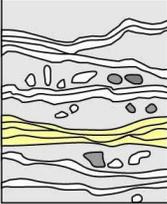
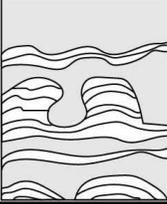
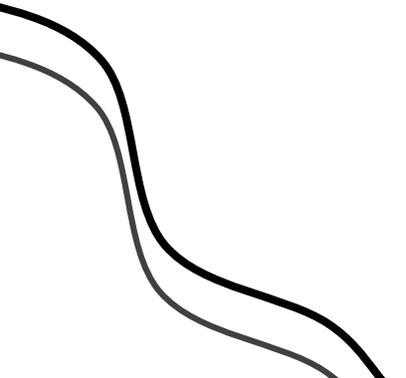
Composants non liés ensemble au moment du dépôt (éléments allochtones)	Composants liés ensemble au moment du dépôt (boundstone) (éléments autochtones)
<p>> 10 % de grains > 2 mm</p>  <p>Floatstone Eléments non jointifs inclus dans une matrice</p>  <p>Rudstone Eléments jointifs (roche majoritairement constituée de clastes)</p>	 <p>Bafflestone Calcaires construits par des organismes branchus disposés perpendiculairement au courant, qui piègent les sédiments</p>  <p>Bindstone Calcaires construits par des organismes tubulaires ou lamellaires qui encroûtent les sédiments ou les débris de matériaux contemporains au dépôt (algues)</p>  <p>Framestone Calcaires construits par des organismes massifs, qui forment l'armature de la roche (coraux massifs des barrières coralliennes)</p>

Fig. 6. Classification d'Embry et Klovan (1971) pour les calcaires construits



CHAPITRE III

RESULTATS ET INTERPRETATION

I. LITHOSTRATIGRAPHIE

L'étude biostratigraphique et sédimentologique a été menée pour la coupe de Marhouma, couvrant une étendue de plusieurs centaines de mètres de sédiments pour l'intervalle stratigraphique couvrant le dévonien supérieur (Frasnien et Famennien). Cette couverture atypique de la région de Marhouma est caractérisée par la présence de deux formations principales : Cheffar el Ahmar à la base et la formation de Marhouma au sommet. Les travaux de Boumendjel et al (1997) ont permis de proposer une redéfinition de ces unités lithostratigraphiques. Cette redéfinition repose sur une analyse de synthèse des résultats obtenus par divers chercheurs, parmi lesquels Flamand (1911), Menchikoff (1930, 1936), Fabre (1976), et Legrand (1977).

1. Formation de Cheffar El Ahmar

En se basant sur les changements de des faciès sédimentaires et la stratonomie des séquences, la Formation de Cheffar El Ahmar est décrite de manière ascendante comme suit :

Membre I : Black shales à des passées carbonatés (20 m)

Les black shales représentent le faciès le plus dominant dans toute la coupe, aussi bien dans le Frasnien que dans le Famennien. Ils sont intercalés par des calcaires pseudonoduleux ocres contenant des ammonoïdes rares, pour former des concentrations de strates centimétriques noirâtres, parfois rougeâtres. Dans la partie supérieure de ce premier membre, on observe une alternance irrégulière avec une masse de black shales métrique, attribuée à l'événement anoxique du Frasnien, selon Mahboubi et Gatovski (2015). Ce faciès renferme de rares nodules diagénetiques dispersés de calcaires argileux à tentaculites.

Membre II : Calcaires griottes slumpés (20 m)

Ce membre est représenté par une alternance de calcaire rougeâtre « griotte » (Fig. 9 et Fig. 10) et des argiles feuilletées d'aspect schisteux indurées (Fig. 8) intercalées à la fois par des nodules centimétriques (0,01 à 0,05 m) dispersés et des passées centimétriques de calcaires argileux (Fig. 07). Deux barres carbonatées bioclastiques multi centimétriques sont affectées par le slump (Fig. 11), elles sont riches en faune en Goniatites, Trilobites, et quelques traces de bivalves. A la cassure, l'ensemble des calcaires montrent une texture de type calcilutite. Ce membre correspond à une alternance rougeâtre de calcaire noduleux (0,10 à 0,80 cm) bioturbés, et de niveaux argileux (0,20 à 1 m) à macrofaune d'ammonoïdes, de brachiopodes, de bivalves et de crinoïdes (Abbache et al., 2018).



Fig. 07. Vue panoramique du « Frasnien » mettant en évidence les couches calcaires intercalant des Argiles

Chapitre III : Résultats et interprétation



Fig. 8. Masse argileuse métrique épaisse de couleur noire « Black shale » membre I



Fig. 9. Slump de Dévonien supérieur « Frasnien » Membre II

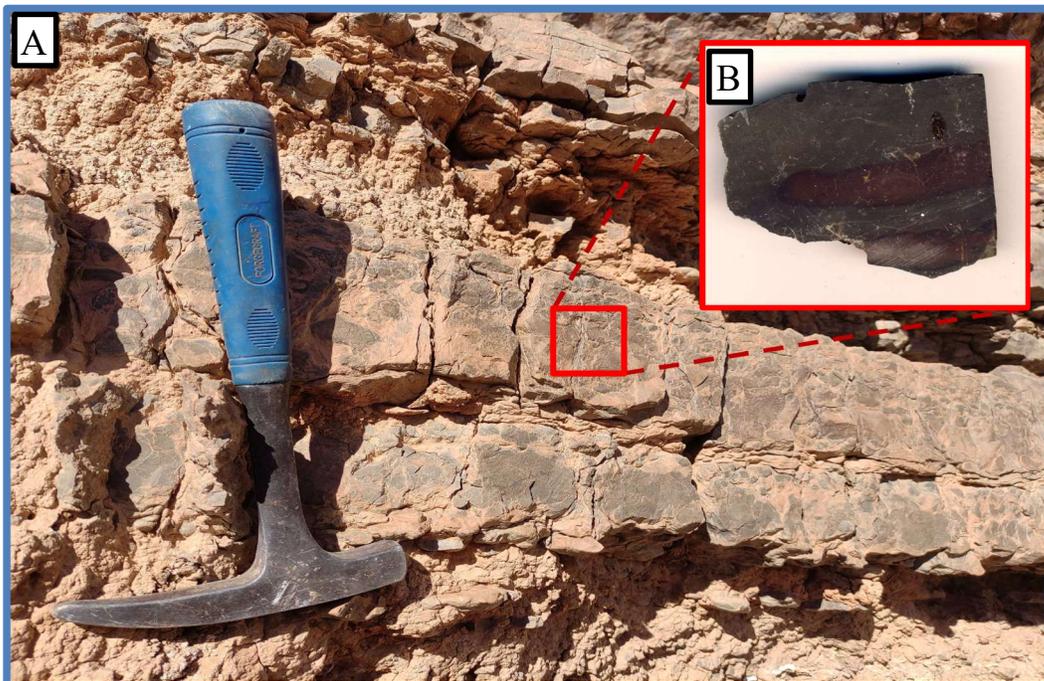


Fig. 10. • A – Bancs de calcaires pseudonoduleux (Griottes). • B – Section poli d'échantillon N° 1

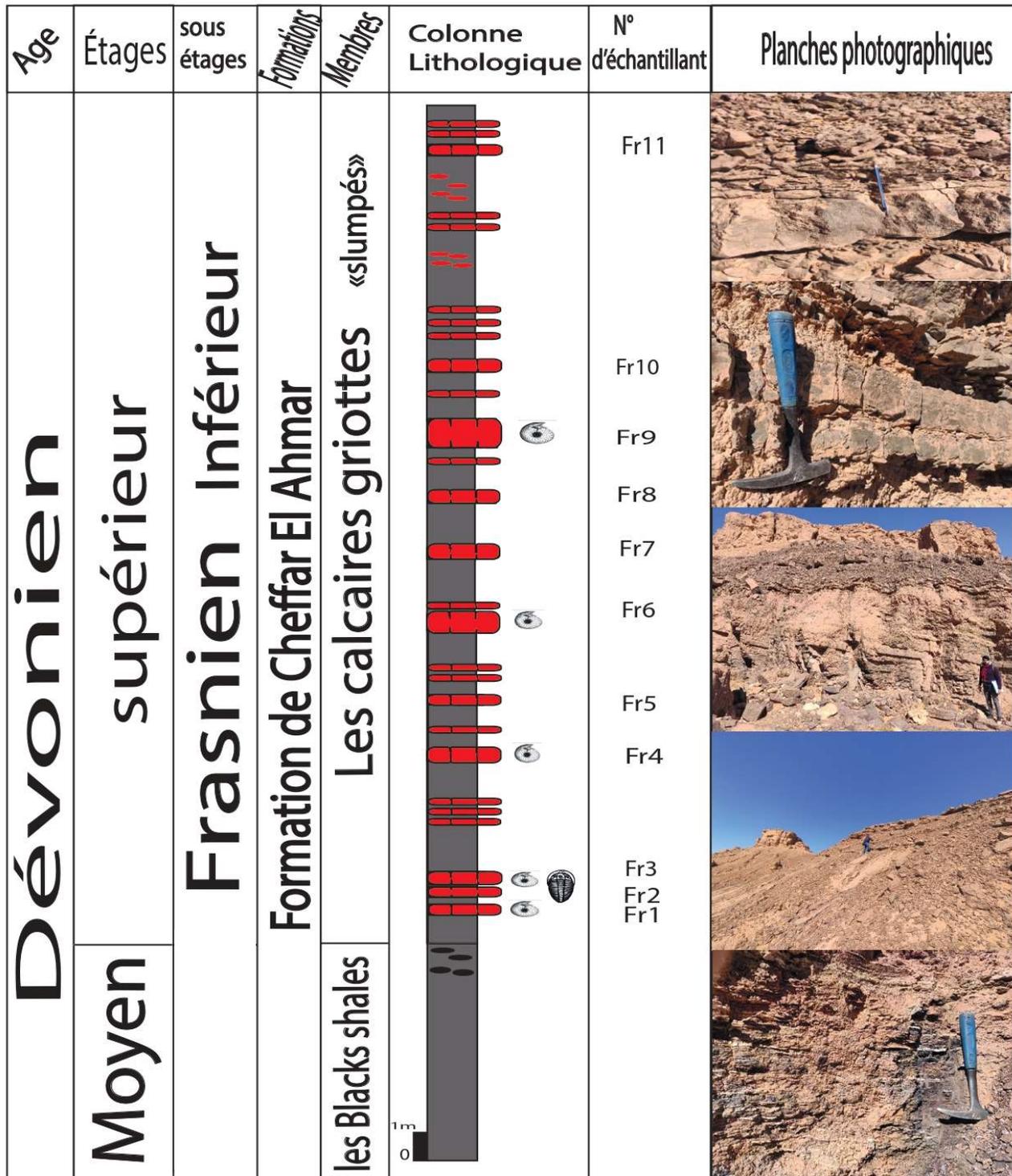


Fig. 11. Colonne lithologique de la coupe de Marhouma (Formation de Cheffar El Ahmar, Frasnien)

Chapitre III : Résultats et interprétation

2. Formation de Marhouma

Ce terme a été introduit par les géologues pétroliers (Poueyto, 1965 ; Bastien *et al.*, 1965) dans des rapports internes (Boumendjel *et al.* 1997). La coupe étudiée est représentée par une alternance centimétrique rougeâtre de calcaires griottes noduleux et d'argiles feuilletées centimétriques.

La coupe de Marhouma est divisée en deux membres : le membre des « Griottes calcaires » daté du Famennien IV et le membre des « Griottes argilo-calcaires » du Famennien V (Petter, 1952).

Membre I : Griottes calcaires (4.5 m) (Fig. 16)

Le premier membre est représenté par les griottes calcaires, une alternance centimétrique de calcaires rougeâtres et d'argiles feuilletées. Les calcaires sont de couleur rougeâtre avec une patine et noirâtre à verdâtre à la cassure (voir Fig. 12), d'une épaisseur de 10 à 20 cm. Ces niveaux de calcaires noduleux sont bioturbés. Les argiles sont de couleur verdâtre à grisâtre, feuilletées, d'une épaisseur de 7 à 15 cm, présentant un aspect schisteux. Un niveau repère de calcaire argileux pseudonoduleux de couleur jaune, fossilifère (placages de brachiopodes de petite taille), atteint 10 cm d'épaisseur.

Vers la partie médiane de cette coupe, les interlits argileux se réduisent à de faibles épaisseurs (5 à 10 cm), tandis que les bancs de calcaire griottes voient leur épaisseur augmenter jusqu'à 40 cm par rapport à ces interlits argileux. Ils deviennent très rapprochés et stratocroissants, avec des surfaces sommitales sculptées et fortement bioturbées. Ensuite, les bancs de calcaire présentent une diminution d'épaisseur par rapport aux niveaux argileux. Le macrofaune est constitué de débris de brachiopodes et de goniatites.

Membre II : Griottes argilo-calcaires (6 m) (Fig. 16)

Dans la partie supérieure du deuxième membre, on observe une alternance rythmique et régulière de griottes argilo-calcaires, mesurant entre 7 et 15 cm, avec des couches de calcaires rougeâtres présentant une patine et une cassure variant du rougeâtre au noirâtre (voir Fig. 16). Ces couches comprennent également des nodules bioturbés ainsi que des argiles feuilletées rougeâtres, plus ou moins argileuses, dont la surface supérieure est sculptée et ondulée. Le macrofaune est caractérisé par une abondance de goniatites et quelques brachiopodes.

À la fin de cette coupe, on constate la mise en dépôt d'une couche argileuse verdâtre à grisâtre, d'aspect schisteux, qui peut atteindre jusqu'à 150 centimètres d'épaisseur. Cette couche est coiffée par des bancs ou des passes de calcaires rougeâtres, bioturbés, mesurant entre 3 et 6 centimètres d'épaisseur.

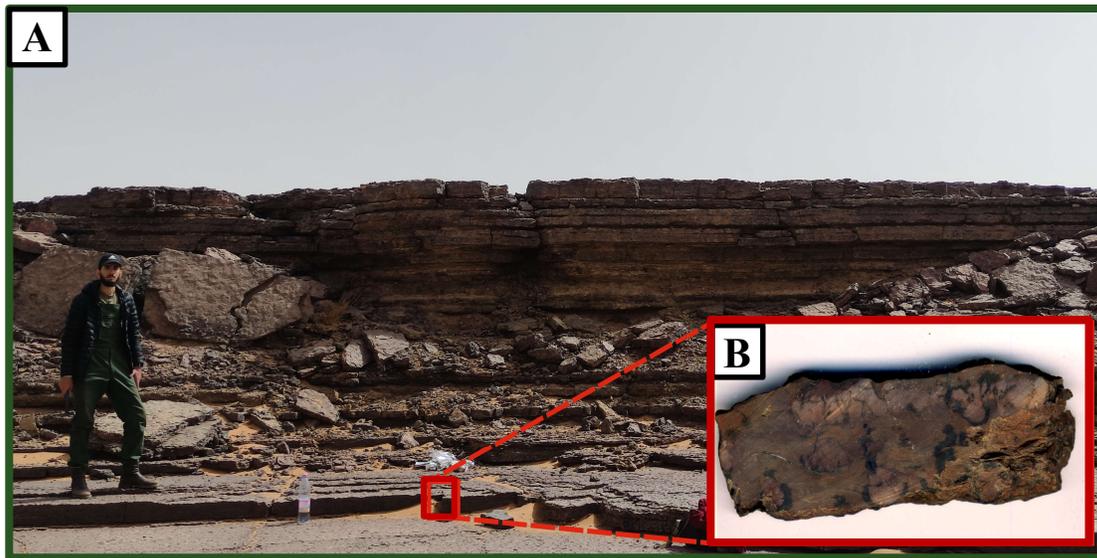


Fig. 12. • A – La partie basale de la coupe de Marhouma (Formation de Marhouma, Famennien IV et V) marquer par une dominance calcaire. • B – Section poli (Slab) de l'échantillon N° 1



Fig. 13. • C – La limite lithostratigraphique entre les deux membres (séparer par la ligne discontinue en jaune). • D – Section poli (Slab) de l'échantillon N° 7



Fig. 14. Des moules externes de goniatices avec quelques débris de brachiopodes

La légende

lithologies :

-  Argiles
-  Calcaires noduleux (Griottes)

Structures sédimentaires :

-  Banc pseudonodulaire
-  Surfaces bioturbées
-  Banc nodulaire

Fossiles :

-  Brachiopodes
-  Goniatices
-  Trilobites

Fig. 15. Légende et symboles utilisés

Chapitre III : Résultats et interprétation

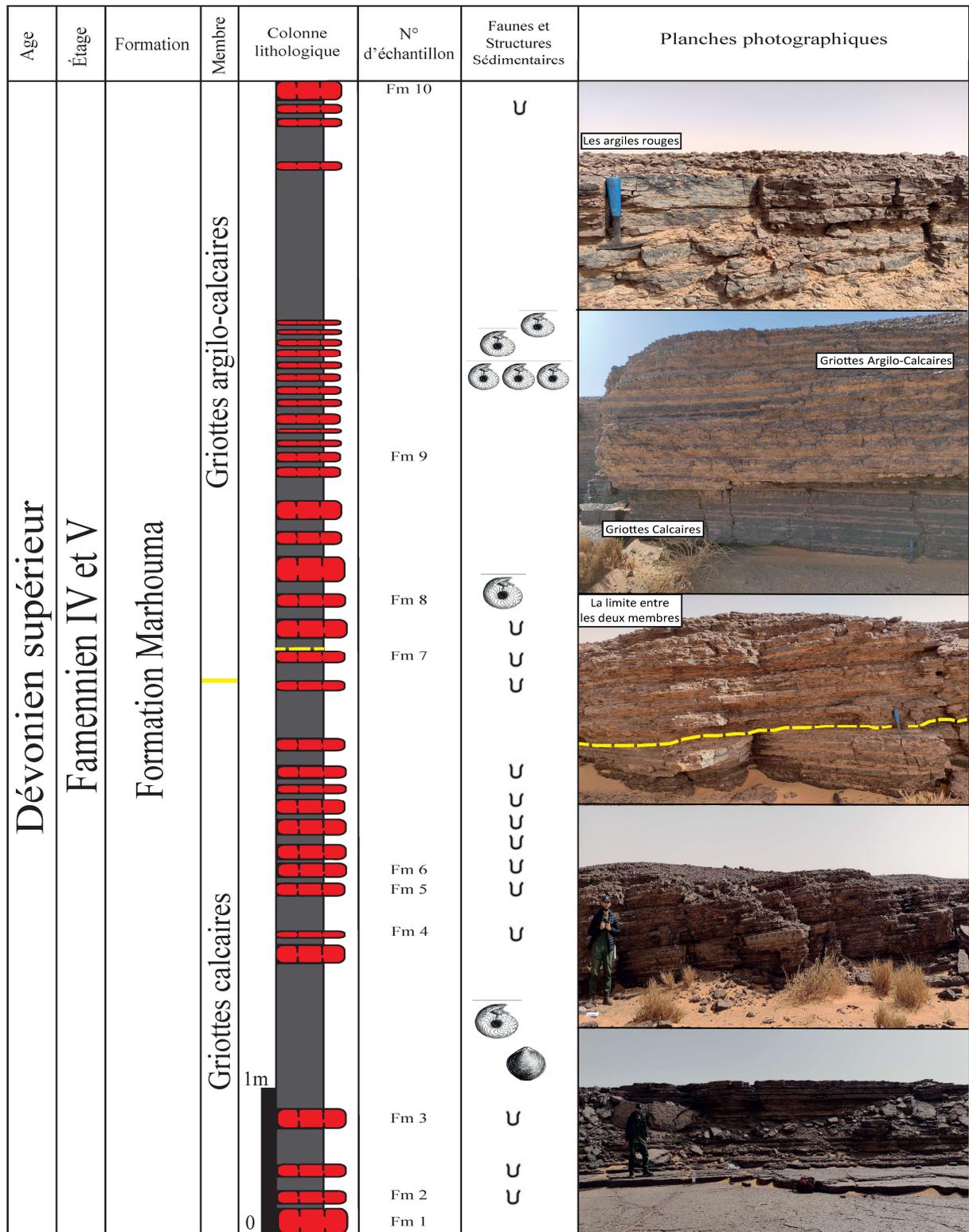


Fig. 16. Colonne lithologique de la coupe étudiée (Formation de Marhouma, Famennien IV et V) dans le secteur du « km 30 ».

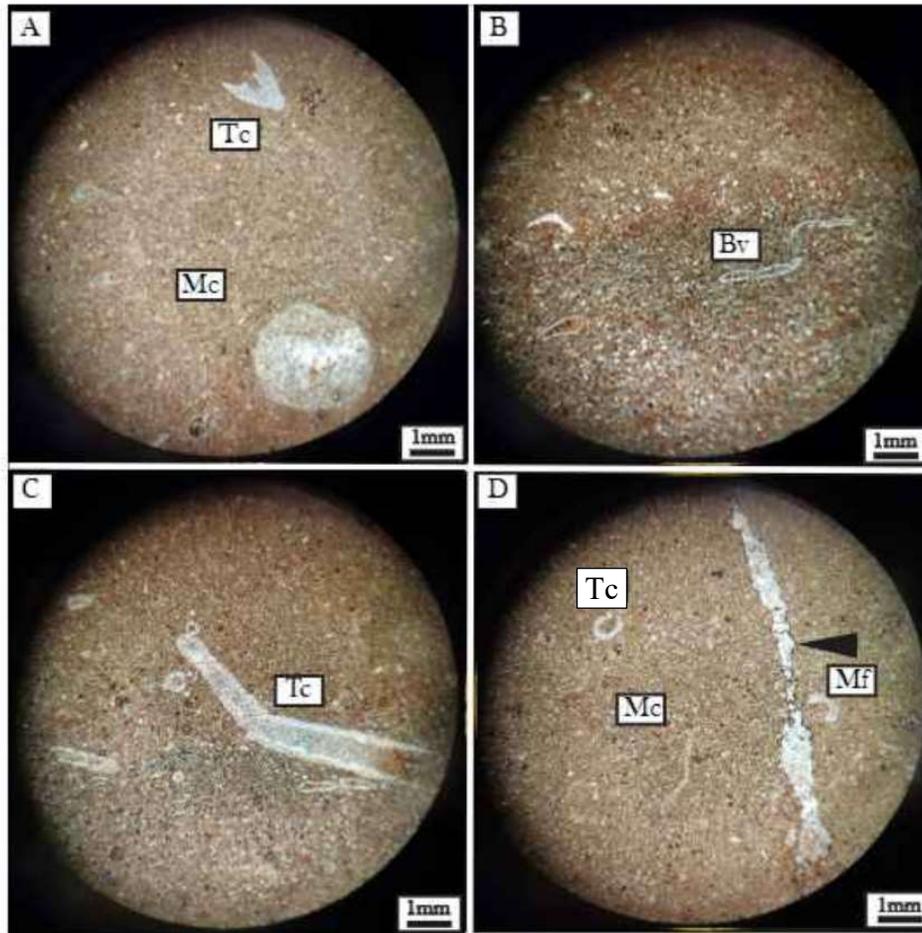
Chapitre III : Résultats et interprétation

II. ÉVOLUTION DES FACIES SÉDIMENTAIRES

1. Description des faciès du Frasnien (coupe de Cheffar El Ahmar)

Lame N°01

L'analyse microscopique de la Lame n° 1 révèle une texture mudstone, contenant occasionnellement des bioclastes tels que des tentaculites, des fragments de bivalves (Bv), des ostracodes, ainsi que des microfractures (Mf) et quelques éléments non identifiés.



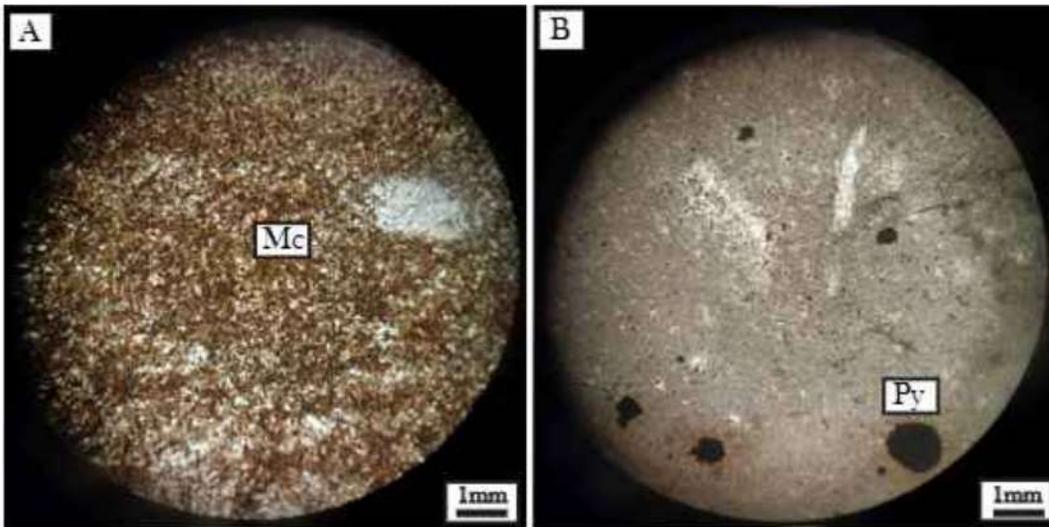
[A] : Mudstone avec tentaculites (Tc) et des microfilaments (Mc). [B] : Biomicrite Mudstone avec des fragments de Bivalves (Bv). [C] : Biomicrite Mudstone à tentaculites (Tc). [D] : Biomicrite à microfilaments et quelques Ostracodes (O) avec des Microfractures (Mf).

Planche I : Microfaciès de la lame Fr 1

Chapitre III : Résultats et interprétation

Lame N°2

L'observation de cette lame montre qu'il y a calcisiltite à rare bioclastes, la texture est mudstone. On remarque aussi des grains de pyrite (Pr).



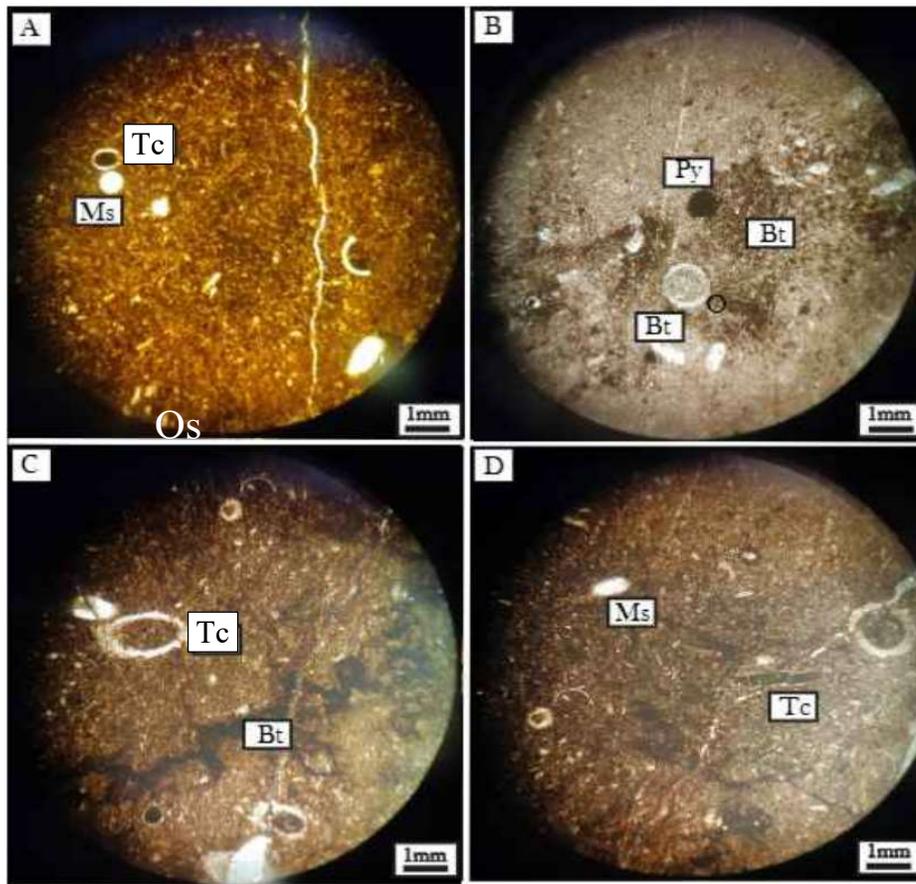
[A] : mudstone à rare bioclastes. [B] : mudstone à rares tentaculites à Pyrite (Py).

Planche II : Microfaciès de la lame Fr 3

Chapitre III : Résultats et interprétation

Lame N°3

La lame présente une texture de mudstone avec une abondance de bioclastes, incluant des tentaculites, quelques ostracodes benthiques (O), des miospores, et des fragments de bivalves. Bien que la fraction silteuse soit également présente, elle est nettement moins abondante que dans la lame mince précédente. La bioturbation (Bt) est fortement marquée dans cette lame. Il est important de noter la présence d'une hématisation avancée, ce qui confère à ce faciès une couleur rouge foncé, voire noirâtre haut du formulaire.



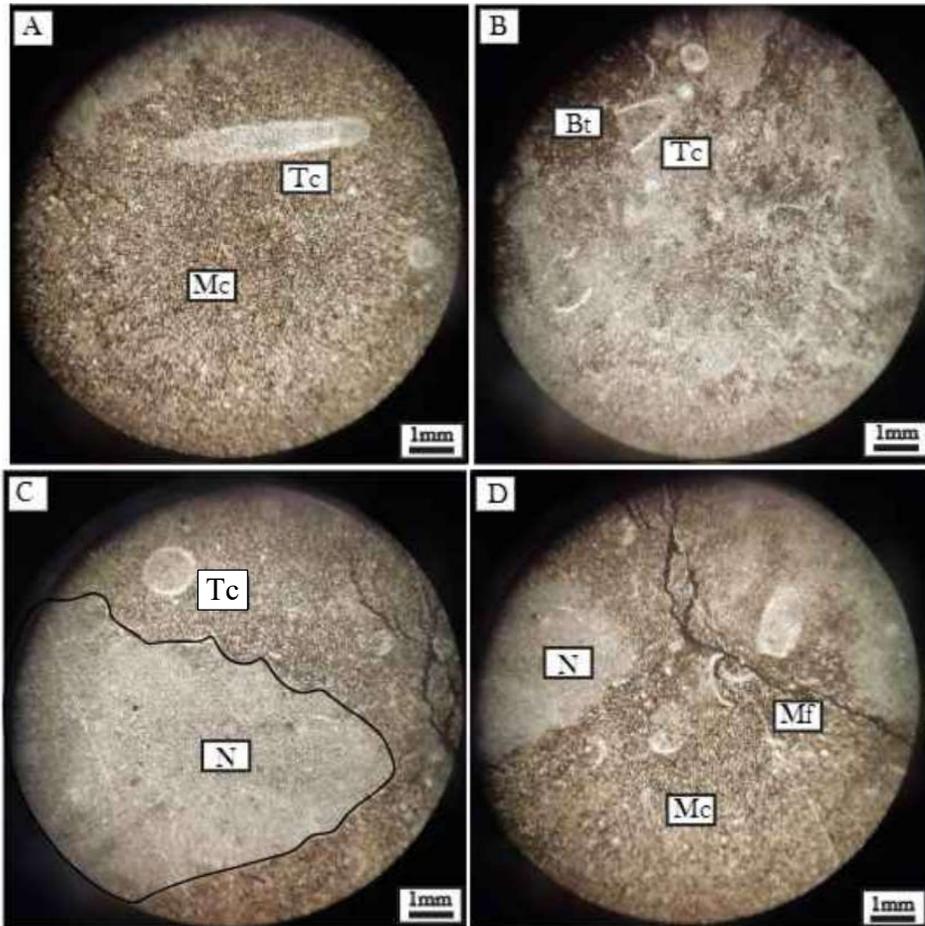
[A] : Biomicrite mudstone avec tentaculites (Tc) et des miospores (Ms). [B] : Biomicrite à Bioturbation avec des grains de Pyrite (Py). [C] : Biomicrite à tentaculites. [D] : Biomicrite a rare tentaculites et des microfilaments

Planche III : Microfaciès de la lame Fr 4

Chapitre III : Résultats et interprétation

Lame N°4

La texture est caractéristique d'une calcisiltite, montrant une dominance de bioclastes tels que des tentaculites (Tc) et des microfilaments. On observe également la présence de nodules (N) et quelques microfractures post diagénétiques. O bioturbation (Bt).



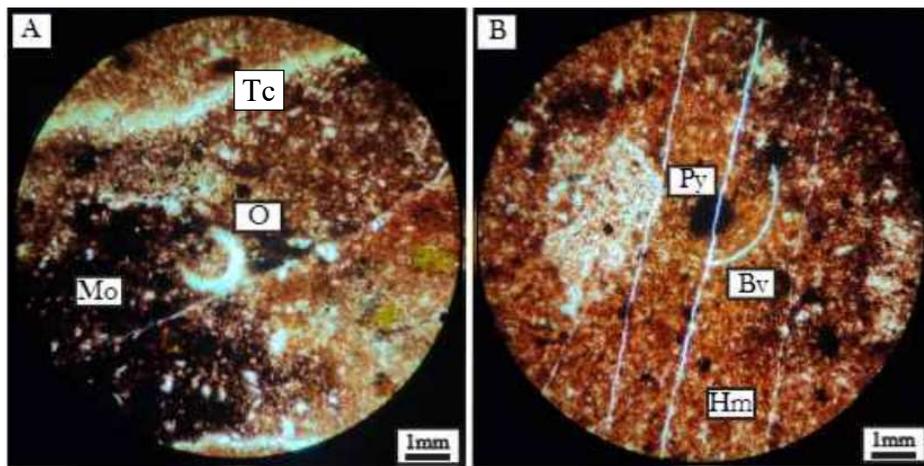
[A] : mudstone à rare tentaculites (Tc). [B] : Biomicrite à tentaculites soumise à la bioturbation (Bt). [C] : Biomicrite à tentaculites, le processus de nodulisation N est constaté dans cette lame. [D] : mudstone à rares faunes pélagiques tels que les tentaculites

Planche IV : Microfaciès de la lame Fr 5

Chapitre III : Résultats et interprétation

Lame N°5

La texture de cette lame mince est de type wackestone montre la présence de tentaculites ainsi que des grains de pyrite (Py), des Ostracodes benthiques (O), des fragments de bivalves (Bv), et une concentration de matière organique (Mo), accompagnés de microfractures remplies de calcite. Il s'agit d'un calcisiltite bioclastique hématisée (Hm)



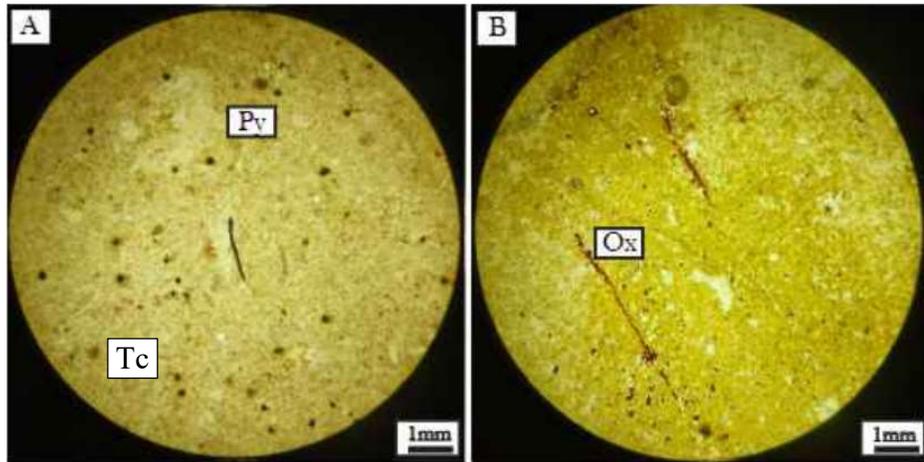
[A] : Biomicrite Wackestone à Ostracodes benthiques et la concentration de la matière organique et quelques éléments non identifiées. [B] : Biomicrite à rares tentaculites et des points noirs montre le Pyrite (Py) avec des microfractures à remplissage calcite.

Planche V : Microfaciès de la lame Fr 6

Chapitre III : Résultats et interprétation

Lame N°6

La texture mudstone présente des grains de pyrite (Py), ainsi que quelques tentaculites (Tc) et d'autres faunes indéterminables.

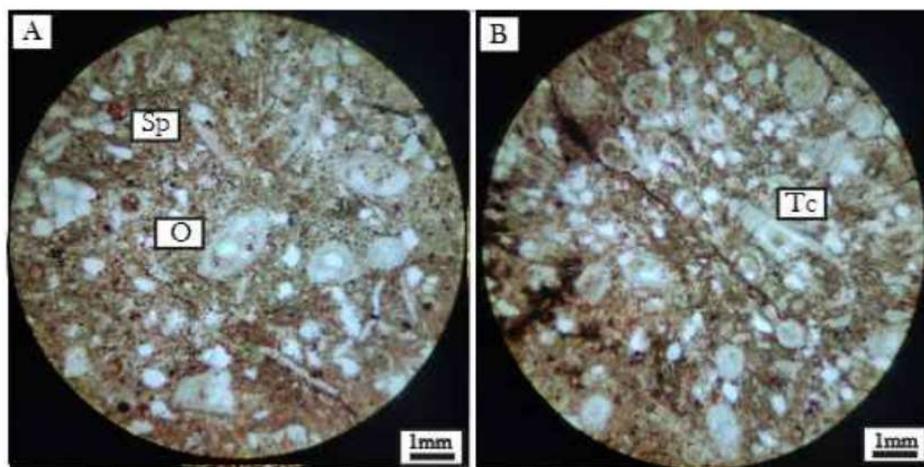


[A et B] : Mudstone à pyrite (Py).

Planche VI : Microfaciès de la lame Fr 8

Lame N°7

La calcisiltite bioclastique montrant une prédominance de tentaculites (Tc) et de microfractures, et d'éléments non identifiés.



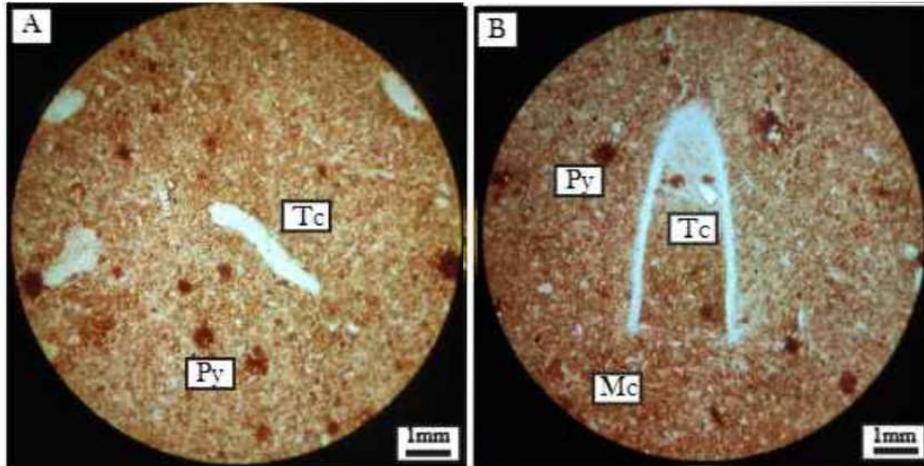
[A] : mudstone à tentaculites. [B] : mudstone à bioclastes ('Tc', 'Py'...)

Planche VII : Microfaciès de la lame Fr 9

Chapitre III : Résultats et interprétation

Lame N°8

La calcisiltite révèle une présence notable de tentaculites (Tc). La couleur rouge est marquée, indiquant une concentration de fer, et les grains de pyrite (Py) responsable à cette coloration

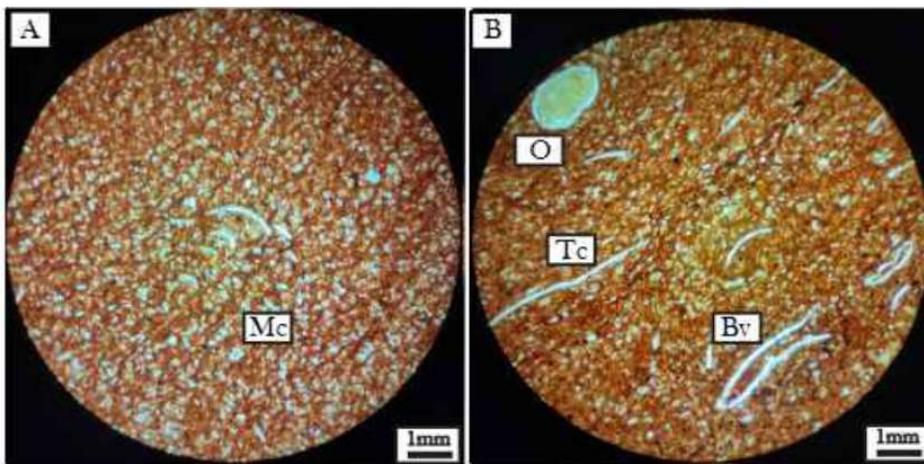


[A et B] : mudstone à tentaculites (Tc). La concentration en fer étant notable.

Planche VIII : Microfaciès de la lame Fr 10

Lame N°9 :

L'examen de la lame révèle la présence d'une calcisiltite, ainsi que plusieurs tentaculites (Tc) accompagnées de microfilaments (Mc) provenant de fragments de bivalves (Bv) et d'ostrocodes benthiques (O). La stratification des plages de siltes et les bioclastes est bien distinctes



[A] : mudstone à rare faunas ([B] : mudstone à rare tentaculites (Tc), (O), des fragments de Bivalves (Bv).

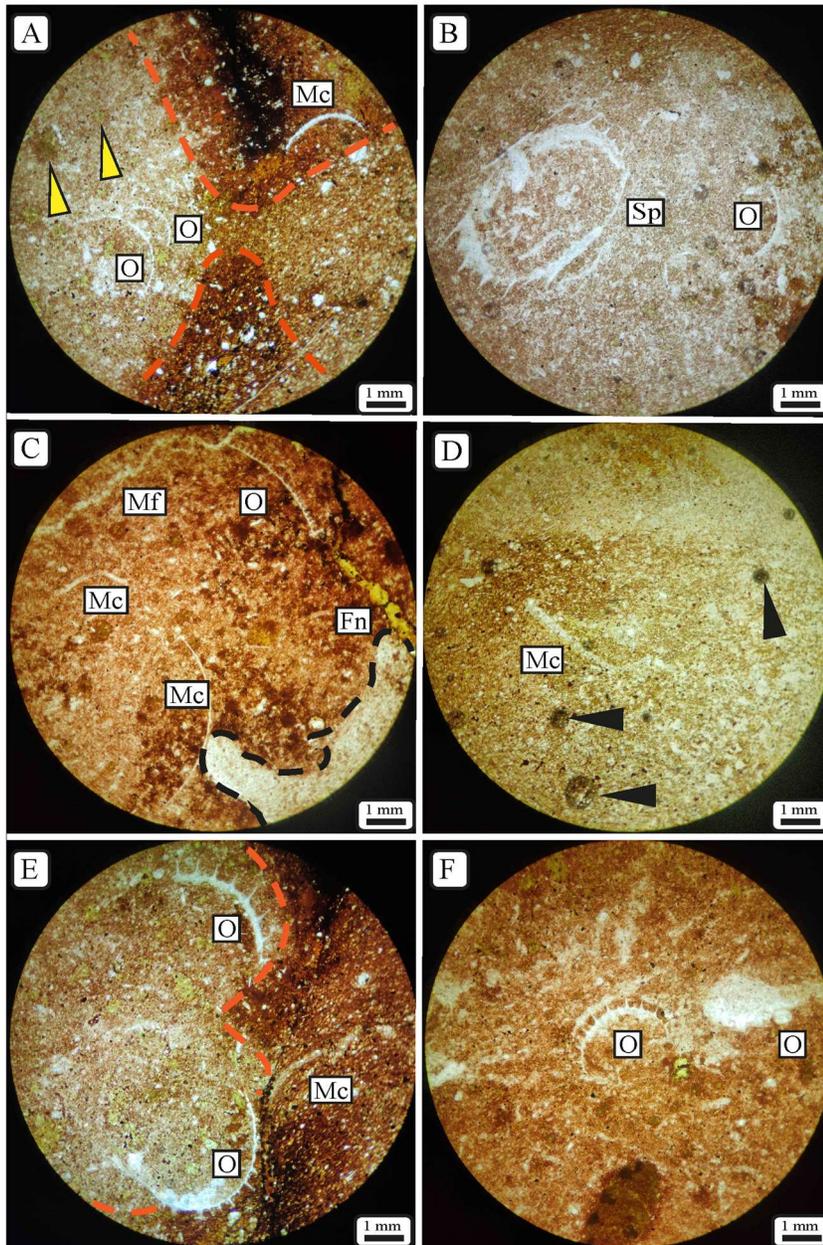
Planche IX : Microfaciès de la lame Fr 11

Chapitre III : Résultats et interprétation

2. Description des faciès du Famennien (coupe de Marhouma)

Lame N° 01

Cette lame montre une texture mudstone, la composante biogène se caractérise par une abondance d'ostracodes (Pl. I, Ph. A, B, C, E, F), facilement reconnaissables grâce à leurs morphologies distinctes, ainsi que par la présence de grains de pyrite (Pl. I, Ph. D) et de quartz (Pl. I, Ph. A). On observe également des microfilaments issus de bivalves (Pl. I, Ph. A, C, D), ainsi que des zones hématisées

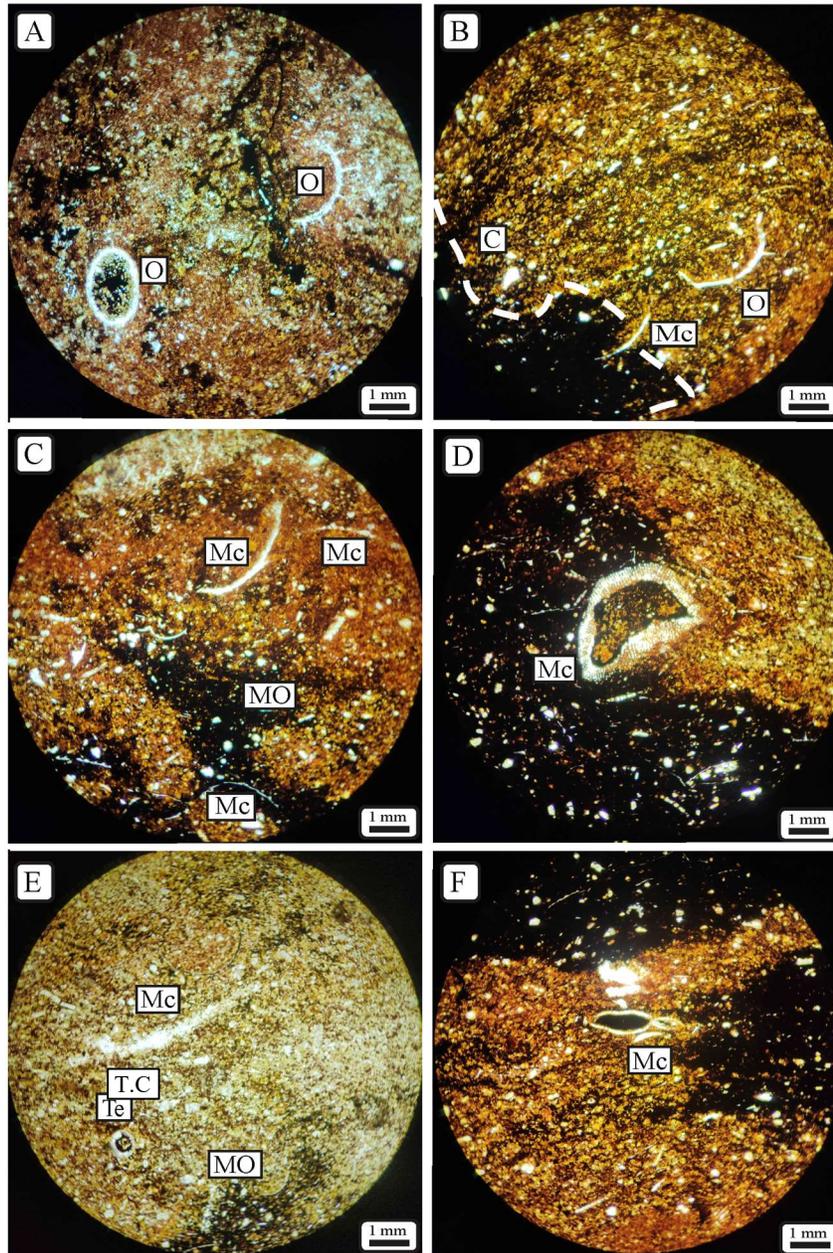


[A] : mudstone a plages hématisées (les ligne discontinus en orange) avec bioclastes d'ostracodes (O) et des microfilaments (Mc), des pellets (les flèches en jaune). [B] : mudstone a ostracode pélagique. [C] : mudstone à microfilaments et d'ostracode pélagiques, de foraminifère benthique et (Fn). Un terrier (contour on noire) est observé. [D] : mudstone a relativement enrichis en silts. [E et F] : mudstone à ostracodes pélagiques noyés dans une plage hématisée

Chapitre III : Résultats et interprétation

Lame N° 02

L'analyse pétrographique de la lame mince N° 02 révèle la présence d'un mudstone stratifié, à bioclastes. On observe également la dispersion de grains de quartz silteux dans une matrice micritique dominée par des microfilaments (Pl. II, Ph. B, C, D, E, F), des ostracodes (Pl. II, Ph. A, B, E), ainsi que des zones de matière organique (Pl. II, Ph. C, E).

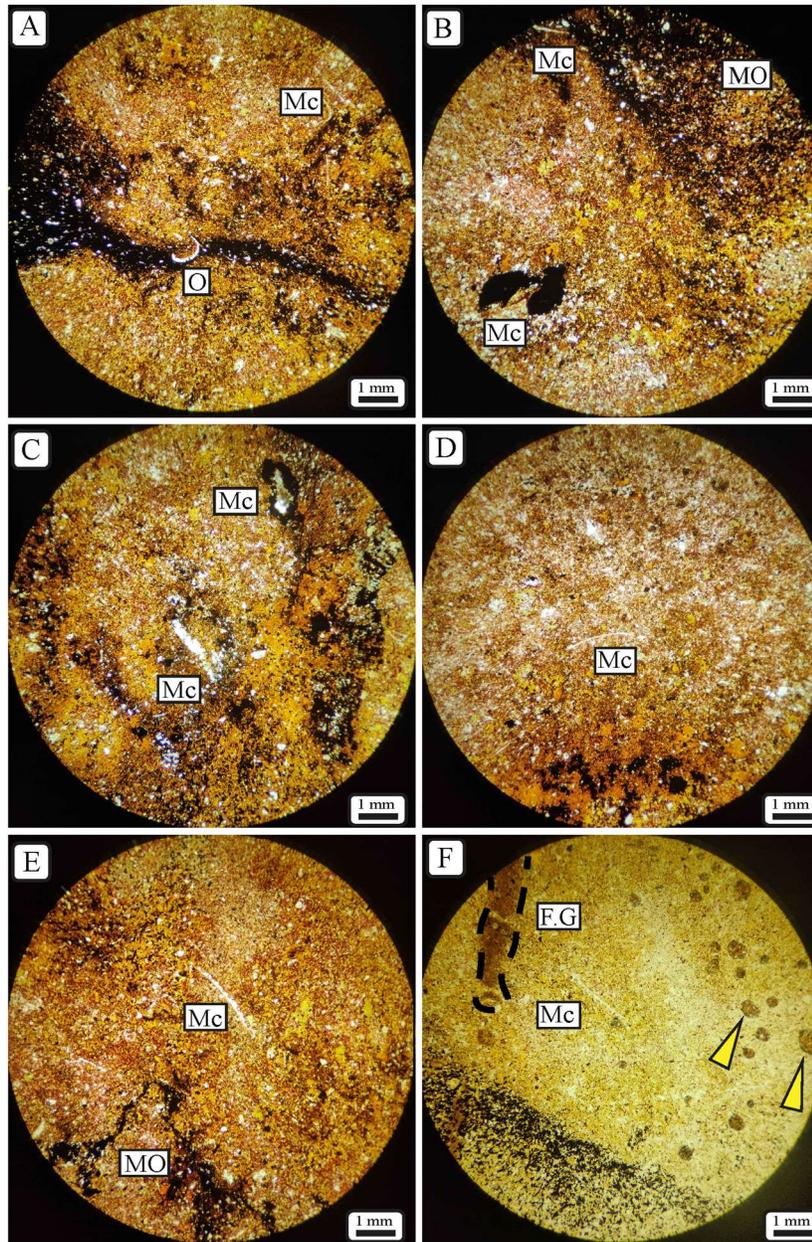


[A, B, C D et F]: mudstone à ostracodes pélagique (O) enrichies en hématite. La stratification des bien distinctes ici. [E] : mudstone à rare bioclastes, l'hématite est moins prononcée dans cette de lame mince, des microfilaments et plages de matière organique et une tige de crinoïde (T.C) sont également observé. [F] : mudstone à microfilaments (ou bivalve) avec contact net de la matrice micrite imprégnée de matière organique.

Chapitre III : Résultats et interprétation

Lame N° 03

Correspond à un calcaire bioclastique avec des grains de silts à microfilaments (Pl. III, Ph. A, B, C, D, E, F), quelques ostracodes (Pl. III, Ph. A), et des plages de matière organique (Pl. III, Ph. B, E, F) et des grains de quartz silteux (Pl. III, Ph. F).

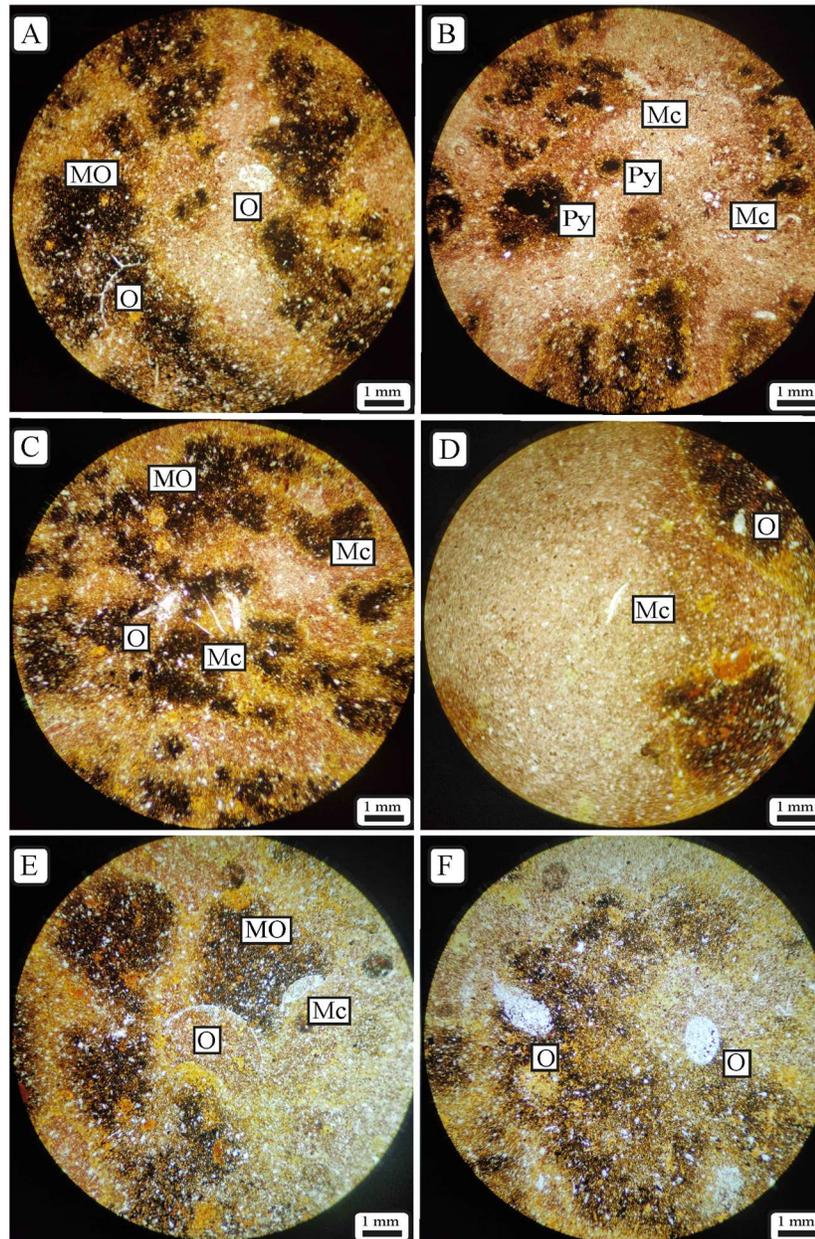


[A] : mudstone a ostracodes (O) et un microfracture remplie par une matrice micritique. [B] : mudstone a microfilaments (ou bivalve) et plage de matière organique. [C] : mudstone a microfilaments et plages de hématisées. [D] : mudstone a microfilaments et grains de pyrites hématisées. [E] : mudstone a microfilaments et plages de matière organique. [F] : mudstone a microfilaments et plages de matière organique et des pellets (les flèches en jaunes), fragment de goniatite (F.G).

Chapitre III : Résultats et interprétation

Lame N° 04

L'analyse microscopique de la lame mince N° 04 montre un mudstone à biomicrite imprégnée de matière organique sous forme d'une masse compacte à fragments d'ostracodes en contact des silts. La fraction biogène est marquée par dominance des ostracodes (Pl. IV, Ph. A, C, D, E, F) et des microfilaments (Pl. IV, Ph. B, D, E).

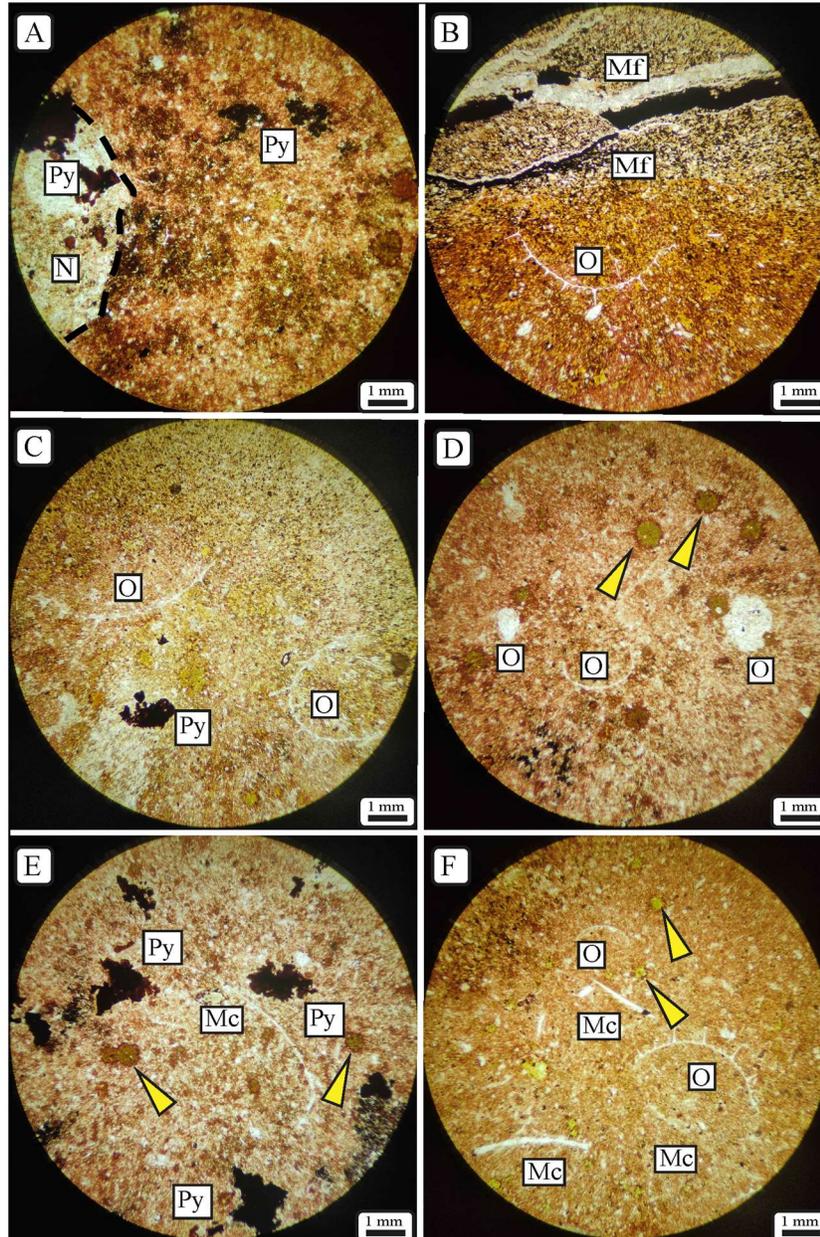


[A] : mudstone avec bioclastes des ostracodes (O) et des plages de matière organiques. [B] : mudstone avec bioclastes des microfilaments et des grains de pyrites hématisées (Py). [C] : mudstone imprégnée de matière organique sous forme d'une masse compacte à fragments d'ostracodes en contact des silts avec bioclastes des ostracodes et microfilaments. [D] : mudstone à microfilaments. [E] : mudstone imprégnée de matière organique sous forme d'une masse compacte à fragments d'ostracodes en contact des silts avec bioclastes des ostracodes et microfilaments. [F] : mudstone à ostracodes.

Chapitre III : Résultats et interprétation

Lame N° 05

Cette lame correspond à un mudstone avec une matrice micritique bioclastique, caractérisée par une abondance d'ostracodes (voir Pl. V, Ph. B, C, D, F) et de microfilaments (voir Pl. V, Ph. F, E), ainsi que des grains de pyrite (voir Pl. V, Ph. A, C, E). On observe également la présence de nodules (voir Pl. V, Ph. A) et de pellets (voir Pl. V, Ph. D, E, F), ainsi que des microfractures remplies de calcite (voir Pl. V, Ph. B)

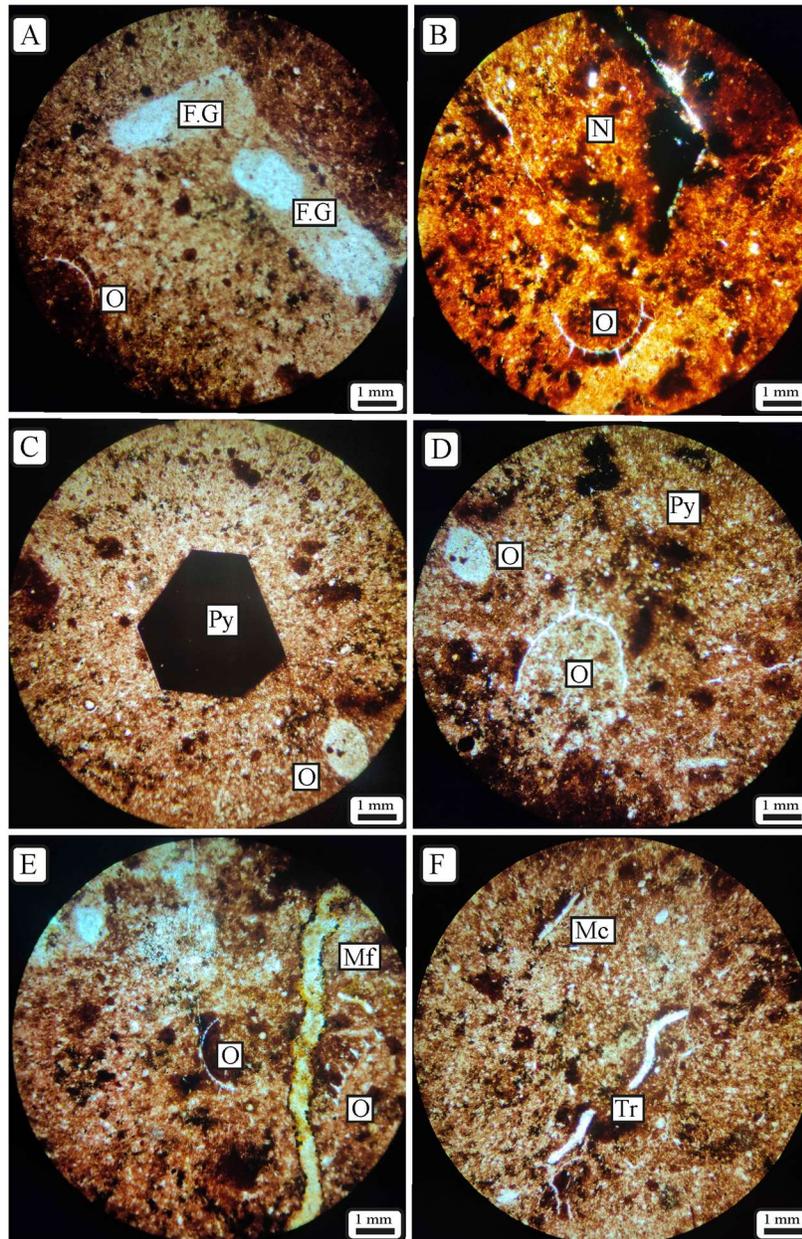


[A] : mudstone à plages pyritisées (Py) et des grains de quartz (les flèches en noires) et un nodule (N). [B] : mudstone avec bioclaste d'ostracode et des microfractures à remplissage de calcite et contour pyritisées. [C] : mudstone avec bioclastes des ostracodes et grain de pyrite. [D] : mudstone ostracodes et pellets (les flèches en jaune). [E] : mudstone avec bioclaste d'un microfilament et des plages pyritisées et des pellets. [F] : mudstone avec bioclastes des ostracodes et des microfilaments.

Chapitre III : Résultats et interprétation

Lame N° 06

L'analyse pétrographique de cet échantillon montre une texture d'une mudstone hématisée, avec une matrice micritique bioclastique. On observe une abondance d'ostracodes à test mince de différentes tailles (voir Pl. VI, Ph. A, B, C, D, E) ainsi que quelques microfilaments (voir Pl. VI, Ph. F), des grains de pyrite (voir Pl. VI, Ph. C, D), et un bioclaste de trilobite (voir Pl. VI, Ph. F). On remarque également une fine veine de calcite et des granules hématisés (voir Pl. VI, Ph. E), ainsi qu'un nodule (voir Pl. VI, Ph. B)

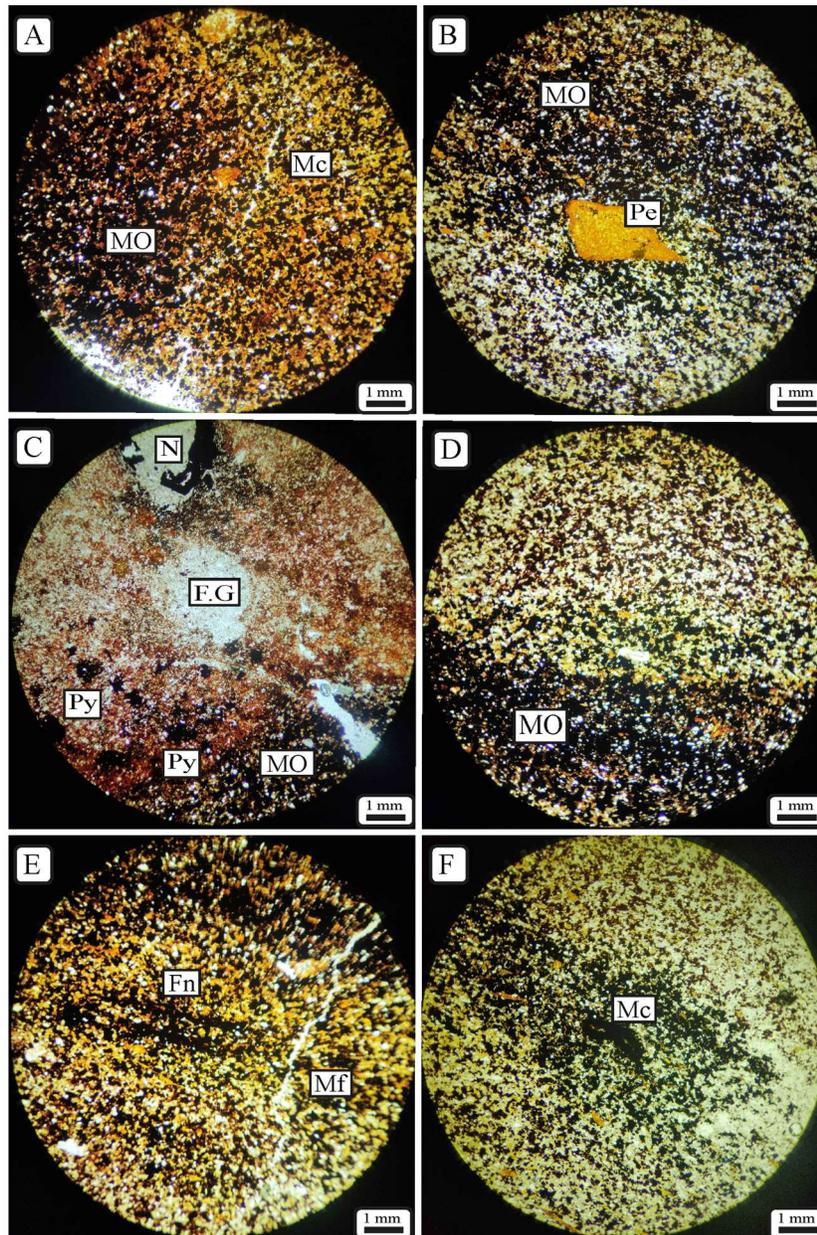


[A] : mudstone et bioclaste d'ostracode (O) et quelques fragments de goniatite (F.G). [B] : mudstone et bioclaste d'ostracode et des nodules (N). [C] : mudstone et bioclaste d'ostracode (O) et grain de pyrite (Py). [D] : mudstone et bioclaste d'ostracode et une plage de pyrite. [E] : mudstone et bioclaste d'ostracode et des microfilaments (Mf). [F] : mudstone et bioclastes de microfilament et d'un trilobite.

Chapitre III : Résultats et interprétation

Lame N° 07

L'examen microscopique de la lame N° 07 montre qu'il s'agit d'un calcaire bioclastique avec des grains de silts, imprégnés de matière organique qui prend un aspect opaque et des framboïdes de pyrite (Pl. VII, Ph. C) et des microfractures a remplissage de calcite (Pl. VII, Ph. E), nodule a contour pyritisé (Pl. VII, Ph. C). Rares bioclastes, microfilaments (Pl. VII, Ph. A, F), foraminifère (Pl. VII, Ph. E), plaque d'échinoderme (Pl. VII, Ph. B).

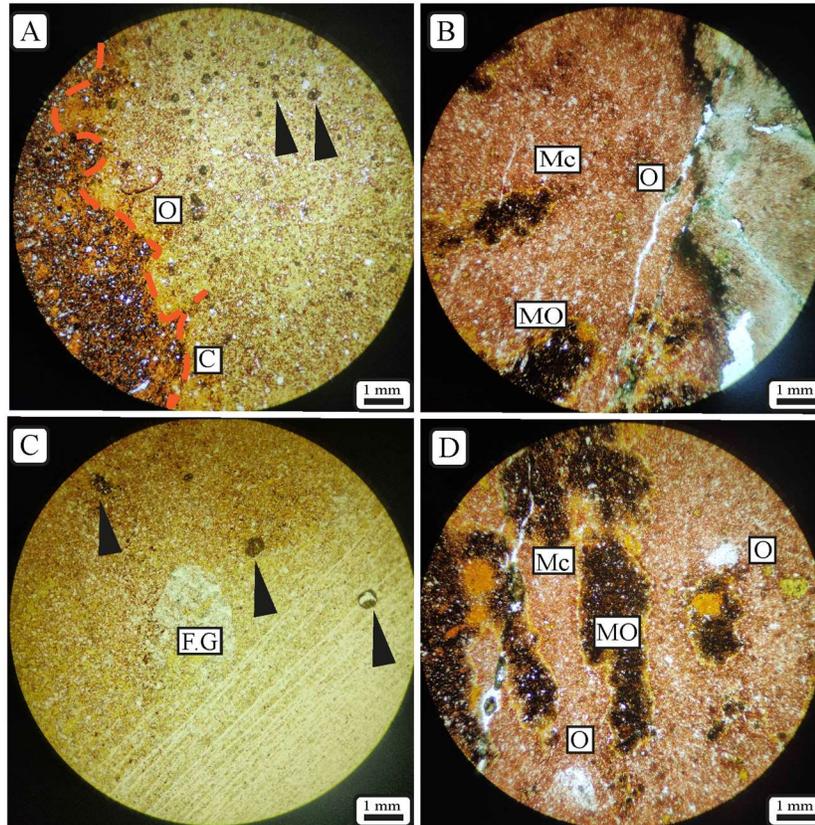


[A] : mudstone a microfilament (Mc) imprégnés de matière organique qui prend un aspect opaque. [B] : mudstone a plaque d'échinoderme (Pe). [C] : mudstone a des nodules a contour pyritisé et aussi de petites plages pyritisées (des framboïdes de pyrite) à l'intérieur d'une plage de micrite bioclastique (MO) "mouchetée". [D] : mudstone a rare bioclastes. [E] : mudstone a foraminifère (Fn) et microfracture (Mf) a remplissage de la calcite. [F] : mudstone a microfilament.

Chapitre III : Résultats et interprétation

Lame N° 08

Elle correspond à une mudstone avec micrite bioclastique imprégnée de matière organique sous forme d'une masse compacte à fragments des bioclastes, microfilaments (Pl. VIII, Ph. B, D), quelques ostracodes (Pl. VIII, Ph. A, D), nodule (Pl. VIII, Ph. C) et des microfractures a remplissage de calcite (Pl. VIII, Ph. B).



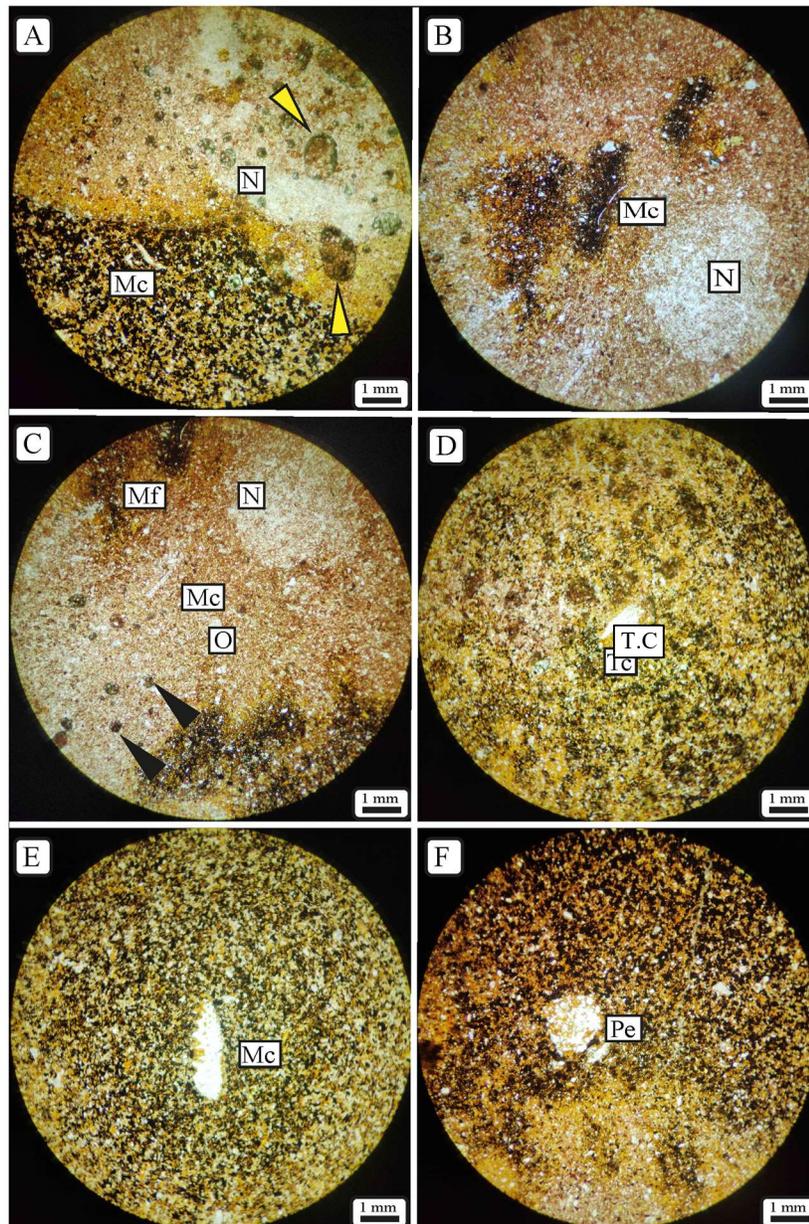
[A] : mudstone en contact a plages hématisées (les ligne discontinus en orange) avec bioclaste d'un ostracode (O) et des grains de quartz (les flèches en noire). [B] : mudstone a microfilament et des microfractures a remplissage de la calcite (Mf) et des plages de la matière organique a contour hématisée. [C] : mudstone a fragment de goniatite (F.G). [D] : mudstone a ostracodes et microfilament et quelques pellets et des plages de la matière organique a contour hématisée.

Planche VIII : Microfaciès de la lame Fm 8

Chapitre III : Résultats et interprétation

Lame N° 09

L'analyse microscopique de la lame mince N° 09 montre un calcisiltite à biomicrite imprégnée de matière organique sous forme d'une masse compacte à fragments d'ostracodes en contact des silts. Les bioclastes généralement rares, ils sont représentés par des microfilaments (Pl. IX, Ph. A, B, C, E), une tige de crinoïde (T.C) (Pl. IX, Ph. D), ostracodes (Pl. IX, Ph. C), plaque d'échinoderme (Pl. IX, Ph. F). On remarque aussi quelques nodules (Pl. IX, Ph. A, B, C), et des grains de quartz silteux (Pl. IX, Ph. A, C).



[A] : mudstone à microfilament imprégnée de matière organique sous forme d'une masse compacte à fragments des bioclastes avec des nodules (N) et des grains de quartz silteux (les flèches en noire). [B] : mudstone à microfilament et nodule et des plages de micrite bioclastique hématisées. [C] : mudstone à microfilament et ostracode, nodule et des plages de micrite bioclastique hématisées et des grains de quartz silteux. [D] : mudstone à tige de crinoïde (T.C). [E] : mudstone à microfilament (Bivalve). [F] : mudstone à plaque d'échinoderme.

Chapitre III : Résultats et interprétation

III. FACIÈS ET ENVIRONNEMENTS DE DÉPÔTS DU DÉVONIEN SUPÉRIEUR « FRASNIEN et FAMENNIEN »

1. Association des faciès de la formation de Cheffar El Ahmar (Frasnien)

- L'étude pétrographique nous a permis de distinguer deux membres de faciès dans la région étudiée

1. 1. Faciès (F1) : Black Shales

Le faciès des argiles noires (sommet de la Formation du Cheffar el Ahmar, Formation des Argiles de Marhouma et Formation des Argiles de Kahla) est caractéristique d'un environnement profond réducteur, basé sur les caractéristiques suivantes : i) des laminations fines résultant de la décantation dans un environnement de faible énergie situé sous la limite d'action des vagues et des tempêtes (Mahboubi, 2015). Les black shales sahariens du Frasnien sont attribués à des événements anoxiques majeurs (Mahboubi et Gatovsky, 2014). Ils se sont déposés dans un contexte transgressif, marquant l'envahissement de la plateforme saharienne par une zone à minimum d'oxygène (LÜNING et al., 2004)."

1. 2. Faciès (F2) : Mudstone à rare faune

Ce faciès se compose de calcaires micritiques nodulaires rougeâtres d'une épaisseur décimétrique, présentant parfois une texture de type mudstone, avec peu de faunes pélagiques (Fig. 14b). La proportion de bioclastes, oscillant entre 1 et 7%, est principalement constituée de tentaculites (5%), de bivalves mal triés et de filaments. Les organismes benthiques sont peu fréquents (0-2%) et comprennent des ostracodes, des foraminifères et quelques débris d'échinodermes. Les traces de bioturbation sont intenses mais limitées à quelques bancs. La présence de fer est restreinte à des agrégats dispersés aléatoirement dans la matrice. Des grains de quartz et de phosphate sont présents en quantité inférieure à 1%. Quelques manifestations de pression-dissolution sont également observées, D'après le modèle de types de microfaciès de rampes carbonatées (Flügel et al, 2010), ce faciès correspond à le RMF 1.

Interprétation

Dans ce faciès, l'activité biologique est exceptionnellement rare, avec une bonne préservation des fragments bioclastiques. Cette conservation taphonomique exclut l'influence des mécanismes de destruction physique liés à la turbulence des courants de fond ou à l'activité biologique telle que la bioturbation et la bioérosion. La prédominance des organismes planctoniques, notamment les tentaculites et les radiolaires, suggère un milieu distal et profond (Préat et al., 1998). Certains échantillons montrent des fantômes de tentaculites, suggérant un effet significatif de la dissolution sur la préservation des organismes. La finesse du grain, la micrite et l'absence de structures de courants tractifs situent largement ce faciès 2 en-dessous de la limite d'action des vagues de tempête, dans un environnement où la décantation des particules sédimentaires prédomine sur d'autres processus de sédimentation (Pas et al., 2014). Allison & Brett (1995) proposent un environnement réducteur pour ce faciès, favorable à la prolifération des bactéries anaérobiques et au déclin des organismes benthiques macroscopiques à l'interface eau-sédiment. Les micropéloïdes, interprétés comme des traces de ferrobactéries (Préat et al., 2008), appuient cette hypothèse, ce faciès est correspondant à le RMF 4 selon le modèle de types de microfaciès de rampes carbonatées (Flügel et al, 2010).

Chapitre III : Résultats et interprétation

1. 3. Faciès (F3) : Wackestone à tentaculites

Ce faciès se caractérise par la présence de niveaux centimétriques de calcaires rouges, parfois nodulaires. La proportion de bioclastes varie entre 9 et 17%. Les tentaculites sont les plus abondants (6-15%), suivis par des filaments, des mollusques pélagiques, des goniatites, des radiolaires et des ostracodes. La fraction benthique représente entre 1 et 2% et comprend très peu d'ostracodes, de trilobites et de fragments d'échinodermes. Des lits infracentimétriques à inframillimétriques renferment des grains bioclastiques bien triés. La bioturbation est fréquente, surtout dans les matrices les moins ferrugineuses. La ferruginisation est très répandue, se présentant sous forme de micropéloïdes ferrugineux micrométriques et de remplissages internes de fossiles. Ce faciès est souvent marqué par des joints de pression-dissolution. La présence de pyrite est rare (<1%). La fraction en silite varie entre 1 et 2%.

Interprétation

Le contenu bioclastique de ce faciès est principalement caractérisé par des organismes planctoniques tels que les tentaculites, les radiolaires, ainsi que les ostracodes pélagiques et les mollusques. Cette composition indique un environnement marin ouvert. Parfois, les bioclastes sont bien triés, présentant des lits infracentimétriques interstratifiés, suggérant un remaniement limité par des courants turbiditiques, des tempêtes distales ou des courants de fond. Ce phénomène est similaire à ce qui a été observé dans les dépôts de la limite Frasnien/Famennien de la Montagne Noire (Préat et al., 1998 ;). Ces auteurs ont interprété ces lits comme des dépôts de tempête distale dans des environnements profonds, ce qui suggère que le faciès 2 pourrait se situer près de la limite d'action des tempêtes. L'abondance de la bioturbation suggère un faible taux de sédimentation avec des eaux profondes oxygénées (Flügel, 2004).

2. Association des faciès de la formation de Marhouma (Famennien IV et V)

2.1. Faciès (F4) : Calcaires à filaments (Pl. II. C)

Situés dans la partie "argilo-calcaire" de la "Formation de Marhouma", ces calcaires noduleux rougeâtres, d'une épaisseur centimétrique (10 à 20 cm), révèlent une biomicrite de texture wackestone, riche en bivalves à coquilles minces (microfilaments). Les filaments, présentés sous forme allongée et fine, sont imbriqués et entrelacés, enveloppant des éléments sparitiques. Nous pensons que ces filaments résultent du démantèlement de coquilles fines (Abbache, 2019). Ils sont souvent alignés le long des plans de stratification, tandis que la biophase accessoire comprend des ostracodes et quelques plaques d'échinodermes. Des petites plages pyritisées sont parfois observées à l'intérieur d'une matrice de micrite bioclastique "mouchetée".

Interprétation

Les calcaires à filaments dans le domaine alpin du Jurassique inférieur, souvent associés à des "posidonomies", sont généralement associés à un environnement de type plate-forme externe (Mekahli, 1998). Selon Negra et al. (2011), ces faciès ont été interprétés comme des dépôts de rampe distale, qui étaient plus ou moins anoxiques et similaires en âge au Cénomaniens-Turonien.

Chapitre III : Résultats et interprétation

2.2. Faciès (F5) : Calcaires noduleux « griottes »

Ce faciès de couleur rougeâtre affleure dans la partie médiane argilo carbonatée de la « Formations des argiles de Marhouma » sous forme de niveaux centimétriques à décimétriques (0,10 à 0,40 m). D'un point de vue pétrographique, ce calcaire se compose de calcaires micritiques massifs à pseudonodules. Les bioclastes restent peu abondants (5%) et se composent principalement de goniatites (3 %), accompagnées d'une faune pélagique comprenant des ostracodes, des mollusques et des radiolaires. Les organismes benthiques sont rares (1,5 %) et incluent des ostracodes, des échinodermes. Une légère bioturbation affecte la matrice riche en péloïdes. Les phénomènes de ferruginisation sont très peu observés dans ce faciès.

Interprétation

Le faciès "griottes" a été étudié par plusieurs auteurs (Elmi & Ameer, 1984 ; Benhamou et al., 2004 ; Ait-Ouali et al., 2007 ; Ouali Mehadji et al., 2012 ; Abbache et al., 2019). Selon Benhamou et al. (2004), la caractéristique principale de ce faciès est l'abondance des structures nodulaires dans les bancs calcaires, s'étendant du Tafilalt et du Maïder (Anti-Atlas) au nord jusqu'aux Monts d'Ougarta au sud-est. Cette distribution spatiale est influencée par un événement d'ordre régional, lié à une activité tectonique ayant modelé la physiographie des bassins à faciès "griottes" en une paléogéographie insulaire (Seyfried, 1983), suite à un alignement de hauts fonds le long des charnières paléogéographiques (Elmi et Ameer, 1984), accompagné d'épisodes d'émersions locales, tels que la région d'Erfoud dans le Tafilalt (Wendt et al., 1984) et Marhouma dans l'Ougarta (Abbache, 2001).

- **Sous faciès (Fm 5. a) :** *Mudstone-wackestone argileux à ostracodes* (Pl. I. E, F)

L'analyse microscopique des niveaux de calcaires griottes montre une biomicrite de texture mudstone à wackestone contenant des ostracodes imprégnés de matière organique sous forme d'une masse compacte et aussi des grains de quartz silteux dispersés dans la matrice micritique et des grains de pyrite. La biophase accessoire est formée de sections de microfilaments, quelques plaques d'échinodermes.

Interprétation

La texture de type mudstone à wackestone et la prédominance des ostracodes à coquilles minces indiquent un environnement calme. Comme l'a démontré Casier (2004), ces faciès, situés sous la zone photique et dans des eaux pauvres en oxygène, constituent un environnement purement pélagiqueⁱ.

De plus, la texture de type mudstone à wackestone de ces faciès et la dominance des ostracodes à coquilles minces suggèrent un environnement profond et pauvre en oxygène, pouvant être assimilé à un dépôt de tempêtes distales.

Chapitre III : Résultats et interprétation

- **Sous faciès (Fm 5. b) : *Mudstone microbréchique* (Pl. V. A)**

L'analyse microscopique révèle un faciès similaire au faciès griotte bioturbé, présent dans la partie médiane de la série, sous forme de niveaux calcaires d'épaisseur centimétrique (10 à 0,20 m), de couleur rougeâtre et intensément bioturbés. La texture observée est de type mudstone à micrite hématisée, enveloppant des nodules anguleux à sub-anguleux de taille pluri-millimétrique. Ces microbèches sont mal classées et présentent une disposition semblable à celle d'un puzzle (Abbache, 2019), et elles sont associées à des bioclastes de bivalves et d'ostracodes, ainsi qu'à des spicules, un trilobite et quelques plaques d'échinodermes. On observe également des petites plages pyritisées.

Interprétation

L'origine des microbrèches peut être liée à une sédimentation sur place en l'absence de modification d'énergie due à l'action et aux processus répétitifs de perforations (bioérosion) après la lithification. Comme le mentionne Abbache (2019), ces nodules bréchiques sont intercalés dans le sédiment pendant la période de dépôt sans nécessairement indiquer une variation d'énergie.

À partir des ostracodes étudiés par Casier (1982) et des trilobites (Cronier et al., 2015) contenant des formes dites aveugles (trilobites aveugles) et des foraminifères compacts (Mahboubi et al., 2015 ; Derrycke et al., 2017), et d'après le modèle de Wilson (1975) de rampe carbonatée, on a un faciès traduit une mise en place dans un environnement souvent profonds aphotiques, calme, sous la limite d'action des tempêtes (= RMF1 à RMF 5) de type rampe distale.

IV. Environnement de dépôt de la formation de Cheffar El Ahmar (Frasnien)

L'homogénéité des faciès peut s'expliquer par un environnement de mer ouverte, exposé à de modestes variations du niveau marin (Racki et al., 2002), sur un substratum étendu avec de faibles reliefs. Cette formation se caractérise par un volume substantiel d'argilites et de shales (gris et verts) témoignant un environnement pélagique à hémipélagique situés au-dessous de la zone d'action des tempêtes, en position de rampe distale ou de plate-forme externe (Wright & Burchette, 1996). Les environnements relatifs aux rampes internes sont exclus de l'interprétation en raison de l'absence de faciès à haute énergie et de faible bathymétrie. L'absence de calcisphères et d'organismes indicateurs de la zone photique (stromatopores, algues, coraux) suggère une sédimentation en milieu aphotique.

La rampe proximale de ce modèle est caractérisée par une diversité bioclastique plus importante que celle de la rampe distale, composée essentiellement de faunes pélagiques, et des communautés benthiques. Ainsi, cette partie de la rampe est plus exposée aux différents agents de remaniements (tempêtes distales et/ou courants de fonds) comparée à la rampe distale.

V. Environnement de dépôt de la formation de Marhouma (Famennien IV et V)

L'analyse pétrographique des lames minces suggère une dominance de la micrite et accessoirement de la microsparite sous des textures mudstone à wackestone, à abondance des ostracodes et des microfilaments (bivalves à tests minces). Les bioclastes associés sont représentés par des microfilaments de bivalves, des ostracodes, débris de trilobites, spicules d'éponges, plaques d'échinodermes et des grains de quartz de la taille de la taille des silts.

Chapitre III : Résultats et interprétation

Correspondant à notre faciès déterminé, ils peuvent contribuer par un environnement ouvert à faible relief, situés sous la zone photique et dans des eaux pauvres en oxygène, constituent une partie des pélagites, en position de rampe distale

(Bendella & Ouali Mehadji, 2014) ont montré que les traces de bioturbation de l'assemblage de *Nereites* caractérisent les environnements profonds.

Les niveaux argileux, finement lités, à silts, et foraminifères (Mahboubi et al., 2015) traduisent une sédimentation de type hémipélagites (Ouali Mehadji et al., 2012) qui se mettent en place en milieu de rampe distale.

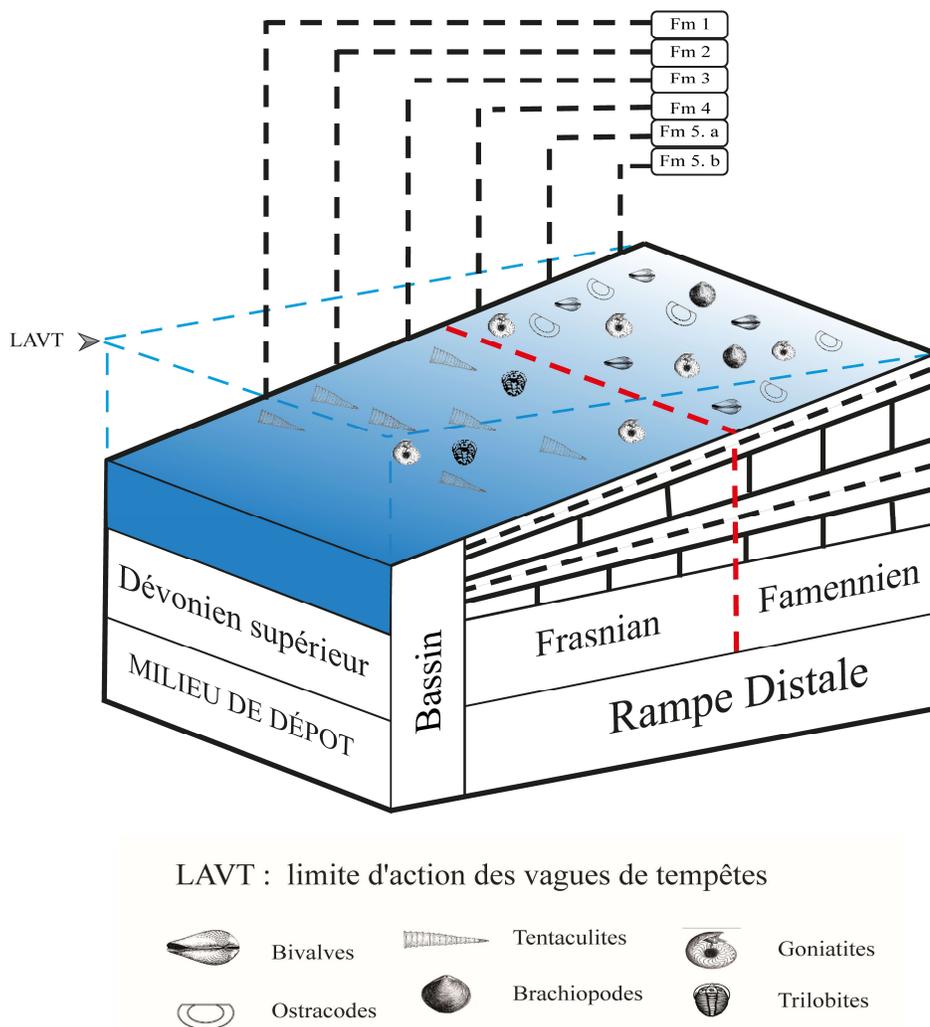


Fig. 17. Modèle de dépôt schématique en 3D en rampe distale de la sédimentation carbonatée au Dévonien supérieur de la région de Marhouma

CONCLUSION GÉNÉRALE

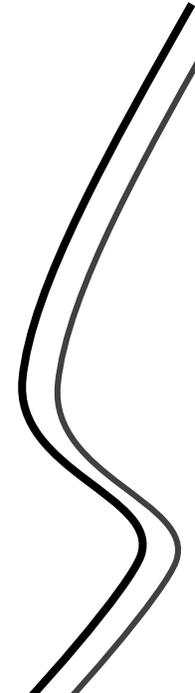
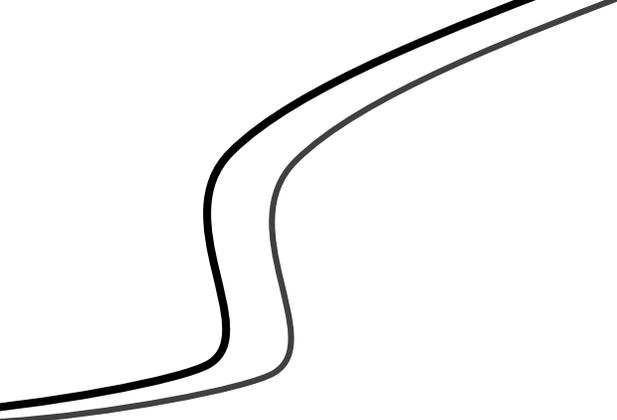
Deux coupes détaillées ont été levées, une coupe pour la formation de Cheffar El Ahmar (Frasnien) et une coupe pour la formation de Marhouma (Famennien IV, V), prenant en considération l'observation détaillée de la forme et l'épaisseur des bancs suivie par un échantillonnage systématique de calcaires.

L'analyse microscopique des 9 lames minces de la formation de Cheffar El Ahmar montrent une texture mudstone en générale a rare bioclastes, dominance de tentaculites avec et quelques microfilaments. On note également une forte bioturbation, qui vient perturber l'embrassement original des bioclastes et les grains de pyrites. En outre, l'étude microscopique des 9 lames minces réalisées sur les calcaires griottes de la formation de Marhouma (Famennien IV, V), montrent généralement une texture fine mudstone rarement wackestone, avec des bioclastes d'ostracodes, microfilaments (bivalves à tests minces), de rares foraminifères, débris de trilobites, spicules, plaques d'échinodermes et des grains de quartz) et des pellets, des grains de pyrites (parfois des formes framboïdes).

Le Frasnien de Cheffar El Ahmar montre des faciès a texture généralement mudstone et d'après le travail de (Préat et *al.* 1998 ; Girard et *al.* 2013) qui indique la dominance par des organismes planctoniques (tentaculites surtout) et le faciès des argiles et suggère un milieu distal, profond de faible énergie située sous la limite des vagues et hémipélagites (OUALI MEHADJI et *al.*, 2012).

L'homogénéité des faciès le long des coupes des formations étudiées peut être interprétée par la présence de conditions d'un environnement de mer ouverte, exposé à de modestes variations du niveau marin (Racki et *al.*, 2002), sur un substratum étendu avec de faibles reliefs. Les faciès observés lors de l'étude des microfaciès définissent des environnements pélagiques à hémipélagiques situés au-dessous de la zone d'action des tempêtes, en position de rampe distale ou de plate-forme externe (Wright & Burchette, 1996).

La rampe proximale de ce modèle est caractérisée par une diversité bioclastique plus importante que celle de la rampe distale, composée essentiellement de faunes pélagiques, nectoniques et de communautés benthiques. Ainsi, cette partie de la rampe est plus exposée aux différents agents de remaniements (tempêtes distales et/ou courants de fond) comparée à la rampe distale. En revanche, les faciès composant la partie distale de ce modèle de rampe ne montrent aucun agent de remaniement. Dans cet environnement calme et relativement anoxique, les particules de CaCO₃ se précipitent dans un environnement qui se caractérise par la rareté de la faune benthique et pélagique.



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abbache A. (2001) – Étude sédimentologique des « calcaires griottes » et faciès associés (Givetien – Dévonien supérieur) des environs d'Ougarta (Béni-Abbés, Sahara occidental). Mém. Magister. Univ. Oran.

Abbache, A., Ouali Mehadji, A., Cronier, C., Allaire, N., & Monnet, C. (2019) -Le Dévonien supérieur du Sahara nord-occidental (Algérie): faciès, environnements et signification géodynamique des calcaires griottes. Carnets de géologie. Abh. 119, 22-82.

Abbache A. (2019) – Paléobiodiversité et évènements eustatiques du Dévonien supérieur de Ben-Zireg et Gourara (Sahara nord-ouest ; Algérie). Th. Doct. Univ. Oran2. 15 pl. 20 tab. 140 fig., 345 p. inédites.

Abbache A., Mehadji, A. O., Allaire, N., Monnet, C., Crônier, C., Mansour, Z., & Aicha, F. (2022). Upper Devonian “griottes” facies of the Ben-Zireg area (Bechar Basin, southwestern Algeria): Stratigraphy, microfacies analysis and paleo-environmental reconstruction. Journal of African Earth Sciences, 196, 104730.

Alimen M. H., Le Maitre D., Menchikoff N., Petter G. & Poueyto A. (1952). - Les chaînes d'Ougarta et la Saoura. Impr. la Typo-litho et J. Carbonel réunies.

Aït Ouali R, 2007. Les Calcaires griottes. Une periode d'instabilite et de vacuite. Mem. Serv. Geol. Nat., 14, pp. 73-77. In : Nedjari, A. 2007.

Aïfa, T. (1993). Different styles of remagnetization in Devonian sediments from the north-western Sahara (Algeria). Geophysical Journal International, 115(2), 529–537.

Allaire, N., Abbache, A., Crônier, C., & Monnet, C. (2020). Famennian (Late Devonian) ammonoids from the Ouarourout section (Saoura Valley, Algeria). Annales De Paléontologie, 106(1), 102363. <https://doi.org/10.1016/j.annpal.2019.08.002>

Bastien C., Chennaux G., Mazelet P., Umbach P. & Bascone-Lehmenn J. (1965) – Dévonien de l'Ougarta. Etude sédimentologique. *SN – REPAL. rapport interne* (inédit).

Bastien C., Chennaux G., Mazelet P., Umbach P. & Bascone-Lehmenn J. (1965) – Dévonien de l'Ougarta. Etude sédimentologique. *SN – REPAL. rapport interne* (inédit).

Benhamou M., Elmi S., Abbache A., Ouali-Mehadji A., Malti F.Z. & Mekkaoui A (2000) – The « griottes » nodular facies of the Western Saharian Frasnian (Ougarta through, Algeria).

Benhamou M., Abbache A., Elmi S., Mekahli L., Ouali-Mehadji A., Racheboeuf P. & Boumendjel K. (2004) - Les « calcaires griottes » et faciès associés du Dévonien supérieur des environs de Beni-Abbés et Djebel Hêche (Saoura, Algérie). Bull. Serv. Géol. d'Algérie.

Boussafir Y., Boussafir M. (2014). - Pyrite, matière organique et traitement de sol font mauvais ménage sur l'A28, JNGG 2014 - Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur, BEAUVAIS, FRANCE, 2014-07-08, 11p

Casier J.G. (1982).- Les ostracodes du Frasnien et de la base du Famennien de la coupe du Km 30 (Saoura, Sahara algérien).- Bulletin de la Société belge de Géologie, vol. 91, p. 195-207., 325-394.

Casier J. G. (1985) – Les ostracodes de la partie supérieure de la Formation de Teferguenite (Givétien) et la Formation de Marhouma (Givétien – Famennien) de la coupe du Km 30 (Saoura, Sahara algérien). *Géobios*, 18, p. 833-846.

Casier J. G. (2004) - The mode of life of Devonian entomozocean ostracods and the Myodocopid Mega-Assemblage proxy for hypoxic events. Bulletin de L’Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, 74, pp. 73-80.

Catuneanu O. (2002) - Sequence stratigraphy of clastic systems: concepts, merits, and pitfalls. *Journal of African Earth Sciences*, 35 (1), pp. 1-43

Crônier, C. & François, A. 2014. Distribution patterns of Upper Devonian phacopid trilobites: paleobiogeographic and paleoenvironmental significance. *Palaeogeography, Palaeo-climatology, Palaeoecology* 404, 12–23.

Conrad, J., Pareyn, C., & Weyant, M. (1970) -Mise en évidence du Tournaisien inférieur dans la vallée de la Saoura (Sahara nord-occidental) et conséquences paléogéographiques. *CR Acad. Sci. Paris*, 271(D), pp900-903

Conrad, J. (1984) -Les séries carbonifères du Sahara central algérien. Stratigraphie, sédimentologie, évolution structurale. Th Doc Es-Science, Univ D’Aix Marseille, France, pp359.

Derycke C., Maillet S., Vachard D., Randon C., Nicollin J.P., Du Chatelet A., Crônier C., Hubert B., Recourt Ph. & Abbache A. (2015).- Palaeoenvironment input of new faunas from Upper Famennian levels of Ouarourout (Ougarta, Algeria).- *Strata (Série 1)*, Symposium Brussels, vol. 16, p. 44-45.

Donzeau M. (1971) - Etude structurale dans le Paléozoïque des Monts d’Ougarta. *Th. Doct. 3ème Cycle, Fac. Sci. Orsay, Univ. Paris – Sud*.

Donzeau M. (1974) - L’Arc de l’Anti-Atlas-Ougarta (Sahara nord-occidental, Algérie-Maroc). *C. R. Acad. Sci. Paris* 278, pp. 417-420.

Dunham, R. J. (1962) -Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: *Classification of carbonate rocks* (W.E.Ham.ed.).Am. Assoc. Petrol. Geol., Mém. (1), pp108-121.

Elmi S. (1981) - Classification typologique et génétique des Ammonitico-Rosso et des faciès noduleux ou grumeleux: essai de synthèse. *In Farinacci A. & Elmi S. (Eds): Rosso Ammonitico Symp. Proc., Ed. Tecnoscienza, Roma. 233-249, 1 fig., 3 pl.*

Fabre J. (1976) - Introduction à la géologie du Sahara Algérien. Soc. Nat. Ed. et Diff., Alger, pp. 1-422.

Fabre J. (2005) - Géologie du Sahara occidental et central. Tervuren African Geoscience collection, Musée Royal de l'Afrique Centrale. Tervuren, Belgique, 108, 572 p.

Feist R. (1985) - Devonian stratigraphy of the southeastern Montagne Noire (France). *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, 75, pp. 331-352.

Feist R. (2002) - The Palaeozoic of the Montagne Noire, southern France. *ECOS*, 8, 8th.

Feist, R., Mahboubi, A., & Girard, C. (2016). New Late Devonian phacopid trilobites from Marhouma, SW Algerian Sahara. *Bulletin of Geosciences*, 243–259. <https://doi.org/10.3140/bull.geosci.1600>

Feist R. & Schindler E. (1994) - Trilobites during the Frasnian Kellwasser crisis in European Late Devonian cephalopod limestones. *Forschungs Institut Senckenberg*.

Flügel, E et Kirchmayer, M. 1962 : Zur terminologie der Ooide, Onkoide und Pseudooide, N. Jb. Geol. Pal., Monastshefte, 3.

Flügel E., 2010 : Microfacies of carbonate rocks (analysis, interpretation and application). Springer-Verlag publication (2ème édition), 984 p.

Folk, R. L. (1959) -Practical petrographic classification of limestone. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., Tulsa*, 43, 1, 41 fig, pp 1-38.

Gautier, E. F. (1906) -Contribution à l'étude géologique du Sahara (Saoura, Gourara,Touat). *Bull. Soc. Géol. France*, 6, pp 729-767.

Guessal, F. (2002) -La formation du Teferguenit de l'Emsien, decoupage séquentiel et interpretation des coupes de l'Erg Djemel et de Fegaguira (Ougarta, Sahara Nord occidentale, Algérien).Mém Ing .Univ Oran, 24fig, pp 65.

Hallam, A (1967) -Sedimentology And Palaeogeographic Significance Of Certain Red Limestones And Associated Beds In The Lias Of The Alpine Region. *Scottish Jour.Geology* 3, Pp195-220.

Hollman, R. (1962) -Uber Subsolution und die 'Knollenkalke' des Calcare Ammonitico Rosso Superiore im Monte Baldo (Malm), Norditalien. *Neues Jahrb. f. Geologie u. Paliiontologie, Monatsh.* 1962, 163-179.

Hicham Limam & Abdelkader Ouali Mehadji & Mohamed Bendella (2021). - The Chefar El Ahmar Formation (late Emsian-Frasnian Ib) in the Marhouma section (Saoura, Algerian Sahara): insights from ichnology and sedimentology. *Arab J Geosci* 14, 274 (2021).

Legrand, P. (1962) -Comparaison des series combro-ordoviciennes reconnues en affleurement dans la région dans la region d'Amguid et en forage au centre du bassin saharien occidentale.Bulletin de la société géologique de France, 7(1), pp132-135.

Lubeseder S., Redfern J. & Boutib L. (2009) - Mixed siliciclastic-carbonate shelf sedimentation - Lower Devonian sequences of the SW Anti-Atlas, Morocco. *Sedimentary Geology*, 215 (1), pp. 13-32.

Malti F. Z. (2012) - Passage Dévonien-Carbonifère dans l'Ougarta ; Sahara occidental, Algérie. Thèse de Doctorat Sciences. Université Univ. Oran, 49 fig., 19 tabl., 224 p

Mahboubi A., Feist R., Cornée J. J., Ouali Mehadji A. & Girard C. (2015) - Frasnian (Late Devonian) conodonts and environment at the northern margin of the Algerian Sahara platform : The Ben-Zireg section. *Geological Magazine*. pp. 1-14.

Mahboubi, A. 2015. Microfaunes (conodontes, foraminifères) et environnement au supérieur du Sahara algérien nord-occidental. 168 pp. Doctorate thesis, University of Montpellier.

Mahboubi, A., & Gatovsky, Y. (2015). Late Devonian conodonts and event stratigraphy in northwestern Algerian Sahara. *Journal of African Earth Sciences*, 101, 322–332.

Mahboubi, A., Cornée, J., Feist, R., Camps, P., & Girard, C. (2018). Frasnian (Upper Devonian) integrated facies analysis, magnetic susceptibility and sea-level fluctuations in the NW Algerian Sahara. *Geological Magazine*, 156(08), 1295–1310.

Mamet B. & Boulvain F. (1988) - Remplissage bactériens de cavités biohermales frasnienne. *Bull. Soc. Géol.* 97, pp. 63-76.

Mamet B, Perret MF. Bioconstructions hématitiques de Griottes dévoniennes (Pyrénées Centrales). *Geobios*. 1995;28(6):655-661. doi:10.1016/s0016-6995(95)80055-7

Mamet B., Prétat A. & De Ridder C. (1997).- Bacterial origin of the red pigmentation in the Devonian Slivenec Limestone, Czech Republic.- *Facies*, vol. 36, p. 173-187

Mamet B, Prétat A. Iron-bacterial mediation in Phanerozoic red limestones: State of the art. *Sedimentary Geology*. 2006;185(3-4):147-157. doi:10.1016/j.sedgeo.2005.12.009

Menchikoff N. (1952) - Les chaînes d'Ougarta et la Saoura. Aperçu géologique. XIXe Congr. Géol. Intern., Monograph. Région. (1ère. sér., Algérie) 15, pp. 16-22.

Ouali-Mehadji A. (2004) -Les Brachiopodes du niveau majeur Emsien supérieur Eifélien inférieur de la Saoura (Sahara Nord -occidental, Algérie). Marqueur évènementiel de la transgression fini-Emsien. (Paléontologie, Biostratigraphie, Taphonomie et Environnement sédimentaires). Th. Doct. État, Univ. Oran, pp. 1-226, 97 fig, 3 pl.

Ouali Mehadji A, Elmi S, Racheboeuf P, Mekahli L. 2004 - Caractéristiques et signification d'un niveau coquillier majeur à brachiopodes, marqueur évènementiel dans l'évolution dévonnaise de la Saoura (Sahara du Nord-Ouest, Algérie). *C.R Géoscience*, 336 (14), pp. 1283-1292.

Ouali-Mehadji A., Atif K., Bouterfa B., Nicollin J. & Besseghier F. (2011) – Environnements sédimentaires de la Saoura Ougarta (Sahara Nord-Ouest, Algérie) au Dévonien inférieur (Lochkovien supérieur pro parte – Emsien). *Geodiversitas*. 33(4) (2011) pp. 553-580.

Ouali Mehadji A., Bendella M., Atif K., Belkacemi K. & Abbache A. (2012) - Estimation de l'épaisseur réelle et des environnements de dépôts d'âge Famennien (Dévonien supérieur) de la région de Marhouma (Saoura, Sahara nordOuest, Algérie). *Bull. Serv. Géol. National*, 23, pp. 3-27.

Ouali Mehadji A, Abbache A, Fellah AH, Tandjaoui-Arif R, Khaldi AY, Mekkaoui A, Limam H (2018) Hydrocarbures minéralisés (type épiimpsonite ?) dans les strates du Dévonien de la vallée de la Saoura (Sahara NW, Algérie). 26e Réunion des Siences de la Terre. Lille. Octobre 22-26, 66

Petter G. (1952) - Goniatices dévoniennes du Sahara. *Serv. Carte Géol. Algérie, Paléontologie, Mém.* 2 (Nlle série), 313 p., 26 pl., h.t.

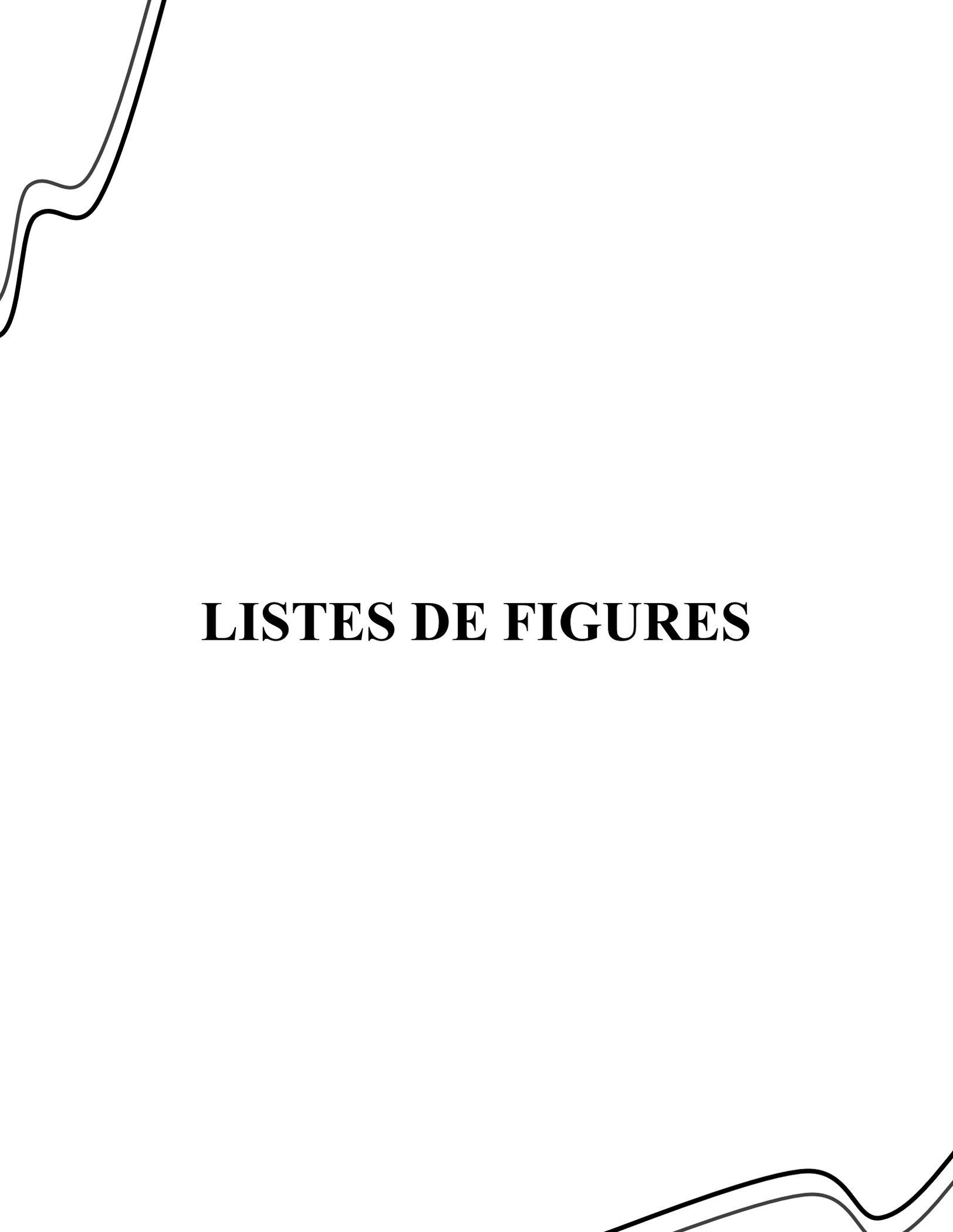
Petter G. (1959) - Goniatices dévoniennes du Sahara. *Publications du Service de la Carte Géologique d'Algérie (Nouvelle Série). Paléontologie. Mém.* 2, Alger. 28 pl., 58 fig., 313 p.

Racki G. & House M. (2002) - Late Devonian biotic crisis : ecological, depositional and geochemical records. Special issue. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 181 (1-3), pp. 1-374.

Tucker, M. (1973). Sedimentology and diagenesis of Devonian pelagic limestones (Cephalopodenkalk) and associated sediments of. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/285130911_Sedimentology_and_diagenesis_of_Devonian_pelagic_limestones_Cephalopodenkalk_and_associated_sediments_of_the_Rhenohercynian_Geosyncline_West_Germany

Tucker M. E. (1974) – Sedimentology of Paaleozoic pelagic limestones : the Devonian Griotte (Southern France) and Cephalopodenkalk (Germany). *Spec. Publ. Int. Ass. Sediment.*, 1, 71-92, 18 fig.

Tucker M E. (2001) – Sedimentary petrology An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks , 260 p.



LISTES DE FIGURES

LISTES DES FIGURES	Page
Fig. 1. : • A – Situation géographique des monts de l’Ougarta (Michard, 1976) et (Kecili Said Et Kadem Abdearrahmane). • B – Représentation du deux faisceaux de la Saoura et la Daoura	03
Fig. 2. : Localisation géographique du site étudié dans la région de Marhouma. • C – situation de la zone de Marhouma dans les chaînes du nord de l’Ougarta, sud-ouest de l’Algérie. En jaune ; le faisceau de la Saoura et en orange ; le faisceau de la Daoura. • D – Vue satellite Google Earth de la zone SW du village de Marhouma. 1- Dévonien moyen ; 2- Frasnien ; 3-Famennien II ; 4- Famennien III, VI et V ; 5- Famennien VI ; 6- Strunien ; 1, 2- Formation de Cheffar El Ahmar ; 3, 4, 5- Formation des argiles de Marhouma ; 6- Formation des grès de Ouarrourout	04
Fig. 3. Carte Géologique de la chaine d’Ougarta	05
Fig. 4. Représentation géologique des principaux affleurements du Dévonien dans la région de Marhouma (Bassin de l’Ougarta, Algérie) d’après Pareyn (1961)	06
Fig. 5. Classification de Dunham (1962) pour les roches carbonatées	14
Fig. 6. Classification d’Embry et Klovan (1971) pour les calcaires construit	14
Fig. 7. Vue panoramique du « Frasnien » mettant en évidence les couches calcaires intercalant des Argiles	16
Fig. 8. Masse argileuse métrique épaisse de couleur noire « Black shale » membre I	17
Fig. 9. Slump de Dévonien supérieur « Frasnien » Membre II	17
Fig. 10. • A – Bancs de calcaires pseudonoduleux (Griottes). • B – Section poli d’échantillon N° 1	17
Fig. 11. Colonne lithologique de la coupe de Marhouma (Formation de Cheffar El Ahmar, Frasnien)	18
Fig. 12. • A – La partie basale de la coupe de Marhouma (Formation de Marhouma, Famennien IV et V) marquer par une dominance calcaire. • B – Section poli (Slab) de l’échantillon N° 1	20
Fig. 13. • C – La limite lithostratigraphique entre les deux membres (séparer par la ligne discontinue en jaune). • D – Section poli (Slab) de l’échantillon N° 7	20
Fig. 14. Des moules externes de goniatites avec quelques débris de brachiopodes	21
Fig. 15. Légende et symboles utilisés	21
Fig. 16. Colonne lithologique de la coupe étudiée (Formation de Marhouma, Famennien IV et V) dans le secteur du « km 30 »	22
Fig. 17. Modèle de dépôt schématique en 3D du pole carbonate (rampe) et distribution de la faune	43

LISTES DES PLANCHES Page

- Formation de Cheffar El Ahmar (Frasnien Inf) -

Planche I : Microfaciès de la lame Fr 1	24
Planche II : Microfaciès de la lame Fr 3	25
Planche III : Microfaciès de la lame Fr 4	26
Planche IV : Microfaciès de la lame Fr 5	27
Planche V : Microfaciès de la lame Fr 6	28
Planche VI : Microfaciès de la lame Fr 8	29
Planche VII : Microfaciès de la lame Fr 9.....	29
Planche VIII : Microfaciès de la lame Fr 10	30
Planche IX : Microfaciès de la lame Fr 11.....	30

- Formation de Marhouma (Famennien IV, V) -

Planche I : Microfaciès de la lame Fm 1	31
Planche II : Microfaciès de la lame Fm 2	32
Planche III : Microfaciès de la lame Fm 3	33
Planche IV : Microfaciès de la lame Fm 4	34
Planche V : Microfaciès de la lame Fm 5	35
Planche VI : Microfaciès de la lame Fm 6	36
Planche VII : Microfaciès de la lame Fm 7.....	37
Planche VIII : Microfaciès de la lame Fm 8	38
Planche IX : Microfaciès de la lame Fm 9	39