

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE**

**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou  
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques**

**Département des Sciences Géologiques**

---



**MEMOIRE**

**Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER  
En : Sciences de la Terre  
Spécialité : Géologie des Bassins Sédimentaires**

**Par :**

**Mr. HASSAINE Malik**

**SUJET**

**Etude sédimentologique et pétrophysique du niveau des quartzites  
de Hamra (Ordovicien), dans le champ de Hassi Dzabat  
(Môle d'Amguid-Messaoud) – (Province Triasique), Algérie.**

**Soutenu publiquement le : 23 / 11 / 2020, devant le jury composé de :**

<b>Mr. HAMIS. A</b>	<b>Maitre Assistant A (UMMTO)</b>	<b>Président.</b>
<b>Mr. ACHOUL. M</b>	<b>Maitre Assistant A (UMMTO)</b>	<b>Rapporteur.</b>
<b>Mr. AMROUCHE. F</b>	<b>Maitre Assistant A (UMMTO)</b>	<b>Examineur.</b>
<b>Mr. KARDACHE. R</b>	<b>Maitre de Conférences A (UMMTO)</b>	<b>Examineur.</b>

*Promotion 2019 / 2020*



## **Dédicace**

*Je dédie ce travail à*

***Mon Père qu'Allah lui fasse miséricorde***

***Ma très chère Mère***

***Mes sœurs***

***Mon frère***

***Malek***

***Mohammed et Abderrahmane.***



# Avant-propos

*En premier lieu je remercie ALLAH le tout puissant pour toute la volonté et le courage qu'il m'a donné pour l'achèvement de ce modeste travail.*

*Je tiens à remercier vivement mon promoteur **Mr. ACHOUI. M** qui a accepté d'orienter mon travail et pour tout le temps qu'il m'avait accordé pour me porter aide et assistance durant toute la période où je le réalisé.*

*Merci pour votre compétence, votre encadrement ont toujours suscité mon profond respect. Veuillez trouver ici, l'expression de mes gratitudee et de ma grande estime.*

*Je remercie **Mr. HAMIS. A** pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider ce jury.*

*Mes remerciements vont à **Mr. AMROUCHE. F** pour toutes les orientations et les conseils qu'il m'avait prodigués lors des discussions qu'il m'avait accordé pour mon travail et pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.*

*J'exprime mes remerciements à **Mr. KARDACHE. R** pour avoir accepté d'évaluer mon travail et pour tout le savoir qu'il nous a transmis pendant ses séances de cours en MI qui m'ont été très utiles.*

*Je dois un remerciement à tous les enseignants de mon master pour leurs qualités scientifiques et pédagogiques.*

*Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance aux personnes suivantes, pour leur aide dans la réalisation de ce mémoire :*

***Mr, ABIZAR** un prof qui je ne l'oublierais jamais !*

***Mr, GUEZEI. A** pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.*

*Je tiens à remercier aussi l'équipe de DLCC-Ex-CRD-Sonatrach en particulier **Mlle, BENSABRA. K** et **Mrs, TERRICHE. A** et **REZIG. A** pour leurs disponibilités, écoutes et leurs bienveillances.*

*Mes plus profonds remerciements vont à **ma petite famille**. Tout au long de mon cursus, ils m'ont toujours soutenu, encouragé et aidé. Ils ont su me donner toutes les chances pour réussir. Qu'ils trouvent, dans la réalisation de ce travail, l'aboutissement de leurs efforts ainsi que l'expression de ma plus affectueuse gratitude.*

*Et enfin je tiens à remercier chaleureusement, tous mes proches et tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont apporté leurs sollicitudes pour accomplir ce travail.*

## Résumé

Les quartzites de Hamra dans les réservoirs ordoviciens de la plateforme saharienne, suscitent un grand intérêt pétrolier.

Le réservoir ordovicien (quartzites de Hamra), érodé sous la discordance hercynienne et constituant l'auréole de Hassi Messaoud, fait récemment l'objet de nouvelles découvertes, dont Hassi-Guettar, Hassi-Tarfa et Hassi Dzabat qui est notre champ d'étude.

Ce projet de fin d'étude a été réalisé, en effectuant un stage au sein de la Direction de Laboratoire et Cartothèque Centrale - SONATARCH (DLCC-Ex-CRD), où nous avons pu collecter des données et des informations nécessaires des puits A, B, C et D du réservoir ordovicien "Quartzite de Hamra" du champ Hassi Dzabat, dans le but d'étudier les caractéristiques sédimentologiques et pétrophysiques de ce niveau quartzitique.

En termes de résultats sur le plan sédimentologique et pétrophysique, nous avons trouvé que :

- Les faciès du réservoir correspondent généralement à des faciès gréseux qui sont selon la codification de Miall (1996) ; les faciès Sb/Sh, Sb, Sh et St, qui s'organisent suivant (02) membres : inférieur et supérieur, séparés par une discontinuité.
- L'environnement de dépôt qui caractérise la formation des Quartzites de Hamra dans la zone d'étude correspond généralement au Shoreface supérieur, parfois le milieu est mixte où les influences continentales et marines se succèdent.
- Notre champ d'étude est caractérisé par une porosité médiocre et une perméabilité très faible.
- Les facteurs qui ont contrôlé les paramètres pétrophysiques des faciès de la formation quartzitique, sont principalement la bioturbation du type Skolithos, la granulométrie, la lithologie, les stratifications et l'évolution diagénétique du sédiment.

**Mots clés :** Quartzites de Hamra, Hassi Dzabat, Codification de Miall (1996), Skolithos, Upper-Shoreface, Porosité, Perméabilité.

## Abstract

The quartzites of Hamra in the Ordovician reservoirs of the Saharan platform are arousing great petroleum interest.

The Ordovician reservoir (Hamra quartzites), eroded under the Hercynian discordance and constituting the halo of Hassi Messaoud, has recently been the subject of new discoveries, including Hassi-Guettar, Hassi-Tarfa and Hassi Dzabat which is our field of study.

This end-of-study project was carried out, by assigning an internship within DLCC - SONATARCH (Ex-CRD), where we were able to collect the necessary data and information from A wells, B, C and D of the Ordovician reservoir "Quartzite of Hamra" of the Hassi Dzabat field, in order to study the sedimentological and petrophysical characteristics of this quartzite level.

In terms of sedimentological and petrophysical results, we found that:

- The reservoir facies generally correspond to sandstone facies which are according to the codification of Miall (1996) ; the Sb / Sh, Sb, Sh and St facies, which are organized according to (02) members: lower and upper, separated by a discontinuity.
- The deposit environment that characterizes the formation of the Hamra Quartzites in the study area generally corresponds to the upper Shoreface, sometimes the environment is mixed where continental and marine influences follow one another.
- Our field of study is characterized by poor porosity and very low permeability.
- The factors which have controlled the petrophysical parameters of the facies of the quartzite formation are mainly the bioturbation of the Skolithos type, the particle size and lithology, the stratifications and the diagenetic evolution of the sediment.

**Keywords :** Quartzites of Hamra, Hassi Dzabat, Miall Codification (1996), Skolithos, Upper-shoreface, Porosity, Permeability.

# Liste des figures

## (Chapitre I)

Fig.I. 1 : Carte des bassins de la plateforme Saharienne (Wec 2004).....	4
Fig.I. 2 : Stratigraphie de la plateforme Saharienne (Wec 2004).....	6
Fig.I. 3 : Les phases tectoniques affectant la plateforme saharienne (Boudjema, A. 1987). ...	10
Fig.I. 4 : Bassin triasique ; Gisement de Hassi Messaoud (Boudjema, A. 1987). ....	11
Fig.I. 5 : Carte de la zonalité géostructurale de la couverture sédimentaire (in Lasmi, R. 2013) .....	12
Fig.I. 6 : Coupe Ouest-Est de la structure de Hassi Messaoud au niveau du réservoir (Document Sonatrach).....	13

## (Chapitre II)

Fig.II. 1 : Situation du champ de Hassi Dzabat (Document SH/EXP).....	14
Fig.II. 2 : Localisation du champ de Hassi Messaoud et de Hassi Dzabat (Wec 2007).....	15
Fig.II. 3 : Colonne lithostratigraphie de Hassi Dzabat (Sonatrach, DP. 2005). ....	17

## (Chapitre III)

Fig.III. 1 : Localisation des sondages étudiés. ....	20
Fig.III. 2 : La discontinuité du puits A. ....	26
Fig.III. 3 : La discontinuité du puits B. ....	32
Fig.III. 4 : La discontinuité du puits C. ....	36
Fig.III. 5 : La discontinuité du puits D. ....	41
Fig.III. 6 : Corrélation entre les sondages étudiés. ....	45
Fig.III. 7 : Modèle Paléogéographique.....	46

## (Chapitre IV)

Fig.IV. 1 : Histogrammes des mesures pétrophysiques (verticales et spatiales) du puits A. ...	49
Fig.IV. 2 : Histogrammes des mesures pétrophysiques (verticales et spatiales) du puits B. ...	50
Fig.IV. 3 : Histogrammes des mesures pétrophysiques (verticales et spatiales) du puits C. ...	51
Fig.IV. 4 : Histogrammes des mesures pétrophysiques (verticales et spatiales) du puits D. ...	52
Fig.IV. 5 : Histogramme de la moyenne du métrage cumulé de chaque faciès identifié dans le champ d'étude. ....	53
Fig.IV. 6 : Histogramme de porosité de chaque faciès du champ d'étude. ....	54
Fig.IV. 7 : Histogramme de perméabilité de chaque faciès du champ d'étude. ....	55

# Liste des tableaux

## (Chapitre III)

Tab.III. 1 : Principales caractéristiques des lithofaciès et interprétation des milieux de dépôts (selon Miall).....	22
--	----

## (Chapitre IV)

Tab.IV. 1 : Gamme de perméabilité (René, 1988).....	47
Tab.IV. 2 : Gamme de porosité (René, 1988).....	48
Tab.IV. 3 : Les faciès montrant les caractéristiques pétrophysiques distincts.....	56
Tab.IV. 4 : Les paramètres pétrophysiques de chaque puits étudié (moyenne arithmétique). 61	

# Liste des planches

## (Chapitre III)

Planche 1 : Faciès du réservoir quartzites de Hamra des sondages : A, B et C. ....	23
Planche 2 : Faciès du réservoir quartzites de Hamra des sondages : A, C et D. ....	24

# Listes des annexes

**Annexe N° 01** : Etude sédimentologique

**Annexe N° 02** : Etude pétrophysique

# Sommaire

Dédicace

Avant-propos

Résumé

Abstract

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des planches

Liste des annexes

**Introduction ..... 1**

## **Chapitre I : Généralités sur la plate forme saharienne et du gisement de Hassi Messaoud**

I.	Généralités sur la Plateforme Saharienne .....	3
I.1	Cadre géologique .....	3
I.2	Socle .....	4
I.3	Le remplissage sédimentaire de la Plate-forme Saharienne (Wec 2004) .....	4
I.3.1	Le Paléozoïque .....	5
I.3.2	Le Mésozoïque .....	5
I.3.3	Le Cénozoïque : .....	6
I.4	Détail lithostratigraphique de l'Ordovicien de la plateforme Saharienne .....	7
I.5	L'évolution géodynamique de la plateforme saharienne .....	7
I.5.1	Cycles orogéniques .....	7
II.	Généralités sur le gisement de Hassi Messaoud.....	11
II.1	Bassin Triasique .....	11
II.2	Môle d'Amguid-Messaoud.....	12
II.3	Cadre géologique du champ de Hassi Messaoud .....	12
II.4	Aperçu lithostratigraphique de Hassi Messaoud .....	13

## **Chapitre II : Etat des connaissances du gisement de Hassi Dzabat**

I.	Situation géographique de Hassi Dzabat.....	14
II.	Cadre Géologique de Hassi Dzabat.....	14
III.	Lithostratigraphie du champ d'étude.....	15

III.1	Le Paléozoïque (ORDOVICIEN) .....	15
III.2	Le Mésozoïque .....	16
III.3	Le Cénozoïque .....	16
IV.	Aspect structural.....	18
V.	Intérêt pétrolier.....	18
VI.	Système pétrolier.....	18
VI.1	Roche mère et migration.....	18
VI.2	Système pétrolier ordovicien .....	18
VI.2.1	Lithologie .....	18
VI.3	Roche Couvertures.....	19
VI.4	Les Pièges .....	19

### **Chapitre III : Etude sédimentologique**

I.	Introduction.....	20
I.1	Classification et interprétation des différents faciès observés en carottes selon Miall et autres. ....	21
I.2	Photographies illustratives des faciès identifiés .....	23
II.	Etude sédimentologique des différents Puits.....	25
II.1	Le puits A .....	25
A.	Analyse des faciès de la carotte du puits A.....	25
B.	Interprétation des environnements de dépôts « Puits A » .....	25
C.	Analyse séquentielle du puits A.....	26
D.	Conclusion .....	28
II.2	Le puits B.....	30
A.	Analyse des faciès de la carotte du puits B.....	30
B.	Interprétation des environnements de dépôts « Puits B » .....	30
C.	Analyse séquentielle du puits B .....	31
D.	Conclusion .....	33
II.3	Le puits C.....	35
A.	Analyse des faciès de la carotte du puits C.....	35
B.	Interprétation des environnements de dépôts « Puits C » .....	35
C.	Découpage séquentiel du puits C.....	36
D.	Conclusion .....	38
II.4	Le puits D .....	40

A.	Analyse des faciès de la carotte du puits D.....	40
B.	Interprétation des environnements de dépôts « Puits D ».....	40
C.	Découpage séquentiel du puits D.....	41
D.	Conclusion .....	42
III.	Conclusion.....	44
III.1	Reconstitution paléogéographie.....	46

### **Chapitre IV : Etude pétrophysique**

I.	Introduction .....	47
II.	Etude pétrophysique .....	48
II.1	Etude des résultats de la variation verticale et spatiale de la porosité et la perméabilité de chaque puits .....	48
II.1.1	Puits A.....	49
II.1.2	Puits B .....	50
II.1.3	Puits C .....	51
II.1.4	Puits D.....	52
II.1.5	Conclusion.....	53
II.2	Etude des résultats de la variation verticale et spatiale de la porosité et la perméabilité de chaque faciès rencontrés dans le champ d'étude .....	53
II.2.1	Interprétation d'histogramme de la moyenne arithmétique du métrage cumulé de chaque faciès identifié dans le champ d'étude .....	54
II.2.2	Interprétation d'histogramme de la porosité moyenne de chaque faciès du champ d'étude .....	54
II.2.3	Interprétation d'histogramme de perméabilité moyenne de chaque faciès du champ d'étude .....	55
II.2.4	Conclusion.....	56
II.3	Détermination des facteurs qui contrôlent les paramètres pétrophysique des faciès du Tab.IV. 1 .....	57
II.3.1	Conclusion :.....	60
III.	Conclusion.....	61

### **Conclusion générale**

I.	Conclusion générale.....	62
----	--------------------------	----

**Références bibliographiques ..... 63**

**Annexe N° 01 :** Etude sédimentologique

**Annexe N° 02 :** Etude pétrophysique

# **INTRODUCTION GENERALE**

## **Introduction**

Les quartzites de Hamra dans les réservoirs ordoviciens de la plateforme saharienne, suscitent un grand intérêt pétrolier. Dans la zone périphérique de Hassi Messaoud où se situe notre zone d'étude qui est le champ de Hassi Dzabat, les quartzites constituent avec Hassi-Tarfa et Hassi-Guettar, l'auréole de Hassi Messaoud.

Les quartzites de Hamra à travers la plateforme saharienne, se trouvent parfois érodés sous la discordance hercynienne et montrent une lithologie caractérisée par des faciès gréseux propres de granulométrie fine, silico-quartzitiques à quartzitiques, compacts, bioturbés (Tigilites), localement pyriteux, avec des passées d'argiles noires indurées, parfois silteuses.

## **Problématique**

Le présent travail consiste à étudier les caractéristiques sédimentologiques (faciès, environnements de dépôt et paléogéographie) et pétrophysiques (porosité, perméabilité...) du niveau des quartzites de Hamra dans le champ de Hassi Dzabat (champ périphérique de Hassi Messaoud).

## **Méthodologie**

La réalisation de ce projet de fin d'étude s'est faite suivant une démarche basée essentiellement sur les descriptions détaillées des carottes prélevées dans les sondages A, B, C et D du champ Hassi Dzabat dans le bloc 427.

Pour accomplir ce modeste travail, qui s'articule autour de deux études complémentaires (sédimentologique et pétrophysique), nous l'avons organisé suivant cette démarche :

- Une introduction générale,
- Une présentation des généralités sur la plateforme saharienne et sur le gisement de Hassi Messaoud, dans le chapitre 1,
- Un aperçu général sur le gisement de Hassi Dzabat dans le chapitre 2,
- Une étude sédimentologique dans laquelle nous avons décrit les faciès, interprété les environnements de dépôt correspondants, et reconstitué l'évolution séquentielle et la paléogéographie qui caractérisent les carottes prélevées des puits A, B, C et D de Hassi Dzabat, dans le chapitre 3,
- Une étude pétrophysique dans le chapitre 4, où nous avons déterminé les paramètres pétrophysiques (porosité et perméabilité) des puits et des faciès identifiés, et les facteurs géologiques qui contrôlent ces paramètres.
- Enfin, une conclusion générale.

Par ailleurs, la réalisation de ce travail avait nécessité plusieurs tâches :

1. Tout d'abord on a commencé par des recherches bibliographiques « des études, des thèses et des rapports » concernant la région étudiée.
2. Sélection des sondages traversant la formation étudiée, dont les carottes et données pétrophysiques sont disponibles.
3. La description détaillée des carottes des sondages de la base vers le sommet visant la lithologie, les différentes structures sédimentaires, granulométrie à l'aide d'une loupe « à grossissement x15 » à l'œil nu, des chartes de granulométrie, charte de couleur Munsell et des photos 360° des carottes.



**Carotte, Loupe x15, Chartes de granulométrie**

4. Utilisation de l'outil informatique tel que : Adobe illustrator 2020, Paint, Word/Excel 2007, pour le traitement des données.
5. Corrélation des résultats de mesures pétrophysiques avec les résultats de l'étude sédimentologique (en utilisant les logs lithostratigraphiques numériques), en fonction de la profondeur.

**CHAPITRE I :**

**GÉNÉRALITÉS SUR LA PLATE FORME  
SAHARIENNE ET DU GISEMENT DE  
HASSI MESSAOUD**

## I. Généralités sur la Plateforme Saharienne

La plate-forme saharienne se situe au Sud de l'accident sud-atlasique dans la partie septentrionale du continent africain. Elle correspond à l'une des plus grandes plates-formes précambriennes au monde et se caractérise par la juxtaposition de bassins sédimentaires intracratoniques orientés N-S à NO-SE, séparés par des môles de même orientation (Follot, 1952 ; Fabre, 1976 et 2005).

### I.1 Cadre géologique

La plate-forme saharienne constitue un domaine cratonique relativement stable depuis le Paléozoïque. On y rencontre des terrains très anciens, du Protérozoïque (1,8-2 Ga ; Trompette, 1995) mis en place à l'Archéen et lors de l'orogénèse éburnéenne. Ces formations constituent de vieux boucliers stables, comme le bouclier Réguibat par exemple (Rocci et al., 1991). Le bouclier du Hoggar, également très ancien, a subi de surcroît les effets de l'orogénèse panafricaine (Liégeois et al., 2003).

Dans cette plateforme plusieurs zones subsidentes sont reconnues. Elles ont conduit au développement d'importants bassins sédimentaires intracratoniques d'âge paléozoïque qui se développent entre les boucliers. Ils sont caractérisés par des subsidences et des déformations variables et sont limités par des môles. On distingue d'Ouest en Est (Fig.I. 1) :

- Les bassins de Tindouf et de Reggane situés sur les bordures Nord et Nord-Est du bouclier Reguibat.
- Le bassin de Béchar limité au Nord par le haut atlas, au Sud et à l'Ouest par la chaîne d'Ougarta.
- Le bassin d'Ahnet-Timimoun limité au Nord par le haut fond d'Oued Namous, à l'Ouest par la chaîne d'Ougarta, au Sud par le bouclier Touareg et à l'Est par la dorsale d'Idjerane-M'zab.
- Les bassins du Mouydir et de l'Aguemour-Oued M'ya sont limités à l'Ouest par la dorsale d'Idjerane-M'zab et à l'Est par la dorsale d'Amguid-El Biod.
- La synéclyse d'Illizi-Ghadamès est limitée à l'Ouest par la dorsale d'Amguid-El Biod et à l'Est par le môle de Tihemboka et les confins tuniso-libyens.



Fig.I. 1 : Carte des bassins de la plateforme Saharienne (Wec 2004).

Avant d'aborder les cycles orogéniques et leurs phases qui ont joué ultérieurement un rôle important sur la structuration de la plateforme saharienne, il est utile de rappeler brièvement la constitution du socle.

## I.2 Socle

Il fut l'objet de plusieurs études. Les résultats indiquent qu'il est constitué de terrains méta-sédimentaires traversés par de nombreuses intrusions magmatiques. L'âge des formations varie de l'archéen (>2700 Ma ; Lelubre, 1969 ; C.J. Allègre et R. Caby, 1972) à l'eocambien et cambrien (R. Caby et Moussu, 1967 ; Gravelle, 1969).

Sur ce socle viennent reposer en discordance les formations paléozoïques.

## I.3 Le remplissage sédimentaire de la Plate-forme Saharienne (Wec 2004)

La stratigraphie type de chaque province, les corrélations des séries paléozoïques mettent en évidence des variations latérales des faciès et d'importantes discontinuités.

### I.3.1 Le Paléozoïque

- **Cambrien** : Les dépôts cambriens reposent sur le socle cristallin et sont représentés par des grés et des quartzites à passées conglomératiques. Dans la province triasique, où ils sont les mieux connus, ces dépôts constituent d'importants réservoirs.
- **Ordovicien** : Il constitue un ensemble (500 m), allant du Trémadoc à l'Ashgill. Les coupes les plus complètes se situent dans les dépressions de l'Oued Mya et de Timimoune. Les dépôts proximaux (fluviaux) s'agencent autour des régions émergées et forment les falaises du Tassili interne. Les dépôts marins se rencontrent au nord en subsurface et dans ce qui est devenue Chaines de l'Ougarta. Des traces de glaciation ont été décelées dans l'Ordovicien terminal.
- **Silurien** : Cette période est caractérisée par une sédimentation terrigène fine, argileuse en milieu marin. Cette série d'apparence homogène (environ 600 m) est représentée par des argiles noires à Graptolites et des argiles à passées gréseuses et rares bancs carbonatés. Les argiles noires sont un repère stratigraphique connu sur l'ensemble de la Plate-forme Saharienne.
- **Dévonien**
  - ✓ **Dévonien inférieur** : Ces dépôts, essentiellement argilo-gréseux, présentent des faciès très variés.
  - ✓ **Dévonien moyen et supérieur** : La coupe stratigraphique du Dévonien moyen et supérieur est caractérisée par des lacunes de sédimentation. Les dépôts ont été les plus touchés par l'érosion frasnienne ou famennienne et pré-mésozoïque. Le Dévonien supérieur est d'extension identique au Dévonien moyen. Dans les régions occidentales, il atteint 1700 m sous un faciès argilo-carbonaté tandis que, dans les régions orientales, ses dépôts argilo-silteux n'atteignent que 900 m environ.
- **Carbonifère** : Le Carbonifère correspond au cycle sédimentaire paléozoïque final. On peut l'observer dans les domaines occidentaux et orientaux, séparés par le môle d'Amguid-El Biod- Messaoud d'où les dépôts sont absents. Les faciès varient de marin profond jusqu'à continental. De même, les épaisseurs varient de 900 m à l'est pour atteindre 2800 m à l'ouest.

### I.3.2 Le Mésozoïque

- **Trias** : Le Trias transgressif, discordant sur les formations paléozoïques, est représenté par des dépôts argilo-gréseux et lagunaires (sel et anhydrite). La série gréseuse constitue de bons réservoirs notamment dans le champ de Hassi Rmel.
- **Jurassique** : Le Jurassique largement développé dans la province triasique, est composé de sédiments marins et lagunaires. Il débute par un niveau dolomitique.
- **Crétacé** : Le Crétacé est présent partout sur la Plate-forme Saharienne. Il comporte des faciès grés-argileux à la base évoluant vers un pôle essentiellement carbonaté au sommet.

### I.3.3 Le Cénozoïque :

Le Cénozoïque est représenté par une série de dépôts détritiques d'environnements très différenciés et d'âge Mio-Pliocène.

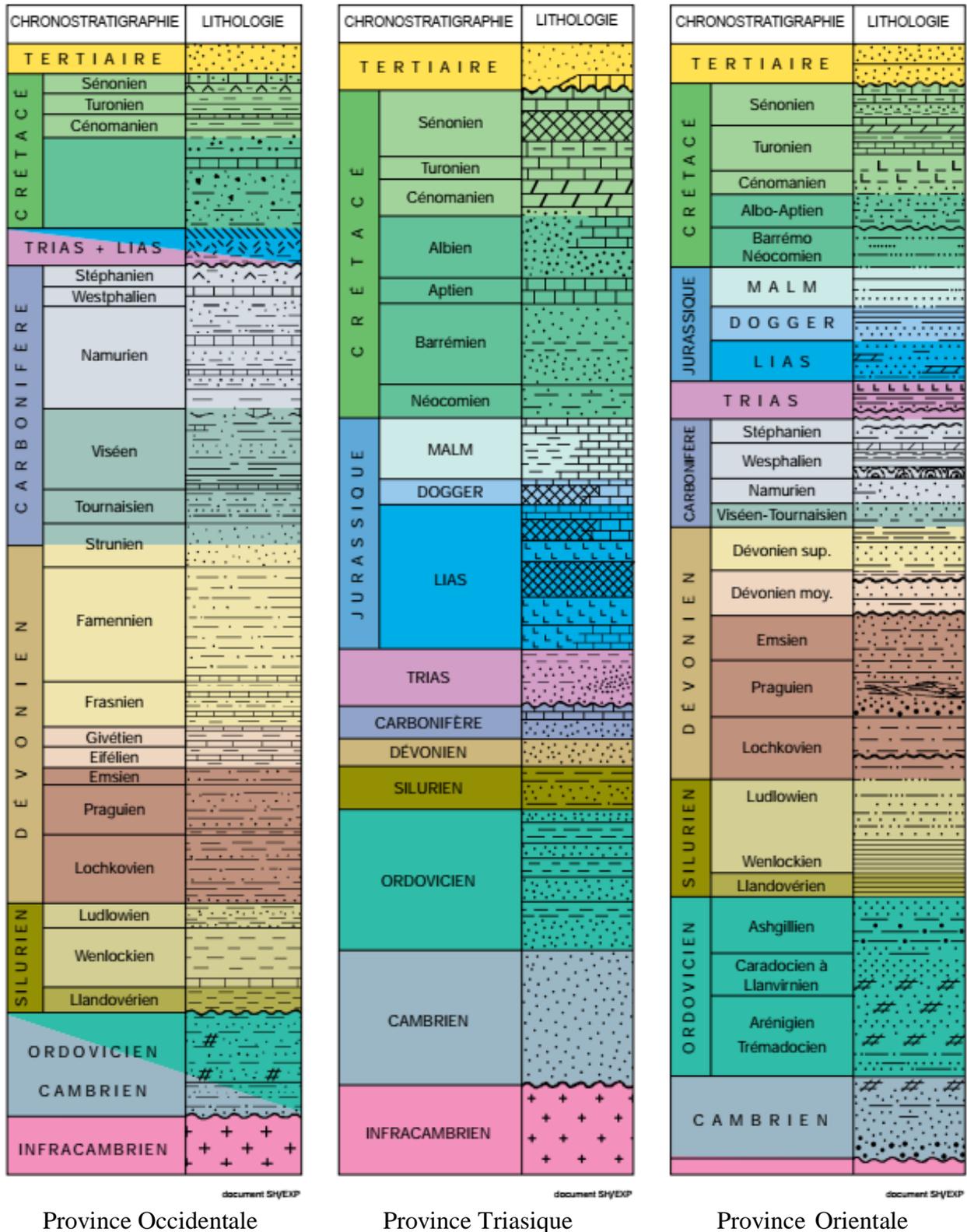


Fig.I. 2 : Stratigraphie de la plateforme Saharienne (Wec 2004).

#### I.4 Détail lithostratigraphique de l'Ordovicien de la plateforme Saharienne

Comme le présent travail s'intéresse à l'étude d'un niveau ordovicien (Quartzites de Hamra) de Hassi Dzabat, il est utile de donner ici, les principales unités de l'Ordovicien de la plateforme saharienne.

##### ➤ Ordovicien

- ✓ **Zone des alternances** : C'est une alternance d'argile gris noir à noire, silteuses, micacée, indurée et des grés gris-blanc, fin à moyen, siliceux, moyennement consolidé passant parfois à des siltstones gris-blanc.
- ✓ **Argiles d'El Gassi** : Cette unité lithostratigraphique est constituée d'argile gris à gris foncé, induré, silteuse, micacée, avec niveaux de grés gris-blanc, siliceux à silico quartzitique, rarement gris verdâtre à gris sombre, fin à très fin, argileux, mal consolidé et glauconieux, présence de roche éruptive, brun à brun rouge, parfois gris verdâtre.
- ✓ **Les grés d'El Atchane** : Ils sont composés de grés gris blanc et gris sombre, fin à moyen, silico-quartzitique, compact, bien consolidé, passant à des quartzites compacts, bien consolidés, glauconieux, localement bitumineux, avec intercalation d'argile gris foncé, indurée, silteuse et légèrement micacée.
- ✓ **Les Quartzites de Hamra** : Les quartzites de Hamra sont constituées de grés gris blanc à blanc, localement gris noir, fin à moyen parfois grossier, silico-quartzitique compact, dur, passant par endroit à des quartzites, localement bitumineux, glauconieux, avec passée d'argile gris foncé, indurée, silteuse, micacée ; abondance de Tigillites et fissures remplies de pyrite ; présence de fractures remplies de roches détritiques (brèche tectonique). Passée d'argile, brun foncé et gris noir, parfois gris vert, indurée, silteuse, micacée, inclusion de galets d'argile gris vert.
- ✓ **Les grés d'Ouargla** : Ils sont composés de grés blanc à blanc beige très fin à fin, parfois fin à moyen, silico-quartzitique, moucheté de pyrite, compact, dur ; passée d'argile gris à noire, silteuse, indurée. Niveau de roche éruptive brunâtre et gris-sombre à la base.

#### I.5 L'évolution géodynamique de la plateforme saharienne

Vu la diminution d'épaisseur parfois même la disparition complète d'unités sédimentaires par le biais des discordances locales ou par manque de sédimentation, il s'avère nécessaire de rappeler les principales étapes de l'évolution structurale de la plate-forme saharienne.

##### I.5.1 Cycles orogéniques

La plateforme saharienne a enregistré plusieurs effets tectoniques postérieurs à l'orogénèse panafricaine, il s'agit des effets calédoniens, hercyniens, voire alpins.

### **I.5.1.1 L'événement Calédonien (Cambrien – début Dévonien)**

#### **1. La phase Sarde (Cambrien – Silurien)**

Elle marque une instabilité tectonique distensive, suivie par une transgression marine.

##### **a. Distension du Cambro-Ordovicien et mise en place de la couverture**

Régime distensif de direction NE-SW donnant naissance à des failles normales suivies d'une variation d'épaisseur et d'un volcanisme reflétant l'instabilité tectonique des séries cambro-ordoviciennes. Ayant pour résultat la formation d'une pédiplaine, appelée Infra-tassilienne.

#### **2. La phase taconique (Cradocien)**

Elle correspond à des mouvements compressifs au Nord de l'Afrique le long des accidents subméridiens, accompagnés de soulèvements régionaux. Parallèlement, il y a eu un changement climatique qui a provoqué la mise en place d'une calotte glaciaire, centrée au Sahara central d'âge Caradoc-Asligillien.

##### **a. La fonte de l'inlandsis et rejeux eustatiques**

La fonte de l'inlandsis à l'Ordovicien supérieur a entraîné une remontée du niveau marin, une transgression généralisée atteint le Sahara méridional où se déposent les argiles noires à graptolites.

#### **3. La phase calédonienne majeure (Silurien – début Dévonien)**

Correspond à une période d'érosion et une évolution régressive des séries du Silurien. Il s'en suit un apport de matériel détritique provenant du SE qui se dépose localement en discordance sur les séries anciennes.

### **I.5.1.2 L'événement hercynien (Dévonien – fin Carbonifère)**

Le Dévonien inférieur (Gédinien et Siegenien) est marqué par une phase distensive matérialisée par des rejeux synsédimentaires des accidents préexistants, suivie d'une transgression marine.

Le Viséen correspond à une phase compressive de direction N40° qui provoque d'importants soulèvements dans la PFS, suivis d'une période d'érosion.

Le post-Stéphanien correspond à une phase compressive de direction N120° qui affecte la PFS et produit d'importants soulèvements. Un grand cycle d'érosion s'ensuit, aplanissant les rides structurales récemment créées en atteignant parfois le socle.

### **I.5.1.3 L'événement alpin**

#### **1. La phase éo-cimmérienne (passage Trias – Jurassique)**

Elle correspond à une phase distensive liée à l'ouverture de l'Atlantique central à l'Ouest et de la Mésogée (Néotéthys) à l'Est qui provoqué l'effondrement de la PFS. Il se constate la disparition des faciès continentaux au profit des faciès marins, suivant les failles NE/SW et mise en place de volcanisme basique (dolérites dans le bassin de Reggane).

#### **2. La phase autrichienne**

Le milieu du Crétacé est marqué par une phase compressive E-W liée à l'ouverture de l'Atlantique Sud où les accidents subméridiens de la PFS rejouent en faille inverse.

Cette phase est Sub-synchrone à l'achèvement de la mise en place des hydrocarbures à Hassi Messaoud (Massa.D, Ruland.M, Thouvenin.J, 1972).

#### **3. La phase Atlasique et Miocène**

Au Paléogène, l'affrontement de l'Europe et de l'Afrique a produit au Nord de cette dernière une chaîne de collision ; les Maghrébides, où certains accidents NE/SW de la PFS sont réactivés.

Elle est postérieure à la formation des hydrocarbures ; elle est donc probablement à l'origine des barrières de perméabilités dues à un décalage des niveaux réservoirs ce qui a favorisé la création de fracturations colmatées et a par conséquent, contribué à l'amélioration des caractéristiques pétro-physiques du réservoir (Gauthier.J.M, 1978).

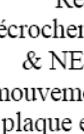
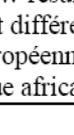
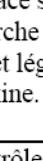
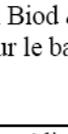
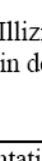
PERIODE MAX D'ACTIVITE	DIRECTION DE LA CONTRAINE	EFFET SUR LE SYSTEME DE FAILLES	EFFET SUR LA SEDIMENTATION
POST-VILAFRANCIEN (Alpine)	N-S 	Basculement et inversion de blocs. Période finale de compression dans le domaine atlasique, événement majeur de collision.	Soulèvement du Hoggar. Basculement du bloc d'El Borma.
MIOCENE	NW-SE & N-S 	Episode de compression majeure dans le domaine atlasique	Sédimentation prédominante de flyshs au Nord.
EOCENE (Pyrénéenne)	N-S & NW-SE 	Début de chevauchements au Nord résultant de la convergence de la plaque africaine avec la plaque européenne. Décrochement de la faille S. Atlas.	
CRETACE INFERIEUR (Autrichienne)	E-W 	Réactivation des décrochements des failles N-S & NE-SW résultant du mouvement différentiel de la plaque européenne et de la plaque africaine.	Erosion des sédiments du Crétace sous l'Aptien (l'Arche d'El Biod & Illizi). Effet léger sur le bassin de Berkine.
RIFTING TRIAS-LIAS (Dislocation de la Pangée)	NW-SE 	Réactivation des failles NE-SW Se terminant au TAGS et S4	Contrôle de la sédimentation par les failles entraînant une variation rapide d'épaisseur le long des failles NE-SW.
CARBONIFERE SUP A PERMIEN (Hercynienne principale)	N 120° 	Mouvement inverse ou Décrochement le long des failles NE-SW (résultat de la formation de la Pangée).	Erosion sur les axes NE-SW.
WISEEN (Hercynienne précoce)	N 40° 	Mouvement inverse ou Décrochement le long des failles N-S. Début de formation de la Chaîne varisque.	- Erosion sur Tihemboka et Soulèvement de l'Ougarta.
FRANSIEN	NW-SE 	Mouvement normal le long des failles NE-SW.	-Non dépôt et érosion locale (môle d'Ahara). -Volcanisme.
CALEDONIENNE (Siluro-Dévonien)	E-W 	Mouvement inverse ou décrochement le long des failles N-S.	- Erosion le long des zones hautes d'orientation N-S & E-W (Tihemboka, Ahara)
TACONIQUE (Caradoc-Ashgilien)	E-W 	Mouvement inverse le long des failles N-S résultant. Formation de structure N-S	- Soulèvement des boucliers Réguibat et Touareg.
CAMRO-ORDOVICIENNE	NW-SE 	Mouvement normal le long des failles N-S	-Les variations de l'épaisseur sont contrôlées par les failles. -Basculement NW de la plateforme Saharienne. -Volcanisme.
PANAFRICAINE	E-W 	Tectonique cassante créant des failles et des fractures conjuguées NW-SE & NE-SW	-Compartimentation du craton du Sahara central.

Fig.I. 3 : Les phases tectoniques affectant la plateforme saharienne (Boudjema, A. 1987).

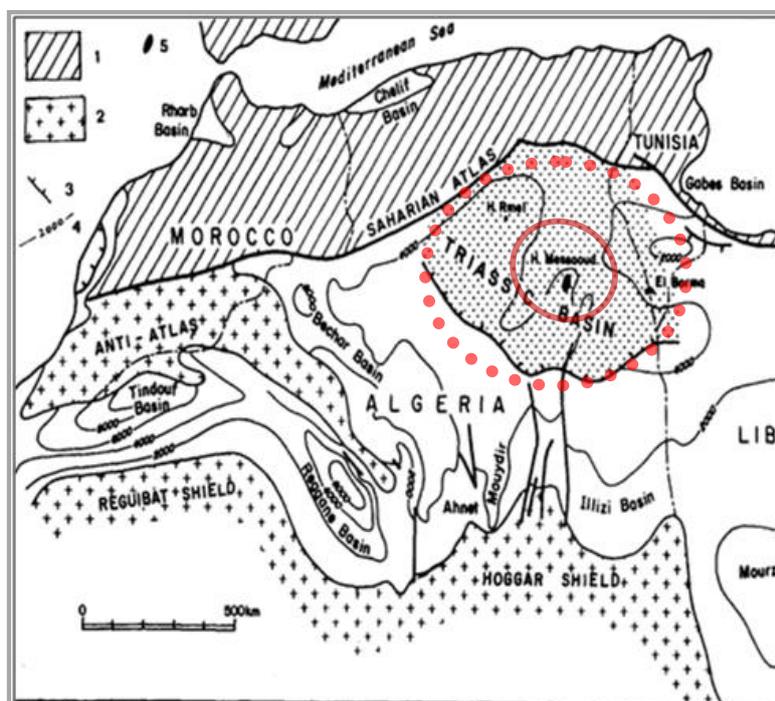
## II. Généralités sur le gisement de Hassi Messaoud

Le champ de Hassi Dzabat est un champ périphérique de Hassi Messaoud qui fait partie du bassin triasique (Fig.I. 4).

Comme le gisement de Hassi Messaoud est bien connu sur le plan géologique et géophysique, dans le cadre des prospections pétrolières avancées, et vu que l'évolution des deux gisements (Hassi Messaoud et Hassi Dzaabat) est presque analogue, il est utile de donner ici les principales caractéristiques du gisement de Hassi Messaoud, qui lui-même se trouve dans le môle d'Amguid-Messaoud.

### II.1 Bassin Triasique

Le bassin triasique est un bassin intra-cratonique, se situe au Nord-Est de la plate-forme saharienne. La subsidence guidée par l'héritage structural prés-mésozoïque, débute au Trias supérieur. La couverture sédimentaire, surtout d'âge Paléozoïque, est structurée en de nombreux bassins sédimentaires séparés par des moles (dorsales).



1. Chaînes alpines – 2. Socle métamorphique – 3. Limite du sel triasique – 4. Isobathes du socle en mètre – 5. Gisement d'huile

**Fig.I. 4 :** Bassin triasique ; Gisement de Hassi Messaoud (Boudjema, A. 1987).

**L'aspect structural majeur** est constitué par un réseau de failles, large d'une centaine de kilomètres, de direction Nord-Sud dans la partie méridionale et Nord-est-Sud-ouest dans la partie centrale et septentrionale. Ces failles jouent un rôle important sur la sédimentation, la structuration et la localisation des gisements d'hydrocarbures. Elles ont une histoire très ancienne, révélée par les études du socle du bouclier Touareg, (R. Caby, 1970 ; J.M.L. Bertrand, 1974 ; M. Lelubre, 1952) et des séries du paléozoïque, décrites par les géologues pétroliers, notamment S. Beuf et al. (1971) et P. Michel et al. (1959).

## II.2 Môle d'Amguid-Messaoud

D'une superficie totale de 157 793 km<sup>2</sup>, le môle d'Amguid-Messaoud se distingue par différents éléments tectoniques délimitant un bassin où la colonne stratigraphique est plus ou moins complète.

## II.3 Cadre géologique du champ de Hassi Messaoud

Faisant partie du môle Amguid, le môle de Hassi Messaoud est le résultat d'une histoire paléo-tectonique assez compliquée, c'est le prolongement de la dorsale d'Amguid El Biod de plus de 800 km de long.

Sa structure fait partie d'un ensemble de structures formant la province triasique Nord Orientale ; limitée au Nord par la structure D'jamaâ-Touggourt ; à l'Est, par la dépression de Ghadamès ; à l'Ouest, par la dépression d'Oued Mya et au Sud, par le horst d'Amguid (Fig.I. 5).

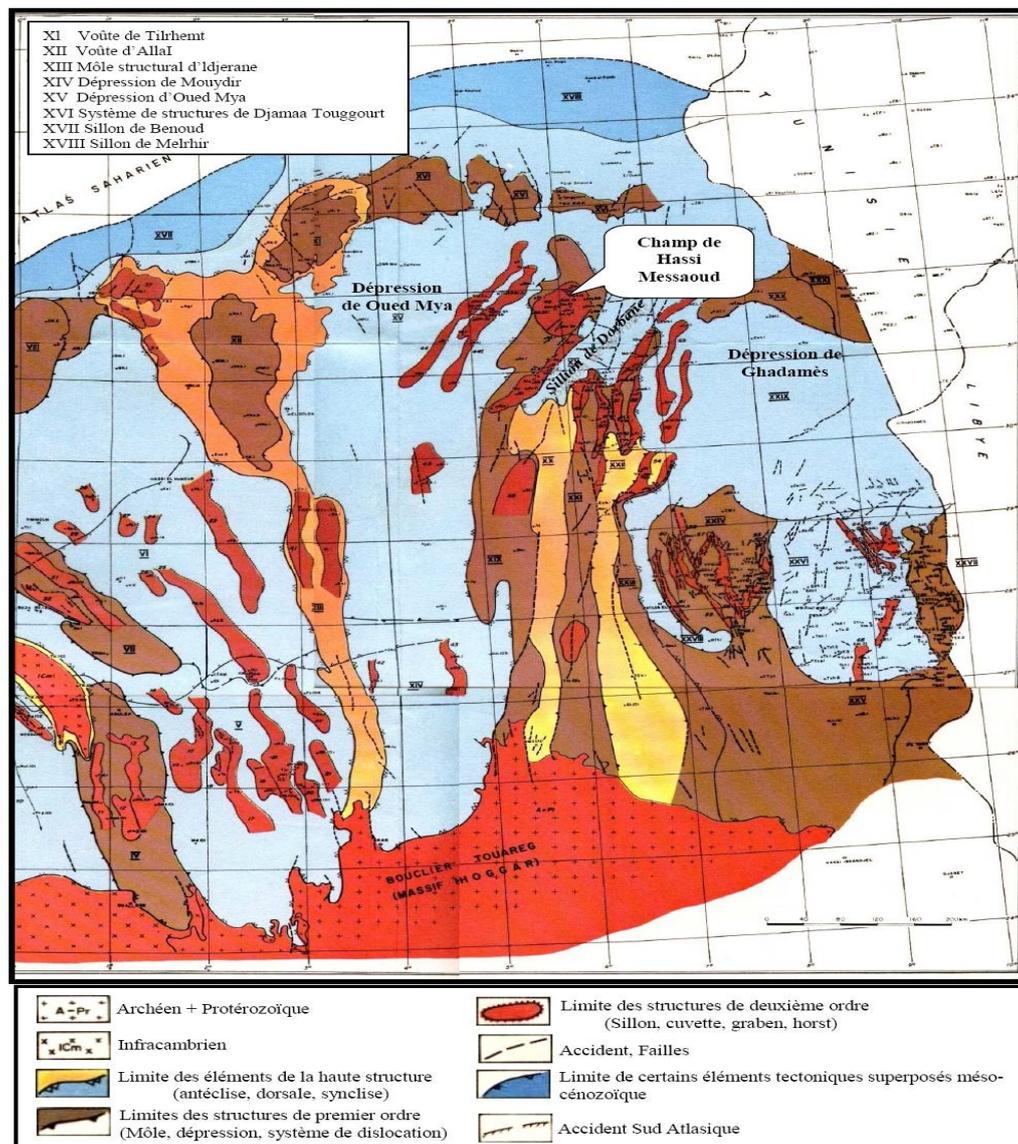


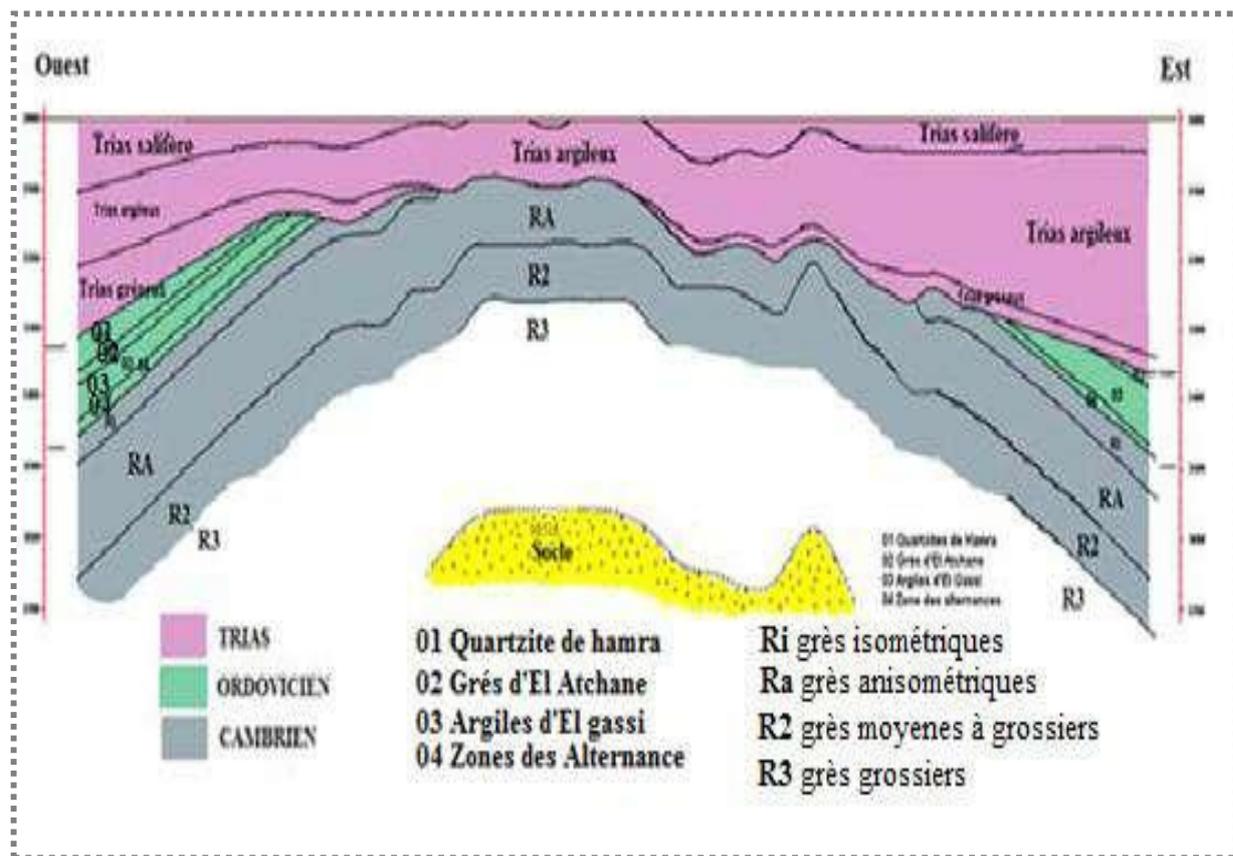
Fig.I. 5 : Carte de la zonalité géostructurale de la couverture sédimentaire (in Lasmi, R. 2013)

La région de Hassi Messaoud est localisée dans la partie centrale du Sahara algérien, connue pour ses puits productifs d'huile principalement dans les réservoirs cambriens. Plusieurs gisements ont été mis en évidence, à savoir El Agreb, Zotti, El Gassi, Rhourde El Baguel et Mesdar.

#### II.4 Aperçu lithostratigraphique de Hassi Messaoud

La série lithostratigraphique complète de la région de Hassi Messaoud est constituée de dépôts d'âge paléozoïque et mésozoïque.

La figure (Fig.I. 6) montre que sur la dorsale de Hassi Messaoud une bonne partie de la série paléozoïque est érodée. Elle a été érodée au centre de la structure au cours de la phase hercynienne. Les dépôts mésozoïques reposent donc, en discordance sur le Cambro-Ordovicien.



**Fig.I. 6 :** Coupe Ouest-Est de la structure de Hassi Messaoud au niveau du réservoir (Document Sonatrach).

**CHAPITRE II :**  
**ETAT DES CONNAISSANCES DU**  
**GISEMENT DE HASSI DZABAT**

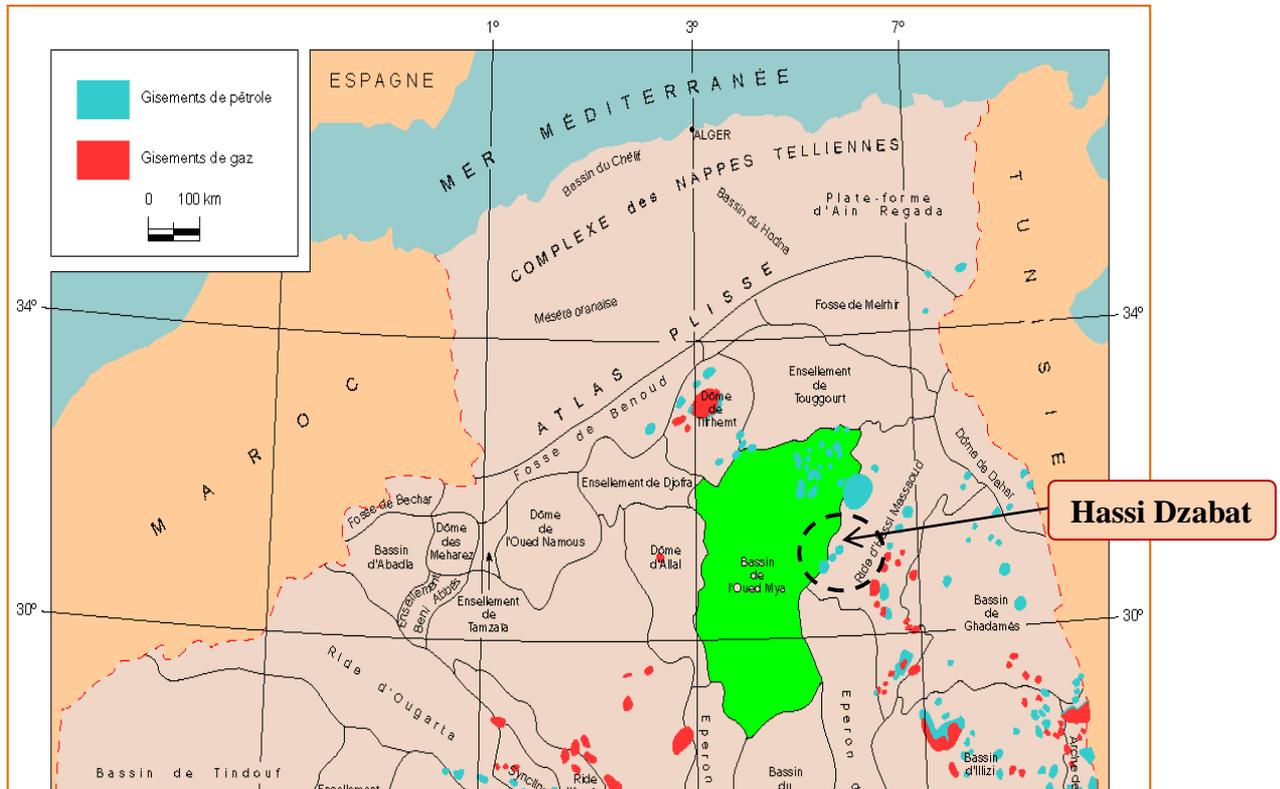
## I. Situation géographique de Hassi Dzabat

Le champ de Hassi Dzabat est un champ périphérique de Hassi Messaoud. Il correspond à une structure satellite qui s'étend vers le sud, se trouvant dans les blocs 427- 439 et occupants globalement la partie de transition du permis de Hassi Tarfa et le champ de Hassi Messaoud (Figs.II. 1 et II. 2).

### ➤ Coordonnées géographiques :

**Latitude :** 29° 25' 30".26593 N.

**Longitude :** 08° 41' 31".18771 E.

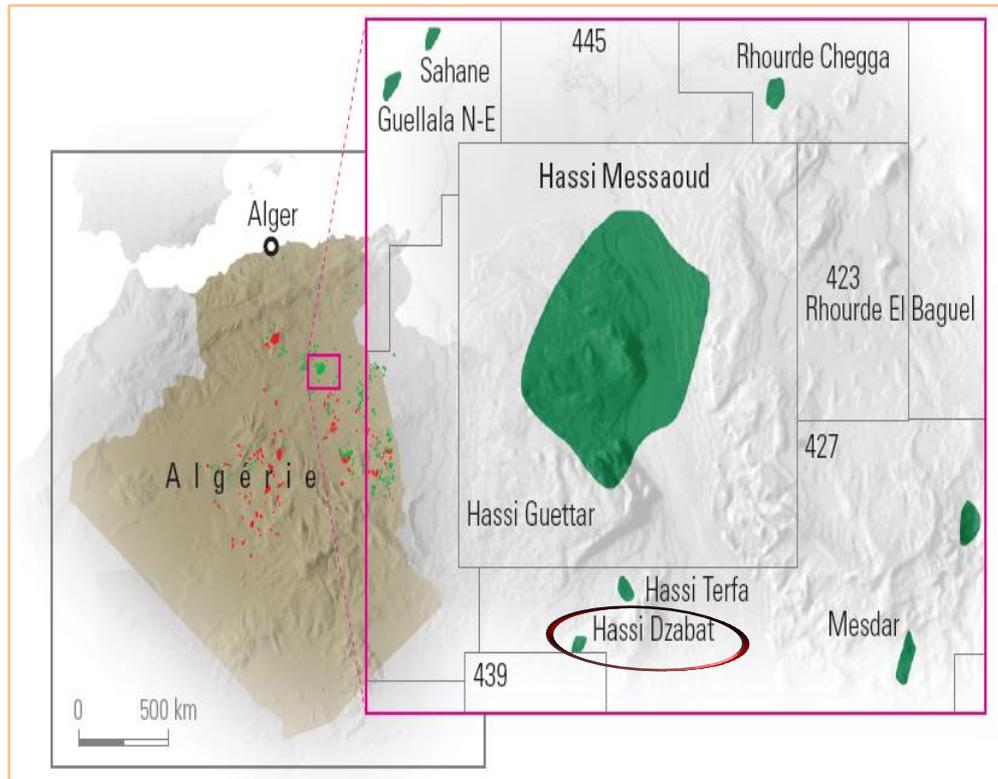


**Fig.II. 1 :** Situation du champ de Hassi Dzabat (Document SH/EXP).

## II. Cadre Géologique de Hassi Dzabat

La structure de Hassi Dzabat est située dans la province triasique, au sud du gisement de Hassi Messaoud sur la bordure du trend El Gassi- El Agreb- Hassi Messaoud (Fig.II. 1). Ses limites sont :

- L'ensellement de Touggourt au Nord.
- La dorsale d'Amguid au sud.
- Le bassin de Ghadamès à l'Est.
- Le bassin d'Oued Mya à l'Ouest.



**Fig.II. 2 :** Localisation du champ de Hassi Messaoud et de Hassi Dzabat (Wec 2007).

### III. Lithostratigraphie du champ d'étude

La région d'étude est composée essentiellement de dépôts Méso-cénozoïques et des séries Cambro-ordoviciennes, tronquées par l'érosion Hercynienne, comme le montre la figure de la Colonne litho-stratigraphie de Hassi Dzabat (SONATRACH, DP, 2005) (Fig.II. 3).

#### III.1 Le Paléozoïque (ORDOVICIEN)

Le paléozoïque est décapé de sa partie supérieure (voire Fig.II. 3), où il s'achève par les formations de l'Ordovicien terminal.

➤ **Ordovicien :** on distingue de bas en haut

1. **Argiles d'El Gassi :** Ce sont des argiles grises à gris foncé, indurées, silteuses et micacées.
2. **Grès d'El Atchane :** Grès gris-blanc à blanc très fin à fin, parfois moyen, silico-argileux, siliceux à silico-quartzitique, bien consolidé avec intercalations d'argiles grises à gris noir, indurées, silteuses.
3. **Quartzites de Hamra :** Grès gris clair à gris blanc, fins à moyen, des grains sub-anguleux à sub-arrondi, silico-quartzitique à quartzitique compact, dur, localement pyriteux et chloriteux avec fines passées d'argile gris-noir à noire, indurée, silteuse. Présence de grains de quartz blanc, translucide, sub-arrondi et de Tigillites (Skolithos).

- 4. Grès d'Ouargla :** Alternance de grès gris clair, très fins silico-argileux, de siltstone argileux et d'argiles grises foncées silteuses indurées.

### **III.2 Le Mésozoïque**

Les principaux dépôts sont de nature détritique, terrigène et évaporitique allant du Trias au Sénonien, avec un événement éruptif enregistré au niveau du Trias. La série éruptive représente les dépôts de base du Trias. Cette série éruptive représente le premier terme de remplissage des paléo-topographies (vallée) en bordure du môle de H. Messaoud. Elle repose en discordance angulaire sur les formations ordoviciennes du Paléozoïque inférieur, soit directement sur les grès d'Ouargla ou sur les quartzites de Hamra selon les puits (Fig.II. 3).

### **III.3 Le Cénozoïque**

Le Cénozoïque est constitué uniquement de sédiments détritiques continentaux d'âge Mio-pliocène. Les calcaires de l'Eocène présentent une variation d'épaisseur, ils peuvent être ou pas reconnus d'un puits à l'autre, reposant en discordance sur le Crétacé supérieur.

Ère	Sys	ETAGES	LITHO	Ep (m)	DESCRIPTION LITHOLOGIQUE	
CZ	NEOG	MIO PLOCIENE		239	Recouvrement sableux avec alternances d'argiles, calcaires et marnes sableuses	
		EOCENE		122	Calcaire dolomitique à silex	
MESOZOIQUE	CRETACE	SENONIEN	CARBONATE		107	Calcaire dolomitique argileux, anhydrite à passées de dolomie
			ANHYDRITIQUE		209	Anhydrite, marne, dolomie
			SALIFERE		149	Sel massif à intercalations d'argiles et marnes
		TURONIEN		112	Calcaire tendre crayeux, dolomitique et argileux. Nappe d'eau salée	
		CENOMANIEN		147	Anhydrite, marne, dolomie, calcaire et argile	
		ALBIEN		362	Grès à intercalations d'argiles silteuses. Nappe d'eau douce	
		APTIEN		24	Dolomies cristallines et calcaires	
		BARREMIEN		276	Grès fins à moyens, carbonatés, intercalés de niveaux d'argiles	
		NEOCOMIEN		182	Argiles à intercalation calcaire et/ou dolomie, grès à passées argileux	
		MALM		226	Argiles et marnes intercalées de calcaires; dolomie et grès	
	JURASSIQUE	DOGGER	ARGILEUX		107	Argiles tendres, marnes dolomitiques à rares passées gréseuses fines
			LAGUNAIRE		211	Anhydrite, Dolomie, et argiles tendres à marnes grises
		LIAS	LD1		66	Dolomies, anhydrites à passées d'argiles et de calcaires
			LS1		90	Argiles plastiques brunes salifères à passées de sel et d'anhydrite
			LD2		55	Dolomies à passées marnes grises
			LS2		58	Sels translucides à quelques passées de marnes grises
			LD3		31	Marnes grises à passées de dolomies
TRIAS	SALIFERE	TS1		46	Alternance de sel d'anhydrite et de dolomie	
		TS2		189	Sel massif à intercalation d'anhydrite et argile	
		TS3		202	Sel massif avec traces d'argiles	
	ARGILEUX		113	Argiles rouges dolomitiques ou Silteuses injectée de sel et anhydrite		
	GRESEUX		0 à 35	Grès fins à moyens à ciment argileux		
	ERUPTIF		0 à 92	Andésite		
PALEOZOIQUE	ORDOVICIEN	Quartzites d'El Hamra		75	Grès quartzitiques fins présentant de la glauconite et de l'anhydrite	
		Grès d'El Atchane		25	Grès fins feldspathiques et glauconieux	
		Argiles d'El Gassi		50	Argile verte ou noire à graptolites	
		Zone des Alternances		18	Alternances d'argiles et de grès quartzitiques avec glauconite et tigillites	
		R Isométriques		42	Grès isométriques à plages de quartzites; présence de tigillites	
	CAMBRIEN	R Anisométriques		125	Grès quartzites anisométriques moyens à grossiers à ciment argileux et siliceux avec stratifications obliques a entrecroisées	
		R 2		100	Grès moyens à grossiers parfois micacés à ciment argileux illitiques	
		R 3		370	Grès feldspathiques et micacés grossiers à ciment argileux	
		Infra Cambrien		45	Grès argileux rouges	
		SOCLE			Granite porphyroïde rose	

Fig.II. 3 : Colonne lithostratigraphie de Hassi Dzabat (Sonatrach, DP. 2005).

#### **IV. Aspect structural**

La structure de Hassi Dzabat est définie comme étant un piège de type structural (anticlinal allongé de direction NE-SO), bordée dans sa partie Est par une faille de même direction ; elle présente une superficie de 40 km<sup>2</sup> sur une amplitude de 60 m.

Elle montre des accidents subméridiens qui ont fonctionné depuis l'orogénèse panafricaine, ils ont été à l'origine de la structuration et de la sédimentation de tout l'axe Amguid Messaoud.

#### **V. Intérêt pétrolier**

L'intérêt pétrolier de la région de Hassi Dzabat est intimement lié à sa position dans un environnement pétrolier très favorable, et où le réservoir Ordovicien (Quartzites de Hamra) constitue l'objectif primaire.

La structure de Hassi Dzabat est définie comme étant un piège de type structural (anticlinal allongé de direction NE-SO), bordée dans sa partie Est par une faille de même direction.

#### **VI. Système pétrolier**

##### **VI.1 Roche mère et migration**

La principale roche mère connue sur toute la plateforme saharienne reste les argiles du Silurien, dont le potentiel pétrolier est assez important. Cette roche mère est à l'origine du remplissage des réservoirs cambro-ordoviciens et triasiques de la région.

La migration des hydrocarbures dans cette zone est essentiellement de longue distance à travers ; la surface de la discordance hercynienne, les failles ainsi que les drains triasiques et cambriens.

Le remplissage de la structure de Hassi Dzabat s'est fait selon les mêmes mécanismes qui ont régi la mise en place des huiles dans les structures de Hassi-Messaoud et Hassi-Tarfa.

##### **VI.2 Système pétrolier ordovicien**

###### **VI.2.1 Lithologie**

Cette formation est souvent décrite comme massive et compacte, d'une épaisseur moyenne de 90 m, constitué par de grès blanc à gris-blanc, fin à moyen, localement grossier, silico-quartzitique à quartzitique, compact, dur avec des passées d'argile noire, silteuse et feuilletée.

L'analyse des lithofaciès des niveaux carottés dans les quartzites de Hamra a montré l'existence de différents lithofaciès :

- Grès quartzitique à litage horizontal
- Grès quartzitique à litage oblique
- Grès quartzitique bioturbé

- Grès quartzitique à litage entrecroisé, granoclassé
- Grès d'argile, à galets d'argile et films argileux
- Grès très fin à fin quartzitique.

L'existence d'un ichnofaciès lié à la présence de Skolithos, qui sont parfois abondants à très abondants, est caractéristique d'un environnement marin de type avant-côte supérieure (Upper-Shoreface).

### **VI.3 Roche Couvertures**

Les formations argilo-salifères du Lias et les roches éruptives de Trias, constituent d'excellentes roches couverture pour les Quartzites de Hamra. Localement le Cambrien (Ri+Ra) a pour couverture les argiles d'El-Gassi (voire Fig. I. 6).

### **VI.4 Les Pièges**

Cette structure est définie comme étant un piège de type structural (Horst anticlinal faillé).

**CHAPITRE III :**  
**ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE**

## I. Introduction

Le principal objectif assigné à cette étude est la caractérisation des environnements de dépôts à travers une description détaillée des carottes prélevées dans les sondages A, B, C et D des réservoirs Ordoviciens « Quartzites de Hamra » du champ Hassi Dzabat.

Le champ de Hassi Dzabat, situé au Sud Est du champ de Hassi Messaoud, est un gisement périphérique de celui-ci. La première découverte est en Septembre 1969. Pour rappel, le champ de Hassi Dzabat est situé dans le bloc 427.

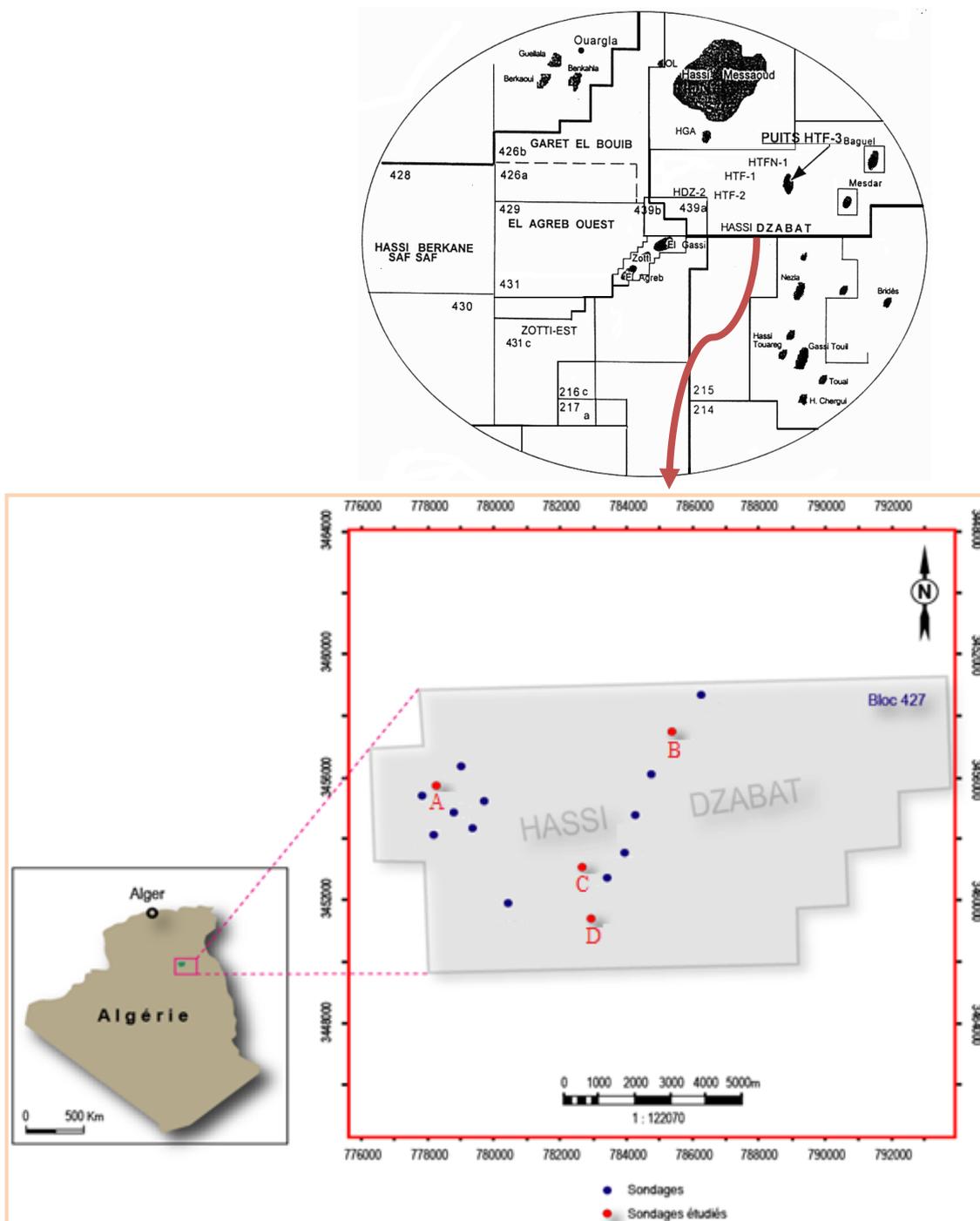


Fig.III. 1 : Localisation des sondages étudiés.

Afin de mieux comprendre le travail entrepris en sédimentologie et les arguments qui nous ont permis d'interpréter les différents environnements de dépôt à partir des faciès lithologiques observés sur carottes, nous signalons que toutes les notions de base utilisées dans le cadre de cette étude se trouvent en annexe.

Toutefois, les classifications utilisées pour décrire les faciès est celle de Miall, (1978) et (1996) :

La classification de Miall consiste à identifier et à codifier les faciès sur la base de la nature lithologique et des structures sédimentaires associées.

### **I.1 Classification et interprétation des différents faciès observés en carottes selon Miall et autres.**

- **Faciès St** : Grés à stratifications obliques en auges (parfois frustes, sets d'auges mal individualisé).
  - **Interprétation** : Miall interprète ce faciès comme étant le produit de la migration de dunes tridimensionnelles. Sédimentation se fait par traction en régime d'écoulement inférieur.
- **Faciès Sm** : Grés fin, sans organisation interne apparente, bien triés.
  - **Interprétation** : Déposés sous forme de coulées de débris solides, par glissement ou convolution de masses de sédiments arrachés aux parois meubles des berges, des fleuves. Les structures primaires ont pu être détruites par les structures secondaires, ceci s'explique par le degré de déformation et de bioturbation des grés sans structures sédimentaires apparentes par la déformation d'un sédiment ayant un aspect tendre (selon Miall).
- **Faciès Sp** : Grés, argileux avec des structures sédimentaires en auges ou oblique-planes faiblement inclinées et bien développées.
  - **Interprétation** : Le faciès Sp était déposé par un courant de traction unidirectionnel.
- **Faciès Sh** : Grés à litages planes horizontales très fin à moyen.
  - **Interprétation** : Ce faciès a été interprété comme étant le résultat d'un dépôt par traction en régime d'écoulement supérieur (Miall, 1977, 1978 et 2006).
- **Faciès Gt** : Conglomérats à stratifications obliques en auges.
  - **Interprétation** : Comblement de petits chenaux, chenal fluviatile actif. (Miall, 1996).
- **Faciès Sw** : Faciès à grains fins rarement moyen ou grossier, sandstones médiocrement triés à bien triés, en présentant des ondulations, "wave- (rarely combined) -ripple cross-lamination". Mud-films millimétriques à centimétriques, rarement bioturbés, possible d'observer "mud-clasts".
  - **Interprétation** : Ondulation symétrique (ou asymétrique) en oscillatoire (ou oscillatoire et traction) en régime d'écoulement inférieur (Walker & Plint 1992, Clifton 2006).

- **Faciès Sb** : Grés intensément bioturbés.
  - **Interprétation** : Régime d'écoulement inférieur, dans un environnement calme et stable.
- **Faciès H** : Rhytmite tidales (lithofaciès hétérolithique), alternance centimétrique de grés, silts et d'argiles à faible bioturbation.
- **Faciès Fo** : Argiles silteuses / silts argileux à structures laminaires plus ou moins bioturbées, présence de pyrite.
  - **Interprétation (H, Fo)** : Environnement marin peu profond soumis à l'influence conjuguée de marées et de vagues.

**Tab.III. 1** : Principales caractéristiques des lithofaciès et interprétation des milieux de dépôts (selon Miall).

Code	Lithofaciès	Association des lithofaciès
<b>Stg</b>	Grés à stratifications obliques en auges et galets quartzeux.	Chenal fluviatile actif
<b>St</b>	Grés à stratifications obliques en auges.	Chenal fluviatile actif
<b>Sp</b>	Grés à stratifications obliques-planes.	Barre de chenal / Barre de Shore
<b>Sh</b>	Grés à stratifications horizontales.	Barre de chenal / Barre de Shore
<b>Sm</b>	Grés d'aspect massif (sans structure apparentes).	Chenal fluviatile actif / Barre de chenal
<b>Sb</b>	Grés intensément bioturbés.	Barre de shoreface ou swach
<b>Fo</b>	Argiles silteuses / silts argileux à structures laminaires plus ou moins bioturbées. Présence de pyrite.	Environnement marin peu profond soumis à l'influence conjuguée de marées et de vagues
<b>Sw</b>	Grés à structures ondulées ou rides de vagues.	
<b>H</b>	Rhytmite tidales (lithofaciès hétérolithiques) : Alternance centimétrique de grés, de silts et d'argiles à faible bioturbation.	
<b>Gt</b>	Conglomérats à structures obliques en auges.	Chenal fluviatile actif

La description détaillée des carottes prélevées dans les sondages étudiés des réservoirs Ordoviciens « Quartzites de Hamra » nous a permis d'identifier dix (10) faciès de façon générale. Afin de bien comprendre et poursuivre la démarche de ce travail, nous devons présenter en premier lieu les photos illustratives de ces faciès.

## I.2 Photographies illustratives des faciès identifiés



**A-c02-3270**

Grés sans structures apparentes intercalé par une argile noirâtre a quelques structures de type wavy bedding (Fo-Sm).



**A-c05-3291**

Grés bioturbé à structures horizontales (Sb/Sh).



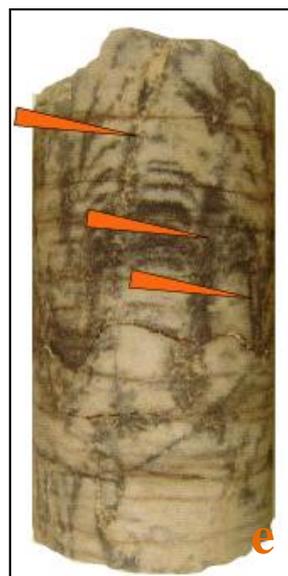
**C-c09-3347**

Grés à structures de type wavy bedding (Sw).



**B-C04-3277.50**

Grés à structures en auges (St).



**B-C01-3239**

Abondance des traces de skolithos (Sb).



**C-C01-3253.05**

Grés à rides d'oscillations (rides de vagues).

**Planche 1** : Faciès du réservoir quartzites de Hamra des sondages : A, B et C.



**C-c01-3253**  
Faciès hétérolithique à structures lenticulaires bedding (H).



**C-c07-3324**  
Conglomérats à structures obliques en auges, surface de remaniement (Gt).



**C-c07-3322**  
Grès à structures en auges et galets quartzeux, surface de remaniement (Stg).



**A-c07-3328.18**  
Grès à structures obliques (Sp).



**D-c06-3278.39**  
Grès intensément bioturbé (Sb).



**C-c08-3332.03**  
Grès compact à galets d'argile (millimétriques) à structures sédimentaires en auges (St).

**Planche 2 :** Faciès du réservoir quartzites de Hamra des sondages : A, C et D.

## II. Etude sédimentologique des différents Puits

### II.1 Le puits A [ 3253 m - 3353 m ]

Le log lithologique qui montre l'évolution des faciès ordoviciens du niveau des quartzites d'El Hamra, du puits A est inséré dans la page 29.

#### A. Analyse des faciès de la carotte du puits A

L'analyse des faciès est basée sur l'observation directe des différents morceaux de la carotte prélevée dans le puits A. La colonne lithologique de ce puits se caractérise essentiellement par cinq faciès dominants dont la description est la suivante :

- Grés quartzitique moyen, gris clair à structures en auges (St). (Planche 1, photo d)
- Grés quartzitique moyen, gris clair à structures obliques (Sp). (Planche 2, photo j)
- Grés quartzitique intensément bioturbé (type Skolithos) moyen à grossier et parfois fin, gris à gris beige parfois sombre à stratifications horizontales (Sb), (Sb/Sh). (Planche 1 et 2, photos k, e et b)
- Passée argilo-silteuse finement laminée à rides de vagues (Fo). (Planche 1, photo a)
- Grés quartzitiques fin gris clair à structures d'oscillation (Sw). ((Planche 1, photo c)

La description détaillée de tous les faciès, de la base jusqu'au sommet est en Annexe n° 1 :

#### B. Interprétation des environnements de dépôts « Puits A »

La succession des faciès observés et décrits dans le puits A, peut témoigner d'une variation de milieu de dépôts généralement mixte tantôt à influence continentale, tantôt à influence marine, les principaux environnements correspondants aux différents faciès sont les suivant :

##### ❖ Milieu marin à dominance fluviale

Ce milieu est confirmé par deux faciès :

##### ▪ Les faciès de A jusqu'à Z (voire le log du puits A)

Il s'agit de barres gréseuses à structures en auges et parfois obliques, où vers le sommet de chaque barre il y a la présence des minces passées argileuses finement laminées et parfois des grés fins à rides de vagues. Les milieux correspondants sont le fluviale à forte énergie qui dépose des grés à structures en auges et parfois des obliques, et le marin peu profond où l'énergie du fleuve diminue et les dépôts sont des argiles finement laminées et/ou des grés fins à structures d'oscillation (rides de vagues).

##### ▪ Les faciès de A'' jusqu'à F''

Ce sont des grés bioturbés à stratifications horizontales et parfois à des structures en auges et obliques avec présence de la pyrite, c'est ce qui nous indique que nous

avons un fleuve à énergie faible (partie amont) qui dépose des grés fins à stratifications horizontales dans le marin peu profond (upper-shoreface), un milieu favorable à la bioturbation (type skolithos).

L'énergie du fleuve peut s'accroître et déposer des grés à structures en auges et obliques dans l'upper-shoreface. La présence de la pyrite indique un milieu anoxique.

#### ❖ Milieu marin peu profond 'Upper-Shoreface'

Les faciès qui témoignent sur ce milieu sont les grés intensément bioturbés à rares structures hydrodynamiques, où la bioturbation est du type skolithos qui atteste sur un milieu marin peu profond.

#### ❖ Milieu mixte (interférence continentale/marine)

Il se caractérise par les influences fluviales de basse énergie affirmées par des grés à structures horizontales et marines représentées par des grés à forte bioturbation du type skolithos, sans structures hydrodynamiques apparentes. Ces deux influences peuvent s'alterner dans le temps, le meilleur exemple s'observe au sommet du faciès O' jusqu'au faciès Q'.

#### ❖ Milieu fluvial

Ce milieu est décrit par les grés à structures en auges, parfois horizontales, ils sont déposés par un fleuve à énergie faible (structures horizontales) puis celle-ci augmente pour déposer des grés à structures en auges/obliques.

### C. Analyse séquentielle du puits A

Le log lithologique résultant de la description de la carotte du puits A, pourrait être subdivisé en deux membres ; inférieur et supérieur, séparés par une importante discontinuité qui se caractérise par un niveau de grès de couleur rouge sombre bioturbé et ferrugineux (Fig.III. 2).



**Fig.III. 2** : La discontinuité du puits A.

**a) Le membre inférieur**

Il comprend l'ensemble des faciès de A jusqu'à Z. Il a une épaisseur de 17 m. Il est constitué par des séquences d'ordre 2.

**1) Description de la séquence d'ordre 2 « A-Z »**

Elle montre une succession de faciès qui témoignent d'un milieu mixte à influence marine (présence de rides d'oscillation) mais à dominance fluvatile « A-P ». Les séquences sont constituées par des barres métriques de grès quartzitiques propres à structures en auges évoluant parfois à des obliques. Le sommet de ces barres gréseuses montre des passées argilo-silteuses finement laminées à structures de rides de vagues de milieu peu profond à basse énergie. La fin de la dernière séquence marque la limite du membre inférieur et correspond à la discontinuité, type Hard Ground.

**b) Le membre supérieur**

Il commence à partir du faciès A jusqu'au le faciès C', avec une épaisseur de 83 m. Il peut être constitué par trois séquences d'ordre 2, qui montrent une évolution des environnements de dépôts depuis le continental fluvatile jusqu'au marin peu profond (Upper- Shoreface), définissant ainsi une évolution transgressive.

**1) La première séquence d'ordre 2 « A' »**

Elle définit un milieu marin peu profond 'upper-shoreface', constitué par des dépôts gréseux quartzitiques moyens à grossiers, fortement bioturbés (type skolithos).

**2) La deuxième séquence d'ordre 2 « B'- Q' »**

Elle montre une évolution transgressive qui débute par un milieu continental fluvatile marqué à sa base par une surface d'érosion et de remaniement sédimentaire et elle se termine par un milieu marin peu profond 'upper-shoreface'. Cette séquence est formée par des grès quartzitiques moyens à grossiers à structures horizontales à la base et par des structures en auges « B'- C' » au sommet. Elle est suivie par un ensemble sédimentaire composé d'une alternance de grès grossiers et de grès moyen fortement bioturbé avec des laminations planes. Ces grès montrent parfois des structures en auges et des stratification obliques où s'alternent certaines passées de grès à rides de vagues et rares intercalations argilo silteuses « D'- I' ».

L'ensemble est surmonté par des grès de granulométrie constante (moyen à grossier) à passées d'argiles ou argiles silteuses entre « J'- N' ». A partir du sommet de « O' », les structures horizontales deviennent très abondantes.

### 3) La troisième séquence d'ordre 2 « R' - F'' »

Elle commence par un milieu continental fluviatile qui évolue vers le milieu marin peu profond (upper-shoreface), attestant sur une évolution transgressive, constituée par des grés quartzitiques fins à moyens à structures horizontales, suivie par des grés sans structures apparentes qui évoluent après vers des laminations horizontales « R' - T' ». La partie supérieure se caractérise par un ensemble gréseux quartzitique « U' - F'' » bioturbé de milieu calme « U' - A'' », où s'intercalent des passées d'argiles « W' - X' ».

La fin de la séquence est clôturée par des faciès à structures en auges « B'' - C'' » et des obliques « F'' ». Nous signalons la présence de la pyrite au sommet « C'' - F'' ».

#### D. Conclusion

Sur la base du découpage séquentielle, il en ressort dans le membre inférieur une sédimentation à caractère de milieu mixte dominant.

L'évolution séquentielle du membre supérieur se caractérise par un milieu continental fluviatile évoluant vers un milieu marin peu profond (Upper-Shoreface) lié à une transgression marine au niveau 3336 m – 3320 m.

L'épisode régressif puis transgressif s'observe une deuxième fois entre les niveaux 3284,09 m – 3270 m pour enfin une transgression marine clôturer l'évolution des dépôts ordoviciens dans le puits A.

Nous pouvons conclure qu'au vu de l'évolution progressive des faciès observés dans le puits A et au vu de l'absence brusque dans le changement des faciès, nous considérons que la sédimentation est influencée principalement par l'eustatisme, le taux de sédimentation et par la subsidence thermique. Les effets de la tectonique synsédimentaire caractérisés par une subsidence saccadée (effondrement) sont absents.



## II.2 Le puits B [ 3235 m - 3325 m ]

Le log lithologique qui montre l'évolution des faciès ordoviciens du niveau des quartzites d'El Hamra, du puits B est inséré dans la page 34.

### A. Analyse des faciès de la carotte du puits B

L'analyse des faciès est basée sur l'observation directe des différents morceaux de la carotte prélevée dans le puits B. La colonne lithologique de ce puits se caractérise essentiellement par cinq faciès dominants dont la description est la suivante :

- Grés quartzitique moyen parfois grossier, gris à structures en auges (St). (Planche 1, photo d)
- Grés quartzitique fin à moyen, gris à tendance rougeâtre, à structures obliques (Sp). (Planche 2, photo j)
- Grés quartzitique moyen, gris beige à gris – gris clair, intensément bioturbé (type Skolithos) à structures horizontales (Sb), (Sb/Sh). (Planche 1 et 2, photos k, e et b)
- Passée argilo-silteuse grisâtre – gris verdâtre finement laminée parfois à rides de vagues (Fo). (Planche 1, photo a)
- Faciès hétérolithiques composé d'alternance irrégulière de passés centimétriques à pluricentimétrique de grès très fin à fin de couleur grise à structures sédimentaires de type wavy bedding et lenticular bedding, plus ou moins bioturbé (Skolithos, Planolites) et de passées argileuses de couleur gris sombre à laminations mal définies (H). (Planche 1, photo g)

La description détaillée de tous les faciès, de la base jusqu'au sommet est en Annexe n° 01 :

### B. Interprétation des environnements de dépôts « Puits B »

La succession des faciès observés et décrits dans le puits B, peut témoigner d'une variation de milieu de dépôts généralement mixte tantôt à influence continentale, tantôt à influence marine, les principaux environnements correspondants aux différents faciès sont les suivants :

#### ❖ Milieu fluvial

Ce milieu est confirmé par les faciès suivants :

- Grés quartzitique moyen, parfois grossier à structures en auges/obliques, témoigne sur un fleuve à forte énergie.
- **Les faciès de B jusqu'à D (voire le log du puits B) :**

Grés quartzitiques à structures en auge qui commencent par une surface d'érosion (surface de remaniement sédimentaire), qui peuvent aussi affirmer sur un début d'un système fluvial à forte énergie.

**❖ Tidal flat**

Ce milieu est interprété selon Miall, par un faciès hétérolithique composé d'alternance irrégulière de passés centimétriques de grés très fin à fin compacte de couleur grise parfois oxydés et de silts, à structures sédimentaires du type wavy bedding et à lenticular bedding.

**❖ Milieu marin peu profond (Lower/Middle-Shoreface)**

C'est un milieu marin un peu plus profond que l'upper-shoreface qui a été interprété dans les autres puits.

Il est attesté par un ensemble hétérolithique composé d'alternance irrégulière de passés centimétriques à pluricentimétrique de grés très fin à fin à structures sédimentaires du type wavy bedding et lenticular bedding, plus ou moins bioturbé et de passées argileuses à laminations mal définies avec la présence de quelques traces de la pyrite.

On peut dire qu'il existe des épisodes fluviatiles à faible énergie qui sont témoignées par des passés de grés très fins à fin à lenticular bedding et de quelques structures horizontales. C'est ce qui nous indique que nous avons un milieu marin peu profond (Lower/Middle-Shoreface) avec quelques épisodes fluviatiles à faible énergie.

**❖ Milieu marin à dominance fluviatile**

L'interprétation de ce milieu est similaire à celle du puits A (Cas des faciès de A jusqu'à Z (Puits A))

**❖ Milieu mixte (interférence continentale/marine)**

Ce milieu est défini par un ensemble sédimentaire composé d'alternance de :

- Grés bioturbé (type Skolithos) qui témoigne sur un milieu marin peu profond (Upper-Shoreface).
- Grés à structures horizontales, affirme sur un milieu fluviatile à faible énergie.

**C. Analyse séquentielle du puits B**

Le log lithologique résultant de la description de la carotte du puits B, pourrait être aussi subdivisé en deux membres ; inférieur et supérieur, séparés par une importante discontinuité qui est caractérisée par un niveau gréseux intensément bioturbé de couleur rouge sombre.



**Fig.III. 3 :** La discontinuité du puits B.

#### a) Le membre inférieur

Commence à partir du faciès A jusqu'au faciès C', avec une épaisseur de 40,47 m. Il peut être constitué par trois séquences d'ordre 2, qui montrent une évolution des environnements de dépôts à partir d'un milieu marin (lower/middle-shoreface) vers le continental fluviatile affirmant donc sur une évolution régressive.

##### 1) La première séquence d'ordre 2 « A-F »

Elle montre une évolution transgressive affirmée par l'évolution des environnements de dépôt depuis le continental fluviatile jusqu'au marin lower/middle-shoreface en passant par le milieu tidal flat « E ».

Elle est constituée à la base par une succession de séquences gréseuses de surface de remaniement sédimentaire d'épaisseur pluridécimétrique à métrique, suivies par des grés fins à structures en auges « A - D » et par un mince lithofaciès hétérolithique « E », surmontée par un ensemble hétérolithique composé d'alternance irrégulière de passés centimétriques à pluricentimétrique de grés très fin à fin à structures sédimentaires du type wavy bedding et lenticular bedding, plus ou moins bioturbé avec présence des passées d'argiles de couleur gris sombre à laminations mal définies « F ».

##### 2) La deuxième séquence d'ordre 2 « G-Z »

Elle débute par un milieu continental fluviatile qui évolue vers un milieu mixte (marin à dominance fluviatile) en passant par un milieu tidal flat « P », affirmant sur une évolution transgressive.

Elle est formée à la base par des grés quartzitiques fins à structures en auges et des grés à structures obliques qui se présentent parfois sans structures apparentes, intercalés par un faciès hétérolithique « G - L ». Suivis par un ensemble sédimentaire caractérisé par une succession de chenaux à faciès gréseux matérialisé par des structures sédimentaires en auges, séparés parfois par des argiles silteuses finement laminées « M - O ». Surmontés par un ensemble qui débute par des grés très fin à fin compacte de couleur grise parfois oxydée, à structures sédimentaires de type wavy bedding à lenticulare bedding, c'est un faciès hétérolithique « P ».

Ensuite, elle se termine par une succession des grés quartzitiques fins à moyens à structures en auges, intercalée par des passées argilo-silteuses à rides de vagues « Q - Z ».

Le sommet de la séquence montre l'apparition des premières traces d'activités biologiques (type skolithos) « S ».

### 3) La troisième séquence d'ordre 2 « A' - C' »

Elle définit un milieu continental fluviatile, elle est constituée par des grés quartzitiques fins à moyens à structures horizontales, suivie par des grés à structures obliques et des grés à structures en auges, avec présence de quelques bioturbations.

La fin de cette séquence marque la limite du membre inférieur qui correspond à une discontinuité, type Hard Ground.

#### c) Le membre supérieur

Il comprend l'ensemble des faciès de D' jusqu'à J', Il a une épaisseur de 40,48 m. Il est constitué par des séquences d'ordre 2, montrant un milieu mixte (alternance entre le fluviatile et l'upper-shoreface).

#### 1) Description de la séquence d'ordre 2 « D' - J' »

Elle est formée du bas vers le haut par un ensemble sédimentaire gréseux bioturbé (type skolithos) à laminations planes, constitué par des grés quartzitiques plus ou moins grossiers à moyens et parfois fins avec des passées argilo-silteuses qui existent localement.

## D. Conclusion

D'après le découpage séquentiel du puits B, il en ressort que l'évolution séquentielle du membre inférieur se caractérise par le milieu continental fluviatile évoluant au début vers un milieu marin peu profond (Lower/Middle-Shoreface) puis vers un milieu marin à dominance fluviatile.

Donc des épisodes régressifs puis transgressifs s'observent entre les niveaux 3324 m – 3268,5 m. où le membre inférieur se termine par une dernière régression vers le milieu continental fluviatile.

Le membre supérieur est dominé par une sédimentation à caractère de milieu mixte (alternance entre le fluviatile à faible énergie et l'upper-shoreface).

On peut conclure qu'au vu de l'évolution progressive des faciès observés dans le puits B et au vu de l'absence brusque dans le changement des faciès, nous envisageons que la sédimentation est influencée principalement par l'eustatisme, le taux de sédimentation et par la subsidence thermique. Les effets de la tectonique synsédimentaire caractérisés par une subsidence saccadée (effondrement) sont absents.

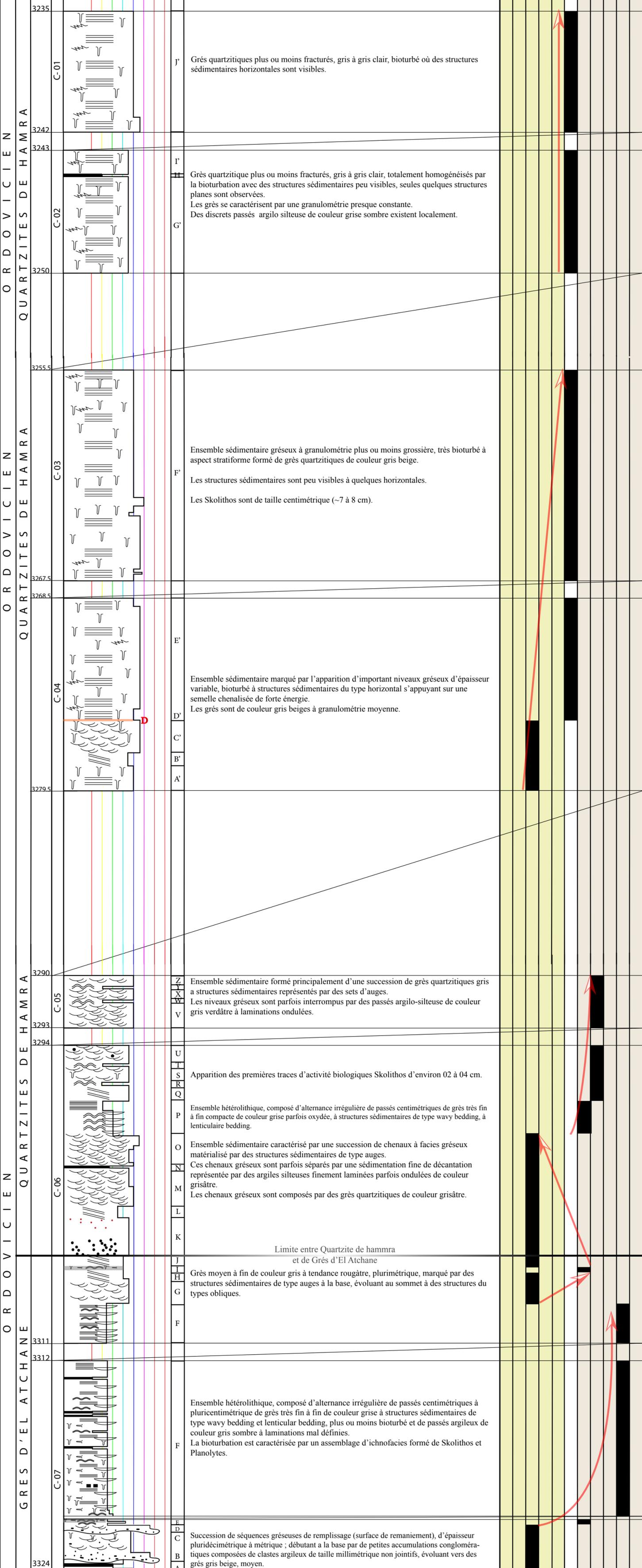
Region : Hassi Dzabat.  
Puits : B.  
Feuille : 1/1.  
Echelle : 2 cm = 3 m.

AGE	FORMATION	DEPTH (m)	Core Number	LITHOLOGY
ORDOVICIEN	QUARTZITES DE HAMRA	3235	C-01	Mudstone Siltstone V. F. Sand F. Sand M. Sand C. Sand V. C. Sand Congl.
		3242		
		3243	C-02	
		3250		
		3255.5	C-03	
		3267.5		
		3268.5	C-04	
ORDOVICIEN	QUARTZITES DE HAMRA	3279.5		
		3290	C-05	
		3293		
		3294	C-06	
ORDOVICIEN	GRES D'EL ATCHANE	3311		
		3312		
		3324	C-07	

Pyrite	Rides de vagues	Surface de remaniement sédimentaire
Mudclast	Stylolites	Lenticulaire bedding
Bioturbation	S.Oblique	Mouchtures d'oxydations
S.Oblique en auges	S.horizontale	Tâches Diagénétiques

### FACIES DESCRIPTION

FACIES ASSOCIATIONS	
Landward ←	→ Seaward
← Régressive	→ Transgressive
Alluvial Fan	
Braided (Low Sinuosity)	
Fluvial/Meandering/Anastomosed	
Dry Floodplain	
Humid Floodplain	
Alternation : Fluvial - Marine	
Tidal Flats	
Marine dominated by Fluvial	
Upper Shoreface	
Lower / Middle Shoreface	
Offshore / Trans. Zone	



### II.3 Le puits C [ 3242 m - 3347 m ]

Le log lithologique qui montre l'évolution des faciès ordoviciens du niveau des quartzites d'El Hamra, du puits C est inséré dans la page 39.

#### A. Analyse des faciès de la carotte du puits C

L'analyse des faciès est basée sur l'observation directe des différents morceaux de la carotte prélevée dans le puits C. La colonne lithologique de ce puits se caractérise essentiellement par cinq faciès dominants dont la description est la suivante :

- Grés fin, gris verdâtre à structures d'oscillation (rides de vagues) (Sw). (Planche 1, photo c)
- Grés quartzitique moyen, gris clair-gris blanc à structures en auges (St). (Planche 1, photo d)
- Grés quartzitique moyen, gris à gris clair à stratifications obliques (Sp). (Planche 2, photo j)
- Grés quartzitique moyen à fin, gris, à structures horizontales, intensément bioturbé du type Skolithos (Sb/Sh). (Planche 1, photo b)
- Passée argilo-silteuse grisâtre à rides de vagues (Fo). (Planche 1, photo a)

La description détaillée de tous les faciès, de la base jusqu'au sommet est en Annexe n° 01 :

#### B. Interprétation des environnements de dépôts « Puits C »

La succession des faciès observés et décrits dans le puits C, peut témoigner d'une variation de milieu de dépôts généralement mixte tant tôt à influence continentale, tant tôt à influence marine, les principaux environnements correspondants aux différents faciès sont les suivants :

##### ❖ Milieu marin peu profond 'Upper-Shoreface'

Ce milieu est confirmé par deux faciès :

- Grés quartzitique moyen à fin, intensément bioturbé (type Skolithos) indiquant sur un milieu marin peu profond, le meilleur exemple est le faciès D'.
- **Le faciès A (voir le log B)**

Grés fin, gris verdâtre à structures d'oscillation (rides de vagues).

##### ❖ Tidal Flat (Faciès F, voir le log B)

Ce milieu est aussi déterminé selon Miall par un faciès hétérolithique constitué par des argiles à alternance centimétriques de grés, qui sont parfois oxydés.

##### ❖ Milieu marin à dominance fluviale

Ce milieu est confirmé par les faciès de F jusqu'à U (voir le log B).

L'interprétation de ce milieu est similaire à celle du puits A (Cas des faciès de A jusqu'à Z, du puits A).

#### ❖ Milieu mixte (interférence continentale/marine)

Ce milieu est affirmé par des grés bioturbés (type skolithos) indiquant sur le premier milieu marin peu profond upper-shoreface, suivis par des grés à structures horizontales parfois à structures obliques, c'est l'accentuation de l'énergie du fleuve et parfois le contraire les grés sont à structures obliques suivies par des structures horizontales indiquant sur la diminution de l'énergie du fleuve témoignant sur le deuxième milieu qui est un milieu continental fluvial.

#### ❖ Milieu Fluvial

Ce milieu est confirmé par les faciès suivants :

- Des grés quartzitiques moyens à structures en auges affirmant sur un milieu fluvial à forte énergie.
- **Faciès J', voir le log B**

Grés quartzitiques à structures en auge qui commencent par une surface d'érosion (surface de remaniement sédimentaire), qui peuvent aussi affirmer sur un début d'un système fluvial à forte énergie.

### C. Découpage séquentiel du puits C

Le log lithologique résultant de la description de la carotte du puits C, pourrait être aussi subdivisé en deux membres ; inférieur et supérieur, séparés par une importante discontinuité qui est caractérisée par un niveau gréseux bioturbé, rougeâtre sombre dû à la ferruginisation.



**Fig.III. 4** : La discontinuité du puits C.

#### a) Le membre inférieur

Commence à partir du faciès A jusqu'au faciès V, il a une épaisseur de 29,05 m, où il peut être constitué par deux séquences d'ordre 2. Ce membre débute par une évolution des environnements de dépôts depuis le marin peu profond (upper-shoreface) jusqu'au continental fluvial, définissant ainsi une évolution régressive.

**1) La première séquence d'ordre 2 « A-D »**

Elle débute par un milieu marin peu profond upper-shoreface « A » et elle se termine par un milieu continental fluviatile « B - D ».

Elle est constituée à la base par des grés quartzitiques fins de couleur gris verdâtre à structures sédimentaires de type rides de vagues (ondulées) « A », surmontés par des grés quartzitiques moyens à stratifications en auges parfois sans structures apparentes « D ».

**2) La deuxième séquence d'ordre 2 « F-V »**

Cette séquence commence par un milieu mixte (marin à dominance fluviatile) et elle se termine par un milieu continental fluviatile.

Elle est constituée par une succession de barres gréseuses quartziques moyennes à structures en auges et parfois à structures horizontales, et vers le sommet de ces barres il existe des passées argilo-silteuses à ride de vagues « F - U ». La séquence se termine par des grés quartzitiques moyens à grossiers à structures en auges, témoignant sur un milieu continental fluviatile.

La fin de la séquence est marquée par une discontinuité qui correspond à la limite du membre inférieure.

**b) Le membre supérieur**

Commence à partir du faciès W jusqu'au faciès J', avec une épaisseur de 70,05 m. Il peut être constitué par trois séquences d'ordre 2, qui montrent une évolution des environnements de dépôts depuis le milieu mixte tantôt marin upper-shoreface jusqu'au continental fluviatile, définissant ainsi une évolution régressive.

**1) La première séquence d'ordre 2 « W - D' »**

Elle débute par un milieu mixte (alternance entre le fluviatile et l'upper-shoreface) et elle se termine par un milieu marin peu profond upper-shoreface, témoignant sur une évolution transgressive.

Elle est constituée par des grés quartzitiques moyens à structures parfois obliques et parfois horizontales à quelques bioturbations indiquant sur un milieu mixte. Surmontés par des grés quartzitiques moyens à fins, intensément bioturbés (type skolithos) intercalés par une passée argilo-silteuse, attestant sur un milieu marin peu profond.

**2) La deuxième séquence d'ordre 2 « E' - H' »**

Elle montre une évolution transgressive qui débute par une évolution des environnements de dépôts depuis un milieu mixte jusqu'au milieu marin peu profond upper-shoreface en passant par un Tidal flat.

Elle est constituée du bas vers le haut par des grés quartzitiques fins à moyens, intensément bioturbés (type skolithos) à laminations planes, où il s'intercale un faciès hétérolithique composé par une mudstone noirâtre à structure lenticulaire bedding (argiles à alternance centimétriques de grés), avec présence de quelques traces d'oxydation.

### 3) La troisième séquence d'ordre 2 « I' - J' »

Cette séquence montre une évolution des environnements de dépôt depuis un milieu mixte jusqu'au milieu continental fluviatile, affirmant sur une évolution régressive.

Elle est constituée à la base par des grés quartzitiques fins à moyens à structures horizontales, intensément bioturbés (type skolithos), surmontés par une succession de séquence de surface de remaniement sédimentaire composée par une matrice argileuse et des granules de quartz millimétriques suivies par des grés quartzitiques moyens à structures en auges.

## D. Conclusion

Sur la base du découpage séquentielle il en ressort que l'évolution séquentielle du membre inférieur se caractérise par un milieu marin peu profond (upper-shoreface) / milieu marin à dominance fluviatile évoluant vers un milieu continental fluviatile lié à une régression.

Les épisodes régressifs puis transgressifs-régressifs s'observent entre le niveau 3347 m – 3317,94 m.

Le membre supérieur est caractérisé par une sédimentation à caractère de milieu mixte dominant, qui évolue tantôt vers l'upper-shoreface et tantôt vers le fluviatile entre le niveau 3317,94 m – 3242 m, montrant des épisodes transgressifs et régressifs, où l'évolution séquentielle de ce membre est aussi régressive.

On peut conclure d'après les faciès observés dans le puits C et l'absence brusque dans le changement des faciès, nous considérons que la sédimentation est influencée principalement par l'eustatisme, le taux de sédimentation et par la subsidence thermique. Les effets de la tectonique synsédimentaire caractérisés par une subsidence saccadée (effondrement) sont absents.

Region : Hassi Dzabat.  
 Puits : C.  
 Feuille : 1/1.  
 Echelle : 2 cm = 3 m.

-  Pyrite
-  Rides de vagues
-  Surface de remaniement sédimentaire
-  Mudclast
-  Stylolites
-  Lenticulaire bedding
-  Bioturbation
-  S.Oblique
-  Mouchtures d'oxydations
-  S.Oblique en auges
-  S.horizontale
-  Tâches Diagénétiques

**FACIES ASSOCIATIONS**  
 Landward ← → Seaward  
 Régressive ← Transgressive →

AGE	FORMATION	DEPTH (m)	Core Number	LITHOLOGY
ORDOVICIEN	QUARTZITES DE HAMRA	3242	C-01	Mudstone Siltstone V. F. Sand F. Sand M. Sand C. Sand V. C. Sand Congl.
		3253		
		3256	C-02	
		3266		
		3267.6	C-03	
		3268		
		3271	C-04	
		3271.5		
		3295	C-05	
3303				
3304.5	C-06			
3315				
3321.5	C-07			
3329				
3330.4	C-08			
3338				
3340	C-09			
3347				

**FACIES DESCRIPTION**

**J'**  
 Grès quartzitique moyen, gris clair à structures en auges. Deux surfaces de remaniement sédimentaire sont observées à la base des bancs; composées par une matrice argileuse et des granules de quartz millimétriques.

**J**  
 Grès quartzitique moyen à fin, gris à laminations planes, intensément bioturbé (type Skolithos), intercalé à la base par des minces passées d'argiles silteuses de couleur grise à rides de vagues.

**H**  
 Mudstone noirâtre à structure lenticulaire bedding (argiles à alternance centimétrique de grès).

**E'**  
 Grès quartzitique moyen à fin, gris à stratifications horizontales, intensément bioturbé, parfois sans structures apparentes (aspect massif).

**D'**  
 Grès quartzitique moyen à fin, gris, bioturbé.

**C'**  
 Grès quartzitique fin, gris clair à gris, bioturbé à quelques stratifications horizontales.

**Z**  
 Succession de barres gréseuses d'aspect généralement massif sans structures sédimentaires apparentes, bioturbés (présence de Skolithos d'environ 07 cm de longueur, néanmoins quelques structures de types "structure Planes" observées. Cette succession est composée de grès quartzitique d'une granulométrie moyenne de couleur gris beige à gris. Au sommet de la séquence s'intercalent de fines passées d'argiles silteuses à rides de vagues.

**Y**  
 Succession de barres gréseuses d'aspect généralement massif sans structures sédimentaires apparentes, bioturbés (présence de Skolithos d'environ 07 cm de longueur, néanmoins quelques structures de types "structure Planes" observées. Cette succession est composée de grès quartzitique d'une granulométrie moyenne de couleur gris beige à gris. Au sommet de la séquence s'intercalent de fines passées d'argiles silteuses à rides de vagues.

**X**  
 Grès quartzitique moyen à fin, gris, bioturbation intense (type Skolithos), stratifications horizontales.

**W**  
 Grès quartzitique moyen à fin, gris à gris clair à stratifications obliques, bioturbés.

**V**  
 Grès quartzitique moyen à fin, gris clair à gris blanc à structures en auges.

**U**  
 Mince passées d'argiles silteuses de couleur gris claire en lamination ondulée.

**S**  
 Grès quartzitique moyen, gris clair à gris à stratifications horizontales, bioturbés (type Skolithos).

**R**  
 Grès quartzitique moyen, gris clair à gris blanc à structures en auges. Apparition des premières traces d'activité biologique Skolithos d'environ 01 à 02 cm.

**P**  
 Ensemble sédimentaire constitué par des grès quartzitiques moyens, gris clair à stratifications obliques en auges intercalées par des minces passées d'argiles silteuses de couleur grise à rides de vagues.

**N**  
 Ensemble sédimentaire constitué par des grès quartzitiques moyens, gris clair à stratifications obliques en auges intercalées par des minces passées d'argiles silteuses de couleur grise à rides de vagues.

**M**  
 Ensemble sédimentaire constitué par des grès quartzitiques moyens, gris clair à stratifications obliques en auges intercalées par des minces passées d'argiles silteuses de couleur grise à rides de vagues.

**J**  
 Ensemble sédimentaire constitué par des grès quartzitiques moyens, gris clair à stratifications obliques en auges intercalées par des minces passées d'argiles silteuses de couleur grise à rides de vagues.

**I**  
 Grès quartzitique moyen, gris clair à stratifications obliques en auges, mud chips.

**H**  
 Mince passées d'argiles silteuses de couleur grise en lamination ondulée.

**G**  
 Grès quartzitique moyen, gris clair à structures en auges, mud chips.

**F**  
 Mince passées d'argiles silteuses de couleur grise en lamination ondulée.

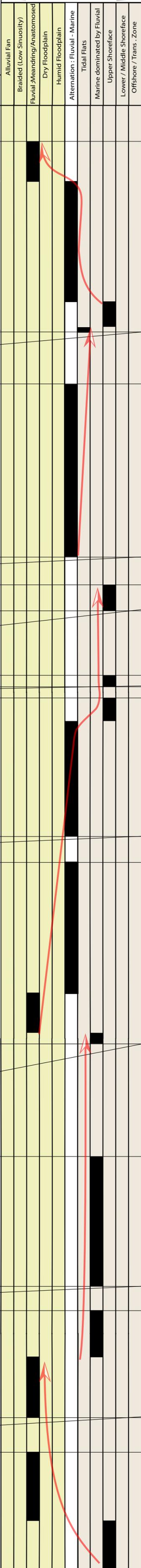
**E**  
 Grès quartzitique moyen, gris clair à stratifications obliques en auges.

**D**  
 Grès quartzitique moyen, gris clair, sans structures apparentes.

**C**  
 Grès quartzitique moyen, gris clair à gris blanc à stratifications obliques en auges à quelques galets d'argiles mous millimétriques (Mud Chips).

**B**  
 Grès quartzitique moyen, gris clair à gris blanc à structures en auges à quelques galets d'argiles mous millimétriques (Mud Chips).

**A**  
 Grès quartzitique fin, gris verdâtre pluri-métrique à rides de vagues, dur et compact.



## II.4 Le puits D [ 3235 m - 3299 m ]

Le log lithologique qui montre l'évolution des faciès ordoviciens du niveau des quartzites d'El Hamra, du puits D est inséré dans la page 43.

### A. Analyse des faciès de la carotte du puits D

L'analyse des faciès est basée sur l'observation directe des différents morceaux de la carotte prélevée dans le puits D. La colonne lithologique de ce puits se caractérise essentiellement par trois faciès dominants dont la description est la suivante :

- Grés quartzitique grossier, gris blanc à structures en auges (St). (Planche 1, photo d)
- Grés quartzitique moyen à fin et parfois fin à très fin, gris, intensément bioturbé (type Skolithos), localement pyriteux (Sb). (Planche 2, photo k)
- Grés quartzitique moyen, gris, bioturbé à stratifications horizontales (Sb/Sh). (Planche 1, photo b)

La description détaillée de tous les faciès, de la base jusqu'au sommet est en Annexe n° 01 :

### B. Interprétation des environnements de dépôts « Puits D »

La succession des faciès observés et décrits dans le puits D, peut témoigner d'une variation de milieu de dépôts généralement mixte tantôt à influence continentale, tantôt à influence marine, les principaux environnements correspondants aux différents faciès sont les suivants :

#### ❖ Milieu fluvatile

Ce milieu est confirmé par deux faciès :

- Grés quartzitique à structures en auges (fleuve à forte énergie).
- Grés quartzitique à structures horizontales (fleuve à faible énergie).

#### ❖ Milieu mixte (interférence continentale/marine)

Ce milieu est aussi confirmé par ces faciès :

- **Par exemple : les faciès de M jusqu'à R (voire le log du puits D)**

Grés moyen, bioturbé (type Skolithos), suivi par un remaniement sédimentaire et des grés grossiers à structures en auges, qui sont surmontés encore par des grés bioturbés avec intercalations de silt-mudstone à rides de vagues.

Les milieux correspondants sont le fluvatile à forte énergie qui est témoigné par un remaniement sédimentaire et des grés à structures en auges, et le marin peu profond qui est attesté par des grés bioturbés (type skolithos) à intercalations de silt-mudstone à rides de vagues.

- **Exemple : les faciès de Y jusqu'à Z (voir le log du puits D)**

Ensemble sédimentaire formé par une alternance de :

- Grès quartzitique intensément bioturbé (type skolithos) attestant sur un milieu marin peu profond upper-shoreface qui permet le développement de ce type de bioturbation.
- Grès quartzitique à stratifications horizontales témoignant sur un épisode fluvial à faible énergie.

- ❖ **Milieu marin peu profond 'Upper-Shoreface'**

Ce milieu est confirmé par deux faciès :

- Grès quartzitique intensément bioturbé (type skolithos). La bioturbation du type skolithos indique sur un milieu marin peu profond (upper-shoreface).
- **Faciès C' (voir le log du puits D)**

Grès quartzitique fin à très fin, intensément bioturbé (type skolithos), avec présence de la pyrite qui atteste sur un milieu anoxique.

### C. Découpage séquentiel du puits D

Le log lithologique résultant de la description de la carotte du puits D, pourrait être aussi subdivisé en deux membres ; inférieur et supérieur, séparés par une importante discontinuité qui est caractérisée par un niveau gréseux fortement bioturbé, rougeâtre dû à la ferruginisation.



**Fig.III. 5** : La discontinuité du puits D.

#### a) Le membre inférieur

Il commence à partir du faciès A jusqu'au faciès V, avec une épaisseur de 33,77 m. Il est constitué par deux séquences d'ordre 2, qui montrent une évolution transgressive.

##### 1) La première séquence d'ordre 2 « A-L »

Elle décrit un milieu continental fluvial qui évolue parfois vers un milieu mixte, montrant une évolution régressive.

Elle est constituée par des grés quartzitiques moyens à grossiers, à structures en auges ou parfois à structures horizontales, ils sont intercalés par des grés quartzitiques intensément bioturbés à quelques stratifications planes « H ».

## 2) La deuxième séquence d'ordre 2 « M-V »

Cette séquence est caractérisée par une sédimentation qui atteste sur un milieu mixte dominant, tantôt fluviatile, montrant une évolution transgressive.

Elle est constituée par un ensemble sédimentaire composé par des grés moyens, bioturbés (type Skolithos), suivis par un remaniement sédimentaire et des grés grossiers à structures en auges, qui sont surmontés encore par des grés bioturbés à quelques stratifications planes, avec intercalations de silt-mudstone à rides de vagues, témoignant sur un milieu mixte.

L'ensemble est intercalé par des grés quartzitiques grossiers à structures en auges, affirmant sur un milieu fluviatile « S - U ».

La fin de la séquence marque la limite du membre inférieur qui correspond à une discontinuité.

## b) Le membre supérieur

Il comprend l'ensemble des faciès de W jusqu'à C, Il a une épaisseur de 30,23 m. Il est constitué par des séquences d'ordre 2, montrant un milieu marin peu profond upper-shoreface, tantôt mixte, témoignant sur une évolution transgressive marine.

## 1) Description de la séquence d'ordre 2 « W - C »

Elle est constituée par des grés quartzitiques intensément bioturbés (type skolithos) affirmant sur un milieu marin peu profond upper-shoreface. Parfois les grés bioturbés sont à quelques structures horizontales témoignant sur quelques épisodes fluviatiles à faible énergie, c'est le milieu mixte « Y ».

## D. Conclusion

D'après le découpage séquentiel du puits D, il en ressort que l'évolution séquentielle du membre inférieur se caractérise par le milieu continental fluviatile évoluant vers un milieu mixte (alternance entre le fluviatile et l'upper-shoreface), présenté sous forme de plusieurs épisodes transgressif-régressif entre le niveau 3299 m – 3263,57 m.

Le membre supérieur est caractérisé par une sédimentation à caractère de milieu marin peu profond (upper-shoreface) dominant, lié à une transgression marine.

Nous pouvons conclure qu'au vu de l'évolution progressive des faciès observés dans le puits D et au vu de l'absence brusque dans le changement des faciès, nous considérons que la sédimentation est influencée principalement par l'eustatisme, le taux de sédimentation et par la subsidence thermique. Les effets de la tectonique synsédimentaire caractérisés par une subsidence saccadée (effondrement) sont absents.

Region : Hassi Dzabat.  
 Puits : D.  
 Feuille : 1/1.  
 Echelle : 2 cm = 3 m.

Pyrite	Rides de vagues	Surface de remaniement sédimentaire
Mudclast	Stylolites	Lenticulaire bedding
Bioturbation	S.Oblique	Mouchures d'oxydations
S.Oblique en auges	S.horizontale	Tâches Diagénétiques

**FACIES ASSOCIATIONS**

Landward ← → Seaward

← Régressive → Transgressive

Alluvial Fan	Braided (Low Sinuosity)	Fluvial, Meandering/Anastomosed	Dry Floodplain	Humid Floodplain	Alternation : Fluvial - Marine	Tidal Flats	Marine dominated by Fluvial	Upper Shoreface	Lower / Middle Shoreface	Offshore / Trans. Zone
--------------	-------------------------	---------------------------------	----------------	------------------	--------------------------------	-------------	-----------------------------	-----------------	--------------------------	------------------------

**LITHOLOGY**

Mudstone	Siltstone	V. F. Sand	F. Sand	M. Sand	C. Sand	V. C. Sand	Congl.
----------	-----------	------------	---------	---------	---------	------------	--------

**FACIES DESCRIPTION**

AGE	FORMATION	DEPTH (m)	Core Number	LITHOLOGY	FACIES	FACIES DESCRIPTION	FACIES ASSOCIATIONS	
ORDOVICIEN	QUARTZITES DE HAMRA	3235	C-01		C	Grès quartzitique fin à très fin, bioturbé, gris, siliceux a silico-argileux. La bioturbation est de plus en plus forte vers le sommet, elle est représentée principalement par des terriers verticaux monogénériques appartenant aux genres Ichnogenus Skolithos. Des fractures colmatées par de la pyrite sont observées.		
		3240						
		3241	C-02		B'	Grès quartzitique fin de couleur grise, bioturbé.		
		3243						
		3243.4						
		3250	C-03		A'	Grès quartzitique moyen à fin, gris, intensément bioturbés probablement du type siphonicus.		
		3251.4						
		3262	C-04		Z Y X	Z Grès quartzitique grossiers à moyen, gris à gris blanc intensément bioturbés (type Skolithos). Y Grès quartzitique moyen, gris clair intensément bioturbé (type Skolithos) à structures horizontales. X Grès quartzitique moyen à grossier de couleur grise à gris clair, intensément bioturbé (type Skolithos), les structures sont invisibles dues à la forte bioturbation.		
		3264						
		3264.4	C-05		W V U T S	W Grès quartzitique moyen à grossier de couleur grise à gris clair, intensément bioturbé (type Skolithos). V Grès quartzitique moyen, gris, bioturbé (type Skolithos) à laminations planes. U Grès quartzitique moyen à grossier, gris blanc à gris, à stratifications obliques en auges avec présence de quelques bioturbation (type Skolithos). T Grès quartzitique moyen à grossier, gris, sans structures apparentes, bioturbé (type Skolithos). S Grès quartzitique moyen à grossiers, gris blanc à sstructures en auges.		
3271								
3273	C-06		R Q P O N M	R Grès quartzitique moyen à grossier, gris blanc, sans structures apparents. Q Grès quartzitique grossier à moyen, gris, bioturbés (type Skolithos), à quelques stratifications horizontales. P Silts ~ Mudstone, gris verdâtre à rides de vagues. O Grès quartzitique moyen à grossier, gris clair à gris intensément bioturbés. N Grès quartzitique moyen à grossier, gris blanc à stratifications obliques en auges. M Grès quartzitique moyen de couleur grise intensément bioturbés (type Skolithos), présence d'une surface érosive au sommet.				
3281								
3282.5	C-07		L K J I	L Grès quartzitique grossier, gris à stratifications obliques en auges. K Grès quartzitique grossier à moyen, gris, intensément bioturbé. J Grès quartzitique grossier, gris blanc à structures en auges. I Grès quartzitique moyen, gris, sans structures apparentes.				
3286								
3287.5	C-08		H G F E D C B A	H Ensemble sédimentaire constitué de grès quartzitique intensément bioturbé vers le sommet "H", de couleur gris blanc à blanc, siliceux à structures sédimentaires représentées principalement par des structures horizontales "B, D, F". Au sein de ces grès, apparaissent des niveaux sans structures sédimentaires "G", des stylolites. La bioturbation est présente intensivement sous forme de terriers verticaux attribués probablement à des terriers du genre Ichnogenus et Siphonicus Skolithos. G F E Grès quartzitique moyen, gris blanc à structures en auges. D C B A Grès quartzitique moyen, gris blanc à structures ondulées ou rides de vagues.				
3299								

### III. Conclusion

Après l'étude sédimentologique des sondages A, B, C, D des réservoirs Ordoviciens « Quartzites de Hamra » du champ Hassi Dzabat situé dans le bloc 427, on n'a pu déduire que :

- ❖ Le milieu de dépôt qui caractérise la formation des Quartzites de Hamra des sondages étudiés est généralement mixte tantôt à influence continentale, tantôt à influence marine.
- ❖ Généralement les faciès des réservoirs Quartzites de Hamra des sondages étudiés sont rassemblés en deux (02) membres : inférieur et supérieur, séparés par une discontinuité qui est globalement caractérisée par un niveau gréseux fortement bioturbé de type skolithos et de couleur rouge clair/sombre dû à une ferruginisation. Les faciès qui sont prépondérants dans le champ d'étude sont les faciès Sb/Sh, Sb et St selon Miall, (1996).

#### ❖ Le membre inférieur (interférence fluvatile et marine)

Constitué en général par un ensemble sédimentaire gréseux, caractérisé par des barres plurimétriques, d'une granulométrie moyenne parfois grossière, matérialisées par l'apparition des traces des premiers Skolithos de petites tailles (1 à 2 cm) dans quelques niveaux. Ces barres gréseuses font suite à des grès chenalisés à structures sédimentaires de type auges (St), interrompue par de discrètes incursions marines (Fo, Sw).

Plus un faciès hétérolithique (H) à structures sédimentaire de type "wavy-bedding a lenticulaire-bedding" qui atteste sur un environnement Tidal flat qui est observé localement dans certains niveaux.

#### ❖ Le membre supérieur (Upper-Shoreface tantôt à influence fluvatile)

Globalement il est formé par un ensemble sédimentaire gréseux, caractérisé par une granulométrie fine à moyenne, marqué par un développement remarquable d'ichnofaciès (abondante) à caractère monogénérique de type Skolithos, de taille pouvant atteindre les 10 centimètres (Sb). Ces barres gréseuses empilées et continues, assez monotones matérialisées par une intense bioturbation, avec des structures sédimentaires moins discernables telles que les horizontales et les obliques. Elles témoignent d'un environnement marin peu profond upper-shoreface qui est parfois influencé par des épisodes fluvatiles à faible énergie.

Plus des niveaux centimétriques d'un faciès hétérolithique (H) moins bioturbé présentant des structures sédimentaires de type ondulées (wavy bedding), observés localement et marquent des phases d'inondations importantes. Ces faciès annoncent un environnement Tidal flat.

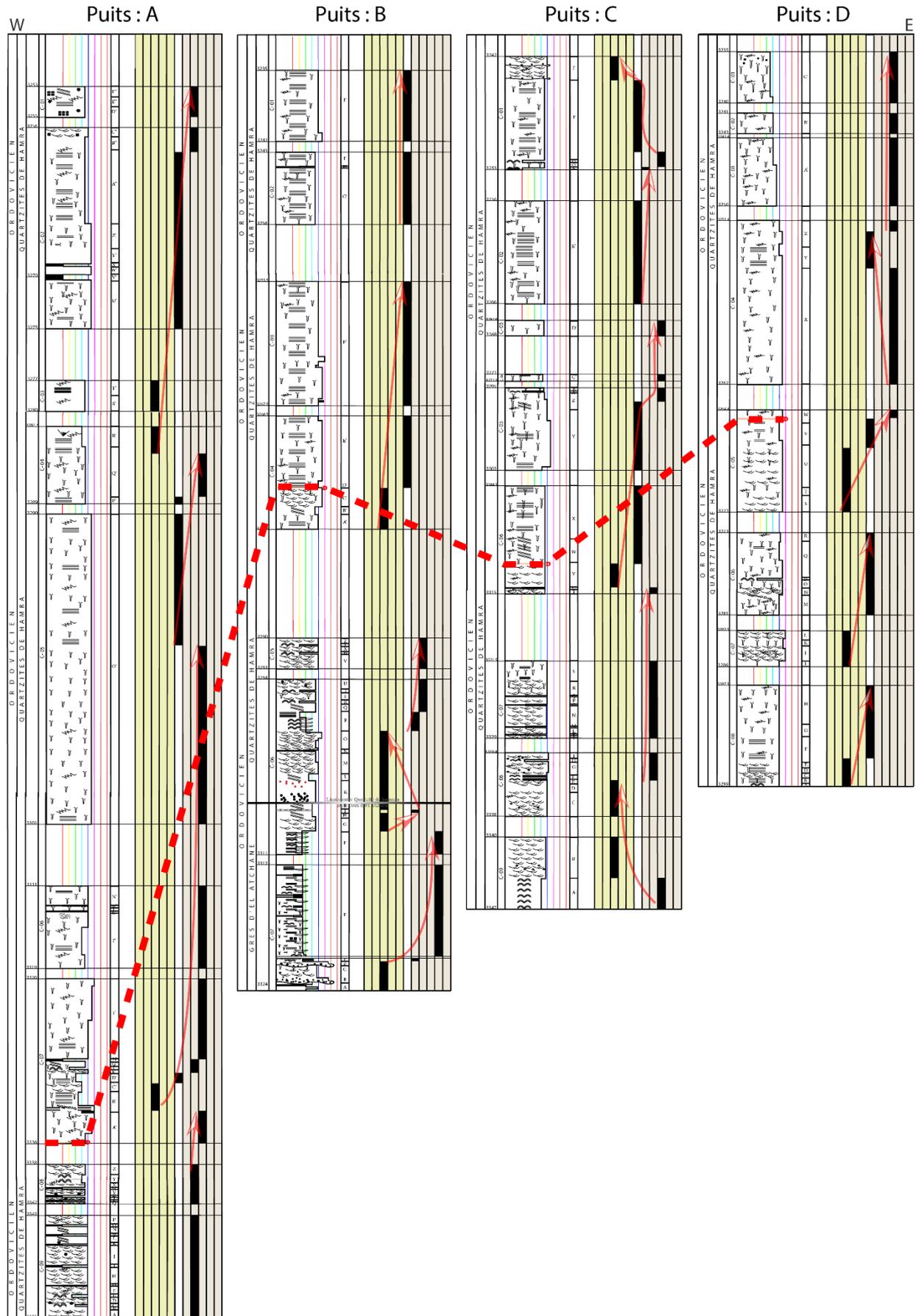
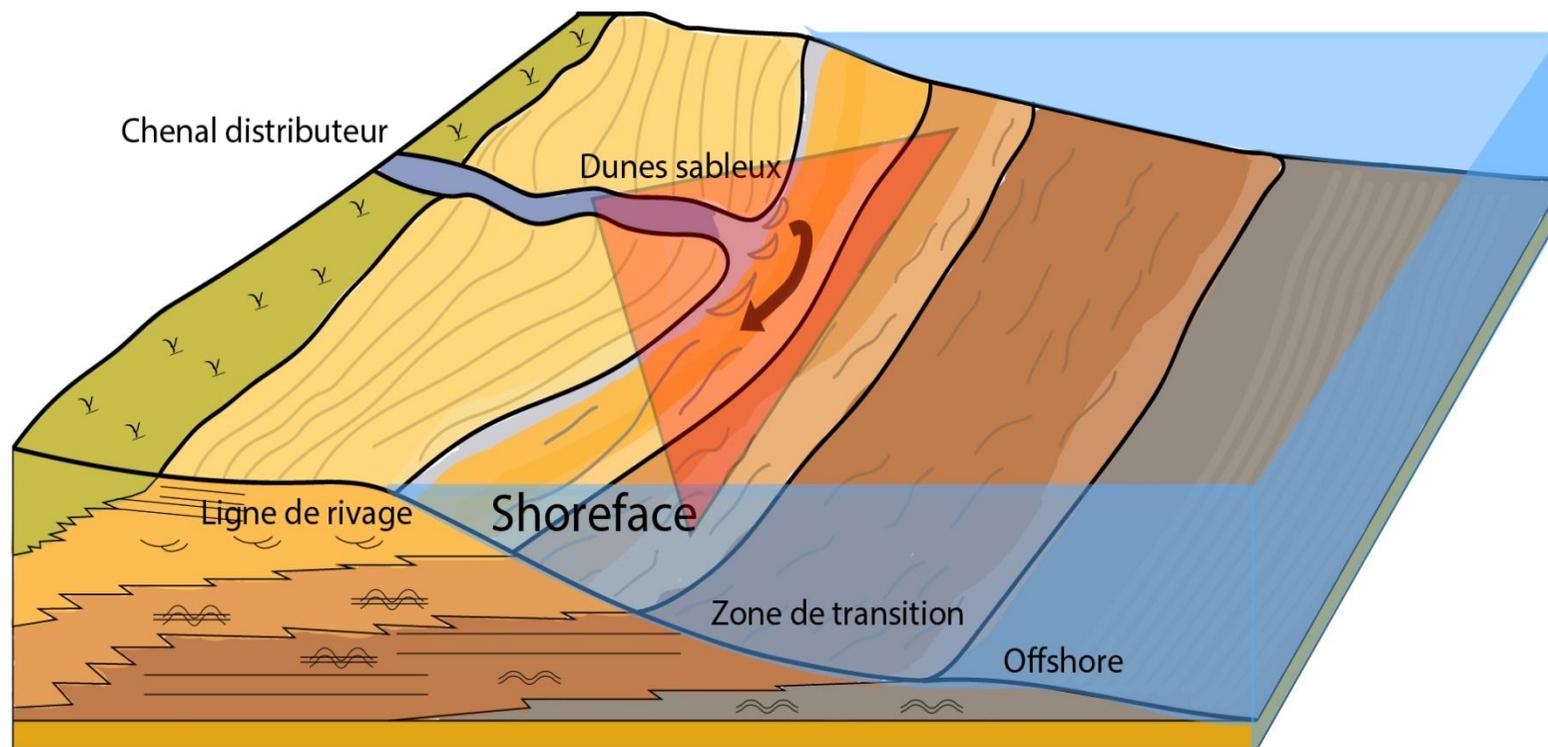


Fig.III. 6 : Corrélation entre les sondages étudiés.

### III.1 Reconstitution paléogéographique

En absence d'un repaire stratigraphique fiable, il est difficile d'établir des corrélations entre les puits A, B, C et D.

Et pour cela, nous proposons ci-dessous un modèle paléogéographique synthétique des sondages étudiés.



**Fig.III. 7 :** Modèle Paléogéographique.

**CHAPITRE IV :**  
**ETUDE PÉTROPHYSIQUE**

## I. Introduction

La roche réservoir est une roche poreuse et perméable. Ces caractéristiques lui permettent de pouvoir contenir des fluides (eau, pétrole, gaz...). Avec leur contenu en fluide ces roches deviennent intéressantes économiquement surtout lorsqu'elles sont couvertes par une roche imperméable ne permettant pas au fluide de s'échapper. Ces roches ont un intérêt économique pouvant être plus important, si leur volume poreux est considérable et l'habilité de circulation de fluides est importante. La roche réservoir est appelée aussi roche magasin (Benzagouta, 1991, 2001 & Selley, 1998).

L'étude des propriétés pétrophysique des roches constitue un important objectif dans l'exploration et la production pétrolière du réservoir. En effet, pour comprendre et prévoir les qualités de la production d'un réservoir, il est nécessaire de connaître les propriétés pétrophysique (porosité, perméabilité, saturation, densité) des réservoirs à hydrocarbures.

La porosité et la perméabilité sont deux paramètres fondamentaux qui caractérisent un réservoir pétrolier, dépendent essentiellement des milieux de dépôt, de la lithologie et des paramètres diagénétiques...etc.

Afin de mieux comprendre cette étude et les résultats du présent travail, nous signalons que toutes les notions de base (méthodes de mesure des propriétés pétrophysiques au laboratoire) utilisées dans le cadre de cette étude, se trouvent en Annexe n° 2.

Toutefois, les termes employés pour spécifier les valeurs de la perméabilité et la porosité sont ceux de René, (1988).

**Tab.IV. 1 :** Gamme de perméabilité (René, 1988).

Gamme de Perméabilité	
<b>K &lt; 1 mD</b>	<b>Très faible</b>
<b>K de 1 à 10 mD</b>	<b>Faible</b>
<b>K de 10 à 50 mD</b>	<b>Médiocre</b>
<b>K de 50 à 200 mD</b>	<b>Moyenne</b>
<b>K de 200 à 500 mD</b>	<b>Bonne</b>
<b>K &gt; 500 mD</b>	<b>Excellente</b>

**La perméabilité** des roches des réservoirs pétroliers peut varier de 0,1 à 1000 millidarcies ou plus. Les réservoirs ayant une perméabilité inférieure à 1 mD sont considérés comme "tight" (compact).

**Tab.IV. 2 :** Gamme de porosité (René, 1988).

Gamme de Porosité	
$\emptyset < 5\%$	Faible
$5\% < \emptyset < 10\%$	Médiocre
$10\% < \emptyset < 20\%$	Moyenne
$20\% < \emptyset < 30\%$	Bonne
$\emptyset > 30\%$	Excellente

Les porosités des réservoirs de pétrole s'étendent de 5% à 30%, mais sont plus souvent entre 10% et 20%. N'importe quelle porosité moins de 5% est très rarement commerciale, et n'importe quelle porosité plus de 30 %, qu'est extrêmement peu commun.

## II. Etude pétrophysique

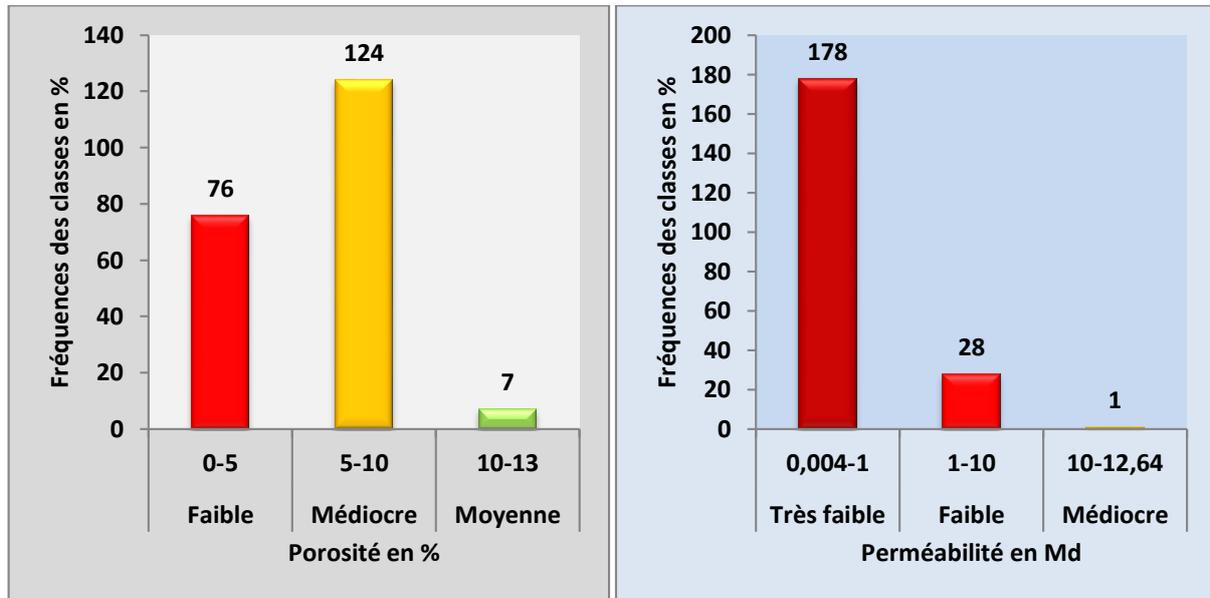
Les propriétés pétrophysiques (porosité et perméabilité) ont été mesurées au laboratoire sur des échantillons cylindriques (plugs) prélevés sur les carottes des puits A, B, C et D des réservoirs Ordoviciens « Quartzites de Hamra » du champ Hassi Dzabat dans le bloc 427 par les méthodes de mesure précitées dans l'Annexe n° 2, où nous avons corrélé les résultats de mesures pétrophysiques avec les résultats sédimentologiques (faciès identifiés et codifiés selon Miall) en fonction de la profondeur dans le but de :

- Etudier la variation verticale et spatiale de la porosité et la perméabilité dans chaque puits et chaque faciès par des histogrammes.
- Déterminer les paramètres pétrophysiques qui caractérisent le champ d'étude.
- Identifier les facteurs géologiques qui contrôlent les propriétés pétrophysiques des faciès étudiés.

### II.1 Etude des résultats de la variation verticale et spatiale de la porosité et la perméabilité de chaque puits

### II.1.1 Puits A

Les mesures pétrophysiques du réservoir Quartzite de Hamra du puits A, ont été établies sur 207 échantillons (plugs).



**Fig.IV. 1** : Histogrammes des mesures pétrophysiques (verticales et spatiales) du puits A.

#### A. Interprétation d'histogrammes du puits A

##### ○ Histogramme de la porosité

Montre trois (03) classes modales de porosité qui caractérisent le puits, qui sont :

- **La classe Médiocre** [5–10%] : est dominante, avec une fréquence de 124 %.
- **La classe Faible** [0–5%] : est moyenne, avec une fréquence de 76 %.
- **La classe Moyenne** [10–13%] : est très faible avec fréquence de 7 %.

➤ Où les valeurs de la porosité trouvées, varient entre 0.02 et 13 %, tandis que leur moyenne arithmétique égale à 5.85 % (Médiocre).

##### ○ Histogramme de la perméabilité

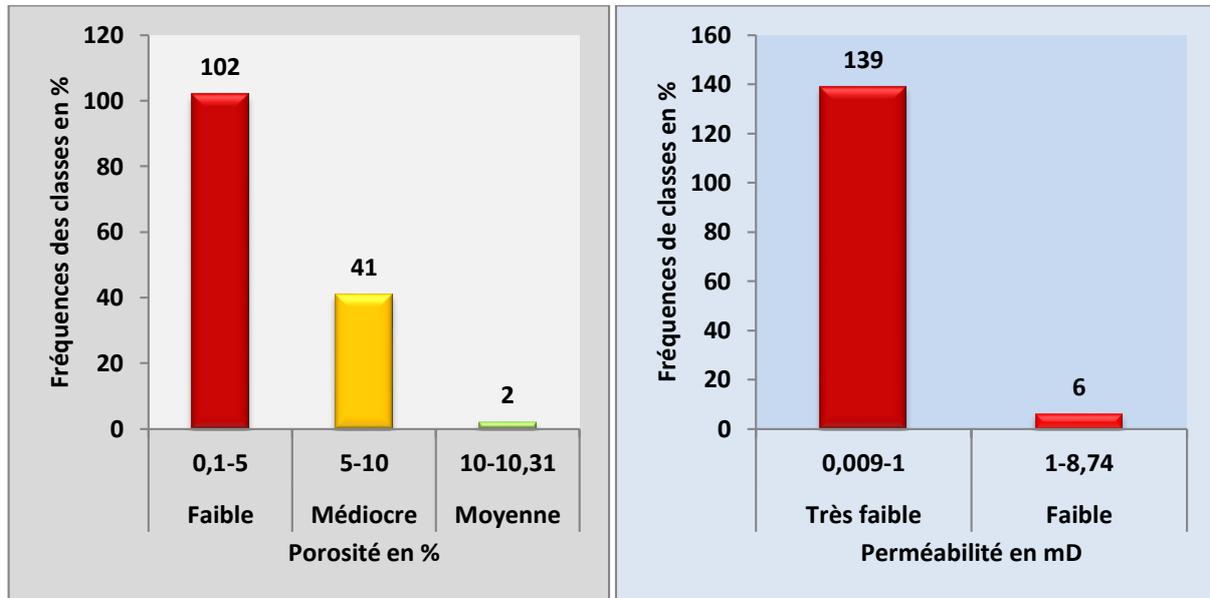
Montre trois (03) classes de perméabilité :

- **La classe Très faible** [0.004 – 1 mD] : est dominante, par une fréquence de 178 %.
- **La classe Faible** [1 – 10 mD] : est faible, par une fréquence de 28 %.
- **La classe Médiocre** [10 – 12.64 mD] : est très faible avec une fréquence de 1 %.

➤ Où les valeurs de la perméabilité trouvées, varient entre 0.004 et 12.64 mD, tandis que leur moyenne arithmétique égale à 0.75 mD (Très faible).

### II.1.2 Puits B

Les mesures pétrophysiques du réservoir Quartzite de Hamra du puits B, ont été établies sur 145 échantillons (plugs).



**Fig.IV. 2** : Histogrammes des mesures pétrophysiques (verticales et spatiales) du puits B.

#### ○ Histogramme de la porosité

Montre trois (03) classes modales de la porosité qui caractérisent le puits, qui sont :

- **La classe Faible** [0.1–5%] : est dominante, par une fréquence de 102 %.
- **La classe Médiocre** [5–10%] : est moyenne, par une fréquence de 41 %.
- **La classe Moyenne** [10.31–20] : est très faible, par une fréquence de 2 %.

➤ Où les valeurs de la porosité trouvées, varient entre 0.1 et 10.31 %, tandis que leur moyenne arithmétique égale à 3.96 % (Faible).

#### ○ Histogramme de la perméabilité

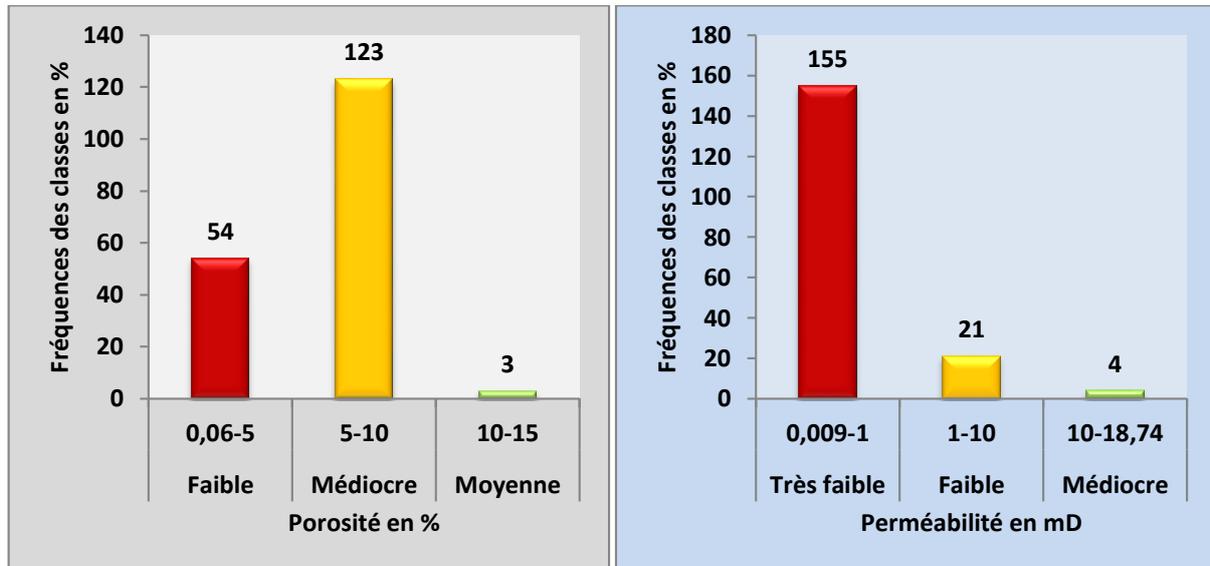
Montre deux (02) classes modales de la perméabilité qui caractérisent le puits, qui sont :

- **La classe Très faible** [0.009 – 1 mD] : est dominante, avec une fréquence de 139 %.
- **La classe Faible** [1 – 8.74 mD] : est très faible, avec une fréquence 6 %.

➤ Où les valeurs de la perméabilité trouvées, varient entre 0.009 et 8.74 mD, tandis que leur moyenne arithmétique égale à 0.23 mD (Très faible).

### II.1.3 Puits C

Les mesures pétrophysiques du réservoir Quartzite de Hamra du puits C, ont été établies sur 180 échantillons (plugs).



**Fig.IV. 3** : Histogrammes des mesures pétrophysiques (verticales et spatiales) du puits C.

#### ○ Histogramme de la porosité

Montre trois (03) classes modales de la porosité qui caractérisent le puits, qui sont :

- **La classe Médiocre** [5–10%] : est dominante, par une fréquence de 123 %.
- **La classe Faible** [0.06–5%] : est moyenne, avec une fréquence de 54 %
- **La classe Moyenne** [10–15%] : est très faible, avec une fréquence de 3 %.

➤ Où les valeurs de la porosité trouvées, varient entre 0.06 et 15 %, tandis que leur moyenne arithmétique égale à 6.05 % (Médiocre).

#### ○ Histogramme de la perméabilité

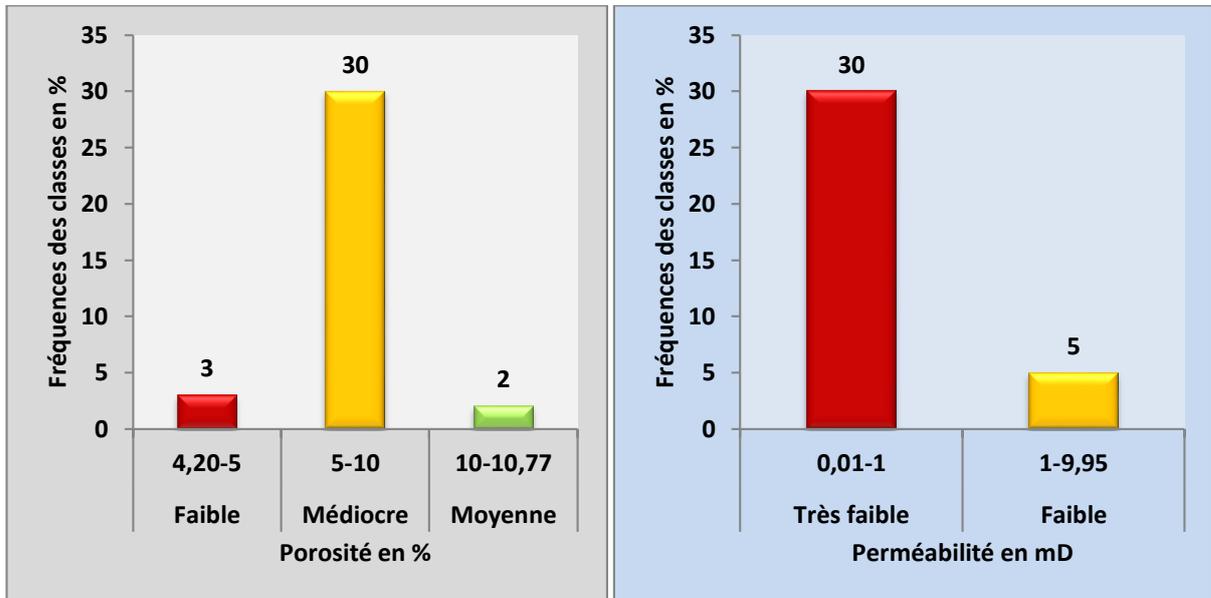
Montre trois (03) classes modales de la perméabilité qui caractérisent le puits, qui sont :

- **La classe Très faible** [0.009 – 1 mD] : est dominante, par une fréquence de 155 %.
- **La classe Faible** [1 – 10 mD] : est très faible, avec une fréquence de 21 %.
- **La classe Médiocre** [10 – 18.74 mD] : est très faible, avec une fréquence de 4 %.

➤ Où les valeurs de la perméabilité trouvées, varient entre 0.009 et 18.74 mD, tandis que leur moyenne arithmétique égale à 0.23 mD (Très faible).

### II.1.4 Puits D

Les mesures pétrophysiques du réservoir Quartzite de Hamra du puits D, ont été établies sur 35 échantillons (plugs).



**Fig.IV. 4 :** Histogrammes des mesures pétrophysiques (verticales et spatiales) du puits D.

#### A. Interprétation d'histogrammes du puits D

##### ○ Histogramme de la porosité

Montre trois (03) classes modales de la porosité qui caractérisent le puits, qui sont :

- **La classe Médiocre** [5–10%] : est dominante, par une fréquence de 30 %.
  - **La classe Faible** [4.20–5%] : est très faible, avec une fréquence de 3 %.
  - **La classe Moyenne** [10–10.77%] : est très faible, avec une fréquence de 2 %.
- Où les valeurs de la porosité trouvées, varient entre 4.20 et 10.77 %, tandis que leur moyenne arithmétique égale à 7.29 % (Médiocre).

##### ○ Histogramme de la perméabilité

Montre deux (02) classes modales de la perméabilité qui caractérisent le puits, qui sont :

- **La classe Très faible** [0.01 – 1 mD] : est dominante, par une fréquence 30 %.
  - **La classe Faible** [1 – 9.95 mD] : est très faible, par une fréquence 5 %.
- Où les valeurs de la perméabilité trouvées, varient entre 0.01 et 9.95 mD, tandis que leur moyenne arithmétique égale à 0.92 mD (Très faible).

### II.1.5 Conclusion

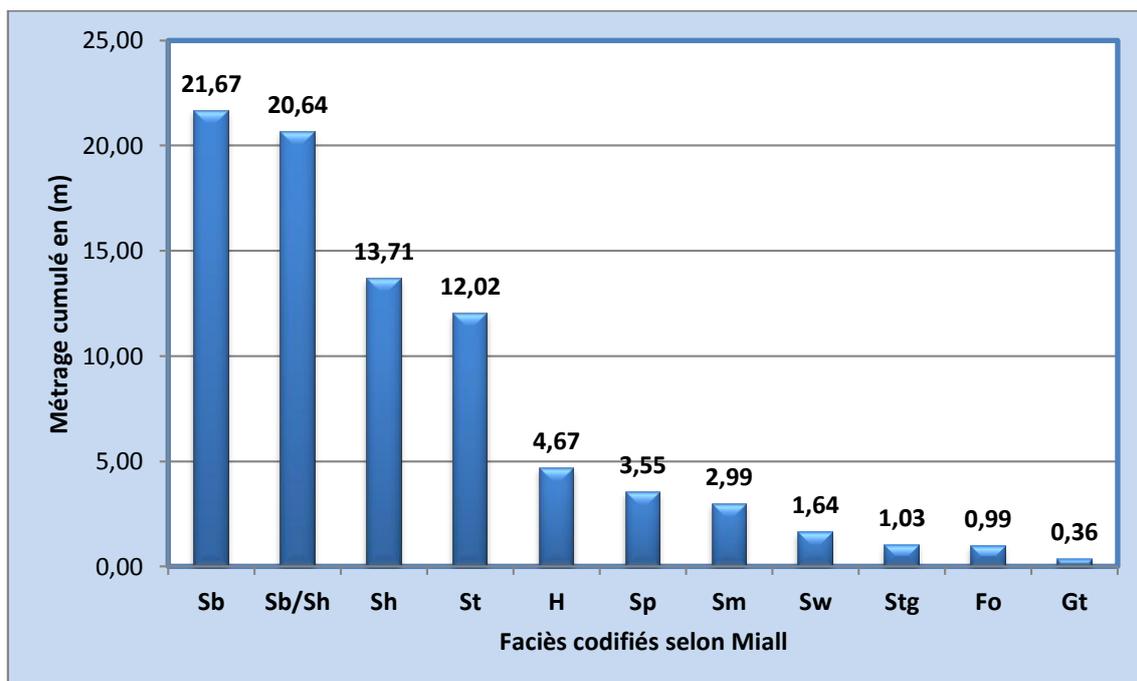
L'interprétation des résultats de mesures pétrophysiques de chaque puits par des histogrammes, nous a permis de calculer une moyenne arithmétique des paramètres mesurés du champ d'étude (A, B, C, D), et à partir de celle-ci nous avons conclu que le champ d'étude est caractérisé par une :

- ❖ Porosité médiocre, par une moyenne de 5.8 %.
- ❖ Perméabilité très faible, par une moyenne de 0.72 mD.

### II.2 Etude des résultats de la variation verticale et spatiale de la porosité et la perméabilité de chaque faciès rencontrés dans le champ d'étude

Pour cela, on a établi des histogrammes de moyenne arithmétique des résultats de mesures pétrophysiques verticales et spatiales de 559 échantillons (plugs) des sondages étudiés, parce que les paramètres pétrophysiques de chaque faciès varient d'une profondeur à autre et en plus ils n'ont pas les mêmes fréquences, donc il suffit juste de calculer la moyenne arithmétique des paramètres pétrophysiques de chaque faciès, pour déterminer la qualité de ces derniers.

Toutefois, après une étude sédimentologique, on a pu aussi calculer approximativement le métrage cumulé de chaque faciès rencontré lors de la description sédimentologique dans chaque puits, puis nous avons calculé la moyenne arithmétique des faciès de chaque puits, dans le but de déterminer les faciès prépondérants dans le champ d'étude, ce qui va donner un sens et d'orienter à cette étude.



**Fig.IV. 5 :** Histogramme de la moyenne du métrage cumulé de chaque faciès identifié dans le champ d'étude.

### II.2.1 Interprétation d'histogramme de la moyenne arithmétique du métrage cumulé de chaque faciès identifié dans le champ d'étude

L'histogramme montre onze (11) faciès codifiés et identifier dans les sondages étudiés (A, B, C, D) lors de l'étude sédimentologique. On observe que principalement il y a quatre (04) faciès prépondérants dans notre champ d'étude et parmi ces quatre faciès on distingue deux faciès très prépondérants dans le champ qui sont les faciès [Sb et Sb/Sh].

Les quatre (04) faciès prépondérants dans le champ d'étude sont les suivant :

1. Le faciès Sb (Grés intensément bioturbé) avec une moyenne de 21.67 m.
2. Le faciès Sb/Sh (Grés bioturbé à stratifications horizontales) avec une moyenne de 20.64 m.
3. Le faciès Sh (Grés à structures horizontales) avec une moyenne de 13.71 m.
4. Le faciès St (Grés à structures en auges) avec une moyenne de 12.02 m.

### II.2.2 Interprétation d'histogramme de la porosité moyenne de chaque faciès du champ d'étude

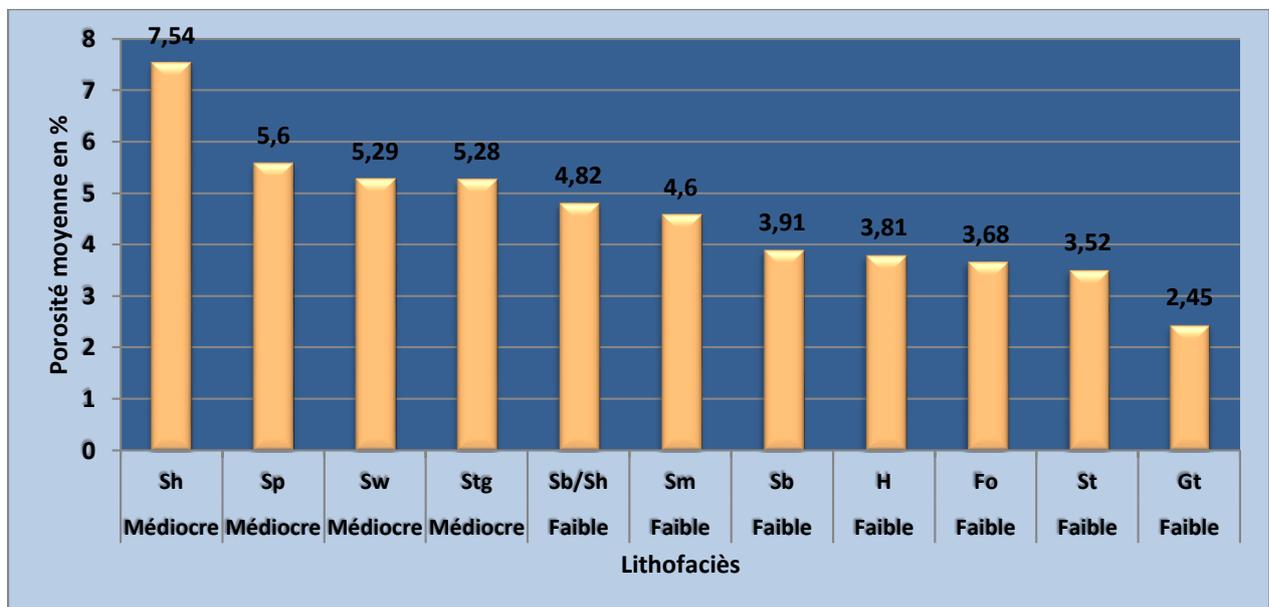


Fig.IV. 6 : Histogramme de porosité de chaque faciès du champ d'étude.

#### A. Interprétation d'histogramme de porosité de chaque faciès du champ d'étude

Cet histogramme montre la variation de la porosité moyenne du faciès à autre, ont utilisant la classification de (René, 1988). Où il montre deux classe modales ; Médiocre et Faible, et un faciès qui a une porosité élevée par rapport aux autres faciès, c'est le faciès [Sh] avec une porosité moyenne de 7.54 %.

##### 1. La classe modale Médiocre [7.54 – 5.28 %]

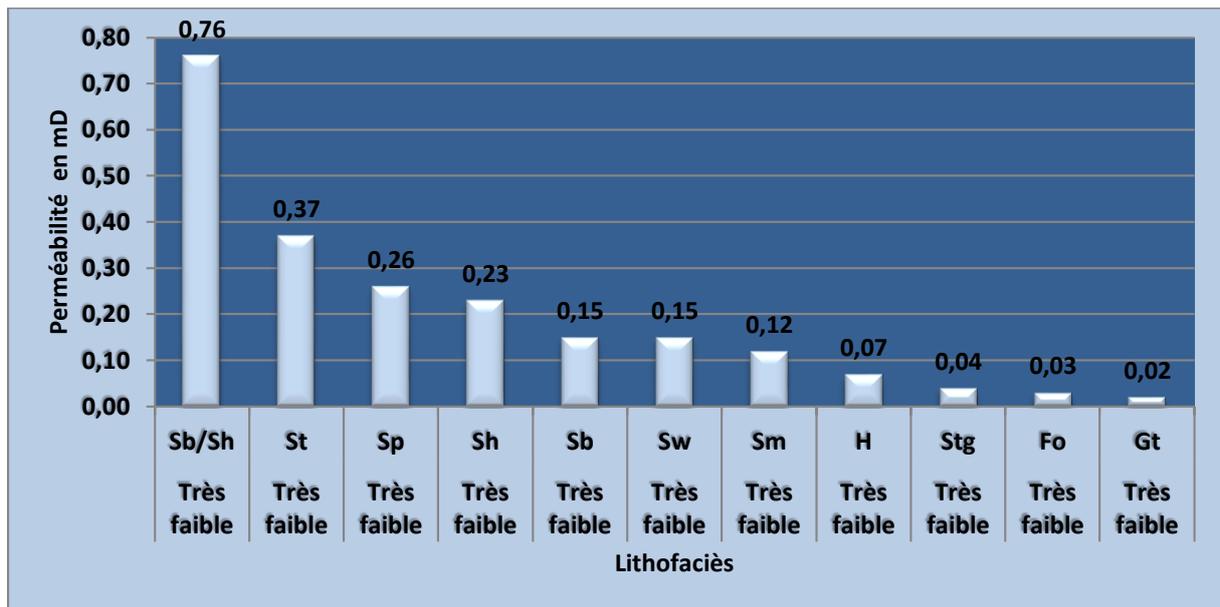
Montre quatre (04) faciès qui ont des porosités moyennes médiocres, parmi ces derniers on distingue un faciès qui a une porosité moyenne élevée qui est le faciès

Sh, ensuite on a les faciès [Sp 5.6%, Sw 5.29%, Stg 5.28%] qui sont aussi Médiocres et élevés par rapport aux restes des faciès de la classe faible.

## 2. La classe modale Faible [4.82 – 2.45 %]

Montre sept (07) faciès qui sont caractérisés par une porosité moyenne faible, qui sont les faciès : Sb/Sh 4.82%, Sm 4.6%, Sb 3.91%, H 3.81%, Fo 3.68%, St 3.52% et Gt 2.45 %.

### II.2.3 Interprétation d'histogramme de perméabilité moyenne de chaque faciès du champ d'étude



**Fig.IV. 7 :** Histogramme de perméabilité de chaque faciès du champ d'étude.

Cet histogramme montre la variation de la perméabilité moyenne du faciès à autre, en utilisant la classification de (René, 1988). L'histogramme montre une seule classe, c'est la classe modale très faible, où l'histogramme nous permet aussi de distinguer le faciès qui est caractérisé par une perméabilité élevée par rapport aux autres faciès de la même classe, qui est le faciès [Sb/Sh] avec une perméabilité moyenne très faible de 0.76 mD.

## 1. La classe modale faible [0.76 – 0.02 mD]

Montre onze (11) faciès caractérisés par une perméabilité très faible, parmi ces derniers on peut distinguer quatre (04) faciès caractérisés par une perméabilité élevée par rapport au reste des faciès de la même classe, qui sont [le faciès : (Sb/Sh : 0.76mD), (St : 0.37mD), (Sp : 0.26mD), (Sh : 0.23mD)].

## II.2.4 Conclusion

D'après les histogrammes des moyennes arithmétiques des paramètres pétrophysiques de chaque faciès identifié lors de l'étude sédimentologique, nous avons conclu que les faciès qui ont des paramètres pétrophysiques élevés par rapport aux autres faciès du champ d'étude sont :

- Faciès [Sh], a une porosité moyenne, Médiocre (7.54 %) et une perméabilité moyenne, Très faible (0.23 mD).
- Faciès [Sp], a une porosité moyenne, Médiocre (5.6 %) et une perméabilité moyenne, Très faible (0.26 mD).
- Faciès [Sw], a une porosité moyenne, Médiocre (5.29 %) et une perméabilité moyenne, Très faible (0.015 mD).
- Faciès [Stg], a une porosité moyenne, Médiocre (5.28 %) et une perméabilité moyenne, Très faible (0.04 mD).
- Faciès [Sb/Sh], a une porosité moyenne, Faible (4.82 %) et une perméabilité moyenne, Très faible (0.76 mD).
- Faciès [St], a une porosité moyenne, Faible (3.52 %) et une perméabilité moyenne, Très faible (0.37 mD). (voire Tab.IV.1)

**Tab.IV. 3 :** Les faciès montrant les caractéristiques pétrophysiques distincts

Lithofaciès	Porosité moyenne en %	Perméabilité moyenne en mD	Remarque
Sh	7.54	0.23	L'un des (04) faciès prépondérants dans le champ
Sp	5.6	0.26	
Sw	5.29	0.15	
Stg	5.28	0.04	
Sb/Sh	4.82	0.76	L'un des (04) faciès prépondérants dans le champ
St	3.52	0.37	L'un des (04) faciès prépondérants dans le champ
Plus le Sb	3.81	0.15	L'un des (04) faciès prépondérants dans le champ

### **II.3 Détermination des facteurs qui contrôlent les paramètres pétrophysique des faciès du Tab.IV. 1**

Cette étude n'est pas fiable au vu que du manque de données nécessaires, cependant, nous présentons des arguments démontrant les facteurs qui ont contrôlés les paramètres pétrophysiques, étayés par les notions théoriques voir Annexe n° 2.

Généralement, les propriétés de réservoir telles que la porosité et la perméabilité sont commandées par la taille et l'arrangement des pores et "Throats" (McCreesh et al, 1991).

Dans cette étude, nous nous limiterons à interpréter les quatre faciès prépondérants dans notre champ d'étude uniquement.

#### **1. Faciès Sh "Grés à stratifications horizontales"**

Généralement ces grés quartzitiques sont caractérisés par une granulométrie moyenne à fine à stratification horizontales avec quelques traces de la bioturbation, de plus il est l'un des faciès prépondérants dans le champ d'étude.

##### **a) La perméabilité du faciès Sh**

Ce faciès il a une perméabilité très faible de 0.23 mD, où on peut dire que ce faciès est caractérisé par cette perméabilité, parce que :

- Il est dur et compact, qui est liée à l'histoire d'enfouissement et l'histoire diagénétique du sédiment (possible c'est le facteur responsable sur cette perméabilité).
- La taille des grains moyenne à fine, généralement elle réduit la perméabilité.
- Les stratifications horizontales agissent comme des barrières à la perméabilité verticale (où la perméabilité sera considérablement réduite).

##### **b) La porosité du faciès Sh**

Ce faciès il est caractérisé par une porosité médiocre de 7.54 %, où on peut dire aussi que ce faciès est caractérisé par cette porosité par ce que :

- Il est clair que ce faciès est fortement consolidé (cimentation), fort possible, que c'est le facteur principal qui a engendré cette porosité.
- Il est caractérisé par une granulométrie moyenne à fine.

## 2. Faciès Sb "Grés intensément bioturbé (type Skolithos)"

C'est le faciès le plus prépondérant dans le champ d'étude, donc il est très utile de déterminer les facteurs qui influencent les paramètres pétrophysiques de ce faciès.

Généralement ce faciès est caractérisé par une granulométrie moyenne qui est parfois moyenne à fine/grossière, c'est des grés quartziques intensément bioturbés, c'est le faciès le plus prépondérant dans le champ d'étude.

### a) La perméabilité du faciès Sb

Ce faciès est caractérisé par une perméabilité très faible de 0.15 mD, où on peut dire que ce faciès est caractérisé par cette perméabilité parce que :

- Il est principalement intensément bioturbé par le type Skolithos, puisqu'il est connu que la bioturbation peut soit réduire la perméabilité et la porosité d'environ 30 %, soit l'augmenter jusqu'à 35%, d'épandant de la morphologie des traces fossiles, présence ou absence de garnitures de terriers, taille des terriers, nature des remplissages de terriers et intensité de la bioturbation. D'après le caractère de la bioturbation du type Skolithos ; comme la présence d'une garniture, remplissage, la morphologie est cylindrique à sub-cylindrique, droite à incurvé, verticale à sub-verticale plus autres caractères qui se trouvent dans l'annexe, nous permet de déduire et interprété que la bioturbation du type skolithos réduit la perméabilité et la porosité dans ce cas, qui est confirmé par les résultats des mesures pétrophysiques.
- Il est aussi dur est compact, qui est liée à l'histoire d'enfouissement et l'histoire diagénétique du sédiment (possible que c'est aussi un facteur responsable sur cette perméabilité).

### b) La porosité du faciès Sb

Ce faciès est caractérisé par une porosité faible de 3.81 %, où on peut dire que ce faciès est caractérisé par cette porosité parce que :

- Il est principalement intensément bioturbé par le type Skolithos. L'interprétation est similaire à celle de la perméabilité du faciès Sb.
- Il est clair que ce faciès est aussi fortement consolidé (cimentation), ce qui explique cette porosité.

En plus, il y a un détail qui a aussi confirmé notre argument sur l'effet négatif de la bioturbation du type skolithos sur les paramètres pétrophysiques des faciès du champ d'étude, en particulier le faciès Sb (grés intensément bioturbé).

C'est que le faciès Sh (grès à stratification horizontales sans bioturbation ou parfois à quelques traces de cette dernières) est caractérisé par une porosité médiocres (7.54 %) et une perméabilité très faible (0.23 mD).

Et pour le faciès Sb/Sh (grès bioturbé à stratifications horizontales) est caractérisé par une porosité faible (4.82 %) et perméabilité très faible (0.76 mD).

Donc la présence de la bioturbation influence les paramètres pétrophysiques négativement dans notre cas.

### **3. Le faciès St "Grés à structures en auges"**

Ce faciès (dur et compact) est généralement caractérisé par une granulométrie moyenne à grossière, c'est des grés quartzitiques à structures en auges, de plus il est l'un faciès prépondérant dans le champ.

#### **a) La perméabilité du faciès St**

Ce faciès est caractérisé par une perméabilité très faible de 0.37 mD, où on peut dire que ce faciès est caractérisé par cette perméabilité parce que :

- Il est dur et compact, qui est liée à l'histoire d'enfouissement et l'histoire diagénétique du sédiment (possible c'est le facteur responsable sur cette perméabilité).
- Les structures en auges agissent comme des barrières à la perméabilité (où la perméabilité sera considérablement réduite).

#### **b) La porosité du faciès St**

Ce faciès est caractérisé par une porosité faible de 3.52 %, où on peut dire que ce faciès est caractérisé par cette porosité parce que :

- Il est clair que ce faciès est fortement consolidé (cimentation), fort possible, que c'est le facteur principal qui a engendré cette porosité.
- Peut-être c'est dû aux méthodes d'empilages vu que la granulométrie est moyenne à grossière, car il est connu qu'avec l'augmentation de la pression de terrains de recouvrement, les grains de sable angulaires mal triés montrent un changement progressif d'un tassement aléatoire à un tassement plus serré.

#### 4. Le faciès Sb/Sh "Grés bioturbé à stratifications horizontales"

Ce faciès est caractérisé par granulométrie moyenne à fine et une perméabilité de 0.15 mD et une porosité de 3.81 %.

Il nous a permis de déduire d'après l'interprétation des faciès Sh et Sb, que la présence de la bioturbation influence les paramètres pétrophysiques négativement.

##### II.3.1 Conclusion :

On peut conclure que parmi les facteurs principaux qui contrôlent et influencent les paramètres pétrophysiques dans notre champ d'étude, et que nous avons pu déterminer, sont :

1. La bioturbation en particulier le type skolithos dans notre champ d'étude, elle réduit les paramètres pétrophysiques comme le cas du faciès Sb "Grés intensément bioturbé".
2. Les stratifications peuvent agir comme des barrières à la perméabilité, comme le cas des stratifications planes qui ont agi comme des barrières à la perméabilité verticale.
3. Les méthodes d'empilages.
4. La taille et l'arrangement des pores et "Pore Throats".
5. L'histoire d'enfouissement et l'histoire diagénétique du sédiment.

### III. Conclusion

Après l'étude pétrophysique des sondages A, B, C, D des réservoirs Ordoviciens « Quartzites de Hamra » du champ Hassi Dzabat situé dans le bloc 427, où nous avons pu déduire que :

- ❖ Notre champ d'étude (A, B, C, D) est caractérisé par :
  - Une porosité médiocre, avec une moyenne de 5.8 %.
  - Une perméabilité très faible, avec une moyenne de 0.72 mD.

Dans lequel ce tableau résume les paramètres pétrophysiques de chaque sondage étudié :

**Tab.IV. 4 :** Les paramètres pétrophysiques de chaque puits étudié (moyenne arithmétique).

Sondage	Porosité moyenne en %	Perméabilité moyenne en mD
A	5.85 (Médiocre)	0.75 (Très faible)
B	3.96 (Faible)	0.23 (Très faible)
C	6.05 (Médiocre)	0.23 (Très faible)
D	7.29 (Médiocre)	0.92 (Très faible)

- ❖ Notre champ d'étude est caractérisé par six faciès sur onze (6/11) qui ont des paramètres pétrophysiques distincts qui sont les faciès Sh, Sp, Sw, Stg, Sb/Sh et St, où généralement ils sont caractérisés par une porosité médiocre et une perméabilité très faible.
 

Parmi ces derniers il y a trois (3) faciès prépondérants dans le champ d'étude qui sont, les faciès Sb/Sh, Sh, St, où :

  - Sb/Sh à une porosité faible (4.82 %) et une perméabilité très faible (0.76 mD).
  - Sh à une porosité médiocre (7.54 %) et une perméabilité très faible (0.23 mD).
  - St à une porosité faible (3.52 %) et une perméabilité très faible (0.37 mD).
- ❖ Parmi les facteurs qui contrôlent les paramètres pétrophysique dans notre champ d'étude sont :
  - La granulométrie, lithologie.
  - La bioturbation du type skolithos.
  - Les stratifications.
  - L'histoire d'enfouissement et l'histoire diagénétique du sédiment.
  - La taille et l'arrangement des pores et "Pore Throats".

## **CONCLUSION GENERALE**

## I. Conclusion générale

Au terme de l'étude sédimentologique et pétrophysique menées sur les carottes prélevées dans les sondages A, B, C et D du réservoir Ordovicien « Quartzites de Hamra » du champ Hassi Dzabat, nous concluons que :

Sur le plan sédimentaire :

- Les faciès du réservoir des Quartzites de Hamra correspondent généralement à des faciès gréseux qui sont selon la codification de Miall (1996) ; les faciès Sb/Sh, Sb, Sh et St, qui s'organisent suivant (02) membres : inférieur et supérieur, séparés par une discontinuité du type Hard Ground.
- L'environnement de dépôt qui caractérise la formation des Quartzites de Hamra dans la zone d'étude généralement au Shoreface supérieur, parfois le milieu est mixte où les influences continentales et marines se succèdent.

### 1. Le membre inférieur (interférence fluviale et marine)

Constitué généralement par un ensemble sédimentaire gréseux, caractérisé par des barres plurimétriques moyennes à structures sédimentaires de type auges, interrompue par de discrètes incursions marines, où il existe localement un faciès hétérolithique qui atteste sur un environnement Tidal flat.

### 2. Le membre supérieur (Upper-Shoreface)

Il est composé de barres gréseuses empilées et continues, assez monotones matérialisées par une intense bioturbation du type skolithos, avec des structures sédimentaires moins discernables telles que les horizontales et les obliques, où il existe localement quelques niveaux centimétriques de faciès hétérolithique qui marque des phases d'inondations importantes.

- Les facteurs qui contrôlent la sédimentation sont l'eustatisme et la subsidence thermique.

Sur le plan pétrophysique :

- Notre champ d'étude (A, B, C, D) est caractérisé par :
  - Une porosité médiocre, avec une moyenne de 5.8 %.
  - Une perméabilité très faible, avec une moyenne de 0.72 mD.
- Les facteurs qui ont contrôlé les paramètres pétrophysique des faciès de la formation quartzitique, sont principalement la bioturbation du type skolithos, la granulométrie et la lithologie, les stratifications et l'évolution diagénétique du sédiment.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

## Références bibliographiques

- ACHI N. (2015) - Caractérisation d'un réservoir gréseux par simulation de carottes artificielles. *Mémoire de magister*, Université des frères Mentouri de Constantine, p. 84.
- Ajdkiewicz J.M. et Lander R.H. (2010) - Sandstone reservoir quality prediction: The state of the art. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 94, p. 1083-1091.
- AKKOUCHE M. (2007) - Application de la datation par traces de fission à l'analyse de thermicité de bassins à potentialités pétrolières. Exemple de la cuvette de Sbaâ et du bassin de l'Ahnet-Nord (plateforme Saharien Occidentale, Algérie). *Thèse doctorat*, Université Bordeaux I, p. 282.
- BAALI B. (2014) - Le Passage Turonien-Senonien dans Le Plateau de Tademaït : Biostratigraphie et Sedimentologie. *Mémoire de Magister*, Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen, p. 53.
- BENZAGOUTA M.S & al. (2001) - Reservoir heterogeneities, in fracturing Fluvial reservoirs of the Buchan Oilfield (Northern North Sea), *Oil and Gas Science and Technology-Rev. IFP (French Institute for Petroleum) (ISI)*. Vol, 56 N°4, pp, 327-338.
- BENZAGOUTA M.S. (1991) - Petrophysical Characteristics Control on the Buchan Oilfield (North Sea), *inédit thèse de PhD*, 330 pp, University of Newcastle upon Tyne, UK.
- BERG R. (1986) - Reservoir sandstones, *Library of congress cataloging in publication data*, New Jersey, 481 pages. ISBN 0-13-774373 -4.
- BERTRAND J.M.L. (1974) - Evolution polycyclique des gneiss précambriens de l'Aleksod (Hoggar central, Sahara algérien). Aspects structuraux, pétrologiques, géochimiques et géochronologiques. *Thèse*, Montpellier, Edit. C.N.R.S., Coll. C.R.Z.A., sér. Géol. 19, 370 p.
- BEUF S., BIJU-DUVAL B., DE CHARPAL D., ROGNON R., BENNACEF A. (1971) - Les grés du paléozoïque inférieur au Sahara. Sédimentation et discontinuités ; évolution structurale d'un craton. *Publ. Inst. Fr. Pétrole. Coll. Sci. Et Tech. Du pétrole*, n° 18. Technip ed. Paris, 464 p.
- BOUDJEMA A. (1987) - Evolution structurale du bassin pétrolier "triasique" du Sahara nord occidental (Algérie). *Thèse doctorat*, Université d'Orsay, Paris, p. 290.
- CABY R. (1970) - La chaîne pharusienne dans le Nord-Ouest de l'Ahaggar (Sahara central, Algérie) ; sa place dans l'orogénèse du Précambrien supérieur en Afrique. *Thèse Sci*, Montpellier.

- FABRE J. (1976) - Introduction à la géologie du Sahara Algérien et des régions voisines. *Soc. nat. Ed. Diff.* Alger. p. 422.
- FABRE J. (2005) - Géologie du Sahara occidental et central. Musée royal de l'Afrique centrale-Belgique. *Géosci.*, p. 1-572.
- FOLLOT J. (1952) - Ahnet et Mouydir. 19<sup>ème</sup> Congr. Intern. Géol., Alger. Monographie Régionale, Série 1, Alger, pp. 1-80.
- Foucault et Raoult, *Dictionnaire de Géologie*, 4<sup>e</sup> édition.
- GAUTHIERE J.M. (1971) - Fracturation du Champ d'Hassi Messaoud Nord-Etude de tectonique analytique. *Thèse 3<sup>ème</sup> cycle*, Strasbourg.
- GRONDIN F. (Juin 2004) - Le Carottage, SONATRACH, p. 163.
- H.W Posamentier, Allen G.P. (1999) - *Siliciclastic sequence stratigraphy; sequence stratigraphy: concepts and applications*, SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology no. 7, 210 p
- Ichnofabrics in clastic sediments: Applications to sedimentological core studies a practical guide by Jean R.F. GERARD & Richard G. BROMLEY.
- Ichnology Atlas version 1.0, (October 1998).
- JACKSON C. A, MODE A.W, OTI M. N, ADEJINMI K, Ozumba B and OSTERLOFF P. (April 2013) - « Effects of Bioturbation on Reservoir Quality: An Integration in Reservoir Modeling of Selected Fields in the Niger Delta Petroleum Province », V.25 No 1, p. 29 - 42.
- KADDOUR O., GOHMES S. et LEMOUCHI H. (2017) - Etude de Synthèse Sedimentologique, petrographique, diagenetique et Petrophysique de Quartzites El hamra (Cas du champ Hassi Dzabat), *Mémoire de master*, Université Kasdi Merbah Ouargla, p. 63.
- KADI B. (Février 2015) - Etude Sédimentologique, Pétrographique, Diagenèse Et Fracturation Naturelle du réservoir Ordovicien Quartzite de Hamra du Champ Hassi Dzabat Bloc 427, *Rapport interne Sonatrach*, p. 99.
- KIMOUCHE S. (2015) - Analyse de la fracturation naturelle de l'Ordovicien du champ de Hassi Dzabat, Etude sur quatre puits de référence, *Projet professionnel de fin d'induction-Sonatrach*, p. 79.
- Lander R.H. et Walderhaug O. (1999) - Predicting Porosity through Simulating Sandstone Compaction and Quartz Cementation. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 83 (3), p. 433-449.

- LASMI R. (2013) - Caractérisation des Quartzites de Hamra dans les gisements de Hassi Terfa, Hassi D'zabat et Hassi Guettar : Pétrophysique, Fracturation et Modélisation, *Mémoire de magister*, Université M'hamed Bougara-Boumerdes, p. 151.
- LELUBRE M. (1952) - Recherches sur la géologie de l'Ahaggar central et occidental (Sahara central). Bull. Serv. Carte Géol., Algérie, (2), Stratigr., Descriptions région, 22, t. 1 : 354 p, t. 2 : 386 p.
- Liégeois J.P., Latouche L., Boughrara M., Navez J. et Guiraud M. (2003) - The Latea metacraton (Central Hoggar, Tuareg shield, Algeria) : behaviour of an old passive margin during the Pan-African orogeny. *J. African, Earth Sci.*, 37, 161–190.
- MASSA D., RUHLAND M., THOUVENIN J. (1972) - Structure et fracturation du champ d'Hassi-Messaoud (Algérie).  
 - Première partie : Observation des phénomènes tectoniques au Tassili des Ajers. *Rev. De l'Inst. Fr. du Pétrole*, XXVII, n° 4, p. 489-534.  
 - Deuxième partie : Application au réservoir cambrien d'Hassi- Messaoud Nord. Nouvelle interprétation tectonique. *Rev. de l'I.F.P.*, XXVII, n° 5, p. 665-713.
- McCreesh et al, (1991). M R Rezaee, A Jafari and E Kazemzadeh. (December 2006) - « Relationships between permeability, porosity and pore throat size in carbonate rocks using regression analysis and neural networks », *J. Geophys. Eng.* 3, p. 370-376.
- MEBROUKI N. (2015) - Etude Géologique de L'extension de La Zone de Benkahla : Le Model Géologique du Gisement, *Mémoire de magister*, Université Kasdi Marbeh Ouargla, p. 77.
- MIALL A.D. (1978) - Lithofacies and vertical profil models in Braided river deposits : a summary. In *fluvial sedimentology: Canadian Society of Petroleum Geologists*.
- MIALL A.D. (1996) - *The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology*.
- MICHEL P., CLARACQ P., LAURIOL E., VERRIEN J.P., COURAUD G, AUFRERE (1959) - Les problèmes pétroliers paléozoïques de la bordure Nord du Hoggar. Fifth world petr. congr. New York, Sect. 1, paper 40, p. 747-785.
- Milliken K.L. (2001) - Diagenetic heterogeneity in sandstone at the outcrop scale, Breathitt Formation (Pennsylvanian), eastern Kentucky. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 85, p. 795-815.
- Pittman E.D. et Larese R.E. (1991) - Compaction of lithic sands: experimental results and applications. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 75, p. 1279-1299.
- Primmer T.J., Cade C.A. et Evans I.J. (1997) - Global patterns in sandstone diagenesis : application to reservoir quality prediction for petroleum exploration. In: (eds Kupezc, J., Gluyas J.G. et Bloch S.) pp. 61-78. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Memoir 69. Reservoir quality prediction in sandstones and carbonates.

- REZIG A. (2015) - Méthode d'analyses de laboratoires pour évaluation de réservoirs à hydrocarbures. Cas d'étude évaluation du potentiel des réservoirs TAGI (Bloc 402b) Bassin de Berkine, *Projet professionnel de fin d'induction-Sonatrach*, p. 49.
- Rocci, G., Bronner G., Deschamps M. (1991) - Cristalline basement of the West African Craton. In: Dallmeyer R.D., Lecorché P.P. (Eds), *The west African orogen and Circum Atlantic Correlatives*. Springer-Verlag, pp. 31-60.
- Rutter E.H. et Wanten P.H. (2000) - Experimental study of the compaction of phyllosilicate-bearing sand at elevated temperature and with controlled pore water pressure, *Journal of Sedimentary Research*, v. 70, p. 107-116.
- SADDAR B. et NAOURI M. (2013) - Evolution diagenétique et interprétation sédimentologique des grès ordovicien (quartzite El Hamra) de Hassi Tarfa, *Mémoire d'ingénieur*, Université El Hadj Lakhdar Batna, p. 81.
- SELLEY R. (1998) - *Elements of Petroleum Geology*, 2<sup>ème</sup> Edition, Academic Press Limited, London NW1 7DX, UK.
- Taylor T.R., Giles M.R., Hathon L.A., Diggs T.N., Braunsdorf N.R., Birbiglia G.V., Kittridge M.G., Macaulay C.I. et Espejo I.S. (2010) - Sandstone diagenesis and reservoir quality prediction: Models, myths, and reality. *American association of Petroleum geologists Bulletin*, v. 94, p. 1093-1132.
- Trompette R. (1995) - *Geology of western Gondwana (2000-500 Ma). Pan-African-Brasiliano aggregation of South America and Africa*. Balkema, Rotterdam, 350 p.
- WEC (2004) - Well Evaluation Conférence, SONATRACH et SCHULUMBERGER, Hilton Alger, Algérie.
- WEC (2007) - *La géologie pétrolière de l'Algérie*, SONATRACH et SCHULUMBERGER.

# **ANNEXES**

# ANNEXE 1

## I. Etude sédimentologique

### I.1 Analyse des faciès de la carotte du puits A

**A** : Grès quartzitiques moyens, gris clair à gris blanc à stratifications obliques en auges. (Codifié par le code St selon Miall.)

**B** : Grès quartzitiques moyens, gris clair à gris blanc, sans structures apparentes. (Codifié par le code Sm selon Miall.)

**C** : Grès quartzitiques très fins à rides de vagues. (Codifié par le code Sw selon Miall.)

**D** : Grès quartzitiques moyens, gris clair à gris, à structures en auges, présence des mudclasts de taille centimétrique. (St)

**E** : Grès quartzitiques très fins à rides de vagues. (Sw)

**F** : Grès quartzitiques moyens, gris à gris clair à structures en auges. (St)

**G** : Mince passées argilo-silteuses, gris sombre à gris, finement laminées. (Codifié par le code Fo selon Miall.)

**H** : Grès quartzitiques moyens, gris clair à structures en auges. (St)

**I** : Mince passées argilo-silteuses, gris sombre, finement laminées. (Fo)

**J** : Grès quartzitiques moyens, gris clair à structures en auges. (St)

**K** : Mince passées argilo-silteuses, gris sombre, finement laminées. (Fo)

**L** : Grès quartzitiques moyens, gris clair à stratifications obliques, mudclasts. (Codifié par le code Sp selon Miall.)

**M** : Mince passées argilo-silteuses, gris sombre, finement laminées. (Fo)

**N** : Grès quartzitiques moyens, gris clair à stratifications obliques. (Sp)

**O** : Mince passées argilo-silteuses, gris sombre, finement laminées. (Fo)

**P** : Grès quartzitiques moyens, gris clair à stratifications obliques. (Sp)

**Q** : Grès quartzitiques moyens à fins, gris clair à stratifications obliques en auges. (St)

**R** : Argiles ou argilo-silteuses, noir en lamination ondulées. (Fo)

**T** : Grès quartzitiques moyens à fins, gris clair à stratifications obliques en auges, mudclasts.

**U** : Argiles ou argilo-silteuses, noir en lamination ondulées. (Fo)

**V** : Grès quartzitiques moyens à fins, gris clair à stratifications obliques en auges, mudclasts.

**W** : Argiles ou argilo-silteuses, noir en lamination ondulées. (Fo)

**X** : Grès quartzitiques moyens à fins, gris clair à stratifications obliques en auges.

**Y** : Grès quartzitiques fins, gris clair à structures ondulées. (Sw)

**Z** : Grès quartzitiques fins à moyens, gris clair à stratifications obliques en auges. (St)

**A'** : Grès quartzitiques moyens à grossiers, gris sombre, intensément bioturbés (type skolithos). (Codifié par le code Sb selon Miall.)

**B'** : Grès quartzitiques, grossiers à la base où une surface de remaniement sédimentaire est observée, surmontés par des grès fins, gris beige, à stratifications horizontales, bioturbés (type skolithos). (Codifié par le code Sh selon Miall.)

**C'** : Grès quartzitiques fins, gris beige à beige à stratifications obliques en auges. (St)

**D'** : Grès quartzitiques très fins, gris beige à stratifications horizontales, bioturbés. (Sh)

**E'** : Grès quartzitiques moyens, gris beige à beige à structures en auges. (St)

**F'** : Grès quartzitiques très fins, gris beige à structures ondulées. (Sw)

**G'** : Grès quartzitiques fins à moyens, gris beige à stratifications obliques planes. (Sp)

**H'** : Argiles ou argilo-silteuses, gris noir en lamination ondulées. (Fo)

**I'** : Grès quartzitiques moyens à grossiers, gris beige, intensément bioturbés essentiellement des skolithos de taille centimétrique probablement des siphonicnus. (Sb)

**J'** : Grès quartzitiques fins à moyens, gris beige à gris, bioturbés à quelques stratifications horizontales, un slump (contorted bedding) est observé. (Sb)

**K'** : Mincees passées d'argiles. (Fo)

**L'** : Grès quartzitiques moyens, gris beige, bioturbés (type skolithos). (Sb)

**M'** : Mincees passées argilo-silteuses. (Fo)

**N'** : Grès quartzitiques moyens, gris, bioturbés (type skolithos) à quelques stratifications horizontales. (Sb)

**O'** : Grès quartzitiques moyens à grossiers (la granulométrie est plus ou moins constante), gris beige à gris, à stratifications horizontales, intensément bioturbés (type skolithos, de petite à grande taille), vers le sommet s'individualisent quelques structures ondulées de faible expression. (Sb/Sh)

**P'** : Grès quartzitiques moyens à fins, gris beige à stratifications horizontales. (Sh)

**Q'** : Grès quartzitiques moyens à fins, gris à gris beige, bioturbés. (Sb)

**R'** : Grès quartzitiques fins, gris à gris beige à laminations planes, une zone bréchifiée s'individualise vers le sommet (probablement due à la tectonique). (Sh)

**S'** : Grès quartzitiques fins à moyens, beige, sans structures apparentes. (Codifié par le code Sm selon Miall.)

**T'** : Grès quartzitiques fins à moyens, beige, à stratifications horizontales. (Sh)

**U'** : Grès quartzitiques moyens à grossiers, gris beige, intensément bioturbés (probablement diplocraterion et siphonicnus). (Sb)

**V'** : Fines passées argileuses, noir. (Fo)

**W'** : Grès quartzitiques moyens à grossiers, gris beige, sans structures apparentes. (Sm)

**X'** : Fines passées argileuses, noir. (Fo)

**Y'** : Grès quartzitiques moyens à grossiers, gris clair, sans structures apparentes. (Sm)

**Z'** : Grès quartzitiques moyens à grossiers, gris clair, bioturbés à quelques stratifications horizontales. (Sb)

**A''** : Grès quartzitiques fins, gris clair à stratifications horizontales, bioturbés (type skolithos). (Sb/Sh)

**B''** : Grès quartzitiques fins, gris clair, sans structures apparentes. (Sm)

**C''** : Grès quartzitiques moyens, gris clair à structures en auges, pyriteux. (St)

**D''** : Grès quartzitiques moyens à fins, sans structures apparentes, pyriteux à quelques mudclasts. (Sm)

**E''** : Grès quartzitiques moyens à fins à structures horizontales avec présence de quelques mudclasts. (Sh)

**F''** : Grès quartzitiques moyens à fins à structures obliques, pyriteux. (Sp).

## **I.2 Analyse des faciès de la carotte du puits B**

**A** : Grés fin à moyen de couleur beige (sans structures apparentes) surmonté par des silts argileux de couleur gris-sombre à structures laminaires.

**B** : (Surface de remaniement sédimentaire) ; Grés à petites accumulations conglomératiques composées de clastes argileux de taille millimétrique non jointifs. (Codifié par le code Gt selon Miall.)

**C** : Grés fin, gris beige à stratifications obliques en auges avec quelques clastes argileux de taille très faible millimétrique avec présence de quelques bioturbations au sommet.

**D** : (Surface de remaniement sédimentaire) ; Grés à petites accumulations conglomératiques composées de clastes argileux de taille millimétrique non jointifs surmonté par des grés gris beige à quelques structures en auges. (Codifié par le code Stg selon Miall.)

**E** : Alternance centimétrique de ; grés, silts et d'argiles à faible bioturbation. (Codifié par le code H selon Miall.)

**F** : Ensemble hétérolithique, composé d'alternance irrégulière de passés centimétriques à pluricentimétrique de grés très fin à fin de couleur grise à structures sédimentaires de type wavy bedding et lenticular bedding, plus ou moins bioturbé et de passés argileuse de couleur gris sombre à laminations mal définies, où la bioturbation est caractérisée par un assemblage d'ichnofacies formé de skolithos et planolytes. (H)

**G** : Grés fin à moyen de couleur gris à tendance rougâtre à structures en auges. (St)

**H** : Grés fin, gris à tendance rougâtre à structures obliques. (Sp)

**I** : Alternance centimétrique de ; grés, silts et d'argiles à faible bioturbation. (H)

**J** : Grés fin, gris à tendance rougâtre à stratifications obliques. (Sp)

**K** : Grés quartzitique fin à moyen, gris à tendance rougâtre, sans structures apparentes, des taches diagénétiques (?) et mouchetures d'oxydation (?) sont observés. (Sm)

**L** : Grés quartzitique fin à très fin, gris à stratifications obliques. (Sp)

**M** : Grés quartzitique moyen à fin, gris à structure en auges. (St)

**N** : Argiles silteuses finement laminées parfois ondulés de couleur grisâtre. (Fo)

**O** : Grés quartzitique fin à plus ou moins grossier, gris à stratification obliques en auges. (St)

**P** : Ensemble hétérolithique ; Alternance irrégulière de passés centimétrique de grés très fins à fin compact de couleur gris parfois oxydés, à structures sédimentaires de type wavy bedding à lenticular bedding. (H)

**Q** : Grés quartzitique fin à moyen, gris à tendance rougâtre à structures obliques. (Sp)

**R** : Grés quartzitique très fin, dur et compact de couleur grisâtre à structures ondulées. (Sw)

**S** : Grés quartzitique fin à moyen, gris à tendance rougâtre à stratifications obliques en auges (St). Apparition des premières traces d'activité biologiques skolithos d'environ 02 à 04 cm.

**T** : Grés quartzitique très fin, dur et compact de couleur grisâtre à structures ondulées, à quelques traces rouges probablement due à l'oxydation. (Sw)

**U** : Grés quartzitique fin à moyen, gris à structures en auges avec présence de quelques mudclasts et des traces rouges probablement due à l'oxydation sont observées à la base du faciès. (St)

**V** : Grés quartzitique moyen, gris à stratification obliques en auges. (St)

**W** : Passées argilo-silteuses de couleur gris verdâtre à laminations ondulées. (Fo)

**X** : Grés quartzitique moyen, gris à structures en auges. (St)

- Y** : Passées argilo-silteuses de couleur gris verdâtre à laminations ondulées. (Fo)
- Z** : Grés quartzitique moyen, gris à structures en auges. (St)
- A'** : Grés quartzitique moyen, gris beige bioturbés (type skolithos) à stratifications horizontales. (Sb/Sh)
- B'** : Grés quartzitique moyen à fin, gris beige à structures obliques. (Sp)
- C'** : Grés quartzitique fin à plus ou moins grossier, gris beige, à quelques bioturbation (type skolithos), à structures en auges. (St)
- D'** : Grés quartzitique fin, gris, à laminations planes. (Sh)
- E'** : Grés quartzitique moyen à grossier, gris beige, bioturbés (type skolithos) à stratification horizontales. (Sb/Sh)
- F'** : Grés quartzitique moyen, gris beige, intensément bioturbés (type skolithos), à stratifications horizontales, les skolithos sont de taille centimétrique (~7 à 8 cm). (Sb/Sh)
- G'** : Grés quartzitique moyen, gris à gris clair, intensément bioturbés à laminations planes. (Sb/Sh)
- H'** : Passées argilo-silteuses de couleur grise sombre. (Fo)
- I'** : Grés quartzitique moyen à fin, gris à gris clair, intensément bioturbés à laminations planes. (Sb/Sh)
- J'** : Grés quartzitique grossier à moyen, gris à gris clair, à stratifications horizontales, intensément bioturbés. (Sb/Sh)

### **I.3 Analyse des faciès de la carotte du puits C**

- A** : Grés quartzitique fin de couleur grise, plurimétrique marquée par des structures sédimentaires de type rides de vagues, dur et compact. (Sw)
- B** : Grés quartzitique gris clair à gris blanc, à granulométrie moyenne silico-argileux, à structures en auges à quelques galets d'argiles mous millimétrique (Mud Chips). (St)
- C** : Grés quartzitique à granulométrie moyenne, gris clair à gris blanc à stratifications obliques en auges à quelques galets d'argiles mous millimétrique (Mud Chips). (St)
- D** : Grés quartzitique moyen, gris clair, sans structures apparentes. (Sm)
- E** : Grés quartzitique moyen, gris clair à stratifications obliques en auges. (St)
- F** : Mince passées d'argiles silteuses de couleur grise en lamination ondulées. (Fo)
- G** : Grés quartzitique moyen, gris clair à gris blanc à structures en auges à quelques galets d'argiles mous millimétrique (Mud Chips). (St)
- H** : Mince passées d'argiles silteuses de couleur grise en lamination ondulée. (Fo)
- I** : Grés quartzitique moyen, gris clair à stratifications obliques en auges à quelques galets d'argiles mous millimétriques (Mud Chips). (St)
- J-Q** : Ensemble sédimentaire constitué par des grés quartzitiques moyens, gris clair à structures en auges intercalés par des minces passés d'argiles silteuses de couleur grise en lamination ondulée. (St - Fo)
- J** : Grés quartzitique moyen, gris clair à stratification obliques en auges.
- K** : Mince passée d'argiles silteuses de couleur grise en lamination ondulée.
- L** : Grés quartzitique moyen, gris clair à stratification obliques en auges.
- M** : Mince passée d'argiles silteuses de couleur grise en lamination ondulée.
- N** : Grés quartzitique moyen, gris clair à stratification obliques en auges.

- O** : Mince passée d'argiles silteuses de couleur grise en lamination ondulée.
- P** : Grés quartzitique moyen, gris clair à stratification obliques en auge.
- Q** : Mince passée d'argiles silteuses de couleur grise en lamination ondulée.
- R** : Grés quartzitique moyen, gris clair à gris blanc à stratifications obliques en auge (St), montre la première apparition des traces d'activité biologique skolithos d'environ 01 à 02 cm.
- S** : Grés quartzitique moyen, gris clair à gris à stratifications horizontales, bioturbé (type skolithos). (Sb/Sh)
- T** : Grés quartzitique moyen à fin, gris beige à structures en auge. (St)
- U** : Mince passées d'argiles silteuses de couleur gris clair à rides de vagues. (Fo)
- V** : Grés quartzitique moyen à fin, gris clair à gris blanc à stratifications obliques en auge (St).
- W** : Grés quartzitique moyen à fin, gris à gris clair, à stratifications obliques, bioturbés (type skolithos). (Sp)
- X** : Grés quartzitique moyen à fin, gris à stratifications horizontales, la bioturbation est intense (type skolithos). (Sb/Sh)
- Y** : Grés quartzitique plus ou moins grossier, gris beige à gris à quelques stratifications horizontales, la bioturbation est de type skolithos qui fait parfois d'environ 07 cm de longueur. (Sb/Sh)
- Z** : Grés quartzitique moyen à fin, gris beige à structures obliques, bioturbés. (Sb/Sp)
- A'** : Mince passées d'argiles silteuses de couleur gris clair en lamination ondulées. (Fo)
- B'** : Grés quartzitique moyen à fin, gris beige, bioturbé. (Sb)
- C'** : Grés quartzitique moyen à fin, gris clair à gris, à quelques lamination planes bioturbé (type skolithos). (Sb)
- D'** : Grés quartzitique moyen à fin, gris, bioturbé (type skolithos).
- E'** : Grés quartzitique à granulométrie généralement stable moyen à fin, gris à stratifications horizontales, intensément bioturbé, parfois sans structures apparentes. (Sb/Sh)
- F'** : Mudstone noirâtre à structure lenticulaire bedding (argiles à alternance centimétrique de grés), avec quelques traces d'oxydation. (H)
- G'** : Grés quartzitique moyen à fin de couleur gris, bioturbé. (Sb)
- H'** : Mudstone de couleur grise en lamination ondulée. (Sw)
- I'** : Grés quartzitique moyen à fin, gris à stratifications horizontales, intensément bioturbé (type skolithos). (Sb/Sh)
- J'** : Grés quartzitique moyen, gris clair à structures en auge où on observe deux surfaces de remaniement sédimentaires à la base des bancs gréseux, composées par une matrice argileuse et des granules de quartz millimétriques. (St)

#### **I.4 Analyse des faciès de la carotte du puits D**

- A** : Grés quartzitique moyen, gris blanc à blanc à structure ondulées ou rides de vagues. (Sw)
- B** : Grés quartzitique moyen, gris blanc à blanc à stratifications horizontales avec présence des terriers verticaux attribués probablement à de terriers du genre Ichnogenus et siphonicnus et skolithos. (Sh)
- C** : Grés quartzitique moyen, gris blanc à structures en auge. (St)

**D** : Grés quartzitique moyen, gris blanc à blanc à stratifications horizontales avec présence de quelques terriers verticaux attribués probablement à des terriers du genre *Ichnogenus* et *siphonicus* et *skolithos*. (Sh)

**E** : Grés quartzitique moyen, gris blanc à blanc à stratifications obliques en auges. (St)

**F** : Grés quartzitique moyen, gris à stratifications horizontales avec présence de quelques terriers de type *skolithos*. (Sh)

**G** : Grés quartzitique moyen, gris, sans structures apparentes. (Sm)

**H** : Grés quartzitique moyen, gris blanc à blanc intensément bioturbé. (Sb)

**I** : Grés quartzitique gris, sans structures apparentes. (Sm)

**J** : Grés quartzitique grossier, gris blanc à blanc à stratifications obliques en auges. (St)

**K** : Grés quartzitique grossier à moyen, gris blanc à blanc intensément bioturbé (type *skolithos*). (Sb)

**L** : Grés quartzitique grossier, gris à blanc à structures en auges. (St)

**M** : Grés quartzitique moyen de couleur gris blanc à gris intensément bioturbé (type *skolithos*), où il existe au sommet du faciès une surface érosive. (Sb)

**N** : Grés quartzitique moyen à grossier, gris à gris blanc à structures en auges. (St)

**O** : Grés quartzitique moyen à grossier, gris à gris blanc intensément bioturbé de type *skolithos*. (Sb)

**P** : Silts ~ Mudstone, gris à structures ondulées où rides de vagues. (Sw)

**Q** : Grés quartzitique grossier à moyen, gris, bioturbés (type *Skolithos*), à quelques laminations planes. (Sh)

**R** : Grés quartzitique moyen de couleur gris blanc sans structures apparentes. (Sm)

**S** : Grés quartzitique moyen à grossier, gris blanc à structures obliques en auges. (St)

**T** : Grés quartzitique moyen à grossier, gris, sans structures apparentes, bioturbé de type *skolithos*.

**U** : Grés quartzitique moyen à grossier, gris blanc à gris à structures en auges. (St)

**V** : Grés quartzitique moyen, gris, à stratifications horizontales avec présence de quelques bioturbation (type *skolithos*). (Sh)

**W** : Grés quartzitique moyen à grossier de couleur grise intensément bioturbé (type *skolithos*). (Sb)

**X** : Grés quartzitique moyen à grossier, gris à gris clair intensément bioturbé (type *skolithos*). (Sb)

**Y** : Grés quartzitique grossier à moyen, gris intensément bioturbé (type *skolithos*) à stratifications horizontales. (Sb/Sh)

**Z** : Grés quartzitique grossier à moyen, gris intensément bioturbé (type *skolithos*). (Sb)

**A'** : Grés quartzitique moyen à fin, gris intensément bioturbé (probablement du au *Siphonicus*). (Sb)

**B'** : Grés quartzitique fin, gris, intensément bioturbé. (Sb)

**C'** : Grés quartzitique fin à très fin, gris, siliceux à silico-argileux intensément bioturbé, où il existe des fractures colmatées par de la pyrite qui sont observées, et la bioturbation dont la plupart des espèces atteignent une taille de 10 cm est de plus en plus forte vers le sommet elle est représentée principalement par des terriers verticaux monogénériques appartenant aux genres *Ichnogenus* *skolithos*. (Sb)

## I.5 Notions théoriques

### I.5.1 Faciès

Un faciès sédimentaire est une unité lithologique distincte, définie par sa couleur, les structures sédimentaires, litages, composition minéralogique et la texture. Il peut se présenter sous forme de bancs ou un ensemble de bancs, formé sous certaines conditions physico-chimique ou mécanique, reflétant des processus ou environnements spécifiques (Reading, 1996).

D'après O. Serra (1985), le faciès correspond à l'aspect général d'une roche sédimentaire tel qu'il découle de la somme des caractéristiques lithologiques, structurales et organiques détectables sur le terrain, et qui permettent de la différencier des roches avoisinantes.

Les roches sédimentaires permettent de reconstituer la paléogéographie, qui représente les conditions géographiques locales qui régnaient au moment et au lieu où elles se sont formées : C'est ce qui correspond à l'ensemble des conditions que l'on définit par le mot faciès.

### I.5.2 Discontinuités

Elles traduisent un arrêt de la sédimentation, accompagné ou non d'une érosion. Elles permettent aussi de définir les séquences et de déterminer leur ordre.

### I.5.3 Séquence

Il existe plusieurs définitions de la séquence de dépôts, mais en général, elle est définie comme une série de faciès qui passent graduellement de l'un à l'autre. La séquence peut être limitée au toit et au mur par un contact brutal ou un remaniement (READING, 1984 in BOUDJEMA, A. (1987).

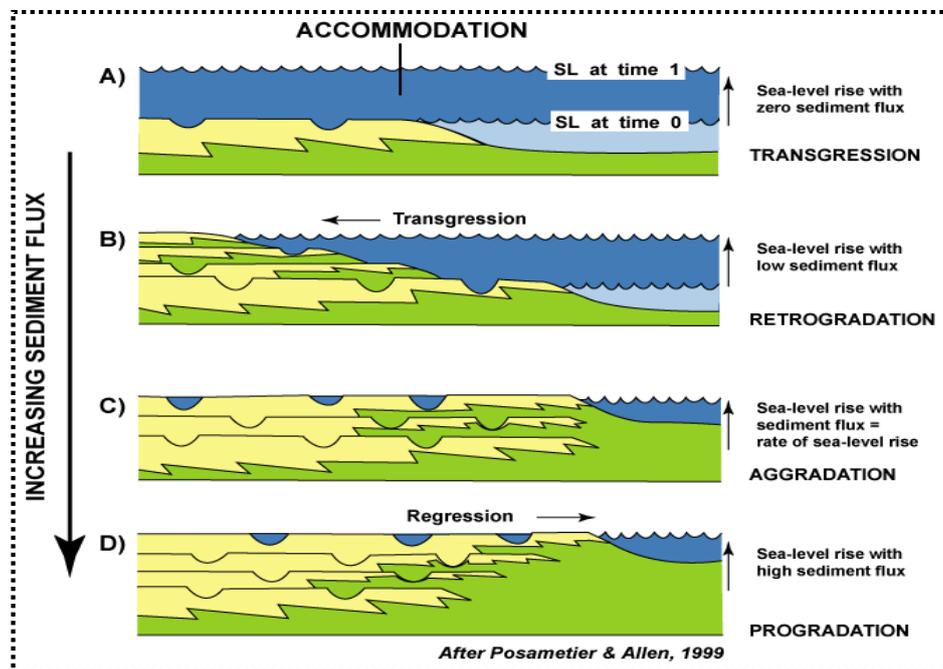


Fig. Annexe. 1 : Schéma de stratigraphie séquentielle selon Posamentier & Allen, 1999.

## I.5.4 Les structures sédimentaires

Une structure sédimentaire se définit comme étant la disposition géométrique particulière d'un sédiment. Les agents de transport mettant en place les sédiments, laissent leur empreinte sous forme de structures sédimentaires. La reconnaissance de ces structures permet de définir l'agent de transport, l'énergie de mise en place des sédiments ainsi que le milieu de dépôt.

### I.5.4.1 Les structures liées à l'activité des organismes

La bioturbation est le fait de fouiller et de mélanger (turbulence) des sols ou des sédiments par des êtres vivants. Il appartient aux processus de translocation.

Un sédiment peut être plus ou moins altéré par l'action des êtres vivants. Parfois, il est possible de distinguer les galeries, les traces, etc. individuellement, mais parfois le degré de bioturbation est si élevé que ce n'est pas possible. Puisque les sols diffèrent fondamentalement de la roche en ce qu'ils sont vivants, la bioturbation est avant tout un champ de recherche en pédologie. Cependant, les structures bioturbées sont souvent conservées dans les roches et jouent un rôle important dans la reconstruction des dépôts passés.

#### I.5.4.1.1 Skolithos (Tigillites) (voire Fig. Annexe. 2)

Elles sont localisées dans les grès à granulométrie fine et moyenne et dans les silts ou les argiles, sous forme des tubes verticaux bien développés remplis d'un matériel plus fin ou plus grossier. Les Tigillites sont connues dans le monde entier et caractérisent un milieu marin peu profond où l'action des vagues se fait ressentir.

Le Skolithos peut être construit par beaucoup de différents genres d'organismes, on le trouve dans pratiquement tous les types d'environnement, du marin au non marin.

- **Description** : Une seule entrée, cylindrique à sub-cylindrique, droite à incurvée, verticale à sub-verticale, terriers non ramifiée qui ne se croisent pas, ni interpénétrés, les axes sont doublés ou sans doublure généralement par des murs lisses, mais peuvent être en anneaux (annulés), typiquement le remplissage est sans structure.
- **Interprétation** : Ethologiquement, Skolithos représente des terriers d'habitation pour la suspension-alimentation des organismes ou carnivores passives. Une multitude de créateurs probables ont été postulés, incluant : les polychètes Sabellaria, Arenicola et Onuphis, le phoronid Phoronopsis et larves d'insecte.
- **Classification trophic** : Terriers d'habitations pour la suspension-alimentation d'organisme vermiforme.

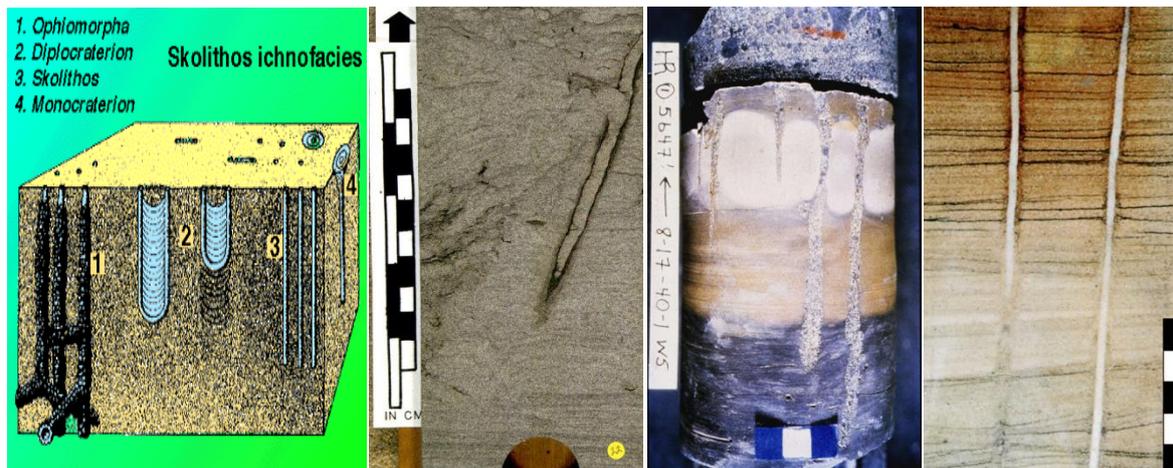
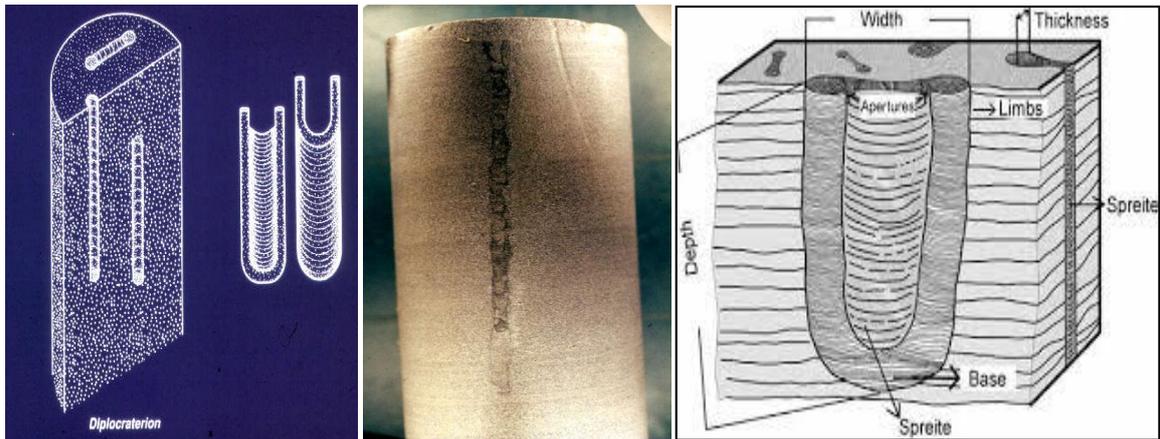


Fig. Annexe. 3 : Skolithos (Tigillites).

#### I.5.4.1.2 Diplocraterion voire (Fig. Annexe. 4)

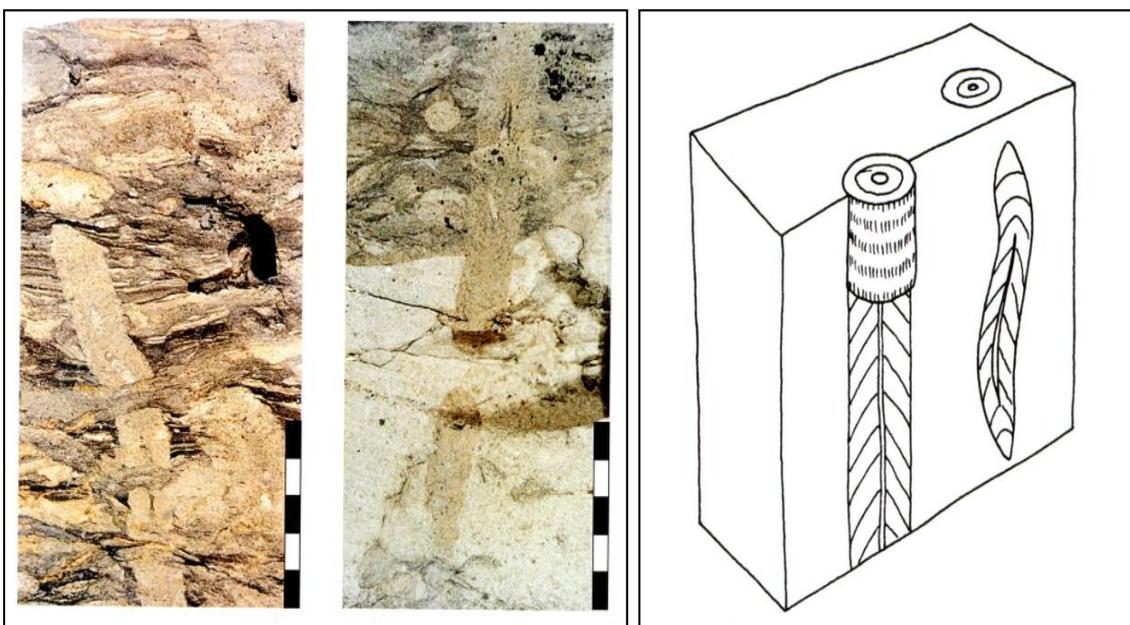
- Description :** Vertical, U-shaped spreite burrows (spreite terriers en "U"), (Spreite au singulier, signifiant la feuille-lame en allemand, est une structure empilée, incurvée, stratifiée qui est caractéristique de certaines traces de fossiles (des invertébrées)) ; les ouvertures des tubes peuvent être cylindriques ou en forme d'entonnoir ; les membres du "U" peuvent être parallèles ou divergents. Parfois peut apparaître dans le core sous forme d'haltère (dumbbellshaped) sur le top des unités ; les ouvertures circulaires appareillées (alliées) sont jointes par une bande horizontale de sédiments retravaillés (retouchés) correspondant au spreite.
- Interprétation :** Les systématiques de Diplocraterion et tout autre ichnogenera vertical et en U ont été passés en revue par Fürsich (1974), basé sur une analyse des dispositifs morphologiques, Diplocraterion interprété par Fürsich comme un creusement de logement pour suspension et alimentation de l'organisme. Probablement les créateurs comprenaient des polychètes, des echiuroids, et des crustacés (amphipodes).
- Classification trophic :** Suspension-Alimentation.
- Considérations environnementales :** Diplocraterion est un élément commun dans la fin distale des ichnofacies de Skolithos dans "middle shoreface settings". Il est également commun sur les plaines de marée sableuses (Sandy tidal flats) et dans les dépôts des chenaux estuariers (estuarine channel deposits).



**Fig. Annexe. 5 :** Diplocraterion.

**I.5.4.1.3 Siphonicus :** back-filled terrier, complexe, dans des sables plutôt propres (voire Fig. Annexe. 6)

- **Description :** Terrier épais vertical à oblique considéré à être produit par un bivalve, normalement comporte un bord de sable irrégulier autour d'un core de sable mince. (Sand rim) Bord de sable a une structure "septate" complexe concave-en bas.
- **Dimension :** 10-30 mm ; longueur jusqu'à ?1 m.
- **Substrat :** la plupart du temps sableux.
- **Environnements de dépôt :** Plat sableuse (intertidal) à la plage (to middle shoreface).
- **Présence d'Ichnofabric :** Accompanies Rosselia, Diplocraterion parallelum, Ophiomorpha nodosa, Skolithos, Scolicia.
- **Ichnofacies :** Skolithos, Cruziana.



**Fig. Annexe. 7 :** Siphonicus.

**I.5.4.1.4 Planolites** : Petits terriers no ramifié, remblayés dans des sédiments argileux (voire Fig. Annexe. 8)

- **Description**

- **Forme** : Remblai Horizontal à oblique, non ramifié, remplissage actif sans structure différent du sédiment encaissant.
- **Taille** : Diamètre à peu près de 1 à 8 mm.

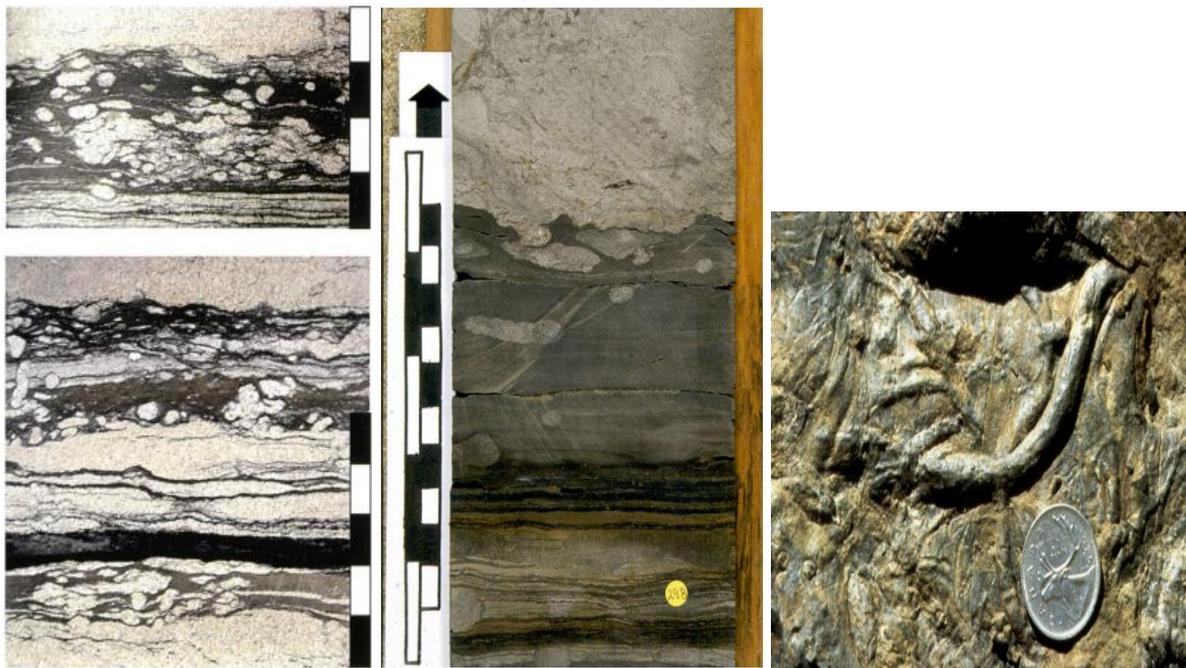
- **Comportement - Substrat** : Mud (boue) a sable argileux, généralement peu profond à moyen, dépôt – alimentation.

- **Environnements de dépôt** : Non marin à offshore profond (tous les milieux aquatiques ?).

- **Présence d'Ichnofabric** : Abondant dans les niveaux les moins profonds (zone mixte) et les niveaux intermédiaires de différents ichnofabrics.

- **Ichnofacies** : Tous aquatiques.

- **Age** : Du protérozoïque à l'actuel.

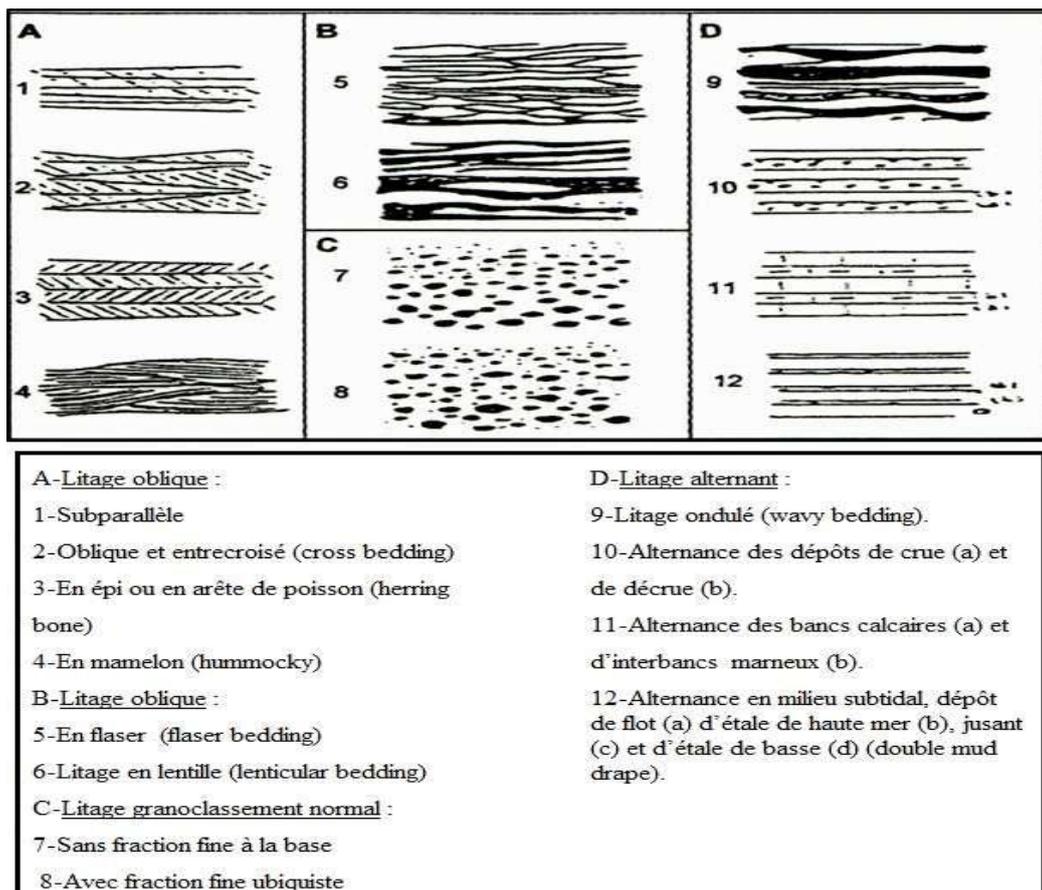


**Fig. Annexe. 9** : Planolites.

#### **I.5.4.2 Les structures liées à l'action des courants**

La plupart des structures rencontrées dans les formations détritiques sont d'origine hydrodynamique. Elles représentent la réponse d'un sédiment meuble à l'intensité et la direction du courant. L'organisation verticale des structures sédimentaires reflète la variation d'énergie, les apports et la granulométrie. Les structures liées à l'action des courants se présentent dans l'ordre suivant :

- **Stratifications horizontales** : Ces stratifications sont surtout présentes dans les niveaux moins grossiers, elles traduisent un environnement de dépôt à régime d'écoulement laminaire de faible énergie.
- **Stratifications planes parallèles** : Ces stratifications sont essentiellement associées aux dépôts grossiers et fins, elles présentent un pendage variant de 15° à 30° avec l'horizontale. La formation de ces dépôts nécessite l'existence périodique des courants faibles et forts (phase de crue et décrue).
- **Stratifications obliques et entrecroisées** : Les stratifications obliques et entrecroisées ("cross-stratifications") sont des structures internes aux dépôts. Les premières sont obliques par rapport au pendage moyen de la surface de stratification et les secondes sont également obliques et de plus se recoupent mutuellement. Cette dernière caractéristique permet de les utiliser comme critère de polarité.
- **Les flasers, lenticular et wavy bedding** : Ils sont engendrés par l'alternance de sédiments fins (argile) et plus grossiers (sable, silt). Les flasers peuvent être décrits comme des rides sableuses ou silteuses entre lesquelles se déposent des sédiments fins : les drapages argileux sont préservés dans les creux et en partie sur les crêtes. Les stratifications lenticulaires sont des dépôts essentiellement argileux dans lesquelles sont conservées des lentilles sableuses. Les wavy beddings sont des alternances de niveaux continus de boue et de sable.



**Fig. Annexe. 10** : Différents types de structures sédimentaires.

## I.6 Le Carottage

Le carottage (en anglais diamond drilling, ou core drilling) est un type de forage, visant à prélever un échantillon du sous-sol terrestre ou marin obtenu à l'aide d'un tube appelé carottier que l'on fait pénétrer dans le sous-sol. (*Dictionnaire de Géologie* (Foucault et Raoult))

L'échantillon ainsi obtenu s'appelle une carotte (par analogie avec la racine de la plante du même nom, la carotte). Celle-ci est qualifiée d'échantillon stratigraphiquement représentatif, donc non perturbé. Le carottage est utilisé dans de nombreux domaines.

Les sondages carottés fournissent la meilleure qualité d'échantillon permettant de caractériser à la fois la nature et l'état des sols. Ils sont indispensables pour la recherche des gisements de minerais, d'eau, d'hydrocarbures mais aussi l'étude et une meilleure connaissance du socle rocheux en général. Les sondages carottés permettent de visualiser les terrains traversés, de préciser avec certitude leur disposition géométrique, d'effectuer un certain nombre d'essais de laboratoire et in situ.

### I.6.1 Principe

En règle générale pour effectuer un sondage, on va réaliser un forage par fonçage ou battage (carottier poinçonneur) ou par rotation (carottier rotatif). Il s'agit de découper un cylindre de terrain le plus intact possible afin de réaliser des observations et des essais représentatifs des formations en place. Par conséquent, en fonction de l'objectif fixé et de l'endroit où l'on veut prélever l'échantillon, les forages sera :

- Carottés en totalité (faible à moyenne couverture).
- Partiellement carottés (forte couverture).



**Fig. Annexe. 11 :** Caisse de carottes prélevées après un sondage.

### I.6.2 Usage

Les Sondages carottés permettent d'effectuer un certain nombre d'essais. Parmi les usages de ces échantillons prélevés on cite :

- Déterminer la nature de la roche ou du sol, pour analyser le degré de fissuration et la pente des fissures.
- Diaclases et stratification dans le cas d'une roche et pour y pratiquer des essais de laboratoire (mécanique des roches ou des sols, analyses minéralogiques ou chimiques).
- Faire des mesures précises, de porosité, perméabilité et même la possibilité de reconnaître avec certitude l'âge du terrain par l'étude des fossiles (micropaléontologie) et autres usages selon la demande ou l'étude ou l'opération.

De façon générale, les carottes de sondages sont conservées dans des caisses adaptées à cet effet. Il est conseillé de les photographier en couleur afin de disposer d'un document de travail et d'archive utile.

### I.6.3 PLUGS

Le forage carotté consiste à prélever un cylindre de roche. Lorsque les carottes obtenues sont relativement intactes, des échantillons plus petits, appelés PLUGS (mot anglais), peuvent être prélevés pour réaliser des mesures pétrophysiques spécifiques et ciblées comme celles de la porosité et de la perméabilité et autres.

Un Plug fait environ 1 " ou 1.5 " (pouce) de diamètre de forme cylindrique ou autres selon les paramètres mesurés ou la méthode utilisée.



**Fig. Annexe. 12 :** Présentation d'une carotte avec prélèvement d'un Plug.

### I.6.4 Analyse des carottes

L'analyse de la carotte récupérée fournit les données qui permettront l'interprétation du réservoir ou de l'intervalle de formation carottée. Et elle est divisée en deux catégories ; l'analyse conventionnelle et l'analyse spéciale.

- L'analyse conventionnelle comprend les tests qui déterminent :
  - Lithologie
  - Porosité de la roche
  - Perméabilité de la roche
  - Saturation de l'effluent contenu dans la roche.

- L'analyse spéciale de la carotte inclut un nombre de tests plus sophistiqués que ceux réalisés dans l'analyse conventionnelle.

### I.6.5 Observations des carottes

Le relevé détaillé des carottes de sondage n'est réalisable que si les carottes sont de bonne qualité. Les fragments doivent être parfaitement jointifs. Pour cette raison, il doit être effectué immédiatement après l'extraction de la carotte, avant le prélèvement d'échantillons pour les analyses pétrographique et physico-chimiques.

Les observations à réaliser sont classées en trois catégories : la lithologie ; analyse des variations des constituants et de la granulométrie ; les structures sédimentaires ; distribution des feuillets sédimentaires, des surfaces de discontinuités ; les éléments tectoniques ; relevé des fractures, des stries de friction, des indices de failles, etc. (RUHLAND, 1969 et 1973).

Différentes méthodes sont utilisées pour l'analyse détaillée des structures visibles sur carottes parmi eux, la photographie tournante (360° ; 360° vue plane) faite par une appareil spéciale pour cette dernière. Elle constitue la méthode d'observation la plus complète et plus fidèle (Fig. Annexe.9).



**Fig. Annexe. 13 :** Exemple de photographie sous Lumière Blanche/Ultraviolet et de photographie 360° Vue plane.

## ANNEXE 2

### I. Etude pétrophysique

#### I.1 Résultats des mesures pétrophysiques des puits A, B, C et D

##### *P U I T S " A "*

Echantillon N°	Cotes (m)	Perméabilité en mD	Porosité en %	Echantillon N°	Cotes (m)	Perméabilité en mD	Porosité en %	Echantillon N°	Cotes (m)	Perméabilité en mD	Porosité en %	Echantillon N°	Cotes (m)	Perméabilité en mD	Porosité en %
1-1	3253,35	0,010	2,99	2-17	3268,60	0,025	6,52	4-5	3288,88	0,099	6,56	6-5	3312,02	0,232	6,69
1-2	3254,03	0,010	3,21	2-18	3269,11	0,039	6,13	4-1V	3282,53	0,059	2,76	6-7	3312,47	0,306	7,04
1-3	3254,74	0,010	1,59	2-1V	3260,97	0,021	4,68	4-2V	3288,97	0,064	6,53	6-8	3312,66	0,242	5,45
1-4	3255,17	0,010	4,46	2-2V	3262,95	0,025	5,81	5-1	3298,85	0,338	6,31	6-9	3313,32	0,044	8,54
2-1	3260,44	0,098	6,67	2-3V	3264,97	0,054	5,86	5-2	3299,03	0,418	4,80	6-10	3313,54	0,049	11,09
2-2	3261,22	0,652	5,93	2-4V	3265,95	0,039	3,70	5-3	3299,33	0,054	5,53	6-11	3314,44	0,025	7,27
2-3	3262,06	0,234	5,14	2-5V	3268,69	0,044	7,18	5-4	3300,50	0,447	5,56	6-12	3314,67	0,025	7,52
2-4	3262,55	0,039	5,91	3-2	3278,31	0,074	5,27	5-5	3301,54	0,234	6,02	6-13	3314,85	0,025	6,70
2-5	3263,12	0,030	6,71	3-3	3278,58	0,045	2,67	5-6	3302,67	0,005	5,75	6-14	3315,03	0,030	7,38
2-6	3263,91	0,044	4,30	3-4	3278,90	0,069	3,08	5-7	3303,39	0,123	6,65	6-15	3315,25	0,094	7,73
2-7	3264,06	0,039	5,60	3-5	3279,11	0,499	4,10	5-8	3303,86	0,084	5,99	6-16	3315,65	0,050	3,62
2-8	3264,53	0,029	4,89	3-6	3279,40	0,059	4,41	5-9	3305,18	0,099	4,59	6-17	3315,87	0,482	4,76
2-9	3264,75	0,025	5,29	3-7	3279,75	0,395	4,50	5-1V	3298,92	0,286	5,28	6-18	3316,02	1,667	5,06
2-10	3265,02	0,020	6,03	3-8	3280,04	0,652	4,82	5-2V	3299,92	0,637	4,72	6-19	3316,28	3,795	5,67
2-11	3265,64	0,054	6,65	3-1V	3278,95	0,044	3,62	5-3V	3301,34	0,209	5,79	6-20	3316,50	3,894	6,46
2-12	3265,88	0,030	4,82	3-2V	3279,97	0,054	4,52	5-4V	3303,95	0,130	5,68	6-21	3317,12	1,608	5,97
2-13	3266,16	0,034	5,76	4-1	3281,72	0,044	4,15	6-1	3311,03	0,044	3,62	6-23	3317,83	0,040	6,02
2-14	3266,58	0,034	6,30	4-2	3282,17	0,074	3,58	6-2	3311,34	0,463	6,97	6-24	3318,03	0,737	9,44
2-15	3267,84	0,010	1,52	4-3	3282,47	0,070	2,98	6-3	3311,57	0,626	6,22	6-25	3318,27	1,153	12,98
2-16	3268,10	0,029	6,58	4-4	3286,22	0,054	6,36	6-4	3311,77	0,735	5,64	6-26	3318,53	0,099	4,18

6-27	3319,03	0,519	9,92	7-32	3329,48	0,040	4,88	7-17v	3336,60	0,629	6,18	9-6v	3353,68	0,005	5,45
6-28	3319,31	0,220	9,83	7-33	3329,77	0,020	3,68	8-1	3338,42	0,025	3,40	9-7v	3354,85	0,015	2,02
6-29	3319,69	0,307	10,87	7-34	3329,97	0,030	4,01	8-2	3339,06	0,020	4,64				
6-1V	3311,80	0,236	6,18	7-35	3330,02	0,050	4,39	8-3	3339,30	0,020	5,29				
6-2V	3312,61	0,304	7,13	7-36	3330,34	0,065	4,83	8-5	3340,46	0,010	1,37				
6-3V	3313,35	0,233	11,70	7-37	3330,77	0,374	6,52	8-6	3340,88	0,025	2,11				
6-4V	3314,95	0,131	7,00	7-38	3331,02	0,162	5,76	8-7	3341,35	0,010	2,37				
6-5V	3315,50	0,145	5,03	7-39	3331,42	0,239	6,84	8-8	3341,80	0,434	1,46				
6-6V	3316,94	2,343	6,22	7-40	3332,03	0,160	8,35	8-10	3342,29	0,010	0,88				
6-7V	3317,95	0,924	3,46	7-41	3332,28	0,345	11,30	8-1v	3338,87	0,044	3,18				
6-8V	3319,76	0,113	9,40	7-42	3332,48	0,186	4,76	8-2v	3339,21	0,009	5,79				
7-1	3320,03	0,040	3,54	7-44	3333,02	0,418	5,55	8-3v	3340,93	0,010	2,42				
7-2	3320,27	0,045	4,44	7-45	3333,27	1,873	7,94	8-4v	3341,52	0,010	7,20				
7-3	3320,46	0,137	4,93	7-46	3333,51	3,538	8,68	9-1	3343,34	0,009	1,46				
7-4	3320,75	1,018	8,95	7-47	3333,75	12,638	9,58	9-2	3344,18	0,009	0,81				
7-5	3321,02	3,566	9,13	7-48	3334,03	6,611	7,80	9-3	3344,43	0,005	1,20				
7-6	3321,28	1,938	9,32	7-49	3334,48	7,593	9,05	9-4	3344,79	0,020	6,46				
7-7	3321,55	0,222	7,46	7-50	3334,76	8,565	9,96	9-5	3345,03	0,004	1,15				
7-8	3321,75	0,296	7,04	7-51	3335,03	5,564	11,39	9-6	3345,64	0,039	1,18				
7-9	3322,17	0,310	6,48	7-52	3335,30	7,034	11,13	9-7	3347,05	0,044	6,19				
7-10	3322,68	0,222	5,89	7-53	3335,55	6,084	9,49	9-8	3347,47	0,015	4,40				
7-11	3322,91	0,179	4,81	7-54	3335,82	2,354	8,78	9-10	3348,62	0,026	4,84				
7-12	3323,36	0,221	7,66	7-55	3336,12	3,316	8,01	9-11	3348,86	0,015	2,74				
7-13	3323,62	0,369	8,74	7-56	3336,39	2,840	7,46	9-12	3349,13	0,031	4,36				
7-14	3324,03	0,711	8,16	7-57	3336,68	0,560	6,41	9-14	3349,72	0,015	2,42				
7-15	3324,34	0,177	8,83	7-1v	3320,95	1,047	7,95	9-15	3350,80	0,010	2,08				
7-16	3324,59	0,459	9,71	7-2v	3321,95	0,344	7,57	9-16	3351,04	0,015	1,01				
7-17	3324,85	0,148	8,71	7-3v	3322,95	0,278	6,10	9-17	3351,48	0,040	3,66				
7-18	3325,03	0,209	8,59	7-4v	3323,93	4,686	7,96	9-18	3351,72	0,035	5,29				
7-19	3325,25	1,105	8,79	7-5v	3324,95	7,722	8,97	9-19	3352,08	0,015	3,17				
7-20	3325,55	0,555	8,61	7-6v	3325,77	2,649	8,23	9-20	3352,35	0,088	5,20				
7-21	3326,02	0,205	7,33	7-7v	3326,81	0,622	8,07	9-21	3353,49	0,176	4,20				
7-22	3326,31	0,397	8,66	7-8v	3327,41	0,177	7,58	9-22	3353,77	0,005	3,40				
7-23	3326,56	0,278	5,98	7-9v	3328,85	0,148	6,58	9-23	3354,05	0,063	1,97				
7-24	3326,91	0,218	7,59	7-10v	3329,03	0,178	4,39	9-24	3354,46	0,020	2,52				
7-25	3327,04	0,249	7,55	7-11v	3330,94	0,295	7,05	9-25	3354,93	0,020	2,17				
7-26	3327,93	0,058	3,39	7-12v	3331,95	0,236	7,76	9-1v	3343,59	0,010	0,02				
7-28	3328,26	0,035	4,07	7-13v	3332,95	0,637	6,15	9-2v	3347,14	0,015	6,99				
7-29	3328,56	0,061	5,65	7-14v	3333,93	5,590	8,39	9-3v	3348,74	0,015	3,06				
7-30	3328,77	0,035	7,80	7-15v	3334,92	9,100	9,88	9-4v	3349,90	0,010	3,39				
7-31	3329,13	0,075	7,67	7-16v	3335,93	5,541	8,34	9-5v	3351,75	0,078	6,24				

## PUITS " B "

1-4	3239,51	0,632	3,42	4-9	3274,1	0,13	2,7	6-16	3300,69	0,052	1,7	7-13	3316,81	0,026	1,75
1-5	3239,78	0,114	3,82	4-10	3275,61	0,068	4,79	6-17	3301,02	0,025	3,11	7-14	3317,6	0,015	2,44
1-6	3240,02	0,084	4,07	4-11	3275,89	0,021	3,2	6-18	3301,24	0,062	2,55	7-15	3318,02	0,01	1,58
1-7	3240,34	0,852	4,93	4-12	3276,14	0,021	2,6	6-19	3301,51	0,051	5,98	7-16	3318,6	0,01	2,32
1-8	3240,79	0,817	7,13	4-13	3276,37	0,016	2,87	6-20	3301,75	0,026	2,68	7-17	3318,8	0,073	5,14
1-9	3241,02	0,078	6,88	4-14	3276,52	0,021	4,66	6-21	3302,03	0,046	4,5	7-18	3319,03	0,037	2,51
1-11	3241,57	0,036	3,92	4-15	3276,88	0,016	1,43	6-23	3302,58	0,021	2,57	7-20	3320,58	0,016	0,28
1-12	3241,79	0,042	3,22	4-16	3277,09	0,021	2,06	6-25	3303,38	0,051	4,42	7-21	3320,8	0,009	0,41
1-13	3242,15	0,062	7,1	4-19	3278,41	0,088	3,99	6-26	3303,73	0,057	4,09	7-22	3321,12	0,016	2,86
1-1v	3239,95	0,26	3,93	4-20	3278,55	0,063	3,12	6-28	3304,27	0,056	3,18	7-24	3322,08	0,042	2,21
1-2v	3240,95	2,682	5,36	4-21	3278,81	0,128	3,5	6-29	3304,6	0,046	4,17	7-25	3322,3	0,053	7,64
2-2	3243,45	0,052	4,82	4-22	3279,02	0,161	5,49	6-34	3306,51	0,067	6,73	7-26	3322,61	0,058	5,98
2-3	3243,83	0,113	6,83	4-23	3279,24	0,035	1,68	6-35	3306,84	0,051	4,71	7-27	3322,91	0,036	2,18
2-5	3246,66	0,042	4,39	4-1v	3273,36	0,17	5,42	6-37	3307,32	0,051	6,18	7-28	3323,03	0,026	1,89
2-6	3247,08	0,041	3,47	4-2v	3274,15	0,382	5,32	6-39	3308,57	0,116	10,26	7-29	3323,3	0,016	2,67
2-7	3247,43	0,142	3,52	4-3v	3276,04	0,04	6,19	6-40	3308,84	0,125	10,31	7-30	3323,59	0,011	4,25
2-9	3248,04	0,148	4,74	4-4v	3277,14	0,031	3,15	6-41	3309,06	0,042	6,13	7-31	3323,95	0,016	1,63
2-10	3249,08	0,088	4,4	4-5v	3278,45	0,042	3,08	6-42	3309,3	0,031	4,22	7-32	3324,14	0,052	5,52
2-11	3249,35	0,425	2,1	5-1	3290,13	0,015	1,17	6-43	3309,53	0,051	5,53	7-33	3324,42	0,037	4,23
2-12	3250,02	0,939	6,11	5-3	3290,83	0,067	4,98	6-44	3309,8	0,148	8,69	7-34	3325,04	0,026	5,73
3-1	3257,77	0,068	2,73	5-5	3291,25	0,066	6,39	6-45	3310,02	1,049	5,22	7-1v	3312,95	0,023	6,16
3-2	3258,73	0,488	5,56	5-6	3292,2	0,01	1,71	6-46	3310,56	0,328	7,8	7-2v	3313,86	0,013	0,32
3-3	3259,21	0,047	1,74	5-1v	3292,95	0,046	1,27	6-1v	3295,95	0,029	3,85	7-3v	3314,93	0,054	2,33
3-4	3259,65	0,057	2,24	6-1	3294,11	0,026	1,08	6-2v	3297,95	0,015	0,52	7-4v	3315,68	0,039	0,1
3-5	3260,25	0,109	3,05	6-2	3294,48	0,031	2,05	6-3v	3299,93	0,026	5,48	7-6v	3322,94	0,026	3,07
3-11	3262,19	0,077	4,41	6-3	3294,7	0,015	1,37	6-4v	3300,95	4,023	7,71	7-7v	3323,64	0,016	2,94
3-12	3262,9	0,088	3,5	6-4	3295,15	0,016	2,17	6-6v	3302,9	0,082	3,1	7-8v	3324,87	0,01	4,81
3-13	3263,13	0,147	4,24	6-5	3295,75	0,01	0,92	6-7v	3303,95	0,023	2,62	7-4	3313,02	0,112	4,97
3-20	3268,23	0,059	2,77	6-8	3297,3	0,026	1,44	6-8v	3304,95	0,061	4,26	7-5	3313,29	0,015	8,04
3-1v	3259,43	2,278	9,63	6-9	3297,56	0,052	6,15	6-10v	3306,95	0,03	5,33	7-6	3313,52	0,026	4,02
3-2v	3261,45	0,098	6,8	6-10	3298,25	0,024	2,45	6-11v	3308,95	0,046	6,22	7-7	3313,83	0,01	1,15
4-1	3268,8	0,118	3,83	6-11	3299,25	0,016	1,65	6-12v	3311,95	0,038	3,86	7-8	3315,1	0,015	0,51
4-2	3270,4	0,183	1,68	6-12	3299,59	0,042	3,13	7-1	3312,07	0,073	8,22	7-9	3315,54	0,036	1,19
4-7	3273,56	0,906	5,2	6-14	3300,05	1,521	6,44	7-2	3312,63	0,032	6,62	7-10	3315,8	0,051	0,8
4-8	3273,84	0,088	2,13	6-15	3300,28	0,112	4,66	7-3	3312,88	0,025	5,55	7-11	3316,13	0,064	3,04
												7-12	3316,43	0,048	4,16

## PUITS " C "

1-1	3242,23	0,011	0,39	10v	3253,98	0,009	4,88	6v	3263,95	0,132	9,09	6	3324,16	0,050	2,34
3	3243,81	0,027	9,23	2-1	3256,03	0,053	9,07	7v	3264,77	0,331	7,27	7	3324,40	0,026	1,37
5	3244,69	0,016	5,60	2	3256,27	0,032	7,13	8v	3265,20	0,921	9,56	8	3325,30	0,026	5,52
6	3245,02	0,032	6,52	3	3256,73	0,529	7,43	9v	3266,95	0,198	7,29	10	3326,10	0,063	2,31
7	3245,24	0,027	6,55	4	3257,24	0,397	7,45	3-1	3267,64	0,330	7,84	11	3326,59	0,016	2,17
9	3245,82	0,090	7,79	5	3257,51	0,133	8,09	2	3267,87	0,526	7,83	12	3326,80	0,016	3,98
10	3246,02	0,053	5,85	6	3257,78	0,863	10,54	1v	3267,92	0,411	6,54	13	3327,10	0,042	8,82
11	3246,27	0,021	5,22	7	3258,21	0,397	8,90	4-1	3271,20	0,796	7,22	14	3327,45	0,027	0,06
12	3246,54	0,016	8,14	9	3258,77	0,264	9,29	5-1	3295,24	0,359	14,98	15	3327,68	0,974	2,14
13	3246,77	0,048	8,88	10	3259,33	0,264	9,19	3	3297,43	14,016	7,03	16	3328,04	0,052	0,69
14	3247,16	0,053	7,08	11	3259,73	0,331	8,60	4	3297,97	9,669	6,95	17	3328,80	0,016	2,08
15	3247,76	0,063	7,46	12	3260,32	0,396	8,75	7	3300,61	0,197	8,28	1v	3321,95	1,246	6,10
16	3248,03	0,026	8,05	13	3260,63	0,265	9,37	8	3300,87	1,124	7,66	2v	3327,17	0,196	8,99
17	3248,33	0,263	8,17	14	3260,90	0,132	7,61	9	3302,05	0,662	4,937	3v	3328,90	0,010	1,66
18	3248,52	0,037	9,38	15	3261,03	0,198	5,74	10	3303,19	0,460	5,789	8-1	3330,59	0,021	0,42
19	3249,13	0,860	7,55	16	3261,51	0,265	7,60	1v	3297,75	17,784	6,929	2	3331,05	2,684	2,12
21	3249,83	0,530	7,88	17	3262,10	0,196	8,27	2v	3300,96	0,330	7,179	3	3331,38	0,027	2,39
22	3250,05	0,106	7,80	18	3262,43	0,198	7,05	6-4	3306,94	0,526	6,29	4	3331,63	0,070	1,76
24	3250,73	0,080	8,42	19	3262,68	0,132	8,21	9	3308,48	3,934	8,84	5	3332,21	0,027	1,80
25	3251,03	0,048	7,90	20	3263,05	0,264	7,46	10	3309,02	5,902	8,85	6	3332,75	0,016	0,64
26	3251,32	1,081	7,10	21	3263,31	0,143	7,15	11	3309,29	5,361	9,47	7	3333,04	0,027	1,37
27	3251,58	0,053	6,81	23	3263,82	0,185	8,14	12	3309,61	3,761	9,18	8	3333,34	0,054	1,67
28	3251,89	0,037	7,60	24	3264,03	0,132	7,94	13	3309,83	4,294	8,63	9	3333,59	1,006	2,55
29	3252,06	0,052	6,82	25	3264,26	0,331	8,49	14	3310,03	9,027	9,35	10	3334,89	0,470	7,41
30	3252,30	0,037	7,79	26	3264,51	0,132	4,99	15	3310,25	11,243	8,29	11	3335,02	0,201	3,87
31	3252,62	0,048	8,98	27	3265,03	0,397	8,55	16	3310,58	18,738	8,16	12	3335,27	0,134	2,98
32	3253,06	0,530	8,14	28	3265,36	0,198	6,98	17	3311,35	5,363	9,03	14	3336,49	0,336	2,15
33	3253,27	0,021	6,03	29	3265,57	0,264	7,31	18	3311,70	1,182	7,97	16	3337,35	0,918	1,94
34	3253,76	0,527	8,88	30	3265,82	0,330	6,87	19	3312,22	5,394	10,51	17	3338,12	0,021	0,66
1v	3244,93	0,265	6,43	31	3266,11	0,021	7,05	20	3313,22	0,037	5,88	1v	3332,31	0,048	2,42
2v	3245,95	0,042	6,67	32	3266,36	0,396	6,83	21	3313,89	0,011	1,79	2v	3333,64	0,097	2,10
3v	3246,94	0,371	8,75	33	3266,59	0,264	6,21	22	3315,13	0,053	8,53	3v	3334,95	0,075	7,60
4v	3247,91	0,021	6,59	34	3266,84	0,330	6,92	23	3315,53	0,021	1,17	4v	3336,95	0,043	5,75
5v	3248,94	0,199	7,95	1v	3256,96	0,264	6,60	1v	3308,94	5,352	8,85	5v	3337,61	0,027	1,45
6v	3249,94	0,021	7,41	2v	3257,62	0,860	8,07	2v	3309,91	5,238	8,775	9-1	3340,03	0,088	2,31
7v	3250,93	0,042	6,21	3v	3258,96	0,132	9,51	7-2	3321,90	1,433	6,22	2	3340,29	0,107	5,19
8v	3251,95	0,026	7,41	4v	3260,95	0,266	6,51	3	3322,64	0,655	6,21	3	3340,64	0,160	4,82
9v	3252,19	0,021	6,23	5v	3262,96	0,526	6,40	5	3323,68	0,031	0,87	4	3341,29	4,377	6,07
5	3341,70	0,042	1,34	12	3343,52	0,064	1,59	19	3346,31	0,185	8,28	2v	3342,62	0,030	3,29

6	3341,93	0,067	1,23	13	3343,78	0,080	1,29	20	3346,64	0,133	8,69	3v	3343,92	0,060	2,46
7	3342,32	0,214	5,75	14	3344,69	0,103	2,02	21	3346,92	0,080	9,10	4v	3344,97	0,040	1,30
8	3342,55	8,184	3,85	15	3345,04	0,051	1,45	22	3347,03	0,069	9,15	5v	3345,62	0,032	1,36
9	3342,81	3,806	3,98	16	3345,27	0,053	1,51	23	3347,70	0,080	8,16	6v	3346,96	0,080	9,36
10	3343,04	0,069	2,44	17	3345,55	0,042	0,83	24	3347,91	0,080	8,59	7v	3347,48	0,108	9,16
11	3343,28	0,096	2,02	18	3346,06	0,053	6,72	1v	3341,96	0,052	2,00				

### ***P U I T S " D "***

1-1	3239,65	0,0201	8,07	7	3250,38	0,0202	6,22	5-1	3264,92	0,0402	6,51	2	3283,75	8,4217	10,77
2	3240,43	0,0151	7,16	4-1	3251,78	0,0251	5,52	2	3265,30	0,1101	7,72	8-1	3289,05	0,1260	6,90
2-1	3241,51	0,0150	8,43	2	3253,47	0,0352	8,20	3	3270,51	2,1858	9,00	2	3290,30	0,0953	6,01
2	3242,50	0,0201	6,41	3	3254,13	0,0151	6,31	6-1	3273,13	0,0401	9,39	3	3293,85	1,1732	7,48
3-1	3243,80	0,0201	8,23	4	3255,27	0,0171	7,82	2	3276,78	9,0180	7,43	4	3298,90	0,0702	6,90
2	3244,59	0,0302	6,65	5	3257,45	0,0602	7,90	3	3277,56	0,1253	6,90				
3	3245,33	0,0100	6,74	6	3258,23	0,2801	8,45	4	3278,70	0,0455	10,25				
4	3246,47	0,0302	5,74	7	3259,76	0,0502	4,78	5	3279,44	0,0401	7,91				
5	3248,25	0,0252	7,92	8	3260,90	0,0552	4,64	6	3280,23	0,0752	7,88				
6	3249,45	0,0202	7,24	9	3261,11	0,0502	4,20	7-1	3282,95	9,9418	7,62				

## I.2 Notions de base

### I.2.1 Les propriétés pétrophysiques

La pétrophysique, comme l'indique l'étymologie du mot (du grec. petra, pierre et ê physikê, connaissance de la nature) est l'étude des propriétés des roches et de leurs interactions avec les fluides (gaz, des hydrocarbures liquides et des solutions aqueuses). Les propriétés pétrophysiques sont classées en trois groupes (Berg, 1986) :

*Classification des propriétés pétrophysiques des roches réservoirs, symboles et unités de mesures (Berg, 1986)*

Propriété primaire (définitive)	Propriété secondaire (dépendante)	Propriété tertiaire (latent)
Composition (%)	Porosité, $\phi$ (%)	Résistivité, $R$ ( $\Omega m$ )
Texture (mm)	Perméabilité, $K$ (md)	Spontaneous potentiel, SP (mV)
Structure sédimentaire (m)	Saturation, $S$ (%)	Radioactivité, $\gamma$ (counts/sec)
Morphologie (descriptive)	Densité, $\gamma$ ( $g/cm^3$ )	Sonic travel time, $\Delta t$ ( $\mu$ sec/ft)

**Les propriétés primaires (1<sup>er</sup> groupe)** sont fondamentales et exercent un contrôle important sur les autres propriétés du réservoir. Le contrôle des propriétés du premier groupe sur le deuxième est attesté par la porosité, qui est étroitement liée à la composition minérale, le type de ciment, les propriétés de la texture, la taille et le compactage des grains. Donc une connaissance des propriétés primaires pour un réservoir donné est souvent un indicateur, au moins de façon qualitative des propriétés secondaires. Le troisième groupe des propriétés pétrophysiques, englobe l'ensemble des propriétés mesurables lors des forages et grâce aux logs géophysiques (logs diagraphiques).

#### I.2.1.1 Porosité

La porosité est l'ensemble des volumes de petite taille, ou pores (du latin porus et du grec πορος, ou poros, passage, conduit ou trou), pouvant être occupés par des fluides à l'intérieur d'une roche (Selley, 1998) et selon Schlumberger, 1993, il existe plusieurs types de porosité.

##### I.2.1.1.1 Porosité totale ( $\phi_t$ )

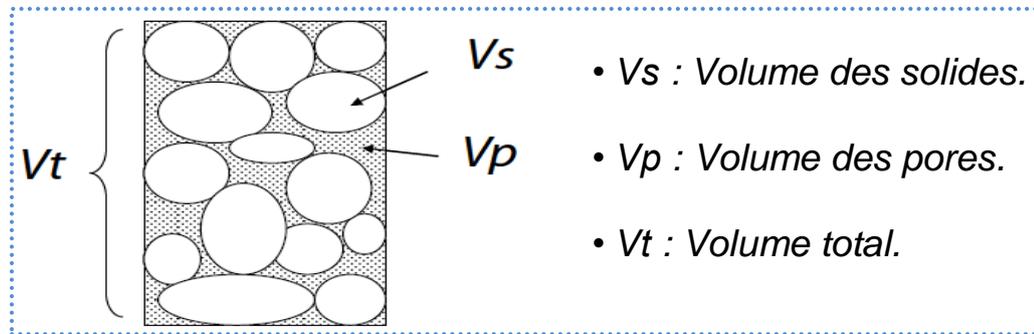
La porosité totale est le rapport du volume total des vides non occupés par des solides (pores, fissures, fractures, cavités) existant parmi les éléments minéraux des roches, au volume total de la roche (Schlumberger, 1993).

$$\phi_t = \frac{V_t - V_s}{V_t} \times 100\% = \frac{V_p}{V_t} \times 100\% \quad (\%) \dots \dots \dots (1)$$

Où :

- $\Phi_t$  = porosité totale en (%).
- $V_p$  = volume des espaces vides (pores), normalement occupés par des fluides (eau, pétrole, gaz) en  $\text{cm}^3$ .
- $V_s$  = volume occupé par les éléments solides en  $\text{cm}^3$ .
- $V_t$  = volume total de la roche en  $\text{cm}^3$ .

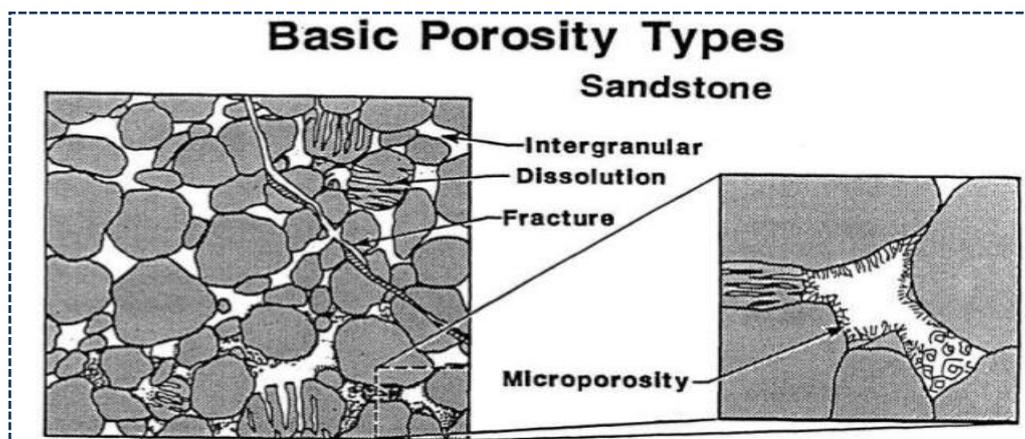
La porosité peut être mesurée en utilisant la combinaison de deux ou trois des paramètres ci dessous :



#### I.2.1.1.2 La Porosité Effective (Efficace)

Également dite porosité connecté, dynamique ou de drainage, qui est le volume des vides reliés à l'extérieur elle correspond à la partie de la porosité dans laquelle le fluide pourra circuler. Et selon (Schlumberger, 1993) est la porosité accessible aux fluides libres. Ceci exclut des espaces vides non connectés occupés par de l'eau absorbée ou de l'eau liée aux argiles.

En production pétrolière, on s'intéresse particulièrement à la porosité connectée, laquelle prend uniquement en compte les vides connectés entre eux et susceptible de contenir des fluides. Le vide existant entre les grains et les différents ciments a permis de mettre en évidence quatre types de réseaux poreux : Intergranulaire ; de dissolution, fissurale et microcristalline.



**Fig. Annexe. 1** : Présentation graphique de types de porosités.

### I.2.1.2 Perméabilité

Un milieu poreux ne permet pas le déplacement des fluides que dans la mesure où ses pores sont reliés entre eux, on dit alors que la roche est perméable. La perméabilité (k) est la capacité de circulation d'un fluide (liquide ou gaz) dans la formation. C'est une mesure de la vitesse d'écoulement d'un fluide à travers une surface donnée de formation pour un gradient de pression donné à travers ses parois.

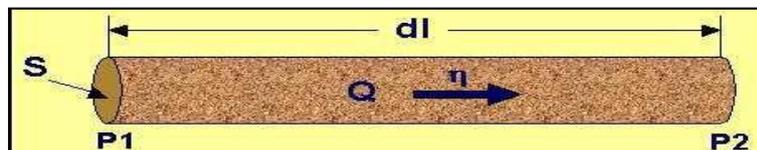
Elle est exprimée en milli darcy (mD) ou en Darcy. Contrairement à la porosité, la perméabilité dépend fortement de la taille des grains dans la roche. Les sédiments à gros grains ont une grande perméabilité, à grains fins, une basse perméabilité (Schlumberger, 1993).

La perméabilité est très importante car c'est une propriété de roches qui est liée aux taux auquel les hydrocarbures peuvent être récupérés. Les réservoirs à haut rendement ont souvent des valeurs de perméabilités de l'ordre de darcy. Elle est exprimée par la loi de Darcy suivante (3) :

$$Q = S \cdot K \frac{1}{\mu} \frac{dp}{dl} \quad \text{cm}^3/\text{s} \dots\dots\dots (3)$$

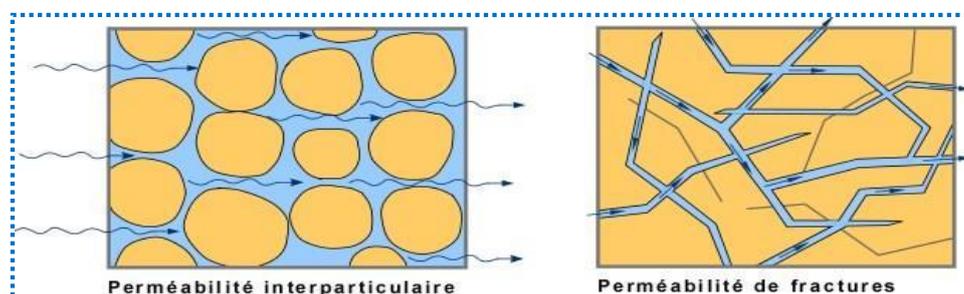
$$\frac{K}{\mu} = \frac{Q \cdot dl}{S \cdot dp} \quad \text{mD} \dots\dots\dots (4)$$

- Q : Débit d'écoulement de fluide [cm<sup>3</sup>/s].
- K : Perméabilité [mD].
- μ : viscosité du fluide en centipoise [cP].
- ΔP : Pression Différentielle [atm].
- dl : Longueur de l'échantillon [cm].
- S ou A : Surface de l'échantillon cylindrique [cm<sup>2</sup>].
- ΔP / dl : la chute de pression à travers toute la longueur de l'échantillon.



**Fig. Annexe. 2 :** Schéma explicite l'application de la loi de Darcy.

Le vide existant entre les grains et les différents ciments a permis de mettre en évidence deux types de perméabilités, Inteparticulaires et fractures (fissures) :



### I.2.1.3 Facteurs affectant la magnitude des paramètres pétrophysiques

Les propriétés pétrophysiques (porosité et perméabilité) des réservoirs sont influencées par de nombreux facteurs sédimentaires et hydrodynamiques des milieux. Les principaux phénomènes affectant les réservoirs sont généralement la composition initiale, la texture, la granulométrie, le contenu en Argile, l'histoire d'enfouissement et l'histoire diagénétique des sédiments (Pittman et Larese, 1991; Primmer et al.; Worden et al., 1997; Lander et Walderhaug, 1999; Rutter et Wanten, 2000; Milliken, 2001; Ajdukiewicz et Lander, 2010; Taylor et al., 2010).

**La bioturbation**, peut soit réduire la perméabilité et la porosité d'environ 30%, soit l'augmenter jusqu'à 35%. Les caractéristiques pétrophysiques des lithofaciès du réservoir dépendent aussi de la morphologie des traces fossiles, présence ou absence de garnitures de terriers, taille des terriers, nature des remplissages de terriers et intensité de la bioturbation dans différents environnements de dépôt.

Généralement, les propriétés de réservoir telles que la porosité et la perméabilité sont commandées par la taille et l'arrangement des pores et "Pore Throats" (McCreesh et al, 1991).

La perméabilité des roches des réservoirs pétroliers peut varier de 0,1 à 1000 millidarcies ou plus. Les réservoirs ayant une perméabilité inférieure à 1 mD sont considérés comme "tight" (compact).

Les porosités des réservoirs de pétrole s'étendent de 5% à 30%, mais sont plus souvent entre 10% et 20%. N'importe quelle porosité moins de 5% est très rarement commerciale, et n'importe quelle porosité plus de 30 %, qu'est extrêmement peu commun.

#### I.2.1.3.1 Facteurs affectant la magnitude de la perméabilité

- **Forme et taille des grains de sable** : la perméabilité augmente avec l'augmentation des tailles de grains.
- **Stratification** : les minéraux platys comme la muscovite et les stratifications de schiste agissent comme des barrières à la perméabilité verticale, (où la perméabilité sera considérablement réduite).
- **Fracturation et solution** : dans les roches de grès, la fracturation n'est pas une cause importante de la perméabilité secondaire, sauf lorsque les grès sont intercalés avec des schistes, des calcaires et des dolomites. Dans les carbonates, la dissolution des minéraux en percolant les eaux acides de surface et souterraines lors de leur passage le long des pores primaires, des fissures, des fractures et des bedding planes, augmente la perméabilité de la roche réservoir.

#### I.2.1.3.2 Facteurs affectant la magnitude de la porosité

Les facteurs régissant l'importance de porosité en sédiment clastique sont comme suit :

- **Uniformité de taille de grain :** L'uniformité ou le tri est la gradation des grains. Si de petites particules de silt ou d'argile sont mélangées à de plus grands grains de sable, la porosité (inter-communicante) efficace sera considérablement réduite, Ces réservoirs désignés sous le nom sales ou schisteux. Le tri dépend au moins de quatre facteurs principaux sont la gamme de taille du matériau, le type de dépôt, caractéristiques courantes, la durée du processus sédimentaire.
- **Degré de cimentation ou de consolidation :** Les grés (Sandstones) fortement cimentés ont des faibles porosités. (Le processus est essentiellement celui de remplir espaces vides de matériel minéral, qui réduisent la porosité).
- **Quantité de tassement/Compaction pendant et après le dépôt :** Le compactage a tendance à perdre des vides et à faire sortir le fluide pour rapprocher les particules minérales, en particulier les roches sédimentaires à grain plus fin.
- **Méthodes d'empilages :** Avec l'augmentation de la pression de terrains de recouvrement, les grains de sable angulaires mal triés montrent un changement progressif d'un tassement aléatoire à un tassement plus serré.

### **I.3 Méthode de mesure des paramètres pétrophysiques**

#### **I.3.1 Préparation des échantillons**

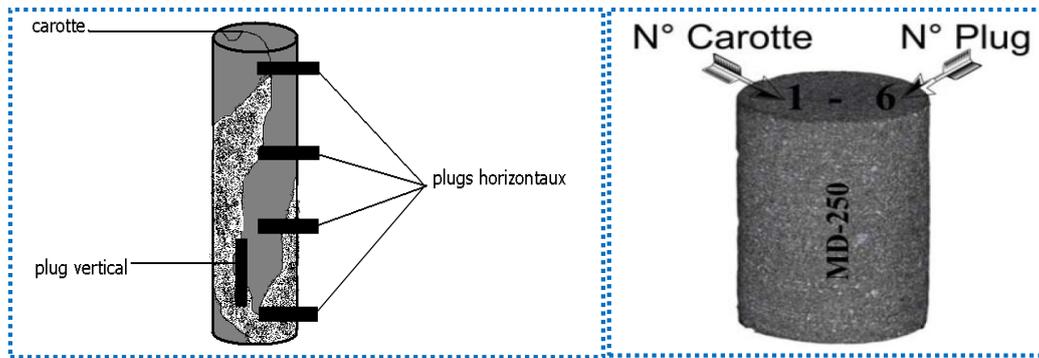
Par le prélèvement des différents types de plugs à partir des morceaux de carottes frais, subissant à une analyse fine et spéciale.

#### **I.3.2 Préparation des PLUGS**

Cette opération consiste à creuser une partie de carotte sous forme d'un cylindre "PLUG", dans la salle de préparation. On prend un plug chaque 25 cm avec une appareil appelée pluggeuse, puis on prend quatre plugs horizontaux et un plug verticale pour déterminer le sens de migration (perméabilité horizontale ou verticale dans la roche ou le réservoir).

#### **I.3.3 Les différents types des plugs (selon le diamètre) :**

On prélève un plug de 1" (pouce) pour mesurer la porosité, la perméabilité et la densité (dans les grés, calcaire ou dolomie), Avant le lavage des carottes voir, on doit réaliser un plug de 1.5" (pouce) horizontal chaque 1 m dans des zones gréseuses de la carotte, ces plugs seront destinés pour mesurer la saturation (huile, eau et gaz) et la mesure pétrophysique. Les plugs sont disposés dans l'ordre sur un plateau métallique accompagnés par une fiche qui comporte une série de colonnes des caractéristiques relatives au Plug pour répertorier le n° du plug, la profondeur, volume total, poids, longueur, diamètre...ect, avant ça il faut écrire sur le plug avec un encre de chine noire et indélébile le numéro d'ordre, le numéro de la carotte, le nom du puits.



**Fig. Annexe. 3 :** Schéma représente des plugs horizontaux, et vertical.

### I.3.4 Lavage et Séchage des plugs

Ils sont lavés dans des Soxhlets, à l'aide des solvants organiques (Toluène), pour l'extraction des hydrocarbures liquides présents dans les pores des échantillons. Ces mêmes échantillons ont été ensuite lavés au Méthanol pour l'extraction des sels dissous dans l'eau. Après le lavage ces derniers ont été placés pendant 24 heures dans une étuve pour séchage à 110°C, avant de les mettre dans le dessiccateur contenant du SILICAGEL à l'intérieur du quel un taux d'humidité de 40% a été réglé pour la stabilisation des poids des échantillons.



**Fig. Annexe. 4 :** Appareil de Soxhlet (utilisé dans l'extraction par Toluène et Méthanol).

### I.3.5 Méthode d'évaluation de la porosité

La porosité est déterminée par observation visuelle et mesures au laboratoire. La mesure de porosité au laboratoire nécessite la connaissance du volume total de l'échantillon et soit le volume des pores ou volumes des grains ( $V_s$ ) :

$$(V_p = V_t - V_s) \longrightarrow (\emptyset = (V_p / V_t) \times 100).$$

**Le volume total ( $V_t$ )** est mesuré à l'aide d'une pompe volumétrique à mercure, basée sur la loi d'Archimède. Et le volume des grains ( $V_s$ ) est mesuré par **l'ultra pore 300**, basée sur une équation qui dérive de la loi de Boyle.

### I.3.5.1 Méthode de déplacement volumétrique :

Le principe de base de cette méthode consiste à injecter le mercure dans les pores des échantillons sous des pressions relativement élevées. Un manomètre de lecture de pression est attaché au cylindre pour les lectures de pressions sous laquelle le fluide de mesure a été injecté à l'intérieur des pores. Le volume de mercure qui entre dans l'échantillon de carotte est obtenu à l'aide d'un instrument avec une précision supérieure à 0.01 cm<sup>3</sup>.

Cette méthode permet aussi de mesurer **le volume total d'un échantillon cylindrique de forme régulière ou irrégulière.**

Le volume total est obtenu par le déplacement d'un volume de Mercure par immersion d'un échantillon cylindrique dans la cellule. Le volume de Mercure déplacé par un échantillon est déterminé par gravimétrie (Archimedes principale).

- **La mesure du volume total (Vt)** de l'échantillon est obtenue au moyen d'une pompe à Mercure basée sur la loi d'Archimède à laquelle une chambre en acier inoxydable est attachée.

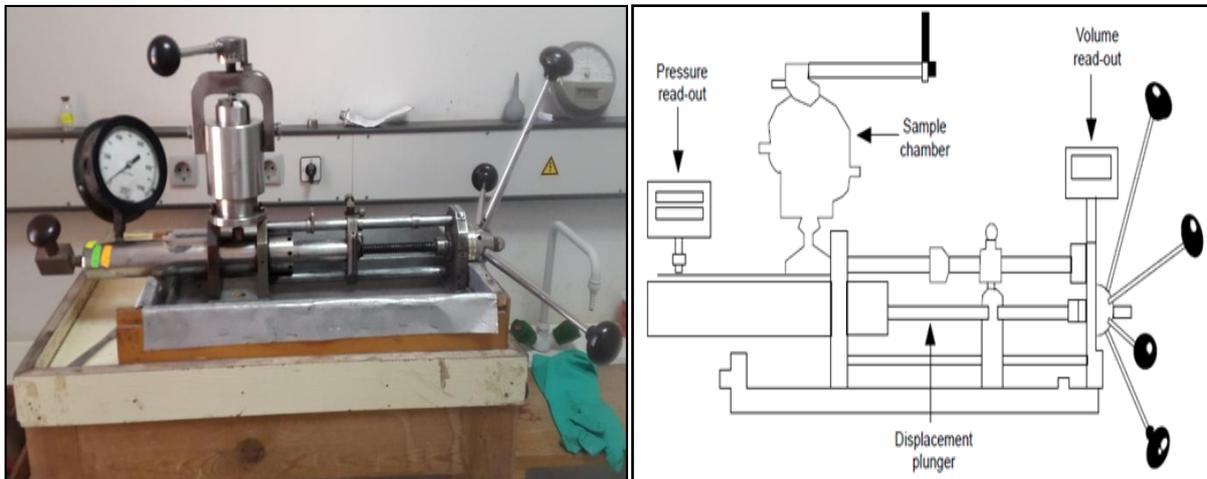


Fig. Annexe. 5 : La pompe volumétrique.

### I.3.5.2 Méthode d'expansion d'hélium par la loi de Boyle (ULTRA-PORE- 300)

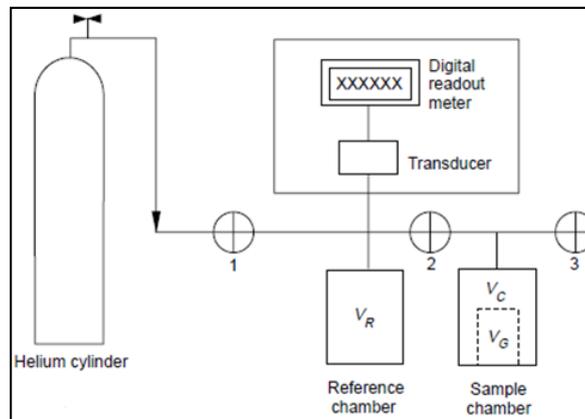
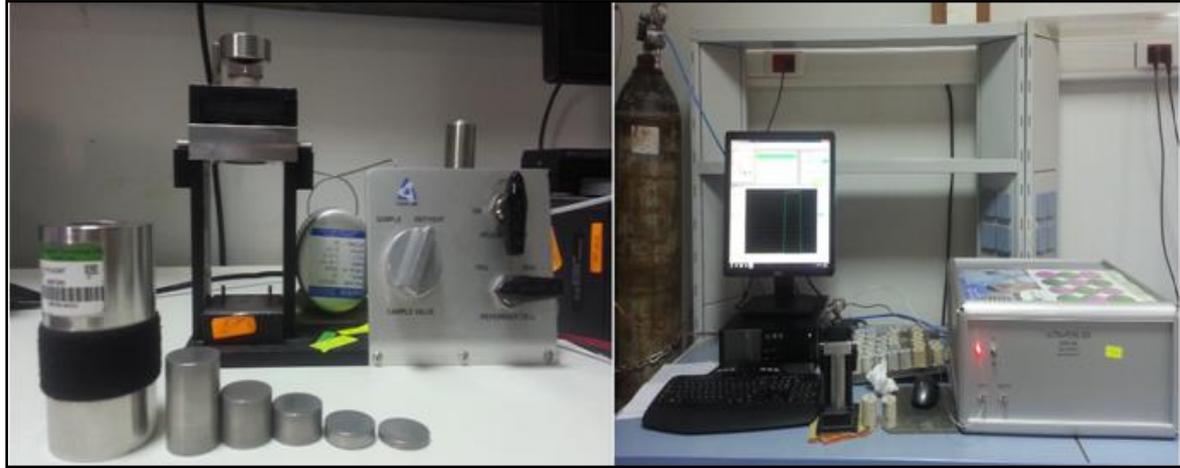
Le porosimètre UltraPore-300 est conçue pour déterminer les grains (Vs) ou pores volumes et la densité des échantillons de carotte, par la méthode d'expansion d'hélium dans les espaces poreux. Dans notre cas il est utilisé pour mesurer le volume solide (Vgrains) ou pore volume et la densité de la roche. La méthode la plus précise pour déterminer la porosité est la méthode d'expansion d'hélium.

L'échantillon séché est placé dans une chambre de volume connu, le grain volume (Vs) est calculé à partir du volume de chambre de référence et le système de pression finale par l'équation de la loi fondamentale des gaz parfaits. L'équation des grains volumes (Vs) suivante dérive de l'équilibre de volume de gaz dans la chambre référence et la chambre à échantillon :

$$P_1 V_1 = P_2 (V_r + V_{ch} - V_s) \longrightarrow V_s = V_r + V_{ch} - \frac{P_1 V_1}{P_2}$$

**P1** : pression amont ; **Vr** : Volume référence ; **V1** : Volume Initiale ; **P2** : Pression avale ; **Vch** : Volume chambre ; **V2** : Volume à l'expansion ; **Vs** : Volume de solides.

Le volume solide dérive de la loi de 'Boyle' appliqué à l'hélium avant et après fermeture des valves ci-dessous.



**Fig. Annexe. 6** : "Ultra Pore 300" configuré pour le grain volume ( $V_s$ ).

### I.3.6 Méthode d'évaluation de la perméabilité

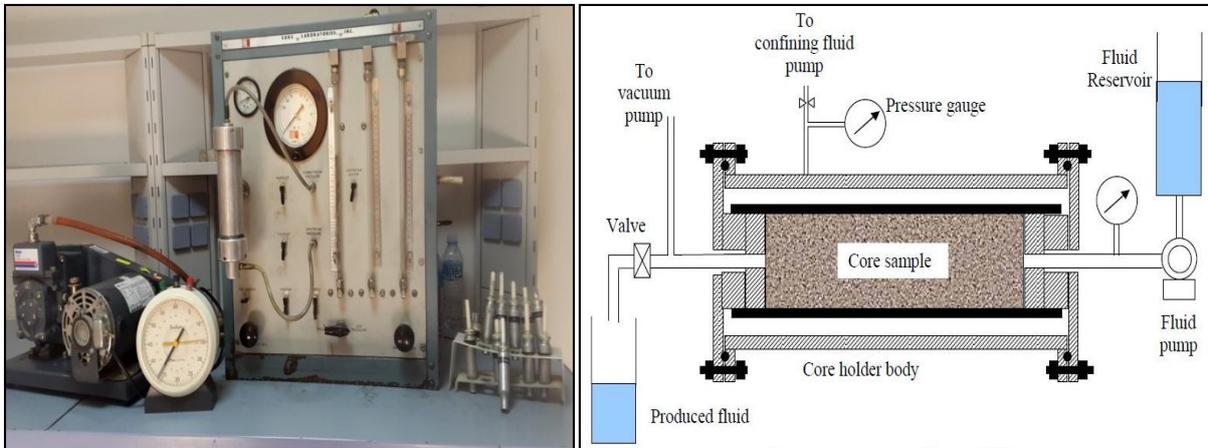
Cette mesure est effectuée à l'aide d'un Perméamètre conventionnel, de type CORELAB, Cet équipement permet de mesurer la perméabilité sur des échantillons, des plugs de 1" ou 1.5" (pouce), C'est un modèle très ancien, il fonctionne manuellement sous condition de laboratoire, il est réalisée sous une pression de confinement de 200 psi, et une pression initial de 80 psi.

La perméabilité est calculée à partir de l'équation qui dérive de la loi de DARCY appliquée aux gaz parfaits :

- **Ka** : perméabilité absolue.
- **C** : constante mercure (60).
- **Q** : débit (orifice de 0.030, 0.150, 0.50, 10.000, 20.492).
- **L** : longueur de l'échantillon.
- **H** : hauteur de l'eau lue directement sur le manomètre à l'eau.
- **S** : surface de la section traversée par le gaz cm<sup>2</sup>.

$$K_a = \frac{C \times Q \times L \times H}{200 \times S}$$

Les plugs sont placés verticalement dans un coreholdre 1" ou 1.5" (pouce) ou une pression de confinement de 200 psi est appliquée latéralement, on applique ensuite une pression 80 psi (azote) sur la partie inférieure de la coreholdre, cette pression passera à travers un réservoir d'eau qui agira sur le manomètre à eau si la valeur atteint 200 unités, on prend le lecteur sur un deuxième manomètre à mercure étalonné à partir de 60 unités référant aux 200 unités. Les échantillons (Plugs), sont orientés horizontalement pour éliminer l'effet de la gravité.



**Fig. Annexe. 7** : Perméamètre conventionnel, type CORELAB.