

N°d'ordre :

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

Faculté de Sciences de la Terre & de l'Univers

Département de Sciences de la Terre

Laboratoire de Paléontologie Stratigraphique et Paléoenvironnement



Mémoire

Présenté pour L'obtention du grade

Master II

Option : Géologie des Bassins Sédimentaires

Thème :

Microfaciès & Environnement de dépôts des terrains du Dévonien inférieur de la région de Ben- Zireg (NW du Sahara algérien)

Présenté par

Mlle. XIRINDZA Amélia Vitorino

Soutenu le : 04 Juillet 2022

devant le jury composé de :

M. BOUTERFA. B.

MA-A

Université Oran 2

Président

M. OUALI MEHADJI. AEK.

Professeur

Université Oran 2

Rapporteur

M. MAHBOUBI. Y.

MA-B

Université Oran 2

Examineur

Oran, Juillet 2021 / 2022

TABLE DES MATIERES

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Abstract	
CHAPITRE 1 GÉNÉRALITÉS	2
I. INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE	1
I.1 Cadre géographique de Ben Zireg	2
I.2 Cadre géologique de Ben Zireg	3
I.2.1 Le Paléozoïque et la couverture mésozoïque.....	4
I.2.1.1 Le Paléozoïque.....	4
I.2.1.2 La couverture mésozoïque.....	6
I.2.2 Aperçu structural de Ben Zireg.....	6
I.2.3 Climat de la région de Ben Zireg	7
I.3 Historique des recherches sur la région d'étude.....	7
I.3.1 La première période.....	7
I.3.2 La deuxième période	8
I.4 Synthèses sur les carbonates.....	8
I.4.1 Constituants des roches carbonatées	8
I.4.2 La matrice	11
I.4.3 Aspects sur les faciès pseudo-noduleux à noduleux	13
I.5 Objectifs et méthodologies du travail	14
I.5.1 Objectifs.....	14
I.5.2 Méthodologie du travail.....	14
CHAPITRE 2 LITHOSTRATIGRAPHIE	
II. Description lithostratigraphique	15
II.1 Introduction.....	15
II.2 Situation et description de la coupe.....	15
II.3 Orientation et coordonnées de la coupe.....	15
II.4 Découpage en formations	17
II.5 Description de la coupe géologique du Dévonien inférieur :	20
II.5.1 La formation des carbonates de l'Oued Khoufane (99 m)	20
II.6 Attribution stratigraphique :.....	27
III. CHAPITRE III : MICROFACIES ET ENVIRONNEMENTS DE DEPOTS	29
III.1 Notions de microfaciès	29
III.2 Le concept de microfaciès types (MFT).....	29
III.2.1 Variabilité des microfaciès	30
III.2.1.1 Les types de microfaciès pour les carbonates allochtones	30

III.2.1.2	Les types de microfaciès pour les carbonates autochtones	30
III.3	Concepts de modèles de faciès de dépôt	31
III.4	Description des microfaciès	31
III.4.1	Description des microfaciès de la formation des Calcaires de l'Oued Khoufane : 31	
III.4.2	Description des microfaciès de la formation silico-clastiques de l'Oued Khoufane	38
III.5	Séquences et environnements de dépôts.....	43
III.5.1	Notion de types de microfaciès standard (SMF).....	43
III.5.1.1	SMF de la Formation des calcaires de l'Oued Khoufane :.....	46
III.5.2	Sédimentation de plateforme silico-clastique	46
III.5.2.1	Microfaciès de la formation silico-clastique de l'oued Khoufane	47
III.6	Conclusion	47
IV.	Conclusion générale.....	52
V.	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	55

REMERCIEMENT

Tout d'abord, je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donné la force, le courage, la motivation et la patience d'achever ce travail de mémoire.

D'un profond amour, je remercie mes parents qui sont la source de mes efforts ; c'est grâce à leur soutien et prière que j'ai accompli avec succès ce travail.

Je tiens à remercier très vivement, et à témoigner ma profonde gratitude à **Monsieur OUALI MEHADJI Abdelkader** de m'avoir proposé le sujet, m'encadré et me supporté pendant ces années. Également pour sa disponibilité à tous les instants et pour le temps qu'il m'a accordé, ces conseils et son savoir jusqu'à la fin de ce travail.

Je tiens également à remercier **Mr. BOUTERFA Boumediene** pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury et pour ses multiples recommandations et accueil. Mes remerciements aussi à **Mr. MAHBOUBI Chikh Younes** qui a accepté de faire partie du jury et d'examiner ce travail et aussi pour son aide et ses conseils.

Mes profonds remerciements à **Mr. FELLAH Hamza** qui indirectement m'a beaucoup aidé, avec la confection des lames et son mémoire qui a été d'une grande valeur pendant toute la préparation de ce travail.

Mes remerciements s'adressent aussi à tous les enseignants du Département des Sciences de la Terre, je cite en particulièrement : Mr. MAHBOUBI M'hamed ; MANSOUR B., Mr. BOUZID R. et Mr. BENHAMOU M.

Ma vive gratitude et mes remerciements s'adressent également à mes collègues de promotion Master 2 **GBS 2021/2022** spécialement à ma chère amie **DAHMANI Marwa**, qui pendant tout le temps de préparation de ce mémoire m'a apportée son aide, conseil et beaucoup de support moral.

Un remerciement spécial aux techniciens du laboratoire, Mr. BOUZA Hocine ; Mr. Derbal Wahid et Mme. MEROUANE Fatima, pour faciliter l'accès aux moyens du laboratoire pédagogique, et au personnel administratif, Mme. HADJEL Saliha.

Enfin je tiens à remercier tous ceux qui m'ont aidées et soutenues, de près ou de loin, pour l'accomplissement de ce mémoire et en particulier ma famille.

XIRINDZA Amélia Vitorino

Dédicace

Je dédie ce mémoire accompagné d'un profond amour et gratitude :

A la source de mes efforts, ma chère mère **Joaquina Alberto Matusse**, et à mes chers pères **Vitorino Augusto Xirindza, Vasco Augusto Xirindza et Joaquim Cuna**.

A ceux qui n'ont jamais ménagé aucun effort pour me voir réussir, qui m'ont toujours soutenue et guidée, mes exemples de vie ; Que Dieu te garde, grand père **Jose Ferro** et ma grand-mère **Amélia Isabel Adriano Mambo** (que son âme repose en paix).

A ma grand-mère qui n'a jamais cessé de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs ; que Dieu te garde grand-mère **Esperança Hérculano João** et **Teresa Adriano Mambo**.

A mon frère et ma sœur : **Térvio** et **Lidia**.

A mes tantes et oncles : **Nelucha, Oguita, Tonecas, Chaibo, Leontina, Augusto, Cheguito** et **Abel** (que son âme repose en paix). Pour leur soutien moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études.

A tous mes cousins, cousines, neveux et amies proches.

A celui qui m'a beaucoup aidée et motivée tout au long de ce travail, **Ridy Ngansia Mukiana**, que Dieu te garde et merci beaucoup.

Et toute ma famille...

XIRINDZA Amélia Vitorino

Résumé

La région de Ben Zireg, à environ 50 km au Nord de la ville de Béchar, constitue une zone transition, entre le Sahara algérien le pied méridional de l'Atlas Saharien. Cette région montre des affleurements paléozoïques. Le Dévonien inférieur est bien exposé au-dessus de la dépression molle silurienne.

Notre travail a été basé sur une étude des microfaciès et environnements de dépôts de la formation des carbonates de l'Oued Khoufane (caractérisé par une alternance marno-calcaires) et la formation de silico-clastiques de l'Oued Khoufane (caractérisé par une dominance argileuse, intercalée par des silts et des grès en bancs minces).

Les microfaciès, des deux formations, ont été regroupés en trois standard microfaciès, représentés par : i) SMF 2 comprenant la catégorie des calcisiltites pelloïdes et micro-bioclustiques, appartenant au « *facies zone* » 2 de plateforme profonde (distale) ; ii) SMF 3 de la catégorie de mudstone / wackestone pélagiques, représentés par des wackestones à tentaculites du « *facies zone* » 1 et 3 (bassin à plateforme profonde) ; et iii) le SMF 10 de la catégorie des packstone/wackestone bioclustiques, appartenant aux « *facies zones* » 2 et 7, du marin ouvert à plateforme profonde.

Ces différents SMF caractérisant un environnement marin ouvert, vers la plateforme distale, recevant des tempestites distales en alternance avec des phases calmes de marnes.

Mots-clés : Ben Zireg, Dévonien inférieur, Carbonates de l'Oued Khoufane, Microfaciès, SMF.

Abstract

The region of Ben Zireg, is about 50 km north of the city of Bechar, constitutes a transitional zone between the Algerian Sahara and the southern foot of the Saharan Atlas. This region shows Paleozoic outcrops. The Lower Devonian is well exposed above the Silurian soft depression.

Our work was based on a study of the microfacies and depositional environments of the Oued Khoufane carbonate formation (characterized by an alternation of marl and limestone) and the Oued Khoufane silico-clastic formation (characterized by a clayey dominance, intercalated by siltstones and sandstones in thin banks).

The microfacies, of both formations, have been grouped into three standard microfacies, represented by: (i) SMF 2 comprising the category of pelloid and micro-bioclastic calcisiltites, belonging to the deep (distal) platform "zone facies" 2; (ii) SMF 3 of the category of pelagic mudstone/wackestone, represented by tentaculite wackestones of "zone facies" 1 and 3 (deep platform basin); and (iii) the SMF 10 of the category of bioclastic packstone/wackestone, belonging to "zone facies" 2 and 7, of the deep platform open marine.

These different SMF characterize an open marine environment, towards the distal platform, receiving distal tempestites alternating with calm marl phases.

Keywords: Ben Zireg, Lower Devonian, Oued Khoufane Carbonates, Microfacies, SMF.

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS

I. INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE

Le présent travail est consacré à l'étude des microfaciès des niveaux Calcaires de la Formation de l'Oued Khoufane d'âge Dévonien inférieur (Lochkovien, Praguien et Emsien inférieur) et les niveaux silto-gréseux de la Formation des silico-clastiques de l'Oued Khouffane d'âge Emsien supérieur (équivalente du talus argilo-gréseux de Massa et al. (1965). Ces formations géologiques se superposent au-dessus des termes du passage "Siluro-Dévonien". Une première description fut présentée par Massa et al. (1965). Ultérieurement, Alberti (1981) présenta une étude paléontologique basée sur les trilobites et les tentaculites. Récemment, Fellah (2009) a présenté une étude lithostratigraphique et sédimentologique du Dévonien inférieur et moyen de l'anticlinal de Ben Zireg. Il a placé ces formations dans leur cadre méso et mégaséquentielle.

Notre objectif consiste à présenter une description détaillée des microfaciès des lames mines (réalisées dans le cadre du mémoire de magistère de Fellah) de ces formations et éventuellement proposer un modèle sédimentologique en relation avec leur cadre génétique.

Le présent chapitre est réservé au cadre physique (contexte géographique et géologique) du secteur étudié. On donnera les caractères géographiques et structuraux ainsi qu'une présentation sommaire des successions lithologiques du Paléozoïque de cette région et surtout nous nous focaliserons sur les assises calcaires et le talus argilo-gréseux du Dévonien inférieur auquel notre travail est consacré, en présentant une recherche bibliographique, permettant de citer et rappeler les grands traits et travaux réalisés dans cette région.

I.1 Cadre géographique de Ben Zireg

La région de Ben Zireg se situe à la zone de transition entre l'Atlas saharien au Nord et la plateforme saharienne au Sud. C'est une chaîne orientée Est-Ouest et constitue un espace géographique qualifié de "présaharien" (Fellah, 2009). Cette localité se trouve à environ 50 km au Nord de la ville de Béchar (Sud-ouest algérien), avec une altitude variante entre 780 et 950m. Elle est limitée (FigI.1, I.2) au Nord par la trace du chemin de fer Aïn-Sefra/Béchar et la route nationale RN 6, au Nord-Est par Djebel Antar, au Sud-Est par la plaine de Djedida, au Sud-Ouest par le Djebel Madjouz et à l'Est par les reliefs de Ras Lahrach.

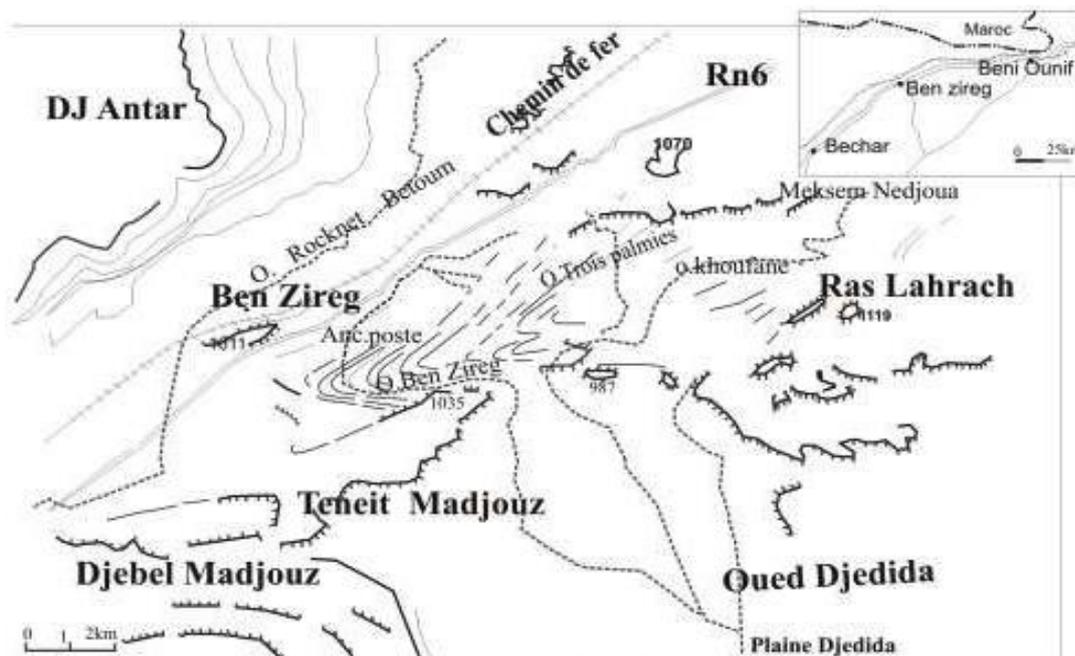


Figure I-1 : Situation géographique de la région de Ben Zireg (extrait de la carte topographique 1/200.000, feuille de Ben Zireg).



Figure I-2 : Photo satellite de la région de Ben Zireg (Google Earth)

I.2 Cadre géologique de Ben Zireg

Le secteur de Ben Zireg est un massif de l'avant pays de la chaîne hercynienne d'Afrique du Nord (Benyoucef et al.2015), se présentant en un anticlinal paléozoïque qui affleure à la faveur d'une boutonnière ouverte en « V » et s'ennoie vers l'Est sous la couverture mésozoïque échancrée par une fenêtre et coincée entre le massif du Djebel Antar et le bord septentrional du Djebel Béchar (Fellah, 2009).

L'anticlinal de Ben Zireg (Fig.I.3) est constitué par des terrains allant du Cambrien au Crétacé, affecté par l'orogénèse hercynienne et repris par l'orogénèse alpine (Pareyn, 1961).

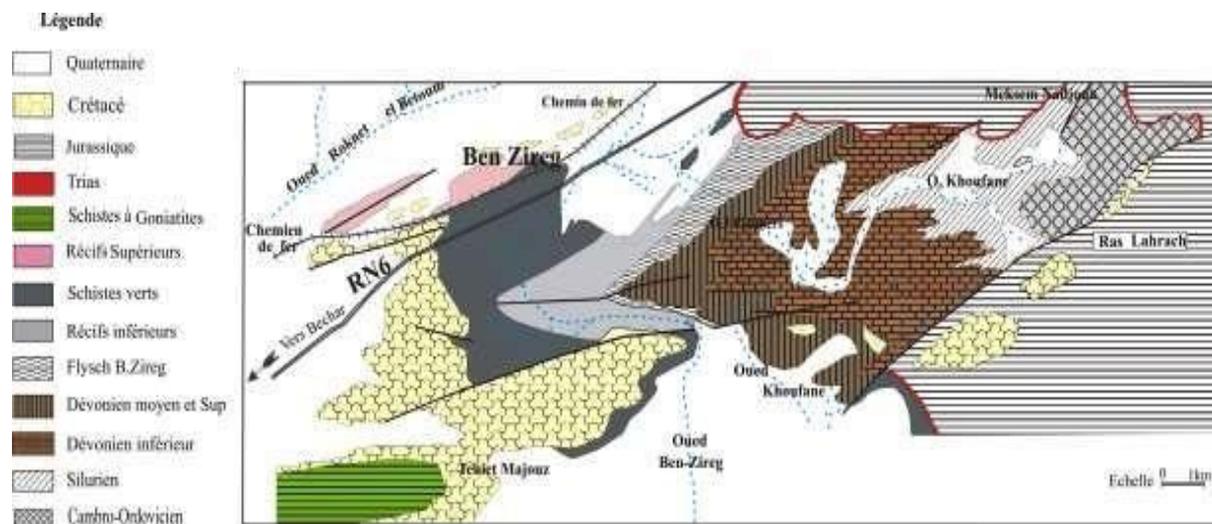


Figure I-3 : Carte géologique de Ben Zireg (Pareyn, 1961)

I.2.1 Le Paléozoïque et la couverture mésozoïque**I.2.1.1 Le Paléozoïque**

La zone centrale de l'anticlinal de Ben Zireg est constituée par : i) des séries du Cambro-Ordovicien, formant une masse sombre à l'angle oriental de la boutonnière ; ii) du Silurien argileux à graptolithes ; iii) et du Dévonien calcaire et argilo-gréseux à sa partie inférieure, marno-calcaire vers sa partie moyenne et supérieure ; iv) un ensemble carbonifère bien développé à la périphérie de l'anticlinal (Fellah, 2009).

La coupe la plus complète du Paléozoïque inférieur (Fig. I.4) est établie en deux tronçons : dans la dépression interne de l'Oued Khoufane et dans le défilé de l'Oued des trois palmiers (Pareyn, 1961).

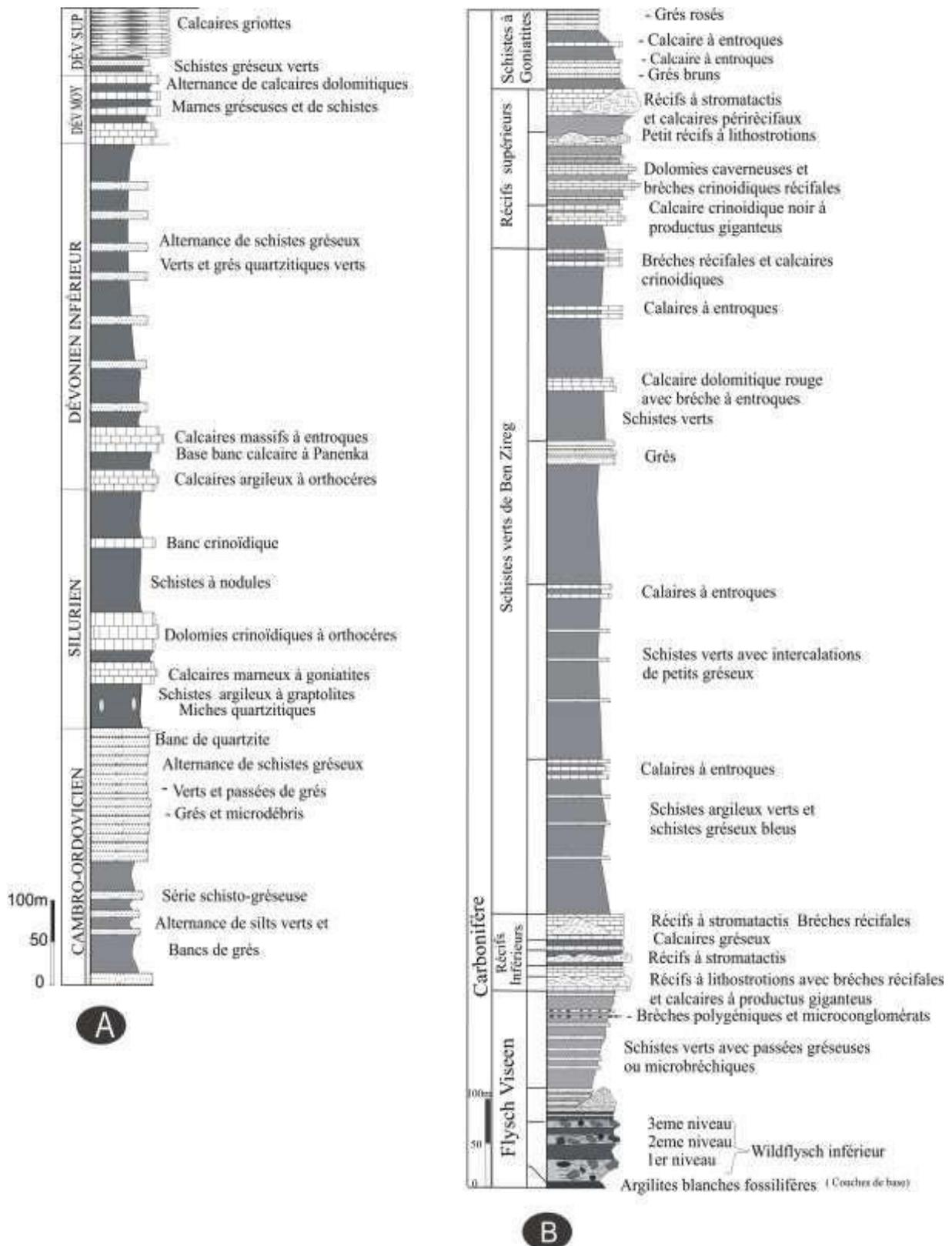


Figure I-4 : La coupe lithologique du Paléozoïque de Ben Zireg, (Pareyn, 1961).

I.2.1.2 La couverture mésozoïque

Dans la partie septentrionale de la structure de Ben Zireg, la couverture mésozoïque affleure sous forme de séries triasiques, grésos-conglomératiques à épisode de gypse, de couleur rouge, et une série marine du Jurassique.

Vers le Sud-Ouest, les terrains crétacés reposent en discordance angulaire sur des schistes verts du Carbonifère.

Au Sud-Est, les terrains jurassiques sont surmontés par endroits par des témoins de dalles cénomaniennes à la faveur d'un dénivellement provoqué par une faille masquée par des éboulis, et qui se greffe au-delà de la zone d'épandage des Oueds Khoufane et Ben Zireg, au grand accident hercynien du Theniet el Madjouz. (Fellah, 2009).

I.2.2 Aperçu structural de Ben Zireg

Les terrains paléozoïques de Ben Zireg forment une structure antiforme de direction atlasique (Est-Ouest), fracturé par plusieurs failles satellites issues de la grande faille Sud atlasique (Fellah, 2009).

La falaise méridionale de la structure de Ben Zireg (Fig. I.5) constitue le miroir d'une faille, masquée par les éboulis, qui se raccorde au-delà de la zone d'épandage d'Oued Khoufane et Ben Zireg au grand accident hercynien du Theniet el Madjouz. Cet accident a rejoué au cours de l'orogénèse alpine (Pareyn, 1961).

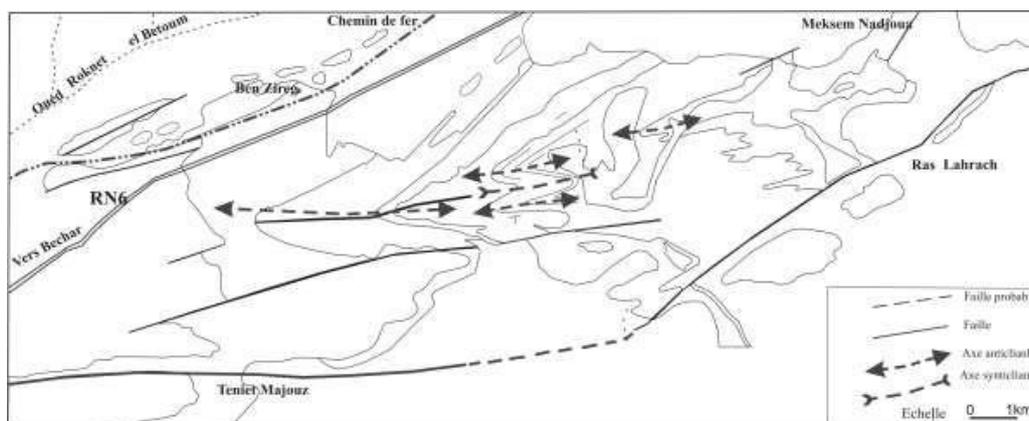


Figure I-5 : Aperçu structural de la structure de Ben Zireg (Pareyn, 1961).

I.2.3 Climat de la région de Ben Zireg

Notre secteur d'étude est marqué par un climat méditerranéen chaud caractérisé par un été sec, une température moyenne de 21.5°C et des précipitations en moyenne de 160.7 mm. Les vents dominants sont généralement de direction NE-SW, et les vents dominants soufflent généralement du Sud.

Cette région s'intègre dans le bassin versant d'Oued Zousfana, caractérisé par la présence de nombreux Oueds tels qu'Oued Khoufane et ses affluents et Oued Ben Zireg (Fellah, 2009).

I.3 Historique des recherches sur la région d'étude

La plate-forme saharienne et en particulier la région de Béchar ont fait l'objet de nombreuses études. Nous distinguerons deux périodes répondant à des préoccupations et des objectifs différents.

I.3.1 La première période

Elle correspond en gros à la première moitié du XX^{ème} siècle, entre 1900-1980. C'est la période des études couronnées par des monographies régionales et les synthèses régionales. Elle commence avec les pionniers de la géologie du Sud-oranais qui ont esquissé les grands traits stratigraphiques et structuraux du Paléozoïque du Sahara algérien, dont Poirmeur (1906), Flamand (1900-1911), Menchikoff (1930-1945), Pareyn (1950-1961) et Legrand (1962-1985).

- **Période 1900-1980**

Poirmeur (1906) a étudié les affleurements dévoniens de la structure de Ben Zireg, puis Flamand (1911) a présenté un premier levé topographique entre Ben Zireg, la Zousfana et Chebket Fendi.

Menchikoff (1943) proposa une subdivision du Dévonien de l'oued Khoufane en quatre ensembles (calcaires de l'Oued Khoufane, série schisto gréseuse, calcaires moyens, calcaires supérieurs).

Pareyn (1955) apporta quelques détails dans une note sur le Flysch viséen de Ben Zireg de la base du carbonifère, et publia sa thèse « Les massifs carbonifères du Sahara Sud-Oranais » en 1961.

Les détails de la description des différents ensembles de Ben Zireg sont présentés dans le travail de Massa et al. (1965).

Fabre (1976) consacré une partie de son ouvrage à la géologie de Ben Zireg au Dévonien-Carbonifère.

I.3.2 La deuxième période

Elle est consacrée à l'étude paléontologique des différentes formations lithostratigraphiques définies, ainsi que les aspects sédimentologiques sur le Dévonien inférieur et Moyen de l'anticlinal de Ben Zireg. On cite ici les travaux d'Alberti (1981) et de Fellah (2009).

- **Période 1980 jusqu'à nos jours**

Alberti (1981) présenta une étude biostratigraphique à partir des trilobites et les tentaculites du Dévonien inférieur de Ben Zireg, concluant à une continuité des dépôts du Dévonien inférieur, du Lochkovien à l'Emsien.

Fellah (2009), dans le cadre de son mémoire de magistère, présente une étude lithostratigraphique et sédimentologiques du Dévonien inférieur et Moyen de l'anticlinal de Ben Zireg. Il a placé cette formation dans son cadre méso et méga séquentielles.

I.4 Synthèses sur les carbonates

Les carbonates (CaCO_3) sont caractérisés par le radical (CO_3) avec formule ionique CO_3^{++} . Une roche carbonatée est une roche sédimentaire contenant au moins 50% de carbonates, généralement du carbonate de calcium : calcite (CaCO_3), aragonite (CaCO_3) ou de carbonates de magnésium (dolomite $\text{Ca Mg} (\text{CO}_3)_2$).

I.4.1 Constituants des roches carbonatées

Les différents constituants des carbonates en lame mince sont : **i)** les grains (éléments figurés), **ii)** la phase de liaison (une matrice ou un ciment) qui permet d'agglutiner la roche pour lui conférer une consistance par lithification-cimentation. Enfin, les

arrangements entre les grains déterminent la porosité primaire à travers laquelle se produit la cimentation ; les reliques des pores après la phase de liaison correspondent à des vides (ou porosité résiduelle) qui sont souvent remplis d'air, d'eau ou d'hydrocarbures....

I.4.1.1 **Les éléments figurés** : Sont des matériaux carbonatés produits sur place ou

transportés ; ils sont de deux types : des grains organiques (grains squelettiques ou bioclastes) ou des grains non organiques (grains non squelettiques).

- Les **grains squelettiques ou bioclastes** sont des particules formées par des organismes biologiques macro ou micro fossiles tels que les bivalves, gastéropodes, crinoïdes, thalles d'algues, bryozoaires, brachiopodes ainsi que différents types de foraminifères ou autres microfaune (tentaculites, calpionelles...) ou microflore (diatomées). La fragmentation des squelettes carbonatés est particulièrement remarquable en milieux agités, tels que plages, barrières et récifs.
- Les **grains non squelettiques, ou non organiques**, comprennent des grains arrondis, non squelettiques, avec un noyau, nucléus ou lithoclastes (fragments de roches) qui se développent au sein du bassin sédimentaire. Les grains arrondis avec nucléus correspondent :
 - **Ooïdes**, sont des grains qui possèdent un cortex à laminations concentriques, régulières et généralement d'épaisseur relativement constante.
 - **Oncoïdes**, sont des grains arrondis à lamination irrégulières et surface essentiellement concave.

Dans les grains non squelettiques sans nucleus, on a :

- Les **peletoïdes ou peloïdes ou pellets** sont des grains calcaires composées de carbonate micro à cryptocristallin, sans structure interne. Souvent, ces grains de forme arrondie, ovale ou irrégulière, sont isolés ou amalgamés. On les rencontre laminés ou coagulés (*clotted grains*). Ils sont d'origine variée et le terme pellet est réservé aux grains d'origine fécale alors que tous les autres grains micritiques sans structure interne sont appelés péloïdes. Ils sont très communs dans le milieu marin (peu profond tidal à subtidal, plateformes, récifs et mud-mounds) ; souvent connus dans les plateformes peu profondes tropicales, ces grains sont rares à absents dans les carbonates non tropicaux d'eaux froides.
- Lithoclastes sont des fragments et débris de roches, avec trois variantes ; les agrégats (ensemble d'éléments agrégés par une matrice), intraclaste (fragmentation de roche

issue de la destruction *in situ* de roches préexistantes) et les extraclastes (fragments exotiques, à composition différente de celle du sédiment encaissant).

- La révision récente de Flügel (2010) distingue dans les grains cinq (05) catégories : les péloïdes (*peloids*), les grains enrobés (*coated grains*), les grains agrégés (*grain aggregates*), les clastes (*clasts*) et enfin les grains squelettiques (*skeletal grains*).
 - Les péloïdes (pellets et pellesoïdes)
 - Les grains enrobés regroupent les cortoïdes (grains à enveloppe micritique), les ooïdes, les oncolithes et les pisoïdes.
 - Les grains agrégés (don't les *lumps*)
 - Les clastes (exemple des intra et extraclastes)
 - Les grains squelettiques

PELOIDS			Small micritic grains, commonly without internal structure. Subrounded, spherical, ovoid or irregular in shape. Size between <0.02 and about 1 mm, commonly 0.10 to 0.50 mm.
COATED GRAINS	CORTOIDS		Rounded skeletal grains and other grains covered by a thin micrite envelope. Boundary between the central grain and the envelope indistinct. Size between <1 mm to a few centimeters.
	ONCOIDS		Large and small grains consisting of a more or less distinct nucleus (e.g. a fossil) and a thick cortex formed by irregular, non-concentric, partially overlapping micritic laminae. Laminae may exhibit biogenic structures. No tendency to increase sphericity during growth. Size from <1 mm to a few decimeters.
	OOIDS		Spherical or ovoid grains, consisting of smooth and regular laminae formed as successive concentric coatings around a nucleus. Laminae may exhibit tangential and radial microfabrics. Size between 0.20 and about 2 mm, commonly between 0.5 and 1 mm.
	PISOIDS		Large subspherical and irregularly shaped grains, consisting of a mostly non-biogenic nucleus and a thick cortex formed by conspicuously, often densely spaced laminae exhibiting tangential and radial microfabrics. Pisolids occur as isolated grains or are incorporated in crusts. Size generally >2 mm, up to >1 cm.
GRAIN AGGREGATES			Compound grains consisting of two or more originally separated particles (e.g. ooids, skeletal grains) that have been bound and cemented together, forming grape-like or rounded lumps. Intergrain spaces filled with micrite or spar. Outline irregular lobular or rounded. Size 0.5 to more than 2 mm.
CLASTS			Synsedimentary or postsedimentary lime clasts, reworked partly consolidated carbonate sediment or already lithified material. Shape and size are highly variable: angular to rounded. Size ranges between <0.2 mm and several decimeters. Very small clasts are hardly distinguishable from peloids.
SKELETAL GRAINS			Fragmented or complete skeletons of organisms. Size from 0.05 mm to many centimeters.

Tableau I-1: Terminologie descriptive des principales catégories de grains carbonatés (Flügel, 2010, p. 100)

I.4.2 La matrice

Le terme matrice désigne la matière interstitielle entre les grains plus gros, et elle inclut les calcaire à grains fins (**micrite**- caractérisé par une texture de cristal de ligne crypto- à microcristallin et selon Folk (1959) la limite de taille de grains est $<4 \mu\text{m}$; microsparite caractérisé par une matrice de calcite à grains fins constituée de cristaux de 5 à environ $30 \mu\text{m}$ de diamètre, le plus souvent de 5 à $7 \mu\text{m}$, et présentant souvent une distribution de taille plutôt uniforme; et calcisiltite- caractérisée par une matrice à grains fins, composée de particules de calcaire détritique. La teneur en limon se situe entre 2 et $62 \mu\text{m}$.

- *La boue carbonatée*

Dans les roches calcaires, les grains sont souvent entourés par une phase calcaire microcristalline, **la micrite** (une boue carbonatée crypto- à microcristalline, et constituant tout ou partie de certaines roches carbonatées) est aussi comprise comme étant la matrice à grains fins des roches carbonatées et le constituant à grains fins des grains carbonatés. Elle contient souvent des micro-débris d'organismes, de particules argileuses, des oxydes et hydroxydes, des sulfates et des sulfures.

Selon la nature des grains constituant, le terme micrite peut être utilisé comme adjectif **micritique**, ou comme suffixe : **biomicrite, oomicrite, pelmicrite**, etc.

- *Mode de formation de micrite*

La formation des micrites englobe différents processus qui sont de haute importance pour les interprétations paléoenvironnementales, l'analyse des bassins et la compréhension des propriétés des roches carbonatées à grains fins. Ils sont subdivisés de manière suivante :

Les processus		
<p>Les automicrites (micrites autochtones) sont des carbonates micro-cristallins formés au fond de la mer ou dans les sédiments</p>	<p>Abiogénique (inorganique)</p>	<p>Précipitation physico-chimique déclenchée par les fluctuations de salinité et de température de l'eau.</p>
	<p>D'origine biologique</p>	<p>Précipitation de carbonate par médiation biologique (organiques), entraînant l'organo-minéralisation et la formation d'organo-micrite.</p>
	<p>Biologiquement contrôlé</p>	<p>Processus métaboliques des bactéries hétérotrophes et chimiolithotrophes et d'autres microbes provoquant des changements micro-environnementaux qui induisent la précipitation de carbonate.</p>
		<p>Processus métaboliques des cyanobactéries phototrophes et des algues entraînant la précipitation de carbonates</p>
<p>Les allomicrites (micrites allochtones) proviennent de la destruction des squelettes d'algues calcaires et d'invertébrés, de la bioérosion, de l'accumulation de plancton calcaire ainsi que de l'érosion et de l'abrasion des carbonates lithifiés.</p>	<p>Désintégration d'un biote essentiellement benthique.</p>	<p>Désintégration des algues calcaires benthiques en fragments sous-microscopiques (modèle Halimeda)</p>
		<p>Désintégration des épibiontes vivant sur les herbiers marins et les macro-algues</p>
		<p>Désintégration des squelettes d'invertébrés</p>
	<p>Désintégration du biote pélagique</p>	<p>Bioérosion causant une abrasion détritique et des micro-perforations (micro-boring) causant une micritisation.</p>
<p>Érosion et abrasion</p>	<p>Accumulation de plancton calcaire (foraminifères; coccolithophores et autres nannofossiles causant des nanno-micrites)</p>	<p>Érosion mécanique des calcaires, p.ex. sur les côtes</p>
<p>Pseudomicrite Diagénétique «micrite»</p>	<p>Diagenèse</p>	<p>Ciments carbonatés micro- et cryptocristallins</p>
		<p>Recristallisation et «diminution du grain» (remplacement d'anciens cristaux plus gros par de minuscules cristaux)</p>

- ***Comment se fait la production des boues carbonatées ?***

La production des boues carbonatées, peut être expliquée en se basant sur les hypothèses qui ont été proposées par Sorby (1879) expliquant l'origine de la calcite microcristalline dans les calcaires comme issu de :

1. Formation sur place de carbonate à grains fins générés par des facteurs biochimiques et physico-chimiques ;
2. Désintégration *post mortem* d'algues calcaires ;
3. L'abrasion physique ou biologique de la matière squelettique ;
4. L'accumulation de plancton calcaire pélagique ;
5. Le résultat de processus diagénétiques, y compris la cimentation et la recristallisation ;

- ***Les environnements de sédimentation des boues carbonatées***

La sédimentation des boues carbonatées se fait dans les environnements calmes tels que, les lagons à tendance évaporitique où une précipitation purement chimique peut avoir lieu.

Actuellement, les boues carbonatées proviennent d'environnements non marins (p. ex. milieux pédogéniques et lacustres), et d'environnements marins, y compris de milieux intermarins et subtidaux peu profonds (p. ex. chenaux de marée, tapis d'algues, lagunes, plates-formes), récifs et fonds marins profonds. (Flügel, 2010).

- ***Micrite à imprégnations d'argiles***

La micrite contient quelquefois des particules argileuses, par imprégnation, et semble largement répandue dans des provinces carbonatées avec un apport sédimentaire terrigène, fin.

I.4.3 Aspects sur les faciès pseudo-noduleux à noduleux

Les faciès noduleux calcaires présentent des nodules dispersés ou densément emballés dans une matrice, généralement de taille cm et sont souvent arrondis à subarrondis. Les plus connus présentent des couleurs griottes, rouges, qui ont conduit au terme Ammonitico Rosso. Les calcaires nodulaires rouges, sont souvent associés à des calcaires pélagiques, condensés, et se produisent sur des hauts-fonds marins. Ils sont communs dans les environnements marins profonds et sur les pentes, mais ils peuvent aussi se former dans les milieux marins peu profonds et non marins.

L'origine de l'aspect nodulaire a été expliquée par des processus diagenétiques (processus de subsolution ainsi que la cimentation et la croissance des nodules dans les sédiments), sédimentaires et tectoniques. Gründel et Rösler (1963) et Böhm (1992) ont examiné les interprétations génétiques.

Les modèles de formation de nodules peuvent être classés en trois groupes :

1. Formation de nodules causée par les processus de subsolution ;
2. Formation de nodules causée par une cimentation localisée dans le sédiment ;
3. Formation de nodules par des procédés mécaniques ;

I.5 Objectifs et méthodologies du travail

I.5.1 Objectifs

Le travail effectué au niveau du Dévonien inférieur de Ben Zireg a pour but :

- Une étude sédimentologique (microfaciès) pour la caractérisation des différents microfaciès selon le concept du « Standard Microfacies Type » (SMT) de Flügel (2010). Et identification de l'environnement de dépôts de la formation des Carbonates de l'Oued Khoufane et de la formation Silico-clastique de l'Oued Khoufane.

I.5.2 Méthodologie du travail

Notre travail est basé sur l'observation analyse et description et pour pouvoir répondre à ces buts nous avons utilisés les méthodes suivantes :

- **Investigations bibliographiques**

Comme support à notre travail, nous avons utilisés les ouvrages de référence, et les travaux disponibles de nos prédécesseurs tels que : « Menchikoff (1936), Perrodon (1951), Pareyn (1961), Massa et al (1965) et Fellah(2009). »

- **Les travaux au laboratoire et interprétation**

Notre micropétrographie a été porte sur 10 lames et, la nomenclature adoptée pour les microfaciès est celle de folk (1959) qui se base sur la nature des éléments figurés et la description de la phase de liaison (matrice ou ciment). L'analyse texturale, que, est fondée sur la classification de Dunham (1962-1965) qui décrit l'agencement des grains et la présence ou non d'une matrice.

CHAPITRE II : LITHOSTRATIGRAPHIE

II. Description lithostratigraphique

II.1 Introduction

Cette partie est réservée à une exploitation des documents relatifs (Pareyn, 1961 ; Massa et al., 1965; Fellah, 2009) à l'étude lithostratigraphique des formations du Dévonien inférieur de la région de Ben Zireg qui correspond à une structure anticlinale, à axe presque Est-Ouest, traverse par un réseau hydrographique non-permanent (Oued Khoufane et ses affluents). Les affleurements sont bien représentés au flanc nord, au flanc sud, et à la charnière de l'anticlinal où les couches sont bien visibles et d'accès facile.

II.2 Situation et description de la coupe

Les lames étudiées sont celles réalisées par Fellah (2009) dans le cadre de son mémoire de magistère où il a prélevé une coupe au cœur du bombement anticlinal de Ben Zireg. Les pendages varient considérablement, entre 15° à 80° vers l'Ouest. (Fig. II.1, II.2 et II.3). Nous avons adopté la subdivision lithostratigraphique proposée par Fellah (2009).

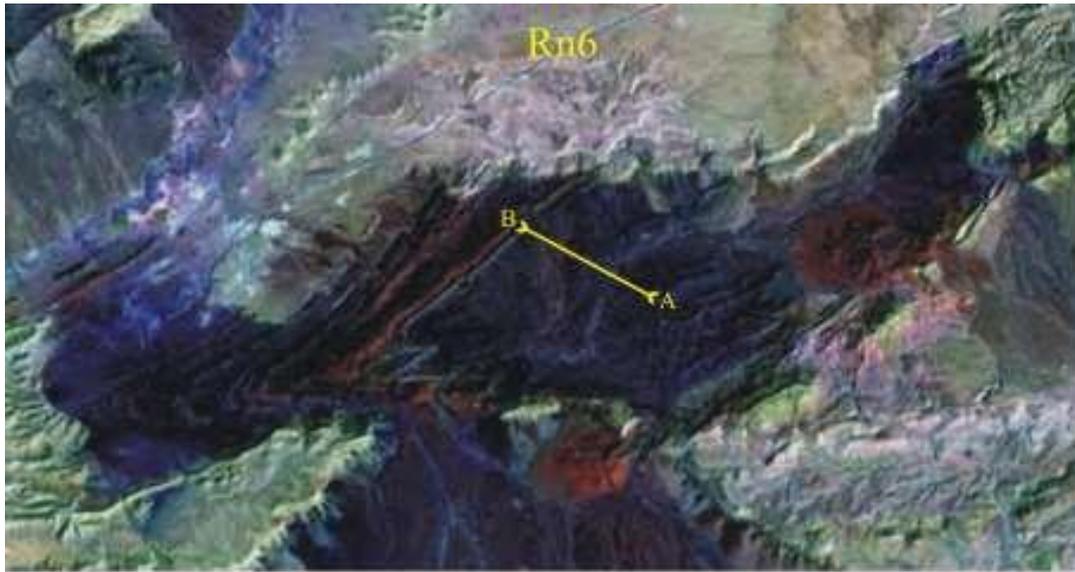
La coupe est d'une épaisseur de 378m et montre deux formations : i) la Formation des carbonates de l'Oued Khoufane ; ii) la Formation des silico-clastiques de l'Oued Khoufane.

II.3 Orientation et coordonnées de la coupe

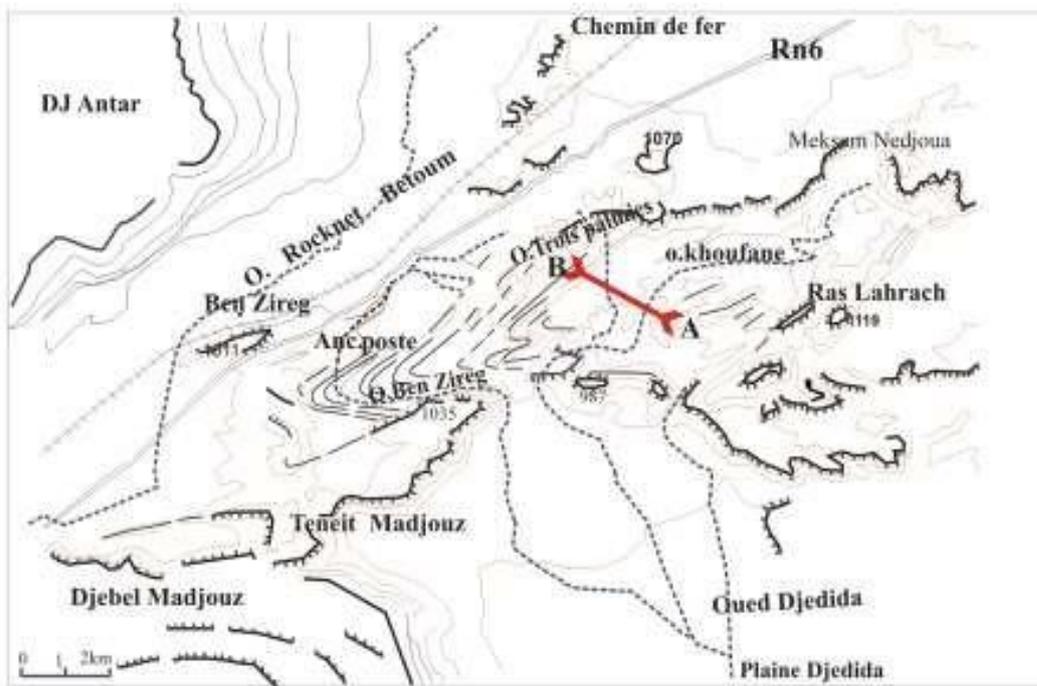
La coupe est orientée ESE-WNW et a pour coordonnées (Fellah, 2009) :

X1 :31°55 15 89 N Y1 : 1°44 51 61 W Altitude : 916 m

X2 :31°55 44.60 N Y2 : 1°47 05 98 W Altitude : 995m



A



B

Figure II-1 Localisation de la coupe de l'anticlinal de Ben Zireg (Fellah, 2009)

A- Extrait de la photo satellite: NASA

B- Extrait de la carte topographique de Ben Zireg au 1/100.000



Figure II-2 : Illustration photographique de l'anticlinal de Ben Zireg (Fellah, 2009)

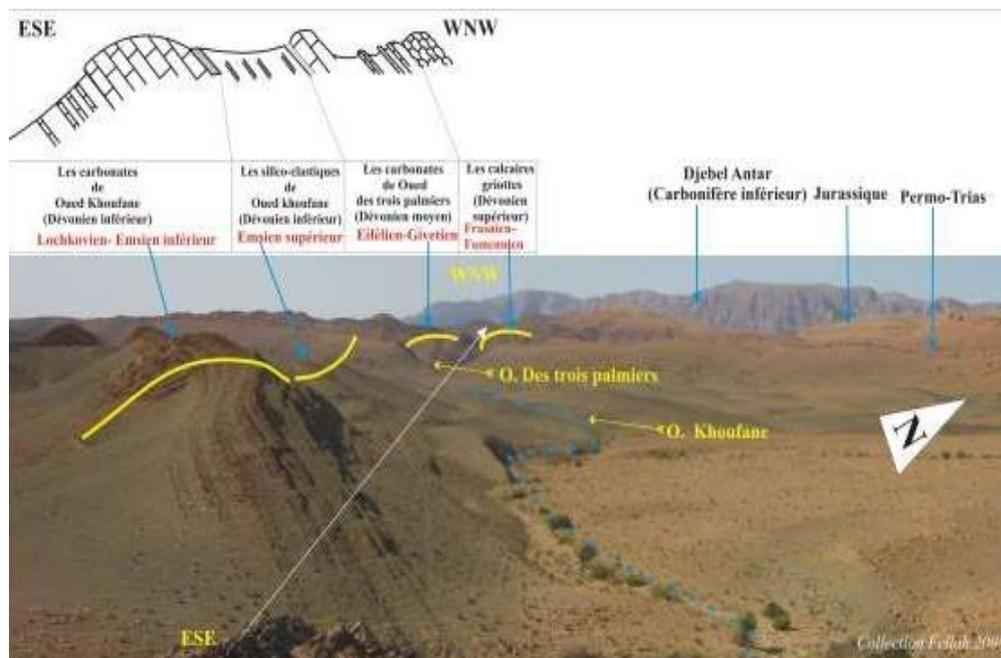


Figure II-3: Photo panoramique montrant une coupe synthétique et les différentes formations du Dévonien de la région de Ben Zireg (Fellah, 2009).

II.4 Découpage en formations

La série du Dévonien inférieur de Ben Zireg est subdivisée lithostratigraphiquement en deux ‘Formations’. Elles sont de bas en haut (tableau II.2):

- **La formation des « Carbonates de l’Oued Khoufane »** à dominance carbonatée et correspond aux marno-calcaires de base ;

- La formation «Silico-clastique de l'Oued Khoufane » à dominance argileuse, intercalée par des silts et des grès en bancs minces;

Les travaux antérieurs (Menchikoff, 1936 ; Pareyn, 1961 ; Massa et al. 1965) ont mentionné différentes unités lithologiques qui sont synthétisées et corrélées à travers le tableau ci-dessous :

Menchikoff,1936	Pareyn,1961	Massa et al,1965	Notre travail, 2007
Calcaires supérieurs	Griottes	Griottes supérieures	Formation des griottes
		Calcaires noirs et griottes	
Calcaires moyens	Calcaires médians	Calcaires Médians	Formation des carbonates de Oued des trois palmiers
Série schisto- gréseuses	Série d'argiles schisteuses et gréseuses	Talus Argillo-Silteux	Formation des silico-clastiques de Oued khoufane
Calcaires Oued Khoufane	Calcaires fossilifères inférieurs	Calcaire Oued Khoufane	Formation des Carbonates de Oued khoufane

Tableau II-1: Les différentes nomenclatures des formations de la série dévonienne de Ben Zireg

Âge	Colone lithostratigraphique	Lithostratigraphie	
		Formations	Membres
DÉVONIEN INFÉRIEUR Emsien		Les silico-clastiques de l'Oued Khoufane	Alternance d'Argilo- calcaire gréseux et dolomitique
			Rytmites
		Les carbonates de l'Oued Khoufane	Alternance argilo-gréseuse
Marno-calcaires			
Alternance d'argilo-Calcaires à bivalves			
		Alternance d'argilo-Calcaires à orthocères	

Tableau II-2 : Succession lithostratigraphique du Dévonien inférieur de l'anticlinal de Ben Zireg (Fellah, 2009).

II.5 Description de la coupe géologique du Dévonien inférieur :

II.5.1 La formation des carbonates de l'Oued Khoufane (99 m)

Elle affleure au niveau de l'Oued Khoufane, où on a une épaisseur maximale de 99m. Elle débute avec la disparition des schistes noirs (les derniers termes de la série silurienne), attribués stratigraphiquement au Silurien (Perrodon, 1951 ; Pareyn 1961 ; Massa et al. 1965) et l'apparition des argiles grises, riches en orthocères et bivalves. Elle prend fin avec la disparition des bancs calcaires, remplacés par des bancs silto-gréseux (les premiers bancs gréseux de la deuxième Formation). La limite inférieure correspond à un diastème, alors que la limite supérieure est matérialisée par une surface ondulée à rides lingoïdes. A partir des caractères géomorphologiques et des petites variations de faciès, Fellah (2009) a subdivisé cette formation en quatre membres (Fig II.4) :

- **Membre (A) : Alternance argilo- calcaire à orthocères (28m)**

C'est une alternance stratocroissante, constituée de deux unités riches en faune d'orthocères : i) Unité (a) représentée par des Argiles grisâtres à orthocères (10m), sous forme d'une combe, assez riche en faune d'orthocères et de tiges de crinoïdes. Ces argiles sont intercalées par de rares passées centimétriques de calcaires argileux à bioclastes ; ii) Unité (b) montrant une Alternance irrégulière d'argiles et de calcaires argileux à orthocères (18m). Cette alternance est constituée d'argiles verdâtres à grisâtres et de niveaux centimétriques à décimétriques de calcaire argileux bioclastiques (articles et tiges de crinoïdes). Les intervalles argileux présentent une épaisseur variant de quelques mètres à la base à quelques centimètres vers le sommet. Cette unité a livré de nombreux orthocères et de rares bivalves de petite taille. La surface supérieure de cette unité montre des encroûtements ferrugineux associés à des perforations.

- **Membre (B) : Alternance argilo-calcaire à bivalves (31m)**

C'est une alternance de calcaires argileux et de niveaux argileux blanchâtres, centimétrique à métrique, et renfermant des grumeaux calcaires. Au sein des argiles, s'intercalent parfois des lits centimétriques et à base érosive de calcaire gréseux.

Les bancs calcaires, d'épaisseur variant entre 0,05 et 0,40 m, renferment des grumeaux à

aspect d'intraclastes carbonatés, et montrent une faune abondante de bivalves et quelques orthocères sans orientation préférentielle, ainsi que de nombreuses tiges de crinoïdes et de rares trilobites.

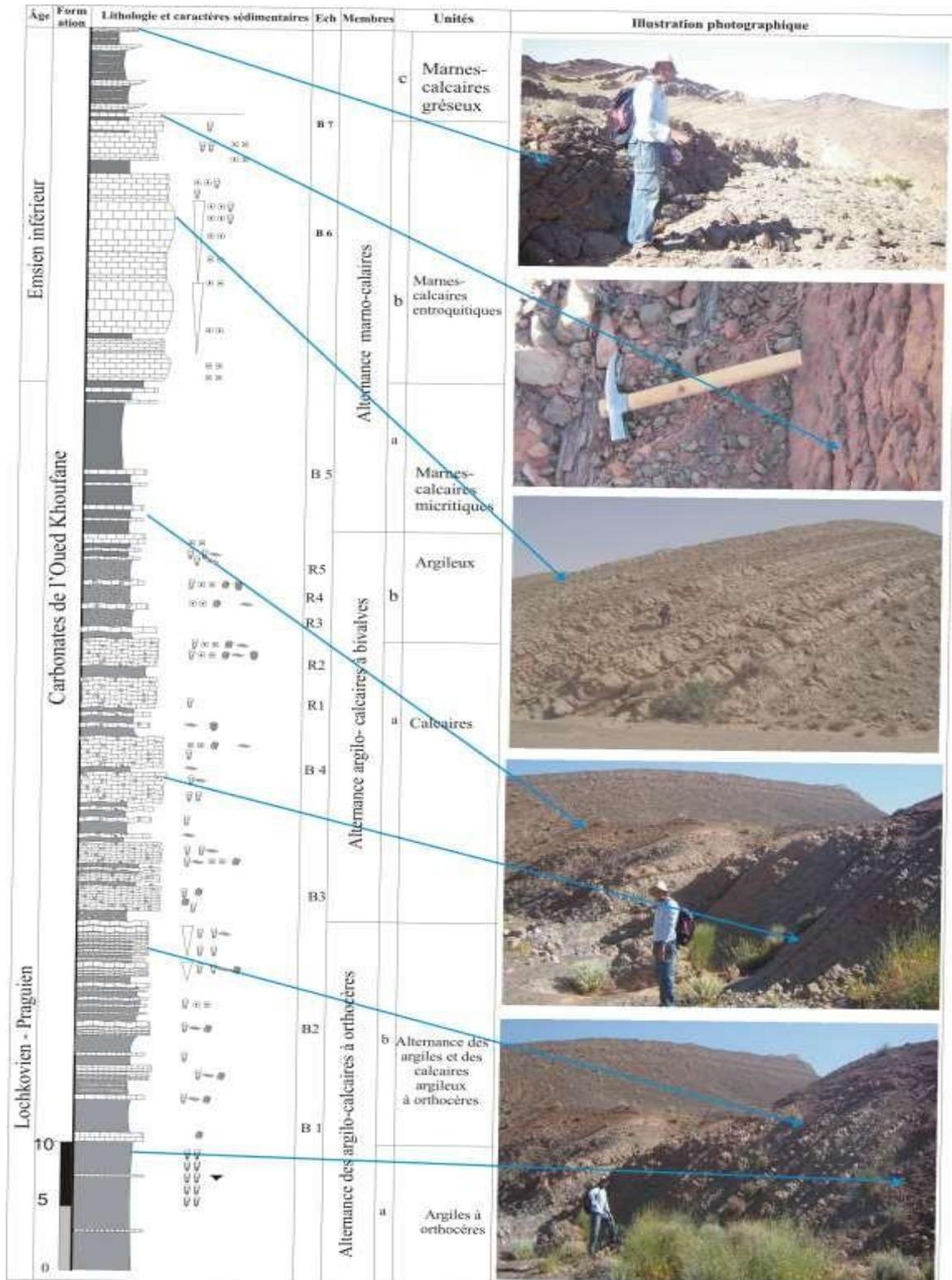


Figure II-4 : Succession lithologique de la formation des carbonates de l'Oued Khoufane (Fellah, 2009).



Figure II-5 : Photo panoramique de la formation des carbonates de l'Oued Khoufane (Fellah, 2009)

Les bancs calcaires sont soulignés parfois par des joints argileux, et se présentent en bancs stratifiés, bien individualisés, ou encore pseudo-noduleux, à imprégnation d'argiles. Ce membre est constitué par deux unités : i) Unité 1 (22.5m), sous une alternance argilo-calcaire, à faible espacement (intervalles argileux minces), à prédominance de calcaire argileux ou calcaires en grumeaux et à bivalves ; ii) Unité 2 (8.5m), sous une alternance argilo-calcaire espacée, à dominance argileuse à quelques trilobites et un seul exemplaire de brachiopode, mais très riche en bivalves.

La détermination des trilobites a permis d'attribuer ce membre au Praguien moyen, grâce à l'association suivante : *Reedops struvianus*, *Cheirurus (Pilletopeitis) pauper saharensis*, *Cheirurus (Crotalocephalina) gibbus benzirengensis*, *Prokops chulupaci*, *Prokops sp.*, *Phacops sp.*

Cette unité est clôturée par une surface matérialisée par une concentration de bivalves sur un banc calcaire argileux.

- **Membre (C) : Les marno-calcaires (40m)**

Il débute avec l'apparition de calcaires micritiques (on note la disparition des derniers niveaux calcaréo-argileux à bivalves) et prend fin avec la disparition du dernier niveau calcaire. Il s'agit d'une alternance centimétrique à décimétrique de calcaires micritiques à bioclastes et grains de quartz, avec des inter-strates

marneuses, grise. Les niveaux calcaires sont de couleur grisâtre à violacé à la patine et gris sombre à la cassure. La faune abondante est représentée par des tiges de crinoïdes, des orthocères et des bivalves.

De plus en plus vers le sommet, les marnes diminuent en épaisseur et les bancs calcaires deviennent de plus en plus nombreux, plus massifs, plus épais et pouvant atteindre une épaisseur d'environ 1 m. Ces bancs présentent une organisation en plusieurs cycles strato-décroissants, et se terminent par un banc calcaire gréseux à surface ferrugineuse et à rides de courants. L'organisation lithologique et stratonomique a permis de distinguer trois unités : i) Unité 1 (12m), d'alternance marno-calcaire, micritiques, clôturée par une surface à placage d'orthocères ; ii) Unité 2 (21m), sous une alternance formant une corniche repère sur le terrain, à inter-strates marneuses, grises, avec des bancs calcaires à entroques, centimétriques à pluri-décimétrique, gris à violacé à la patine et gris sombre à la cassure, à faune abondante (orthocères, bivalves et des tiges de crinoïdes). La limite supérieure est représentée par une surface ferrugineuse, ondulé à rides de courants au toit d'un banc calcaire à entroques ; Unité 3 (7m) d'Argiles-calcaires et bancs gréseux (zone de transition), avec une diminution des bancs de calcaires et l'apparition de calcaires à décharges de sables ou de silts, micacés, à laminations discrètes, en bancs chenalisés ; les calcaires deviennent rares puis disparaissent totalement. Certains niveaux calcaro-gréseux sont bioclastiques. Cette unité montre une limite supérieure représentée par une surface ondulée à rides lingoïdes.

II.5.2 La formation silico-clastiques de l'Oued Khoufane (279m)

La limite supérieure correspond à la base du premier niveau à miches calcaires de la formation sus-jacente.

La diversité des structures sédimentaires ainsi que les caractères faciologiques ont permis à Fellah (2009) de subdiviser cet ensemble, en deux membres :

- **Membre (A) : Alternance argilo-gréseuse (108m)**

Faisant suite à une zone de transition (passage graduel), on a une alternance régulière et rapprochée, d'argiles vertes et de niveaux gréseux massifs, ferrugineux, noirs à la patine et gris à la cassure, à ciment siliceux, parfois calcaire, d'aspect quartzitique, en plaquettes

verdâtres, très minces. Entre les ensembles gréseux, s'intercalent de nombreux lits millimétriques de silts à muscovite.

- **Membre (B) : Les rythmites (171m)**

Il s'agit d'une alternance régulière, d'argiles feuilletées d'aspect schisteux, et de lamines silto- argileuses, fines, perturbées parfois par la bioturbation (traces fossiles). De rares strates gréseuses viennent s'intercaler également dans ces argiles.

Cette alternance rythmique, serrée et monotone donne à l'affleurement un aspect stratifié et rythmé. Les bancs gréseux sont d'épaisseur variable, de 0,10 à 0,40m, et présentent à l'interface du banc des laminations planes et parallèles.

Des niveaux gréseux à laminations entrecroisées et à litages de rides de courant sont observés. Les murs des strates sont souvent affectés par des structures d'affouillement ("flut-casts"), d'impact ("prod et skip casts") et de cannelures ("groove-casts"). La surface supérieure des bancs montre des rides lingoïdes ainsi que des traces de taraudages.

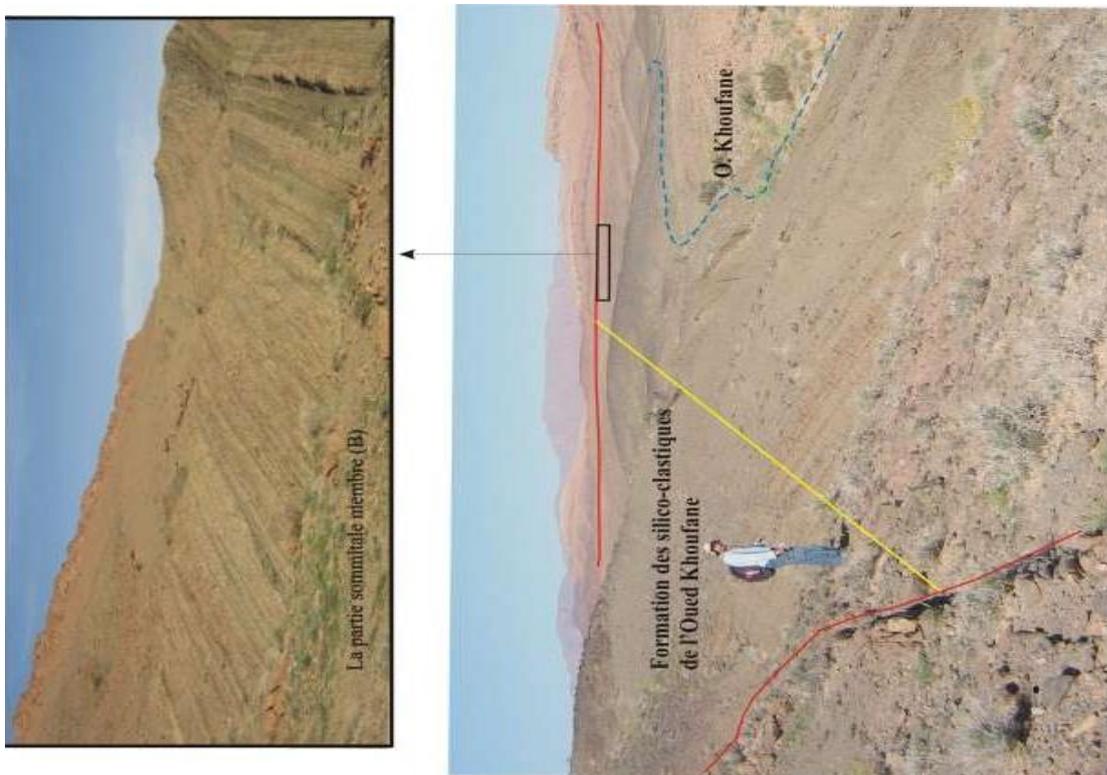


Figure II-6 : Photo panoramique de de la formation silico-clastique de l'Oued Khoufane (Fellah, 2009).

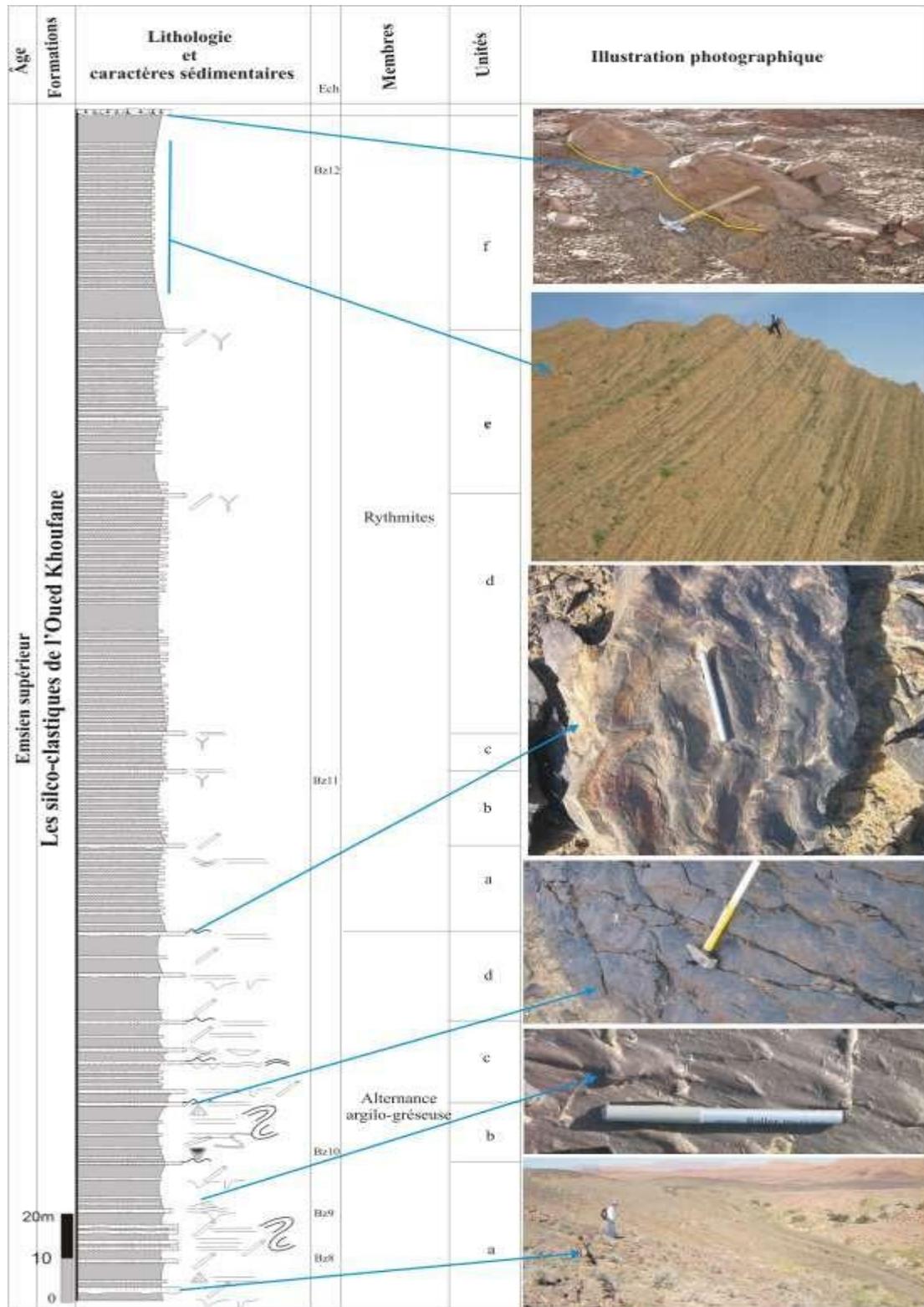


Figure II-7 : Succession lithologique de la formation silico-clastiques de l'Oued Khoufane (Fellah, 2009).

II.6 Attribution stratigraphique :

La formation des calcaires de l'oued Khoufane a été attribuée d'abord à l'Emsien inférieur par Menchikoff (1936), Perrodon (1951) et Massa et al (1965), suggérant l'absence ou lacune du Lochkovien et du Praguien. Par contre, Pareyn (1961) a proposé un âge Emsien supérieur. Il a fallu attendre le travail de Alberti (1981), sur la base des trilobites et des tentaculites, qui montra la présence de tous les étages du Dévonien inférieur, allant du Lochkovien, Praguien jusqu'à l'Emsien inférieur.

La formation silico-clastique de l'Oued Khoufane correspond au « Talus argilo-silteux » de Massa et al. (1965) de l'Emsien supérieur (Massa et al. 1965 ; Alberti, 1981; Fabre, 2005 ; Fella, 2009).

CHAPITRE III : MICROFACIES ET ENVIRONNEMENTS DE DEPOTS

III. Microfaciès et environnements de dépôts

Les concepts utilisés ici (*Microfaciès types*, *Standard Microfaciès*) sont repris selon les définitions et critères de discrimination largement détaillés par Flügel (2010). Nous présenterons succinctement les caractéristiques principales.

III.1 Notions de microfaciès

Le terme microfaciès a été créé par Brown en 1943, ensuite développé par Cuvillier en 1952 pour désigner l'ensemble des caractères minéralogiques observés au microscope optique.

Parfois, le microfaciès caractérise un aspect de la roche qui n'est pas nécessairement celui de son faciès (Cuvillier 1952 ; Bignot, 1972). En 1954, Fairbridge a introduit les notions de microbiofaciès et de microlithofaciès. Ces deux expressions sont employées pour désigner une partie seulement des caractères faciologiques (Bignot, 1972).

De ce fait, un microfaciès englobe l'ensemble des caractères sédimentologiques et paléontologiques visibles en lames minces à l'aide de microscope optique (Flügel, 1982). Les lames minces permettent ainsi une meilleure définition de la nature pétrographique, du contenu fossilifère et des caractères diagénétiques des faciès, en vue d'une interprétation précise des milieux de dépôts et de leurs évolutions post-sédimentaires.

III.2 Le concept de microfaciès types (MFT)

L'approche des microfaciès est en grande partie descriptive, et les types de microfaciès sont définis par des critères de microfaciès dont l'existence et l'abondance sont déterminées par des facteurs environnementaux spécifiques, liés aux contextes de dépôt spécifiques. Cela nécessite une sélection minutieuse des critères.

Un biote (faune et flore) identique et des environnements de dépôt comparables donnent

naissance à des microfaciès spécifiques dans le temps. La texture, ainsi que les caractéristiques qualitatives et quantitatives des microfaciès peuvent varier considérablement à l'intérieur d'un lit calcaire, tant latéralement que verticalement.

III.2.1 Variabilité des microfaciès

Les variations dépendent, en partie, de la taille de l'échantillon et des techniques d'échantillonnage, et peuvent être réelles et refléter des événements sédimentaires (dépôt) à différentes échelles qui fluctuent rapidement. Les MFT's sont subdivisés en deux catégories : i) les carbonates allochtones et ii) les carbonates autochtones.

III.2.1.1 Les types de microfaciès pour les carbonates allochtones

Ce type de microfaciès est défini par la texture et la composition, basés sur des analyses à petite échelle, à l'échelle de l'unité de dépôt matricielle et révèlent la dynamique du dépôt qui fonctionnait pendant le transport et la sédimentation.

Les analyses de faciès fondées sur les textures des lithofaciès (mudstone, wackestone, packstone, grainstone) et la comparaison des MFT à partir des séquences sédimentaires, enregistrent les changements verticaux et latéraux.

- Les changements verticaux peuvent indiquer une diminution ou un approfondissement de la tranche d'eau et révéler la dynamique des faciès (événements régressifs ou transgressifs).
- Les changements latéraux (après l'ennoiement d'une rampe) peuvent indiquer des différences de profondeur d'eau et d'hydrodynamisme.

La similitude de la composition de la texture et du biote n'exprime pas des sites de dépôt forcément identiques, mais des contrôles similaires des éléments nutritifs dans des habitats compatibles avec les contraintes écologiques de l'approvisionnement en nutriments, du substrat disponible et de l'énergie hydrique.

III.2.1.2 Les types de microfaciès pour les carbonates autochtones

Ce type de microfaciès est défini par des critères différents de ceux des carbonates

allochtones, parce que les carbonates autochtones comprennent à la fois : i) les calcaires des récifs dans lequel les MFT sont différenciés selon le type de fossiles des récifs ; ii) les carbonates microbiens ou les MFT microbiens présentant des tissus stratifiés (correspondent à des points de fixation) et non stratifiés. Les noms des MFT devraient inclure à la fois des critères texturaux et des critères de composition, indiqués par les constituants dominants et caractérisés par une association intime de ciment carbonaté abondant avec le microbiote.

III.3 Concepts de modèles de faciès de dépôt

Pour Walker (1992), un modèle de faciès est la résultante générale d'un système de dépôt en un point donné. Les modèles de faciès carbonatés correspondent à différentes catégories et comprennent trois modèles :

- Conceptuels ;
- Dynamiques ;
- Numériques.

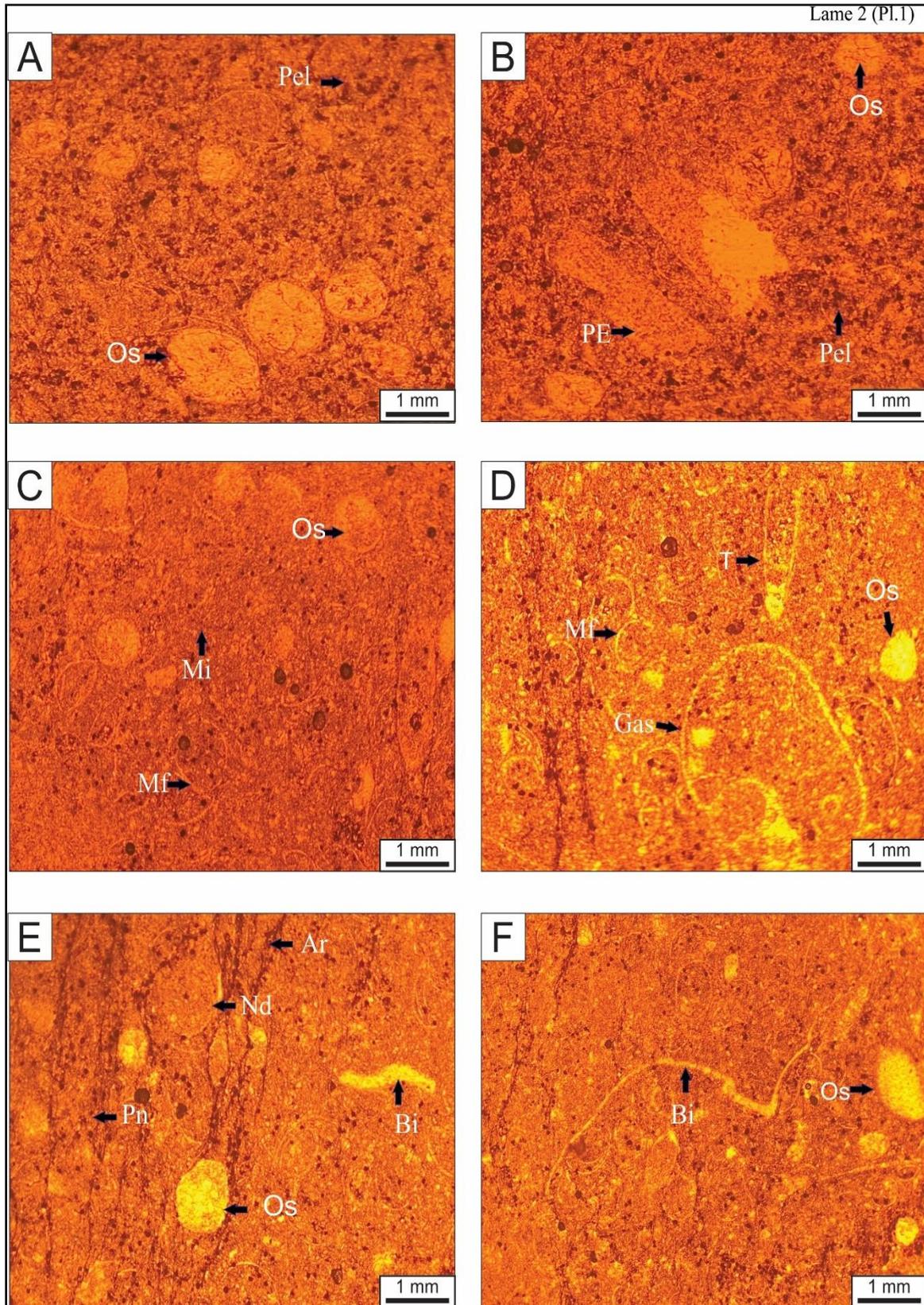
III.4 Description des microfaciès

Notre description des microfaciès est basée sur les lames minces réalisées à partir d'une coupe du niveau du Dévonien inférieur de l'anticlinale de Ben Zireg, comprenant deux formations géologiques :

III.4.1 Description des microfaciès de la formation des Calcaires de l'Oued Khoufane :

Lame 2 :

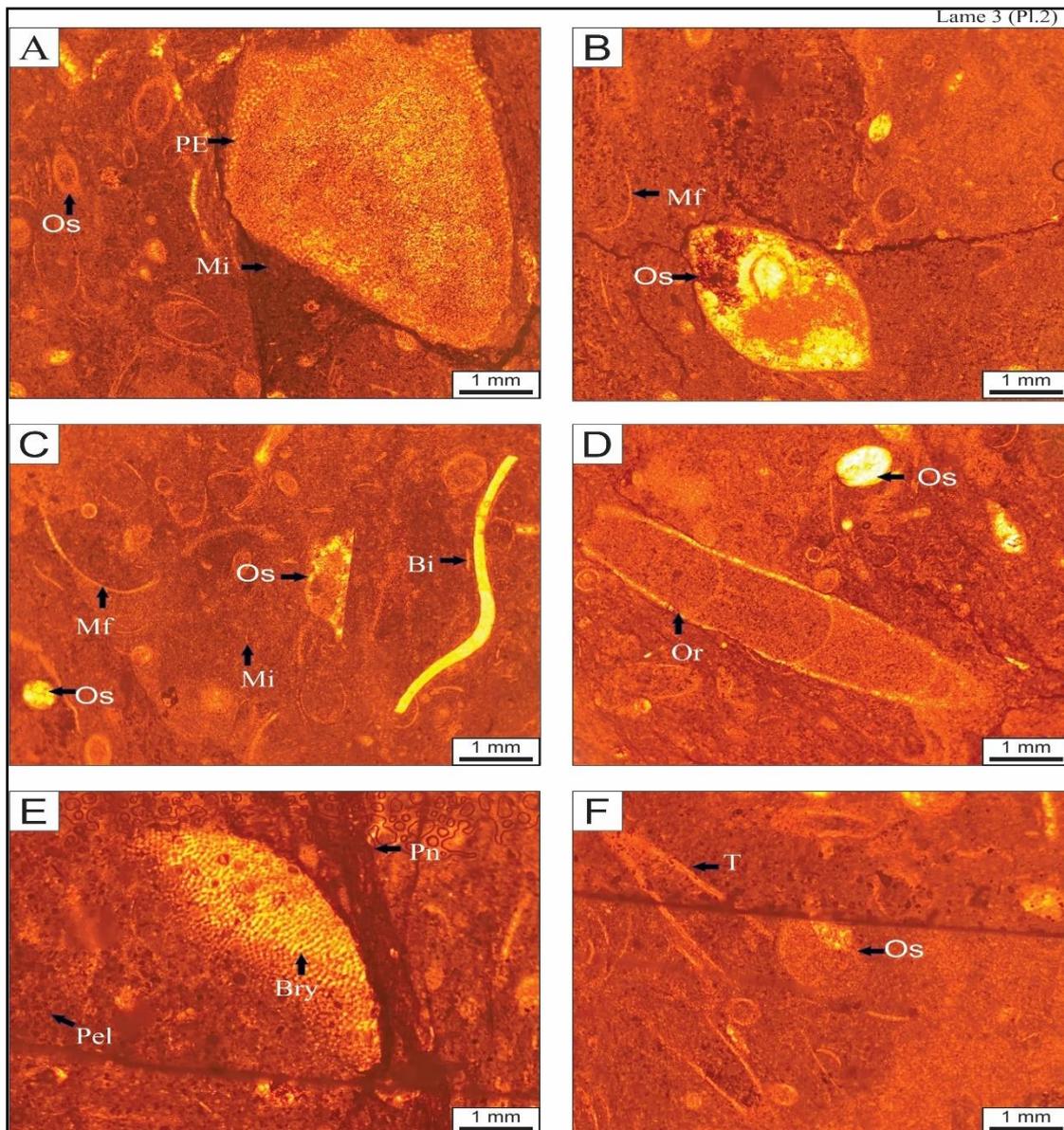
- i) Grains squelettiques :** Ostracodes (Pl.1, Ph. A, C, E et F), plaque d'échinoderme (Pl. 1, Ph. B), tentaculites (Pl. 1, Ph. D), microfilaments (Pl. 1, Ph. C et D), gastéropode (Pl. 1, Ph. D) et fragments de bivalve (Pl. 1, Ph. E et F) ;
- ii) Pelloïdes :** Pellets (Pl. 1, Ph. A et B) ;
- iii) Phase de liaison :** Micrite;
- iv) Structures :** Nodules et pseudonodules entourés d'un liseré noir (argile) (Pl.1, Ph. E);
- v) Texture :** Packstone ;



Ostracodes (Os), plaque d'échinoderme (PE), tentaculite (T), microfilaments (Mf), gastéropode (Gas) et fragments de bivalve (Bi); Pellets (Pel) ; micrite (Mi); nodules (Nd) et pseudonodules (Pn) entourés d'un liseré noir (argile- (Ar).

Lame 3 :

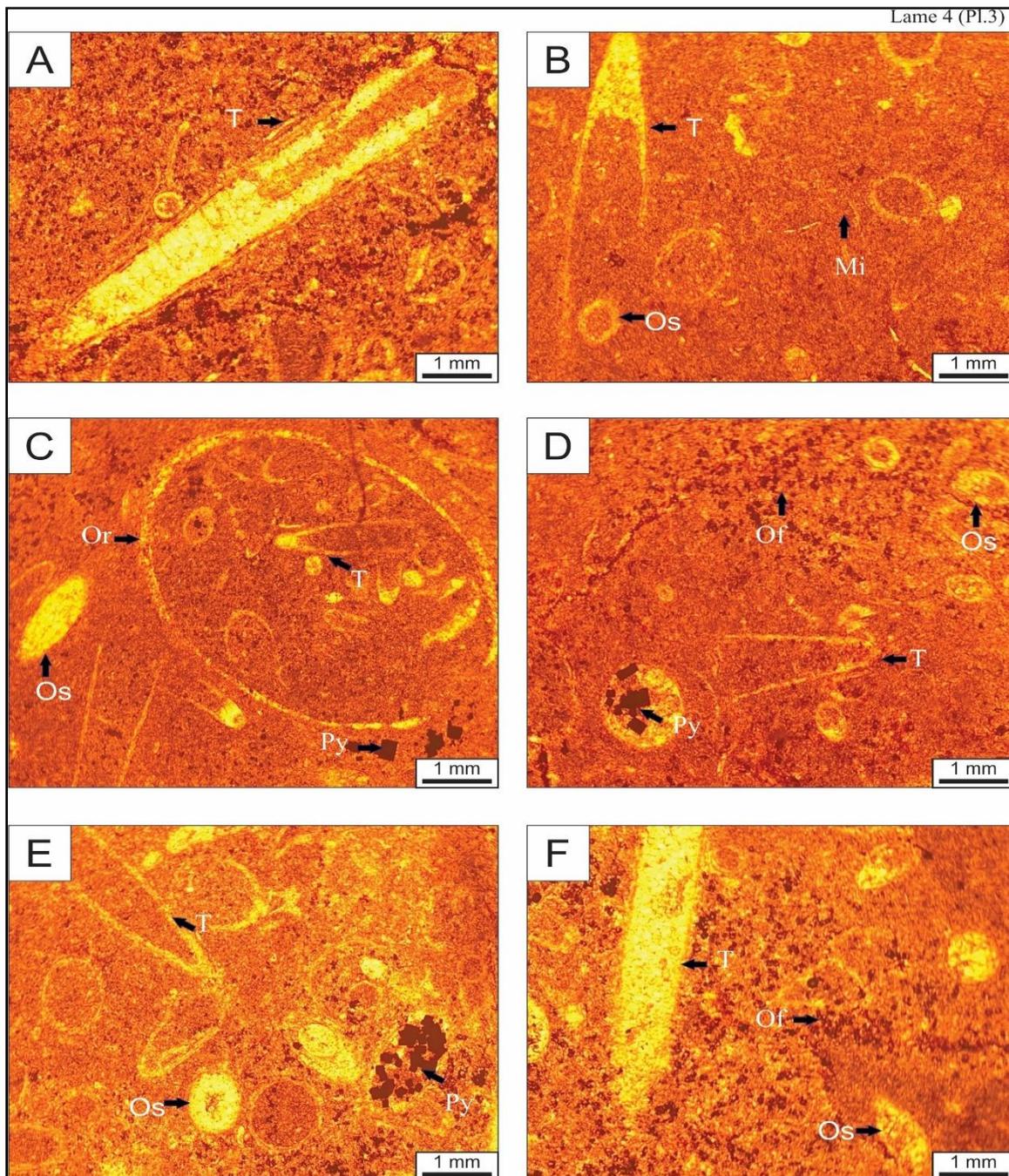
- i) **Grains squelettiques** : Ostracodes ((Pl.2, Ph. A, B, C, D et F), plaque d'échinoderme ((Pl.2, Ph. A), tentaculites ((Pl.2, Ph. F), microfilaments ((Pl.2, Ph. C,)), orthocère ((Pl.2, Ph. D), fragments de bivalve ((Pl.2, Ph. C,)) et bryzoaire ((Pl.2, Ph. E) ;
- ii) **Pelloïdes** : Pellets (Pl.2, Ph. E);
- iii) **Phase de liaison** : Micrite grise (Mi);
- iv) **Structures** : Pseudonodules soulignés par l'argile (Pl.2, Ph. E);
- v) **Texture** : Packstone;



Ostracodes (Os), plaque d'échinoderme (PE), tentaculites (T), microfilaments (Mf), orthocère (Or), fragments de bivalve (Bi) et bryzoaire (Bry) ; pellets (Pel); micrite grise (Mi); pseudonodules soulignés par l'argile ;

Lame 4 :

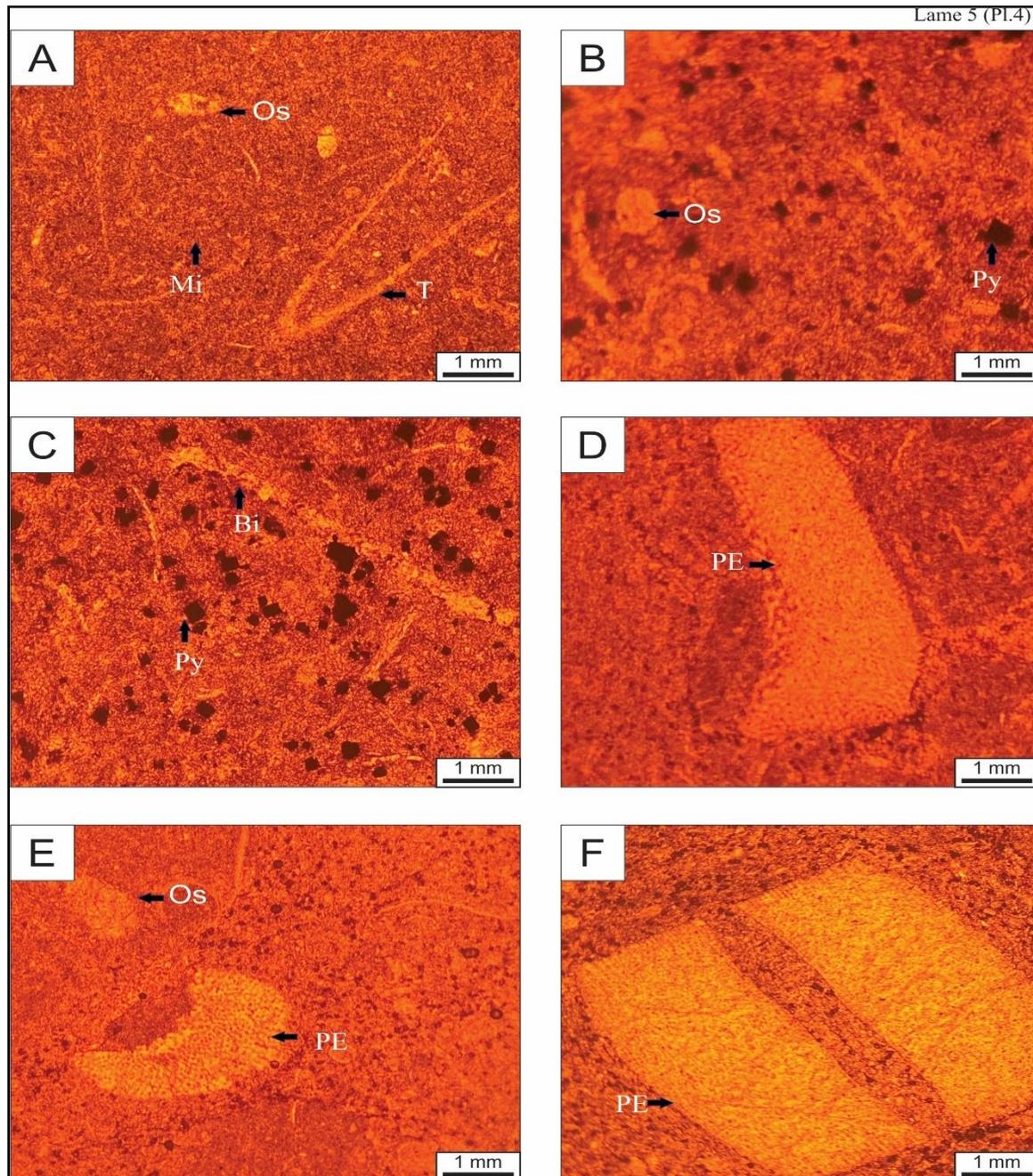
- i. **Grains squelettiques** : Ostracodes (Pl.3, Ph. B, C, D, E et F), tentaculites (Pl.3, Ph. A, B, C, D, E et F)T), orthocères (Pl.3, Ph. C);
- ii. **Phase de liaison** : Micrite ;
- iii. **Minéraux** : Grains de pyrite (Pl.3, Ph. C, D et E), Oxydes de fer (Pl.3, Ph. D et F) ;
- iv. **Texture** : Packstone;



Ostracodes (Os), tentaculites (T), orthocères (Or), micrite (Mi); grains de pyrite (Py), oxydes de fer (Of) ;

Lame 5 :

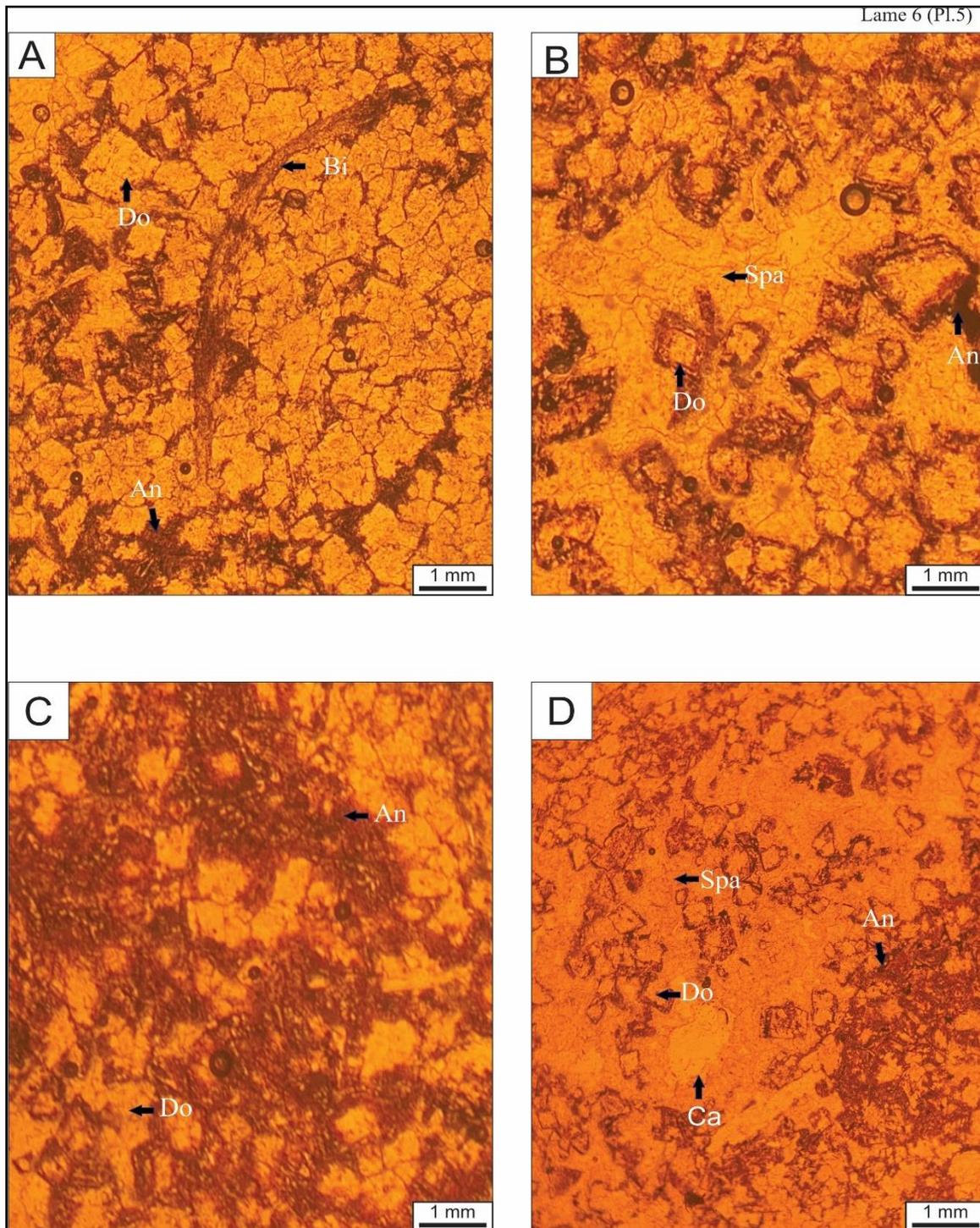
- i) **Grains squelettiques** : Ostracodes (Pl.4, Ph. A B, et E), plaque d'échinoderme (Pl.4, Ph. D, E et F), tentaculites ((Pl.4, Ph. A), et fragments de bivalve ((Pl.4, Ph. A et C,) ;
- ii) **Minéraux** : Grains de pyrite (Pl.4, Ph. B et C);
- iii) **Phase de liaison** : Micrite
- iv) **Texture** : Wackstone;



Ostracodes (Os), plaques d'échinoderme (PE), tentaculite (T), et fragments de bivalve (Bi); grains de pyrite (Py); micrite (Mi);

Lame 6 :

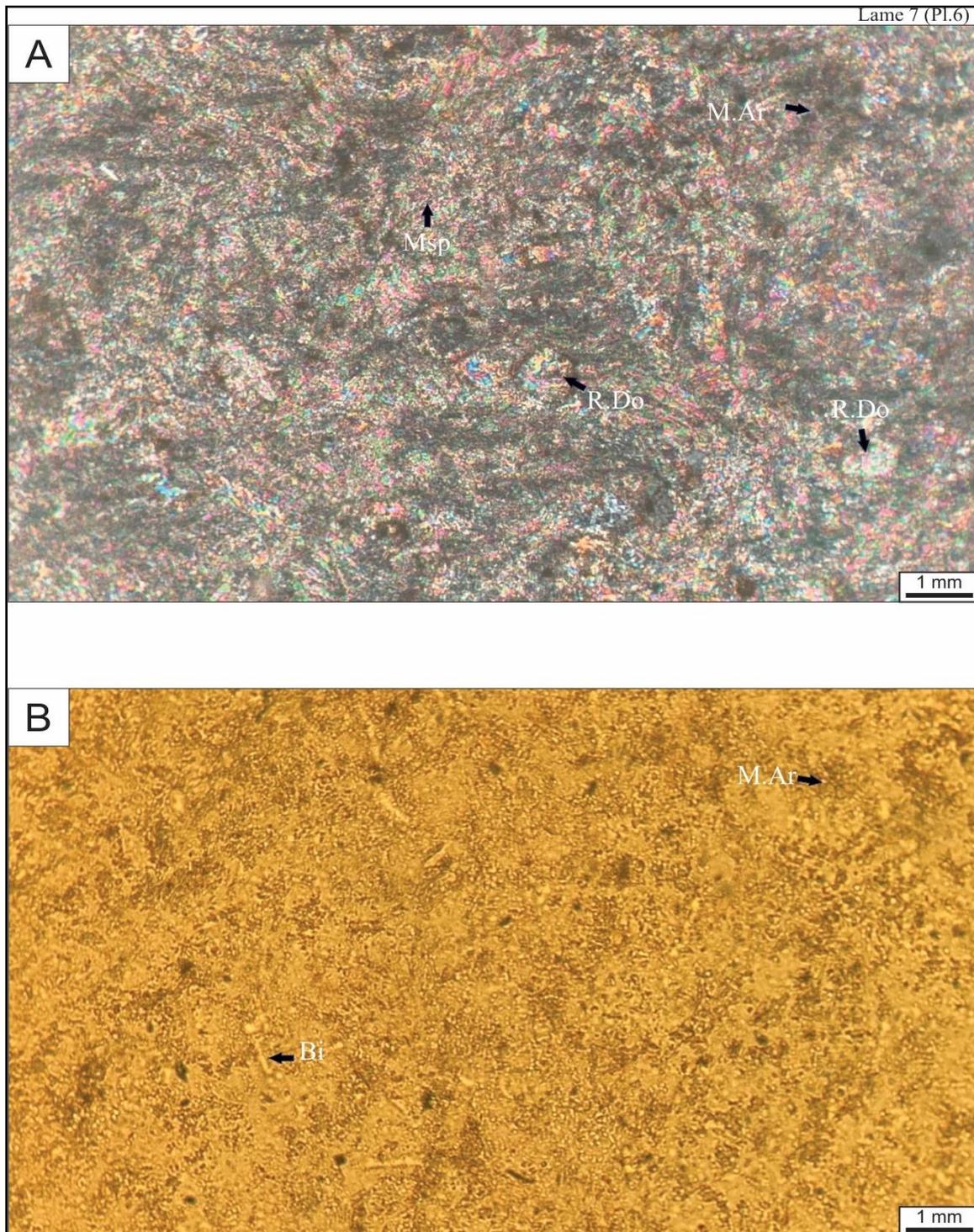
- i) **Grains squelettiques** : Fragments de bivalves (Pl.5, Ph. A, B, C, D) ;
- ii) **Minéraux**: Dolomite ferrifère – Ankérite (Pl.5, Ph. A, B, C, D), Calcite (Pl.5, Ph .D);
- iii) **Phase de liaison** : Dolosparite (Spa);



Fragments de bivalve (Bi); dolomite (Do) ferrifère (Ankérite - An), calcite (Ca); Dolosparite (Spa);

Lame 7 :

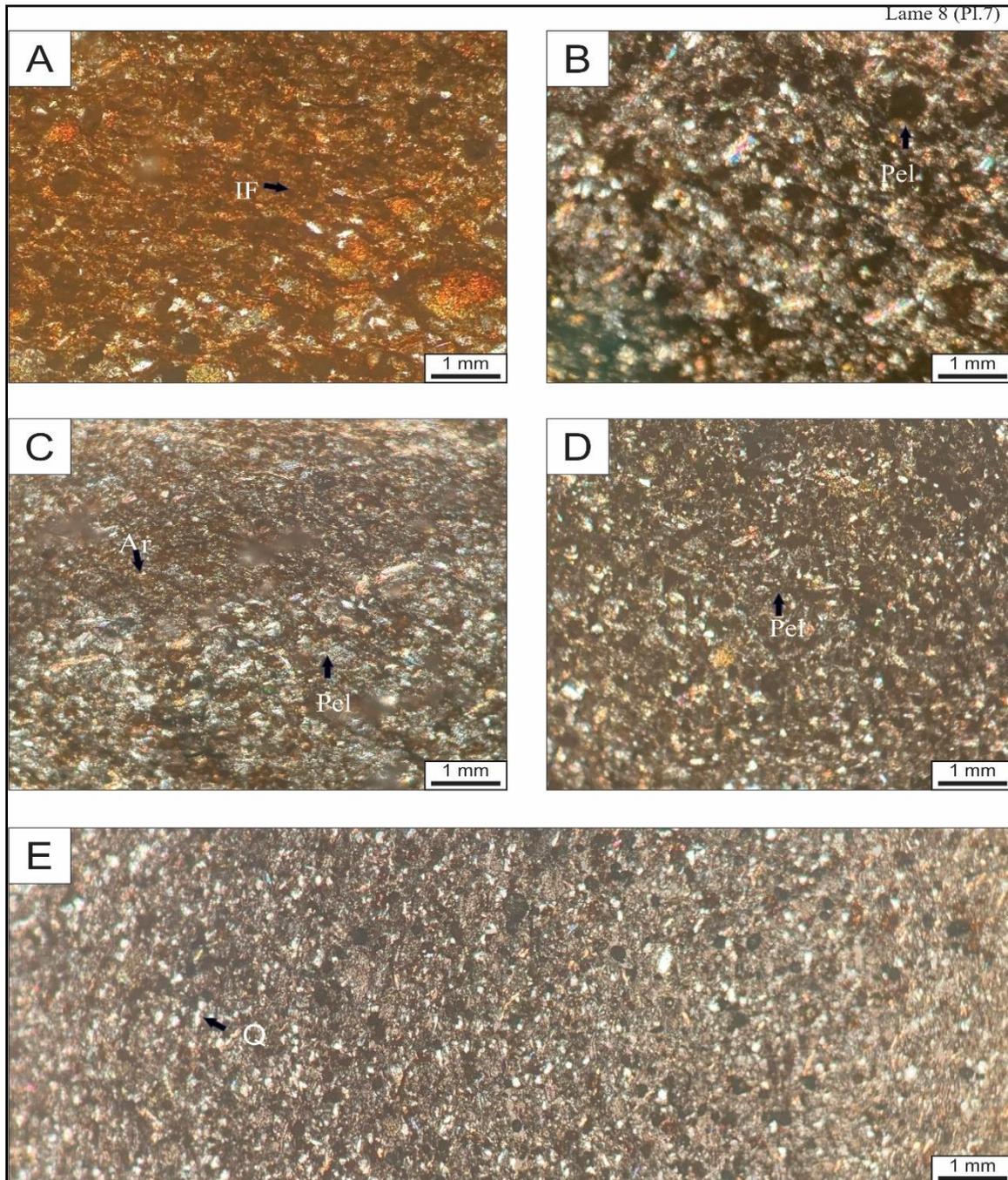
- i) **Grains squelettiques** : Tests minces de bivalves (Pl.6, Ph. B);
- ii) **Minéraux**: Rhomboèdres de dolomite (Pl.6, Ph. A);
- iii) **Phase de liaison** : Microsparite, micrite argileuse (Pl.6, Ph. A, B);



Tests minces de bivalve (Bi), rhomboèdres de dolomite (Do) ; microsparite (Msp), micrite argileuse (M.Ar);

III.4.2 Description des microfaciès de la formation silico-clastiques de l'Oued Khoufane Lame 8 :

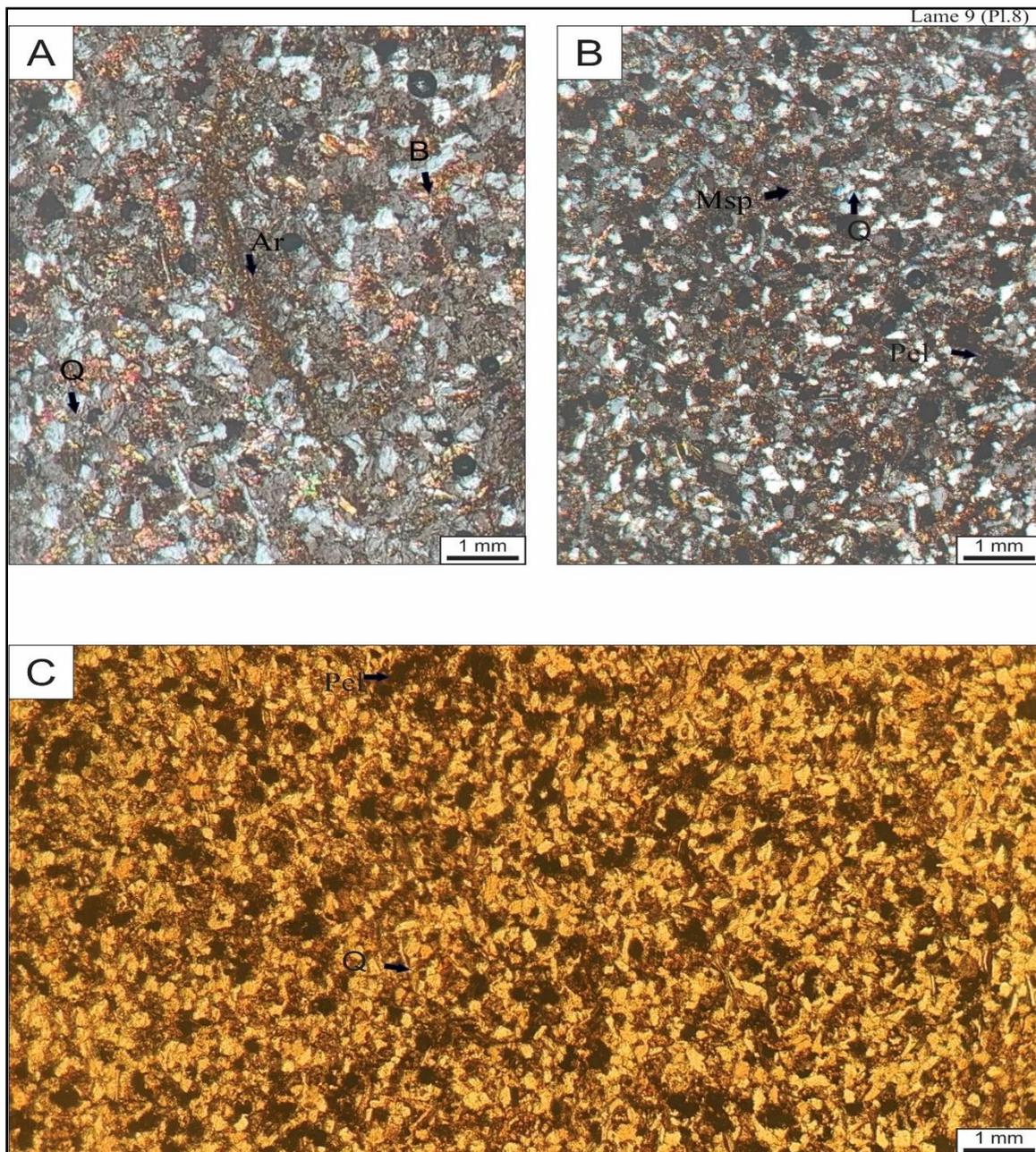
- i) **Imprégnations** : ferrugination (Pl.7, Ph. A) et argiles (Pl.7, Ph. C) ;
- ii) **Pelloïdes** : pellets (Pl.7, Ph. B, C, D)
- iii) **Minéraux** : grains de quartz (Pl.7, Ph. E)



Siltite composée par imprégnations ferrugineuses (IF), des grains de pellets (Pel), imprégnations d'argiles (Ar) et des grains de quartz (Q).

Lame 9 :

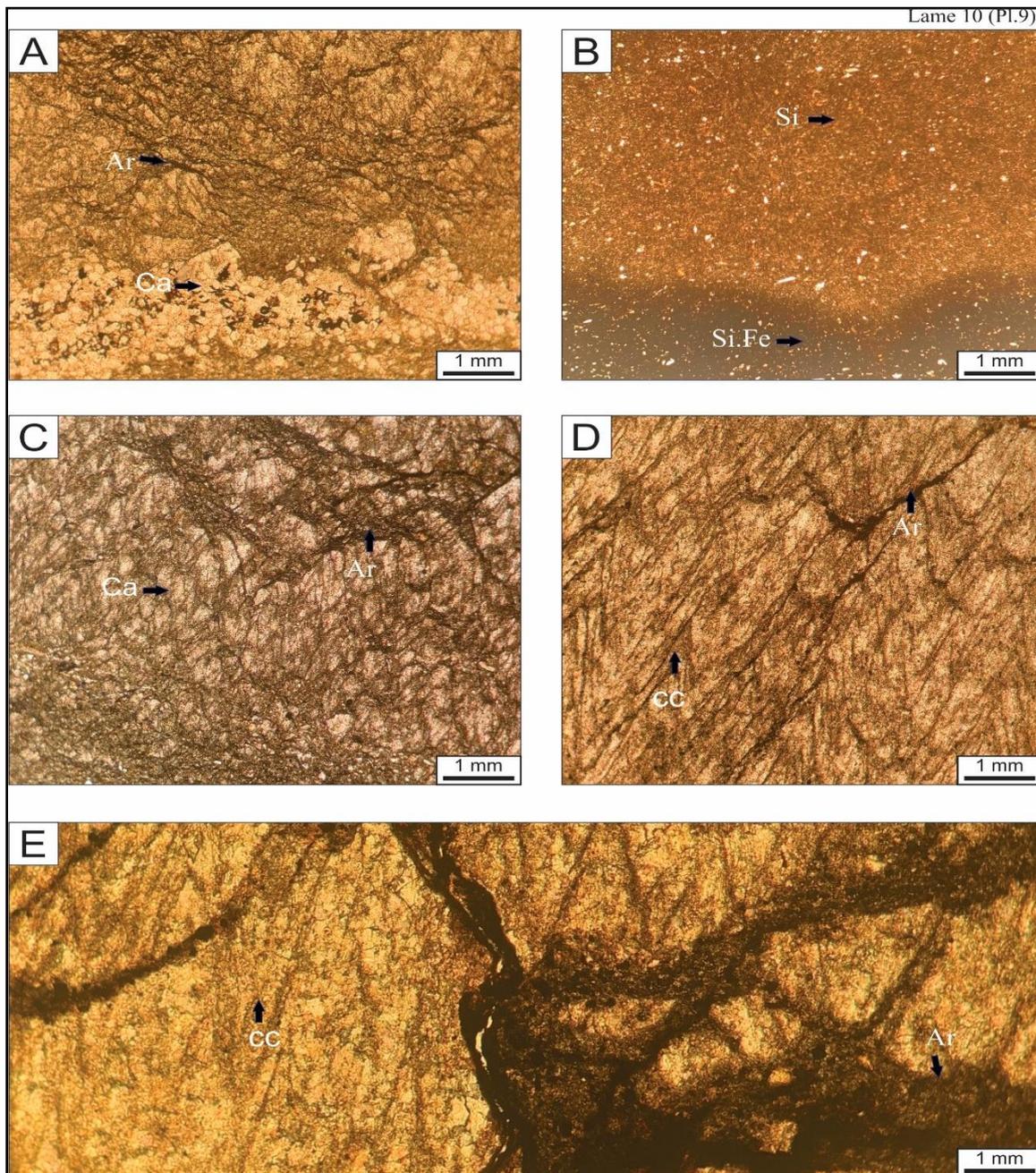
- i) **Imprégnations** : Argile (Pl.8, Ph. A)
- ii) **Pelloïdes** : Pellets (Pl.8, Ph. B, C)
- iii) **Phase de liaison** : Microsparite (Pl.8, Ph. B)
- iv) **Minéraux** : Grains de quartz, monocristallin, subanguleux (Pl.8, Ph. A, B, C- Ln), biotite (Pl.8, Ph. A)



A : Grains de quartz (Q) monocristallin, argile (Ar) ainsi que des minéraux argileux de type biotite (B); **B** : Grains de quartz (Q) sub-arrondis, pellets (Pel) et microsparite (Msp); **C** : Grains de quartz (Q) sub-anguleux à sub-arrondis et des pellets.

Lame 10 :

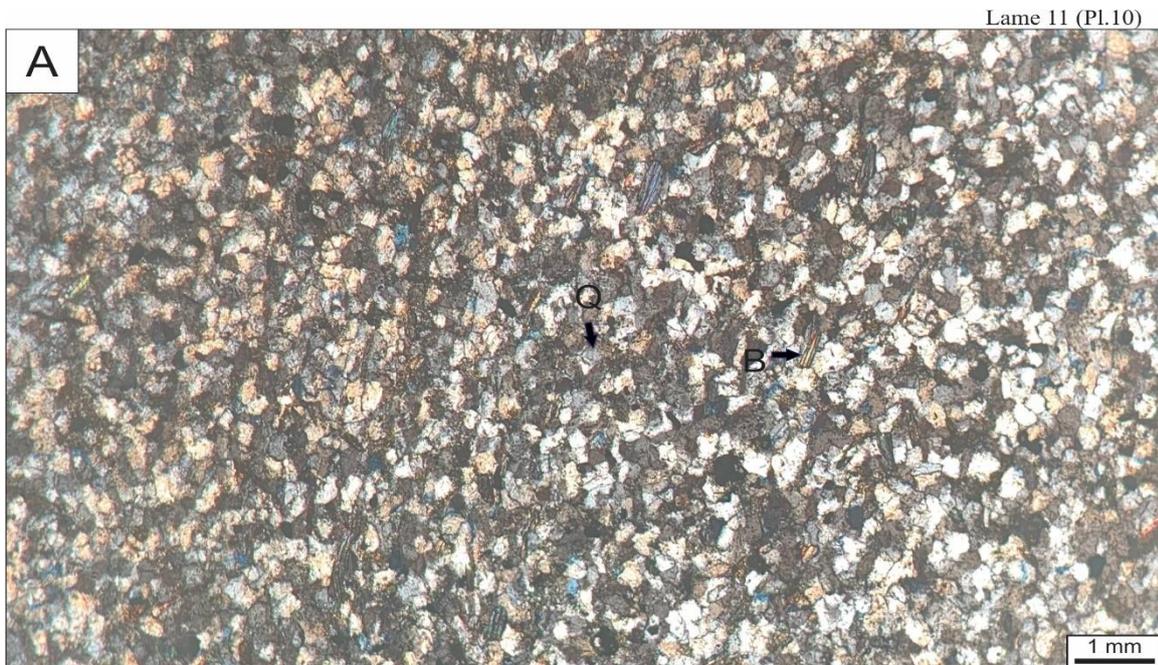
- i) **Imprégnations** : Argile (Pl.9, Ph. A, C, D, E)
- ii) **Altération** : Siltite ferrugineuse (Pl.9, Ph. B)
- iii) **Minéraux** : Calcite (Pl.9, Ph. A, C)
- iv) **Structure** : Cone-in-cone (Pl.9, Ph. D et E)



A : Calcite (Ca) et des films très fin argileux (Ar); **B** : Silt ferrugineux (Si. Fe) surmonté par des Silts (Si); **C** : Calcite (Ca) et Argile (Ar); **D** et **E** : Structure sédimentaire cône in cône (Cc) et des argiles (Ar).

Lame 11 :

- i) **Minéraux** : Grains de quartz (Pl.10, Ph. A, B), biotite (Pl.10, Ph. A), pyrite (Pl.9, Ph. B)



A : Grains de quartz (Q), fin, monocristallins, sub-anguleux, avec des minéraux de type biotite et muscovite; **B** : Grains de quartz (Q) sub-anguleux et des grains de pyrite (Py).

N° Lames	Planches	Textures	Description	Ciments
2	1	Packstone	Ostracodes (Os), plaques d'échinodermes (PE), tentaculites (T), microfilaments (Mf), gastéropodes (Gas) et fragments de bivalves (Bi); Pellets (Pel) ; nodules (Nd) et pseudonodules (Pn) entourés d'un liseré noir (argile- (Ar).	Micrite
3	2	Packstone	Ostracodes (Os), plaques d'échinodermes (PE), tentaculites (T), microfilaments (Mf), orthocères (Or), fragments de bivalves (Bi) et bryozoaires (Bry) ; pellets (Pel); pseudonodules soulignés par des argiles	Micrite
4	3	Packstone	Ostracodes (Os), tentaculites (T), orthocères (Or); grains de pyrite (Py), oxydes de fer (Of) ;	Micrite
5	4	Packstone	Ostracodes (Os), plaques d'échinodermes (PE), tentaculites (T), et fragments de bivalves (Bi); grains de pyrite (Py)	Micrite
6	5	Cristallin	Fragments de bivalves (Bi); dolomie (Do) ferrifère (Ankérite - An), calcite (Ca); Dolosparite (Spa);	Dolosparite
7	6	Cristallin	Tests minces de bivalves (Bi), rhomboèdres de dolomite (Do); microsparite (Msp), micrite argileuse (M.Ar);	Microsparite
8	7	Packstone	Siltite à imprégnations ferrugineuses (IF), des grains de pellets (Pel), imprégnations d'argiles (Ar) et des grains de quartz (Q).	Silts
9	8	Grainstone	Grains de quartz (Q), argile (Ar), biotite (B), pellets (Pel) et microsparite (Msp); C : Grains de quartz (Q) sub-anguleux à sub-arrondis et des pelets	Silts
10	9	Cristallin	Calcite (Ca), films très fin argileux (Ar); Silt ferrugineux (Si. Fe), Silts (Si), Calcite (Ca) et Argile (Ar); Structure sédimentaire cone in cone (Cc) et des argiles (Ar).	Silts

Tableau III-1: Tableau récapitulatif des microfaciès étudiés

III.5 Séquences et environnements de dépôts

Un milieu de dépôt traduit la résultante des interactions des conditions bio-physico-chimiques conduisant au faciès (litho et biofaciès). Il traduit les conditions hydrodynamiques et paléo-écologiques qui ont prévalu à sa formation.

III.5.1 Notion de types de microfaciès standard (SMF)

D'après Flügel (2010), les SMF sont apparus suite aux similitudes dans la composition et la texture entre les roches carbonatées d'âges différents mais déposées dans des environnements analogues. Wilson (1975) distingue 24 types de SMF et qu'il utilise comme critères supplémentaires dans la différenciation des faciès d'une plate-forme carbonatée barrée (*rimmed carbonate shelf*).

Le type de microfaciès standard ou *Standard MicroFacies type* (SMF) est une catégorie virtuelle de microfaciès reconnue dans une coupe donnée qui englobe les microfaciès avec des critères identiques. Ces critères sont simples, non-ou semi-quantitatifs et faciles à reconnaître. La plupart des SMF ne sont basés que sur quelques caractéristiques dominantes, comprenant le type de grains, de bioclastes ou de textures de dépôt (Flügel, 2010).

Pour la différenciation des SMF, sont utilisés les critères suivants : **i**) types, fréquence et associations des grains ; **ii**) types, fréquence et associations des faunes ; **iii**) types de matrice ou ciment (micrite, microsparite et sparite) ;

- Trame de dépôt (stratifications, classement, structures, traces d'organismes fousseurs, remaniement) ;
- Fossiles (groupes dominants, assemblage, autochtones ou allochtones, concentrations squelettiques, qualité de préservation, enveloppes micritiques);
- Types de texture de dépôt : peu de types de SMF correspondent à un seul type de texture; la plupart apparaît dans deux ou plusieurs types de textures dans la classification de Dunham (1962) et ses modifications.

Dans ce présent travail, nous tentons de déterminer le type de microfaciès, ensuite le SMF afin de les placer dans le modèle de « *facies zone* » qui correspond au modèle (Fig. III.1) esquissé par Flügel (2010, p. 721) à partir des travaux réalisés en divers endroits du globe

étalés sur tout le Phanérozoïque.

Notre choix est porté sur une plate-forme barrée (*rimmed platform*) en se basant sur des considérations paléogéographiques (Présence de récifs sur l'Anti-Atlas dont celui « Mud-Mound » de Hammar Laghdad).

SMF Types of Rimmed Platform

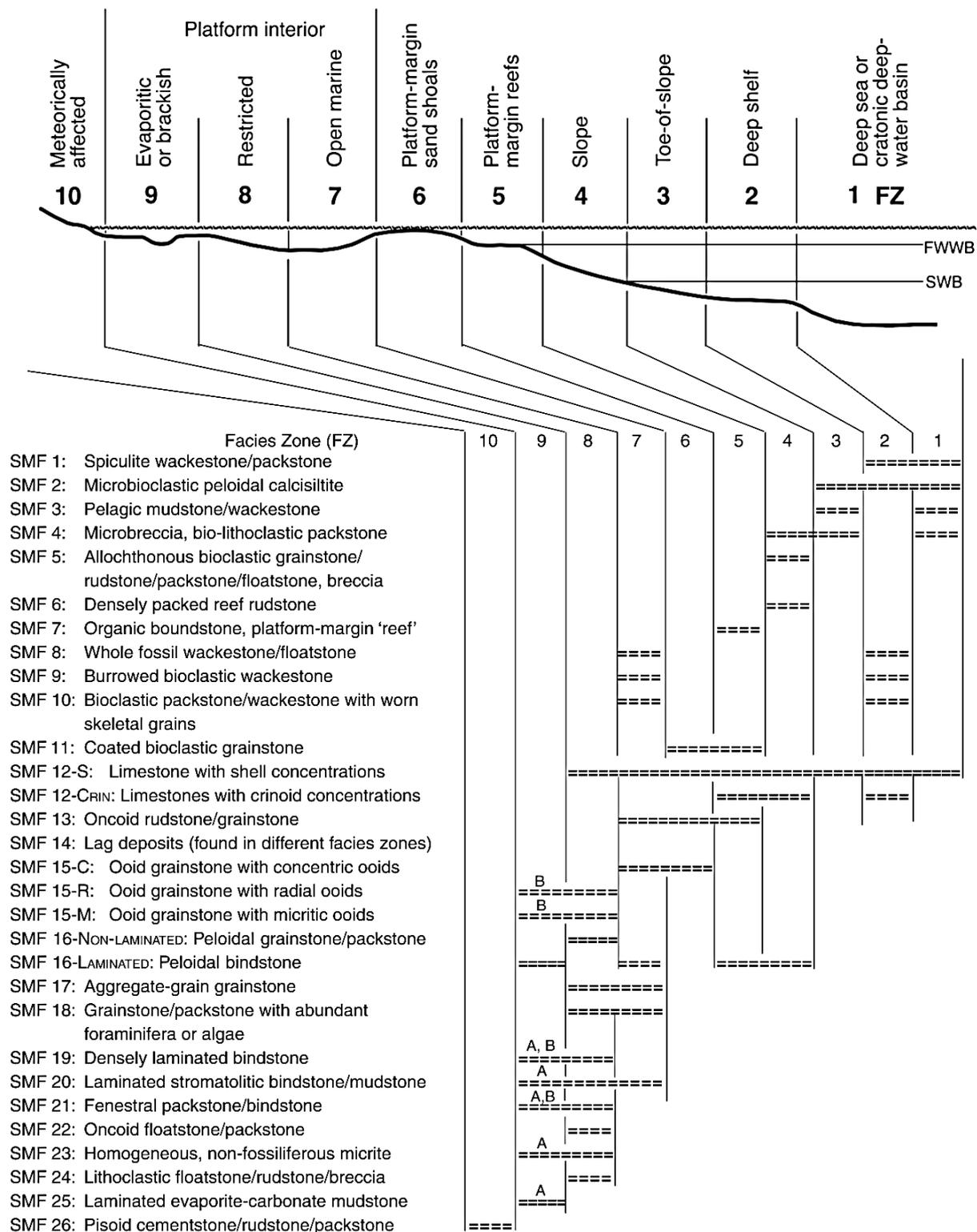


Figure III-1 : Distribution des types de microfaciès standards (SMF) dans les "Facies Zones" (FZ) d'une plateforme barrée (rimmed carbonate plateforme) (Flügel, 2010)

III.5.1.1 SMF de la Formation des calcaires de l'Oued Khoufane :

Les microfaciès de la formation des calcaires de l'Oued Khoufane sont dominés par des bioclastes benthiques (échinodermes, bivalves) associés à des biotes pélagiques (tentaculites, microfilaments) et des pellets. Ils constituent un stock de type carbonate marin allochtone, exporté à partir de « l'usine à carbonates ». Les microfaciès sont intégrés dans la catégorie des calcisiltites pelloïdes et micro-bioclasiques, correspondant au SMF 2, représentant le talus, le bassin profond et la partie profonde de la plateforme dans le modèle (Fig. III.1).

Les wackestones pélagiques représentés par des tentaculites correspondent au SMF 3 caractérisant le bassin profond et la plateforme profonde (distale).

Enfin, on a des wackestones et packstones bioclasiques correspondant au SMF 10, du faciès zone 2 qui correspond à une plateforme profonde et de la zone 7 correspondant au marin ouvert.

La confrontation de la distribution des standards microfaciès propose un environnement marin ouvert, dans sa partie de plateforme distale, recevant un matériel carbonaté par des courants de fonds, de retour, lors des tempêtes, associés aux pluies planctoniques (tentaculites et ostracodes) et imprégnations par les argiles. L'allure en pseudo-nodules peut être obtenue par la bioturbation lors des phases calmes (post-tempêtes) avec retour de la sédimentation marneuse. Cette combinaison entre des tempestites distales et floculation des marnes est fréquente en plateforme distale (loin des apports terrigènes silico-clastiques).

III.5.2 Sédimentation de plateforme silico-clastique

Les sédiments silico-clastiques, marins, de plateforme, sont organisés en séquence qui reflète un régime hydrodynamique sous prédominance de vagues (de tempêtes vs de beaux-temps). Cette séquence traduit un hydrodynamisme élevé sur la partie proximale et faible en position distale (Fig. III.2).

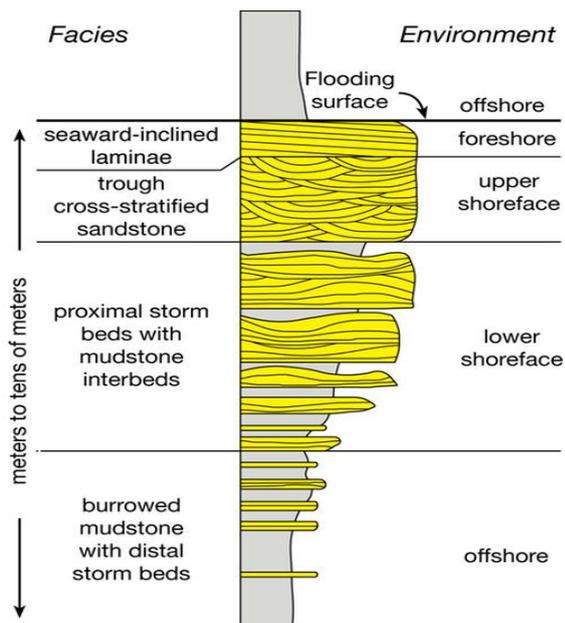


Figure III-2: Séquence de plateforme silico-clastique (Aigner & Reineck, 1982)

III.5.2.1 Microfaciès de la formation silico-clastique de l’oued Khoufane

L’analyse microscopique de quelques lames minces de la formation des silico-clastiques de l’Oued Khoufane, montre une prédominance de grès fin et des silts, organisés en bancs centimétriques à décimétriques, en alternance avec des argiles (combes décamétriques) dans le membre inférieur et d’allure rythmique dans le membre supérieur.

Les microfaciès dominants sont représentés par des silts, des grès fins à grains de quartz monocristallins, subanguleux à subarrondis, et des minéraux argileux (biotite, muscovite). Par endroit, on voit des structures sédimentaires telles que : les laminations entrecroisées, litages de rides de courants, flut-casts, prod-casts, skip-casts, et rides lingoïdes. Notons la présence d’un niveau à « *cone in cone* », mais aussi de petits tests de bivalves et une diversité de traces fossiles sur le sommet des bancs.

Ils correspondent à des tempestites distales, de l’environnement *offshore*.

III.6 Conclusion

La formation des carbonates de l’Oued Khoufane est représentée par des microfaciès de type marin allochtone. Ils sont regroupés dans les catégories : i) calcisiltites pelloïdes et micro-bioclastiques du SMF 2, représentant le talus, le bassin profond et la partie profonde de la plateforme, et ii) les wackestones pélagiques à tentaculites, du SMF 3 caractérisant le

bassin profond et la plateforme profonde ; Enfin, on a des wackestones et packstones bioclastiques du SMF 10, à répartition aussi bien dans le faciès zone 2 de plateforme profonde que de la zone 7 correspondant au marin ouvert.

Ils correspondraient vraisemblablement à des tempestites distales. En effet, les tempestites calcaires correspondent bien aux types de microfaciès marins, allochtones. La présence de bioclastes pélagiques (tentaculites et microfilaments) associés à des fragments de faune benthique (plaques d'échinodermes, de bivalves, de gastéropodes) traduirait une exportation de carbonates (bioclastes) à partir du *shoreface* vers la partie distale de la plateforme (par les courants de fonds, de retour).

Le régime sédimentaire marin est maintenu dans la formation silico-clastique de l'oued Khoufane mais la nature lithologique (carbonates) est remplacée par des produits, fins, silico-clastiques. Le passage est graduel (présence d'une zone de transition entre ces deux formations).

Ainsi, on remarque l'arrivée progressive de matériaux terrigènes fins qui remplacent une production carbonatée installée quelque part entre l'Anti-Atlas et Ben Zireg ou bien entre Ben Zireg et la Saoura, exportant les produits carbonatés vers Ben Zireg. Ce changement progressif traduirait un événement progressif (et non pas instantané).

CONCLUSION GENERALE

IV. Conclusion générale

La région de Ben Zireg se situe de dans une zone transition, entre le Sahara algérien nord occidental qui correspond à la marge nord gondwanienne et le pied méridional de l'Atlas Saharien. Le Paléozoïque affleure sous forme d'une boutonnière au milieu d'une couverture mésozoïque.

Le Dévonien inférieur de la région de Ben Zireg se subdivise en i) Formation des carbonates de l'Oued Khoufane (alternance marno-calcaires structurés en pseudo-nodules) et la formation des silico-clastiques de l'Oued Khoufane (à dominance argileuse, intercalée par des silts et des grès en bancs minces).

Grâce à Alberti (1981), en se basant sur les trilobites et les tentaculites, tous les étages du Dévonien inférieur allant du Lochkovien au Praguien sont représentés dans les calcaires de l'oued Khoufane et l'Emsien est représenté dans les silico-clastiques de l'oued Khoufane.

L'étude des microfaciès de ces deux formations nous a permis de caractériser trois Standard microfaciès représentés par le SMF 2 correspondant au talus, bassin profond et plateforme profond, le SMF 3 caractérisant le bassin profond et plateforme profonde et enfin le SMF 10 qui est présent en zone de faciès 2 caractérisant une plateforme profonde et la zone 7 qui correspond au marin ouvert. Ces différents SMF se placent en marin ouvert, partie distale de la plateforme recevant des tempestites distales en alternance avec des phases calmes de dépôts de marnes.

Paléogéographie et géodynamique

Les calcaires de l'Oued Khoufane ont leurs équivalents latéraux, dans l'Ougarta, des ensembles argilo-gréseux (formations de Zeimlet et de Saheb el Djir) et argilo-gréso-calcaires (formation de Dkissa). Vers le Sud (Tassili), il s'agit d'ensembles argilo-gréseux à influences de marées. L'épaisseur est faible à Ben Zireg, reflétant une faible subsidence par rapport à l'Ougarta et le Tassili.

A l'Emsien, le talus argilo-gréseux (silico-clastiques de l'oued Khoufane) passe latéralement à la formation du Teferguenite dans l'Ougarta et les grès du tassili vers le bassin de l'Ahnet. Vers l'Est (Mouydir), les terrains emsiens semblent disparaître par biseau et seuls l'Emsien supérieur est présent (Wendt et al. 2006).

Les travaux de Beuf et al. (1971), Legrand (1981) et Wendt et al. (2006) dans les tassilis montrent une prédominance d'ensembles argilo-gréseux à influence tidale au Lochkovien-Praguien et gréseux sous régime fluviatile à l'Emsien. Ces ensembles sont dominés par des argiles et des grès à la base, passant latéralement à l'ougartha aux ensembles argilo-gréso-calcaires (zone mixte de Ouali Mehadji et al. 2011) et aux carbonates vers Ben Zireg et Anti-Atlas (Fellah, 2009). Les grès fluviatiles de l'Emsien (avec des lacunes par endroits) attestent d'une régression marine qui va affecter toute la plateforme saharienne et se traduit par l'arrêt progressif des carbonates à Ben Zireg et l'arrivée des détritiques fins (silts, grès fins et argiles) pour constituer le talus argilo-gréseux.

Ce profil paléogéographique est compatible avec la paléogéographie régionale montrant un océan Rheique au Nord-Est (proche de l'Anti-Atlas et Ben Zireg) et un continent au Sud de l'actuel Hoggar.

V. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ALBERTI A G. K. B. (1981)-Zur Biostratigraphie und Fauna (Tentaculiten, Trilobiten, Graptolithen) des Unter- und Mittel-Devon Von Ben Zireg (Becken von Bechar, SW Algerien). N.Jb. Geol. paläont.Mh 1981, H 11, Stuttgart, 641-650.

AIGNER T et REINECK H.E. (1982) – Proximal trends in modern strom sands from the Helgoland high (North sea) and their implication for basin analysis. Senckenbergiana, Frankfurt am MAIN, 14,516, PP.183-215.

BENYOUCEF M. et al. (2015)- Évolution lithostratigraphique, paléoenvironnementale et paléogéographique du flysch de Ben- Zireg (Viséen inférieur, Algérie). Geodiversitas 37 (1) : 5-29.
<http://dx.doi.org/10.5252/g2015n1a1>

BEUF S. et al. (1971) – Les grés du Paléozoïque inférieur au Sahara. *Publ. I. F. P. Coll. « Sciences et techniques du Pétrole »*, 18, p. 1-464, 357 Fig. 30 pl., 1 carte h.t.

BIGNOT G. (1972) – Les microfaciès et leur utilisation stratigraphique. Colloques méthodes et tendances de la stratigraphie.Orsay. *Mém. B.R.G.M.*, Paris, n°77.t.1, pp.93-108.

BÖHM F. (1992) – Mikrofazies und Ablagerungsmilieu des Lias und Dogger der Nordöstlichen kalkalpen. – Erlanger geologische Abhandlungen, 121, 57- 217.

BROWN J.S. (1943) – Suggested use of the word microfacies. – *Economic Geology*, 38, p. 325.

CUVILLIER J. (1952) – Le notion de microfacies et ses applications.-VIII Congreso Nazionale de Metano e Petroleo, sec. I, 1-7.

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.

FABRE J. (2005) – Géologie du Sahara occidental et central. *Musée .Roy. Afr. Centr.* Belgique. P.571.

FABRE J. (1976) – Introduction à la géologie du Sahara algérien (la couverture phanérozoïque) Soc. Nat. Edi. Et Diff. Alger, p. 1-422.

FAIBRIDGE R.W. (1954)- stratigraphic correlation by micro-faciés. *American Journ. Sciences*.Vol.252, pp. 683-694.

- FELLAH A. H. (2009)** - L'anticlinal de Ben-Zireg: lithostratigraphie, évolution séquentielle et environnements de dépôt au Dévonien inférieur-moyen (Béchar, Sahara algérien nord-occidental). Mémoire de magister, Université d'Oran, 135 p.
- FLAMAND G.B.M. (1911)** : Recherches géologiques et géographiques sur le Haut Pays de l'Oranie et sur le Sahara (Algérie et territoires du Sud). Thèse Faculté des Sciences de l'Univ. Lyon.
- FLÜGEL E. (2010)** - Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application. Springer Verlag, Berlin, 984 p.
- FLÜGEL E. (1982)** - Microfaciés analysis of Limestones. Springer- Verlag Heidelberg, New York, 633 p.
- FOLK (1959)** - Pratical petrographic classification of limestones. *Amer. Asso. Petrol. Geol.*, Tulsa, Vol.43, n°1, pp.1-38, 41 fig., 2 tabl.
- GRÜNDEL J et RÖSLER H.J. (1963)** – Zur Entstehung der oberdevonischen Kalkknollengesteine Thüringens. – *Geologie*, 16, 1009- 1038.
- MASSA D.COMBAZ A. & MANDERSSCH EID G. (1965)** – Observations sur les séries siluro-dévonniennes des confins algéro-marocains du sud. *Notes et mémoires*, n°8.
- MENCHIKOFF N. (1930)** – Recherches géologiques et morphologiques dans le Nord du Sahara occidental. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, VII, 2, p.139.
- MENCHIKOFF N. (1934)** - Sur la présence du Famennien à Céphalopodes à Ben Zireg (Sud Oranais) *C. R. S. G. F.*, n° 8, p.106.
- MENCHIKOFF N. (1936)** - Etudes géologiques sur les confins Algéro-marocains du Sud. *Bull. S.G.F*, 5 série, t.6, p.131-148.
- OUALI MEHADJI A., ATIF K., BOUTERFA B., NICOLLIN J.P. et BESSEGHIER F. (2011)** - Environnements sédimentaires de la Saoura-Ougarta (Sahara NordOuest, Algérie) au Dévonien inférieur (Lochkovien supérieurpro parte-Emsien) Pub. Sc. du Mus. nat. d'His. naturelle, Paris. *Geodiversitas* •pp. 1-572 .
- PAREYN C. (1961)** - Les massifs carbonifères du Sahara Sud oranais. Stratigraphie et tectonique T1.n°1 édit. *Cent. Nat. Rech. SC.* , Paris, 362p, 180 fig.
- PAREYN C. (1955)** - Le flysch viséen de Ben- Zireg (confins algéro- marocains du Sud). *Actes de la 74^e session de la Société Géologique de la France* : 278- 296.
- PERRODON A. (1951)** - Etude des confins Algéro-marocains au Nord de Bechar. Rapport de mission, pp 1-9.12pl
- POIRMEUR H. (1906)**- Essai d'une carte de la région Guir- Zousfana. Notice sur la composition et la nature des étages distingués. *B.S.G.F.*, (4), t. VI, P.724-728.

PURSER B.H (1980) - Sédimentation et diagenèse des carbonates néritiques récents: les éléments de la sédimentation et de la diagenèse, *Vol.2, Universidade da Califórnia*.

LEGRAND Ph. (1981) – Essais sur la paléogéographie du Silurien au Sahara algérien. Notes Mém. C. F. P., 16, p-24, 9pl. h-t.

LEGRAND Ph. (1985) – Lower Paleozoic rocks of Algeria. In: Lower Paleozoic of north-west and west central africa. (C.h. Hollande ed.), John Wiley et sons, 52-84.

SORBY H.C. (1879) – The structure and origin of limestones : Proceedings of the Geol. Soci. London. pp 59-95.

WILSON J.L. (1975)- Carbonate faciès in géologic history :Springer Verlag, New York, Heidelberg, Berlin, 471p

WALKER R.G. (1992)- Faciès, faciès models, and modern stratigraphic concepts. In R.G. Walker et James N.P, Faciès models: reponse to sea level change. *Geol. Assn. Canada*.pp.1-14.

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 :Situation géographique de la région de Ben Zireg (extrait de la carte topographique 1/200.000, feuille de Ben Zireg).	2
Figure I-2 :Photo satellite de la région de Ben Zireg (Google Earth)	3
Figure I-3 :Carte géologique de Ben Zireg (Pareyn, 1961)	3
Figure I-4 :La coupe lithologique du Paléozoïque de Ben Zireg, (Pareyn, 1961).	5
Figure I-5 :Aperçu structural de la structure de Ben Zireg (Pareyn, 1961).	6
Figure II-1 : Localisation de la coupe de l’anticlinal de Ben Zireg (Fellah, 2009).....	16
Figure II-2 :Illustration photographique de l’anticlinal de Ben Zireg (Fellah, 2009)	17
Figure II-3: Photo panoramique montrant une coupe synthétique et les différentes formations du Dévonien de la région de Ben Zireg (Fellah, 2009).	17
Figure II-5 : Succession lithologique de la formation des carbonates de l’Oued Khoufane (Fellah, 2009).	22
Figure II-6 :Photo panoramique de la formation des carbonates de l’Oued Khoufane (Fellah, 2009).....	23
Figure II-7Photo panoramique de de la formation silico-clastique de l’Oued Khoufane (Fellah, 2009).....	25
Figure II-8 :Succession lithologique de la formation silico-clastiques de l’Oued Khoufane (Fellah, 2009).	26
Figure III-1 :Distribution des types de microfaciès standards (SMF) dans les “Facies Zones” (FZ) d’une plateforme barrée (rimmed carbonate plateforme) (Flügel, 2010)	45
Figure III-2 :Séquence de plateforme silico-clastique (Aigner & Reineck, 1982)	47

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1: Terminologie descriptive des principales catégories de grains carbonatés (Flügel, 2010, p. 100)	10
Tableau I-2: Terminologies et aspects génétiques des boues carbonatées et des calcaires composés de calcite microcristalline (micrite), traduit par XIRINDZA . A.....	12
Tableau II-1: Les différentes nomenclatures des formations de la série dévonienne de Ben Zireg.....	18
Tableau II-2 Succession lithostratigraphique du Dévonien inférieur de l'anticlinal de Ben Zireg (Fellah, 2009).....	19
Tableau III-1: Tableau récapitulatif des microfaciès rencontrés.....	42