



*République Algérienne Démocratique Populaire Ministère de
l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*



*Université Mouloud Mammeri, Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques
Département des Sciences de la Terre et de l'Univers*

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de :

MASTER EN GEOLOGIE

Option : GEOLOGIE DES BASSINS SEDIMENTAIRES

Thème :

**Etude pétrographique et sédimentologique du
Viséen supérieur-Serpukhovien du flanc Nord
du bassin de Tindouf (Sahara Algérien)**

Promotion : 2019/2020

Thème proposé et encadré par :

Mr Amrouche Farid

Etudié par:

Lourguioui Meriem

Soutenu devant le jury composé de :

Mr Kardache R.	MCA(UMMTO)	President
Mr Amrouche F.	MAA (UMMTO)	Promoteur
Mr Achoui M.	MAA(UMMTO)	Examineur

Remerciement

Tout d'abord je remercie notre Dieu de m'avoir donné le courage et la force pour réaliser ce modeste travail.

Je veux exprimer par ces quelques lignes de remerciements mon gratitude envers tous ceux qui par leur présence, leur soutien, leur disponibilité et leur conseil, qu'il mon donné le courage d'accomplir ce modeste travail.

je tiens d'abord à remercie vivement mon promoteur **Monsieur Amrouche Farid** de m'avoir proposé ce travail, et pour toute son aide, ses encouragements répétés et pour toute l'attention qu'il a apportée à ce travail. je ne pouvais jamais le remercier assez de m'avoir fait bénéficier de sa grande expérience et de son savoir.

Je teins aussi de remercie monsieur **Kardache.F** d'avoir accepté la présidence de ma soutenance .

Je remercie également monsieur **Achoui.M** , d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Mes remerciements vont aussi à tous nos enseignants de département de science de la terre et l'univers de l'université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, pour la qualité de l'enseignement qu'ils nous ont fourni tout au long de notre cursus.

Je remercie également tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Merci a tous

Dédicace

*Je dédie ce travail à mes chers très chères parents qui m'ont soutenu durant tout mes études et
partagé mes moments difficiles*

*A ma mère puisse dieu l'accueillir dans son infini miséricorde pour sa soutien et sa affection
débordent*

A mon père

A mes chers frères

Mohamed Anis et Foucef

A mes chères sœurs

Sarah, Nadia, Khadidja

A mes amis

Navel, Skrame, Amira, Malia, Thiziri, Lynda et tous chaque un pour nom

A toute ma promotion de master 2 Bassin Sédimentaire.

Résumé :

Le remplissage du bassin péricratonique de Tindouf, s'effectue du Cambrien au Carbonifère, l'épaisseur de cette couverture atteint entre 8000 et 10000 mètres. Les dépôts principalement argilo-gréseux, se sont mis en place dans des environnements fluviaux à marins peu profonds. La série méso-cénozoïque qui repose en discordance sur le Paléozoïque a une puissance variable qui ne dépasse 100 m d'épaisseur.

Le bassin Tindouf s'est individualisé à la fin de Paléozoïque (Carbonifère supérieure), la bordure Nord du bassin est très redressée contre l'Anti-Atlas marocain ou la série Paléozoïque est fortement plissée.

L'étude microfaciès effectuée sur les lames minces des coupes de Oum El Achar, Hassi Mounir et Tafgoumt du bassin de Tindouf de la plateforme saharienne occidentale a permis de suivre son évolution durant le Viséen supérieure et le Serpukhovien.

Selon l'étude sédimentologiques et microfaciès, on a conclu que la sédimentologie dominante est carbonatées avec des dépôts de plate forme carbonatées, ces études permettent de reconnaître l'évolution verticale dans le temps du bassin durant le Viséen supérieure et le Serpukhovien.

L'analyse sédimentologique des affleurements carbonifères de la coupe Oum El Acher et du Sondage Ng-1, nous a permis de proposer un découpage lithoséquentiel. Nous avons subdivisé en trois séquences (formations) d'ordre 4^o sont :

La formation carbonatées à paléosol, la formation carbonatées à évaporites et la formation dolomitique.

Mots clés :

Bassin de Tindouf, Carbonifère, Viséen supérieur, Serpukhovien, sédimentologie, microfaciès, séquences.

SOMMAIRE

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des planches

Introduction générale

problématique

Chapitre I: généralités

I cadre géographique et géologique de bassin Tindouf	2
I_1 cadre géographique de bassin	2
I_2 Cadre géologique de bassin	2
I_2-1 cadre géologique régionale	3
I_2.1.1 aperçu lithostratigraphique du bassin	3
A. Néo-protérozoïque	3
B. Paléozoïque	4
C. Cambrien	4
D. Ordovicien	5
E. Silurien	6
F. Dévonien	7
G. Le Carbonifère.....	8
H. Le Méso-Cénozoïque.....	10
I.2.2. Cadre géologie locale de flanc Nord et son stratigraphie.....	12
II. Contexte structural.....	15
III. Evolution géodynamique du bassin de Tindouf	17

IV. Méthodologie.....	23
-----------------------	----

Chapitre II : étude pétrographique

I_ Introduction.....	24
II_ Rappels.....	24
II.1. Le principe du microscope polarisant.....	24
II.1.1 L'observation en lumière polarisée non analysée (LPNA).....	25
II.1.2 L'observation en lumière polarisée analysée (LPA).....	25
II.2 Caractères généraux.....	26
II.2.1 Classification chimique des roches sédimentaires.....	26
II.2.2 Analyse d'une roche sédimentaire.....	27
II.2.3. Classification des roches détritiques.....	27
II.2.4 Classification des roches carbonatées.....	28
II.2.5 Les différents milieux de dépôts.....	30
III. Analyses des lames minces.....	33
III. 1. Analyse des lames minces de la coupe Oum El Achar (OEA).....	33
III.1.1. De OEA 1 jusqu'au OEA 7.....	33
III.1.2. Analyse de lame mince de OEA 8.....	34
III.1.3. Analyse des lames minces De OEA9 jusqu'au OEA24.....	34
III.2. Analyse des lames minces du Aouinet El Maiz (Hassi Mounir), HM.....	38
III.2.1. A partir de HM1 jusqu'à HM15.....	38
III.2.2. Analyse de lame mince HM16.....	38
III.2.3. HM 20 & HM22.....	38
III.3. analyse des lames minces de la coupe Tafgounte (TAF).....	41
III.3.1. Analyses des lames minces de TAF 1 jusqu'à TAF 14.....	41
III.3.2. analyse de lame mince de TAF 15.....	41
IV. Conclusion.....	44

Chapitre III : étude diagraphique

I. introduction.....	47
II. Rappels.....	47
II.1 Facies.....	47
II.2 Séquence.....	47
II.3 L'analyse séquentielle.....	47
II.4 Les discontinuités.....	48
III. Les Diagraphies.....	50
III.1 Méthodes d'analyse séquentielle diagraphique.....	50
IV. Découpage séquentiel du Carbonifère et corrélation entre le sondage NG1 et la coupe de terrain Oum El Achar à partir des réponses diagraphiques du signal PS et résistivités	53
IV.1. Identification des séquences de dépôt.....	53
V. Corrélation entre la coupe de terrain et le sondage NAGA-1 (NG-1)	55
VI. Conclusion.....	58
Conclusion générale.....	59

Liste des figures	
FIGURES	N°P
CHAPITRE I	
Figure I.1 : Situation géographique du bassin de Tindouf	2
Figure I.2 : lithostratigraphie synthétique du bassin de Tindouf . Les formations qui portent un astérisque sont définies sur le flanc Nord du bassin	10
Figure I.3 : Carte géologique du flanc nord du bassin de Tindouf, d'après la carte géologique du Maroc au 1.000.000 ^e	12
Figure I.4 : la Lithostratigraphie du bassin de Tindouf.	14
Figure I.5 : Carte montrant les principaux éléments structuraux du bassin de Tindouf.	19
Figure I.6 : Coupe stratigraphique E-W de la région du flanc sud du bassin de Tindouf.	19
Figure I.7 : Coupe stratigraphique N-S de la partie occidentale du bassin de Tindouf.	20
Figure I.8 : Situation de la zone d'étude vis à vis des événements géodynamiques.	21
Figure I.9 : Reconstruction paléogéographique à environ 2.0Ga.	22
Figure I.10 : Fragmentation du continent Rodinia et apparition du continent Gondwana Est.	23
Figure I.11 : Les failles majeures provoquées par les deux collisions de craton ouest africain avec le bouclier Touareg et le continent Avalonian.	24
Figure I.12 : Collision des Continents Laurentia et Gondwana et la formation de la chaîne hercynienne.	25
CHAPITRE II	
Photo II.1 : microscope optique polarisant.	27
Figure II.2 : Le relief des minéraux en LPNA.	28
Figure II.3 3a et 3b : changement de couleur des minéraux (ici de la biotite - Bt) lors de la rotation de la platine.	28
Figure II.4 : Principaux environnements de la sédimentation détritique ou terrigène.	31
Figure II.5 : photo d'une matrice ou ciment d'un calcaire en LPA, de la lame mince OEA .	32
Figure II.6 : photo d'un ciment ou sparite d'un calcaire oolithique en LPA (oosparite), de la lame mince OEA 1.	32
Figure II.7 : Classification simplifiée des calcaires selon Dunham.	33
Figure II.8 : Les principaux environnements de la sédimentation carbonatée.	33
Figure II.9 : Localisation des coupes étudiées.	34
CHAPITRE III	
Fig.III.1 : séquence positive (Grano-croissance).	47
Fig.III.2 : séquence négative (Grano-décroissant).	47
Figure III.3 : Classification de Shell, 1958 .	52
Figure III.4 : découpage séquentiel du Viséen sup_ Serpukhovien sup dans le sondage NG1 du bassin de Tindouf.	55
Figure III.5 : corrélation entre la coupe de terrain(Oum El Achar) et du sondage (NG-1).	57

LISTE DES TABLEUX	
TABLEUX	N°P
CHAPITRE I	
Tableau I.1 : la Lithostratigraphie du bassin de Tindouf.	5
Tableau I.2 : Les unités lithostratigraphiques du Carbonifère du bassin de Tindouf.	8
CHAPITRE II	
Tableau II.1 : Classification des sédiments et des roches sédimentaires détritiques.	30
Tableau II.2 : Classification simplifiée des calcaires selon Folk.	32
CHAPITRE III	
Tableau III.1 :caractères des ordres séquentiels.	48
Tableau III.2 : les différents milieux de dépôt.	50

LISTES DES PLANCHES	
LES PLANCHES	N°P
Planche N° I : Analyse pétrographique des échantillons prélevés du la coupe Oum El Achar (OEA 1 jusqu'à OEA 07).	36
Planche N° II : Analyse pétrographique des échantillons prélevés du la coupe Oum El Achar (de OEA 8).	37
Planche N° III : Analyse pétrographique des échantillons prélevés du la coupe Oum El Achar (de OEA 9 jusqu'à 24).	37
Planche N°IV : Analyse pétrographique des échantillons de la coupe Aouinet El Maiz (de HM1 jusqu'à HM 15).	40
Planche N°V : Analyse pétrographique des échantillons de la coupe Aouinet El Maiz (de HM 16).	40
Planche N° VI : Analyse pétrographique des échantillons de la coupe Aouinet El Maiz (de HM 20 et 22).	40
Planche N°VII : Analyse pétrographique des échantillons prélevés du la coupe Tafgoumt de (TAF1 jusqu'à TAF 14).	43
Planche N°VIII : Analyse pétrographique des échantillons prélevés du la coupe Tafgoumt (Taf 15).	43

introduction

générale

Introduction :

L'Algérie fait partie de l'ensemble septentrional africain, dans le quels affleurent des ensembles géologiques divers.

L'Algérie comprend deux domaines principaux sont mis en évidence du Nord au Sud :

-L'Atlas saharien, forme une longue suite de reliefs orientés NE-SO s'étendant de la frontière Marocaine à celle de la Tunisie. Un domaine méridional, le Sahara, où affleurent les socles précambriens du Hoggar et des Eglab , et leur couverture phanérozoïque de la plate-forme saharienne, qui est connue pour être plus au moins stable depuis le paléozoïque. Cette dernier subdivisé en trois provinces : (province occidentale, centrale et orientale)

La province occidentale : comprend le bassin Tindouf, Timimoune, le bassin Reggane, et la chaîne Ougarta.

Le remplissage de bassin péricratonique de Tindouf, s'effectue du Cambrien au Carbonifère, l'épaisseur de cette couverture atteint entre 8000 et 10000 mètres. Les dépôts, principalement argilo-gréseux, se sont mis en place dans des environnements fluviatiles à marins peu profonds. La série méso-cénozoïque qui repose en discordance sur le Paléozoïque a une puissance variable quine dépasse jamais 100 m d'épaisseur.

Le bassin de Tindouf s'est individualisé à la fin du Paléozoïque (Carbonifère supérieur), La bordure nord du bassin est très redressée contre l'Anti-Atlas marocain où la série paléozoïque est fortement plissée

Problématique :

Le remplissage paléozoïque du bassin de Tindouf n'a fait objet que de quelques études globale, n'ayant montré un grand intérêt pétrolier au début de l'exploration de la plate forme Saharienne, il est resté long un grand bassin sédimentaire très peu connu par les géologues, cette étude a pour objectif d'exploiter des données disponibles, sous forme de lame mince et de log de sondage, notamment dans le flanc Nord, dans le but de préciser la nature de dépôt du Viséen supérieure et du Serpukhovien, elle est basée sur l'analyse des lames minces de trois coupes de terrain, Oum El Achar (OEA), Hassi Mounir (HM) , Tafgoumt (TAF) et le sondage NAGA-1 (NG-1) .

Chapitre I

généralités

I_ cadre géographique et géologique de bassin Tindouf :

I_1 cadre géographique de bassin :

Le bassin Tindouf occupe la partie occidentale de la plate forme saharienne algérienne, le plus bassin occidentale de ces basins, c'est un synclise hercynienne de 200 000 km². (Amrouche, 2004).

De forme ovale, il s'inscrit dans un rectangle orienté ENE-WSW, est compris par :

_ les méridiens 4°W et 12° W .

_ les parallèles 26°30'N et 29°30'N .

Il est coïncé entre la vallée de Dra (partie méridionale de l'Anté atlas marocaine) au Nord, la chaîne Ougarta au Nord-Est, le mole de Bou-Bernous le sépare du Bassin de Reggane vers l'Est. Enfin, vers le Sud ce bassin repose sur le socle Précambrien constitué par l'ensemble cristallin Yetti-Eglab, appelé aussi la dorsale Réguibat ou Eglab, (figure.I.1). (in Brice Waouli,Mehadji,2009).

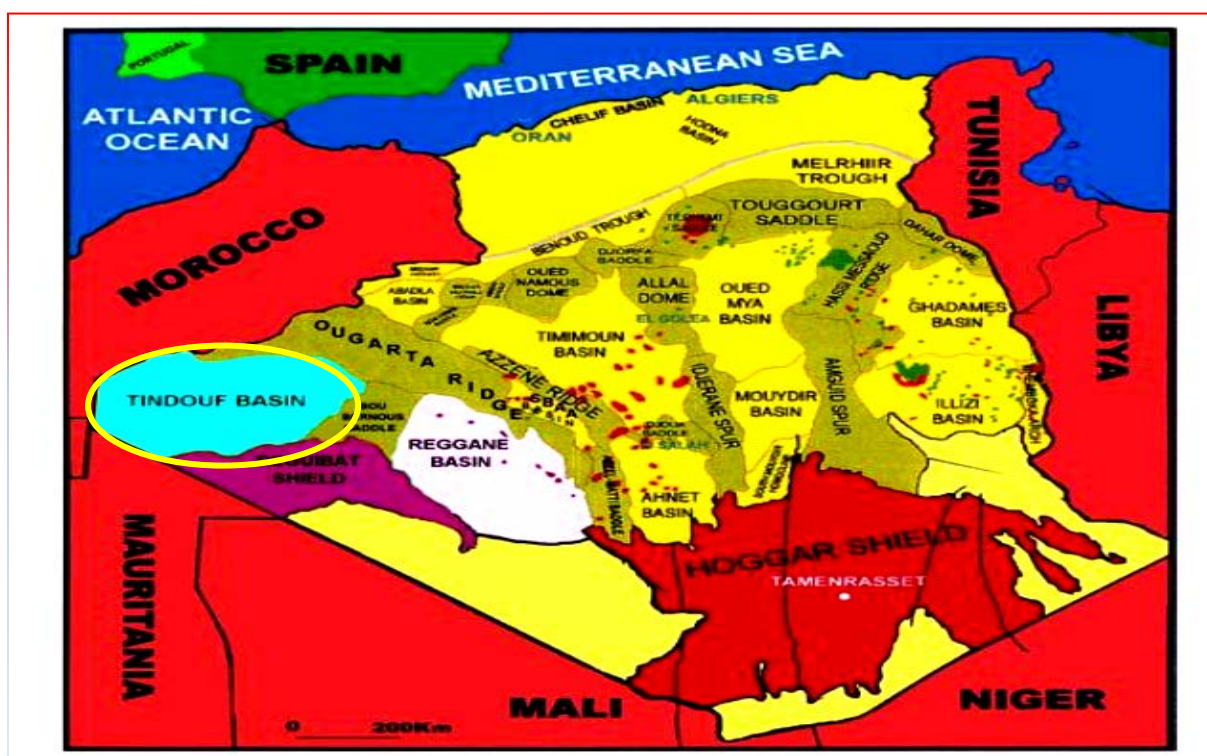



Figure I.1 : Situation géographique du bassin de Tindouf (N.Ibrihen et, H.Ghoul).

 : Zone d'étude.

I_2 Cadre géologique de bassin :

I_2-1 cadre géologique régionale :

Le bassin de Tindouf qui correspond à une dépression dissymétrique s'appuie en pente douce sur le bouclier Réguibat au Sud, alors que le flanc Nord est fortement redressé vers sa limite Nord, au contact de l'Anti-Atlas marocain. Il s'agit d'un bassin péricratonique qui s'est développé sur la marge Nord du craton Ouest-Africain (Destombes et al. 1985 ; Bertrand-Sarfati et al. 1990).

Son flanc nord étroit et très redressé, est affecté de plis linéaires, réguliers et fortement accusés de direction NE-SW. Trois (03) structures sont mises en évidence. Il s'agit du pli d'Adami Filou Hassi Mahmoud, de l'anticlinal de Zemoul Igma et de la structure de Lotfi Tinfouchy. Le flanc sud est un monoclin à pendage doux et ne présente aucune structure secondaire connue. (*in* Benhamouche, 2003).

Son remplissage sédimentaire s'effectue du Cambrien au Carbonifère, et son épaisseur atteint entre 8000 et 10000m (SONATRACH, 1987).

le Bassin de Tindouf offre des affleurements paléozoïques (Ordovicien à Carbonifère) de qualité médiocre pour l'Ordovicien et le Silurien et meilleure pour le Dévon-Carbonifère. Le Bassin de Tindouf a été subdivisé en deux sous-bassins : le sous-bassin de Djebilet et le sous-bassin de l'Iguidi, séparés par le haut fond de Laroussi (Guerrak, 1987 ; Bitam et al., 1997). (*in* BriceOualiMehadji2009)

Le flanc sud du Bassin de Tindouf est surtout connu par le gisement stratiforme de fer du Dévonien inférieur de Gara Djebilet (Gevin, 1960 ; Guerrak, 1987 ; Bitam et al., 1997) développé dans la Formation des Grès de Gara-Djebilet.

I_2.1.1 aperçu lithostratigraphique du bassin :

A. Néoprotérozoïque (socle) :

Au nord, le bassin de Tindouf repose en discordance majeure sur le socle éburnéen des Eglab (Durozoy, 1959 ; Buffière et al., 1965 ; Villemur, 1967 ,*in* Chabou) , Ces séries sont (Précambrien II, Précambrien II-III et Précambrien III de l'Anti-Atlas) (Soulaïmani et al 2003). Le précambrien I c'est série schisto-quartzitique, surmonté par le groupe de Saghro qui est essentiellement volcano-détritiques de précambrien II-III, le groupe de Ouarzazate

volcano-détritiques, et argilo-gréseuse rouge de précambrien III recouvre l'ensemble protérozoïque.

on note l'absence de protérozoïque au Sud.

B. Paléozoïque :

Le remplissage du bassin de Tindouf est un ensemble essentiellement paléozoïque, recouvert en discordance par les formations Hamadiennes, le plus souvent du Néogène. Le Paléozoïque affleure entièrement au Sud. Par contre au Nord, le Famennien et le Carbonifère apparaissent uniquement dans le paysage. Les autres termes du Paléozoïque se trouvent en territoire Marocain, (Amrouche F, Nedjari A, 2004).

C. Cambrien :

Dans le Nord du bassin de Tindouf, le Cambrien affleure dans l'Anti-Atlas Marocain où on distingue: Cambrien inférieur débute par la formation des calcaires supérieurs (200 à 400 m), alternance de bancs calcaires et de lits argileux. Cette série contient des Trilobites, qui seraient les plus anciens connus au monde. Surmonté par des schistes-calcaire (300 à 450 m), formée d'une alternance de schistes verts à Trilobites et de calcaires à Archeocyathidés. Le Cambrien inférieur se termine par une formation plus détritique des schistes et grès terminaux (180 à 1000 m), comprenant des grès à Tigillites contenant par endroit des tufs volcaniques. Ces grès sont surmontés par des schistes à Trilobites marquant le passage au Cambrien moyen.

➤ Cambrien moyen :

représenté par une série schisteuse à Paradoxides ou « schistes des Feijas internes » dont l'épaisseur varie de 100 à 500 m. Vers l'Est, la partie supérieure de cette formation devient gréseuse. Cette série est couronnée par la formation des grès de Tabanit, à Paradoxides et Lingules, épaisse de 100 à 150 m.

Au centre du bassin de Tindouf, des sondages ont rencontré sous les argiles de l'Ordovicien une série gréseuse (les grès d'El Aroueta) dont l'épaisseur atteint 450 m. Cette série s'amincit du nord au sud et disparaît complètement dans la région des affleurements paléozoïques du flanc sud du bassin de Tindouf. (Chabou. M.C, 2001).

D. Ordovicien :

Au nord du bassin de Tindouf, l'Ordovicien est représenté par un ensemble schisto-gréseux, avec de très rares intercalations de calcaires. Son épaisseur dans la région du Dra peut atteindre 2000 m. Il comprend les formations suivantes :

Schistes des Feijas externes dont la base est marqué par les schistes inférieurs de Fezouata (400 m d'épaisseur) composés d'argilites plus ou moins silteuses bleu vert, riches en Graptolites et Trilobites du Trémadocien. Surmonté par les schistes supérieurs de Fezouata (700 m d'épaisseur) formés d'argilites glauconieuses riches en Graptolites caractéristiques de l'Arénigien inférieur. (tableau I.1).

Le sommet de l'Ordovicien inférieur est constitué des grès et quartzites du Zini (450 m d'épaisseur), correspondant à une formation gréseuse riche en Scolithes. Une formation débute par un minerai de fer les schistes de Tachilla (500 à 1200 m d'épaisseur), composés d'argilites silteuses micacées à passées gréseuses, riches en fossiles qui indiquent un âge Lanvirnien. Au-dessus on trouve les grès du 1^{er} Baní (15 à 400 m), débutant par un épisode d'oolithes ferrugineux, sont à intercalations argileuses. Ils sont riches en Trilobites qui indiquent un âge Landeilien. Les Graptolites sont rares. Les schistes de Ktaoua (120 à 400 m), sont constitués d'argilites, qui vers l'Ouest et vers l'Est, s'enrichissent en niveaux gréseux riches en faunes (Caradocien). Les grès du deuxième Baní (15 à 100 m), sont de nature glaciaire. Ce sont des grès grossiers, conglomératiques contenant des niveaux marins, qui ont permis de dater cette glaciation à l'Ashgillien supérieur.

Au centre du bassin de Tindouf, quelques sondages ont traversé une série argileuse (Trémadocien inférieur), suivie d'une série gréso-argileuse d'âge Arénigien inférieur, qui est surmontée en discordance par une série d'origine glaciaire attribuée à l'Ashgillien supérieur et comprenant un terme inférieur argilo-gréseux et un terme supérieur gréseux (*in* Chabou. M.C, 2001) .

S U P E R	Ashgilien	Complexe de Hassi Hadjer	grés de Ramade Argile micro-conglomératiques	Formation de Tamadjert	Grés Rhezziane	Grés de 2 ^{ème} Bani.	
	Caradocien	Grés Oued Sarett		(Unités IV) Formation d'In Tahouite		Gres de Rouid Aissa	Schistes de Ktaoua
O R D O V I C I E N	Liandelien	Argiles d'Azzel		(Unités III)	Argiles d'Aroueta	Argiles de Tachitia	
	Lianvimien	Argiles de Tiferouine					
		Grés d'El Erg El Angeueur					
		Argiles d'Oued Rharbi					
	Arénigien			Formation Grés des		Schistes des Felja externe	Grés de Zani
Trémadocien	Grés de Bordj Nili		Schistes de Fazouata inférieur			Grés de Erg Chech	

Tableau I.1 : la Lithostratigraphie du bassin de Tindouf, D'après : Aliev et al., 1971 ; Fabre, 1976 ; Ait Kaci Ahmed et al., 1994 ; Bertrand-Sarfati et al., 1996 ; Bitam et al., 1996 ; Soulaïmani, 2003; Seddiki et al., 2004 ; WEC Algérie, 2005.Chabou, 2001.

E. Silurien :

est représenté par des argiles à graptolites riches en matière organique. Ces dépôts argileux succèdent à la fonte des glaciers de la fin de l'Ordovicien (Legrand, 2003) et constituent d'excellentes roches mères pétrolières.

Une série argileuse plus ou moins épaisse, de couleur noire caractéristique et riche en Graptolithes. Cette série contient plusieurs niveaux calcaires ou grès qui s'intercalent dans les argiles. L'épaisseur diminue du nord au sud et de l'ouest à l'est, de l'ordre de 700 m en territoire marocain (Fabre, 1976) et ne dépasse pas 120 m à la bordure de la dorsale Réguibat (Gevin, 1960). Par endroit, le Silurien transgresse directement le socle par un conglomérat de base qui constitue un repère constant sur toute l'étendue des affleurements au Sud du bassin. Les faciès siluriens riches en matière organique et en pyrite sont souvent altérés en surface et présentent d'importante «accumulation» de gypse dans les dépressions qui caractérisent les terrains de ce système. La formation définie pour cette unité est la formation des argiles de la Sebkhia de M'habes ou Mabbes. (AMROUCHE, 2004).

F. Dévonien :

✓ Dévonien inférieur :

Au Nord du bassin de Tindouf, le Dévonien inférieur comprend les deux formations suivantes :

- Un membre argileux (400 m à l'ouest et quelques dizaines de mètres à l'Est), où s'intercalent des niveaux gréseux et des calcaires. Ce membre est daté par des Brachiopodes, Trilobites, Tentaculites et Conodontes qui indiquent un âge Lockhovien Gédinnien, Siegénien, inférieur et moyen).

- Un membre gréseux (700 à 800 m) qui est constitué par des bancs de grès formant des crêtes (1 es Rich). Ces grès comportent des calcaires fossilifères datés Emsien. On distingue trois Rich d'âge différents (deux de l'Emsien inférieur, le troisième dans l'Emsien supérieur).

Au Sud du bassin de Tindouf, le Dévonien inférieur connu sous le nom de formation de Gara Djebilet est représenté par des grès à intercalations argileuses. Il est divisé en deux membres :

- Le membre inférieur "les grès de Djebilet" d'âge Lochkovien, est représenté en grande partie par des grès, des grès à intercalations argileuses et des argilites. Ce membre, qui est couronné par le minerai de fer ou par des quartzites noirs.

- Le membre supérieur "les grès supra-minéraux" d'une faune indique un âge Emsien, est constitué essentiellement de grès et se termine avec l'apparition d'argilites à bancs calcaires.

✓ Dévonien moyen :

Dans le Nord du bassin de Tindouf, le Dévonien moyen est constitué par les termes suivants:

- Une formation argilo-calcaire (300 m), comportant des schistes à Goniatites, des grès et quelques calcaires formant le quatrième Rich. Cet ensemble est daté Eifélien.

-Une formation calcaire d'âge Givétien très fossilifère : Goniatites, Arthrodières, Trilobites. La puissance de cette formation est faible (50 à 100 m).

Au Sud de ce bassin, le Dévonien moyen correspondant à la formation de l'Oued Talha, est subdivisé en deux membres :

-Le membre inférieur d'âge Emsien supérieure à Eifélien "les argilites de l'Oued Talha ", est constitué d'un ensemble homogène d'argilites grises, feuilletées, avec des intercalations de bancs de calcaires gréseux riches en Brachiopodes.

-Le membre supérieur (d'âge Eifélien à Givétien supérieure) "les calcaires bioclastiques de la Kerba Tsabia", comporte des calcaires durs et compacts, formant de gros bancs intercalés d'argilites, qui sont très riches en Brachiopodes et Polypier.

✓ Dévonien supérieur :

Au nord du bassin représenté par une puissante série argileuse d'âge Frasnien (les argiles de la plaine du Dra), à intercalations calcaires, un Famennien inférieur entièrement argileux et un Famennien supérieur argileux à intercalations gréseuses et grésocalcaires. L'épaisseur du Dévonien supérieur peut atteindre 3000 m.

Au Sud du bassin de Tindouf, le Dévonien supérieur correspondant à la formation de Kereb en Naga (300 à 220 m d'épaisseur), comprend deux membres :

-Le membre inférieur "les siltites de l'Oued Rhazzal», qui est formé de bancs décimétriques à métriques de grès très fins, alternant avec des argilites grises indurées, l'âge de ce membre serait Frasnien.

-Le membre supérieur "les argilites de l'Oued Slougua" , qui est constitué par une puissante formation d'argilites grises papyracées, couronnées par des lits de gypses translucides.

G. Le Carbonifère :

les dernières formations paléozoïques du bassin de Tindouf constituent les terrains Carbonifères, des ensembles subdivisés en quatre « unités » sur le flanc Sud et en cinq sur le flanc Nord, selon les cas ces unités sont des séries ou des formations, le Permien étant absent ou non identifié (Guerrak, 1988). Tableau I.2 .

A dominante argileuse, les formations carbonifères peuvent être subdivisées en deux grands ensembles, un ensemble inférieur marin (du Tournaisien au Serpukhovien) et un ensemble supérieur fluvio-deltaïque (du Namurien-Stéphanien avec probablement la base du Permien) (in Amrouche, 2004) .

Flanc nord		Flanc sud	Ages	
Bétana	Merkala	Hassi Aouelouel	Stéphano-westphalien	Continental
	Djebel Rouina		Namurien	
	Ouarkziz	Ain El Barka	Viséen supérieur	marin
	Bétaina	Kerb Es Sefiat	Viséen inférieur	
	Tazout III	Kerb Es Slougia	Tournaisien.	

Tableau I.2 : Les unités lithostratigraphiques du Carbonifère du bassin de Tindouf. (S.E.R.M.I., 1963, J. Fabre, 1976).

❖ **Le Carbonifère inférieur : (le Dinantien)**

est constitué par une sédimentation marine qui débute par :

une série gréseuse à silteuse d'âge Tournaisien, c'est l'unité de Tazout III ou Kerb Es Slougia. Elle est suivie par une assise argilo-marneuse à intercalation de fines couches de grès d'âge Viséen inférieure c'est l'unité de Bétaina ou de Kerb Es Sefiat.

Il se termine par les termes carbonatés du Viséen supérieur du Ouarkziz ou de Ain El Barka.

_ (Famennien supérieur Tournaisien, 100 à 200 m) correspond à la formation de Tazout des auteurs . La sédimentation est argilo-silteuse à gréseuse mise en place dans un environnement intertidal (chenaux tidaux,flazers) à infratidal sous l'effet dominant de la houle (grés à HCS).

_ Des affleurements dans la plaine de la Bétaina. Un sondage comporte plus de 800 m d'argiles silteuses et des intercalations de très minces niveaux de calcaire et de grés.

_ (Viséen supérieur-Serpukhovien) correspond à la classique unité du Ouarkziz. Elle montre sur ses 400 m (Oum El Achar) trois formations stratogranocroissantes à évolution régressive : une formation carbonatée à paléosols; une sédimentation (calcaire, grés, marne); une formation carbonatée à évaporites; une formation dolomitique, ultime dépôt marin calcaro-dolomitique dans ce bassin. Cet ensemble à dominante évaporitiques est interprété par Fabre (1961) comme le résultat d'un manque d'échange avec le large, évènement confirmé par la baisse mondiale du niveau de la mer à la limite Pensylvanien-Mississippien (courbe de Ross et Ross 1985).

❖ Le Carbonifère supérieur ou (le Silésien) :

Est constitué par sédimentation continental à dominante argileuse. Il comporte un intervalle gréseux deltaïque. Des argiles bariolées à lentilles de grès fluviatiles clôturent l'ensemble, ce sont les formation de Djebel Rouina et Merkala ou de Hassi Aouelouel.

_ Le (Namurien) est l'équivalent de l'unité Djebel Rouina. Elle associe des grés à stratifications obliques, et des argiles de plaine deltaïque à débris végétaux (Lepido-dendron, Sigillaria). Après une dernière conquête de cet espace par les Coraux au Serpukhovien supérieur, la mer se retire définitivement. Le milieu est alors envahi par un delta à influence continentale (abondance des débris végétaux).

La zone centrale de cet édifice semble située dans la région du Djebel Rouina où se déposent une centaine de mètres de grés. Latéralement vers l'ouest et l'est, ces sables se réduisent à quelques lentilles, des distributaires intercalés dans une plaine deltaïque argileuse.

_ L'unité de Merkala (Westphalien-Stéphanien) comporte des remplissages de chenaux fluviatiles gréseux et des argiles versicolores de plaine d'inondation à nombreuses traces d'une pédogénèse de type hydromorphe. Des argiles rouges de playa viennent combler définitivement ce bassin au Permien. Ce dernier épandage mérite de constituer une dernière série. Elle est coiffée par la discordance hercynienne.

H. Le Méso-Cénozoïque :

Elle est représentée par les dépôts crétacés du Continental Intercalaire, les dépôts tertiaires des Hamadas et par les recouvrements quaternaires.

Dans le reste de bassin Tindouf, les terrains paléozoïques sont souvent recouverts par des séries continentales d'âge Eocène à Pliocène, formant les vastes Hamadas du sud-ouest algérien (Hamadas du Dra, du Guir). L'épaisseur de ces terrains dépasse rarement 100 m (Gevin, 1960 ; Fabre, 1976 ; Benhamouche 2003).

Les formations quaternaires comprennent les regs, les alluvions, les éboulis, les sebkhas et surtout les ergs (dunes de sable) qui recouvrent une superficie importante de bassins du sud-ouest algérien et sont parmi les amas de dunes les plus vastes du monde (Erg Iguidi dans le bassin de Tindouf) (Conrad, 1970).

Ages	Stratigraphie	Epaisseurs (m)	Lithologie	Description
Quaternaire	Hamada	40 à 100		Calcaires silicifiés Grès et sables tufolimoneux
Eocène				
Paléocène				
	Merkala*			Discordance hercynienne
Stéphanien	Hassi Aouelouel	350 à		Argiles bariolées à passées de grès fins
Westphalien	Djebel Rouina* Ouarkiz*	500		
Namurien	Ain El Barka	100		Grès à stratifications entrecroisées et obliques Calcaires, marnes à anhydrite, Coraux et <i>Gigantoproductus</i>
Serpukhovien Viséen supérieur	Bétaina* Kerb Es Sefiat	500 à 700		
Viséen inférieur	Tazout III* Kerb Es Slougia	300 à 500		Argiles à passées de grès et de calcaires
Tournaisien	Kerb En Naga Oued Ghazal Oued Tsabia	80 à 160		
Dévonien supérieur	Oued Talha	280 à 450		Anneaux de Liesegang Dolerite siltes, argiles,
Dévonien moyen	Djebilet	40 à 100		
Dévonien inférieur	Sebkhia Mabbes	50 à 100		Grès et argiles silteuses Muraille de Chine
Silurien	Ghezziane	120 à 700		
Ordovicien supérieur	Yetti- Eglab	0 à 200		Grès glaciaires à figures de cryoturbation au sommet
Précambrien		?		

Figure I.2 : lithostratigraphie synthétique du bassin de Tindouf A partir de H. Hollard et al.(1958), P. Gevin (1960), SERMI (1963), J. Fabre (1976), S.Guerrak (1988)Les formations qui portent un astérisque sont définies sur le flanc Nord du bassin .

I.2.2. Cadre géologie locale de flanc Nord et son stratigraphie :

Le flanc nord du bassin de Tindouf montre une série paléozoïque plissée et déformée, donnant des structures complexes à l'image de l'axe anticlinal de Zemoul-Oum El Ksi- Igma-Tinfouchy (in Amrouche, 2004).

La phase d'érosion permienne a refaçonné la morphologie de cette série paléozoïque, donnant naissance à de grandes dépressions à l'image de la dépression de Zemoul. La série paléozoïque du flanc nord du bassin de Tindouf est recouverte au Sud et à l'Est par les formations tertiaires de la Hamada du Draa (Figure. I.3).

En Algérie, les affleurements de cette série au Nord du bassin débutent par les argiles du Dévonien supérieur, attribuées au Famennien. Ces argiles sont bien visibles au centre des principaux anticlinaux de la région.

Les terrains du Carbonifère occupent la plus grande superficie de la zone d'affleurement du Paléozoïque. Ils sont représentés par le Tournaisien, qui enveloppe le Dévonien de la région Zemoul-Igma. Ce niveau est constitué essentiellement par des schistes et grés du djebel Tazout.

Le Viséen inférieur est constitué par les schistes et grés de la Bétaïna. Le Viséen moyen et supérieur est formé par des calcaires bleus à passées dolomitiques et marneuses.

Le Namurien est constitué par des grés continentaux, des calcaires bleus et des marnes à gypse.

Le Stéphanien est essentiellement gréseux à intercalations d'argiles rouges. Cette formation contient des fougères et des niveaux charbonneux.

Le Westphalien affleure au milieu du Stéphanien, il est essentiellement gréseux et conglomératique. (Figure I.4)

Au niveau du flanc nord du bassin de Tindouf, les formations sédimentaires du Mésozoïque considérées absentes, jusque là, sont représentées par un niveau gréseux riche en faune et flore continentale, elle seraient l'équivalent du continental intercalaire connu dans la forme saharienne(Amrouche et *al* 2016). Les formations de la Hamada, présumées d'âge Tertiaire, reposent en discordance sur les séries sous-jacentes.

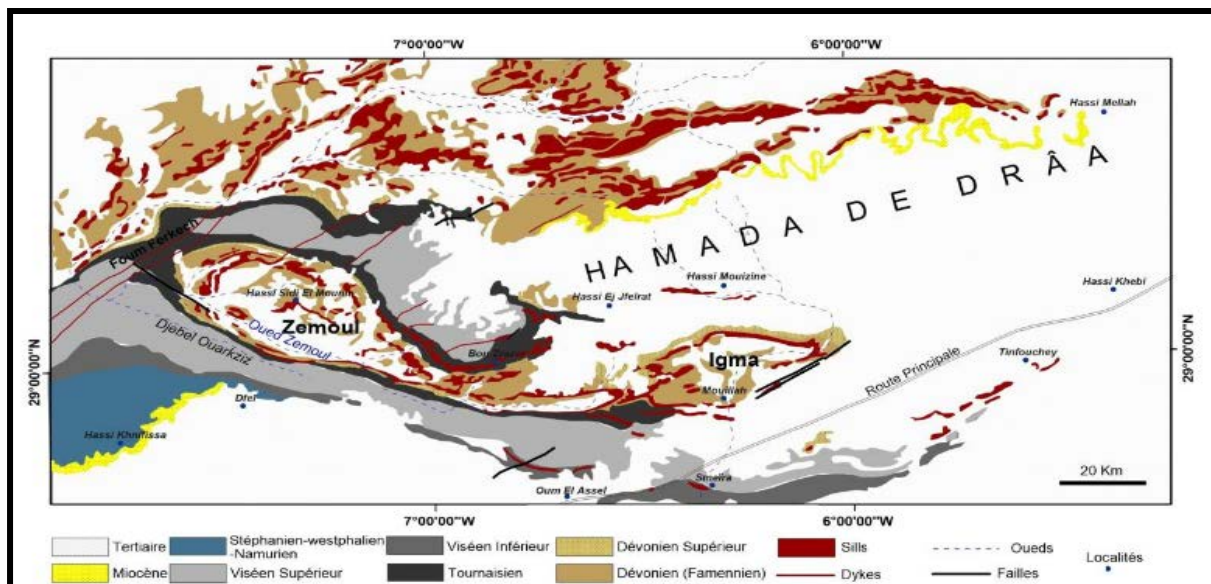


Figure I.3 : carte géologique du flanc nord du bassin de Tindouf, d'après la carte géologique du Maroc au 1.000.000^e.

Echelle Stratigraphique			Bassin de Tindouf		Echelle Stratigraphique			Bassin de Tindouf	
			Sud	Nord				Sud	Nord
DEVONNIEN	Inférieur	Emsien	Grès supra-mésocènes	Grès du 2 ^{ème} Rich	PERMIEN (Autunien)				
		Praguen							
		Lochkovien	Grès de Djebalet	Argiles et calcaires du 1 ^{er} Rich					
SILURIEN	Supérieur	Pridolien	Argiles	Argiles	Supérieur	Stéphanien		Série de Merkala	
		Ludlowien	de la			à	Westphalien (Moscovien)		Grès d'Ouadene
	Inférieur	Wenlockien	Sebkha	Graptolites				Namurien	
		Llandoveryien	Mabbes						
ORDOVICIEN	Supérieur	Ashgillien	Grès de Rhexzane	Grès du 2 ^{ème} Bani	CARBONIFERE	Inférieur	Viséen	Série de Betaina	
		Caradocien		Grès de Roud Aissa Schistes de Ktaoua Grès du 1 ^{er} Bani					Evaporites d'Ain Barka
	Inférieur	Llandoyleien	Argiles d'Aroueta	Argiles de Tachilla			Tournaisien	Argiles, grès et calcaires du Kerb es Sefit	
		Llanvirnien							Grès de Zan Schistes de Fazouata supérieurs
		Arénigien	Schistes des Feija esternes	Schistes de Fazouata inférieurs					
		Trémadocien							
CAMBRIEN	Supérieur				Supérieur	Strunien	Grès de Kerb En Naga	Argiles du Dra	
	Moyen	Grès d'Aroueta supérieurs	Grès de Tabanit	Grès à Lingules Schistes à Paradoxides		Famennien	Argilites de l'Oued Slougouia		
	Inférieur	Grès d'Aroueta inférieurs	Grès terminaux Schistes de base	Grès de Tukt Archeocyathides Groupe de Tata (Adoudoumien)		Calcaires à			
NEOPROTEROZOÏQUE			Groupe de Ouarzazate (P III) (Série volcano-détritique et argilo-gréseuse rouge)		DEVONNIEN	Moyen	Givétien	Calcaires de la Kerba Tsabia	Calcaires à Pteropodes
			Groupe de Saghro (P II-III) (Série volcano-détritique)				Eifélien (Couvinien)	Argilites de l'Oued Talha	Argiles à Pteropodes
			Précambrien II (Série schisto-quartzitique)						
PALEOPROTEROZOÏQUE			SOCLE DE REUILBAT (FRIIRNFN)						

Figure I.4 : la Lithostratigraphie du bassin de Tindouf, D'après : Aliev et al., 1971 ; Fabre, 1976 ; Ait Kaci Ahmed et al., 1994 ; Bertrand-Sarfati et al., 1996 ; Bitam et al., 1996 ; Soulaïmani, 2003; Seddiki et al., 2004 ; WEC Algérie, 2005.Chabou,

II. Contexte structural :

Le bassin de Tindouf s'est individualisé à la fin du Paléozoïque (Carbonifère supérieur) (Donzeau et al., 1981). La bordure sud de bassin est monoclinale à faible pendage (1 à 3° Nord en moyenne). La structure de cette partie du bassin est caractérisée par la subdivision en deux sous-bassins (Djbilet et Iguidi), séparés par le môle de Laroussi (Guerrak, 1989) (figure3) : (1) le sous-bassin de Djebilet est peu profond, qui s'étend d'ouest en est sur 150km depuis la frontière mauritanienne jusqu'aux environs du méridien 6°W (Bitam et al., 1996); (2) le sous-bassin de l'Iguidi, qui est limité à l'est par le môle de Bou-Bernous. Il est fortement subsident et beaucoup plus profond que celui de Djebilet, et contient une puissante formation ordovicienne (Gourvenec et al.,1997) (figure 3). Quelques failles de direction WSW-ENE ou NE-SW recoupent l'ensemble du Paléozoïque et sont injectées de dolérites (Gevin, 1960).

Le flanc nord du bassin est très étroit et fortement redressé contre l'Anti-Atlas marocain. La série paléozoïque est ici fortement plissée et affectée par de nombreuses failles. Les plis, lourds dans l'Ordovicien, plus souples et nombreux dans le Dévonien (Donzeau et al., 1981), forment la grande zone anticlinale de Zémoul - Adim Filou, qui contient une importante concentration de dykes et sills doléritiques. Trois importants bourrelets ont été mis en évidence dans cette zone (Aliev et al., 1971) (figure 4) : Adim Filou – Hassi Mahmoud, Zémoul - Igma et Lotfi – Tinfouchy. Le premier s'allonge d'est en ouest sur près de 200 km et contient plusieurs structures anticlinales. Le bourrelet de Zémoul – Igma, situé au sud du bourrelet précédent, s'allonge d'est en ouest sur 150 km et contient deux grandes structures anticlinales : la structure de Zémoul à l'ouest et celle d'Igma à l'Est. Ce bourrelet est orienté NW-SE, parallèle à la chaîne d'Ougarta et son flanc sud est affecté par une importante faille. Contrairement au bourrelet de Zémoul – Igma, celui de Lotfi-Tinfouchy est orienté NE-SW, c'est-à-dire proche de la direction de l'Anti-Atlas. Il est limité sur ces flancs par d'importantes failles et contient plusieurs structures anticlinales de dimensions réduites. Sa longueur atteint 75 km.

un quatrième bourrelet dans la partie axiale du bassin de Tindouf. Il s'agit du bourrelet de Merkala – Naga (figure I.6), orienté NW-SE et qui contient deux importantes structures anticlinales : celle de Merkala à l'ouest et celle de Naga à l'est. Le puits NG-1, réalisé à l'aplomb de la structure de Naga a rencontré trois importants sills de dolérite (figure I.7).

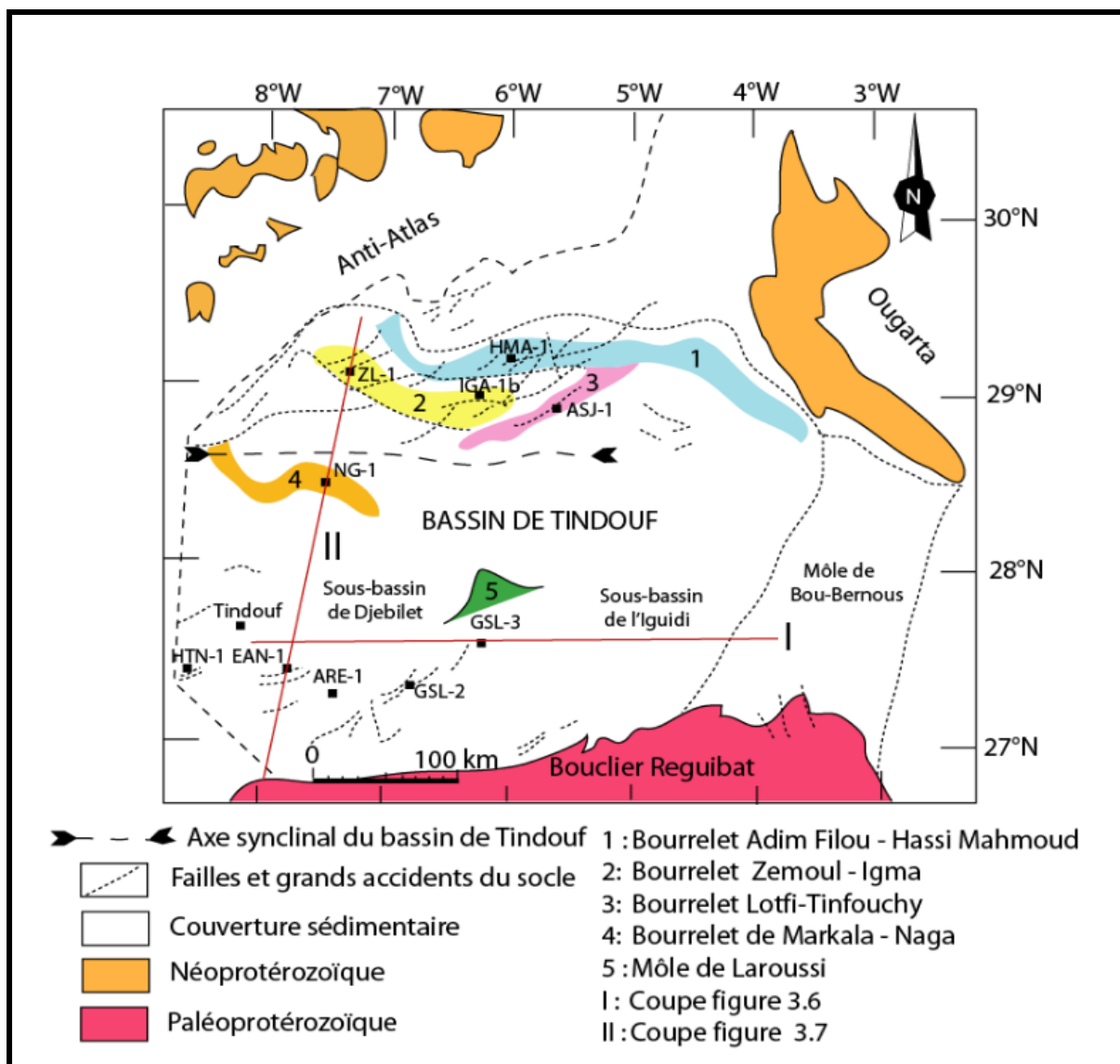


Figure I.5 : Carte montrant les principaux éléments structuraux du bassin de Tindouf. D'après Aliev et al., 1971 ; modifiée.

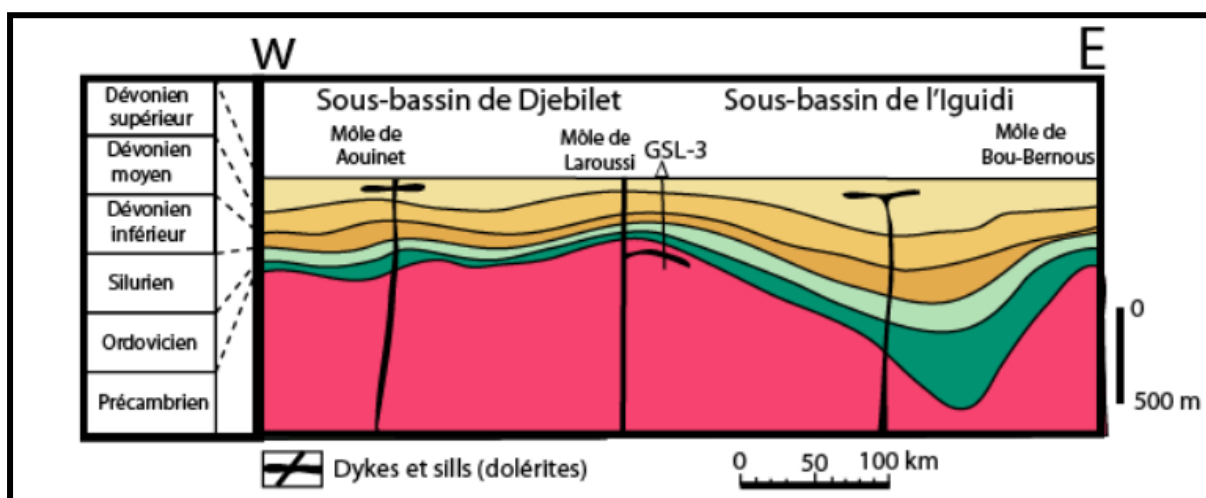


Figure I.6 : Coupe stratigraphique E-W de la région du flanc sud du bassin de Tindouf. D'après Guerrak, 1989 ; modifiée.

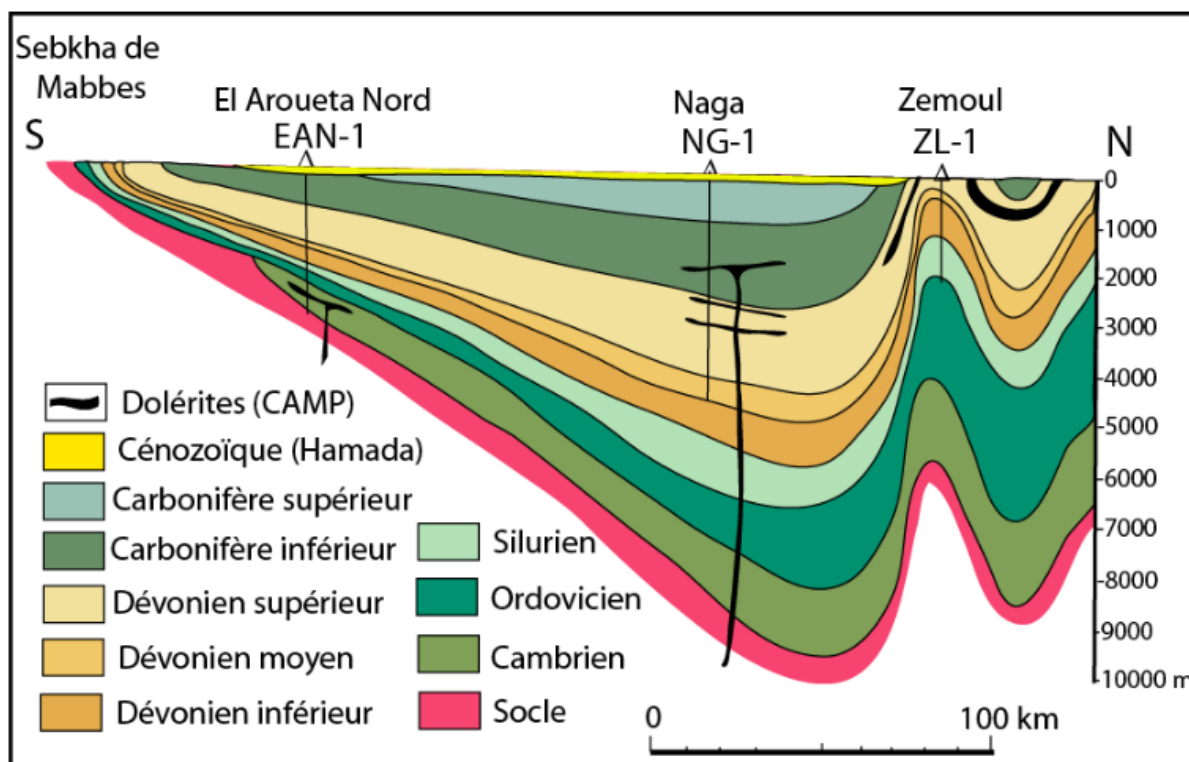


Figure I.7: Coupe stratigraphique N-S de la partie occidentale du bassin de Tindouf. D'après Ibrihen et Ghoul, 2005 ; modifiée.

III. Evolution géodynamique du bassin de Tindouf :

La structure actuelle du bassin de Tindouf est le résultat de plusieurs phases orogéniques et tectoniques. La position actuelle du bassin à labordure nord du craton ouest africain, et à l'intersection randes phases orogéniques(Figure I.8), implique un effet commun des grands événements tectoniques qui ont affectés cette région. Depuis l'Eburnéen jusqu'à l'Alpin, les phases orogéniques qui se sont succédées ont donné au bassin de Tindouf son architecture actuelle. Suivant l'impact de ces phases sur la morphologie et la structure du bassin, on peut les classer en trois grandes phases: antéhercyniennes, Hercynienne et Post-Hercyniennes.

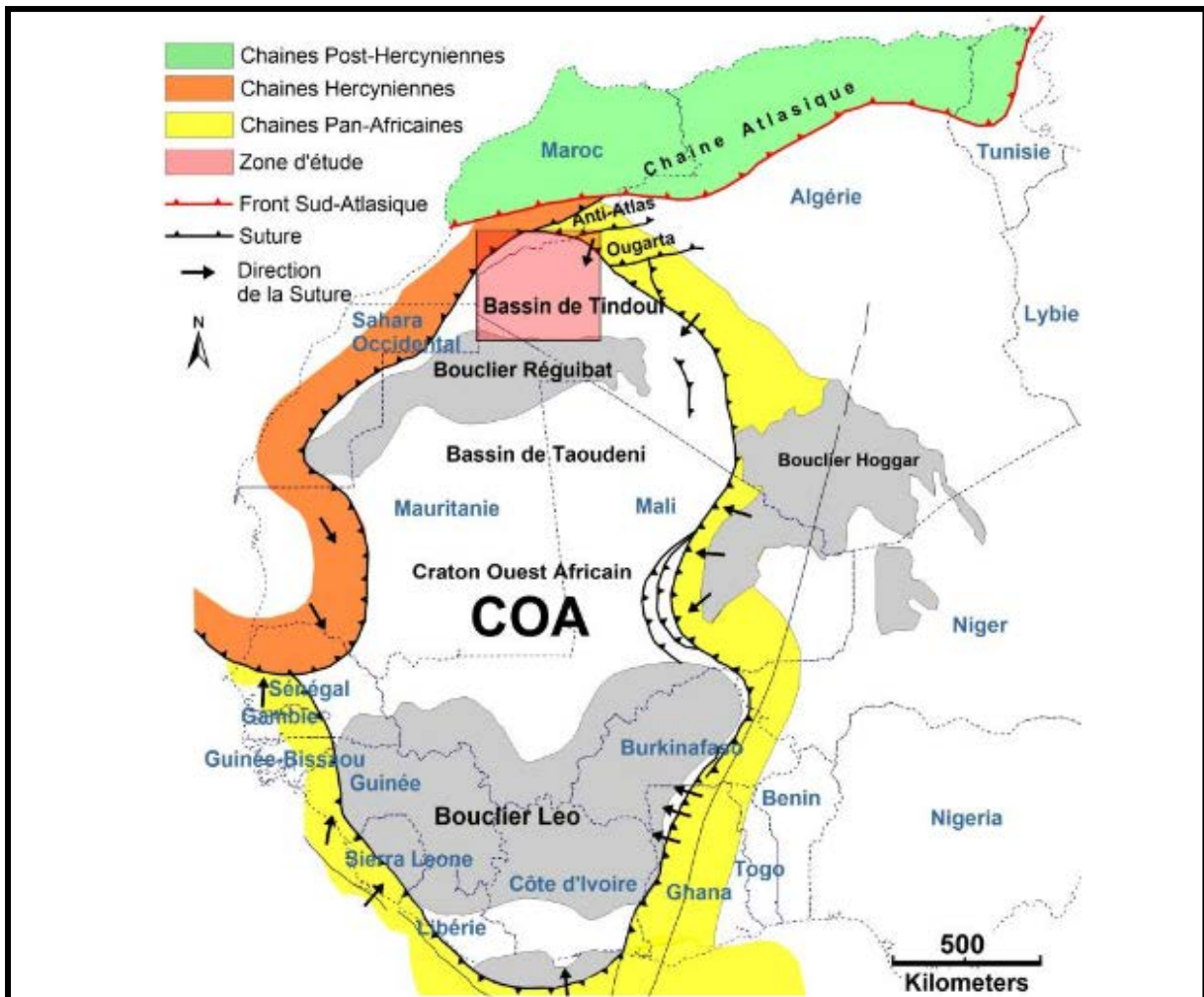


Figure I.8: Situation de la zone d'étude vis à vis des événements géodynamiques, modifiée d'après Peucat (2005).

III.1. Les Phases antéhercyniennes : Ces phases ont abouti à l'individualisation du bouclier Réguibat comme élément structural du craton ouest africain (Kettouche,2009). C'est durant ces phases que les grandes failles profondes ont été mises en place et qui ont été réactivées lors des phases ultérieures. Les événements les plus marquants sont résumés ci-dessous:

III.1.1. La phase éburnéenne (2,21-2,07Ga) : C'est la phase de la première grande collision (Figure I.9) et la formation du super continent Columbia (Zhang,2004), elle est caractérisée par la mise en place de granites au niveau de la dorsale (Drareni,2008) . Cette phase a affecté les séries du Protérozoïque inférieur par des déformations importantes et un métamorphisme intense (Pique and Michard,1989). Des failles de socle ont été mises en place durant cette période, et ont été réactivées durant la phase Panafricaine (Gasquet et *al.*,2005).

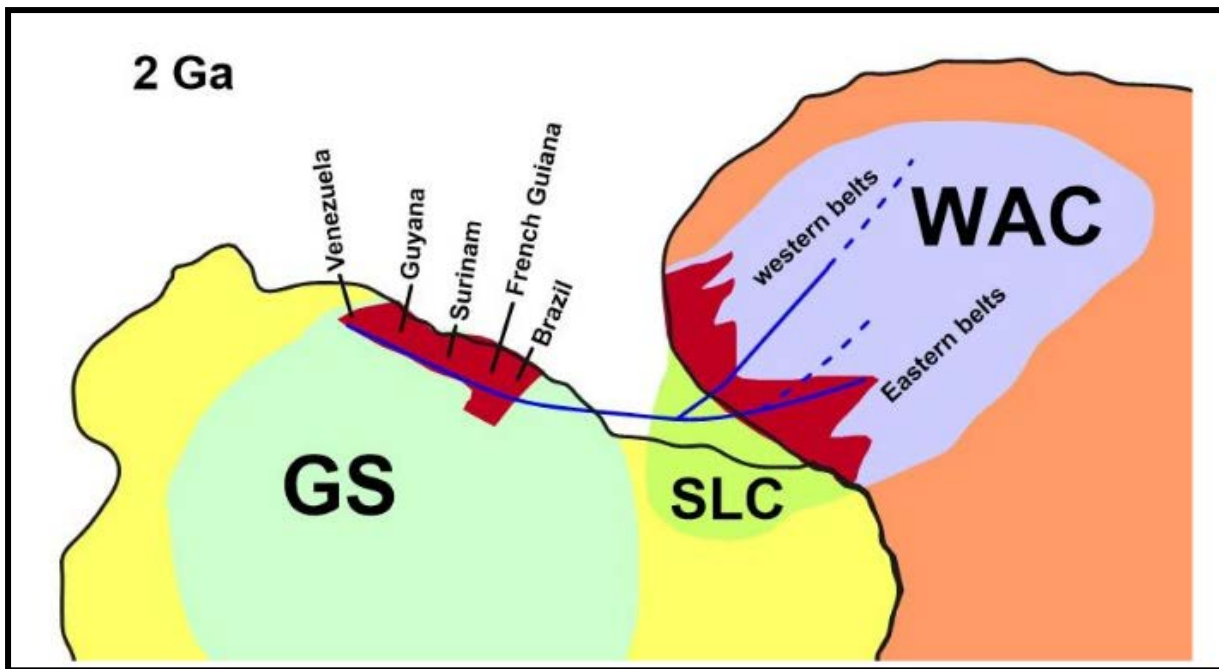


Figure I.9 : Reconstruction paléogéographique à environ 2.0Ga (Mc Reath and Faraco,2006). GS Guyana Shield; SLC São Luiz Craton; WAC West African Craton. En rouge, représentation schématique des régions des ceintures de roches vertes.

III.1.2. L'orogénèse Panafricaine (730-550Ma) Elle est le résultat de la fragmentation du continent Rodinia et la formation du continent Gondwana (Trompette,1997,2000), (figure I.10). Dans le sud algérien, elle résulte de la collision entre la marge passive (stable) du craton ouest africain et la marge active (mobile) du continent, représentée par le bouclier Touareg à l'Est (Black et al.,1979; Boullier, 1979; Liégeois,1988), et le continent Avalonien du nord marocain au Nord (Villeneuve and Cornée,1994).

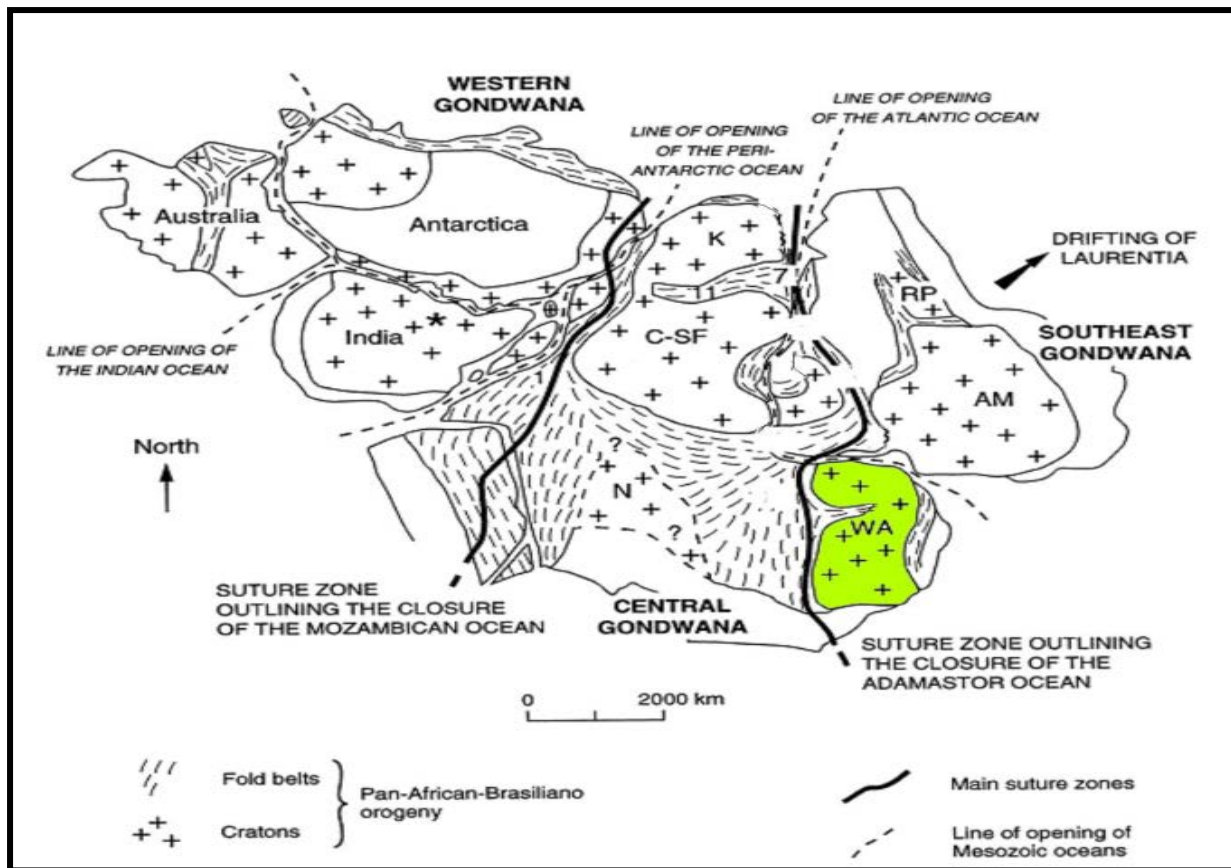


Figure I.10: Fragmentation du continent Rodinia et apparition du continent Gondwana Est (Trompette,2000).

Cette collision a donné naissance aux chaînes de montagnes de l'Anti-Atlas au Nord, de l'Ougarta au Nord-Est et la chaîne panafricaine du Hoggar à l'Est. Elle est caractérisée par la mise en place de nappes dans la région de l'Ahnet-Mouydir (Haddoum et *al.*,2001) ainsi que l'apparition de bassins subsidés de part et d'autre de la suture (Guiraud et *al.*,2005). Cette phase serait le responsable de la réactivation des anciennes failles du socle, et de l'apparition des failles normales N-S et E-O affectant le socle précambrien. Les failles N-S seraient le résultat de la subduction du craton sous le bouclier Touareg et la formation de la chaîne panafricaine du Hoggar (Meddaouri,2004). Les failles orientées E-O seraient quant à elles le résultat de la subduction du craton ouest africain sous le continent avalonien au nord, et la formation de l'Anti-Atlas (Ennih and Liégeois ,2001). Dans une étude géophysique sur le bassin de Tindouf (Idres et *al.*,2011), le sauteur sont montré l'allure du socle qui est structuré en horsts et grabens orientés globalement E-O. Cette phase a produit aussi des bombements du socle, ce qui par la suite a influencé la sédimentation au Paléozoïque (Figure I.11).

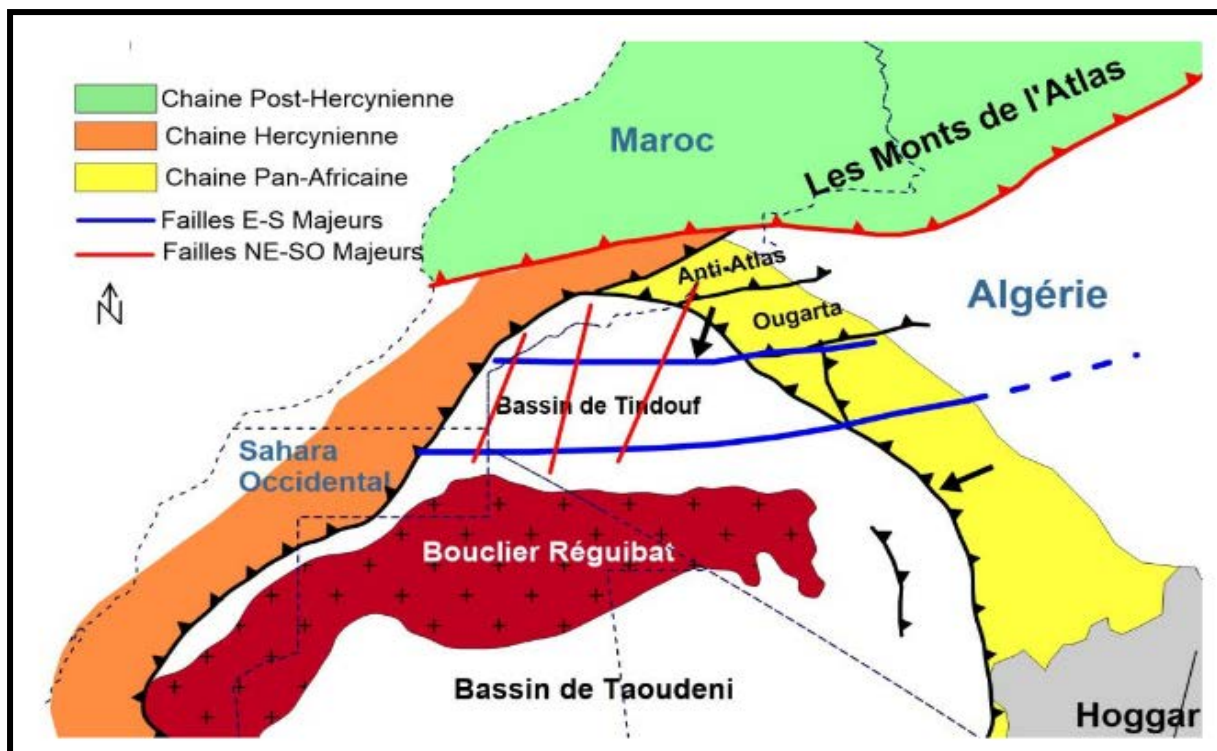


Figure I.11 : Les failles majeures provoquées par les deux collisions de craton ouest africain avec le bouclier Touareg et le continent Avalonian.

III.2. L'Orogénèse Hercynienne :

.Son rôle est très important dans la structuration du bassin de Tindouf, notamment en son flanc nord, où ses effets sur les séries paléozoïques sont très remarquables. Cette phase débute au Dévonien moyen et s'achève au Permien. Elle est le résultat de la collision entre le continents Laurentia (Craton Nord-Américain) et Gondwana (Craton Ouest-Africain). L'évènement hercynien est appelé aussi "évènement varisque", ou orogénèse Varisque. La même collision au sud, vers la fin de Carbonifère est appelée orogénèse alléghanienne (Figure I.12). Elle a évolué en deux grandes phases de déformation, une première, au début du Dévonien distensive et la deuxième transpressive vers la fin du Stéphanien (Medaouri,2004;Belfoul et *al.*,2001). Cette phase est caractérisée par la remobilisation des anciennes failles du socle (Eburnéennes et Panafricaines), ce qui a engendré au niveau du flanc nord, des déplacements latéraux visibles en surface à travers les empilements de nappes, des plissements et des décollements (Idres,2011). D'autre part, la tectonique ductile durant cette phase a donné naissance aux belles structures en plis (Adhim-Filou,Zemoul-Igma,Tinfouchy-Assejmi...etc), et la remobilisation des anciennes failles a été intense sur les deux flancs.



Figure I.12: Collision des Continents Laurentia et Gondwana et la formation de la chaîne hercynienne (Blakey,2014).

III.3. Les phases Posts-Hercyniennes : dans le bassin de Tindouf se résument en deux évènements, Le premier évènement est la mise en place de grandes quantités de magma suite à la dislocation de la Pangée et l'ouverture de l'océan Atlantique. Les traces de déformation liées à cette activité magmatique sont minimales dans le bassin de Tindouf, quelques bombements générés par la remontée du magma sont signalés dans les cheminées de Zemoul, Igma, Tinfouchy et Smeïra.

Le deuxième évènement est l'évènement alpin ou orogénèse alpine. Les témoins de cette phase sont rares dans le bassin de Tindouf : Medaouri(2004) a signalé des bombements dans les dépôts de la Hamada au niveau de Oum-El-Assel.

IV. Méthodologie :

Dans ce travail on consiste sur le carbonifère du bassin de Tindouf, pour résoudre notre problématique ont été suivi une étude géologique et sédimentologique ,et des observations sont complétées par des travaux classiques de laboratoire :

- En premier lieu, une recherche bibliographique sur tous ces aspects (différentes articles de revue, des cartes géologiques, cartes structurales, et des thèses, mémoires...etc) .
- étude des lames minces, (à partir de l'étude pétrographique des échantillons prélevés dans la localité de trois coupes, (Oum El Acher, Aouinet El Maiez, et Tafgount) sera réalisée au microscope polarisant sur les lames minces,).
- analyse des diagraphies de quelques sondages.

Chapitre II

Pétrographie

I. Introduction :

L'étude pétrographique :

- L'étude pétrographique a pour but la caractérisation de la composition texturale de la roche. Elle est réalisée sur des lames minces qui sont analysées au microscope optique polarisant en lumière transmise ou réfléchi, avec prise des photos.
- Pour ce faire, des échantillons ont été prélevés à des cotes variées au niveaux des 3 coupes qui sont Oum El Acher, Aouinet El Maiz, et Tafagounte.
- Cette approche permet de différencier et de comparer les différents milieux de dépôts des sédiments, par la description et identification des éléments figurés qu'ils contiennent, leur nature de phases de liaison (sparite ou ciment, matrice)...etc., en utilisant deux classifications pour déterminer ces observations en lames minces (
 - classification de FOLK (1959), classification de DUNHAM (1963) sont utilisées pour les roches calcaires.
- Après avoir déterminé les environnements de dépôt de chaque niveau stratigraphique, on fait l'analyse microfaciologique des coupes séparément.

II. Rappels :

II.1. Le principe du microscope polarisant :

Le microscope polarisant (photo II.1) est l'instrument qui permet l'analyse des lames minces de roches d'épaisseur conventionnelle de 30 micromètres. Il diffère du microscope de biologie par la présence d'une platine circulaire mobile et d'un double système de polarisation de la lumière constitué d'une plaque polaroïd sous la platine, nommée polariseur, et d'une autre amovible, entre objectif et oculaire, nommée analyseur. Ces deux plaques sont montées orthogonalement.

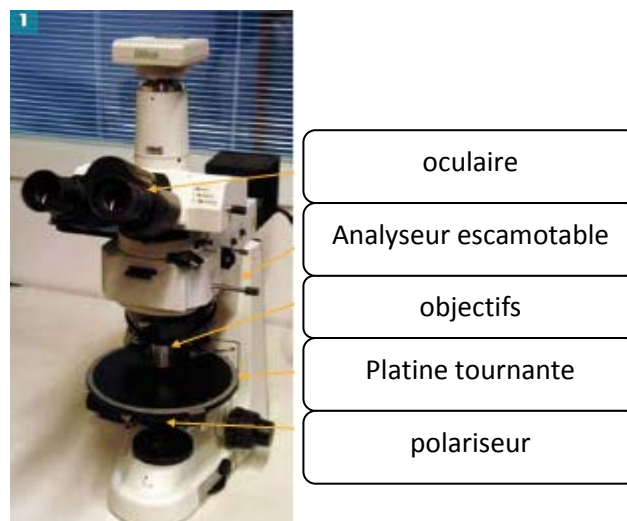


Photo II.1 : microscope optique polarisant

II.1.1 L'observation en lumière polarisée non analysée (LPNA) :

Cette observation, encore appelée « lumière naturelle », permet de repérer la forme, le relief (lorsque l'indice de réfraction du minéral est nettement plus élevé que celui du milieu de montage, (Figure II.2), les clivages et la couleur naturelle de certains minéraux. En effet les minéraux sombres à l'œil nu conservent en lame mince un reste de couleur et, pour certains (biotite, glaucophane...), cette couleur change lors de la rotation de la platine en raison d'une absorption différente de la lumière polarisée selon leur orientation ; c'est le phénomène de pléochroïsme (Figure II.3 3a et 3b).

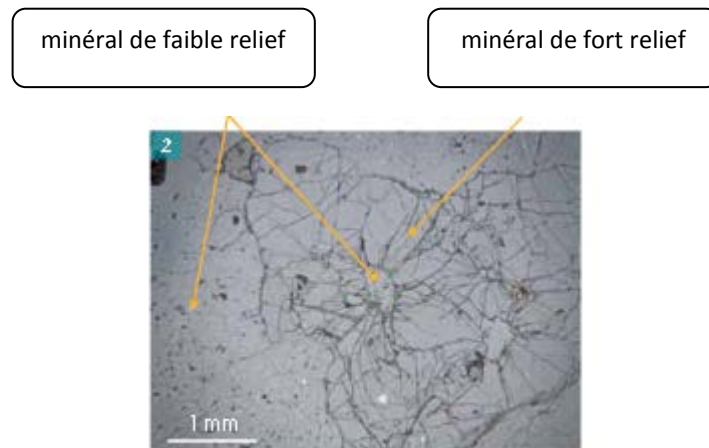


Figure II.2 : Le relief des minéraux en LPNA



Figure II.3 3a et 3b : changement de couleur des minéraux (ici de la biotite - Bt) lors de la rotation de la platine

II.1.2 L'observation en lumière polarisée analysée (LPA) :

L'observation en lumière polarisée analysée (LPA) est conduite lorsque l'analyseur est en place. Les minéraux présentent alors des teintes de polarisation permettant leur identification. Ces teintes résultent de la propagation des vibrations lumineuses lors de la traversée d'un cristal. Celui-ci constitue généralement un milieu anisotrope, chaque section présentant un indice de réfraction minimal n_p et un indice maximal n_g orthogonal au précédent. Lorsque la lumière polarisée, qui vibre donc dans un seul plan, pénètre dans le cristal, elle donne naissance à deux vibrations de même amplitude mais qui se propagent à des vitesses différentes selon les deux indices de réfraction. Les deux vibrations ressortent déphasées ; elles

traversent l'analyseur ce qui conduit à la disparition de certaines longueurs d'onde et à une résultante qui définit la teinte de polarisation. Pour une épaisseur de lame donnée, cette teinte est fonction de la différence ($n_g - n_p$) appelée biréfringence de la section. Elle dépend de l'orientation de la plage traversée par rapport au système cristallin du minéral. Pour une plage donnée, la biréfringence varie avec la rotation de la platine, présentant quatre maxima d'intensité ainsi que quatre positions d'extinction

II.2 Caractères généraux :

Les roches sédimentaires se forment à la surface de la Terre ; toujours d'origine secondaire, elles proviennent de l'altération de roches préexistantes, magmatiques, métamorphiques ou déjà sédimentaires. Les roches sédimentaires sont presque toujours litées ou stratifiées, la puissance des couches variant de l'échelle millimétrique à des échelles décamétriques. La stratification s'observe le plus souvent à l'échelle de l'affleurement et, parfois, à l'échelle de l'échantillon. Les roches sédimentaires peuvent contenir des fossiles (coquilles, restes de plantes, tests d'organismes planctoniques, empreintes de terriers, traces de pas...). Ces deux critères associés constituent un élément certain d'identification des roches sédimentaires. Celles-ci peuvent être classées en fonction de l'origine ou de la nature de leurs constituants.

Classification génétique des roches sédimentaires, L'origine des constituants permet de distinguer :

- les roches détritiques ou terrigènes formées à partir des particules issues de l'altération des reliefs ;
- les roches biochimiques dont la formation fait intervenir l'action des êtres vivants, de manière directe lorsqu'ils prélèvent dans le milieu des solutés minéraux pour édifier leur squelette (coquilles, tests, polypiers...), ou indirecte lorsque leur activité métabolique conduit à la précipitation de solutés minéraux (précipitation de la calcite en lien avec la photosynthèse par exemple) ;
- les roches d'origine chimique obtenues par précipitation purement chimique de solutés, sous l'effet de l'évaporation de l'eau de mer par exemple.

II.2.1 Classification chimique des roches sédimentaires :

Elle se fonde sur la nature des constituants principaux, avec pour classes principales :

- les roches carbonatées, contenant du carbonate de calcium CaCO_3 (cristallisant sous forme de calcite ou d'aragonite) ou du carbonate de calcium et de magnésium $\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2$ (sous forme de dolomite) ;
- les roches siliceuses, constituées essentiellement de silice SiO_2 sous forme de quartz ou de produits finement cristallisés (opale...) ;
- les roches salines, comprenant notamment des chlorures et des sulfates.

II.2.2 Analyse d'une roche sédimentaire :

Elle vise à retrouver, grâce à l'examen attentif de la roche, à l'œil nu, à la loupe ou au microscope, et au moyen de quelques tests simples (réaction ou non à l'acide chlorhydrique dilué, dureté par rapport au verre, au clou ou à l'ongle, comportement à l'eau... voir figure 1) :

- la composition chimique de la roche ;
- les caractères de ses constituants (taille, forme des grains, nature des fossiles) et de leur ciment ;
- son origine et les modalités de sa genèse (milieu et conditions dans lesquelles le dépôt s'est effectué : marin ou continental, peu profond ou profond, agité ou non, chaud ou tempéré...). Les deux premiers points doivent conduire à nommer précisément la roche.

II.2.3. Classification des roches détritiques :

Ce sont les roches sédimentaires les plus abondantes. Elles contiennent très souvent du quartz, minéral très résistant à l'altération, mais pas exclusivement (des fragments calcaires y sont assez fréquents). Elles sont classées selon la taille ou granulométrie des éléments figurés qui les constituent (tableau II.1). Y sont distingués les sédiments qui ne sont pas à proprement parler des roches car non consolidés, et les roches issues de leur cimentation. La (figure II.4) illustre les principaux environnements où se rencontrent les formations détritiques.

Taille des grains	> à 2 mm	De 2 mm à 1/16 mm	< à 1/16 mm
Nom de classe	Rudites	Arénites	Lutites
Exemple de sédiments	Cailloutis , graviers, galets..	Sables (grossiers, moyens, fins...)	Vases argileuses , limons
Exemple de roche	Conglomérats: brèches et Poudingues	Grés	Argilites , pélites

Tableau II.1: Classification des sédiments et des roches sédimentaires détritiques.

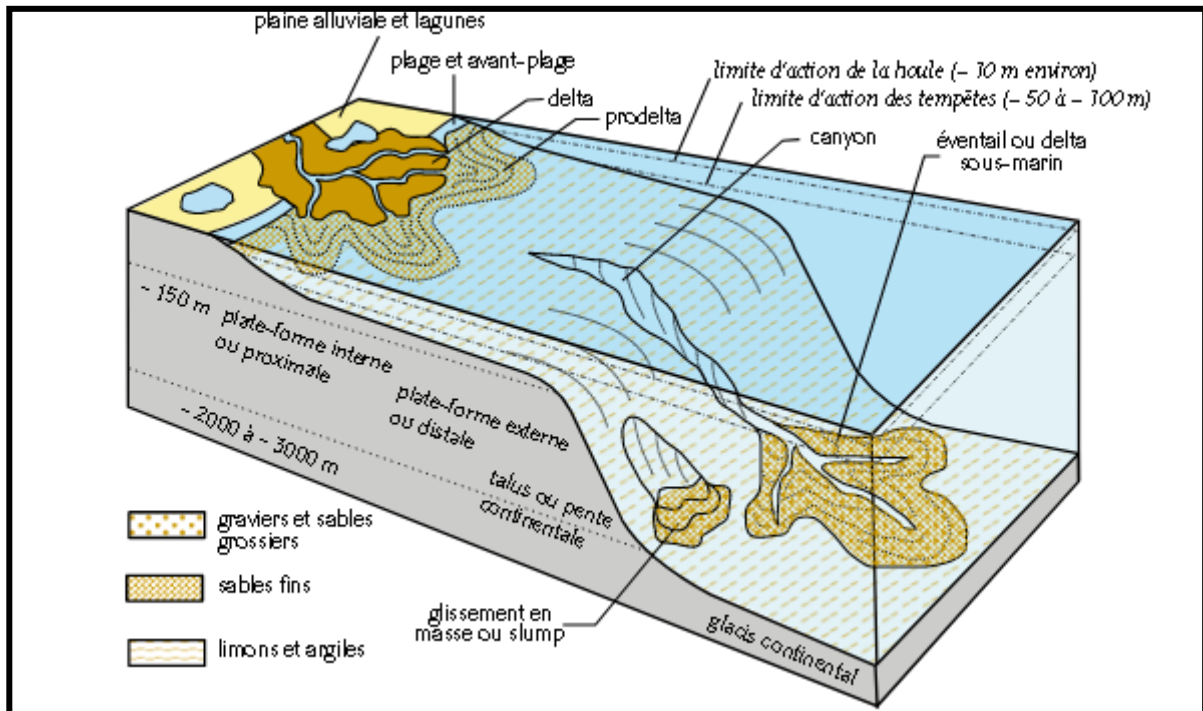
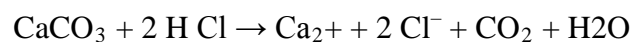


Figure II.4 : Principaux environnements de la sédimentation détritico-terrestre

II.2.4. Classification des roches carbonatées :

Les roches carbonatées sont les roches dont les espèces chimiques sont des carbonates, principalement CaCO_3 et dans une moindre mesure $\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2$. Le carbonate de calcium cristallise sous forme de calcite essentiellement, ou d'aragonite. Les calcaires contiennent au moins 50 % de CaCO_3 . Outre leur dureté inférieure à celle du verre ou du fer, le critère de reconnaissance des roches calcaires est le test à l'acide chlorhydrique dilué : elles font effervescence à froid à une goutte d'acide selon la réaction :



Deux classifications basées sur des observations en lames minces sont utilisées pour les roches calcaires.

➤ Classification de Folk (1959) :

Elle est fondée sur la nature des éléments figurés dominants et sur la nature de la phase de liaison :

- **Les éléments figurés** (ou allochèmes) : se subdivisant eux-mêmes en fonction de leur origine en : **bioclastes** : restes de coquille ou de tests, entiers ou fragmentés ; **oolithes** : petites billes à organisation concentrique ; **péloïdes** : particules ovoïdes de type pelotes fécales des organismes.
- **La phase de liaison** : des éléments peut être :

_ **La matrice ou micrite** qui correspond à la boue de calcite microcristalline déposée en même temps que les éléments figurés. La micrite apparaît mate, sombre à l'œil nu et marron foncé en lame mince. (photo II.5).

_ **Le ciment, nommé sparite**, qui correspond à des cristaux de calcite se mettant en place postérieurement à la sédimentation, lors de leur compaction ou diagenèse. La sparite apparaît translucide à l'œil nu et en lame mince, sous LPA (photo II.6).

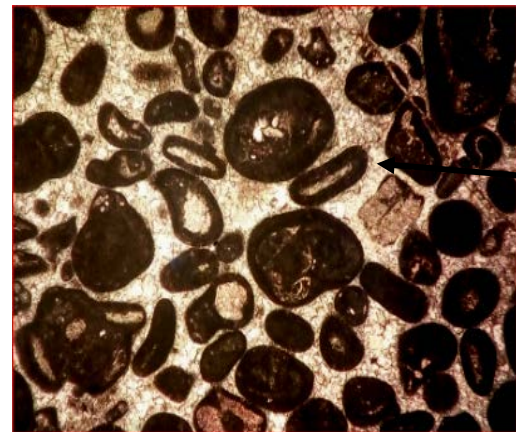
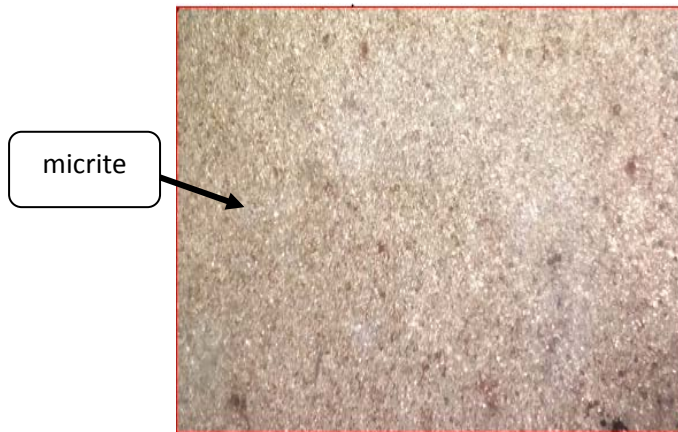


Photo II.5 : Matrice ou ciment d'un calcaire en LPA, de la lame mince OEA

Photo II.6 : Ciment ou sparite d'un calcaire oolithique en LPA (oosparite), de la lame mince OEA 1

Le nom de la roche est formé d'un préfixe qui désigne les éléments figurés majoritaires et d'un suffixe se rapportant à la phase de liaison (ciment ou matrice) ; exemple biomicrite, oosparite...(tableau II.2). Dans les cas particulier des calcaires construits, on parle de biolithites.

Elements figurés dominants	Matrice dominante (micrite)	Ciment dominant (sparite)	Construction
Bioclastes	Biomicrite	Biosparite	Biolithites
Oolithes	Oomicrite	Oosparite	
Péloïdes	Pelmicrite	Pelsparite	

Tableau II.2 : Classification simplifiée des calcaires selon Folk (1959)

➤ **Classification de Dunham (1963) :**

Trois types d'éléments sont pris en compte : la disposition des éléments figurés dénommés « grains », leur abondance, et la présence ou l'absence de boue carbonatée (figure II.7).

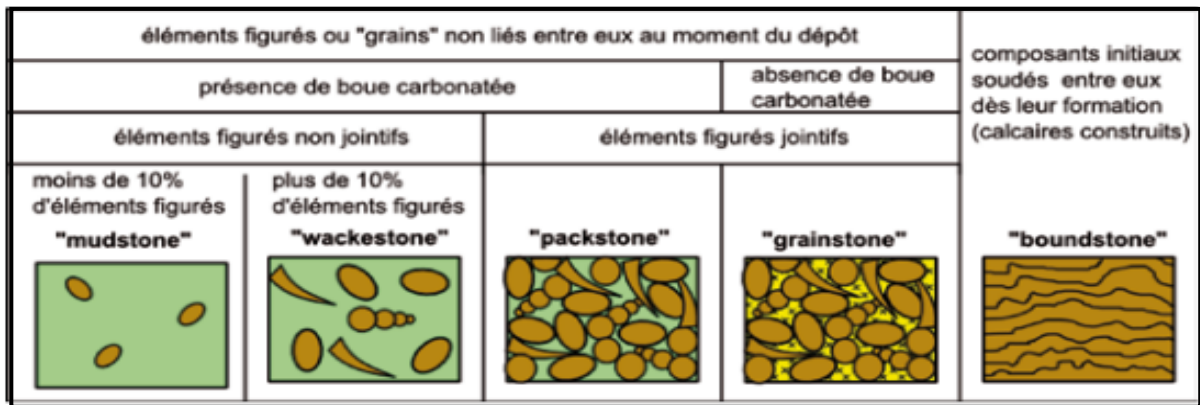


Figure II.7 : Classification simplifiée des calcaires selon Dunham (1963).

Ces deux classifications sont complémentaires et sont souvent combinées dans la pratique ; ainsi on parle par exemple de « grainstone » oolithique pour désigner une oosparite à grains jointifs et sans micrite. La (figure II.8) présente les divers environnements de la sédimentation carbonatée actuelle et la distribution des communautés biologiques, benthos (organismes vivant sur le fond), necton (organismes nageurs) et plancton (organismes qui flottent).

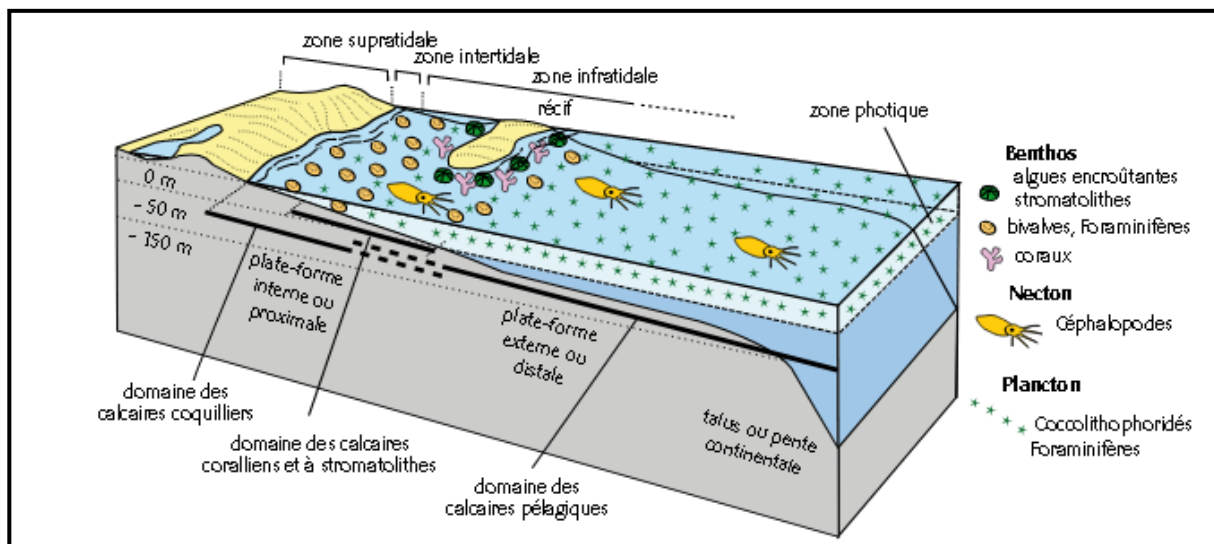


Figure II.8: Les principaux environnements de la sédimentation carbonatée.

II.2.5 Les différents milieux de dépôts :

Pour la reconstitution des environnements sédimentaires anciens on utilise l'analyse séquentielle et l'information fournie par les organismes fossiles. (Le tableau III.2)résume les différents milieux de dépôt:

Domaine de sédimentation	environnement	Facies	Structure sédimentaire	Type de séquence
continental	<p>Désertique : vaste étendue de sable moyen a fin Végétation inexistante climat aride ou semi aride.</p>	<p>Dépôts éoliens qui sont : dunes : un ensemble de dunes constitue des ergs. Sebkha : bassin de sédimentation surtout évaporitiques.</p>	<p>Stratification entrecroisées. Rides.</p>	
	<p>Fluvatile : sédiment qui s'accumulent par ruissèlement d'eau Système fluvatile en tresse : zone à gradient topographique important charge sédimentaire variable. Faible sinuosité majeur</p> <p>Système fluvatile à méandre : pourcentage d'argile important. Un seul chenal unique très sinueux.</p>	<p>Dépôt de chenaux : se manifeste par des séquences à base érosion. Dépôts grossiers. Dépôts de barre : forment le sommet des séquences sable moyen à fin.</p> <p>Dépôt de chenaux : à prédominance sableuse, grossier à la base dépôt fin au sommet. Alternance de sable fin et des argiles à l'extrême sommet avec des traces de racines.</p>	<p>Stratification de type feston.</p> <p>Stratification obliques rides et laminations planes.</p> <p>Stratification obliques</p> <p>Stratification entrecroisées.</p> <p>Laminations parallèles et traces de racines.</p>	<p>Séquence en forme cylindrique à évolution granostrato-décroissante</p> <p>Séquence en forme de cloche à évolution grano-décroissante.</p>

<p>Domaine mixte</p>	<p>Delta : c'est une accumulation sédimentaires transportée par les cours d'eau, Freire au contact d'une étendue d'eau (lac, mer, océan).</p> <p>Plaines deltaïques supérieurs : dominée par les fleuves.</p> <p>Plaines deltaïques inférieures : dans ce domaine les courants des fleuves et les actions des vagues s'affrontent.</p> <p>Le front de delta : se trouve dans la zone profonde caractérisée par des séquences d'énergie et de granulométrie croissante.</p> <p>Le pro-delta : talus deltaïque.</p>	<p>Dépôts grossier suivies de dépôts fin.</p> <p>Cordons littoraux, grés très fins.</p> <p>Argiles à slumps.</p> <p>Grés fin à moyens, dépôts de cordons.</p> <p>Ce sont des dépôts très fins.</p>	<p>Stratifications oblique et laminations planes.</p> <p>Slumps.</p> <p>Stratification oblique de haute énergie.</p>	<p>Séquence à base ravinante et à évolution grano-décroissante. (Séquence en forme de cloche).</p> <p>C'est une séquence négative (corseningup)</p>
<p>Marin</p>	<p>Zone néritique : correspond à la zone de la plate forme continentale (entre 0 et 200m de profondeur).</p> <p>Zone supratidale : peut évoluer en lagune de base énergie.</p> <p>Zone intertidale : souvent immergée, elle est soumise à l'action de la marée.</p> <p>Zone infratidale : immergée en permanence sous l'eau.</p> <p>Zone bathyale : talus+ glacis.</p> <p>Zone abyssale : zone de basse énergie, froide et calme.</p>	<p>Eléments fins évaporites.</p> <p>Dunes aquatiques formées de carbonates.</p> <p>Sous l'effet des tempêtes se forme des brèches d'érosion.</p> <p>Des dépôts de haute énergie.</p> <p>Boue argileuse ou carbonatée, sédiments carbonates (mudstone et wakstone forme de bioclastes).</p> <p>Dépôt de type flysch.</p> <p>Deep sen fan de haute énergie.</p> <p>Boue sil énergie est faible.</p> <p>Boue argileuse siliceuse.</p>	<p>Lamination planes, trace de racines et de dessiccation ainsi que des figures d'émersion.</p> <p>Stratifications entrecroisées, bird eyes, herring bones et rides de courants.</p> <p>Laminations planes.</p> <p>Laminations planes.</p>	

Tableau III.2: les différents milieux de dépôt. In MFD; MESLEM.I, ZID.M.A.2000

III. Analyses des lames minces :

L'étude pétrographique réalisée sur un ensemble de lames minces issues des échantillons recueillis (sur trois coupe de terrains effectuées sur la formation de Ouarkziz du carbonifère de flanc Nord exposées dans la partie NW du bassin Tindouf par F. Amrouche, il s'agit des coupes d'Oum Laachar, Tafegoumt et Aouinet Lemaiz). (Figure II.9), nous a permis des observations détaillées de l'ensemble des séquences.

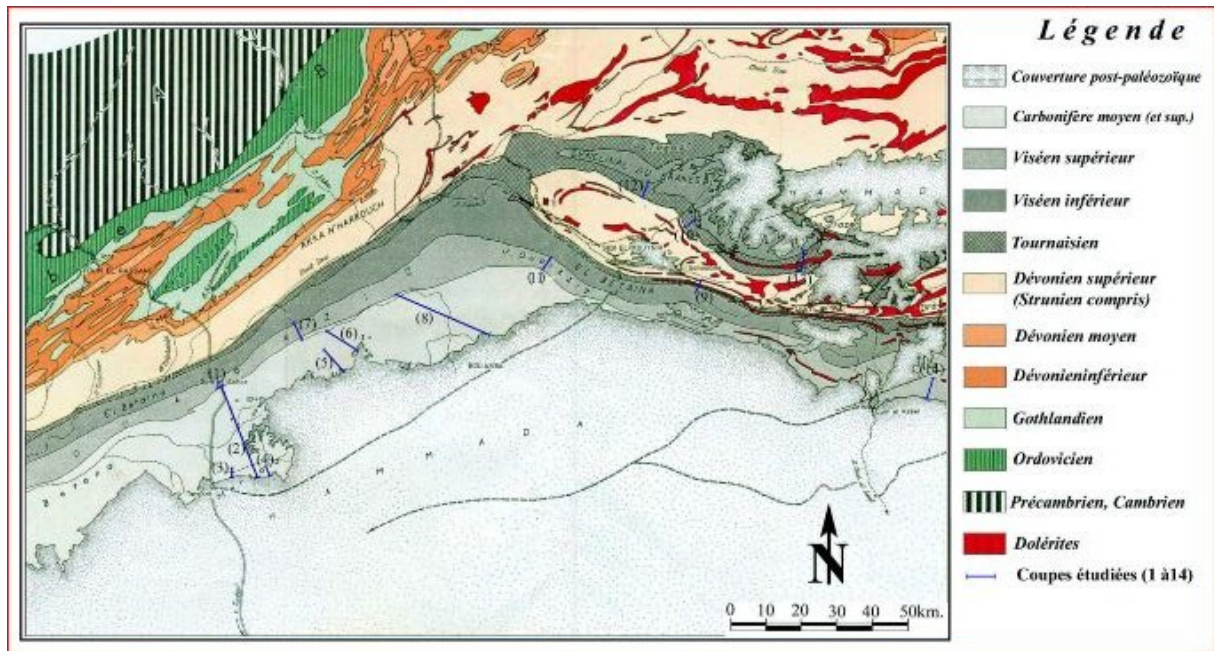


Figure II.9 : Localisation des coupes étudiées.

(1) Oum El Achar; (2) Oum El—Tour de Merkala; (3) Merkala I; (4) Merkala II; (5): Oued Azzem; (6): Nord-Est de Tafagount; (7): **Tafagount**; (8) Foug Farkech—Bouagba; (9): Kheng Barakou; (10): Aguelter Reguibi; (11): **Aouinet Et Mâiz**; (12): Djebel Eregab; (13): Bouzrazer; (14): Smaira. Extrait de la carte géologique schématisée de la région du Draa et du Zemoul (in H. Hollard, 1970; d'après les levés de G. Choubert, P. Jaquemont et les siens)

III.1 . Analyse des lames minces d'Oum El Acher (OEA):

III.1.1. De OEA 1 jusqu'au OEA 7:

Ces unités se caractérisent par un faciès carbonaté représenté par des calcaires cristallins, des calcaires packstones et des calcaires grainstones. Ces derniers se caractérisent par une faune de type marin benthique peu profond suite à la présence des coquilles ou/et débris de coquilles des organismes benthiques tel que les Brachiopodes, les Lamellibranches, les Bryozoaires, les Foraminifères benthiques...etc., parfois recristallisées et/ou dolomitisées.

Des débris d'algues sont également rencontrés dans quelques lames, des débris lithoclastiques de taille et forme variable, des oïdes, des pelletoides sont également observés. (Pl I, photo 1 et 2).

Ces calcaires sont parfois interrompus par des dépôts silicoclastiques représentés par des minéraux argileux tels que les Quartz, les Micas et les Feldspaths indiquant ainsi des épisodes d'influence continentale. (Pl I, photo 3 et 4).

La dolomitisation est absente dans certaines lames mais présente dans d'autres lames. A noter également des cristaux de calcites de recristallisation et une micritisation dans certaines lames.

Les environnements qui caractérisent ces unités sont supratidaux à intertidaux et les séquences sont régressives.

III.1.2. Analyse de lame mince de OEA 8 :

Deux lames ont été prélevées, l'une présente les mêmes caractéristiques énumérées précédemment et indique un milieu supratidal et l'autre possède les caractéristiques d'un milieu calme et protégé sous forme d'un calcaire marneux (mudstone) suite à la présence des stratifications (donc des dépôts par décantation).

Ces lames indiquent une discontinuité majeure ou on est passé d'un milieu supratidal de haute énergie vers un milieu infratidal de basse énergie (Pl II, photo 1 et 2).

III.1.3. Analyse des lames minces De OEA9 jusqu'au OEA24 :

Ces unités se caractérisent par deux grands types de dépôt, le premier c'est un dépôt marin peu profond, et l'autre un dépôt marin profond.

Elles présentent des séquences régressives et d'autres transgressives.

❖ **Dépôts marins peu profond** (intertidale à supratidal) :

c'est un dépôt caractérisés par une faune benthique diversifiée (coquilles ou/et débris de coquilles des organismes benthiques tel que les Brachiopodes, les Lamellibranches, les Bryozoaires, les Foraminifères benthiques, *des endothyra bowmani*, *des paleotextularia longiseptata ...etc.*), et aussi par la présence des lithoclastes (oïdes, pelletoides, endoclastes et exoclastes ...etc.) avec la présence ou pas des cristaux de calcites de recristallisation, de dolomitisation et de micritisation. (Pl III, photo 1 et 2).

Ce sont dans la plupart des temps des calcaires grainstones à lithoclastes ou bioclastes.

❖ **Dépôts marins profond (infratidal) :**

caractérisés par des calcaires mudstone représenté par une faune planctonique mal identifiée et peu présente, des stratifications (laminations) et parfois influencé par les apports continentaux (présence de minéraux argileux). (Pl III, photo 3 et 4).

Planche N° I ; de OEA 1 jusqu'à OEA 07

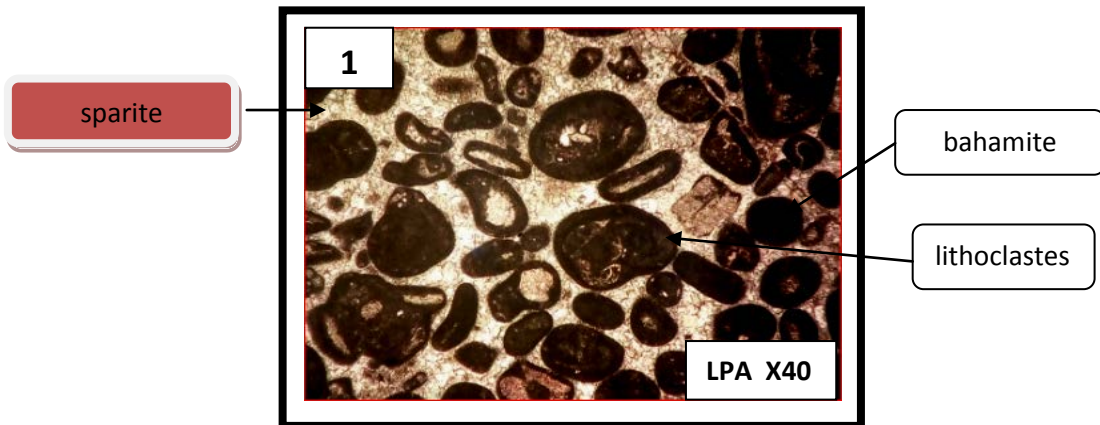


Photo1(lame OEA1) : Calcaire grainstone à oïdes, (spherulites, bahamites des pelletoides,lithoclastes), et quelques foraminifères.

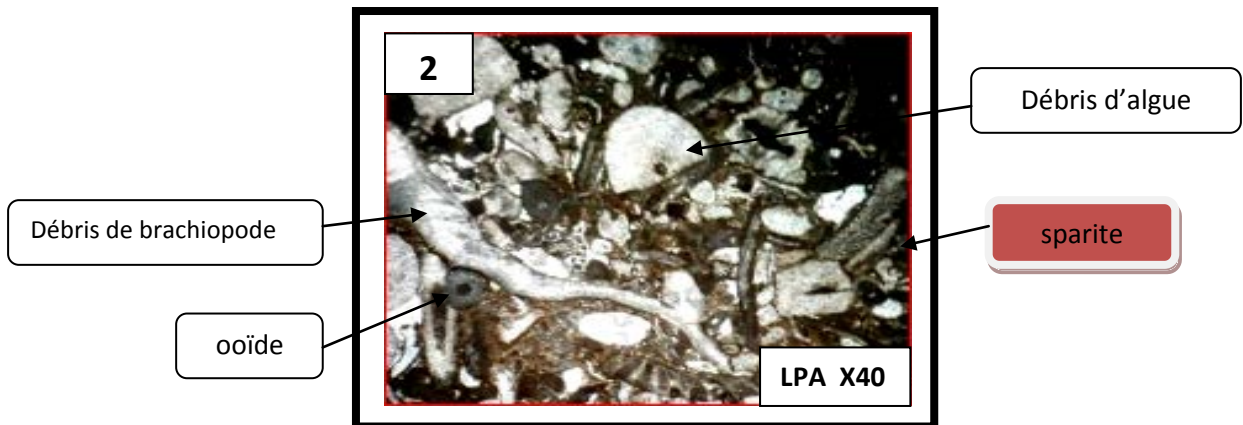


Photo2(autre lame OEA1) : Calcaire grainstone à bioclastes, (débris de coquilles ; brachiopodes, lamellibranche), et débris d'algues.

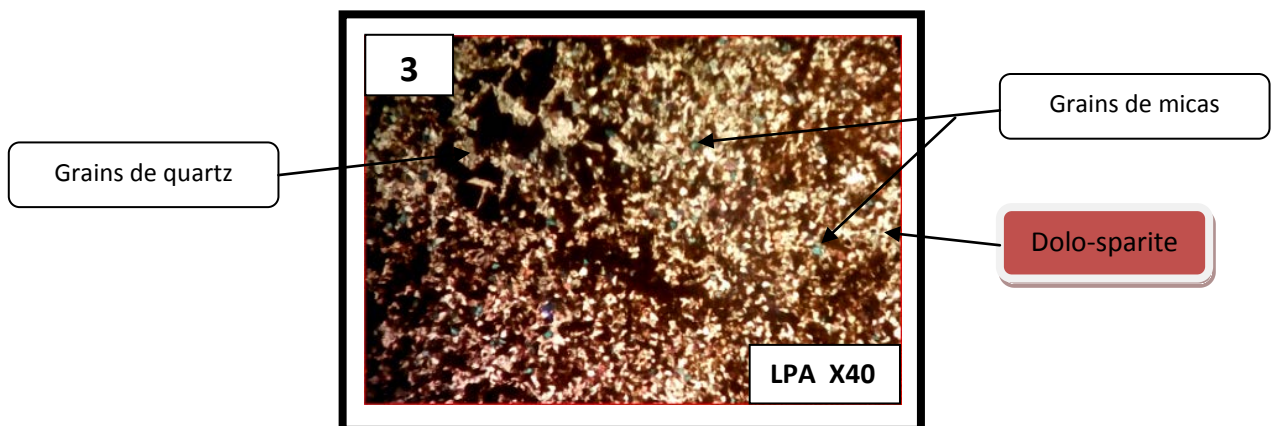


Photo3(lame OEA2) : Calcaire cristallin à influence continentale,(grains de quartz, mica, feldspath, et cristaux de dolomie de petite et grande taille, et cristaux de calcites).

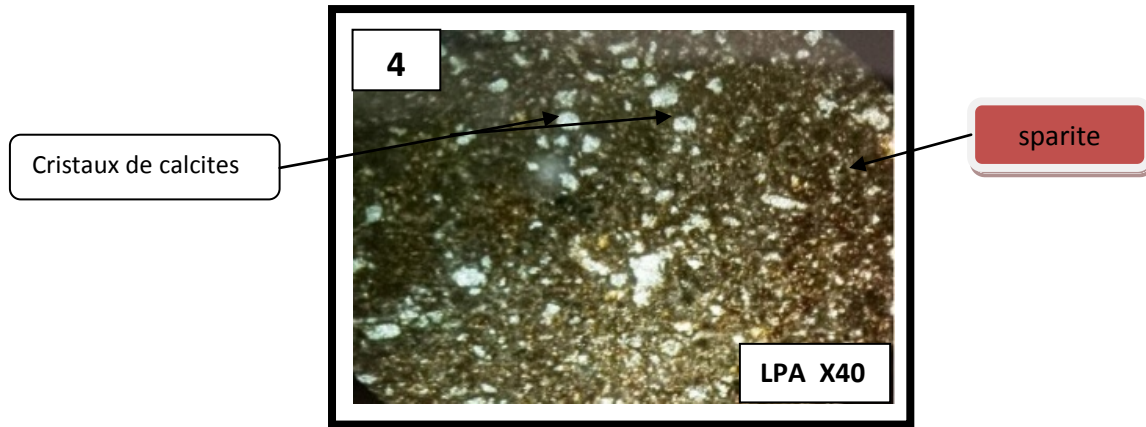


Photo4(lame OEA6) : Calcaire cristallin à influence (apport silico-clastique continental), Minéraux argileux et cristaux de calcite et dolomie.

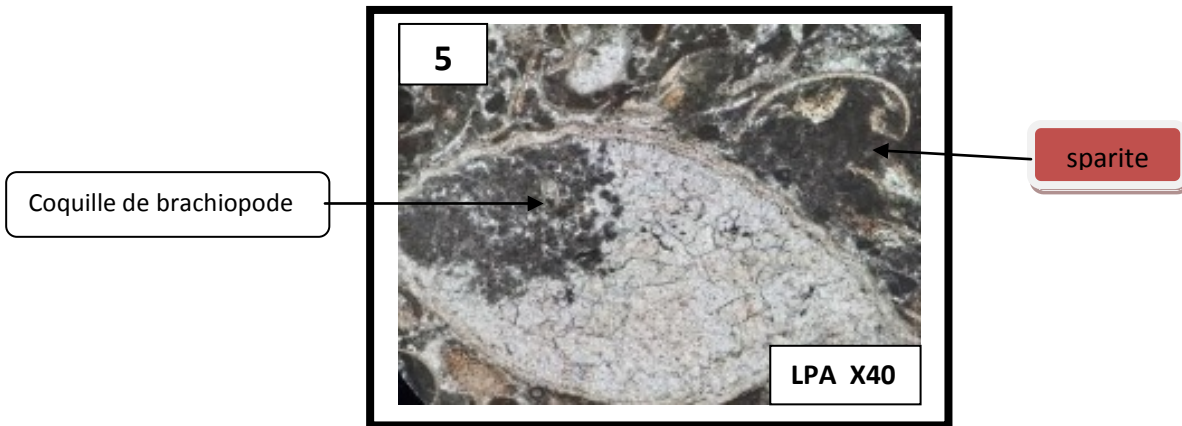


Photo5(lame OEA7) : Calcaire packstone à bioclastes, débris de coquilles et débris d'algues et quelques pellets et lithoclastes.

Planche N°II ,de OEA 8

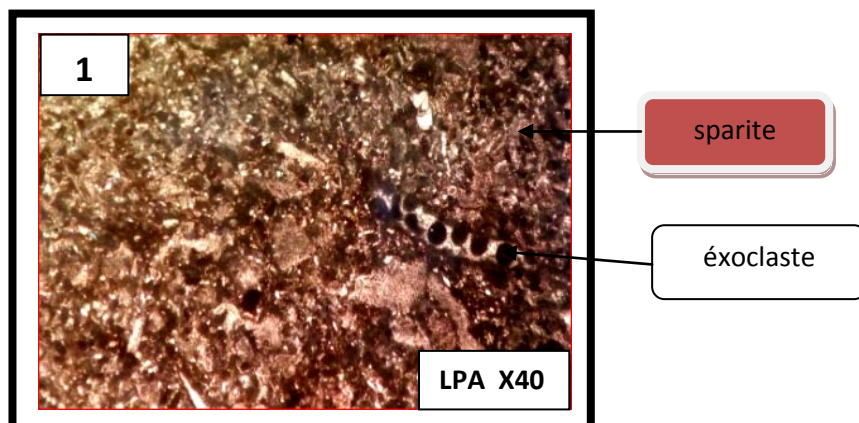


Photo1(lame OEA8) : Calcaire grainstone à bioclaste, (Débris de coquilles Lamellibranches, Gastéropodes, Bryozoaires...etc.); et des Foraminifères (Orbitolines, Fusuline, Miliolles). Et aussi des Sphérulites; Pellettes, exoclastes.

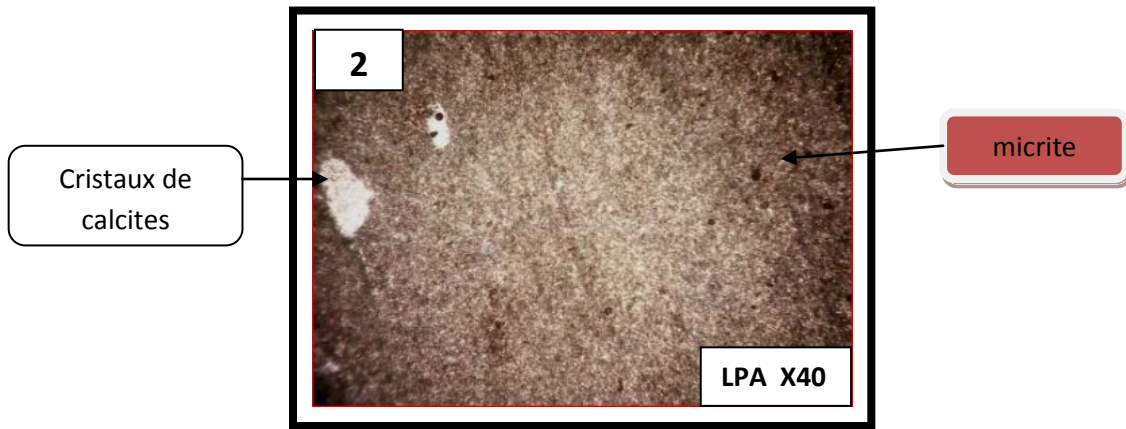


Photo2(autre lame OEA8) : Calcaire marneux, cristaux de calcites, aucun bioclastes.

Planche N° III, de OEA 9 jusqu'à 24

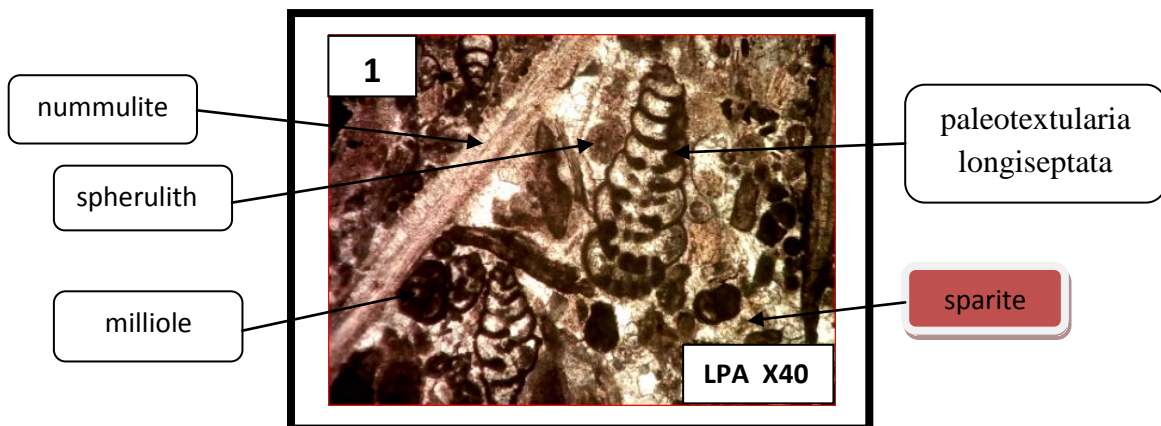


Photo1(lame OEA11) : Calcaire grainstone à bioclastes, débris de coquilles (Brachiopodes, Gastéropodes, Foraminifères benthiques...etc.); Foraminifères (Nummulite, Fusulines, Miliolles altérées, des endothyra bowmani, des paleotextularia longiseptata); Algues. Et aussi des les pellets , spherulites.

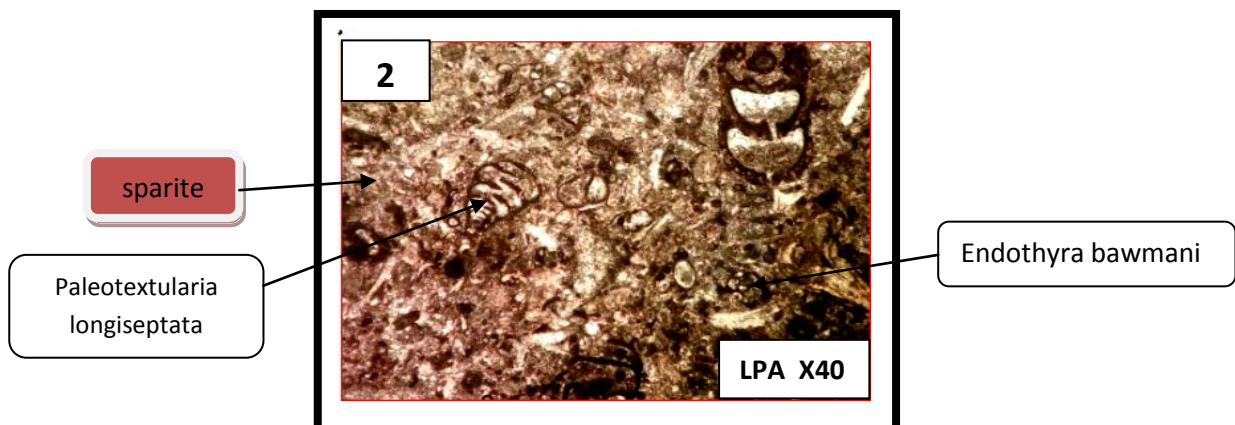


Photo2(lame OEA16) : Calcaire grainstone à bioclastes, Débris de coquilles (Brachiopodes, Lamellibranches, Gastéropodes...etc.); Gastéropodes; Foraminifères (Fusulines, Miliolles, Textularida...). des lithoclastes et pellets.

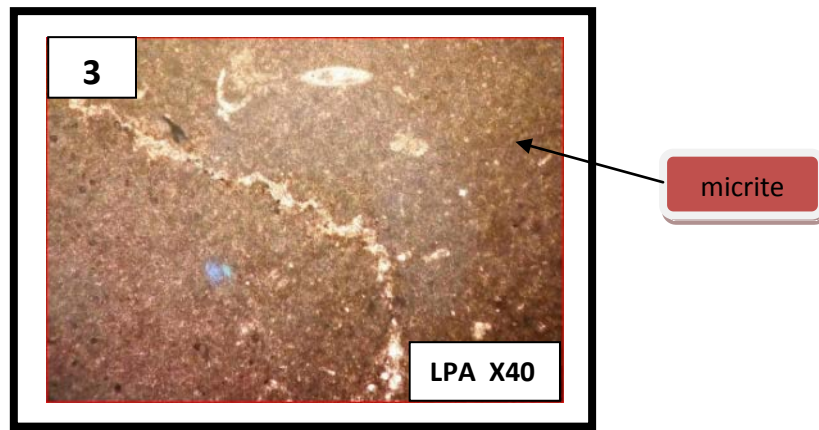


Photo3(lame OEA17) : Calcaire mudstone à bioclastes.

III.2. Analyse des lames minces du Aouinet El Maiz (Hassi Mounir), HM :

III.2.1. A partir de HM1 jusqu'à HM15 :

Ces unités se caractérisent par un faciès carbonaté dominant représenté par des calcaires grainstones ou packstones, bioclastiques ou lithoclastiques.

Ces derniers se caractérisent par une faune marine benthique peu profonde (présence des tests de Foraminifères benthiques, des Brachiopodes, des gastéropodes, (*des endothyra bowmani*, *des paleotextularia longiseptata* ...etc.), et par la présence des débris d'algues (*Koninckopora minuta*), par des lithoclastes (ooides, pelletoides, oncoïdes ; exoclastes ...etc.). L'influence continentale présentée par les grains de Quartz, Micas et Feldspaths et rarement notée.

Quelques lames minces présentent une faible dolomitisation contrairement à d'autres qui présentent une forte dolomitisation (lame HM4). A noter également, la présence de recristallisation et de micritisation dans quelques lames. Les environnements de dépôt sont intertidaux voir supratidaux. (Pl IV, ph1 et 2).

III.2.2. Analyse de lame mince HM16 :

elle se caractérise par un faciès carbonaté de haute énergie représenté par un calcaire grainstone à sphérulites indiquant ainsi l'installation d'un récif oolithique. (Pl V, ph1 et 2).

III.2.3. HM 20 & HM22 :

C'est une séquence régressive, infratidale à la base (lame HM20) représentée par un calcaire mudstone à lithoclastes et intertidale au sommet (lame HM22) représentée par un calcaire packstone à bioclastes. (Pl VI, ph1 et 2).

Planche N°IV, de HM1 jusqu'à HM 15

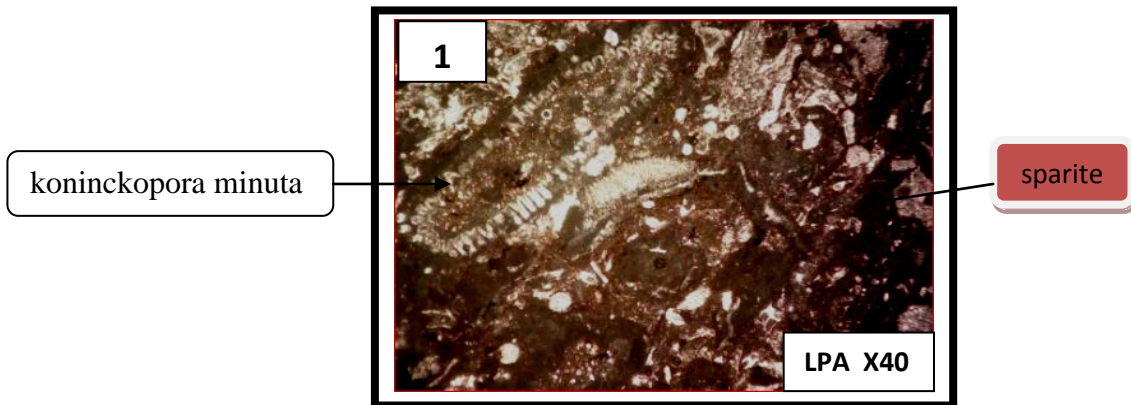


Photo 1(lame HM7) : Calcaire packstone à lithoclastes, Débris d'algues ; Coquilles des Foraminifères (Miliolites) et des koninckopora minuta; Coquilles d'Ostracodes...et aussi présence de oolithes et lithoclastes.

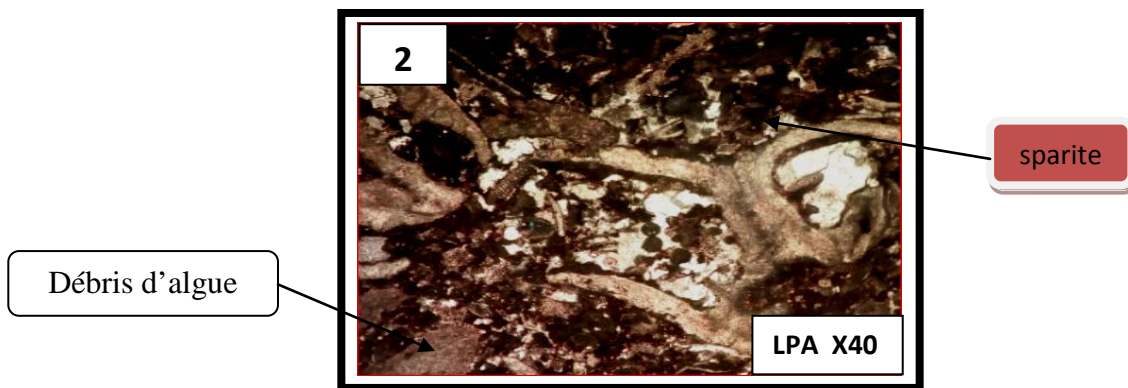


Photo 2(lame HM12) : Calcaire grainstone à bioclastes, Débris de coquilles (Brachiopodes, Lamellibranches, Bryozoaires; ...etc.); Débris et coquilles de Foraminifères benthiques (Orbitolines, Fusulines,...etc.); Débris d'algues; Echinodermes; Crinoïdes; Ostracodes.

Planche N°V, de HM 16

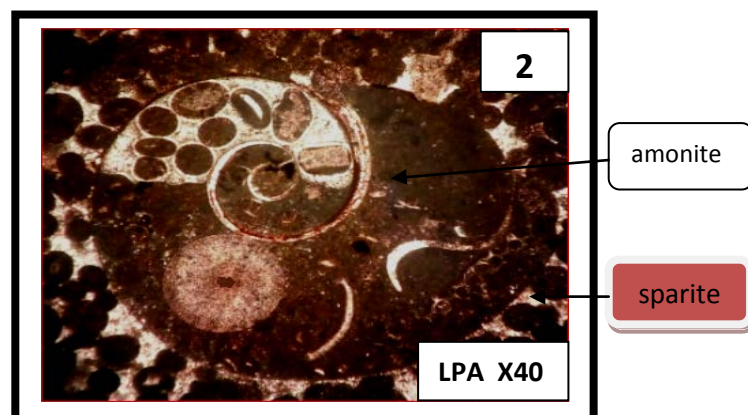
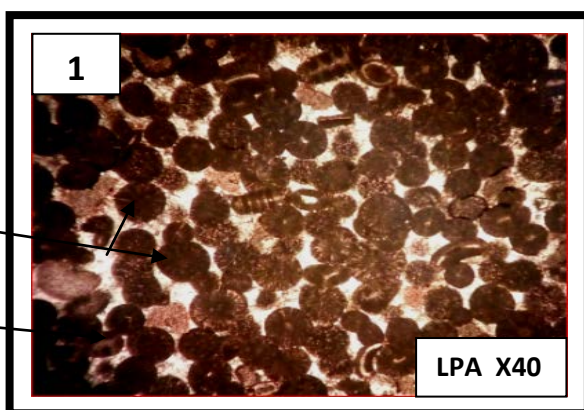


Photo1 et 2(lame HM16) : Calcaire grainstone à sphérulites, Sphérulites; Bahamites; Oolithes (α , β); Lithoclastes (exoclastes et endoclastes); et présence des Bioclastes: Débris de coquilles (Bryozoaires, Gastéropodes...etc.); Débris d'algues.

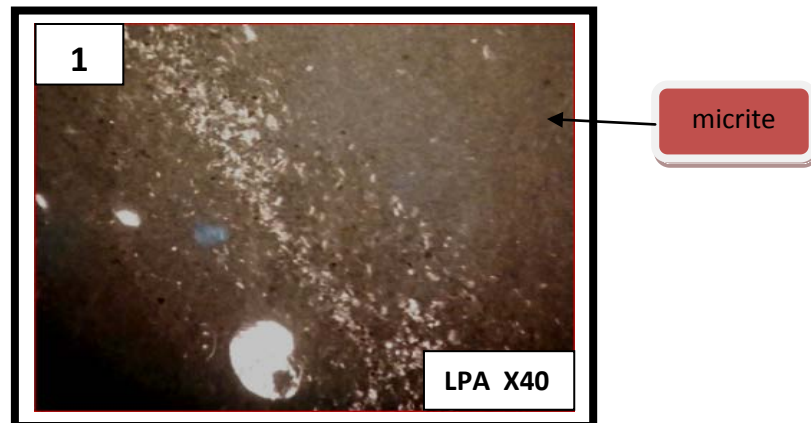
Planche N° VI, de HM 20 et 22

Photo1(lameHM20) : Calcaire mudstone à lithoclastes, contiens des débris de coquilles d'organismes planctoniques non identifiées ; Débris d'algues micritisé. Et aussi pellets et lithoclastes.

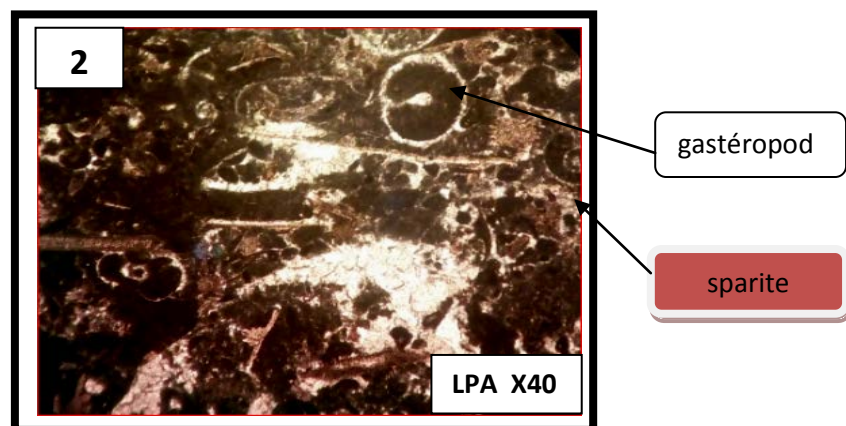


Photo 2(lame HM22) : Calcaire packstone à bioclastes, cette lame présente, Débris de coquilles mal définis micritisés et recristallisés; Ostracodes ; Gastéropodes; Foraminifères fortement micritisés; Débris d'algues micritisés. Des lithoclastes.

III.3. analyse des lames minces de la coupe Tafgoumt (TAF) :**III.3.1. Analyses des lames minces de TAF 1 jusqu'à TAF 14 :**

Ces unités se caractérisent par un faciès carbonaté dominant représenté par des calcaires grainstones et des calcaires packstones, bioclastiques ou lithoclastiques . Ces derniers se caractérisent par une faune de type marin benthique peu profond (présence des tests de Foraminifères benthiques, brachiopode, gastéropode, des endothyra bowmani, des paleotextularia longiseptata,...etc.), parfois recristallisées et ou dolomitisées, parfois par la présence des lithoclastes de taille et forme variable (ooides, pelletoides), on a observés des algues qui rencontrés dans quelques lames(planche VII,ph 1,2,3)

Des dépôts silicoclastiques sont parfois interrompus ces calcaires représentés par des minéraux argileux tels que les Quartz, indiquant des épisodes d'influence continentale.

La dolomitisation est absente dans certaines lames mais présentée dans d'autres lames. A noter aussi des cristaux de calcites de recristallisation et une micritisation dans certaines lames.

La lame **TAF 14** représentée par un calcaire mudstone noir, représenté par une faune mal identifiée, et présence de minéraux argileux (influencé par les apports continentaux) .(planche VII, p4).

III.3.2. analyse de lame mince de TAF 15 :

Ces unités se caractérisent par un dépôt silicoclastique (des grés), représentés par des minéraux argileux et du quartz à granulométrie moyen a fin ou sous forme de nourrissage ainsi que des micas (muscovite). L'espace intergranulaire est occupé par un ciment siliceux

Cette lame indique une discontinuité majeure où on est passé d'un milieu marin carbonaté vers un milieu continentale qui présente un dépôt silicoclastique proche de la source . (planche VIII, photo 1et 2).

Planche N°VII , de TAF1 jusqu'à TAF 14

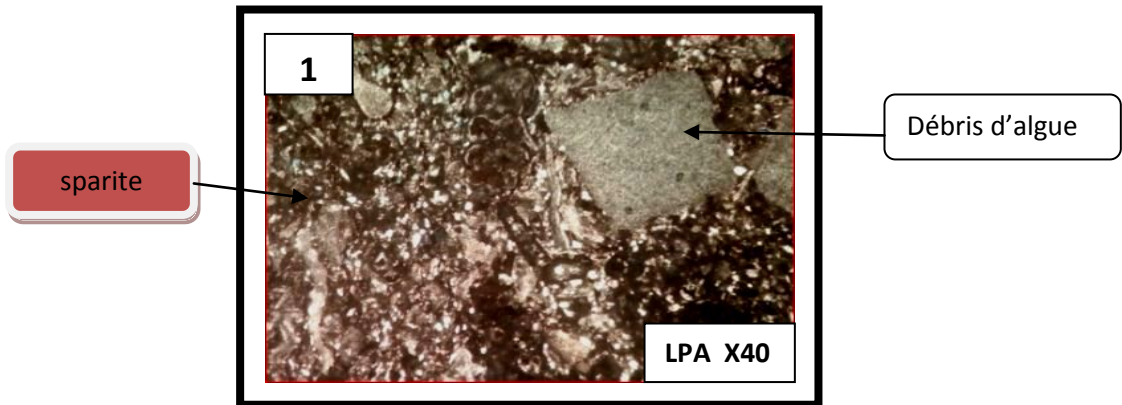


Photo 1(lame TAF2) : calcaire grainstone à bioclastes, (Débris de coquilles Lamellibranches, Gastéropodes, Bryozoaires...etc.); et des Foraminifères (textularida , Milioles...). Et débris d'algue.

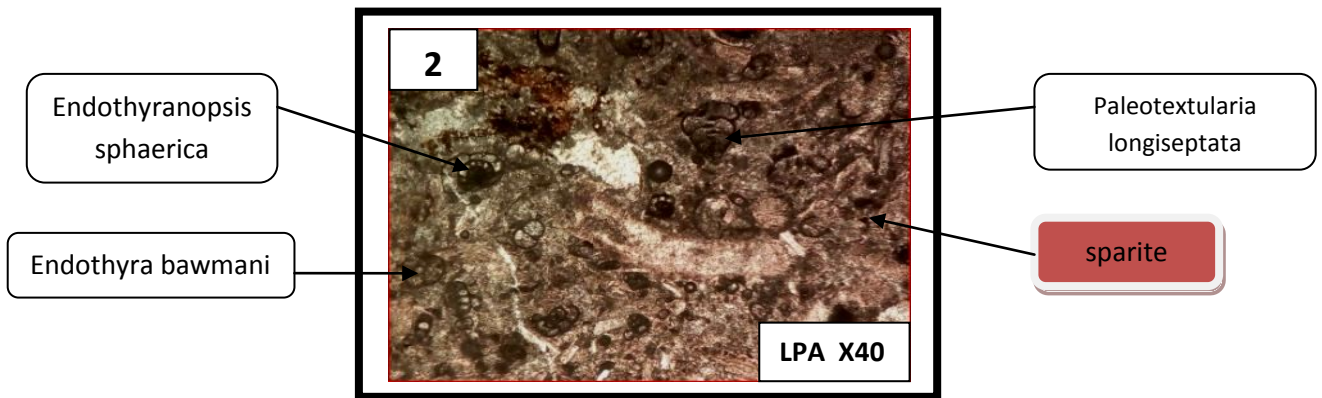


Photo 2(lame TAF10) : calcaire grainstone à bioclastes, débris de coquilles (gastéropodes, brachiopode..) , des foraminiferes (Endothyranopsis sphaerica, endothyra bawmani, paleotextularia longiseptata...). Des lithoclastes (ooide ..) .

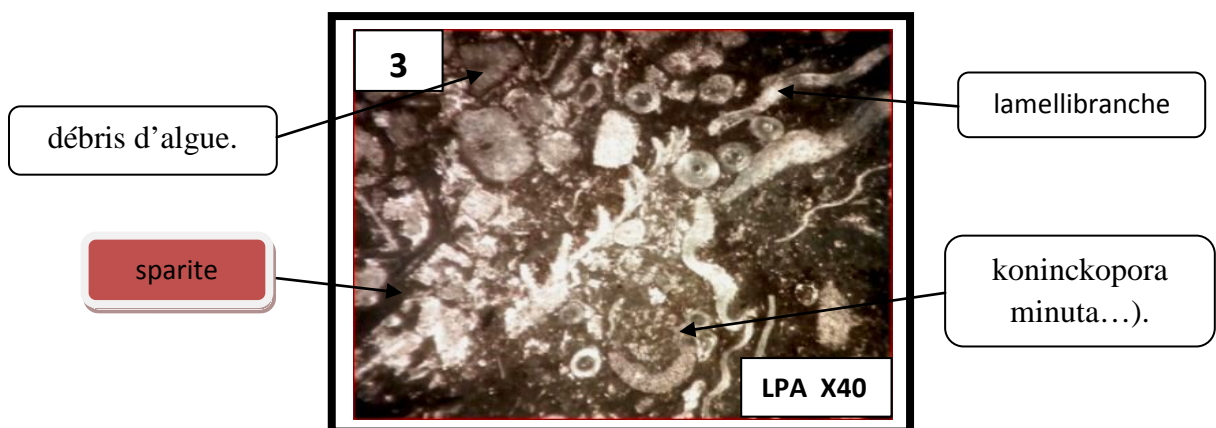


Photo 3(lame TAF3) : calcaire grainstone à lithoclastes, lithoclastes et des oolites, des spherulithes, pellets ,(Débris de coquilles Lamellibranches, brachiopode, Bryozoaires...etc.); et des Foraminifères (koninckopora minuta...). Et aussi débris d'algue.

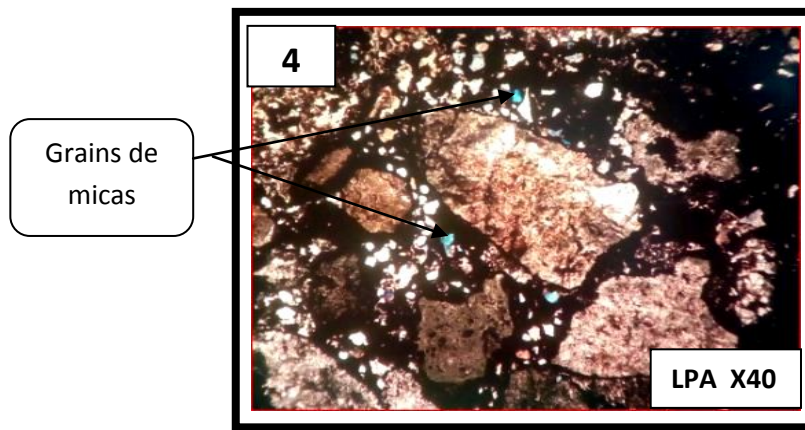


Photo 4(lame TAF14) : Calcaire mudstone à bioclastes.

Planche N°VIII, Tafgounte 15

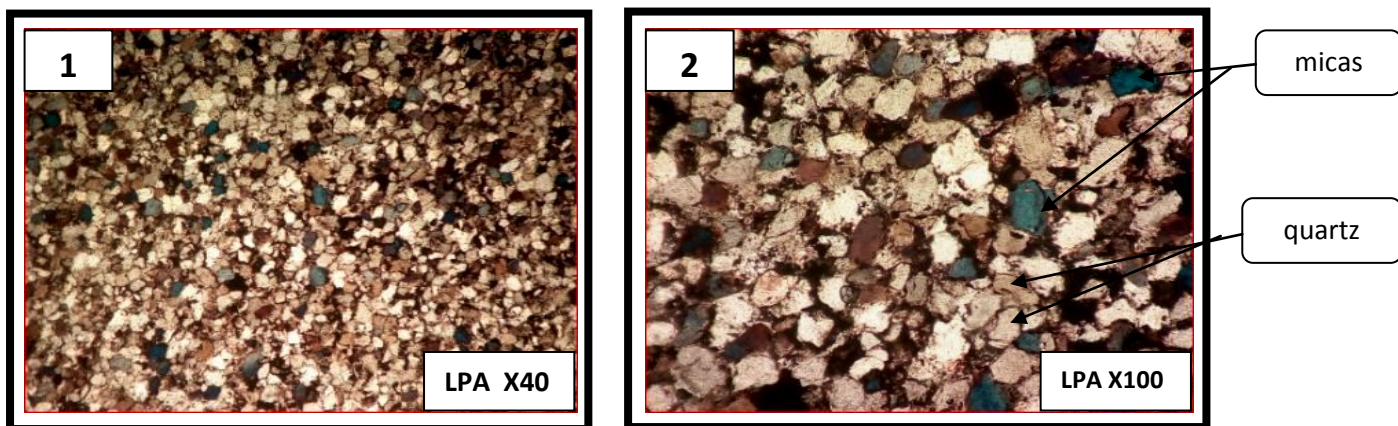


Photo 1 et 2(lame TAF15) : présente un grès, avec cristaux de (quartz), des micas.

La légende :

: élément figuré.

: phase de liaison .

IV. Conclusion :

Après les description au microscope polarisant concernant les lames minces (des coupes Oum El Acher, Aouinet El Maiz et Tafgoumt) et les résultat obtenu d'après (Amrouche, 2004), on arrive aux observations suivantes :

Les échantillons prélevés des trois coupes correspond a un âge Carbonifère (du Viséen supérieure jusqu'au Serpukhovien supérieure), selon les description des lames précédents, ils montrent en commun les caractéristiques suivantes :

- des faciès carbonatés représenté par des calcaires cristallins, des calcaires packstones et des calcaires grainstones.
- La phase de liaison de ces lames parfois sparitique et d'autres micritiques, et aussi d'autre phase de liaison comporte un ciment argileux.
- une faune de type marin benthique peu profond suite à la présence des coquilles ou/et débris de coquilles des organismes benthiques, les Foraminifères benthiques, parfois recristallisées et/ou dolomitisées, et un dépôt marin profond (calcaires mudstone) représenté par une faune planctonique mal identifiée.
- Des débris d'algues sont également rencontrés dans quelques lames, des débris lithoclastiques de taille et forme variable.
- la dolomitisation est absente dans certaines lames mais accentuée dans d'autres lames.
- des cristaux de calcites de recristallisation et une micritisation dans certaines lames.
- Des dépôts silicoclastiques représentés par des minéraux argileux tels que les Micas ainsi que les quartz indiquant des épisodes d'influence continentale.

Il en ressort l'évolution suivante, qu'on observe notamment dans la coupe OEA :

Cette coupe comprend trois (03) formations régressives d'ordre quatre (04) strato-décroissantes. La sédimentation dominante est carbonatée:

elle est notée par une succession de dépôts marins profonds (silt, marnes ...etc.) et de dépôts marins peu profonds (calcaire, anhydrite...etc.) rarement interrompus par les dépôts détritiques (grès et sable) qui indiquent l'influence continentale (Figure II.10). Les trois formations de cette série sont du bas vers le haut:

Formation 1: Elle est d'âge Viséen supérieur –Serpukhovien inférieur, et d'environ de 150 m d'épaisseur. La sédimentation dominante est une sédimentation du milieu marin profond avec quelques intercalations calcaires intertidaux voir même supratidaux. Cette formation peut être subdivisée en cinq (05) membres séparées par des discontinuités qui marquent la fin de chaque événement sous forme d'un paléosol ou d'un niveau lumachellique.

Formation 2: Elle est d'âge Serpukhovien inférieur-serpukhovien moyen et son épaisseur est d'environ de 200m. La sédimentation est carbonatée à sa base et coiffée au sommet par les

dépôts évaporitiques lançant ainsi le recul de la mer (régression et un réchauffement). Cette formation est subdivisée en quatre (04) membres distingués.

Formation 3: Elle est d'âge Serpukhovien moyen-Serpukhovien supérieur, son épaisseur est très réduite par rapport aux deux autres précédentes (environ 50m d'épaisseur) et elle est subdivisée en deux (02) membres. La sédimentation est carbonatée sous forme de calcaires beige à grand brachiopodes et se termine au sommet par une surface durcie (Hardground).

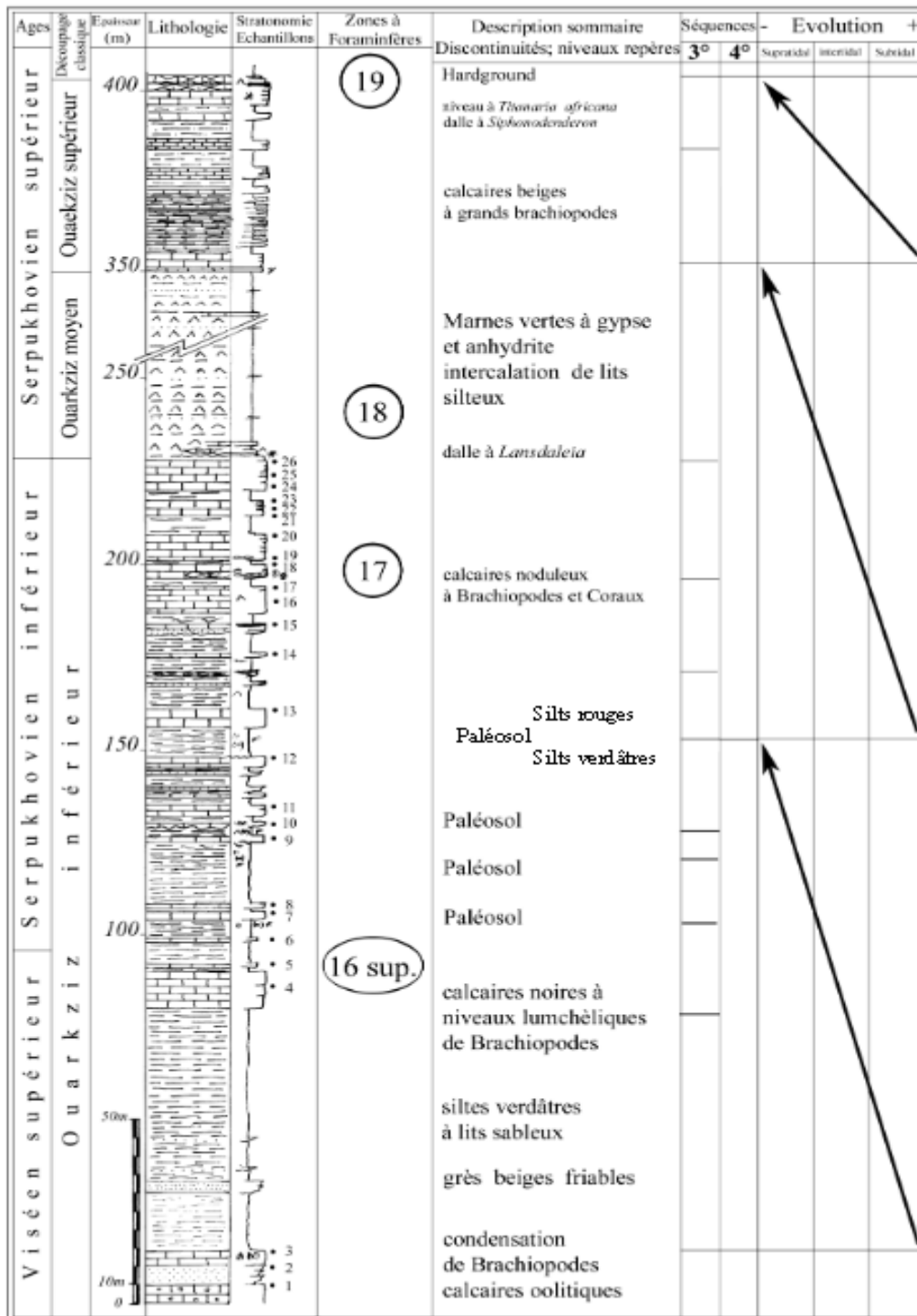


Figure II.10 : Analyse sédimentologique de la coupe Oum El Achar (Viséen supérieur-Serpukhovien)(Amrouche 2004).

chapitre III

d'igraphie et sédimentologie

I_ Introduction :

En absence de coupes de terrain ou d'affleurements, pour étudier la composition des formations d'un bassin sédimentaire on se base sur les paramètres suivants:

- La sédimentologie.
- Les diagraphies.
- Découpage stratigraphique à partir des méthodes de Stratigraphie Séquentielle.

II. Quelques rappels :

II.1 Facies: La notion de facies correspond à la description de l'ensemble des caractéristiques lithologiques (lithofacies) et paléontologiques (biofacies) d'un dépôt. D'après O.SERRA (1985).

II.2 Séquence: Une séquence est une succession des couches génétiquement liées, et limitées à la base et au sommet par des discontinuités.

On définit deux types de séquences:

-La séquence positive: C'est une séquence à évolution grano-décroissante, les particules évoluent des plus grossières aux plus fines vers le haut. (Fig.III.1)

-La séquence négative: C'est une séquence à évolution grano-croissante, les particules évoluent des plus fines aux plus grossières vers le haut. (Fig.III.2)

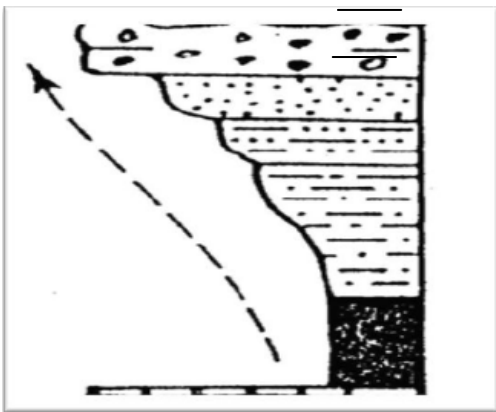


Fig.III.1 : séquence positive

(Grano-croissance)

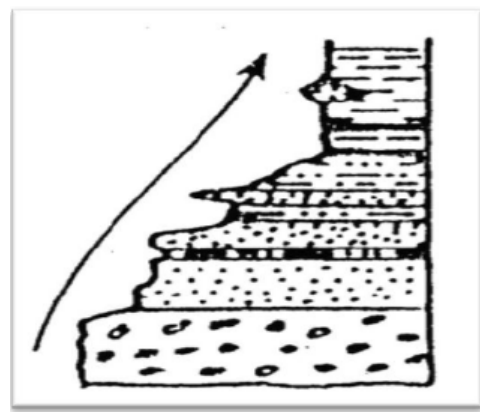


Fig.III.2 : séquence négative

(Grano-décroissant)

II.3 L'analyse séquentielle :

L'analyse séquentielle est une méthode objective qui consiste à rechercher les successions cohérentes et répétitives de faciès qui constituent les séquences

II.4 Les discontinuités :

Elles traduisent un arrêt de la sédimentation accompagné ou non d'une érosion, elles permettent aussi de définir les séquences déterminer leur ordre , (Tableau III.1).

Ordre séquentiel	Dénomination	Anatomie et échelle de Facies	sédiment	mécanismes	discontinuités
0	lamine	Feuille microfaciès	Processus sédimentaire, feuillet . Sutromatolites verreaux	Phénomène Météorologique , ou climatologique de courte durée, marée	Sans discordance
1	banc	microfaciès	Milieu de sédimentation intertidal	Hydrodynamisme , sérodymanisme, chimisme	Joint, diastème
2	rythme	nappe	Environnement : plate forme	Mécanisme de nappe sédimentaires	Surface durcie Perforet, ravinement
3	membre	mésopfaciès	Situation dans l'air de sédimentation	Variations de la mécanique des nappes sédimentaires	Surface durcie perforait ravinement, ferruginisation
4	formation	corps	Type de sédimentation	Mécanique des corps sédimentaires	Surface surcie ferruginisée condensations de faune, plaquage béchique ou conglomératique ravinement
5	série	mégafaciès	Grande les taux faciès lococlastique	Dynamisme du bassin , subsidence	Discordance cartographique, polysones de condensation
6	groupe	bassin	Grand type sédimentaire : Molasse flysch	Variation de paramètre océanologique	Discordance, vacuité
7	faisceau	gigafaciès	Type de remplissage : Géosynclinale plateforme	Destruction et reconstitution de la pongé	Discordance, Magmatismes Métamorphisme
8	superfaisceau	croûte	Evolution de remplissage Géosynclinale Plateforme stable	Constitution crustale, réarrangement géochimique de manteau supérieur	Épaississement de la tectosphère, Vacuité à l'échelle Des ères

Tableau III.1 : caractères des ordres séquentiels (d'après KAZI –TANI .1986

III. Les Diagraphies :

Les méthodes de diagraphie sont des techniques géophysiques mises en œuvre à l'intérieur d'un forage. Elles permettent l'enregistrement en continu des variations des paramètres physiques et pétro physiques en fonction de la profondeur.

Le premier enregistrement a été réalisé en 1926 par les frères Conrad et Marcel, SCHLUMBERGER. L'enregistrement des paramètres est effectué pendant la remontée de la sonde dans les puits (ouvert ou tubé) et on distingue dans ce cas deux types de diagraphies:

- Les diagraphies instantanées: qui sont réalisées pendant le forage.
- Les diagraphies différées: qui sont réalisées à la fin du forage.

Les diagraphies peuvent être subdivisées en quatre grands groupes :

- Diagraphies nucléaires.
- Diagraphies électriques.
- Diagraphies acoustiques.
- Diagraphies auxiliaires.

III.1 Méthodes d'analyse séquentielle diagraphique :

La relation entre les gradients granulométriques ; l'évolution de l'argilosité d'une part, et le comportement des courbes comme le gamma Ray et la PS, d'une autre part, cette relation a été depuis longtemps établie.

Les ingénieurs de Shell ont proposé dès 1958 une classification et maintenant elle est bien connue (courbes en cloche, en entonnoir, en cylindre) basée sur la morphologie de la courbe de PS. (figure III.3).

Les travaux ultérieurs ont utilisé un jeu plus large de diagraphies en privilégiant néanmoins, le gamma ray dans les formations argilo- gréseuses à lithologie simple ; (matrice élémentaire stable, radioactivité liée seulement à l'argilosité). Si ses courbes sont, le plus souvent un reflet d'évènement géologique, il convient cependant d'en rappeler les limitations d'emploi :

a) Gamma Ray : C'est un enregistrement de la radioactivité naturelle totale des roches en fonction de la profondeur. L'analyse de sa courbe nous permet d'avoir une approche de l'argilosité des dépôts, et de la granulométrie, mais aussi toute la radioactivité non liée à l'argile que l'on retrouve dans des différents minéraux, dans la matière organique, dans des débris d'organismes sous forme d'uranium, de potassium et de thorium qui mesure le spectromètre gamma ray NGS.

En géologie, chaque type de séquence à son équivalente diagraphie et elle présente une forme bien déterminée. Selon les gradients granulométriques, l'argilosité la forme de la courbe de polarisation spontanée et le gamma-ray, ainsi les ingénieurs de Shell en 1958, ils avaient reconnu l'existence de quatre types de forme :

-La forme en cloche : Elle correspond à une séquence positive et elle caractérise généralement les dépôts de chenaux fluviaux.

-La forme en entonnoir : Elle correspond à une séquence négative et correspond généralement au front de delta progradant ou aux dépôts de barres littorales.

-La forme cylindrique : Elle correspond à une séquence neutre, et elle caractérise le domaine de plage, les lits de rivières anastomosées et le domaine des dunes éoliennes (SERRA. 1987).

-La forme en œuf : Caractérise un dépôt tidal.

b) la diagraphie Sonique : C'est un enregistrement continu en fonction de la profondeur, de la vitesse du son dans les formations. Il est utilisé pour déterminer les porosités des formations.

c) Polarisation spontanée (PS) : Elle constitue un indicateur d'argilosité, mais elle enregistre avant tout le contraste des fluides en présence dans la formation, et dans le trou du sondage, elle est influencée par la porosité ou la compacité de la roche, et par la présence d'hydrocarbures (atténuation de la déflexion par le gaz). L'amplitude et la forme de sa déflexion sont tributaires de l'épaisseur des bancs.

d) Résistivité : Le contenu en fluide de la formation joue un rôle primordial dans l'allure de la courbe de résistivité. Ainsi la présence d'hydrocarbures peut créer de faux gradients et de fausses séquences. L'existence de la variation de salinité des eaux de formation peut perturber de façon sérieuse la courbe de résistivité.

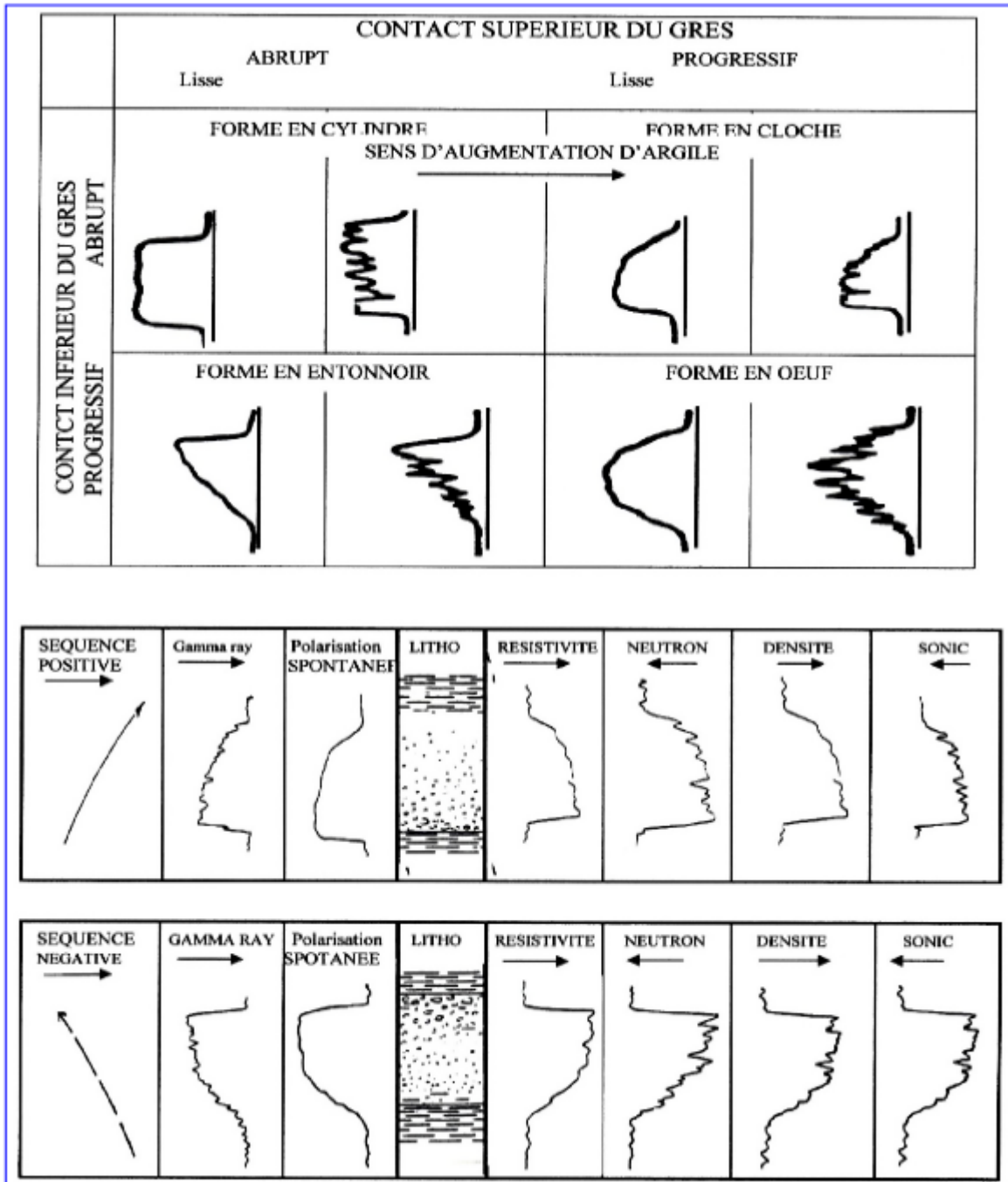


Figure III.3 : Classification de Shell, 1958

IV. Découpage séquentiel de Carbonifère et corrélation entre le sondage NG1 et la coupe de terrain Oum El Achar à partir des réponses diagraphiques du signal PS et résistivités :

IV-1-Identification des séquences de dépôt:

La description est réalisée sur le sondage suivant : GN-1, présentant un faciès généralement calcaires et grés, argiles avec des épaisseurs variables. nous pouvons mieux suivre l'évolution verticale des formations sédimentaires.

Nous avons utilisés les courbes diagraphiques du signal PS et résistivité dans le but de réaliser un découpage séquentiel. Nous avons pu mettre en évidence trois formations de quatrième ordre d'une durée Viséen supérieur_ Serpukhovien supérieure dans les formations Carbonifère traversées par le sondage NG-1. (figureIII.4)

- **(Viséen supérieur) 1550m_1350m:**

Dans cette partie de sondage NG-1 est représenté par un profondeur qui varié entre 1550m à 1350mètres, son épaisseur est donc de 200m, elle est subdivisé en sous intervalles :

De 1514m à1500m : présentés par des calcaires noirs et calcaires beiges oolithique.

De 1500 à 1235m : elle est représentée par des intercalation d'argiles les noirs et les argiles rouges , micacées et de grés très fins verts à beiges a ciment argileux.

Intercalations de bancs d'anhydrites de faible puissance et calcaires beiges à noirs montrant plusieurs niveaux oolithiques.

Cette formation (Viséen supérieur) contient des séquences qui montrent un signal de diagraphie PS et résistivité en forme en cloches dentelé à évolution grano-croissante (séquence négative)

- **Serpukhovien inferieure : (1350m à 1150m)**

Elle est représenté par un épaisseur de 300m , elle est caractérisée par deux intervalles :

De 1235m à 1165m : représenté des calcaires spathiques beiges à gris et des calcaires plus ou moins marneux noirs.

Des intercalations d'argiles les silteuse noires, de silts et d'anhydrites.

De 1165m à 1150m : quelque banc de dolomie et calcaires dolomitiques.

Cette formation aussi comme la précédente montre un signal de diagraphie PS en forme en cloche à évolution granocroissante.

- **Serpukhovien superieure 1150m à 950m :**

De 1150m à 1130m : des argiles silteuse et anhydrites.

De 1130m à 1125m : argiles noirs et rouges (10%) et anhydrites.

De 1125m à 1080m : argiles noirs et grises silteuses et des silts verts à ciment argileux.

Anhydrites.

Un banc de 10m de calcaires dolomitiques.

De 1030m à 935m : les facies dominants sont présentés par des calcaires , calcaires marneux et marnes noires fossilifères.

Intercalation d'argiles noirs et anhydrites.

Suivi par un banc de 5m de calcaires beiges.

De 960m à 940m : calcaires spathiques bleu, et marno-dolomitique noir.

Intercalations argileuses.

cette dernière formation représente une séquence à évolution négative, montre une allure en entonnoir de la courbe de PS.

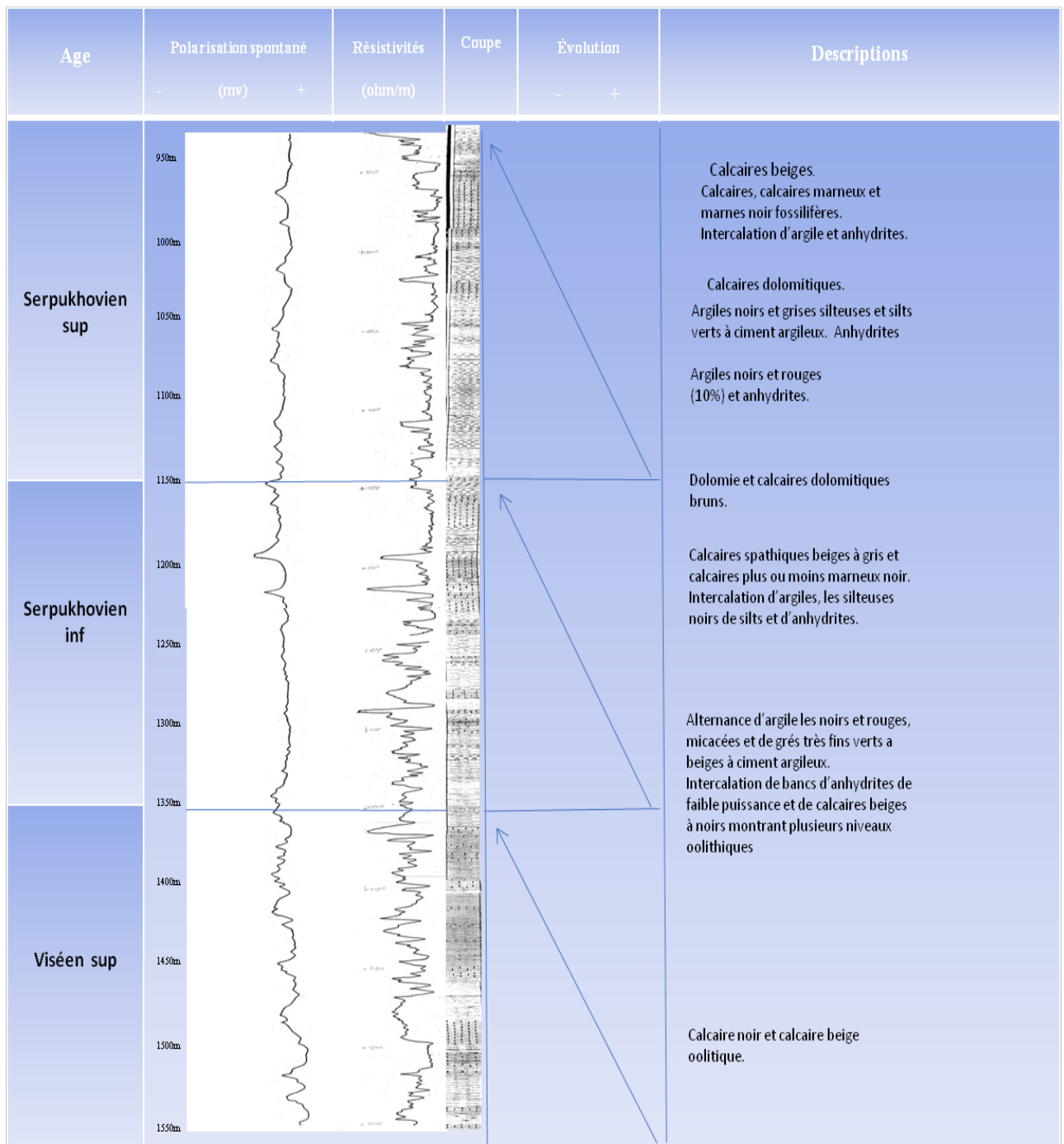


Figure III.4 : découpage séquentiel du Viséen supérieur-Serpukhovien supérieur dans le sondage NG1 du bassin de Tindouf.

V. Corrélation entre la coupe de terrain et le sondage NAGA-1 (NG-1) :

On a fait cette corrélation entre la coupe de terrain (Oum El Achar) et le sondage NG-1 (figure III.5), qui est correspond à l'unités de Ouarkziz, elle s'étale de Viséen supérieur_serpukhovien.

L'analyse sédimentologique et diagraphique, nous à permis de la subdivisé en trois séquences de 4^e ordre(formation), stratogranocroissantes et à évolution régressive.

Ces formation sont ; la formation carbonatée à paléosols, formation carbonatée évaporitiques, et la formation dolomitique. Cette corrélation montre :

Un épaissement du Nord vers le Sud, avec des multiplications de séquences d'ordre inférieur ou moyen.

Dans le sondage NG-1, ces formations sont épaisse de 600m. La formation à évaporites présente moins de bancs de grès et de calcaires. Ce sont les marnes qui se développent.

Dans la formation à évaporites on compte plusieurs niveaux de marnes à gypse et anhydrites, par contre les dépôts calcaires se réduisent sensiblement. La formation dolomitique est beaucoup moins épaisse.

Elle montre des variations des facies qui deviennent plus fin dans les termes du sondage NG-1 par à port à la coupe de terrain Oum El Achar.

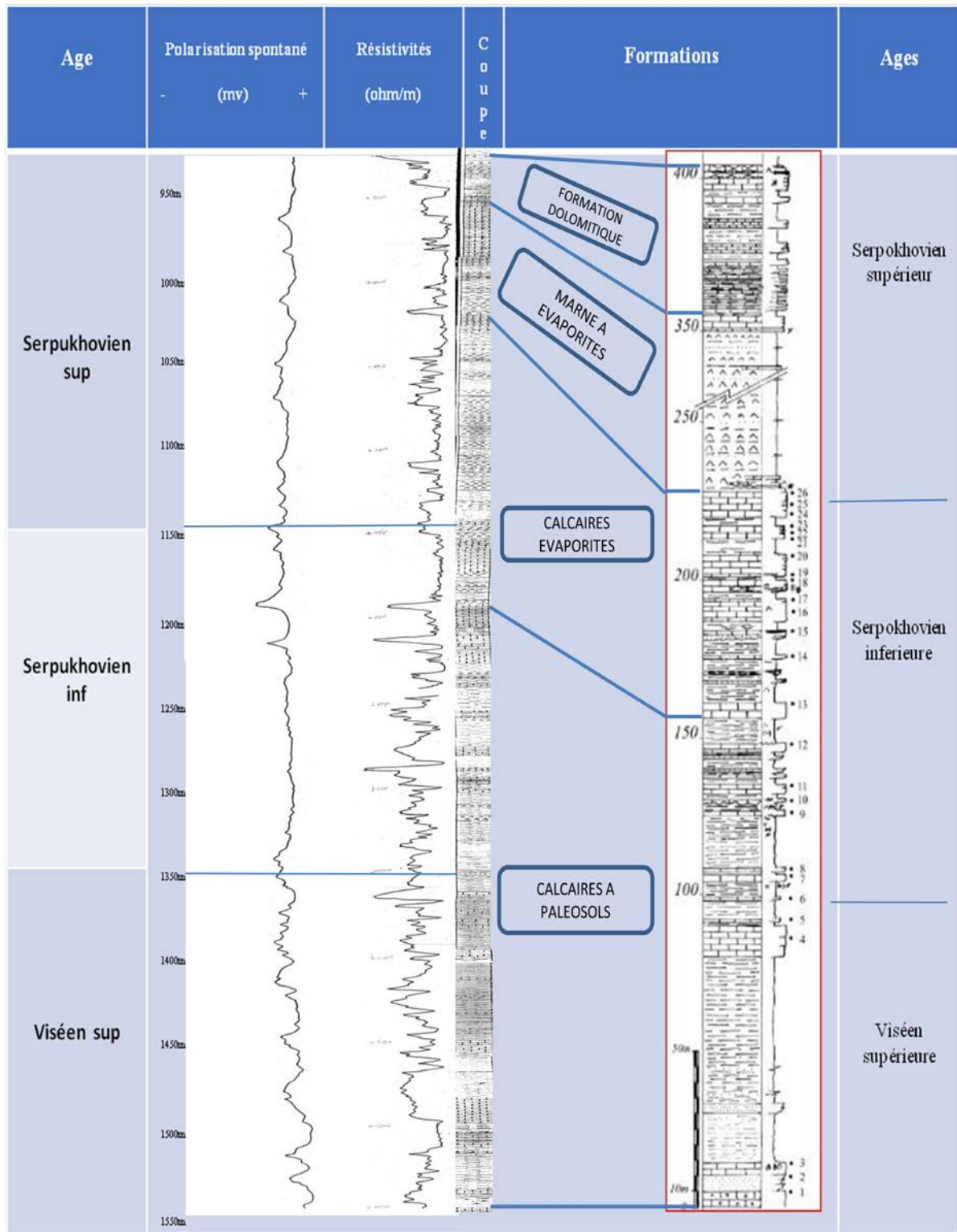


Figure III.5: corrélation entre la coupe de terrain(Oum El Achar) et du sondage (NG-1).

VI. Conclusion :

L'analyse sédimentologique des affleurements carbonifères de la coupe Oum El Acher et du Sondage Ng-1, nous a permis de proposer un découpage lithoséquentiel . Nous avons subdivisé en trois séquences (formations) d'ordre 4° sont :

La formation carbonatées à paléosol, la formation carbonatées à évaporites et la formation dolomitique.

La formation carbonatée à paléosols est constituée d'une succession de séquences d'ordre inférieure ou moyen à sédimentation mixte. Ils associent successivement des calcaires, des grés et des marnes. Les termes marneux se terminent des paléosols ou des surfaces d'émergence. La formation carbonatée à évaporite présente une évolution régressive et se termine par une couche de marne à évaporites (gypse et anhydrite).

La formation dolomitique est la plus moins épaisse .

conclusion

générale

Conclusion générale :

Mon projet de fin étude est basé sur les données pétrographiques, sédimentologiques et les données diagraphiques de flanc Nord du bassin Tindouf. Elle nous a permis de mieux caractériser le Carbonifère du bassin (le Viséen supérieur jusqu'au Serpukhovien supérieur).

L'étude pétrographique a permis de mieux comprendre l'histoire d'une partie de ce bassin durant le Carbonifère (Viséen supérieure Serpukhovien). Elle permis de reconstituer les milieux de dépôt voir les conditions de sédimentation à partir des données de chaque coupe étudiée.

L'étude pétrographique, sédimentologique, micropaléontologique et paléo-environnementale des lames minces réalisées sur les échantillons prélevés sur les trois coupes Oum El Achar, Hassi Mounir et Tafgoumt permettent de déterminer les paléo environnements d'une partie du bassin de Tindouf.

Plusieurs paramètres influent sur le taux de sédimentation et son type, ils peuvent être des paramètres à caractère externe tel que l'influence continentale qui correspond aux périodes de forte crue marquée par des minéraux argileux, ou bien à caractère interne du a la subsidence tectonique(en relation avec la phase précoce du cycle hercynien à laquelle s'ajoute une relation subsidence due à la charge sédimentaires) représenté par un déplacement direct d'un milieu peu profond (supratidal) vers un milieu marin profond (infratidal), permettant ainsi une variation latérale et verticale des microfaciès.

Pour le troisième chapitre on a conclu que l'analyse sédimentologique des affleurements carbonifères de la coupe Oum El Acher et du Sondage Ng-1, nous a permis de proposer un découpage lithoséquentiel . Nous avons subdivisé en trois séquences (formations) d'ordre 4° sont des séquences granocroissantes à évolution régressive.

La formation carbonatée à paléosol, la formation carbonatée à évaporites et la formation dolomitique.

Pour compléter cette étude nous recommandons d'effectuer d'autres sondages dans le bassin du Tindouf notamment dans le flanc sud très faiblement explorer et de réaliser à partir de ces résultats une corrélation entre le flanc nord et le flanc sud.

bibliographie

bibliographie

A

- **Aliev M., Aït-laoussine N., Avrov V., Aleksine G., Barouline G., Lakov-lev B., Korj M., Kouvykine J., Makarov V., Medavedev E., Mkrtchiane, O., Moustafinov R., Oriev I., Oroudjeva D., Oulmi M. et Saïd A., (1971) :** Structures géologiques et perspectives en pétrole et en gaz du Sahara algérien. Tome 1, *Altamira-Rotapress, S.A., Madrid, Espagne, 275 p, 68 fig.*
- **Amrouche F., (2004) :** Le Carbonifère du flanc Nord du bassin de Tindouf sous une approche sédimentologique, biostratigraphique, analyse de la subsidence, des réservoirs et des ressources hydriques associées. *Thèse de magistère en sciences de la terre, 108p., 67. Fig., 12 tabl.*
- **Amrouche F., Nedjari A., (2004) :** Géodynamique du bassin de Tindouf au paléozoïque.
- **Amrouche F., Nedjari A., Ait Ouali R., (2016) :** mise en évidence du continental intercalaire dans la marge Sud du Bassin de Tindouf. 5ème SNST., LGBSO/USTHB et ASGA, Timimoune, Octobre 2016.

B

- **Benhamouche A., (2003) :** Les formations Hamadiennes de la région de Tindouf. Analyse sédimentologique, organisation d'ensemble. *170p., 46 fig., 26 tabl*
- **Bitam L., Gourvenec R., Et Robardet M., (1996) :** les formations paléozoïques anté-Carbonifère du sous bassin de Djbilet (flanc sud du bassin Tindouf, Nord-Ouest du Sahara algérien. *Mém . Serv. Géol. Algérie , n°8,pp. 91-111, 5fig.*
- **Black R., Caby R., Moussine-Pouchkine A, R, B., Bertrand J., M, B.A., Fabre J., Lesquer, A., (1979):** Evidence for late Precambrian plate-tectonics in West Africa. *Nature 278, 223-227.*
- **Boudda A., et Choubert G., (1972) :** sur la limite inferieure du Cambrien du Maroc. *C.R. Acad - des Sci . Paris. 275. P. 5- 8.*

- **Boullier A-M., (1979)** : Charriage et déformations de l'Unité Granulitique des Iforas au cours de l'orogénèse Pan-Africaine. Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn. 21, 377-382.
- **Brothers L., (1977)** : études métallogéniques de minerais de fer oolithiques ordoviciens de Imi – N'Tourza (Sud Marocain).
- **Buffière J.M., Fahy J.C., et Petey J., (1965)**: Etude géologique de la partie orientale de la Dorsale Reguibat. Région des Eglab et secteur Nord du Yetti. Rapp. Inédit. (SERMI), Paris. n° ALG.63.09 IV. 230 p.

C

- **Cavaroc V., Padett G., Stephens D. G., Kanes H., Boudda A., And Woollen I. D., (1976)** : late Paleozoic of the Tindouf basin – North Africa. Journ. of Sed. and Petro. vol 46. n°1 p. 77-88.
- **Chabou M.C., (2001)** : Etude Pétrographique et Géochimique du Magmatisme Mésozoïque de l'ouest de la Plate-forme Saharienne. Mémoire de Magister, ENSP, Alger.
- **Choubert G., (1952)** géologie de Maroc
Cong. géol. Int. Alger (XIX^e). Monographies régionales. Série 3 n°6.
- **Conrad J., (1984)** : Les séries carbonifères du Sahara central. Stratigraphie, sédimentologie, évolution structurale. Thèse de Doctorat en sciences naturelles. Université de droit d'Aix Marseille.

D

- **Destomb J., (1955)** : la présence de minerais de fer oolithiques dans le Dévonien inférieur de la bordure Nord du synclinal de Tindouf (Dra inférieure, Maroc)
CR.Soc. géol. Fr.n°12.p.237-238.
- **Destombe J., (1958)** : les gisements des minerais de fer oolithiques sédimentaires de la bordure Sud de l'Ougnat et du Maider.
Mines et géol. (Rabat). N°6.p.43-52.
- **Destombe J., (1962)** : stratigraphie et paléogéographie de l'Ordovicien de l'Anti Atlas (Maroc) : un essai de synthèse.
Bull. Soc. Geol. Fr. t IV. p. 453-460.
- **Destombes J., Hollard H., Willefert S., (1985)** : Lower Palaeozoic rocks of Morocco. Lower Paleozoic rocks of the world 4, 157-184.

- **Donzeau M., Fabre J., Moussine Pouchkine A., (1981)** : comportement de la dalle saharienne et orogénèse varisque. Essai interprétation. Bull. Soc. Hist. géol. Nat. Afr. Nord., Alger, 69,3/4,137-172.
- **Drareni A., (2008)** : Géochimie et géochronologie de la croûte continentale archéenne et éburnéenne de l'Ouest du Hoggar et des Eglab.

E

- **Ennih N., Liégeois J-P., (2001)** : The Moroccan Anti-Atlas: the West African craton passive margin with limited Pan-African activity. Implications for the northern limit of the craton. Precambrian Research 112, 289-302

F

- **Fabre J., (1961)**: La genèse du gypse viséen de Tindouf (Sahara nord occidental) dans la perspective de L. L. Sloss. C. R. Soc. Géol. France, n°1. pp. 9-11.
- **Fabre J., (1976)**: Introduction à la géologie du Sahara algérien et des régions voisines. *Edit. S.N.E.D., Alger., 422p.*

G

- **Gevin P., (1960)** : études et reconnaissances géologiques sur l'axe cristallin Yetti-Eglab et ses bordures sédimentaires , premier partie : bordures sédimentaires .
Publ. Sce . Geol. Algérie. Bull n° 23.328.p.
- **Guerrak S., (1987)**: Paleozoic oolitic ironstones of the Algerian Sahara: a review. Journal of African Earth Sciences (1983) 6, 1-8.
- **Guerrak S., (1988)** : Geology of the Early Devonian oolitic iron ore of the Gara Djebilet field, Saharan Platform, Algeria. Ore Geology Reviews 3, 333-358.
- **Gourvenec R., Bitam L., Robardet M., (1997)** : Les formations paléozoïques anté-carbonifères du sous-bassin de l'Iguidi (Flanc sud du bassin de Tindouf, nord-ouest du Sahara Algérien). Bulletin du Service Géologique de l'Algérie 8, 135-148
- **Gasquet D., Levresse G., Cheilletz A., Azizi-Samir, M.R., Mouttaqi A., (2005)** : Contribution to a geodynamic reconstruction of the Anti-Atlas (Morocco) during Pan-African times with the emphasis on inversion tectonics and metallogenic activity at the Precambrian–Cambrian transition. Precambrian Research 140, 157-182.

- **Guiraud R., Bosworth W ., Thierry J., Delplanque A., (2005):** Phanerozoic geological evolution of Northern and Central Africa: An overview. *Journal of African Earth Sciences* 43, 83-143.

H

- **Hollard H., et jacquement P., (1956) :** le Gothlandien , le Dévonien et le Carbonifère des régions de Dra et de Zemoul.

Notes et Mem du Serv . Geol. Maroc. Vol. 15 . n°135 .p. 7-33 .

- **Haddoum H., Guiraud R., Moussine-Pouchkine A., (2001):** Hercynian compressional deformations of the Ahnet–Mouydir Basin, Algerian Saharan Platform: far field stress effects of the Late Paleozoic orogeny. *Terra Nova* 13, 220-226.

I

- **Idres M., Belabbes S., Bourmatte A., Haddoum H., Samaï S., (2011):** Proposition d'un modèle de morphologie du socle sous le bassin de Tindouf, Algérie, à partir de l'inversion 3D des données gravimétriques. *Bulletin du Service Géologique national*. Vol.22, N°1, pp.81-90

K

- **Kettouche Dj., (2009) :** Impact de la structuration Hercynienne sur le système pétrolier du bassin de Tindouf (Sahara algérien occidental), Mémoire d'ingénieur U.S.T.H.B. Alger.

L

- **Legrand., (2003) :** paléogéographie du Sahara algérien à l'Ordovicien terminal et au Silurien inférieur.
- **Liégeois J-P., (1988) :** Le batholite composite de l'Adrar des Iforas (Mali). *Académie Royale des Sciences d'Outre-mer* 2.

M

- **Medaouri M., (2004) :** Etude structurale de la jonction Ougarta-Anti-Atlas, région de Zemoul-Adhim Filou (Plateforme saharienne occidentale, Algérie). Thèse de Magister, USTHB, Alger, 160 p

- **Mentchikoff N., (1930)** : recherché géologiques et morphologiques dans le Nord de Sahara Occidental. Rev .geogr.pys.geol.dyn., III,2, p . 103-247. Paris
- **Medaouri M., Haddoum H., (2004)** : Etude structurale de la jonction Ougarta/anti-Atlas, région de Zemoul-Adhim Filou (plate forme Saharienne Occidentale, Algérie).

P

- **Pique A., Michard A., (1989)** : Moroccan Hercynides; a synopsis; the Paleozoic sedimentary and tectonic evolution at the northern margin of West Africa. American Journal of science 289, 286-330.

S

- **Sonatrach., (1987)** : Document interne D.E.S-Division Exploration.
- **Soulaimani A., Bouabdelli M., Piqué A., (2003)** : l'extension continentale au Néoprotérozoïque supérieur-Cambrien inférieur dans l'Anté Atlas (Maroc). Bull. Soc. Geol. Fr., 174, 83-92.
- **Serra O., (1979)** : Diagraphies différées (bases de l'interprétation), Tome 1 : Acquisition des données diagraphiques. Bull. Cent. Rech. Explor. Prod. Elf Aquitaine. 625 p., 360 fig.
l. Soc. Geol. France, 174 (2003), pp. 83-92.
- **Serra O., (1985)** : Diagraphies Différées, Bases de l'interprétation. Tome 2: Interprétation des données diagraphiques, Bull. Centre Rech. Explor.-Prod., Elf-Aquitaine, Mém. 7.
- **Serra O., (1987)** : les diagraphies : outil géologique. Bull. Soc. Geol. France., 8, III, n°7, pp. 1323-1341, 14 fig.

T

- **Trompette R., (1997)** : Neoproterozoic (600 Ma) aggregation of Western Gondwana: a tentative scenario. Precambrian Research 82, 101-112.
- **Trompette R., (2000)** : Gondwana evolution; its assembly at around 600 Ma. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science 330, 305-315.

V

- **Villeneuve M., Cornée J.J., (1994)** : Structure, evolution and palaeogeography of the West African craton and bordering belts during the Neoproterozoic. *Precambrian Research* 69, 307-326.

Z

- **Zhang Y., (2004)** : Understanding image fusion. *Photogrammetric engineering and remote sensing* 70, 657-661.

References d'internet

- <https://www.researchgate.net/publication/261931116> : Découverte d'une "faune naine" de Pentamerida (Brachiopoda dévoniens) à Gara Djebilet (Flanc Sud du bassin de Tindouf) en Algérie . Article · November 2009. (Ouali Mehadji)