

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur de la recherche scientifique

Université Mouloud MAMMERRI de Tizi-Ouzou

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques

Département géologie.



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master

En géologie

Spécialité : Géologie des bassins sédimentaires.

Thème

Étude pétrographique et diagénétique du réservoir carbonifère inférieur de bassin de Reggan.

Réalisé par

AZZOUG Hassina

MERKHOUF Ikram

Devant le jury composé de

Mr ACHOUI M'hand.	MAA, UMMTU.	Président
M-elle OUIKENE Karima.	MAA, UMMTU.	Promotrice
Mr TABET Salim.	Ingénieur, CRD.	Co-promoteur
Mr. AMROUCHE Farid.	MAA, UMMTU.	Examineur

Année universitaire : 2024/2025

Dédicace

Je dédie ce mémoire à mes chers parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien moral et leurs sacrifices tout au long de mon parcours.

À mes frères et sœurs, pour leur encouragement.

Je dédie également mes enseignants, pour leur dévouement, leur patience et la richesse de leurs enseignements tout au long de mon parcours.

Merci de m'avoir transmis non seulement des connaissances, mais aussi une passion pour l'apprentissage et la rigueur.

Je le dédie également à mes chers amis,

Pour leur soutien constant, leurs encouragements dans les moments difficiles, et tous les souvenirs partagés qui ont rendu ce chemin plus doux et plus humain.

Remerciement

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration et à la réalisation de ce mémoire de fin d'étude.

Avant tout, je remercie chaleureusement **OUIKENE Karima**, notre encadrante pédagogique de mémoire, pour sa disponibilité, ses conseils avisés, son encadrement rigoureux et son soutien constant tout au long de ce travail. Son expertise et sa bienveillance ont grandement enrichi ma réflexion.

Aussi nous remercions chaleureusement Monsieur **ACHOUI M'hand**, mon directeur de mémoire, pour sa disponibilité, ses conseils avisés, son encadrement rigoureux et son soutien constant tout au long de ce travail. Son expertise et sa bienveillance ont grandement enrichi notre réflexion.

Nous tenons à adresser mes sincères remerciements à Monsieur **AMROUCHE Farid** examinateur de ce mémoire, pour le temps qu'il a bien voulu consacrer à l'évaluation de notre travail.

Nous souhaitons également remercier l'ensemble des enseignants et intervenants de UMMTO pour la qualité de leur enseignement tout au long de ma formation, ainsi que pour les valeurs et les compétences qu'ils m'ont transmises.

Nous remercions s'adressent également à **Sonatrach CRD de Boumerdès**, qui m'a accueilli durant notre stage et nous permis d'approfondir notre connaissance dans un cadre professionnel stimulant. Merci à toute l'équipe, et en particulier à **TABET Salim**, pour son accompagnement et sa confiance.

Enfin, nous remercions du fond du cœur notre famille et nos amies pour leur soutien moral, leur patience et leur encouragement et sa confiance.

À toutes et à tous, merci.

Sommaire

I. Introduction	1
-----------------------	---

Chapitre I : Généralités

I. Localisation de bassin Reganne	3
1. Cadre géographique	3
2. Cadre géologique.....	4
II. Aspect structurale	4
1. Le bourrelet Tazoult-Azrafil	5
2. Le bourrelet Djebel Heirane Kahal Tabelbala.....	5
3. Le trend Kahlouche Djebel Heirane	5
4. le trend de Feidj El Had.....	5
5. Le trend Hassi M'Dakane	5
III. Historique des travaux	7
IV. Stratigraphie du bassin de Reggane.....	8
1. Le substratum	9
2. Linfra-Cambrien	9
3. La couverture paléozoïque	9
3.1 Le Cambrien	9
3.2 L'Ordovicien	9
3.3 Le Silurien	10
3.4 Le Dévonien	10
3.4.1 Le Dévonien inférieur	10
3.4.2 Le Dévonien moyen	11
3.4.3 Le Dévonien supérieur	11
3.5 Le Carbonifère	11
3.5.1 Le Tournaisien	11

3.5.2 Le Viséen	11
3.5.3 Le Namurien	12
4. Le Méso-Cénozoïque	12
V. Evolution géodynamique du bassin de Reggane	14
VI. Intérêt de système pétrolier de la région du Reggane	17
1.Roche mère	17
2. Roche réservoir	17
2.1 Cambrien	17
2.2 Ordovicien	17
2.3 Dévonien inférieur	17
• Siegenien Gedinnien	17
• Le Siegenien	17
• Emsien	18
2.4 Carbonifère	18
3.Les roche couvertures	18
4. Le piège	18
4.1 Les différent type de piège	18
a) Les pièges stratigraphiques	18
b) Les piège de faille	18
c) Les pièges anticlinaux	19

Chapitre II : Etude pétrographie

1.Introduction	20
II. Méthodologie	20
III. Etude pétrographique	22
IV. Analyses pétrographiques des dépôts silico-clastiques.....	22

1. Les composants détritiques	22
• Quartz	22
• Les feldspaths	22
• Les micas	22
• Les minéraux lourds	23
• Les fragments de roches	23
• Les bioclastes	23
• Les oolithes chloriteuses	23
2. Les composants authigènes	23
2.1 L'argile	23
• La chlorite	24
• Illite, Kaolinite	24
2.2 Les carbonates	24
2.3 La silice de nourrissage	24
2.4 La silice secondaire	24
2.5 Sulfate (Anhydrite)	25
2.6 La pyrite	25
2.7 Les oxydes de fer (Hematite)	25
2.8 La glauconite	25
2.9 La matière organique	25
V. Résultats pétrographiques des dépôts silico-clastique.....	25
VI. Analyses pétrographiques des dépôts carbonates	26
1. Description de puit A	26
2. Description du puits D	27

Chapitre III : Etude diagenétique

I. Introduction.....	35
II. Notion de la diagenèse.....	35
III. Les stades de la diagenèse.....	35
1.Eodiagenes	35
• Le stade initial	35
•Le stade d'enfouissement précoce	36
2.Mésodiagenèse	36
3. Telodiagènese	36
IV. Les mécanismes de la diagenèse.....	38
1.La compaction	39
2.La cimentation	40
3. La dissolution.....	40
4. La recristallisation.....	41
5.Le remplacement minéralogique.....	41
6.Les fluides	41
V. Les phénomènes diagenétiques observés	42
V.1 Diagenèse des dépôts silico-clastiques.....	42
•La silicification.....	42
•La cimentation argileuse	42
•La cimentation carbonatée	44
La cimentation sulfatée	44
•La cimentation de la matière organique	44
•Altération des feldspaths et des micas.....	44
•La dissolution des feldspaths.....	45
V.2 Diagenèse des dépôts carbonatés	45
•La compaction	45

•La cimentation	45
•La recristallisation	45
VI. Chronologie des phénomènes diagenétiques.....	46

Chapitre IV : Qualités réservoirs

I. La porosité.....	49
II. Synthèse de la distribution des divers ciments authigènes et de la porosité par puits et par âge	
1.Graphe A/Viséen B : Puits D et A.....	50
2.Graphe B/Tournaisien : Puits B et C.....	50
3.Graphe C/Tournaisien : Puits D	50
4.Graphe D/Strunien/Tournaisien : Puit C	50

Chapitre V

Conclusion générale	53
---------------------------	----

*Liste des
figures*

Chapitre I : Généralités

Figure. I.1 : Situation géographique du bassin de Reggane en Algérie	3
Figure. I.2 : Situation géologique du bassin de Reggane par rapport aux grands ensembles géologiques de l’Afrique du Nord (document Sonatrach)	4
Figure. I.3 : Coupe transversale du bassin de Reggane (document Sonatrach)	7
Figure. I.4 : Éléments structuraux du bassin de Reggane (document SONATRACH)	6
Figure. I.5 : Colonne stratigraphique synthétique du bassin de Reggane (Document SONATRACH 2018)	13
Figure. I.6 : (a). Les principales phases tectoniques qui ont affectées le bassin de Reggane (b). Coupes montrant l’évolution géodynamique du bassin de Reggane (Aliev et al., 1971) .	16
Figure. I.7 : Piège stratigraphiques (Hafsaoui Oussama 2022/2023)	18
Figure. I.8 : Piège par faille (Hafsaoui Oussama 2022/2023)	19
Figure. I.9 : Piège anticlinal (Hafsaoui Oussama 2022/2023)	19

Chapitre II : Étude Pétrographie

Figure. II.1 : Diagramme QFR des grés carbonifère de bassin Reggane selon classification de FOLK.1974	26
--	----

Chapitre III : Étude diagénétique

Figure. III. 1 : Les différents stades de la diagenèse en fonction de la pression et de la température (Cojan et Renard 2006)	37
Figure. III. 2 : Profil idéalisé d’une marge continentale montrant les sites sédimentaires marins et les trois phases de diagenèse. (Serra ; 2003, Burley et Worden ; 2003). (A) diffusion durant l’éodiagenèse. (B) mouvement de fluides ascendants durant la mésodiagenèse. (C) mouvement de fluides descendants durant la télodiagenèse.....	38
Figure. III. 3 : Schéma montrant la croissance de la compaction avec l’enfouissement	39
Figure. III.4 : Schéma montrant le mécanisme de Corrosion et dissolution des carbonates ..	41
Figure. III. 5 : (B) Schéma montre le remplacement du feldspath par la kaolinite	41
Figure. III. 6 : séquence diagénétique des dépôts silico-clastique et carbonatés des réservoirs carbonifères -Bassin de Reggane.	47

Chapitre IV : Qualités réservoirs

Figure. IV. 1 : Caractérisation des différents types de pores rencontrés - Bassin de Reggane....	49
---	----

Figure. IV. 2 : synthèse de la distribution moyenne des divers ciments authigènes, de la porosité estimée et des éléments détritiques par puit et par âge (viséen/viséen B/Tournaisiens) - Bassin de Reggane.51

Liste des Tableaux

Chapitre II : étude pétrographie

Tableau.1 : Liste des échantillons prélevés sur les carottes des sondages étudiés.

Tableau.2 : Résultats d'analyses pétrographiques des puits A, B, C.

Tableau.3 : Résultats d'analyses pétrographiques des puit D.

*Liste des
planches*

Chapitre II : étude pétrographie

Planche 1

Photo. A : le contact droite entre les grains de quartz et la morphoscopie subanguleuse	29
Photo. B : minéraux lourds zircon en lumière naturelle.....	29
Photo. C : minéraux lourds zircon en lumière polarisé.....	29
Photo. D : oolithes chloriteuse formée du plusieurs couches concentriques entourant les grains de quartz dans un grès très fin.....	29
Photo. E : ciment sidéritiques assez développé réduisant la porosité intergranulaire estimée à environ 1	29
Photo. F : même vue que la photo E en lumière réfléchi.	29

Planche 2

Photo. A : Grès très fins à ciment carbonate en note la distribution aléatoire des plages de carbonates obturant le réseau poreux.	30
Photo. B : Développement du ciment carbonaté à texture peocilitique engendré par endroit une réduction de la porosité.	30
Photo. C : Développement du ciment siliceux sous forme de silice intergranulaire remplissent l'espace poreux.	30
Photo. D : plages d'anhydrite dans un grès moyenne bien classée.....	30
Photo. E et F : autre forme de pyrite colmatant les microfissures.....	30

Planche 3

Photo. A, B, C et D : Grains de pollens de petites tailles	31
Photo. E : calcaire mudstone a pelletoides noter la présence des poches carbonatée	31
Photo. F : mise en évidence des microfissure colmatées par des carbonates et précipitation de la silice dans un calcaire mudstone	31

Planche 4

Photo. A à E : calcaire packstone a dévers bioclaste et oolithe liés par une variété de ciment microsparite et sparite (photo D) les bioclastes sont formés de bryzoaire (photo A, C et E) Bivalve (photo B), section de crinoïdes (photo E).	32
Photo. F : diverses formes de foraminifère dans un calcaire packstone	32

Planche 5

- Photo. A et B :** roche carbonatée silteuses à bioclaste, noter la presence de pellesoïdes dans la photo A.33
- Photo. C et D :** sections de bryozoaires formées de large branche ramifiées33
- Photo. E :** large section de brachiopode.33
- Photo. F :** section de crinoïdes associés à débris des bivalves et d'autre débris de bioclastes des différentes tailles.33

Planche 6

- Photo. A :** Réseau de microfissure ouvertes fragmentant les bioclastes.34
- Photo. B :** liseré de cristaux de calcite irrégulière autour d'un bivalve correspondant à un ciment < en dent de chien.....34
- Photo. C :** calcites croissantes en continuité de réseau optique avec la section d'échinodermes prise comme substrat.34

Chapitre III : Étude diagenétique

Planche 7

- Photo. A :** développement de l'illite issues de la transformation des micas dans un silt carbonaté riche en micas48
- Photo. B :** Porosité secondaires engendrées par la dissolution des carbonates, porosité estimée 25%48
- Photo. C :** le réseau poreux et notamment améliorer par la dissolution secondaire de fracturation, porosité (7%)48
- Photo. D :** recristallisation partielle d'un bivalve par de l'anhydrite.....48
- Photo. E :** effacement totale de la structure de bioclastes suite au phénomène de recristallisation.....48
- Photo. F :** carbonate silteuse bioclaste porosité secondaires de facturation estimée à 3%48

Chapitre IV : Qualités réservoirs

Planche 8

- Photo. A :** porosité secondaire de type fissurel.....52
- Photo. B :** carbonate silteuse à bioclastes traverser par des microfissures : porosité secondaire de fracturation estimée à 3%52

Photo. C : Porosité secondaires engendrées par la dissolution des carbonates, porosité estimée 25%	52
Photo. D : porosité primaire intergranulaire estimée (7%)	52
Photo. E : le réseau poreux est notamment amélioré par la dissolution secondaire de fracturation. Porosité estimée (7%)	52

Résumé

Le bassin de Reggane, est une vaste synéclise intracratonique paléozoïque située sur la plateforme saharienne au sud-ouest de l'Algérie. Il couvre environ 140 000 km², s'étendant entre l'Églab au sud et les monts de l'Ougarta au nord, avec un remplissage sédimentaire dépassant **6 000 m** d'épaisseur.

Ce type de réservoir, classé comme non conventionnel de type « tight » ou compact, se distingue par une porosité et une perméabilité très faible, ce qui rend son exploitation nettement plus difficile que celle des réservoirs conventionnels.

Nous avons fait des analyses pétrographiques et diagenétiques de quatre puits A, B, C et D de réservoir carbonifère de bassin Reggane pour voir l'influence de ces facteurs sur la qualité de réservoir (porosités et perméabilités)

Conformément à l'analyse des résultats de l'étude pétrographique, les grès de réservoir carbonifère de bassin Reggane, sont classés quartz-arénites (ou arénites quartzitiques) à subarkoses sur le diagramme de Folk, ce résultat indique une maturité minéralogique très élevée.

Dans les faciès carbonatés, l'analyse pétrographique a permis de mettre en évidence : calcaire grainstone à bioclaste, calcaire packstone à grainstone riche en bioclaste, calcaire mudstone à pelletoides

Durant l'histoire d'enfouissement la formation de bassin de Reggane, les grès du carbonifère ont subi des transformations diagenétiques engendrées par plusieurs phénomènes qui sont la cimentation, fissuration, recristallisation, silicification et la dissolution, ayant contribué à l'amélioration et à la dégradation des qualités réservoir (porosité et perméabilité).

La séquence diagenétique du réservoir est représentée par trois phases : éodiagenèse, mésodiagenèse et télodiagenèse.

Mots clés : Reggane, Carbonifère, Grés ,Pétrographie, Porosité Diagenèse, Réservoir.

Abstract

The Reggane Basin is a vast Paleozoic intracratonic sag basin located on the Saharan platform in the southwest of Algeria. It covers approximately 140,000 km², extending from the Eglab Massif in the south to the Ougarta Mountains in the north, with a sedimentary fill exceeding 6,000 meters in thickness.

This type of reservoir, classified as an unconventional "tight" or compact reservoir, is characterized by very low porosity and permeability, which makes its exploitation significantly more challenging than that of conventional reservoirs.

Petrographic and diagenetic analyses were carried out to assess the influence of these factors on reservoir quality (porosity and permeability).

According to the results of the petrographic study, the Carboniferous reservoir sandstones of the Reggane Basin are classified as quartz arenites (or quartzitic arenites) to subarkoses on Folk's diagram, indicating a very high mineralogical maturity.

In carbonate facies, petrographic analysis revealed the presence of: bioclastic grainstone limestone, bioclastic-rich packstone to grainstone limestone, and mudstone limestone with pelletoids.

During the burial history of the Reggane Basin, the Carboniferous sandstones underwent diagenetic transformations caused by various processes such as cementation, fracturing, recrystallization, silicification, and dissolution, which contributed both to the improvement and degradation of reservoir qualities (porosity and permeability).

The diagenetic sequence of the reservoir is represented by three stages: eodiagenesis, mesodiagenesis, and telodiagenesis.

Keywords: Reggane, Carboniferous, Sandstone, Petrography, Porosity, Diagenesis, Reservoir.

I. Introduction

L'exploration et la production pétrolière sont les domaines vitaux de toute entreprise pétrolière, qui a besoin à tout instant de rechercher de nouvelles réserves et produire toujours plus de pétrole. Pour l'exploration on fait appel à la géologie pétrolière qui englobe un large éventail de spécialités parmi lesquelles on peut citer la géologie structurale, la sédimentologie, la géochimie, la minéralogie, la paléontologie, la mécanique des fluides... ainsi qu'un large éventail de technologies industrielles.

Les hydrocarbures représentent de très loin la principale source de revenus de notre pays, qui en tire 98% de ses recettes en devises. En effet l'Algérie occupe le troisième rang parmi les pays producteurs de pétrole en Afrique et le 12ème rang dans le monde. La première découverte commerciale fut faite en 1948 à Oued Guétérini, près de Sidi Aissa. (Attar et al., 1995 dans WEC, 1995).

Le bassin Reggane, situé dans la région saharienne Sud -Ouest constitue une zone stratégique pour l'exploration gazière, en particulier en raison de la présence de réservoir gréseux d'âge carbonifère. (Khoudjaoui ,2008).

Ces réservoirs se composent essentiellement des grès, fréquemment associés à des couches d'argiles et de carbonates. Leur intérêt réside dans leur capacité à stocker et à permettre circuler le gaz naturel, formé par la transformation thermique de la matière organique contenue dans les roches mères profondes.

Ce type de réservoir est classé comme non conventionnel, de type **tight** ou compact, caractérisé par une faible porosité et une faible perméabilité, ce qui rend son exploitation plus complexe que celle des réservoirs conventionnels.

La présence des fractures naturelles joué un rôle important en améliorant la perméabilité des roches réservoirs, ce qui rend essentiel l'étude des structures tectoniques qui ont favorisé leur développement et influencé les propriétés du réservoir.

Cette étude porte sur l'analyse des caractéristiques pétrographiques et digénétiques du réservoir carbonifère (Tournaisien, Viséen et Namurien) de bassin de Reggane, dans le but d'évaluer l'influence de ces facteurs sur la qualité du réservoir. L'objectif principal est de mieux comprendre le potentiel en hydrocarbures de cette formation, d'estimer ses capacités de production et d'envisager ses perspectives d'exploitation à long terme dans le cadre du développement pétrolier.

Ce travail est composé 05 chapitre :

- Le premier chapitre consacré a exploitation des données existantes, principalement les rapports internes de la compagnie Sonatrach, sur le bassin de Reggane.
- Le deuxième chapitre traite l'analyse pétrographique qui consiste à observer au microscope polarisant et à étudier 22 lames minces prélevées dans les carottes des puits A, B, C et D à en déterminer les caractéristiques pétrologiques.
- Le troisième chapitre consacré à l'étude diagenétique qui est la détermination des phénomènes diagenétiques observés dans l'analyse précédente, afin d'établir une séquence diagenétique de la région.
- Le quatrième chapitre consacré a les différents types de porosité rencontré dans notre bassin avec une synthèse de la distribution des divers ciments authigènes et de la porosité par puits et par âge.
- Le cinquième chapitre consacré à une conclusion générale dans laquelle nous rappellerons les principaux résultats obtenus dans chaque chapitre.

Chapitre I généralités

I. Localisation de bassin Reggane

1. Cadre géographique

Le bassin paléozoïque de Reggane est un bassin intracratonique, situé sur la bordure orientale du Craton Ouest Africain, plus précisément à cheval entre le Craton Ouest Africain et le domaine panafricain à l'Est, il se situe entre les longitudes 00°35' E et 4° 25' W et les latitudes 24° 30' et 28° N. (Hafsaoui,2023 et al Benbakti,2013) (Fig1).

Ce bassin englobe la ville de Reggane et chevauche partiellement celle d'Adrar, orienté globalement dans la direction NO-SE, il couvre une superficie de 140 000 Km².

La dépression de Reggane est un bassin caractérisé par une histoire tectonique polyphasée et une importante subsidence qui a permis le dépôt de plus de 6000 m de sédiments paléozoïques dans sa partie axiale.

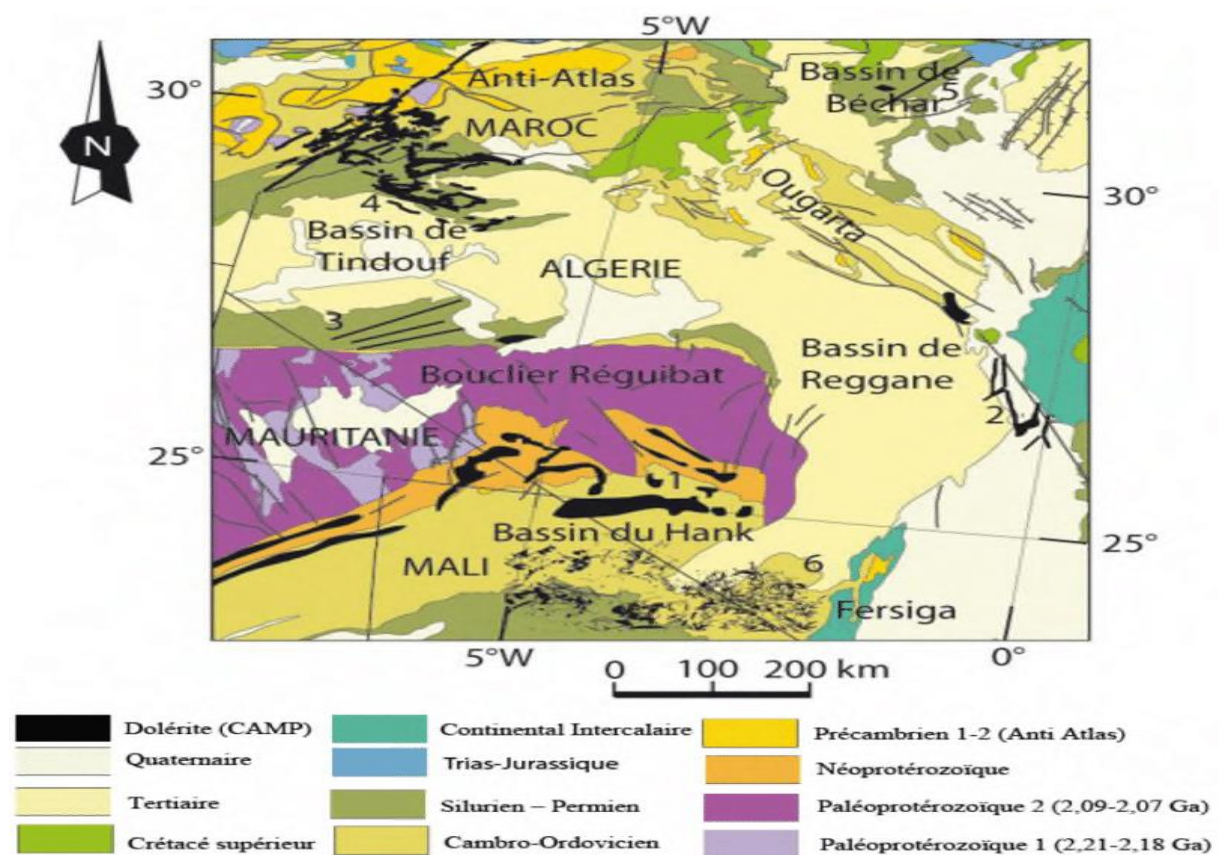


Fig.I.1 : Situation géographique du bassin de Reggane en Algérie (Document Google).

2. Cadre géologique

Le bassin intracratonique de Reggane se trouve dans l'extrême Sud-Ouest de la plateforme saharienne à la limite orientale du Craton Ouest Africain. Il est bordé au Nord par la chaîne de l'Ougarta, au Sud par le bouclier Reguibat, à l'Est par l'ensellement de Bled El Mass-Azzel-matti, constituant une frontière morphologique avec le bassin de l'Ahnet et à l'Ouest par le môle de Krettamia-Boubernous qui le sépare du bassin de Tindouf (Fig.2).

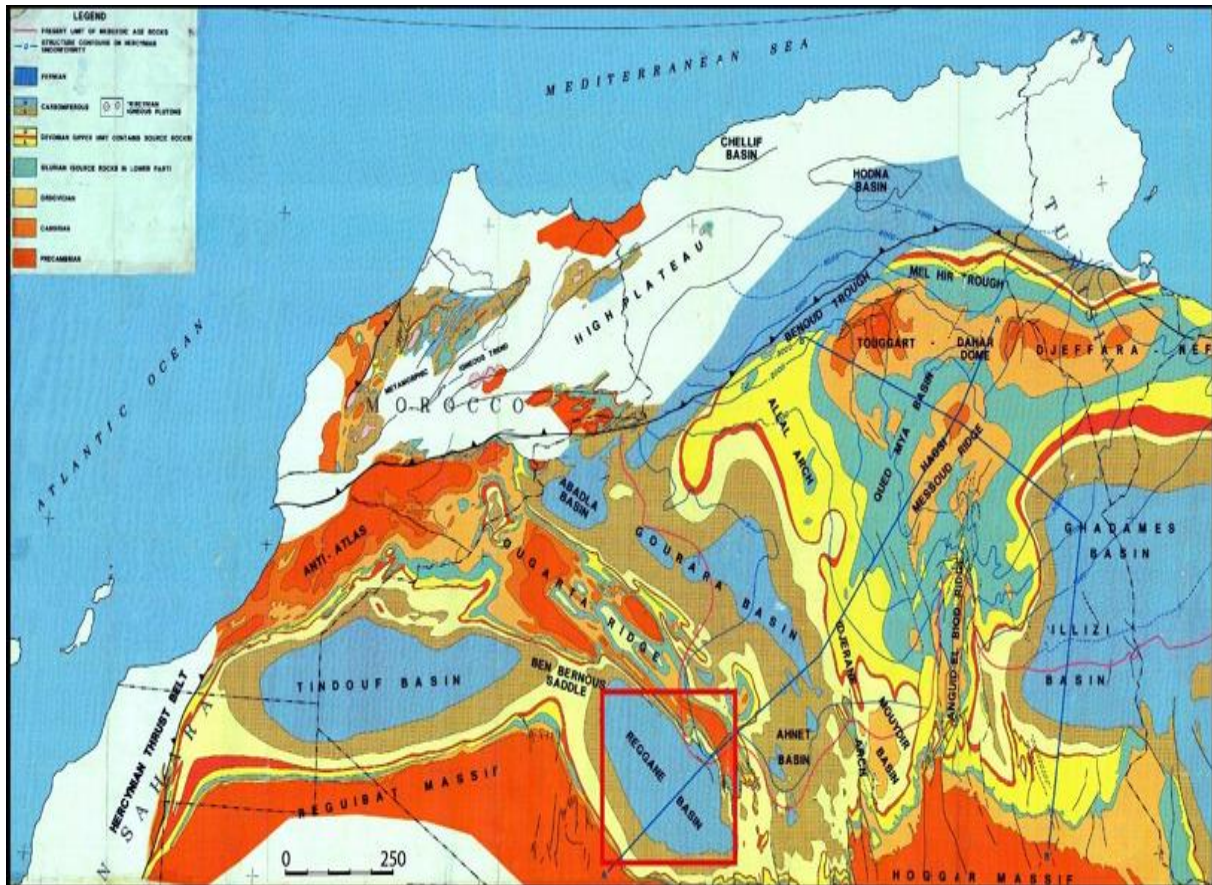


Fig. I.2 : Situation géologique du bassin de Reggane par rapport aux grands ensembles géologiques de l'Afrique du Nord (document Sonatrach).

II. Aspect structurale

Le bassin de Reggane est une dépression, relativement asymétrique, allongé dans la direction NW-SE (Fig. 3). Il montre un flanc oriental Nord-Est très redressé et largement affecté par des failles inverses, ce flanc parallèle à la chaîne de l'Ougarta, et un flanc occidentale Sud-Ouest faiblement penté vers le Nord-Est et légèrement affecté par la fracturation (Fig4), ce flanc est relativement plus calme par rapport au flanc Nord Est.

Le bassin de Reggane comprend à sa partie nord plusieurs éléments structuraux :

1. Le bourrelet Tazoult-Azrafil

Tazoult-Azrafil, qui s'étend du Nord-Ouest au Sud-Est sur 75 km. Il comprend plusieurs structures plissées (structures d'Inzegmuir, de Sali, de Reggane et d'Azrafil) et son flanc Sud-Ouest est affecté par une importante faille normale injectée de dolentes. Des grandes failles de direction NO-SE limitent le bassin de Reggane au Nord-Est (Aliev et al., 1971).

Ces structures ont été reconnues par des puits tels que : B et C.

2. Le bourrelet Djebel Heïrane Kahal Tabelbala

D'orientation Nord-Ouest/Sud-Est, constituer le prolongement du bourrelet Tazoult-Azrafil, ce bourrelet bordé des grandes failles à jeu inverse, renferme plusieurs structures. Deux puits ont été forés sur ce trend.

3. Le trend Kahlouche Djebel Heïrane

De même orientation que les trends précédents, montre une faille tout le long de sa bordure occidentale, reconnue par le puits D.

4. Le trend Feidj El Had

D'orientation Nord/ Ouest-Sud/ Est, qui est pris entre une zone des failles de direction Nord-Ouest/Sud-Est à l'Ouest, et des failles de faible rejet de même direction à l'Est.

5. Le trend Hassi M'Dakane

Ce trend qui est un axe de direction sensiblement Est-Ouest, bordé de part et d'autre par des failles inverses.

Remarque : Le mot "trend" désigne une orientation géographique dominante ou la direction préférentielle suivie par une structure géologique.

Les failles qui affectent le bassin de Reggane peuvent être subdivisées en deux familles principales (Aliev et al., 1971) :

- Une famille de direction NW-SE, située le long de la bordure septentrionale du bassin.
- Une autre famille de direction subméridienne, concentrée dans la partie Sud du bassin.

Il existe deux autres familles des failles de moindre importance qui s'observent :

Ce sont les failles E-W et N-E qui se conjuguent aux failles Ougartiennes de direction NW-SE.

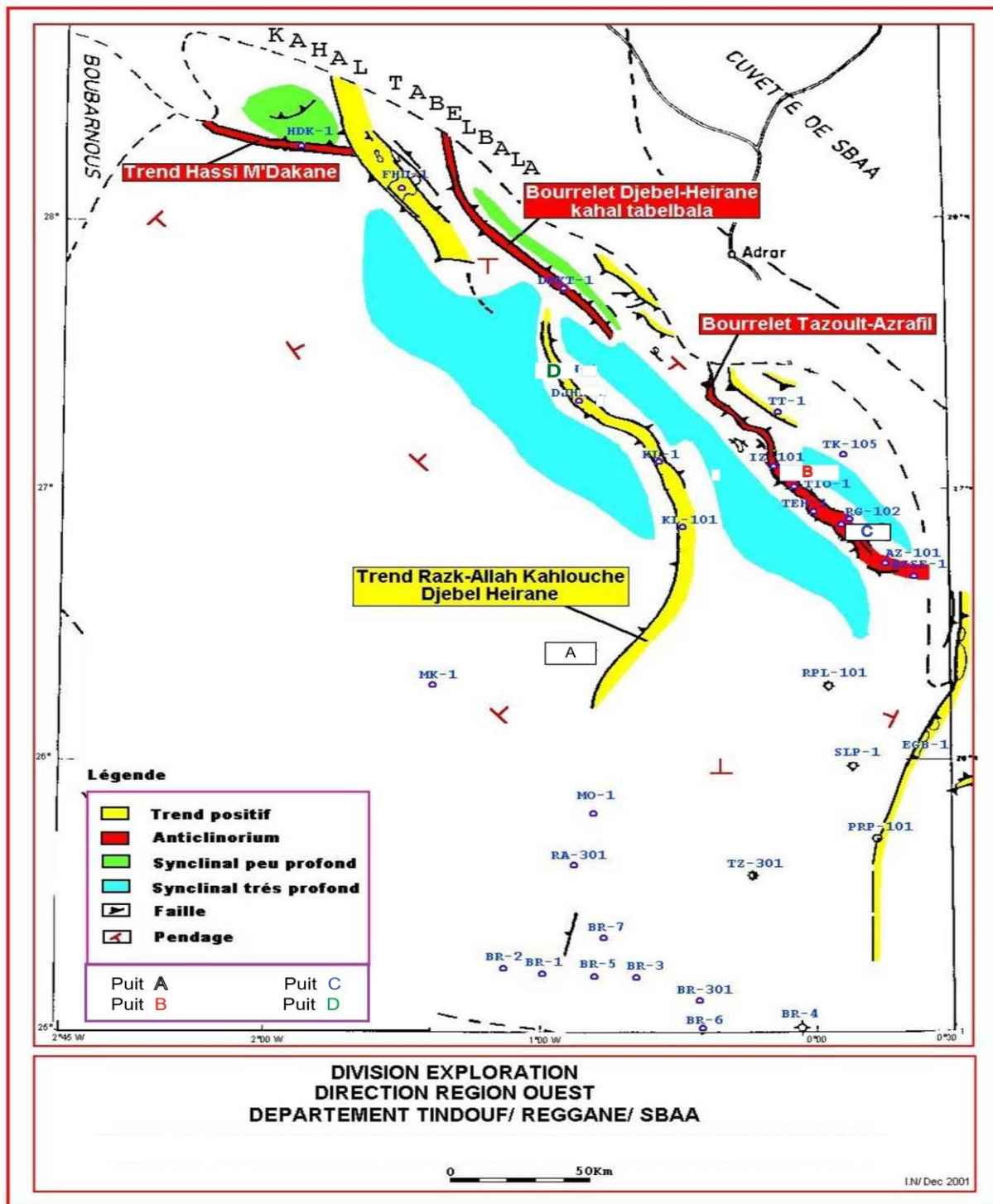


Fig I.4 : Eléments structuraux du bassin de Reggane (document SONATRACH).

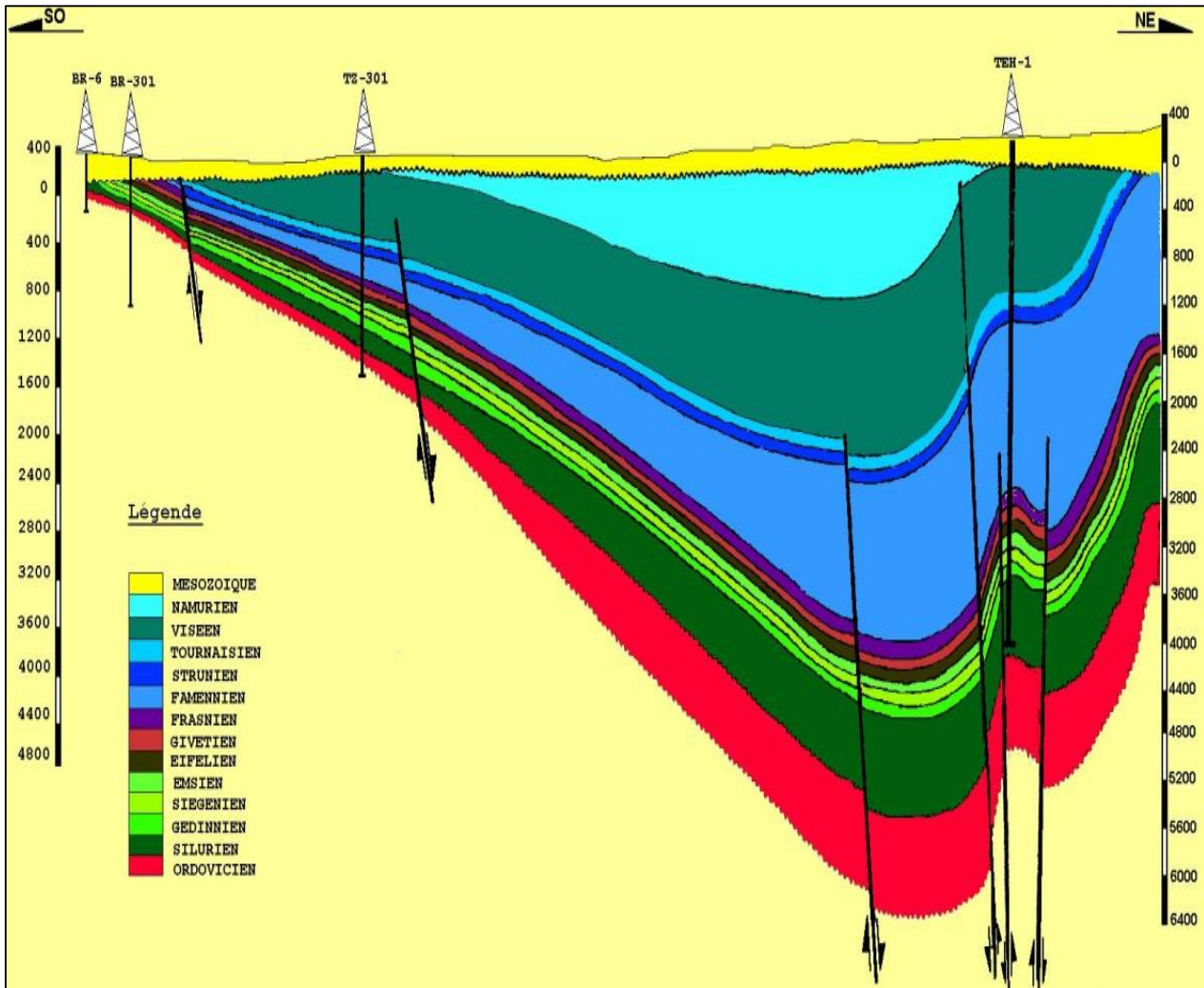


Fig I.3 : Coupe transversale du bassin de Reggane (document Sonatrach).

III. Historique des travaux

L'exploration géologique de Sahara a débuté au 20ème siècle, elle est jalonnée par les repères suivant :

Entre 1924 et 1925 : premier résultats synthétiques de Nicolas Menchikoff.

Début des années cinquante : les premières cartes géologiques avec la feuille au 1/500 000 de In Salah par Follot, Mayendroff et Lefranc et la feuille de Kerzaz par : Mayendroff et Poueyto.

En 1953 : Découverte de gaz par forrage Berga-1 situé ou Nord de bassin de l'Ahnet.

En 1952 : Présentation de la carte géologique au 1/2000 000 du Sahara occidental par Gevin au XIXe congrès géologique international tenu à Alger.

En 1958 : Publication de la feuille de Tindouf.

En 1956 : La découverte de pétrole et de gaz à Hassi Messaoud et Hassi Ramel a orienté les efforts de recherche vers l'Est du Sahara au détriment de l'Ouest.

Sur la chaîne de Ougarta plusieurs travaux ont été réalisés par les universitaires notamment :

Chikaoui 1974 : Sur les roches volcaniques de précambrien dont il a précisé la nature ignimbritique.

Donzeau 1971 : Etude structurale dans le paléozoïque des monts de l'Ougarta.

Bouima 1986 : Minéralisation cuprifère du Rahmani dans Sud-Est djebel Bentadjine.

Ait kaci 1990 : Evolution lithostratigraphique et sédimentologique de cambrien des monts de l'Ougarta.

Ces dernières années Sonatrach a entrepris des efforts quant aux travaux de recherches dans Sahara occidental notamment par la signature de plusieurs conventions d'étude avec ses associés pour évaluer le potentiel pétrolier de ces bassins :

La convention d'étude entre Sonatrach et BHP pétrolier en 1995 : Synthèse pétrolière des bassins de l'Ahnet et de Reggane.

Mohammed Khennous 1997 : Histoire de l'évolution sédimentaire et structural en vue de la recherche pétrolière de bassin avoisinant la ride de l'Ougarta.

IV. Stratigraphie du bassin de Reggane

Dans le bassin de Reggane, la couverture sédimentaire est représentée essentiellement par des sédiments détritiques du Paléozoïque. La couverture peut atteindre une puissance de 6500 m. En se basant sur les données de terrain et de forage (Aliev et al., 1971 ; Beuf et al, 1971 ; Fabre, 1976 ; Conrad, 1984 ; Khennous, 1997),

On distingue trois grands ensembles litho-stratigraphiques (Fig.5) :

- Un substratum, atteint par les forages implantés dans le sud, qui est recouvert en discordance par une série plissée de l'Infra-Cambrien.
- Une couverture sédimentaire paléozoïque importante qui dépasse 5000 d'épaisseur.

- Une couverture méso-cénozoïque très réduite.

1. Le substratum

Le substratum d'âge Précambrien, il serait de même nature que celui des Eglab. Exploré sur une dizaine des mètres dans les sondages de la région de Brini et du Tanezrouft, il correspond à un socle d'âge Eburnéen représenté par des granités de différentes compositions. Ce socle affleure dans les régions de Bou Bernous, d'Ouallène et de Tabelbala.

2. L'Infra-Cambrien

Reposant en discordance sur les granites du socle, l'Infra-Cambrien du bassin de Reggane affleure dans les régions de Bou Bernous, d'Ouallène, de Bled el Mass, du Touat et de Tabelbala. Il a aussi été traversé par des sondages dans le Sud du bassin, notamment dans la région de Brini où son épaisseur atteint 550 m. Il comprend trois membres : un membre inférieur grésocarbonaté, un membre moyen argileux et un membre supérieur argilo-gréseux métamorphisé. Ces formations sont recoupées par des dolérites qui seraient d'âge Néoprotérozoïque (Précambrien supérieur).

3. La couverture paléozoïque

La couverture paléozoïque est bien développée en allant du Cambrien au Carbonifère terminal. Cette couverture est fréquemment recoupée par des intrusions des roches magmatiques d'âge mésozoïque sous forme de sills ou de dykes.

3.1 Le Cambrien

Le Cambrien, connu à l'affleurement sous le nom de formation de Sebket el Mellah et de Ain-Necha, correspond à un ensemble sédimentaire de 1000 mètres d'épaisseur des grès arkosiques et quartzitiques de couleur blanche parfois rosâtre, de conglomérats et des grès admettant des passées d'argiles.

3.2 L'Ordovicien

L'Ordovicien, totalisant entre 600 et 750 m des sédiments, montre quatre formations :

- la première formation est constituée d'argiles silteuses noires et des grès de Kheneg El Aatène, psammitiques et rouges ferrugineux à la base et blancs quartzitiques riche en tigillites au sommet. Cette formation, épaisse de 400 mètres, connue en affleurement sous le nom de Fom Tineslem est attribuée au Trémadoc-Arenig inférieur (Legrand, 1983).

- la seconde formation, d'une épaisseur de 200 m et discordante sur la précédente, est constituée d'argiles noires silteuses riche en fossiles. Elle est connue en affleurement sous le nom de Foum Ez Zeïdiya et est attribuée à l'Arenig supérieur-Caradoc inférieur (Legrand, 1983).

- la troisième formation comprend des grès ferrugineux en plaquettes à miches des carbonates et d'intercalation d'argiles noires. Elle est connue à l'affleurement sous le nom de Bou M'haoud et est attribuée au Landeilien et/ou au Caradoc (Arbey, 1962 ; Gomez-Silva et al., 1963).

- la quatrième formation, d'épaisseur variant de 10 à 160 m, est discordante sur la formation précédente, est constituée d'un niveau conglomératique à la base suivi par des grès et des argiles de l'environnement glaciaire et péri-glaciaire. Elle est connue à l'affleurement sous le nom de la formation de Djebel Serraf et est attribuée au Caradoc (Arbey, 1968).

3.3 Le Silurien

Le Silurien est constitué d'argiles noires radioactives et pyriteuses à Graptolites avec parfois la présence des bancs de calcaires et des intervalles des grès. La puissance de cette formation argileuse augmente du Sud au Nord-Est du bassin et peut dépasser 100 m. Cette formation est connue pour avoir constitué une roche mère à l'échelle de toute la plateforme saharienne.

3.4 Le Dévonien

Le dévonien d'une épaisseur allant de 2000 à 2500 mètres au centre du bassin est subdivisé en Dévonien inférieur, moyen et supérieur.

3.4.1 Le Dévonien inférieur

Le Gédinnien est constitué d'argiles silteuses et des grès gris à gris foncé généralement fin à rares niveaux de calcaires. Ils correspondent aux formations de Zeimlet et de Saheb el Djir qui porte le nom de série de transition (Legrand, 1998).

Le Siéginien est constitué d'argiles silteuses et de cordons sableux et est rapporté à la série de D'khissa.

L'Emsien, épais de 170 à 190 mètres, est constitué d'un banc de calcaire à Orthocères qui est un repaire stratigraphique régional (Muraille de Chine), suivi par des grès fins à moyen à ciment carbonatés et par des niveaux à galets. Il correspond à la formation argilo-calcaire de Teferguenite (Fabre, 1976).

3.4.2 Le Dévonien moyen

Le Dévonien moyen englobant l'Eifelien et le Givétien, a une épaisseur qui varie de 30 à 200 m. Il est constitué par une série eifélienne argilo-silteuse à la base avec intercalations des marnes et des grès fins et est surmonté par la série argilo-carbonaté du Givétien composé des calcaires blancs argileux et intercalations de marnes et d'argiles. Ces séries correspondent à la formation de Chefar El Ahmar.

3.4.3 Le Dévonien supérieur

Le Dévonien supérieur, regroupant le Frasnien, le Famennien et le Strunien, a une épaisseur qui varie de 200 à 1500 m. La série frasnienne et la série famennienne sont constituées de bas en haut d'une alternance d'argiles vertes, de calcaires fins rouges avec de fréquentes intrusions doléritiques, et de grès gris clair à fines passées d'argiles. Le Frasnien admet dans sa partie inférieure des argiles radioactives semblables à celles du Silurien qui peuvent atteindre 400 m d'épaisseur. Le Strunien est constitué de 50 à 200 m d'argiles, de siltstone et de grès. L'ensemble du Dévonien supérieur est connu sous le nom de la formation des argiles de Temertasset et des grès de Marhouma.

3.5 Le Carbonifère

Le Carbonifère inférieur englobant le Tournaisien et le Viséen :

3.5.1 Le Tournaisien

Le Tournaisien, épais de 30 m sur le flanc Sud du bassin et de 250 dans le bourrelet Tazoult-Azrafil, est formé d'un ensemble inférieur de grès gris clair à grains fins, quartzeux, feldspathiques, avec de fines intercalations d'argiles, et d'un ensemble supérieur formé d'argiles à fines intercalations de calcaires, siltstones et rarement de grès.

3.5.2 Le Viséen

Le Viséen, atteint 1200 m, est composé de calcaire oolithique, graveleux et peu argileux, affecté d'une dolomitisation secondaire au Nord du bassin et intercaler par des dykes et des sills de dolérites. Il est connu en affleurement sous le nom de la dalle d'Iridet (Conrad, 1984). Il est subdivisé en quatre unités lithologiques distinctes : unité A essentiellement argileuse, unité B gréseuse, unité C constituée de calcaire marneux et unité D représentée par du gypse et de l'anhydrite.

3.5.3 Le Namurien

Le Namurien, répandu dans la partie centrale du bassin, est constitué de calcaires à foraminifères et accessoirement à coraux, d'argiles versicolores et de grès. À la base de la série, les argiles sont gris vert, parfois noires, très carbonatées alors qu'au sommet, elles sont brun-rouge, silteuses, faiblement sulfatées (Conrad, 1984). Ces dépôts correspondent à la formation de Berga.

4. Le Méso-Cénozoïque

La série mésozoïque, d'une épaisseur de 200 m est constituée de sables grossiers, de dolomie et de gypse et repose en discordance sur la série Namurienne par la discordance hercynienne. Les formations triasiques restent absentes dans le bassin de Reggane.

Le Cénozoïque, représenté par des dunes de sable, recouvre toute la surface du bassin.

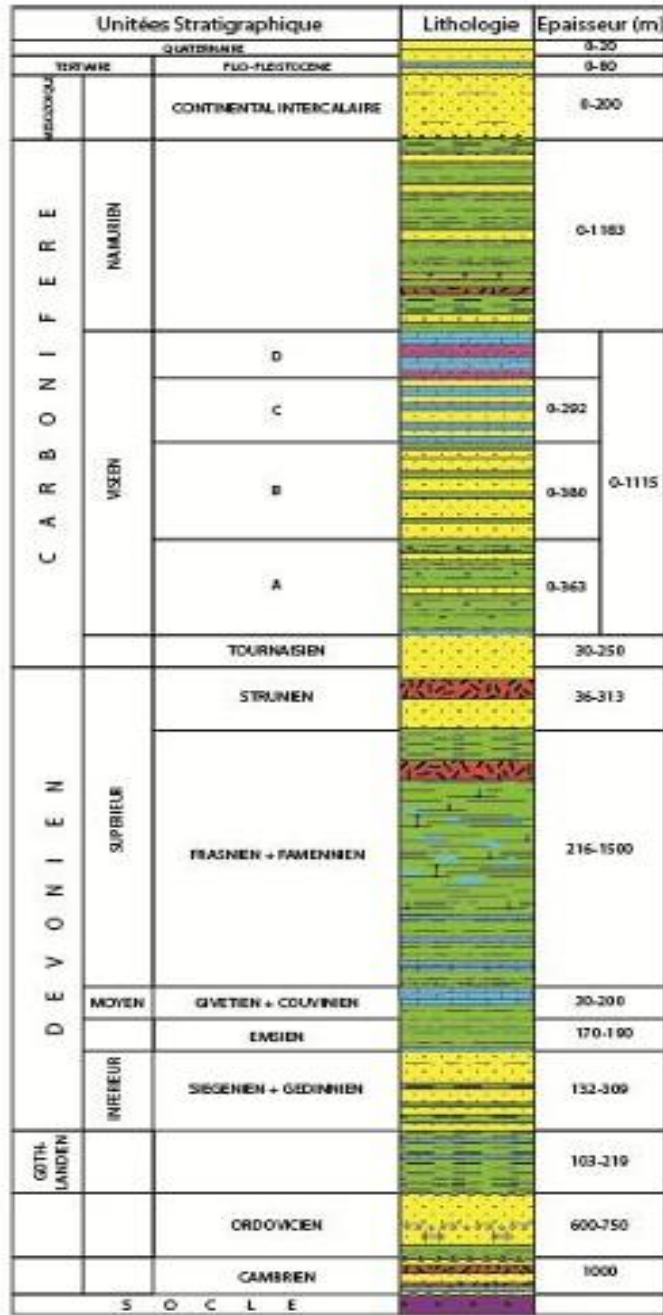


Fig.I.5 : Colonne stratigraphique synthétique du bassin de Reggane (Document SONATRACH 2018)

V. Evolution géodynamique du bassin de Reggane

L'évolution géodynamique du bassin de Reggane est guidée par les structures tectoniques et les reliefs hérités de la chaîne panafricaine qui s'est terminée vers 500 Ma.

Cette évolution est également conditionnée par sa position proche de la zone de suture du craton Ouest africain et aussi par l'évolution de la chaîne de l'Ougarta.

Le Cambrien inférieur correspond à une période rifting, qui est marquée par une réactivation des failles panafricaines en failles normales (Fig. 6. a), ayant créé des grabens comblés par des produits d'érosion des reliefs panafricains (Beuf et al., 1971).

Au Cambrien moyen et supérieur, la phase post-rift commence à se manifester par une influence marine (Drid, 1989).

La période ordovicienne est caractérisée par les dépôts argileux gréseux du stade postrifting accompagné d'une subsidence tectonique modérée.

L'Ordovicien supérieur est marqué par une érosion de la partie méridionale du bassin (Fig. 6. b1) qui est liée au soulèvement du bouclier Reguibat lors de la phase Taconique.

Dans la partie septentrionale du bassin, la subsidence persiste et la sédimentation se poursuit avec des dépôts clastiques dans un environnement glaciaire (Beuf et al., 1971) (Fig. 6. a).

Le Silurien est caractérisé par une transgression marine liée à la fonte glaciaire qui a conduit au dépôt d'une épaisse série d'argiles noires à graptolites (Boudjema, 1978) (Fig. 6. a).

Le soulèvement durant la phase calédonienne, au Dévonien inférieur du bouclier Reguibat au Sud et de la chaîne de l'Ougarta au Nord, a donné au bassin de Reggane une forme dissymétrique, montrant des marges méridionales très larges et septentrionales très courtes (Fig. 6. b2).

Le Dévonien supérieur et le Carbonifère inférieur sont caractérisés par une forte subsidence contrôlée par la réactivation des accidents de socle et accompagnée d'une transgression généralisée ayant permis le dépôt d'une séquence argilo-carbonatée (Fabre, 1976) (Fig. 6. a et b3).

Le Carbonifère supérieur est caractérisé par l'arrêt de la sédimentation dû au retrait de la mer causé par les mouvements compressifs précoces de la phase hercynienne au Westphalien (Boucheneb, 1989) (Fig. 6. b5).

La structuration du bassin fut réalisée lors des mouvements compressifs tardifs de la phase hercynienne au Stéphien (Fig. 6. a).

Ces mouvements ont développé des plis orientés NW-SE et réactivé des failles majeures préexistantes.

À l'échelle régionale, la phase post hercynienne (Mésozoïque) est accompagnée par le soulèvement important de la chaîne de l'Ougarta et son déversement vers le Sud sur le bassin de Reggane Fig. 6. b6).

Une importante lacune stratigraphique de plus de 100 Ma entre le Jurassique et le Namurien (Fig. 6. a) est attribuée à la succession de nombreux événements tels que la distension qui est à l'origine de la mise en place des dolérites. Elle est relayée par les phases distensives alpines qui

ont engendré les bassins méso-cénozoïques détritiques (Fig. 6. b7).

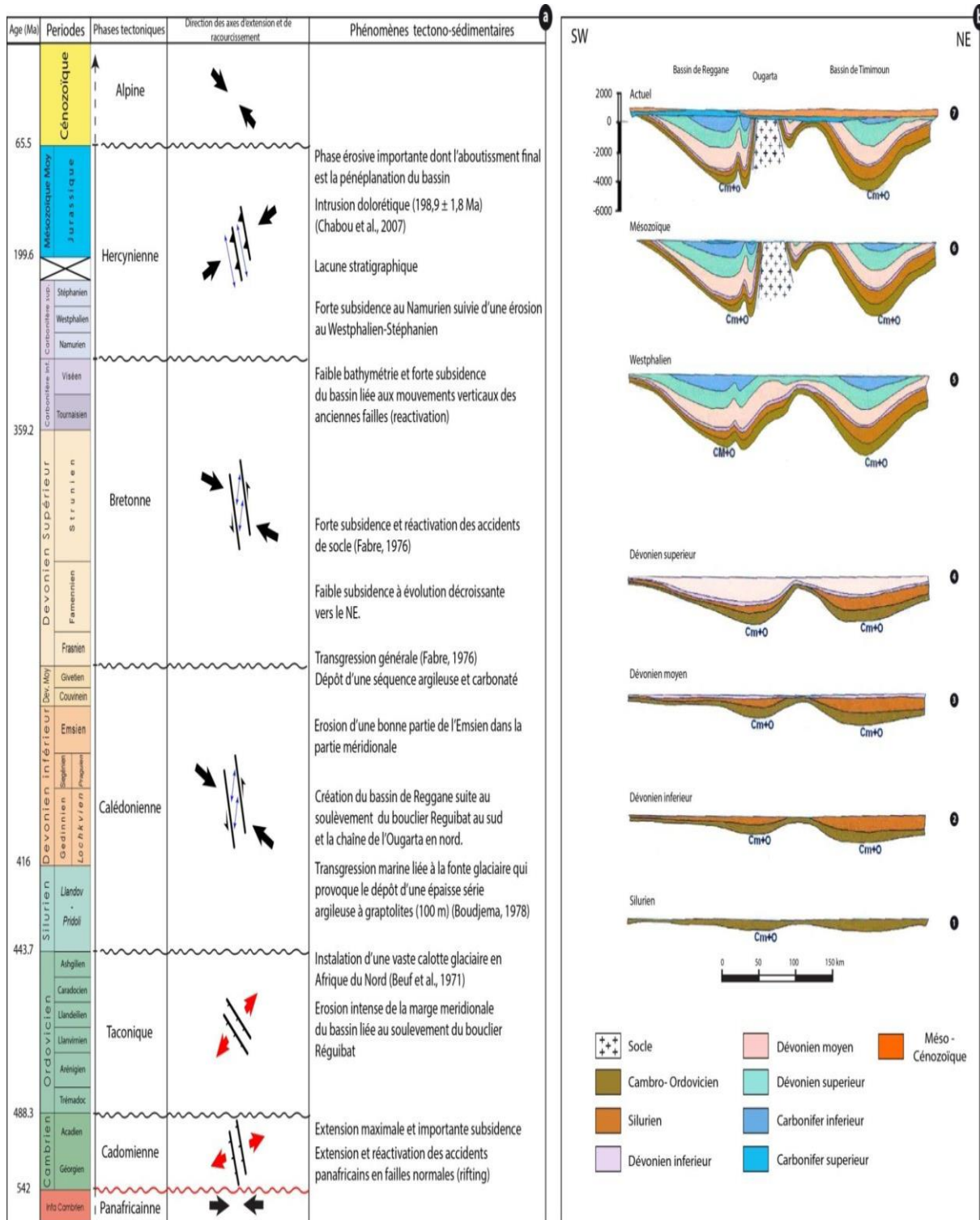


Fig.6 : (a). Les principales phases tectoniques qui ont affectées le bassin de Reggane

(b). Coupes montrant l'évolution géodynamique du bassin de Reggane (Aliev et al., 1971)

VI. Intérêt et système pétrolier de la région du reggane

1. Roche mère

C'est une formation riche en matière organique qui génère les hydrocarbures. Les analyses géochimiques ont montré que les principales roches mères sont les argiles radioactives à graptolites du Silurien basal et du Frasnien.

Les modélisations géochimiques ont révélé que la bordure occidentale du bassin est perspective en hydrocarbures liquides et/ou gazeux, alors que la bordure orientale, a un potentiel essentiellement à gaz.

2. Roche réservoir

Une formation poreuse où les hydrocarbures peuvent s'accumuler après leur migration, Plusieurs roches réservoirs existent dans le bassin de Reggane, mais les plus rencontrées et les mieux connues sont celle du Dévonien inférieur.

2.1 Cambrien

Ce réservoir est formé de grès grossiers à moyens, parfois quartzitiques, les paramètres pétro physiques sont de bonne qualité.

2.2 Ordovicien

C'est un réservoir formé principalement de grès quartzitiques, argileux. Il est peu étudié vu sa position structurale très profonde. La porosité de ce réservoir est de l'ordre de 5 % et la perméabilité y est très faible.

2.3 Dévonien inférieur

Ce réservoir représente le principal objectif de la région, son extension à l'intérieur du bassin s'avère relativement régulière. Il comprend de bas en haut :

- **Siegénien Gédinnien** : Composé de quatre (4) barres gréseuses, ce réservoir présente une porosité moyenne de 12 % et une perméabilité de l'ordre de 50 mD

- **Le Siegénien**, qui est le principal réservoir du Dévonien inférieur, Ce réservoir montre des caractéristiques pétrophysiques assez élevées, avec 15 à 26 % de porosité et des perméabilités de 90 mD.

- **Emsien**, Le banc de grès au sommet de cette formation a été considéré comme compact par les forages B et C.

2.4 Carbonifère

Ce réservoir lorsqu'il existe, présente de bonnes caractéristiques pétrophysiques avec des porosités de 10 à 20 % et des perméabilités de 10 à 100 mD.

3. Les roche couvertures Les roches couvertures c'est des couches imperméables qui empêche les hydrocarbures de remonter à la surface. Toutes les formations sous et sus jacentes aux réservoirs cités précédemment, jouent le rôle de roche couverture.

4. Le piège

Le piège permet de conserver les hydrocarbures dans la roche réservoir, sans lui pétrole continuerait de migrer vers la surface et s'échapperait.

4.1 Les différent type de piège

a) Les pièges stratigraphiques

Sont constitués par une variation latérale des caractéristiques de la roche réservoir passant à des terrains imperméables ou par des phénomènes de sédimentation donnant naissance à un « biseau de sédimentation ».

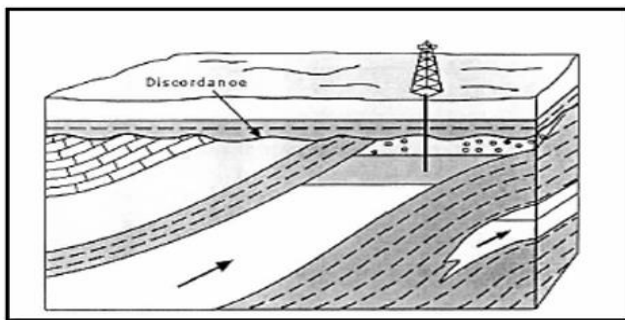


Fig. I.7 : Piège stratigraphiques (mémoire Hafsaoui 2022/2023).

b) Les piège de faille

Sont constitués par une déformation des couches sédimentaires, généralement postérieur aux dépôts. Les pièges par failles (figure 3.6) correspondent à des fractures brutales qui ferment une couche réservoir en la mettant directement en contact avec un terrain imperméable.

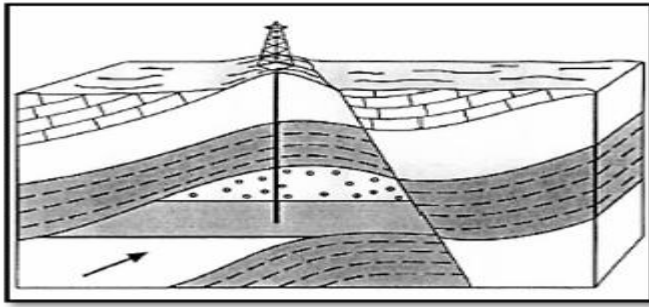


Fig. I.8 : Piège par faille (mémoire Hafsaoui 2022/2023).

c) Les pièges anticlinaux

Sont les plus nombreux et les plus importants ; ils sont dus à des déformations souples des couches sédimentaires décrivant des voûtes naturelles qui permettent l'emprisonnement des hydrocarbures migrant dans les niveaux réservoirs

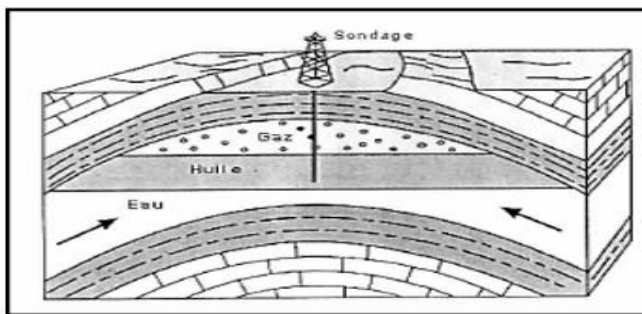


Fig. I.9 : Piège anticlinal (mémoire Hafsaoui 2022/2023).

Chapitre II
Etude Pétrographique

I. Introduction

Le choix de la région d'étude a été effectué par Sonatrach afin d'explorer des réservoirs non conventionnels dans le but d'exploiter et de renouveler les réserves nationales, Pour cela nous allons élaborer une description détaillée des différents constituants pétrographiques et minéralogiques, qui composent les faciès gréseux des échantillons de puis A, B, C et D dont l'intervalle est compris respectivement entre (428,35m-708,10m), (1287,60m-1403,69m), (321,35m-899,55m),(1520,70m-2681,35m) d'âge carbonifère, situés dans la région de Reggane.

Après avoir introduit la présentation de la méthode d'étude, une description détaillée des éléments figurés ainsi que celle des différents ciments seront abordées.

Nous examinerons par la suite les principaux processus diagenétiques qui ont affecté les sédiments et nous tenterons également d'établir la séquence diagenétique et d'en tirer les conséquences aussi bien dans l'amélioration des qualités réservoir que dans la détérioration de ces dernières.

II. Méthodologie

Dans le cadre de notre étude pétrographique, minéralogique quatre sondages ont été étudiés (Tab.1), 22 lames destinés à la réalisation de l'étude pétrographique et diffractométrie au rayons X (DRX).

La préparation des lames minces utilisées pour l'étude pétrographique a été réalisée au niveau du laboratoire de préparation géologique CRD-SONATRACH/BOUMERDES.

Les plaques minces sont imprégnées du bleu de Mytilène pour mieux apprécier la porosité.

Le tableau ci-dessous met en évidence les puis étudiier leur age et leur type d'analyse ainsi que les profondeurs étudiées.

Puits étudiés	Age	N° Carotte	Nombre d'échantillons	
			Pétrographie	DRX
A	Namurien	1	428,35	1,00
	Namurien	1	429,25	1,00
	Namurien	2	629,7	1
	Viséen B	3	706,15	1
	Viséen B	3	708,10	1,00
B	Tournaisien	1	1287,6	1
	Tournaisien	3	1399,15	1
	Tournaisien	3	1403,60	1,00
C	Viséen A	2	321,32	1,00
	Viséen A	2	324,1	1
	Tournaisien	2	730,65	1,00
	Strunien/Tournaisien	7	894,15	1,00
	Strunien/Tournaisien	7	899,55	1,00
D	Viséen C	2	1520,7	1,00
	Viséen B	2	1522,60	1,00
	Viséen B	2	1525,15	1
	Viséen B	3	1844,45	1
	Viséen B	6	2135,7	1
	Viséen B	6	2138,2	1
	Tournaisien	12	2633,55	1
	Tournaisien	12	2637,67	1
	Tournaisien	14	2681,35	1

Tableau.1 : Liste des échantillons prélevés sur les carottes des sondages étudiés.

Cette étude pétrographique nous a permis en premier lieu de décrire l'aspect pétrographique du réservoir, pour cela il a fallu une analyse quantitative et qualitative approfondie de lame mince au microscope optique dont le but sera la détermination des caractéristiques suivantes :

- De mesurer la taille des grains de quartz (maximum et moyen).

- D'identifier les types de contacts entre les éléments.
- De déterminer la morphoscopie des grains de quartz.
- De reconnaître le classement des grains de quartz.
- D'estimer le pourcentage des composants détritiques et digénétiques.
- D'estimer les pourcentages de différentes porosités.

III. Étude pétrographique

Les réservoirs carbonifères du bassin de Reggane sont constitués essentiellement de dépôts silico-clastiques à savoir des grès très fins, fins à moyens intercalés parfois par des niveaux silteux et quelquefois par des dépôts carbonatés à bioclastes.

Les niveaux silico-clastiques présentent en général une minéralogie complexe avec des proportions variables de quartz, de feldspaths, parfois de fragments de roches et autres alors que les dépôts carbonatés présentent des calcaires grainstone, pakestone et mudestone à texture variable avec une variété des bioclastes.

IV. Analyses pétrographiques des dépôts silico-clastiques

1. Les composants détritiques

• Quartz

Le quartz est le principal composant détritique des grès de réservoir carbonifère du bassin de reggane avec des proportions plus moins abondantes, atteignant (85% du volume total de la roche). Il est présent sous forme de grains souvent monocristallins (Pl.1, photo A) et d'extinction roulante. La forme des grains est en générale subanguleuse à anguleuse rarement sub-arrondie. La taille des grains varie quant à elle entre 0,080mm et 0,250mm.

Les grès sont bien classés et le contact entre les grains les plus dominants sont de type droit à tangentiel

• Les feldspaths

Les feldspaths sont généralement peu fréquents dans les grès de ce réservoir, ce sont surtout des plagioclases altérés de taille égale à celle des grains de quartz détritiques, leur proportion oscille entre 1 et 7%.

• Les micas

Les micas sont représentés par la biotite plus moins altérée et la muscovite. Se présentant sous la forme de fines paillettes avec un pourcentage ne dépasse pas 7%. Ils sont présents dans presque tous les échantillons étudiés.

•Les minéraux lourds

Ils sont présents en traces, les minéraux lourds les plus fréquents sont représentés par des minéraux ultrastables et résistants aux altérations et aux transformations durant de longs processus de transport et de sédimentation. Il s'agit de l'occurrence du zircon (Pl.1, photo B et C) et de la tourmaline.

•Les fragments de roches

Les fragments de roches ont été observés uniquement au niveau du puits D à la cote 1844,45m où leur pourcentage ne dépasse pas 3%. Il s'agit de débris argileux (pseudo-matrice) de taille parfois millimétrique.

•Les bioclastes

Au niveau du puits D et entre les profondeurs 1844,45m et 2138,20m quelques bioclastes sont présents. Il s'agit des sections d'échinodermes et des débris de brachiopodes. Leurs taux ne dépassent pas 8% du volume totale de la roche.

•Les oolithes chloriteuses

Elles ont été observées uniquement dans les grès du puits D (Cote 1844,45m) avec un taux ne dépassant pas 3%. Ces oolithes sont formés, typiquement, de nombreuses pellicules concentriques, couvrant occasionnellement, un fragment de quartz (Pl.1, photo D).

2. Les composants authigènes

Les composants authigènes regroupent tous les types de ciments ainsi que les minéraux authigènes observés dans les grès de quatre puits étudiée et ce sont par ordre d'importance.

2.1 L'argile

L'argile présente des proportions assez élevées dans tous les échantillons étudiés. L'argile joue le rôle de liant principal de ces grès avec des teneurs qui peuvent atteindre les (15%) dans certaines cotes.

Elle se présente sous deux habitus différents, soit en très fin revêtement autour des grains de quartz, ou en amas de toute taille (produits d'altération des feldspaths, micas, lithoclastes argileux remaniés et autres) encombrant et colmatant parfois l'espace poreux.

L'analyse des argiles par diffractométrie aux rayons X des échantillons des puits A, B, C et D nous a révélé que la fraction argileuse est constituée essentiellement de :

- La chlorite

La chlorite forme un revêtement pelliculaire de type « *chlorite coating* » au tour des grains de quartz, ce phénomène a joué un rôle essentiel dans la préservation des qualités réservoirs.

- L'illite et kaolinite

L'illite présente un pourcentage assez élevé et pourcentage faible de kaolinite voire absente dans certains échantillons, observés dans quelque puits sous forme des cristaux remplissant l'espace intergranulaire.

Les carbonates

Ils sont généralement représentés par la calcite, la dolomite et la sidérite. La proportion du ciment dolomitique et calcitique varie de 2 à 30%, alors que la sidérite (Pl.1, photo E et F), son taux varie entre 1 et 31%.

La dolomite et la calcite se présentent, en général, sous deux formes principales,

D'abord, sous la forme de petites plages disséminées dans les grès (Pl.2, photo A), et sous la forme de larges plages obturant totalement l'espace intergranulaire « texture poecilitique » (Pl.2, photo B).

2.3 La silice de nourrissage

La silice de nourrissage est très peu ré pondue avec des proportions très faible, elle forme une auréole autour des grains de quartz issue de la surcroissance irrégulière de ces derniers, elle se projette souvent dans l'espace poreux intergranulaire et dégrade totalement son volume

2.4 La silice secondaire

La silice secondaire est très peu ré pondue avec des proportions assez variables d'un échantillon à un autre. Le taux le plus élevé (5%) a été observé dans le puits D. Il se présente en remplissant les espaces intergranulaires « silice intergranulaire » (Pl.2, photo C).

2.5 Sulfate (Anhydrite)

Avec un taux atteignant parfois 10%, le ciment anhydrite est assez souvent observé en association avec la dolomite. Elle se présente sous forme de petites plages isolées (Pl.2, photo D).

2.6 La pyrite

La proportion de la pyrite dans les grès varie de 1 à 7%. Elle se présente, en remplissant quelquefois les microfissures (Pl.2, photos E et F). La pyrite est souvent associée à la matière organique.

2.7 Les oxydes de fer

Les oxydes de fer sont représentés par l'hématite à l'état de traces. Ils sont généralement liés à l'abondance du chlorite ferrifère et sont parfois associés aux plages de sidérite (Pl.1, photo E et F).

2.8 La glauconite

La glauconite n'a été observée que dans quelques niveaux silteux des puits D à l'état de traces avec un taux ne dépassant pas 2% (Voir tableaux résultats d'analyses pétrographiques en annexes) sous forme de grains réguliers, généralement arrondis, de taille semblable à celle des grains de quartz, de couleur vert foncé à texture microgrenue.

2.9. La matière organique

La proportion de la matière organique est assez faible de (1 à 3%). Il se présente sous forme de tapissage des grains de quartz et sous forme de grains de petite taille, de forme plus ou moins arrondis, correspondant probablement à des pollens (Pl.3, photos A, B, C et D).

V. Résultats pétrographiques des dépôts silico-clastique

L'étude pétrographique et minéralogique des échantillons, a révélé que les grès de réservoir carbonifère Reggane sont classés Quartzarenites à Subarkoses selon la classification de Folk (1974), avec une composition moyenne de Quartz (**Q** 50-85%), Feldspaths (**F** 0-7%) et lithoclaste R (0-3%), traduisant ainsi, une maturité minéralogique élevée pour les grès (Fig II.1).

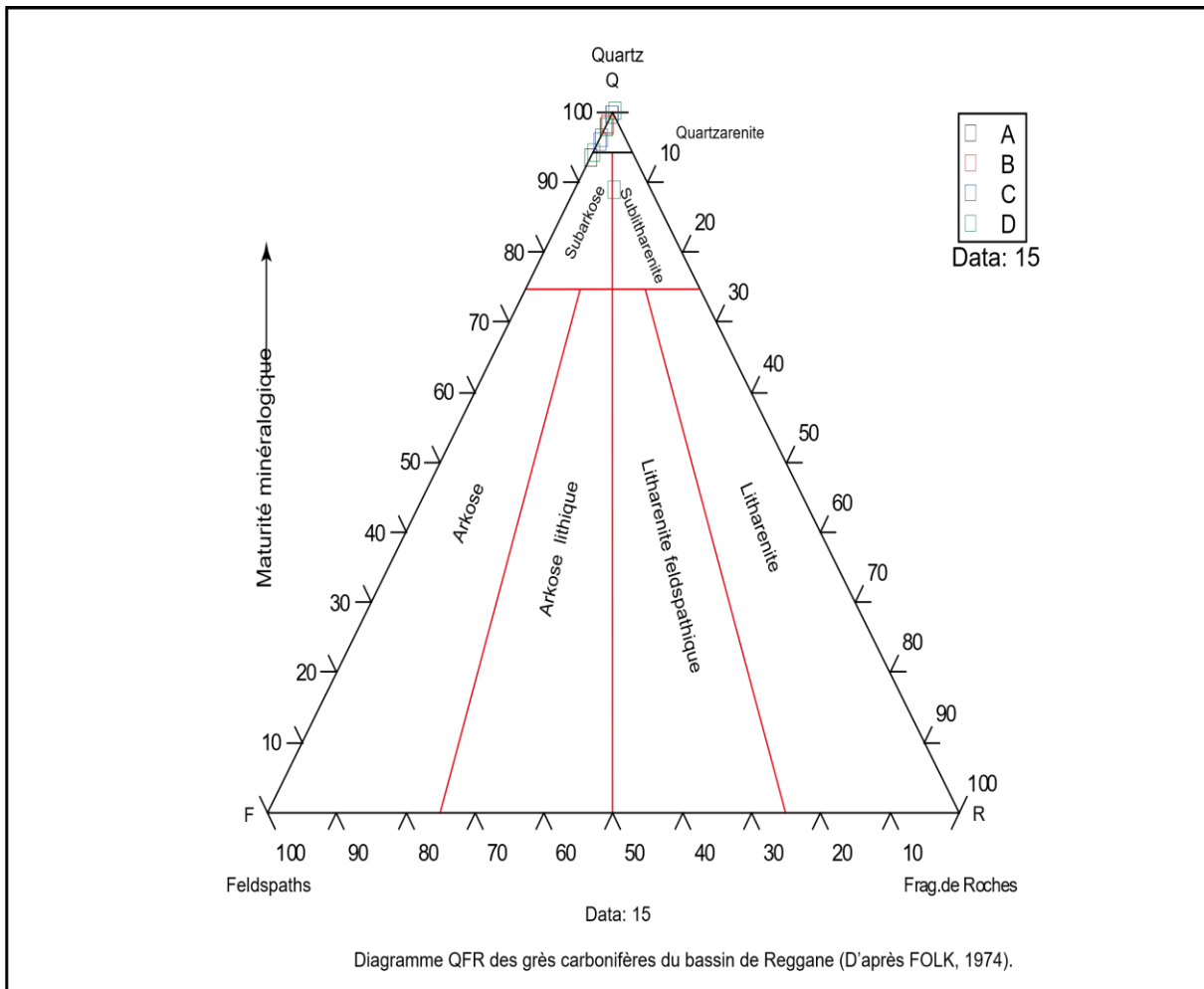


Fig II.1 : Diagramme QFR des grès carbonifère de bassin Reggane selon classification de FOLK, 1974.

VI. Analyse pétrographique des dépôts carbonates

Les dépôts carbonatés ont été observés sur les échantillons des puits A et D. Ils sont situés en général dans la partie supérieure sus jacents aux dépôts silico-clastiques.

La classification de Dunham (1962) a été utilisée dans la description de ces microfaciès carbonatés.

1. Description du puits A (Carottes 1 à 3 : de 428,35m à 706,15m)

Quatre (04) échantillons ont été analysés dans cet intervalle (Carottes 01 à 03). Il s'agit de roches calcaires à textures variables, allant du mudstone, pour la carotte 01 à packstone à bioclastes pour les carottes 02 et 03.

Le calcaire mudstone (Pl.3, photos E et F) est constitué d'une boue microcristalline micritique (87 à 98%) de couleur marron sombre dans laquelle baignent des pelletoides (pellets) (Pl.3, photo E).

Ces derniers, avec un taux de 7%, sont observés à la cote 429,25m, on retrouve aussi dans ce ciment micritique des microfissures colmatées par des carbonates (Pl.3, photo F), des plages de recristallisation par des cristaux de microsparites et de la précipitation de la silice (Pl.2, photo F) dans certains endroits. Au milieu, de ce faciès, quelques éléments détritiques de faible taux (2%) ont été rencontrés, tels que les grains de quartz.

Dans les carottes 02 et 03, le calcaire packstone (Pl. 4, photos A à E et F) est composé principalement d'une multitude de bioclastes (60 à 75%) tels que des débris et des sections de Bryozoaires (Pl.4, photos A, C et E), des débris de Brachiopodes, des Bivalves (Pl.4, photo B), des plaques ou des sections à extinction uniformes d'Echinodermes et de Crinoïdes (Pl.4, photo E), des Foraminifères (Pl.45, photo F) à la cote 706,15m et d'autres fantômes de bioclastes non reconnaissables.

Des oolithes (10%), (Pl. 4, photo D) et des lithoclastes à l'état de traces sont également présents. Ces éléments biogéniques et non biogéniques sont liés par divers ciments formés de boue micritique et de cristaux de microsparite et sparite à la cote 629,70m.

2. Description du puits D (Carotte 2 : de 1520,70m à 1525,15m)

Les observations effectuées sur les échantillons de cet intervalle (Voir tableaux résultats d'analyses pétrographiques en annexes) ont révélé la présence d'une roche carbonatée silteuse riche en bioclastes (Pl.5., photos A et B), très diversifiés (25%) tels que les Bryozoaires, bien développés dans certains endroits (Pl.5, photos C et D), des sections débris, de Brachiopodes (Pl.5, photos B et E), débris des Bivalves (Pl.5, photo F), des plaques ou des sections, à extinction uniformes d'Echinodermes (Pl.5, photo B) et des Crinoïdes (Pl.5, photo F).

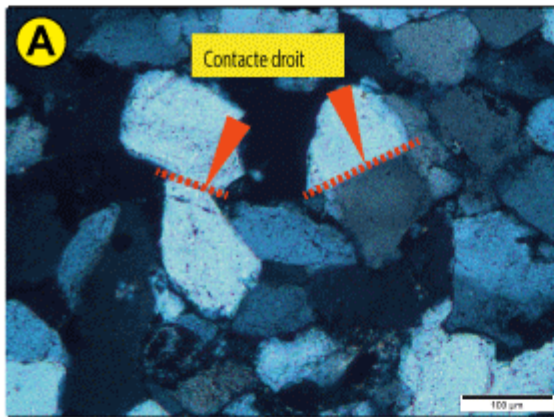
Certains de ces bioclastes présentent une recristallisation partielle ou totale en calcite ou en anhydrite (7%) et sont liés par des cristaux de sparite (10%) de différentes tailles.

Par ailleurs, des microfissures ouvertes (Pl.6, photo A), et des plages de ciments « en dents de chien » (Pl.6, photo B), des fragments d'Echinodermes (Pl.6, photo C) peuvent apparaître.

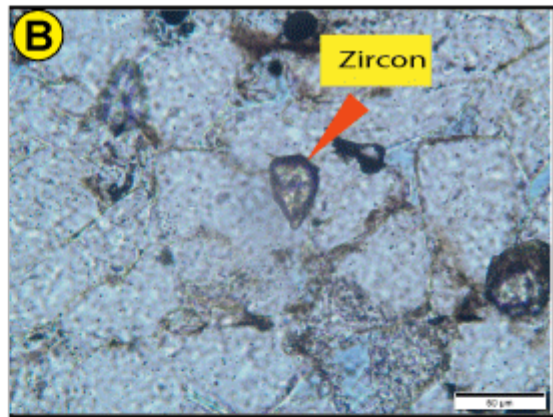
D'autres éléments sont associés à ces bioclastes, il s'agit de pelletoides (Pl. 5, photo A) avec un taux de 7% et correspondant à des grains de petites tailles micritiques plus ou moins homogènes sans nucleus ni squelette et ni structure interne.

Au milieu de ce faciès où le taux de carbonates peut atteindre 40%, s'observe des concentrations silteuses (20 à 28%), des feldspaths (1 à 7%), des micas (5%) et des grains isolés de phosphates à l'état de traces. (Voire tableaux des analyses pétrographique de puis D)

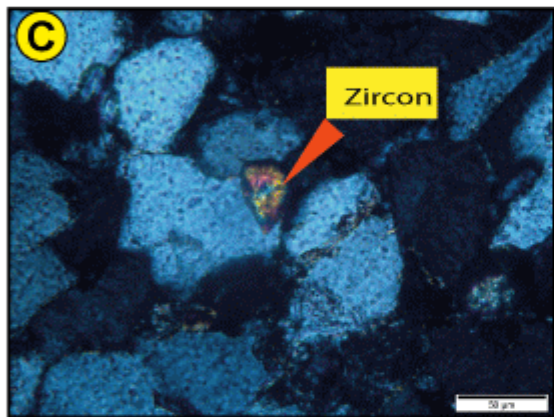
Planche 1



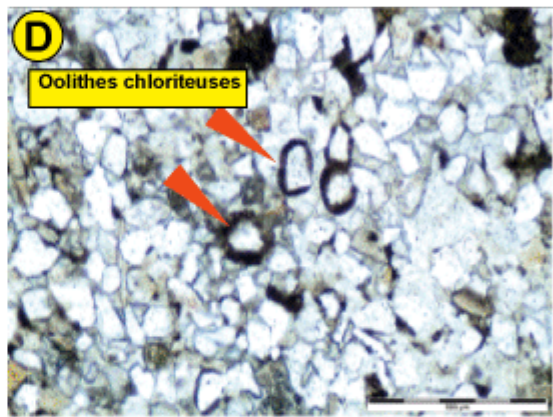
Puits: **B**, Cote: 1403,60m, Age: Tournaisien (LP)



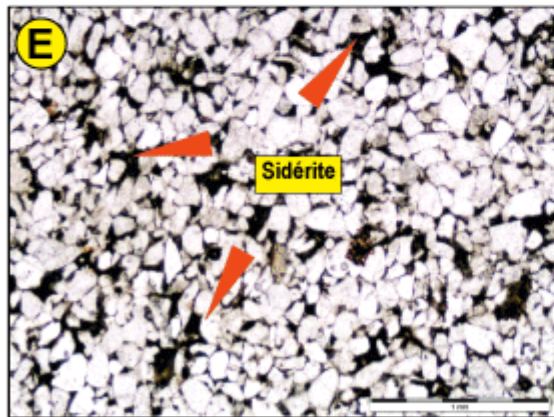
Puits: **C**, Cote: 899,5m, Age: Strunien/Tournaisien (LN)



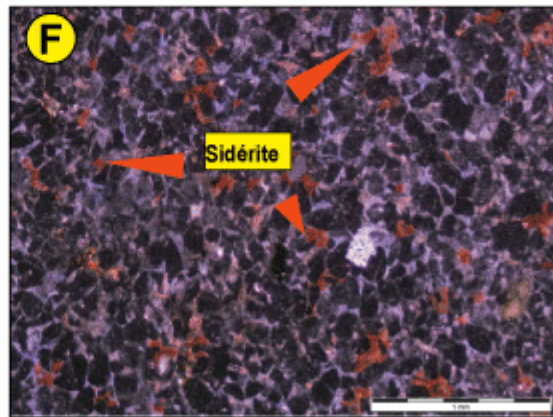
Puits: **C**, Cote: 899,5m, Age: Strunien/Tournaisien (LP)



Puits: **D**, Cote: 1844,45m, Age: Viséen B (LN)



Puits: **B**, Cote: 1399,15m, Age: Tournaisien (LN)



Puits: **B**, Cote: 1399,15m, Age: Tournaisien (LR)

Photo A : le contacte droit entre les grains de quartz et la morphoscopie subanguleuse.

Photo B : minéraux lourd zircon en lumière naturelle .

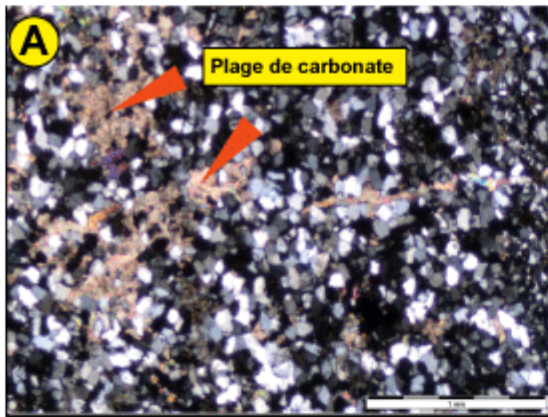
Photo C : minéraux lourd zircon en lumière polarisée.

Photo D : Oolithes chloriteuses formées de plusieurs couches concentriques entourant les grains de quartz dans un grès très fin.

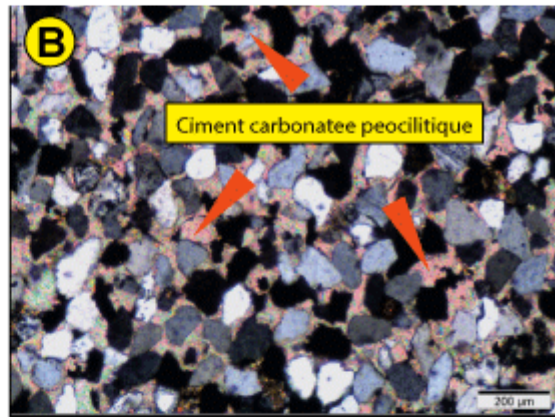
Photos E : Grès très fin à ciment carbonaté. On note la distribution aléatoire des plages de carbonates obturant le réseau poreux.

Photo F : Même vue que la photo B en lumière réfléchie.

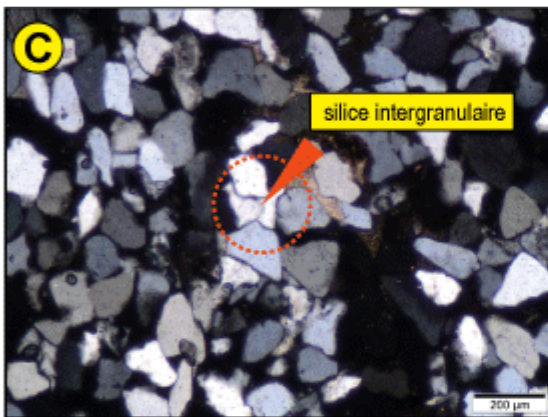
Planche 2



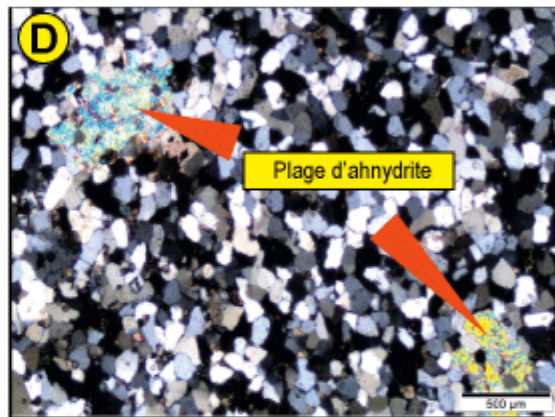
Puits: **A**, Cote: 708,10m, Age: Viséen B (LP)



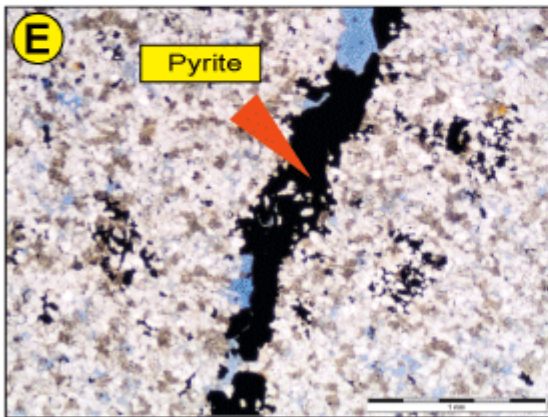
Puits: **C**, Cote: 321,35m, Age: Viséen A (LP)



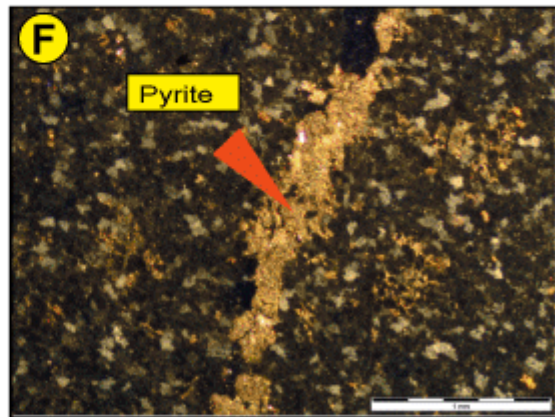
Puits: **D**, Cote: 2637,67m, Age: Tournaisien (LP)



Puits: **D**, Cote: 2633,55m, Age: Tournaisien (LP)



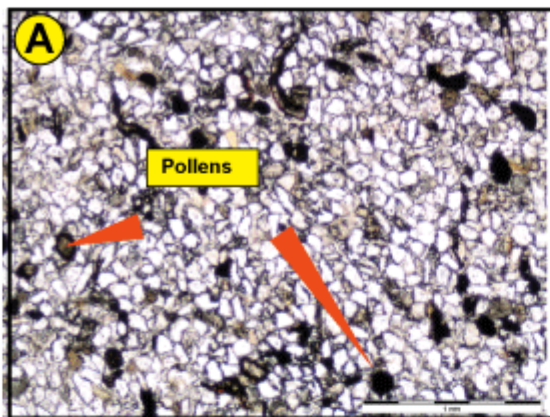
Puits: **C**, Cote: 730,65m, Age: Tournaisien (LN)



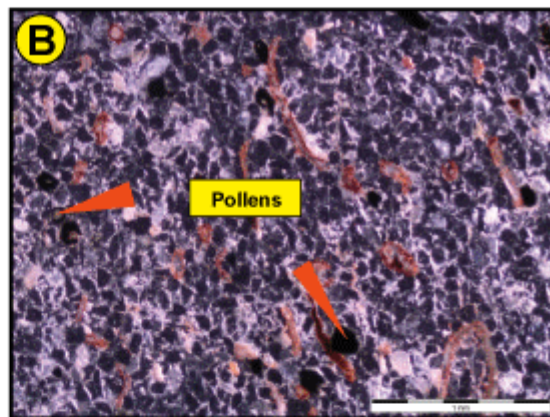
Puits: **C**, Cote: 730,65m, Age: Tournaisien (LR)

Photo A : Grès très fin à ciment carbonaté. On note la distribution aléatoire des plages de carbonates obturant le réseau poreux.
 Photo B : Développement du ciment carbonaté à texture peocilitique engendre par endroit une reduction de la porosité.
 Photo C : Développement du ciment siliceux sous forme de silice intergranulaire remplissant l'espace poreux.
 Photo D : Plage d'ahnydrite dans un grès moyen bien classé.
 Photos E et F : Autre forme de pyrite colmatant les microfissures.

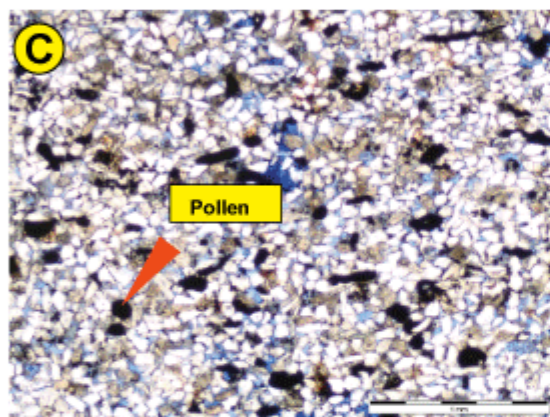
Planche 3



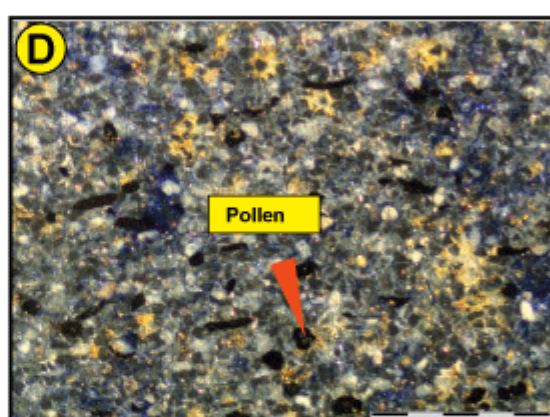
Puits: **D**, Cote: 2138,20m, Age: Viséen B (LN)



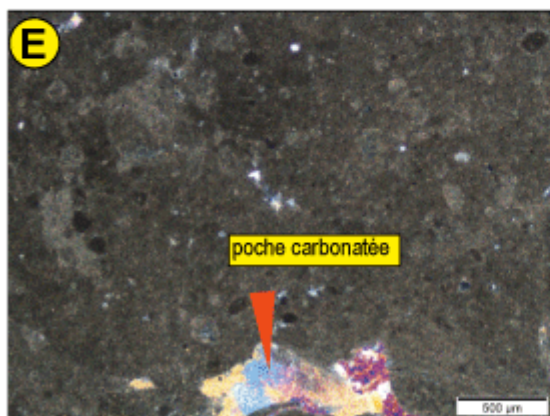
Puits: **D**, Cote: 2138,20m, Age: Viséen B (LR)



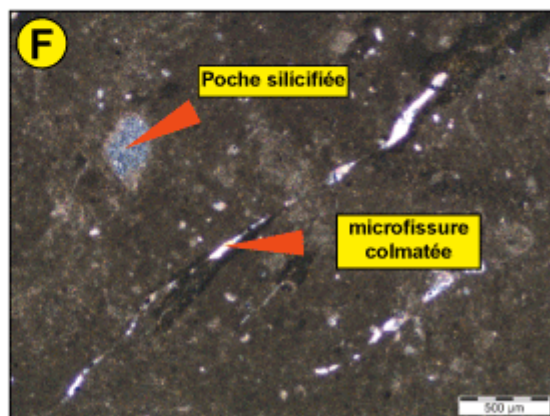
Puits: **C**, Cote: 324,10m, Age: Viséen A (LN)



Puits: **C**, Cote: 324,10m, Age: Viséen A (LR)



Puits: **A**, Cote: 429,25m, Age: Namurien (LP)



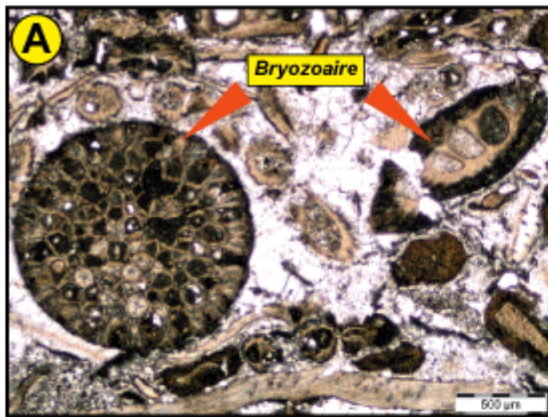
Puits: **A**, Cote: 429,25m, Age: Namurien (LP)

Photos A , B , C et D : Grains de pollens de petite taille.

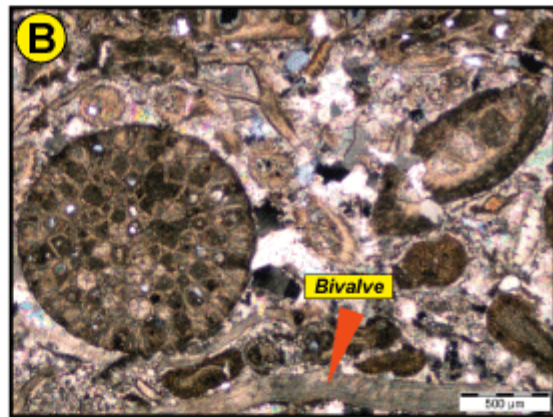
Photo E : Calcaire mudstone à pelletoides. Noter la présence de poches carbonatées.

Photo F : Mise en évidence de microfissures colmatées par des carbonates et précipitation de la silice dans un calcaire mudstone.

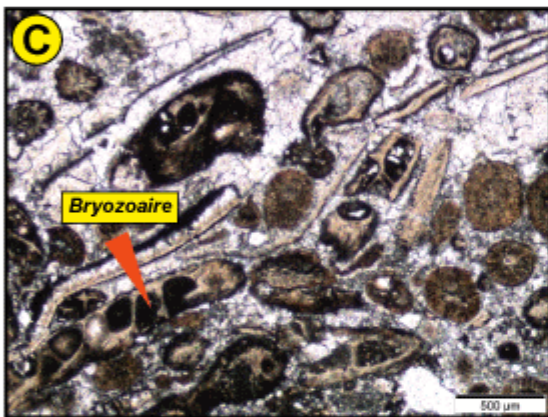
Planche 4



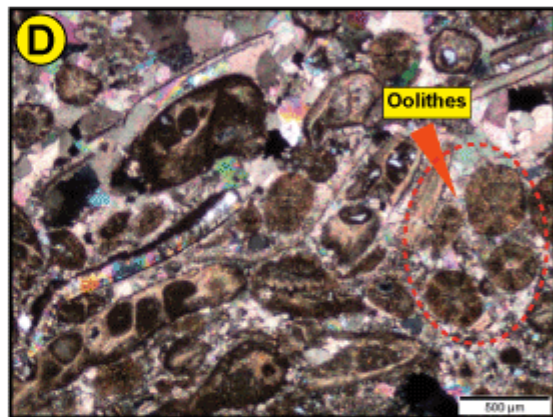
Puits: **A**, Cote: 629,70m, Age: Namurien (LN)



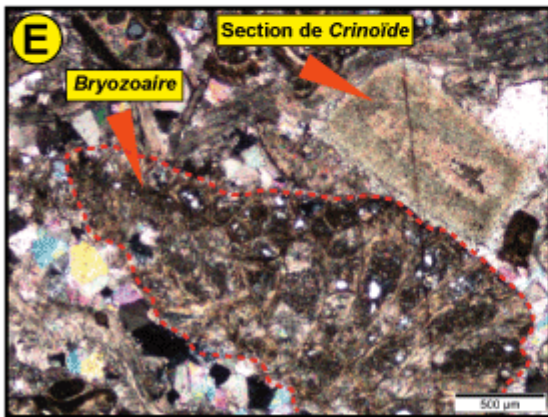
Puits: **A**, Cote: 629,70m, Age: Namurien (LP)



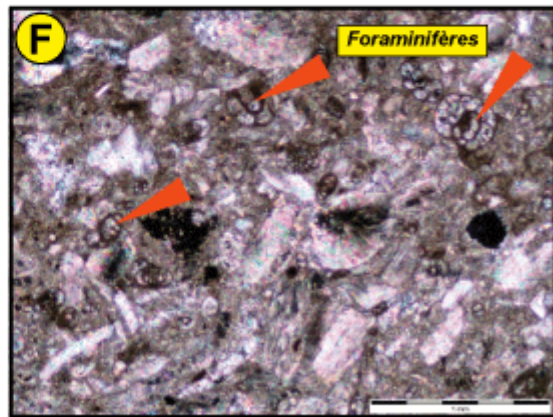
Puits: **A**, Cote: 629,70m, Age: Namurien (LN)



Puits: **A**, Cote: 629,70m, Age: Namurien (LP)



Puits: **A**, Cote: 629,70m, Age: Namurien (LP)

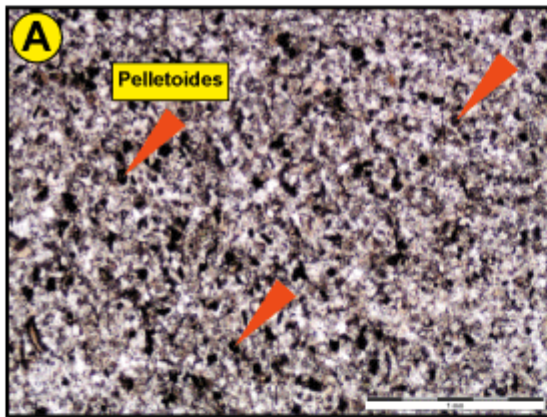


Puits: **A**, Cote: 706,15m, Age: Viséen Sup (LP)

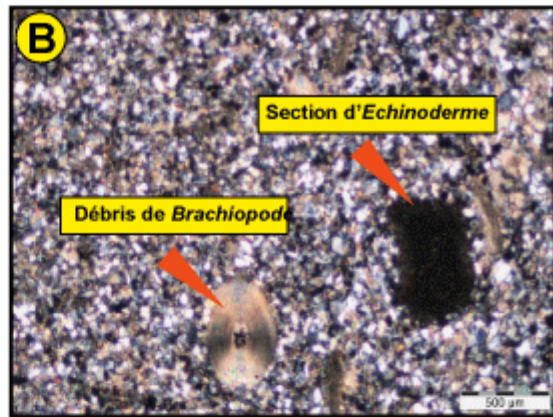
Photos A à E : Calcaire packstone à divers bioclastes et oolithes liés par une variété de ciments formés de micrite, microsparite et sparite (Photo D). Les bioclastes sont formés de *bryozoaire* (Photos A,C et E), *bivalves* (photo B), section de *Crinoïdes* (photo E).

Photo F : Diverses formes de *foraminifères* dans un calcaire packstone.

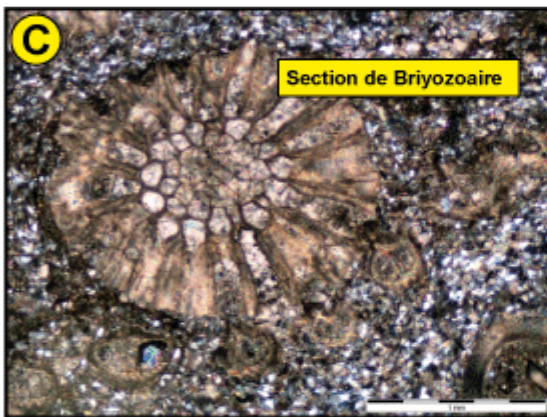
Planche 5



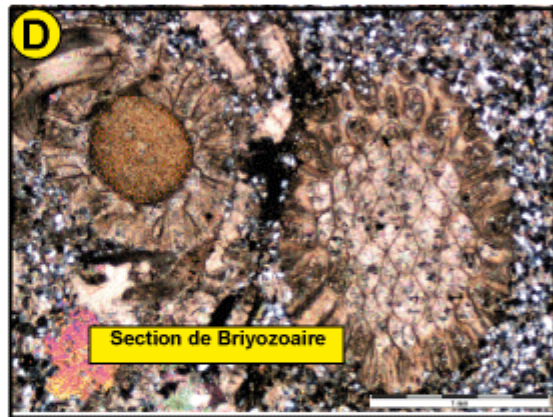
Puits: D, Cote: 1520,70m, Age: Viséen C (LN)



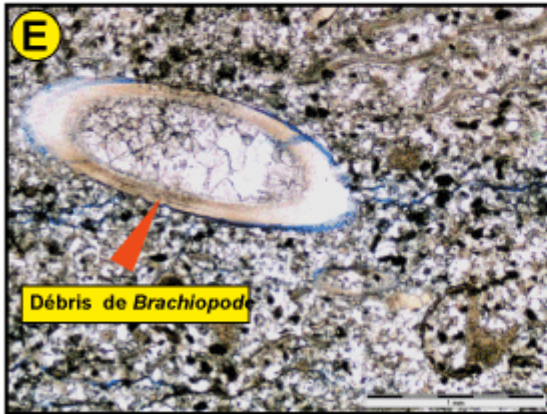
Puits: D, Cote: 1520,70m, Age: Viséen C (LP)



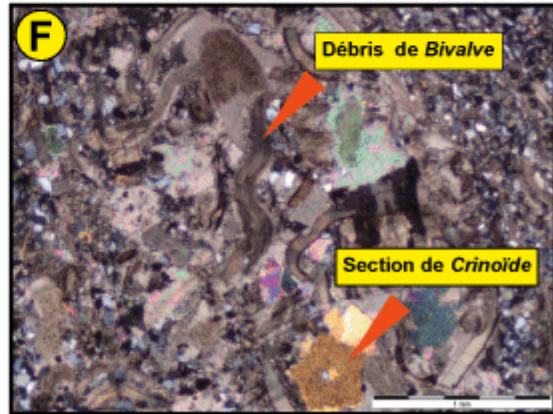
Puits: D, Cote: 1525,15m, Age: Viséen C (LP)



Puits: D, Cote: 1525,15m, Age: Viséen C (LP)



Puits: D, Cote: 1720,70m, Age: Viséen C (LN)



Puits: D, Cote: 1520,70m, Age: Viséen C (LP)

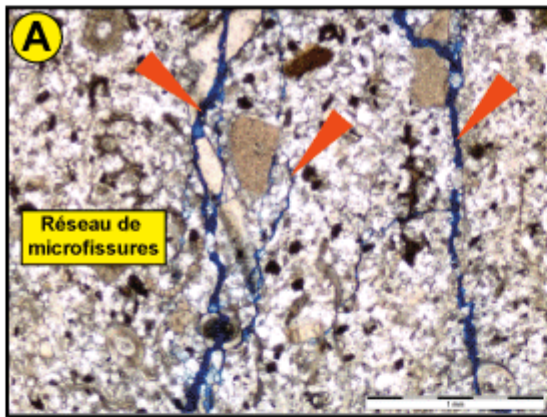
Photos A et B : Roche carbonatée silteuse à bioclastes. Noter la présence de pelletoides sur la photo A.

Photos C et D : Sections de *Bryozoaire* formées de larges branches ramifiées.

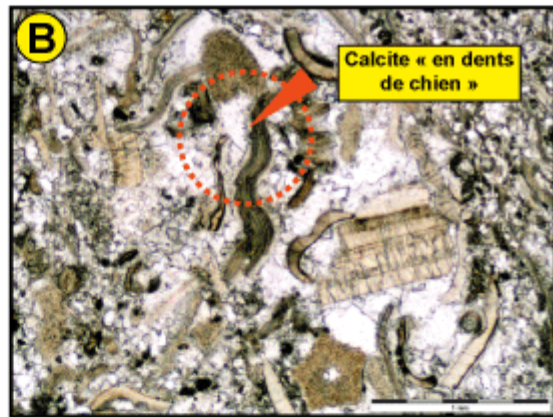
Photo E : Large section de *Brachiopode*.

Photo F : Section de *Crinoïde* associée à des débris des *Bivalves* et d'autres débris de bioclastes de différentes tailles.

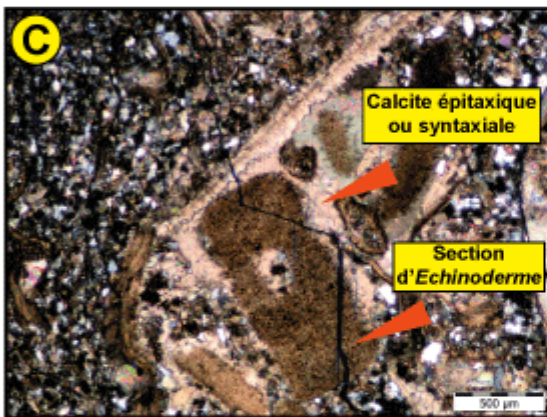
Planche 6



Puits: **D**, Cote: 1520,70m, Age: Viséen C (LN)



Puits: **D**, Cote: 1520,70m, Age: Viséen C (LN)



Puits: **D**, Cote: 1520,70m, Age: Viséen C (LP)

Photo A : Réseau de microfissures ouvertes fragmentant les bioclastes.

Photo B : Liséré de cristaux de calcite irréguliers autour d'un *Bivalve* correspondant à un ciment « en dents de chien ».

Photo C : Calcite croissante en continuité du réseau optique avec la section d'*Echinoderme* prise comme substrat.

Chapitre III

Etude diagénétique

I. Introduction

Les phénomènes diagénétiques qui résultent des transformations physico-chimiques ou biologiques modifient les propriétés originelles des réservoirs (porosité et perméabilité), ils peuvent dans certains cas les dégrader, et dans d'autres cas améliorer leurs capacités. Ces phénomènes ont été observés généralement dans tous les puits étudiés.

Ce chapitre est axé sur la détermination des principaux phénomènes diagénétiques observés que nous exposerons en détail. Nous tenterons ensuite d'établir une chronologie de ces phénomènes et ainsi établie une séquence diagénétique.

II. Notion de la diagenèse

La diagenèse correspond à l'ensemble des modifications physiques, chimiques ou biologiques qui permettent les transformations du sédiment meuble en une roche compacte. La limite avec le métamorphisme, souvent placée à l'anchizone est floue. Le produit final possèdera une texture et une composition qui dépendront tout autant de la provenance des matériaux que de leur évolution post-dépôt. (Cojan et Renard, 2006).

III. Les stades de la diagenèse

Selon les nombreux chercheurs qui ont étudié les phénomènes diagénétiques, il existe trois principales phases : la diagenèse précoce (éodiagenèse), la diagenèse profonde (mésodiagenèse) et la phase finale d'émergence (télo-diagenèse).

1. Eodiagenèse

C'est la diagenèse précoce, elle n'affecte que quelques dizaines de mètres de sédiment, c'est durant cette phase que les sédiments se lithifient. (Dunoyer de Seconzac, 1986). Cette phase correspond à l'intervalle de temps s'écoulant entre le dépôt final et le début de l'enfouissement précoce. (Fig III.1)

• **Le stade initial** : contrôlé par la composition chimique des eaux, le PH et la température, il caractérise les premiers centimètres de sédiment. Dans ce stade le taux de la matière organique et de l'oxygène est très important ainsi que l'activité bactérienne, ce qui entraîne, d'une part, l'augmentation de la pression partielle du CO₂ et d'autre part, une diminution du PH favorisant ainsi un milieu acide. (Fig III.2)

• **Le stade d'enfouissement précoce** : il est accompagné par l'apparition des bactéries anaérobies qui libèrent du H₂S provoquant ainsi l'augmentation du PH et donc l'établissement d'un milieu réducteur. (Fig. III.2)

2. Mésodiagenèse

Cette phase désigne la période post-dépositionnelle, comprise entre le début de l'enfouissement et le début de processus diagenétiques liés à une émergence. Elle affecte plusieurs centaines à milliers de mètres de sédiments, et conduit en général à une réduction importante de la porosité (Burley et Worden ; 2003), (Fig. III.1).

Elle correspond à la compaction avec les phénomènes de pression-dissolution, de l'expulsion des fluides, ainsi que de la cimentation progressive des pores, (Fig III.2).

3. Télodiagenèse

C'est la diagenèse tardive, elle vient après le stade de l'enfouissement, lors de l'émergence par un événement tectonique des sédiments ayant préalablement été enfouis.

Durant cette phase, le sédiment subit les conditions d'altération superficielles, à la suite de la pénétration des eaux météoriques. Ils s'effectuent alors des phénomènes d'oxydation, de dissolution et même de recristallisation en milieu acide, (Fig.III.1) et (Fig.III.2).

Elle affecte généralement une tranche peu épaisse près de la surface du sol (Bureley et Worden, 2003).

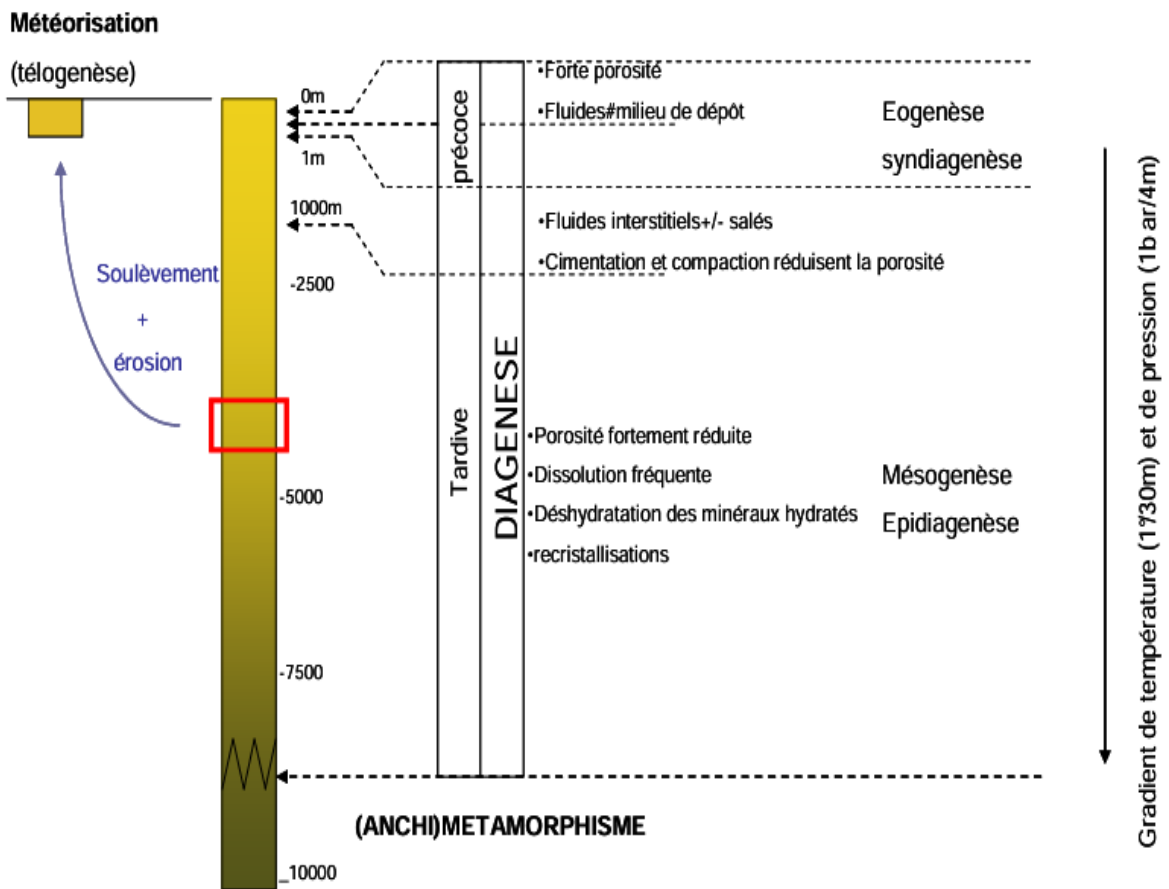


Fig III.1 : Les différents stades de la diagenèse en fonction de la pression et de la température (Cojan et Renard 2006).

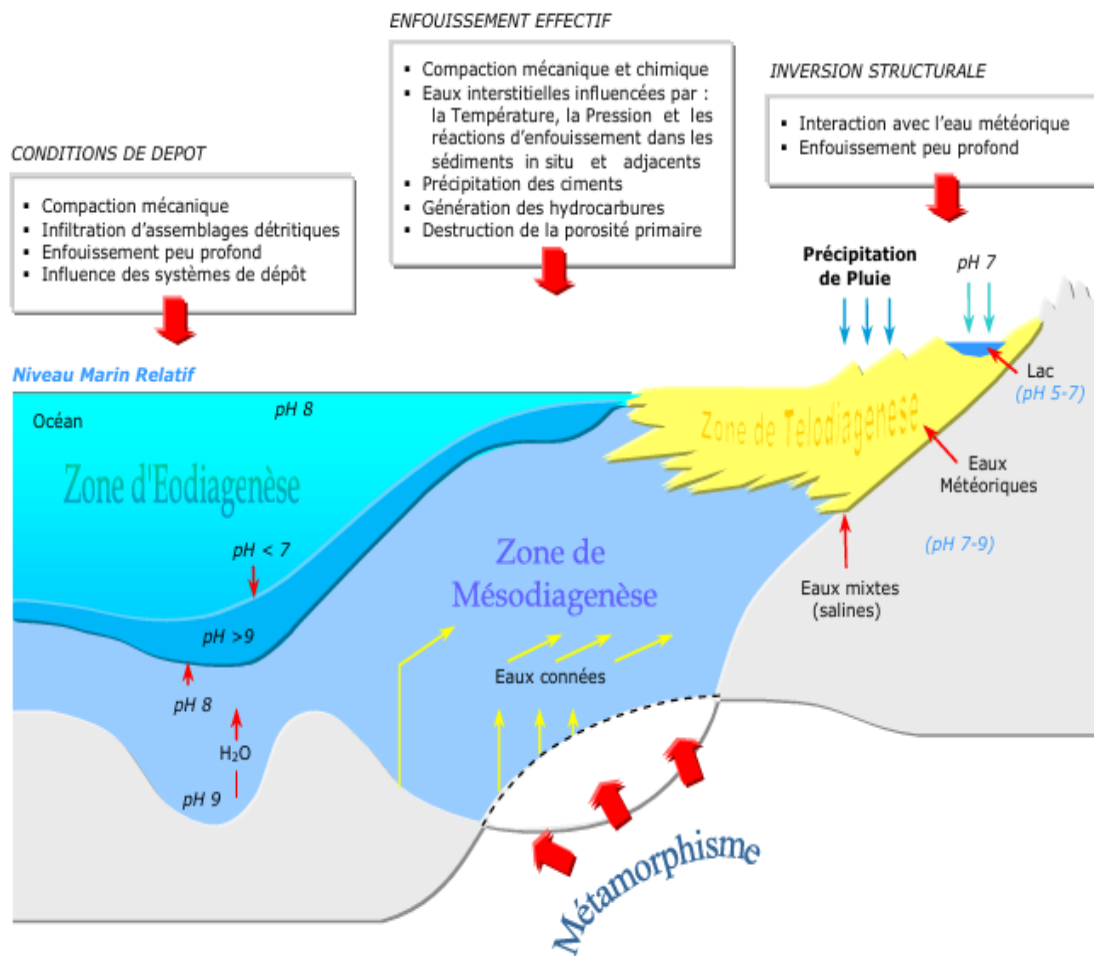


Fig III.2 : Profil idéalisé d'une marge continentale montrant les sites sédimentaires marins et les trois phases de diagenèse. (Serra ; 2003, Burley et Worden ; 2003).

(A) diffusion durant l'éodiagenèse.

(B) mouvement de fluides ascendants durant la mésodiagenèse.

(C) mouvement de fluides descendants durant la télodiagenèse.

IV. Les mécanismes de la diagenèse

De nombreux paramètres impliqués dans les transformations diagenétiques, résultent de la grande diversité et complexité des évolutions observées. On peut distinguer les processus suivants :

L'activité bactérienne essentiellement limitée à la diagenèse précoce.

Les mécanismes physiques, dominants dans les premiers stades de la compaction.

Les transformations chimiques qui traduisent les interactions entre les fluides interstitiels et les particules.

1. La compaction

Le tassement d'une couche sédimentaire sous l'action du poids des sédiments sus jacents correspond à la compaction. Ce mécanisme conduit à l'établissement d'un assemblage plus compact des particules par l'expulsion d'une partie de l'eau interstitielle dans les premiers décimètres d'enfouissement, et ensuite par déformation et dissolution des particules.

La compaction comprend donc une première phase au cours de laquelle les mécanismes physiques dominent (compaction physique) qui se traduit par un réarrangement des particules et une réduction de volume rocheux au détriment des vides originaux, donc par la diminution de la porosité initiale.

. Lorsque les possibilités de réarrangement simple sont épuisées, on observe alors la déformation ou la fragmentation des particules. Les transformations chimiques que sont la dissolution/précipitation (compaction chimique) se développent ensuite.

Les profondeurs auxquelles la compaction mécanique laisse place à la compaction chimique dépendent essentiellement de la granulométrie des sédiments, mais aussi de la composition chimique des particules (Burley et Worden ; 2003).

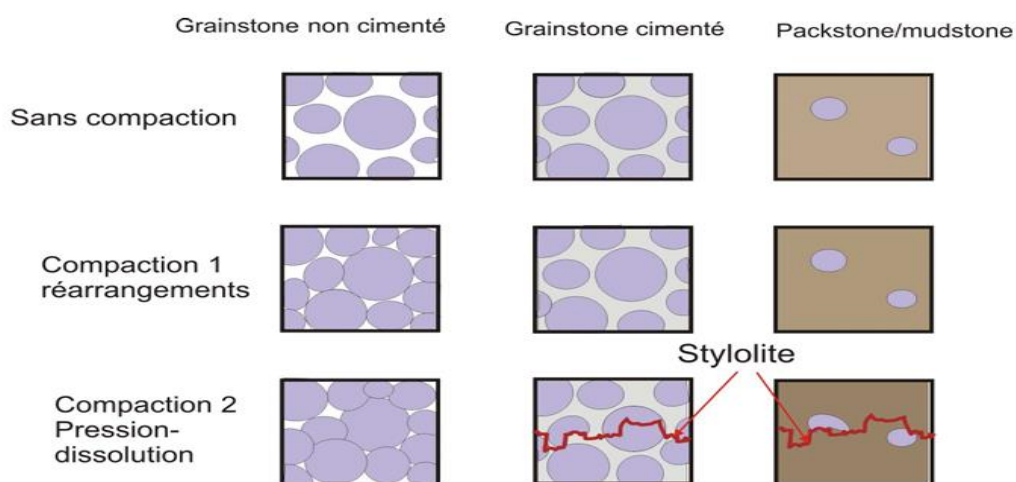


Fig III.3 : Schéma montrant la croissance de la compaction avec l'enfouissement.

2. La cimentation

Cette précipitation correspond à la cristallisation de solides à partir d'une solution aqueuse et peut se résumer en deux grandes étapes : la nucléation et la croissance des cristaux.

Elle contribue à la réduction de la porosité par cimentation des pores et à la transformation des sédiments meubles en roches dures.

Les minéraux diagénétiques les plus fréquents sont les carbonates, les silicates, les minéraux ferrifères. Les inclusions fluides de ces minéraux diagénétiques constituent d'excellents témoins des paramètres de leur milieu de précipitation (température, composition chimique des fluides interstitiels). (Burley et Worden ; 2003).

3. La dissolution

La dissolution, par de nombreux aspects, peut être considérée comme la réaction inverse de la précipitation. Elle contribue largement à la croissance de nouveaux minéraux grâce au renouvellement des éléments en solution.

Les phénomènes de dissolution liés à l'action d'eaux météoriques acides chargées en CO₂ sont particulièrement importants, car ils créent des réseaux poreux secondaires qui peuvent augmenter considérablement le potentiel réservoir d'une roche (Burley et Worden ; 2003).

La pression-dissolution par exemple des carbonates conduit à une dissolution sélective sur les points de contact des particules soumis à la contrainte maximale.

Dans les cas les plus favorables, les effets de la pression-dissolution et la corrosion conduisent à une réduction appréciable de la porosité.

Les traces laissées par ce type de réaction sont :

- Les interpénétrations des grains. Cet engrenage des grains est la cause première de réduction de la porosité.
- Les stylolithes correspondent à une surface de dissolution formée d'un ensemble de colonnette

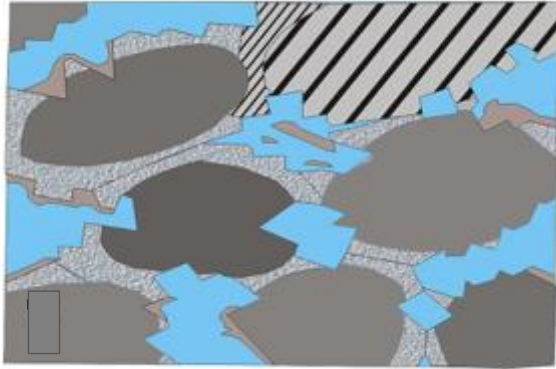


Fig III.4 : Schéma montrant le mécanisme de corrosion et dissolution des carbonates.

4. La recristallisation

Il n'y a pas de changement dans la composition chimique des minéraux mais une évolution, sous les conditions de pression et températures données, vers une stabilité plus grande. La recristallisation de la silice est la plus connue. (Burley et Worden ; 2003).

5. Le remplacement minéralogique

C'est le processus par lequel un nouveau minéral prend la place d'un autre. La dolomitisation, la pyritisation et la silicification appartiennent à cette catégorie, à laquelle se rattache également la transformation du feldspath en kaolinite_(Burley et Worden ; 2003).



Fig III.5 : Schéma montre le remplacement du feldspath par la kaolinite.

6. Les fluides

Ils jouent un rôle important dans toutes ces réactions. Les fluides mobiles réagissent avec les minéraux environnants dans un système fermé.

L'évolution de leur composition est fonction des transformations diagenétiques.

Les écoulements fluides permettent un renouvellement des réactifs et entraînent également les produits de la réaction. (Burley et Worden ; 2003).

V. Les phénomènes diagénétique observés

1. Diagenèse des dépôts silico-clastiques

Les principaux phénomènes diagénétiques identifiés et ayant affecté les dépôts silico-clastiques et à l'origine de l'amélioration ou de la détérioration des propriétés réservoirs sont :

•La silicification

Le ciment siliceux avec ses deux aspects, en surcroissance de quartz formant un ciment syntaxial en continuité optique avec le grain détritique (auréole), ou bien en ciment intergranulaire (Pl.2, photo C), a été observé en faible taux presque dans tous les puits étudiés mis à part le puit D où la proportion rencontrée est de 5 à 7% (Voir tableaux résultats d'analyses pétrographiques en annexes).

Cette silice peut avoir plusieurs sources :

- La pression dissolution des grains de quartz, c'est-à-dire la dissolution du quartz aux points de contact entre les grains lors de la compaction chimique puis la précipitation de cette silice dans les réseaux poreux.
- La circulation des eaux météoriques généralement riches en silice (Si) dans des contextes proches de la surface.
- La dissolution des feldspaths détritiques et des argiles notamment l'illite. Cette dernière trouve son origine dans la coexistence de kaolinite (diagénétique) et de feldspaths potassiques. Autrement dit, au-delà de 100°C (Worden & Burley, 2003), l'allitisation de la kaolinite s'accompagne de la formation de silice.
- La dissolution de tests de fossiles siliceux tels que les diatomés ou les spicules d'éponges qui intervient très tôt dans l'histoire d'enfouissement des sédiments.

• La cimentation argileuse

Dans les dépôts silico-clastiques analysés, le ciment argileux est très abondant et occupe un espace assez important influant directement sur les caractéristiques pétrophysiques. Ce cortège argileux est dominé par ordre d'importance par le chlorite, l'illite et la kaolinite.

La chlorite

La chlorite est l'argile, pratiquement, la plus dominante dans tous les échantillons des puits étudiés. Elle est généralement d'origine synsédimentaire et peut être issue de la transformation des micas noirs tels que la biotite.

Les observations faites sur lames minces ont révélé que cette chlorite peut se présenter sous plusieurs formes :

- En grain coating tapissant la surface des grains de quartz, l'impact de ce revêtement est variable selon son épaisseur et sa continuité à la surface des grains qui en fait son efficacité, en réduisant significativement les surfaces de nucléations possibles pour le développement du ciment siliceux. Par ailleurs, il augmente la résistance de la formation à la compaction.
- En amas de toute taille d'origine détritique (liée au dépôt) et parfois diagénétique remplissant l'espace intergranulaire.
- En oolithes chloriteuses : rencontrées uniquement dans le puits D à la cote 1844,45m avec un taux de 3% et à l'état de traces à la cote 2138,20m. Ces oolithes démontrent le caractère précoce et synsédimentaire du chlorite développé dans ces dépôts silico-clastiques.

L'illite

L'illite est le deuxième ciment dominant dans les échantillons des puits étudiés. Elle se développe généralement à des températures supérieures à 70-80°, à partir des eaux de formation riches en potassium (Worden & Burley, 2003), associée à la déstabilisation des micas (Pl.7, photo A), des feldspaths potassiques, de la kaolinite et/ou de la smectite.

La kaolinite

La kaolinite est pratiquement présente dans tous les échantillons des puits étudiés mais dans des proportions moins importantes que celle du chlorite et de l'illite.

Elle se présente sous forme de petits cristaux ou vermicules dans les remplissages de pores primaires.

Elle est probablement issue de la dissolution des feldspaths potassiques et de la déstabilisation des micas.

•La cimentation carbonatée

Du point de vue abondance, les carbonates constituent l'autre ciment le plus important rencontré dans les dépôts gréseux (Voir tableaux résultats d'analyses pétrographiques en annexes) et (Pl.2, photo A et B).

Ils sont composés principalement par la calcite (CaCO_3), la dolomite ($\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$) et la sidérite (FeCO_3).

La calcite et la dolomite qui se forment souvent dans un environnement marin peu profond sont le résultat des dissolutions/précipitations des coquilles de mollusques.

Elles se présentent soit sous forme de grains éparses, remplissant, les interstices du réseau poreux, soit localement, elles peuvent formés aussi des plages poecilitiques, obturant complètement la porosité (Voir puits C, cote 321,35m) ou bien en colmatant des microfissures.

La sidérite qui se forme en général dans un environnement réducteur riche en fer, se présente sous formes de petits agrégats associés aux oxydes de fer en remplissage de pores intergranulaires et caractéristique d'une diagenèse d'enfouissement. (Pl.1, photo E et F)

La cimentation sulfatée

Les fortes proportions d'anhydrite ont été observées dans les échantillons de puit D, (Pl.2, photo D).

A noter que le ciment de barytine est aussi présenté mais en faible quantité. Cette cimentation sulfatée est généralement néfaste pour la porosité.

La cimentation de la matière organique

La matière organique se présente quelques fois en tapissage des grains avec un taux variable de 1 à 3%. Il a été observé dans le puits C, (Pl.3, photo A, B, C et D).

Altération des feldspaths et des micas

L'observation microscopique des dépôts silico-clastiques a révélé la présence des micas avec ses deux variantes, la muscovite et la biotite.

Cette dernière est altérée souvent en chlorite, Quant aux feldspaths, leur transformation en kaolinite semble avoir amélioré sensiblement la microporosité (Porosité intercrystalline) dans certains niveaux.

La dissolution des feldspaths

Le phénomène de dissolution a été observé pratiquement dans tous les échantillons étudiés. Ce phénomène a affecté généralement les éléments détritiques instables tels que les feldspaths et par la suite les ciments authigènes comme les argiles, les carbonates (dolomite) et la silice secondaire, cette dissolution peut être partielle ou totale.

V.2 Diagenèse des dépôts carbonatés**La compaction**

Les effets de la compaction ont été observés dans la plupart des échantillons carbonatés. Ils se manifestent par l'apparition de microfissures de nature ouverte ou fermée colmatée par des cristaux de sparite qui ont entraîné parfois la fragmentation des bioclastes (Pl.6, photos A et C) et l'interpénétration des éléments durs et tendres (Pl.6, photo B).

La cimentation

Elle s'est traduite par l'accroissement des cristaux à partir des parois des vides, ce qui a entraîné la disparition de la porosité. Trois types de cimentations ont été observés à savoir :

- Une cimentation « en dents de chien » ou une calcite en frange (Pl.6, photo B).
- Une cimentation poecilitique où les cristaux de calcite sont assez grands pour englober divers matériaux.
- Une calcite épitaxiale ou syntaxiale en continuité du réseau optique avec les plaques d'Echinodermes (Pl.6, photo C et).

La recristallisation

Défini comme étant la modification de la taille des cristaux d'un élément figuré, d'une matrice ou d'un ciment, ce phénomène a été observé dans les puits D, affectant d'une façon partielle, certains bioclastes tels que les Bivalves (Pl. 7, photo D), ou totale jusqu'à l'effacement de la structure des bioclastes (Pl. 7, photo E).

D'autres phénomènes diagénétiques ont été observés tels que :

- L'ébauche d'une silicification authigène (3%) de type microgrenu sur fond micritique (Pl.3, photo F).

- La micritisation de certains bioclastes.
- Le développement de la pyrite et de l'oxyde de fer et avec des taux n'excédant pas les 1%.

VI. Chronologie des phénomènes diagénétiques

La séquence diagénétique des unités géologiques des puits considérés est synthétisée sur la figure 06.

Celle-ci regroupe les principaux processus diagénétiques qui ont affecté les dépôts des réservoirs carbonifères et sont :

- Mise en place des éléments détritiques (Quartz, feldspaths, micas, fragment de roche, etc...).

Développement de la silice de nourrissage.

- Développement du chlorite de type « coating » autour des grains de quartz et sous forme d'oolithes en raison de l'agitation continue du milieu.

- Dissolution des éléments instables tels que les feldspaths alcalins et la néoformation de la kaolinite.

Cimentation carbonates en dents de chien.

➤ Compaction

- Compaction chimique et mise en place du ciment siliceux primaire syntaxial ou silice de nourrissage en auréole.

- Altération des micas (biotite et muscovite) en chlorite intergranulaire « en amas ».

- Précipitation de la silice secondaire intergranulaire générée suite à l'enfouissement et l'enrichissement du milieu en SiO₂.

- Dissolution des grains et des ciments authigènes généra une porosité secondaire ayant contribué ainsi à l'amélioration des qualités réservoirs.

Cimentation de la calcite.

Cimentation poecilitique ciments carbonates.

➤ Fissuration

- Développement des ciments carbonatés, sulfatés et oxydes de fer suite à la disponibilité des ions Ca²⁺ et Fe²⁺.

- Précipitation de la sidérite.

•Précipitation de la pyrite en relation avec la matière organique.

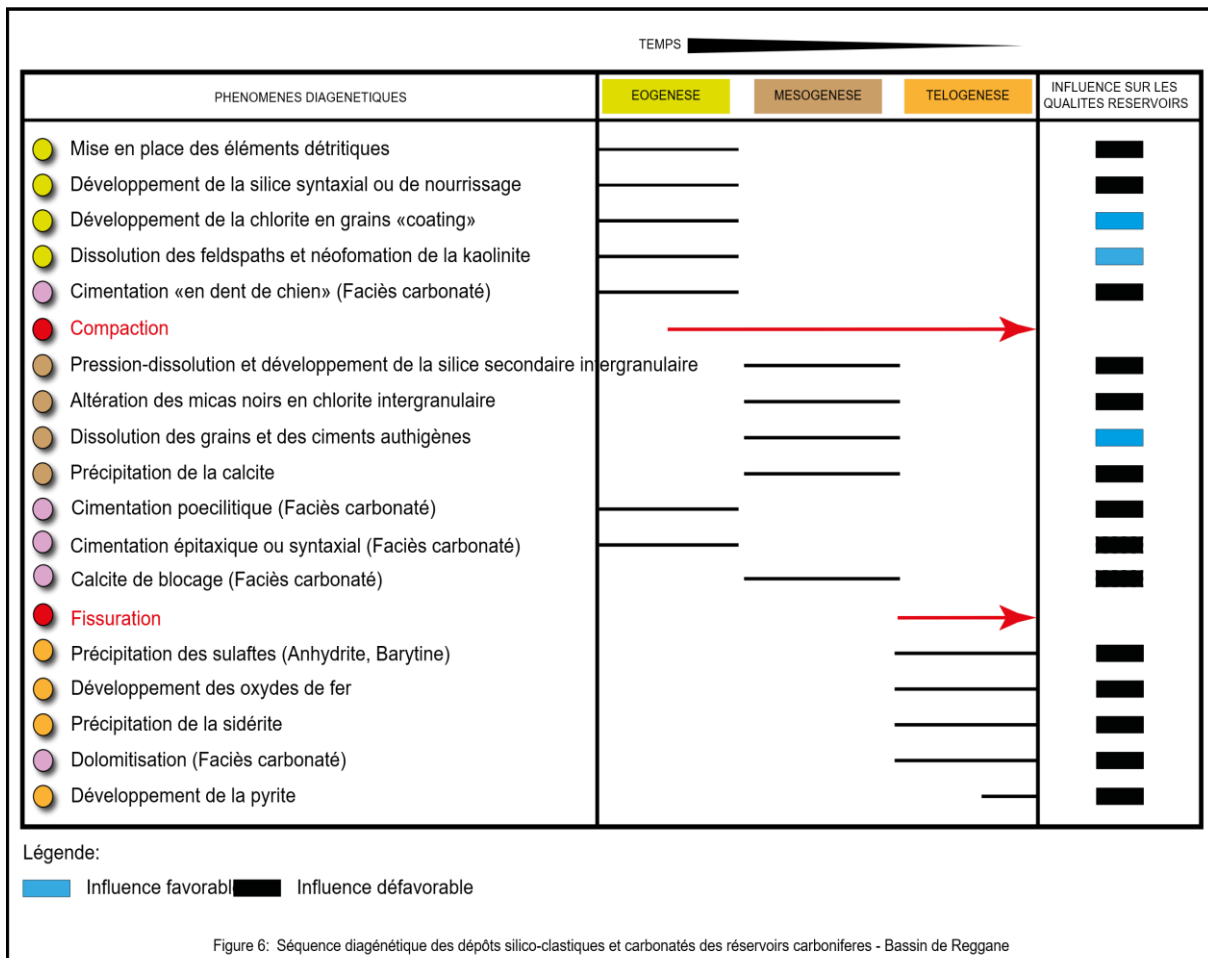
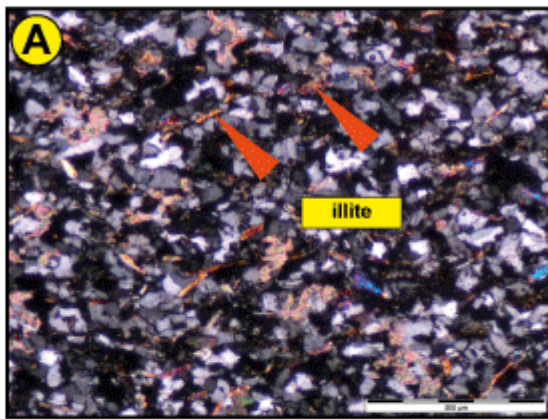
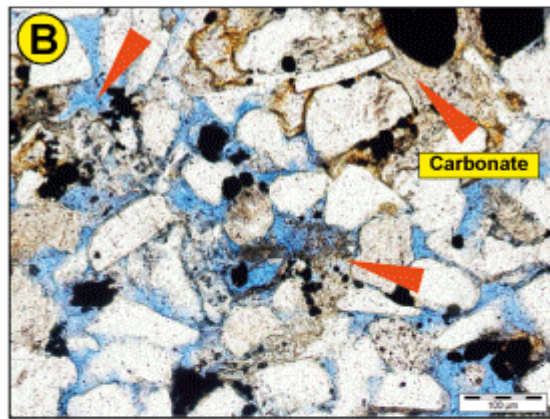


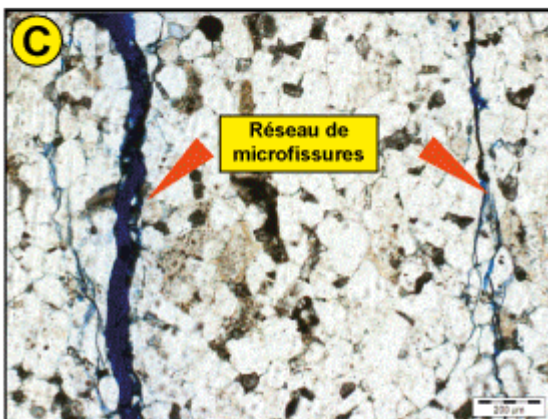
Planche 7



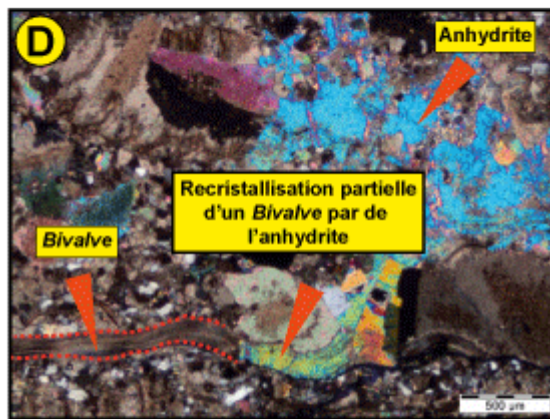
Puits: **B**, Cote: 1287,60m, Age: Tournaisien (LP)



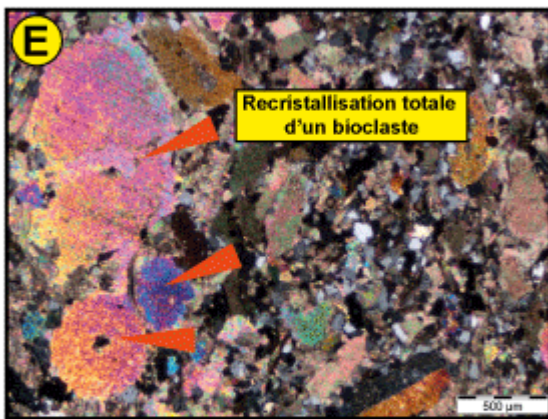
Puits: **C**, Cote: 324,10m, Age: Viséen A (LN)



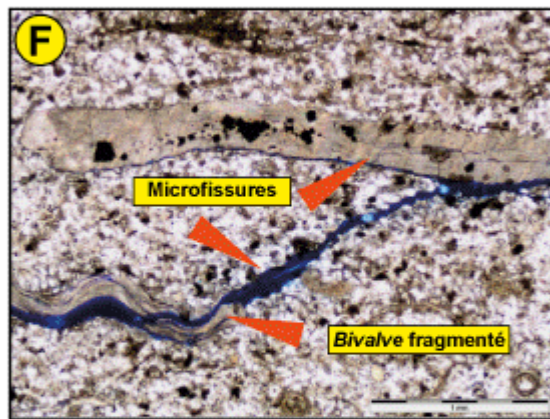
Puits: **D**, Cote: 2633,55m, Age: Tournaisien (LN)



Puits: **D**, Cote: 1520,70m, Age: Viséen C (LP)



Puits: **D**, Cote: 1520,70m, Age: Viséen C (LP)



Puits: **D**, Cote: 1520,70m, Age: Viséen C (LN)

Photo A : Développement de l'illite issue de la transformation des micas dans un silt carbonaté riche en micas.

Photo B : Porosité secondaire engendrée par la dissolution des carbonates. Porosité estimée (25%).

Photo C : Le réseau poreux est nettement amélioré par la dissolution secondaire de fracturation. Porosité (7%).

Photo D : Recristallisation partielle d'un *Bivalve* par de l'anhydrite.

Photo E : Effacement total de la structure des bioclastes suite au phénomène de recristallisation.

Photo F : Carbonate silteux à bioclastes . Porosité secondaire de fracturation estimée à 3%.

Chapitre IV

Qualités réservoirs

I. La porosité

La porosité d'une roche est définie comme étant le rapport entre l'espace poral (vides pouvant être remplis par des fluides) et le volume total (espace poral + matrice solide).

De nombreuses études ont démontré que la géométrie et la typologie du réseau poral pouvaient être décrites précisément et donc classifiées.

La porosité peut être primaire (intergranulaire), d'origine sédimentaire et liée au dépôt des sédiments, ou bien secondaire, liée aux phénomènes de dissolution et de fracturation intervenant après le dépôt des sédiments (diagenèse).

Il ressort de l'analyse pétrographique effectuée sur les vingt-deux (22) échantillons prélevés sur les carottes dans le cadre de ce travail, que l'espace poreux est généralement constitué par la porosité primaire intergranulaire et secondaire de dissolution et de fracturation.

Cette porosité secondaire a contribué, de façon très importante, à la porosité totale de la roche (Figure 01).

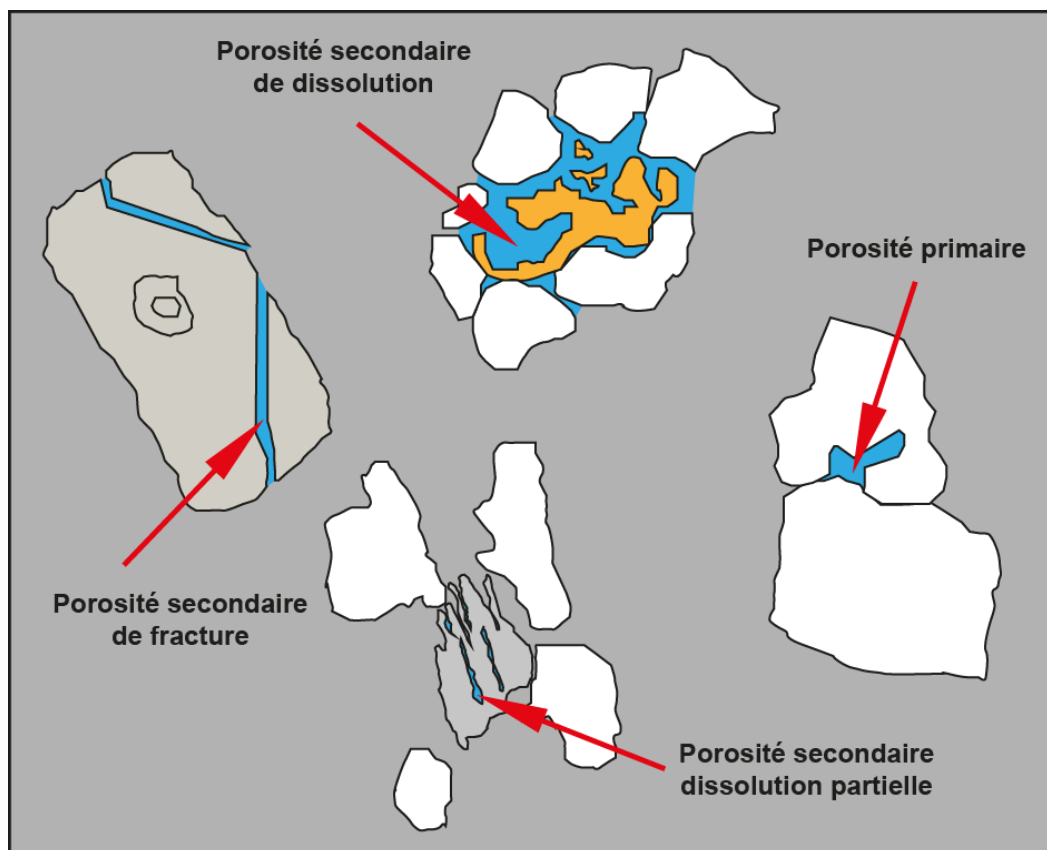


Fig I. 1 : Caractérisation des différents types de pores rencontrés - Bassin de Reggane.

Dans les puits étudiés, la porosité observée est très variable vu l'hétérogénéité des faciès et des ciments authigènes rencontrés.

Effectivement, pour les dépôts silico-clastiques, la porosité rencontrée est de deux types : une porosité primaire (Pl.8 photo D), et une porosité secondaire assez dominante de dissolution des ciments authigènes comme les carbonates (Pl.8, photo C), et de fracturation (Pl.8, photo E et A).

Dans ces dépôts, la porosité présente, enregistre des valeurs assez faibles de 1 à 7%, une valeur maximale de 25% qui a été rencontrée localement dans le puit C respectivement au cote 324,10m (Voir tableaux résultats d'analyses pétrographiques en annexes).

Quant aux dépôts carbonatés, la seule porosité rencontrée est de type secondaire fissurale. Elle a été observée dans les carbonates silteux et les calcaires à texture grainstone respectivement dans le puit D avec une valeur de 3% (Pl.8, photo B), (Voir tableaux résultats d'analyses pétrographiques en annexes).

II. Synthèse de la distribution des divers ciments authigènes et de la porosité par puits et par âge

Les réservoirs carbonifères ont subi des transformations diagénétiques, contrôlées par les différents facteurs cités ci-avant (Voir chapitre diagenèse).

Les divers ciments observés dans les sédiments ont eu un rôle primordial dans la détérioration des qualités réservoirs.

En effet, les ciments argileux, carbonatés, siliceux et à un moindre degré les ciments sulfatés, ont détruit partiellement les qualités réservoirs dans certains niveaux et dans d'autres, ils ont été carrément néfastes.

La figure 2 présente une synthèse globale de la distribution moyenne des divers ciments authigènes, de la porosité estimée et des éléments détritiques par puits dans les sédiments silico-clastiques d'âges Viséen et Tournaisien.

Cette distribution a permis de mettre en évidence ce qui suit :

1.Graphe A/Viséen B : Puits D et A

- Porosité négligeable de 0 à 1% dans les puits.
- Développement des ciments argileux (Chlorite intergranulaire), carbonatés (Calcite et dolomite) et sidéritiques.

2.Graphe B/Tournaisien : Puits B et C

- Porosité faible à moyenne de 1 à 12% dans tous les puits.
- Dominance de la porosité secondaire de dissolution par rapport à la porosité primaire.
- Dissolution des ciments argileux (Kaolinite, illite et chlorite intergranulaire), carbonatés (Calcite et dolomite) et de la sidérite.

3.Graphe C/Tournaisien : Puits D

- Développement d'une porosité secondaire de fracturation de 7%.
- Abondance des ciments siliceux, argileux (Chlorite intergranulaire), carbonatés (Calcite et dolomite), de l'anhydrite et de la sidérite.

4.Graphe D/Strunien/Tournaisien : Puit C

- Porosité faible à moyenne de 8 à 12%.
- Dominance de la porosité secondaire de dissolution par rapport à la porosité primaire.
- Dissolution des ciments argileux (Kaolinite, illite et chlorite intergranulaire) et carbonatés (Calcite et dolomite).

On note que :

- Les ciments siliceux et pyriteux se développent plus dans les niveaux d'âge Tournaisien que Viséen.
- La porosité de fracture de 7 à 12% est plus présente dans les niveaux d'âge Tournaisien.
- La matière organique/Bitume est présente plus dans les niveaux d'âges Viséen et Viséen B respectivement dans le puits D.

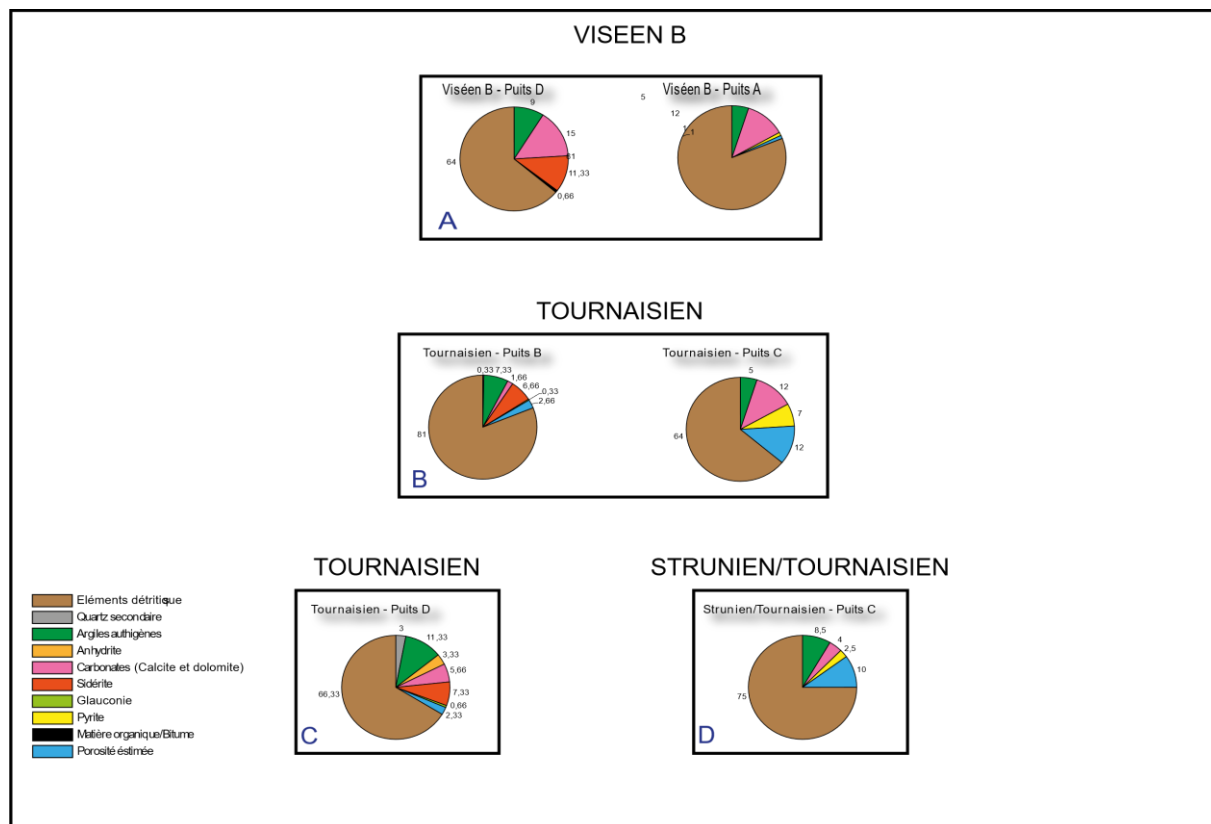
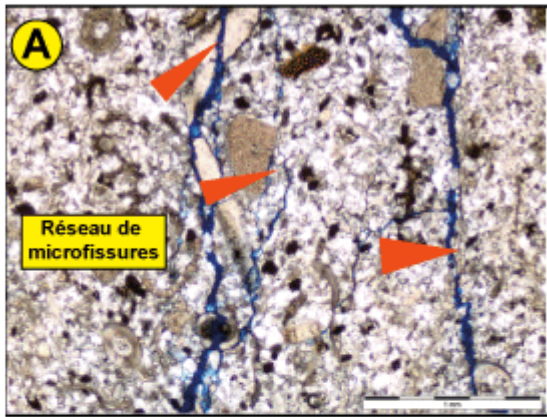
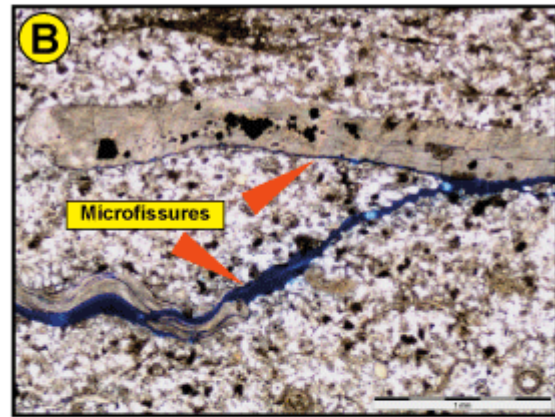


Fig II. 2 : Synthèse de la distribution moyenne des divers ciments authigène, de la porosité estimée et les éléments détritiques par puits et par âge (Viséen/viseen B/et Tournaisien) -Bassin Reggane.

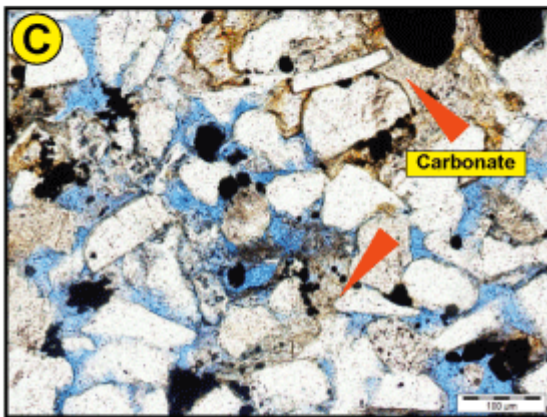
Planche 8



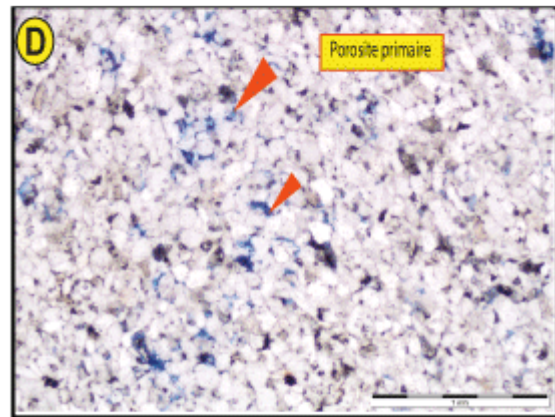
Puits: **D**, Cote: 1520,70m, Age: Viséen C (LN)



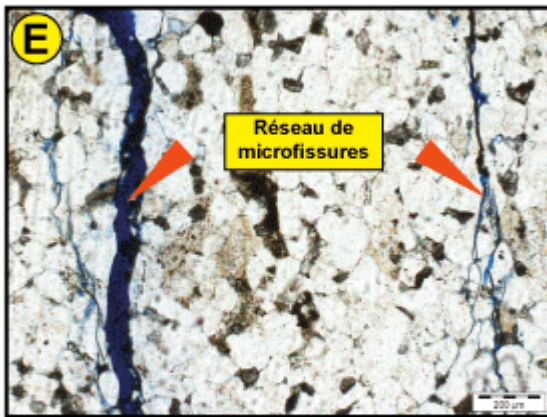
Puits: **D**, Cote: 1520,70m, Age: Viséen C (LN)



Puits: **C**, Cote: 324,10m, Age: Viséen A (LN)



Puits: **D**, Cote: 1403,60m, Age: Tournaisien (LN)



Puits: **D**, Cote: 2633,55m, Age: Tournaisien (LN)

Photo A : Porosité secondaire de type fissural.

Photo B : Carbonate silteux à bioclastes traversé par des microfissures. Porosité secondaire de fracturation estimée à 3%.

Photo C : Porosité secondaire engendrée par la dissolution des carbonates. Porosité estimée (25%).

Photo D : Porosité primaire intergranulaire stimée (7%).

Photo E : Le réseau poreux est nettement amélioré par la dissolution secondaire de fracturation. Porosité estimée (7%).

Conclusion générale

Conclusion générale

Au terme de l'étude pétrographique, minéralogique et diagenétique que nous avons menée sur les échantillons de carbonifère appartenant aux puits A, B, C et D dont l'intervalle est compris respectivement entre (428,35m-708,10m), (1287,60m-1403,69m), (321,35m-899,55m), (1520,70m-2681,35m), implantés dans la région Reggane ils en ressort que les niveaux étudiés sont :

Pour les dépôts silico-clastiques, les résultats pétrographiques ont permis de caractériser des Quartzarenites à Subarkoses reflétant une maturité assez élevée des sédiments.

La morphoscopie des grains est anguleuse à sub-anguleuse rarement sub-arrondie avec un classement généralement bon.

Les composants authigènes sont variés et formés d'argile avec ses trois types (chlorite, illite et kaolinite), de carbonates, de sulfates (Anhydrite), de silice (en nourrissage et intergranulaire), de pyrite, de glauconite, d'oxydes de fer et de matière organique/Bitume.

Quant aux faciès carbonatés, l'analyse pétrographique a permis de mettre en évidence :

- Une roche carbonatée silteuse riche en bioclastes tels que les *Bryozoaires*, les débris et des sections d'*Echinodermes*, des *Crinoïdes* et des radioles d'*Oursins* et des *pelletoides*.
- Un calcaire grainstone à bioclastes, très diversifiés, à savoir les Foraminifères de type *Endothyridae*, *Archaeodiscidae*, *Earlandioidea* et *Miliolidae*, les *Bryozoaires*, les débris de *Lamellibranches*, les sections d'*Echinodermes*, les *Crinoïdes*, les radioles d'*Oursins*, les débris d'*Algues* et d'autres fantômes de bioclastes non reconnaissables et à *oolithes*.
- Un calcaire packstone évoluant à un calcaire packstone à grainstone à bioclastes formés de *Bryozoaires*, de *Gastéropodes*, de *Lamellibranches*, de sections d'*Echinodermes*, de *Crinoïdes*, de radioles d'*Oursins* et de débris d'*Algues*. Ce calcaire très bioclastique, par endroits, peut également contenir des *lithoclastes*, des *oolithes* et quelques épisodes *détritiques*.
- Des calcaires mudstone à pelletoides et packstone à bioclastes composés de débris de *Bryozoaires*, de *Brachiopodes*, de *Lamellibranches*, des sections d'*Echinodermes* et d'autres fantômes de bioclastes non reconnaissables. Des *oolithes* et des *lithoclastes* en traces sont également présents.

L'étude diagenétique a montré que les réservoirs sont contrôlés par la cimentation des argiles, carbonates et silice, recristallisation débris de bioclaste par l'anhydrite, dissolution des éléments et des ciments, silicification au tour de grain de quartz et entre l'espace poreux.

Toutefois, nous avons constaté que la dissolution totale ou partielle des grains de quartz dans certains puits, du ciment argileux, du ciment carbonates, du ciment siliceux et la fissuration matérialisée par des microfissures ouvertes ont généré une porosité non négligeable.

L'influence de ces phénomènes diagenétiques sur la qualité réservoir, par fois améliore la porosité comme la dissolution et dans certains cas réduit cette dernière comme la cimentation recristallisation.

Références bibliographiques

Attar, M. et Hammat M., 1995. Le potentiel en hydrocarbures de l'Algérie, WEC ALGERIE 1995, SONATRACH et SCHLUMBERGER. Published by Schlumberger. Produced by Technical Editing Services, Chester, UK.

Aliev M., Aït Laoussine N., Avrov V., Aleksine G., Barouline G., Lakovlev B., Korj M., Kouvykine J., Makarov V., Mazanov V., Medvedev E., Mkrтчiane O., Moustafinov R., Oriev L., Oroudjeva D., Oulmi M., et Saïd A., 1971. Geological structures and estimation of oil and gas in the Sahara in Algeria, Spain, Altamira-Rotopress, S.A., 265 p. Nicolas Menchikouff 1924. Sur l'Age des grès de d'Ougarta (Sahara Occidentale) C. R. Acad. Sci. Paris 187, 733-734.

Ait Kaci, A., 1984. Litho stratigraphie, sédimentologie et évolution de deux bassins molassiques intramontagneux de la chaîne Pan-Africaine: la Série pourprée de l'Ahnet, Nord-Ouest du Hoggar, Algérie. Beuf et al. 1971. Les grès du paléozoïque au Sahara. Edition Technip.

Arbey, F., 1962. Données nouvelles sur la sédimentation au Cambro-Ordovicien dans les Monts d'Ougarta (Saoura), C.r. Acad. Sci. Paris, 254, pp. 3726–3728

Arbey, F. (1968). Structures et dépôts glaciaires dans l'Ordovicien terminal des chaînes d'Ougarta (Sahara algérien). C. R. Acad. Sci., Paris, 266, D, 76-78.

Al-Hadjri, S & Owens B., 2000. Stratigraphic palynology of the Palaeozoic of Saudi Arabia Saudi Aramco-231p, 40 plates, 62 illustrations.

Attar, A., Fournier, J. Candilier A.M. et Coquel R., 1980. Etude palynologique du Dévonien terminal et du Carbonifère inférieur du bassin d'Illizi (Fort polignac). pp.585-618.

Boudjema, A., 1987. Evolution structurale du bassin pétrolier triasique du Sahara nord oriental (Algérie). France, Univ. Paris-sud, centre d'Orsay. Thèse de Doctorat, 290 p.

Beuf, S., Biju-Duval, B., DE Charpal, O., Benacef, A., Gariel, O. et Rognon, P., 1971. Les grés du Paléozoïque inférieur au Sahara. Sédimentation et discontinuité : évolution structurale d'un craton. Institut Français du Pétrole, Collection Sciences et Techniques du Pétrole N°18 : 464p.
Drid, M., 1989. Sur quelques aspects de la diagenèse organique et minérale dans le bassin de Timimoune et le sillon de Sbaa (Sahara Central Algérien), Bordeaux III. Thèse de Doctorat d'Etat, 239 p.

Conrad, J., 1984. Les séries carbonifères du Sahara central algérien : stratigraphie, sédimentation, évolution structurale. Faculté des Sciences et technique de St Jérôme, Univ. De droit, d'Economie et des Sciences d'Aix Marseille. Thèse de Doctorat d'Etat ès-Sciences Naturelles.

Candilier, A.M., 1979. Etude palynologique du Dévonien terminal et du Carbonifère inférieur du bassin d' Illizi (Fort Polignac) Algérie. Thèse doc.3^{ème} cycle. pp.1-95.

Coquel, R., Latreche, S., 1989. Palynological Study of the Illerene Formation (Devono-Carboniferous) in the Illizi Basin (Eastern Algerian Sahara), 4 plates, 02 figures and 07 tables.pp.48-69.

Coquel, R., Moreau-Benoit, A., Strunian and Tournaisian spores of western Libya. *Rev.Micropal.* Vol.29, N°1, pp.17-43.

Coquel R., Moreau-Benoit A., 1989. A propos de quelques spores trilètes « chambrées » du Dévonien terminal –Carbonifère inférieur d' Afrique du Nord. *Rev.micropal.*Vol.32, n°2, pp.87-102.

Donzeau, M., 1972. Les déformations hercyniennes dans le paléozoïque des monts d Ougarta (Sahara Occidentale) C. R. A cad. Sci parais 274. 2519-3522.

Downie C., 1984. Acritarchs in British Stratigraphy.*Geol. Soc.London*, Special Report, N°17, pp.1-26.

Fabre, J., 1976. Introduction à la géologie du Sahara Algérien et des régions voisines. Alger, Algérie. SNED, Alger, 422p.

Fabre, J., 1976. Introduction à la géologie du Sahara Algérien et des régions voisines. Alger, Algérie. SNED, Alger, 422p.

Jennifer M., Britain & Kenneth T., Higgs., 2007. The Early Carboniferous *Spelaeotriletes balteatus-S. pretiosus* miospore complex: defining the base of the *Seplaeotriletes pretiosus* – *Raistrickia clavata* (PC) Miospore biozone. T.94, pp.109-123.

Hafsaoui, Oussama., 2022/2023 : Interprétation structurale du cube sismique -3D du bassin du Reggane (Adrar). Mémoire de fin d'études, Université UMBB.

Higgs K., Clayton G. & Keegan JB., 1988. Stratigraphic and Systematic Palynology of the Tournaisian Rocks of Ireland Geological Survey of Ireland.N°7, pp.5-83.

Kora M., 1993. Carboniferous miospore assemblages from the Abu Rodeiyim boreholes west central Sinai, Egypt.*Rev.Micropal.*Vol.36, N°3 pp.235-255.

Khennous, M., 1997. Les bassins sédimentaires paléozoïque avoisinant la ride de l'Ougarta (Sahara Algérien Occidentale) -Histoire de l'évolution sédimentaire et structurale en vue de la recherche pétrolier. Thèse Doct, Univ Mainz, p 201.

Khoudjaoui, 2008. Le Dévonien inférieur de bassin de Reggane Sahara Occidentale Algérien : sédimentologie, biostratigraphie et stratigraphie séquentielle, Magister en géologie, université de Boumerdes.

Legrand, PH., 1998. Approche stratigraphique de l'Ordovicien terminal et du Silurien inférieur du Sahara algérien par l'étude des Dipograptides (Graptolites), Thèse de Doctorat, Sc. Bordeaux. 3 vol., 837 p.

Loboziak S, Strel M, Caputo M.V., 1992. Middle Devonian to Lower Carboniferous Miospore Stratigraphy in the central Parnaiba basin (Brazil). pp.215-226.

Massa D., Coquel R., Loboziack S. & Taugoudeau-Lantz. 1980. Essai de synthèse stratigraphique et palynologique du Carbonifère en Libye occidentale. Ann. Soc. Géol. Nord. XCIX. 429-442.

Massa D., 1988. Paléozoïque de Libye occidentale : Stratigraphie-Paléogéographie. pp.221-473.

Playford G., 1963. Lower Carboniferous microfloras of Spitsbergen. Part two, in paleontology, paleontological Association London.

Playford G., Hughes N.F., 1961. Palynological reconnaissance of the Lower Carboniferous of Spitsbergen. Micropal, Vol.7, n°1, pp.27-44.

Sartorio D. & Venturini S. (1988) -Southern Tethys Biofaciès- *Agip*, 231 pages.

Sebbar A.1986. Foraminifères et algues calcaires du Carbonifère inférieur (Viséen Supérieur-Serpukovien) de la coupe significative du bassin de BECHAR (Sahara sud-Oranais, Algérie): Utilisation paléobiogéographie. Magister : Micropaléontologie. PARIS 6 : Université Pierre et Marie curie.

Sebbar A.1997. Biostratigraphie (foraminifères) du Carbonifère Moyen, bassin de Béchar-Mezarif, Algérie. Annales de la Société Géologique de Belgique, 120 : 205-215.

Annexes

Tableau 02 : Résultats d'analyses pétrographiques des puits A , B et C Par: Azzoug Hassina, Merkhouf Ikram / 2025

Argiles authigènes			Composants pétrographiques (%)																										For									
			Matrice/Ciment											Diagenèse																								
			Calcite				Dolomite				Précoce				Tardive																							
			Illite	Revêtement	Amas	%	Oolithes chloriteuses	Micas	Anhydrite	Barytine	Carbonates	Sidérite	Glauconie	Phosphates	Pyrite	Oxydes de fer (Hématite)	Matière organique/Bitume	Micrite	Microsparite	Sparite	%	Dolomicrite	Dolomicrosparite	Dolosparite	%	Micritisation	Cmt vadose	Sédiment interne			Cmt Phréatique	Dissolution	Recristallisation	Cmt sparitique	Stylolithisation	Fissuration	Colm. Fissures	Dolomitisation
						Tr									X			98																				
								1							XX	X		87						X					X							X		
															X	XX	XXX	23																				
												Tr			X	XX		25						X				X										
		X	5									1																										
XXX		XX	7		7	Tr		5	10																													
	X	XX	10						10																													
	X	XX	5									1																										
XXX	X	X	4					30				2	1																									
XX	X	XX	5		Tr			10				3	3																									
	X	X	5					12				7																										X
	X	XXX	7		Tr			3				5	Tr																									
X	X	X	10		Tr			5					Tr																									

Éléments figurés														Porosité estimée							
Biogéniques											Non biogéniques			Porosité estimée							
aminifères			Bryozoaires	Brachiopodes (Epines)	Mollusques		Echinodermes	Crinoïdes	Algues	Indifférenciés	%	Oolithes	Pelétoïdes	Lithoclastes	Connectée	Déconnectée	Primaire intergranulaire	Secondaire de dissolution	Fracture	%	
Earlandioidea	Miliolidae	Indifférenciés			Gastéropodes	Bivalves															
												7									
			X	X		X	X	X		60	10		Tr								
		X				X	X			75											
															X		X				1
																					Tr
															X	X	XX				1
															X	X	XX				7
															X	X	XX				5
														X	X	XX					25
															X	X	XX	X			12
															X	X	XX				12
															X	X	XX				8

Mudstone

Mudstone à fenestres calcifées silicifées et anhydritisées

Packstone à bioclastes

Packstone à bioclastes

gres tres fins

Silt micace et carbonate

Gres fin

Gres tres fin a fin

Gres tres fin a fin pseudo matrice

Gres tres fin a fin organisme MO algue

Gres fin a ciment carbonate avec fissure colmate de pyrite et de carbonates pseudo matrice

Gres tres fin

Gres tres fin

