

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme :

MASTER

Présenté par :

KADDOUR Hichem

KASMI Aymen

Filière: Hydrocarbures

Option : Géologie Pétrolière

Thème

**CARACTERISATION SEDIMENTOLOGIQUE ET PETROPHYSIQUE
DU RESERVOIR ORDOVICIEN-UNITE IV-3
DU CHAMP IN ADAOUI-OHANET
BASSIN D'ILLIZI**

Devant le jury :

Mr. SADADOUI Moussa	MC (A)	UMBB	Président de jury
Mme. YSBAA Saadia	MA (A)	UMBB	Encadreur
Mr. BELHADI Ahmed	MC (A)	UMBB	Examineur
Mme. KECIR Arbia	MC (B)	UMBB	Examineur
Mme. YAHIAOUI Lamia	MC (B)	UMBB	Examineur



Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier Allah, tout puissant de nous avoir donné la force et le courage pour terminer ce modeste travail.

Nous remercions vivement l'enseignante «YESBAA Saadia », notre encadreur, pour son aide, ses conseils précieux et critiques pertinentes qu'elle nous a apportées durant la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions aussi tous les travailleurs de la Division de production (DP) Sonatrach surtout l'ingénieur géologue Nasser Fayçal.

Remercions également toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

Nous adressons aussi nos remerciements à tous nos enseignants et à tous nos collègues de notre promotion.

KADDOUR Hichem

&

KASMI Aymen

DEDICACE

*Pour chaque début il y a une fin, et ce qui est beau dans toute fin
c'est la réussite et l'atteinte du but.*

Je dédie ce modeste travail, fruit de très longues années d'étude à:

*Ceux qui méritent le plus ma reconnaissance, ma gratitude et mon
grand amour, ceux qui m'ont apporté toujours soutien et bonheur
dans la vie :*

*Pour toi, très chère mère, pour toi très respectueux père, vous les
plus chers de mon cœur, vous qui m'aviez entouré de nobles
sentiments et vous êtes la source de mon courage et mon inspiration.*

*Pour les belles choses dans ma vie : mes chères Djana et Hanane
Pour vous, très chers mes frère : Yacine, Aymen, Amine, Islam.*

*A tous mes chères amis qui ont montrés le sens de l'amitié : Youcef,
Hichem, Djamel, Moustafa, Sadik, Amine, Walid, Khaled, Younes,
Hakim, ainsi que tous mes amis sans exception.*

*A mon binôme Aymen qui a toujours été présents et qui n'a ménagé
aucun effort pour la réalisation de ce modeste travail avec ses
suggestions et ses idées surprenantes.*

A ma grande famille : KADDOUR.

A tous les enseignants et les étudiants de géologie pétrolière.

KADDOUR Hichem



DEDICACE

*Pour chaque début il y a une fin, et ce qui est beau dans toute fin
c'est la réussite et l'atteinte du but.*

Je dédie ce modeste travail, fruit de très longues années d'étude à :

*Ceux qui méritent le plus ma reconnaissance, ma gratitude et mon
grand amour, ceux qui m'ont apporté toujours soutien et bonheur
dans la vie :*

*Pour toi, très chère mère, pour toi très respectueux père, vous les
plus chers de mon cœur, vous qui m'aviez entouré de nobles
sentiments et vous êtes la source de mon courage et mon inspiration.*

Pour les belles choses dans ma vie : mes chères Manel et Ikram.

*A tous mes chères amis qui ont montrés le sens de l'amitié : Aissa,
Choki, Ikkal, Raouf, Hamid. Ainsi que tous mes amis sans
exception.*

*A mon binôme Hichem qui a toujours été présents et qui n'a ménagé
aucun effort pour la réalisation de ce modeste travail avec ses
suggestions et ses idées surprenantes*

A ma grande famille : KASMI.

A tous les enseignants et les étudiants de géologie pétrolière.

KASMI Aymen

SOMMAIRE

Remerciements	I
Dédicace.....	II
Sommaire	III
Liste des figures.....	IV
Liste des Tableaux.....	V
Liste des abréviations.....	VI
INTRODUCTION	01
METHODOLOGIE	02

CHAPITRE I : GENERALITES

I. Généralités sur le bassin d'Illizi	03
II. Historique de l'exploration du bassin d'Illizi.....	03
III. Cadre géologique	06
III.1. Situation géographique.....	06
III.2. Situation géologique.....	06
III.3. Stratigraphie.....	08
III.4. Aspect structural et tectonique.....	11

CHAPITRE II : ETUDE DU CHAMP « IN ADAOUI-OHANET »

I. Synthèse des travaux réalisés dans la région d'In Adaoui	15
II. Cadre géologique de la région.....	18
II.1. Situation géographique	18
II.2. Situation géologique.....	18
II.3. Stratigraphie	20
II.3.a. Le socle	20
II.3.b. Le Paléozoïque	20
II.3.c. Le Mésozoïque	23
II.4. Aspect structural et tectonique.....	26
II.4.a. Cadre Structurale	26
II.4.b. Tectonique.....	27
III. Aspect pétrolier de la région d'étude.....	31
III.1. Les roches mères	31

SOMMAIRE

III.2. Les roches couvertures	32
III.3. Les roches réservoirs	32
III.4. Types de pièges	33

CHAPITRE III : CARACTERISATION SEDIMENTOLOGIQUE

I. Introduction	34
II. Approche sédimentologique.....	35
II.1. Les Limites de l'unité IV-3 (dalle terminale)	35
II.2. Les Limites de l'unité IV-2 (ensemble inférieur).....	36
II.3. Description Lithologique de l'unité IV-3	37
II.4. Description lithologique de l'Unité IV-2.....	37
III. Interprétation sédimentologique des données des carottes	39
III.1 Interprétation sédimentologique du puits IA-106.....	39
III.2. Interprétation sédimentologique du puits IA-111	40
III.3. Interprétation sédimentologique du puits IA-107	43
III.4. Conclusion sur l'interprétation sédimentologique	45
IV. Etude sédimentologique, pétrographique et diagénétique	46
IV.1. Introduction	46
IV.2. Analyse sédimentologique.....	50
IV.2.a. Analyse des faciès sédimentaires	50
IV.2.b. Systèmes de dépôts	56
IV.3. La Biostratigraphie.....	58
IV.3.a. Introduction.....	58
IV.3.b. Méthodologie.....	58
IV.3.c. Résultats.....	58
IV.3.d. Conclusion sur la biostratigraphie	67
IV.4. Etude pétrographique et diagénétique.....	68
IV.4.a. Introduction.....	68
IV.4.b. Texture	71
IV.4.c. Les Minéraux Détritiques	71
IV.4.d. Les Minéraux authigènes.....	74
IV.4.e. Les ciments	76
IV.4.f. Etude des phénomènes diagénétiques.....	78
IV.4.g. La Porosité.....	80
IV.4.h. Les Traces des hydrocarbures.....	85
IV.5. Conclusion.....	86

SOMMAIRE

V. Résultats sédimentologique (stratigraphie séquentielle).....	87
V.1. Introduction.....	87
V.2. Découpage séquentiel et interprétation	87

CHAPITRE IV : ETUDE PETROPHYSIQUE DU RESERVOIR

I. Introduction	90
II. Généralités.....	91
II.1. La porosité	91
II.2. La perméabilité.....	92
III. Distribution des paramètres pétrophysiques dans l'unité IV-3 de l'Ordovicien... 	93
III.1. Distribution de la porosité	93
III.2. Distribution de la perméabilité.....	99
IV. Analyse des paramètres pétrophysiques du réservoir Ordovicien unité IV-3.....	101
IV.1. Introduction	101
IV.2. Méthodologie.....	101
IV.3. Interprétation des diagrammes de la porosité et de la perméabilité.....	102
IV.4. Détermination de la limite industrielle (cut-off).....	106
V. Conclusion sur les caractéristiques pétrophysiques du réservoir d'unité IV-3 de l'Ordovicien.....	106
VI. Interprétation des résultats des paramètres pétrophysiques	107
VI.1. Détermination lithologique.....	107
VI.2. Identification de la matrice.....	107
VI.3. Détermination de la porosité primaire.....	111
VI.4. Conclusion.....	112

CHAPITRE V : TREND-ANALYSE DES PARAMETRES DU RESERVOIR

I. Introduction.....	113
II. Méthodologie.....	113
II.1. Lissage par la méthode des moindres carrés.....	113
II.2. Les étapes de traitement géostatistique des paramètres du réservoir	116
III. Détermination des trends	117
IV. Interprétation des résultats	118
IV.1. Interprétation des cartes des Trends et des anomalies	118
IV.2. Conclusion sur la distribution des anomalies	119

SOMMAIRE

IV.3. Interprétation de la carte de zonation.....	126
IV.3.a. Etablissement du tableau de catégorie.....	126
IV.3.b. Interprétation de la répartition des anomalies.....	126
CONCLUSION GENERALE	129
RECOMMANDATIONS	131
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	VII
Annexes.....	VIII

LISTE DES FIGURES

Figure	Titre	Page
Fig. I.01	Situation géographique et géologique du bassin d'Ilizi et les principaux éléments structuraux d'Algérie	07
Fig. I.02	Coupe géologique Sud/Nord du bassin d'Ilizi	08
Fig. I.03	Coupe lithostratigraphique du bassin d'Ilizi	10
Fig. I.04	Carte structural régional du bassin d'Ilizi	14
Fig. II.01	Situation des champs d'Ohanet, historique et implantation des puits de champ d'In Adaoui	17
Fig. II.02	Situation géographique du champ « In-Adaoui-Ohanet »	19
Fig. II.03	Colonne lithostratigraphique type avec les systèmes pétroliers de champ In Adaoui-Ohanet	25
Fig. II.04	Carte structurale au toit de l'Ordovicien de champ In Adaoui	28
Fig. II.05	Carte en isobathes au toit de l'Ordovicien	29
Fig. II.06	Les Profils sismiques passant par le puits IA-125	30
Fig. II.07	Profil géologique schématique à travers les puits IA-106, IA-101, IA-104 OT-102 et OTB-1	31
Fig. III.01	Stratigraphie régionale de l'Ordovicien du champ In Adaoui-Ohanet	36
Fig. III.02	Carte en isopaques totale du réservoir Ordovicien unité IV-3	38
Fig. III.03	Log sédimentologique du puits IA-106	40
Fig. III.04	Log sédimentologique du puits IA-111	42
Fig. III.05	Log sédimentologique du puits IA-107	44
Fig. III.06	Illustration de cône sous-marin profond (complexe marin turbidité)	45
Fig. III.07	Carte de localisation du puits IA-115	46
Planche 1	conglomérat de calcite cimenté vers la base de l'unité IV	51
Planche 2	Sigmoïdal au creux des grès entrecroisés	53
Planche 3	Grès ridée à grain très fin dominant	54
Planche 4	Grès mal triés avec gros grains à granule afflux	56
Planche 5	Chitinozoaires de puits IA-115	60
Planche 6	Chitinozoaires de puits IA-115	61
Fig. III.08	Classification des grès suivant Dott (1964)	68
Fig. III.09	Ciment carbonaté vs Porosité visible totale (groupés selon faciès) de l'Ordovicien de puits IA-115	77
Fig. III.10	Porosité mesuré (carotte) vs Porosité visible totale de l'Ordovicien de puits IA-115	81
Fig. III.11	Relation entre la porosité visible totale et les minéraux authigène de l'Ordovicien de puits IA-115	82
Fig. III.12	Relation entre le quartz excroissance et la porosité visible totale de l'Ordovicien de puits IA-115	83
Fig. III.13	Porosité intergranulaire secondaire (à 2766.00m)	84
Fig. III.14	Porosité intergranulaire secondaire (à 2782.25m)	84
Fig. III.15	Trace des hydrocarbures à 2855.00m et 2796.50m	85
Fig. III.16	Séquence stratigraphique de l'Ordovicien (unité IV-2 et IV-3) puits IA-115	89

LISTE DES FIGURES

Fig. IV.01	Carte en isoporosité du réservoir Ordovicien unité IV-3	93
Fig. IV.02	Evolution vertical de la porosité et les résultats de diagraphie du réservoir Ordovicien "Unité IV-3" de puits IA-116	96
Fig. IV.03	Evolution vertical de la porosité et les résultats de diagraphie du réservoir Ordovicien "Unité IV-3" de puits IA-115	97
Fig. IV.04	Evolution vertical de la porosité et les résultats de diagraphie du réservoir Ordovicien "Unité IV-3" de puits IA-112	98
Fig. IV.05	Carte en isoperméabilité du réservoir Ordovicien unité IV-3	100
Fig. IV.06	Evolution vertical de la perméabilité du réservoir Ordovicien "Unité IV-3" de puits IA-116, IA-115 et IA-112	101
Fig. IV.07	Histogrammes de répartition des porosités d'unité IV-3 des puits IA-116, IA-115 et IA-112	103
Fig. IV.08	Histogrammes de répartition des perméabilités d'unité IV-3 des puits IA-116, IA-115 et IA-112	103
Fig. IV.09	Courbe de corrélation entre la perméabilité et la porosité du puits IA-116	105
Fig. IV.10	Courbe de corrélation entre la perméabilité et la porosité du puits IA-115	105
Fig. IV.11	Courbe de corrélation entre la perméabilité et la porosité du puits IA-112	105
Fig. IV.12	Cut-off de porosité d'après le diagramme de corrélation entre la perméabilité et la porosité des puits	106
Fig. IV.13	Résultats de l'interprétation pétrophysique des puits IA-115 et IA-125	108
Fig. IV.14	Détermination de la lithologie du réservoir Ordovicien aux puits IA-115, IA-125 et IA-123 par le MID-Plot	109
Fig. IV.15	Détermination de la lithologie du réservoir Ordovicien au puits IA-115 par cross-plot (Techlog)	110
Fig. IV.16	Identification de la matrice (MID-PLOT) d'unité IV-3 des puits IA-115, IA-123 et IA-125	111
Fig. IV.17	Évaluation de la porosité primaire des puits IA-115, IA-123 et IA-125	112
Fig. V.01	Carte du Trend de l'épaisseur utile d'unité IV-3 de l'Ordovicien	120
Fig. V.02	Carte des anomalies de l'épaisseur utile d'unité IV-3 de l'Ordovicien	121
Fig. V.03	Carte du Trend de la porosité d'unité IV-3 de l'Ordovicien	122
Fig. V.04	Carte des anomalies de la porosité d'unité IV-3 de l'Ordovicien	123
Fig. V.05	Carte du Trend de la perméabilité d'unité IV-3 de l'Ordovicien	124
Fig. V.06	Carte des anomalies de la perméabilité d'unité IV-3 de l'Ordovicien	125
Fig. V.07	Carte de zonation d'unité IV-3 de l'Ordovicien	128

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Titre	Page
Tableau. III.01 :	Profondeur du Carotte vs profondeur du Log diagraphique	47
Tableau III.02 :	Liste des échantillons pour l'étude pétrographique et biostratigraphique dans IA-115	48
Tableau. III.03 :	Codage et interprétation des Faciès pour l'intervalle Ordovicien	49
Tableau. III.04 :	Association des faciès dans le puits IA-115	50
Tableau III.05 :	Gamme et la fréquence relative des chitinozoaires et diverses palynomorphes enregistrées dans le puits IA- 115	59
Tableau. III.06 :	Fiche pétrographique en termes texturales et pétrophysiques de l'Ordovicien de puits IA-115	69
Tableau. III.07 :	Fiche pétrographique en termes de minéralogie de l'Ordovicien de puits IA-115	70
Tableau. V.01 :	Les coordonnées orthonormées et les données des puits (de l'unité IV-3)	117
Tableau. V.02 :	Tableau de catégorie	126

LISTE DES ABREVIATIONS

Km² : Kilomètre carré.	PL : Profondeur du Log diagraphique.
Km : Kilomètre.	PC : Profondeur de la carotte.
m³ : Mètre cube.	Ma : Marin (faciès).
m : Mètre.	SM : Shallow Marin (faciès).
g : Gramme.	MT : Marin Turbidite (faciès).
Ma : Million d'années.	Tr : Trace.
OT : Ohanet.	HF : Hydrofluoric.
OTN : Ohanet Nord.	HCl : Chlorure d'hydrogène.
IA : In Adaoui.	HNO₃ : Acide Nitrique.
Md : Milli Darcy.	Fe : Fer.
TST : Intervalle transgressive (Transgressive system track).	Ti : Titanium.
LST : Prisme de bas niveau marin (Lowstand system track).	SiO₂ : Dioxyde de Silicium.
SB : Limite de séquence (sequence boundary).	CaCO₃ : Carbonate de Calcium.
HST : Prisme de haut niveau marin (highstand system track).	Ca²⁺ : L'ion de Calcium.
ST : Surface de transgression.	Mg²⁺ : L'ion de magnésium.
MFS : Surface d'inondation maximale (maximum flooding surface).	R² : Coefficient de corrélation.
UV : Ultra Viole.	K-feldspath : Feldspath potassique.
GR : Gamma Ray.	Φ : La porosité.
% : Pourcentage.	V_t : Le volume total de la roche.
2D : Deux dimensions.	V_p : Le volume des pores.
3D : Trois dimensions.	V_s : Volume occupé par les solides
C1 : Carotte 1.	K : La perméabilité.
C2 : Carotte 2.	S_w : Saturation en eau.
	EQ : L'équidistance.

A dramatic landscape of jagged, reddish-brown rock formations under a clear sky. The foreground shows a dark, sandy or volcanic ash-covered slope leading up to a series of sharp, vertical rock spires and peaks. The background features more distant, layered mountain ranges. The overall scene is arid and rugged.

Introduction générale

Introduction générale :

Le champ d'In-Adaoui fait partie des plusieurs champs de la région d'Ohanet qui appartient au bassin d'Illizi, constitue une importante province pétrolière dans le Sahara Algérien. C'est un champ essentiellement à gaz, qui est actuellement dans une phase de développement.

La structure d'In-Adaoui se trouve sur le plateau de Tinrhert située à 19km environ au Nord-Ouest de la structure d'Ohanet le long du grand accident. Elle se présente sous la forme d'un anticlinal à flanc Ouest faillé, de plus de 15 km de long, affecté par de deux culminations. La culmination Sud, où a été implanté le premier forage d'exploration (OT-102) exécuté sur cette structure.

La méconnaissance relative du réservoir Ordovicien du champ d'In Adaoui est liée à sa complexité de dépôts Ordoviciens, à l'absence de certaines unités (érosions ou non dépôts) et à sa variation de faciès.

Dans le cadre de notre stage pratique de fin d'étude au sein de la société SONATRACH, région d'Ohanet (division production), il nous a été proposé d'étudier l'unité IV-3 du réservoir Ordovicien du champ In Adoui.

Le problème posé au niveau de ce réservoir, se rapporte au complexe terminal de l'Ordovicien (unité IV-3), qui présente une réduction des paramètres pétrophysiques qui est probablement liée au faciès. Nous avons pensé qu'il est nécessaire de connaître et de comprendre de point de vue sédimentologique et pétrophysique les différents facteurs qui réduisent la qualité de ce réservoir.

Notre étude vise de façon précise l'unité IV-3, pour cela le sujet est intitulé

« Caractérisation sédimentologique et pétrophysique du réservoir Ordovicien- unité IV-3».

Ce travail est structuré comme suite :

- ❖ Généralités sur bassin d'Illizi
- ❖ Description du champ d'In Adaoui de point de vue stratigraphique et structural ainsi son aspect pétrolier.
- ❖ Etude sédimentologiques, pétrographique et diagénétique de l'unité IV-2 et IV-3 du réservoir Ordovicien.
- ❖ Etude pétrophysique de l'unité IV-3.

- ❖ Analyse géostatistique des paramètres d'unité IV-3 utilisant la méthode de «Trend-Analyse».

Méthodologie :

Le Travail a été porté sur l'étude des données des carottes des puits : IA-101, IA-103 IA-104, IA-105, IA-106, IA-107, IA-111, IA-112, IA-115 et IA-116. Et Les données de 22 sondages : IA-101, IA-103, IA-104, IA-105, IA-106, IA-107, IA-111 IA-112, IA-113 IA-114, IA-115, IA-116, IA-117Z, IA-118, IA-119Z, IA-120Z, IA-123, IA-124, IA-125 OT-102, OTN-1 et OTB-1.

L'analyse et l'interprétation de l'ensemble des données comportent :

- 1) L'étude bibliographique des travaux de BHPbilliton, BEICIP-FRANLAB et les rapports de SONATRACH pour établir le cadre géographique, géologique et stratigraphique de la région d'étude.
- 2) L'étude sédimentologique et pétrographique basée sur :
 - L'analyse des données des carottes et des documents des travaux de BEICIP-FRANLAB et BHPbilliton sur ces carottes pour l'étude sédimentologique, paléo-environnementale et pétrographique, afin de déterminer les différents types de faciès, leur extension et leur milieu de dépôt.
 - L'analyse des diagraphies (gamma ray) dont le but de délimiter les différentes unités et d'établir le découpage séquentiel.
- 3) L'étude pétrophysique basée sur :
 - L'établissement des cartes en isovaleurs, des courbes d'évolution verticale, des histogrammes et des corrélations des paramètres pétrophysiques pour l'analyse et l'interprétation de la distribution de ces paramètres.
 - L'analyse des résultats diagraphiques des paramètres pétrophysiques (utilisant Techlog) pour l'identification lithologique du réservoir Ordovicien.
- 4) L'étude géostatistique basée sur :
 - L'établissement des cartes des trends, pour la détermination de la tendance des paramètres de réservoir.
 - L'établissement des cartes d'anomalies des paramètres de réservoir pour l'identification des zones à caractères favorables ou bien le contraire, afin d'établir la carte de zonation finale dont le but est l'orientation des futurs travaux d'exploitation du réservoir Ordovicien (unité IV-3).

A dramatic landscape of jagged, reddish-brown rock formations under a clear sky. The formations are layered and craggy, with some peaks appearing rounded and others more pointed. The foreground shows a dark, sandy or volcanic-looking plain. The overall scene is arid and rugged.

Chapitre I :

GENERALITES

I. Généralités sur le bassin d'Illizi :

Le bassin d'Illizi, d'une superficie de 108 424 km², est le siège d'un effort d'exploration assez important qui a débuté en 1956 avec la découverte d'Edjeleh. Depuis, pas moins de 413 puits d'exploration et 281 puits d'appréciation ont été forés, avec un taux de succès de 23%.

On dénombre 54 découvertes d'huile et 44 découvertes de gaz (qui ont donné lieu à des gisements) telles que celles de Tin Fouyé, Zarzaitine, Edjeleh, In Adaoui Alrar, Ohanet et Stah.

Au cours de son histoire, le bassin d'Illizi a été, pour l'essentiel, un bassin marin peu profond situé près d'une marge continentale soumise à une période d'érosion intense qui a permis l'installation d'une importante colonne sédimentaire paléozoïque, et ce bassin, de type polycyclique, possède une séquence mésozoïque séparée de la séquence paléozoïque par la discordance hercynienne qui comporte les plus importants systèmes pétroliers de cette région (réservoirs Cambro-Ordoviciens et Dévonien). **(Fig. I.03)**

II. Historique de l'exploration du bassin d'Illizi :

Les premières esquisses géologiques réalisées dans les bassins de la plate-forme saharienne ont été faites grâce aux efforts louables des géologues universitaires suivants :

C.KILIAN (1922, 1923, 1931), J.FOLLOT (1952), et LELUBRE(1952).

C.KILLIAN est le premier géologue qui a décrit les formations Paléozoïques au Sud du bassin d'Illizi dans le massif du Hoggar.

Ce sont les italiens DESIO (1936), ROSSI (1939) et le français C.KILLIAN (1925) qui ont établi les bases de données sur le bassin d'Illizi et de Berkine.

Les géologues de la SNREPAL effectuèrent les premiers travaux géologiques des bassins sédimentaires, en réalisant les premiers levés de terrain en novembre 1946. Par la suite une vaste campagne de gravimétrie débuta à la fin de 1948 dans la partie septentrionale du Sahara.

Les premières demandes de permis de recherche pétrolière furent déposées en 1950 par la Société SNREPAL et la compagnie CFP. Il est à noter que les premiers essais d'investigation par sismique réflexion eurent lieu en 1951. Après l'échec des premiers

essais de la sismique réflexion en 1951, la SNREPAL confia une large campagne de sismique réfraction en 1951, les résultats furent positifs et servirent de base à l'implantation des premiers sondages stratigraphiques. A cette période on assiste à la découverte des champs géants d'huile de Hassi Messaoud en 1956 et de gaz de Hassi R'Mel en 1956 situés respectivement sur le môle d'Amguid et le bassin d'Oued Mya.

• **La période entre 1956 et 1962** : a été marquée par les découvertes des principaux gisements dans le bassin d'Illizi par des méthodes géophysiques (gravimétrie magnétométrie, sismique réfraction) et géologiques de terrain. L'effort s'est traduit par la découverte de 40 gisements dont les plus importants sont : Edjeleh, Zarzaitine (huile) Ohanet (huile/gaz), In Amenas (huile) etc. Cette période a connu une grande activité de forages, près de 598 puits ont été forés dont 152 puits d'exploration, 284 puits de développement et 162 puits d'extension. L'estimation des réserves initiales en place dans le bassin d'Illizi s'élèvent à environ :

- ❖ tonnes d'huile.
- ❖ de gaz.
- ❖ de condensât.

Après l'indépendance de l'Algérie en 1962, de nouvelles techniques d'exploration ont été utilisées afin d'augmenter les chances de succès. De ce fait des compagnies mixtes ont été créées dans le cadre d'un accord Algéro-Français. En 1965, la SONATRACH et la SOPEFAL ont créé une nouvelle association dénommée ASCOOP chargée d'effectuer des opérations de recherche pétrolière en Algérie.

• **La période entre 1963 et 1970** : est caractérisée par une forte activité d'acquisition sismique réflexion et une baisse dans le nombre de forages. Les principales découvertes réalisées durant cette période sont les suivantes: Tin Fouyé (huile/gaz) Tabenkort (huile), Amassak, Stah (huile) et Tamadjert, Les réserves initiales estimées pour ces découvertes sont:

- ❖ tonnes d'huile.
- ❖ de gaz.
- ❖ de condensât.

Après les nationalisations en 1971, la SONATRACH devient le principal opérateur qui mettra en évidence la découverte de nombreux petits gisements.

• **La période entre 1970 et 1980** : a été marquée par une intense activité sismique (2D) avec l'acquisition d'environ 47000 Km. Des études aéromagnétiques et gravimétrique sont été réalisées par SONATRACH (1977-1978). Durant cette période 325 puits ont été forés, 51 puits d'exploration, 243 puits de développements et 31 puits d'extensions. Le résultat de ces travaux s'est concrétisé par la découverte de deux gisements (Mereksen et Dimeta sont les plus importants). Les réserves initiales sont estimées à :

- ❖ tonnes d'huile.
- ❖ de gaz.
- ❖ de condensât.

L'exploration pétrolière chute sensiblement entre 1981 à 2008 malgré un effort remarquable en sismique (2D) pendant la période précédente. Seulement 80 puits d'exploration ont été forés dont 30 furent positifs, soit un taux de succès de 40%.

L'ouverture du domaine minier algérien (Exploration et Production des hydrocarbures) avec l'avènement de la loi 86-14 a permis à beaucoup de compagnies pétrolières internationales d'investir en Algérie. Parmi les compagnies présentent actuellement en Algérie on note: CEPSA, TOTAL, ANADARKO, REPSOL PETROCANADA, BRITISHPETROLUM (BP), AGIP, MEDEX.

L'exploration dans le bassin d'Illizi a permis la collecte d'un volume important de données sismiques (2D, 3D) et de forages, globalement: 90 000 Km de sismique (2D) ont été réalisés et environ 1800 puits toutes catégories confondues ont été forées. Parallèlement de nombreuses études géopétrolières sur le bassin d'Illizi ont été effectuées par différents spécialistes et notamment par les compagnies pétrolières internationales.

III. Cadre géologique :

III.1. Situation géographique :

Le bassin d'Illizi se situe dans la partie orientale du Sahara Algérien à 1600 km du Sud-est d'Alger. Il s'étend d'Ouest à l'Est entre 6°E et 10°E et les latitudes 29°45N et 25°30N, couvrant ainsi une superficie de 108 424 km² jusqu'au massif du Hoggar qui le borde au sud. Ce bassin s'étend jusqu'en Libye à l'Est dont la plus grande partie se trouve en Algérie. **(Fig. I.01)**

III.2. Situation géologique :

Du point de vue géologique le bassin d'illizi est limité : **(Fig. I.01)**

- Au Nord par le bassin de Ghadamès.
- A l'Est par le môle Tihemboka et Libye.
- Au Sud par l'affleurement Cambro-Ordovicien du Tassili.
- A l'Ouest par l'axe structural Essaoui Mellene et le môle d'Amaguid El Biod.

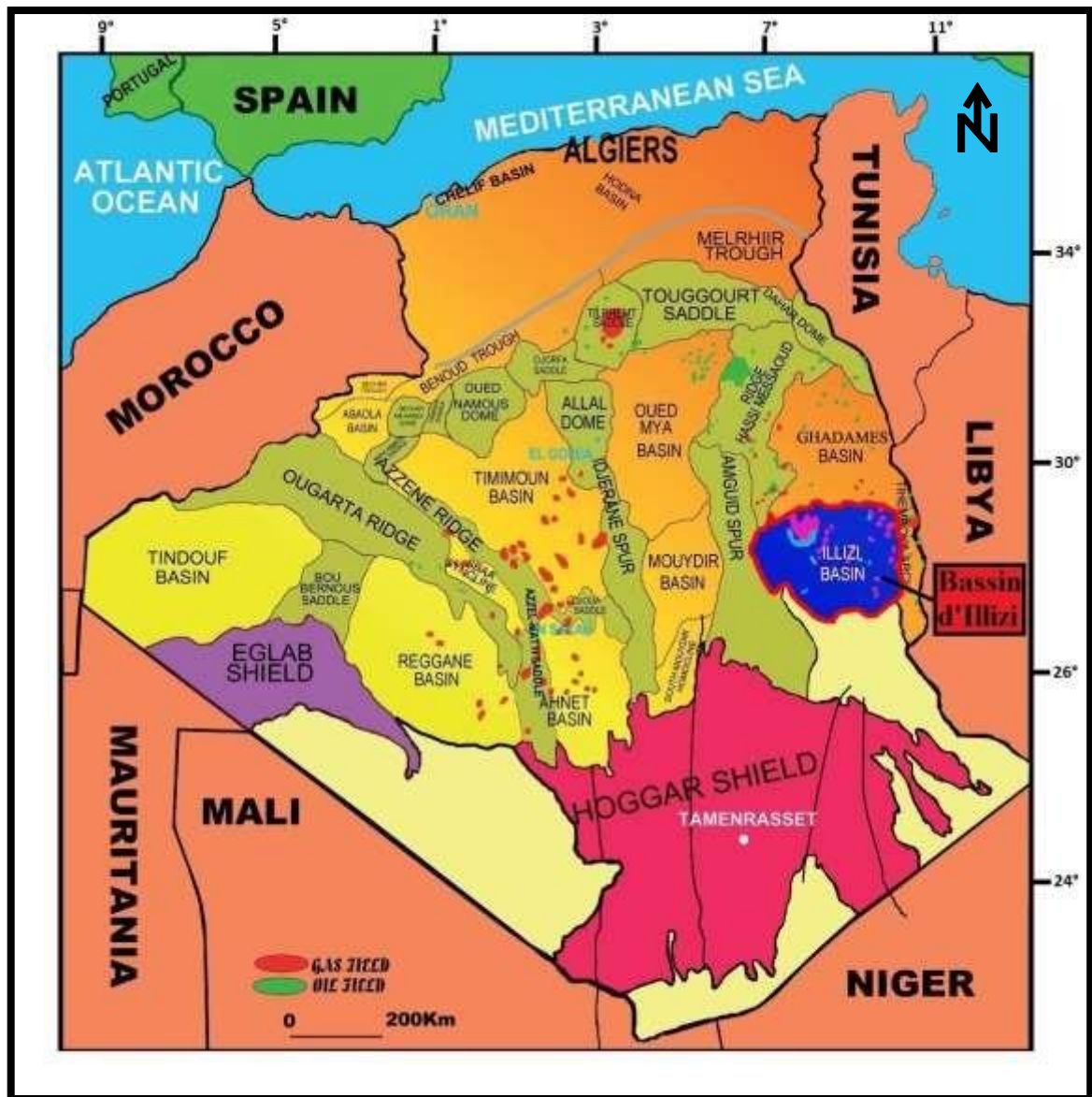


Fig. I.01 : Situation géographique et géologique du bassin d'illizi et les principaux éléments structuraux d'Algérie (Document SONATRACH SH/EXP 2013)

III.3. Stratigraphie :

La couverture sédimentaire du bassin d'Illizi d'âge Paléozoïque repose en discordance majeure sur la surface Infra-Tassilienne qui nivelle un socle plissé de composition pétrographique variée surmonté par des formations d'âge Mésozoïque, reposant à leur tour en discordance sur le Paléozoïque. (Fig. I.02)

La coupe lithologique type du bassin d'Illizi est constituée d'une série sédimentaire globalement détritique allant du Cambrien au Paléogène dans laquelle les terrains Paléozoïques occupent les deux tiers de l'épaisseur totale de la série.

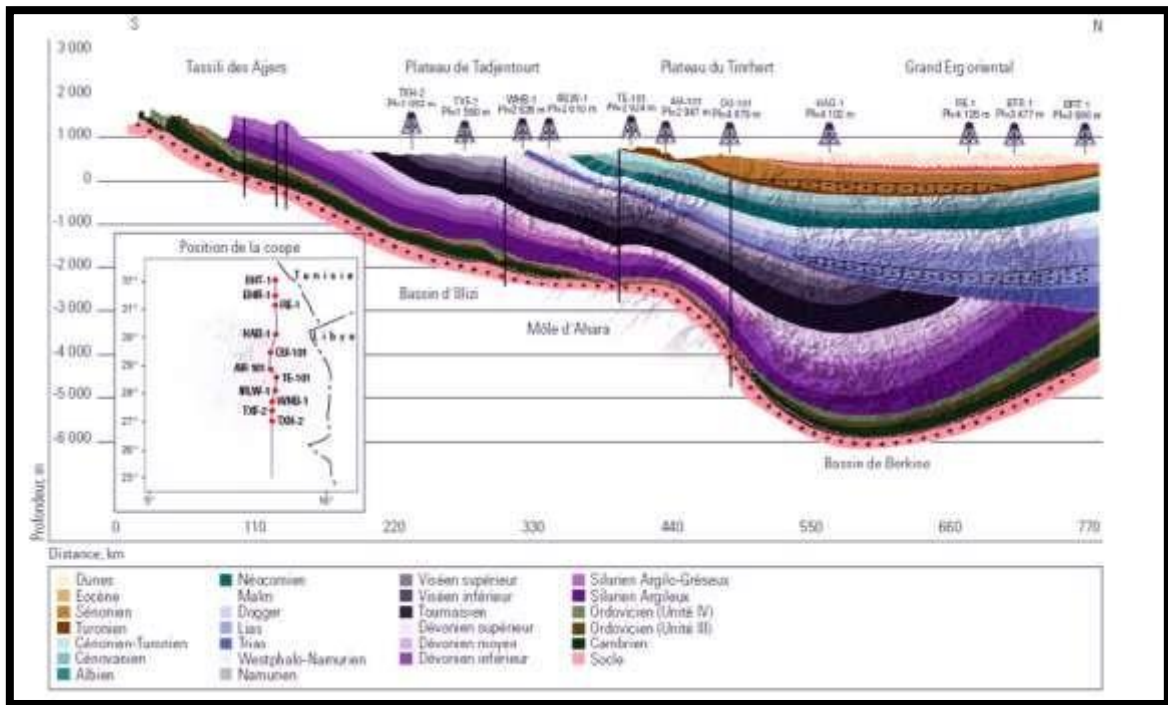


Fig. I.02 : Coupe géologique Sud/Nord du bassin d'Illizi (document SONATRACH/Schlumberger 2007)

La série stratigraphique type du bassin d'Ilizi (**Fig.I.03**) épaisse de plus de 4000 m est la suivante:

Socle Précambrien :

Généralement constitué des roches cristallines métamorphiques.

Le Paléozoïque :

D'une épaisseur allant de 2400 à 2800 m environs, est constitué essentiellement par des alternances de grès et d'argile à la base de Cambro-Ordovicien jusqu'à la fin de Carbonifère inférieur où les carbonates apparaissent. Dans le Paléozoïque Le Dévonien inférieur repose en discordance Calédonienne sur le Silurien.

Le Mésozoïque :

D'une épaisseur atteignant les 1200 m, repose en discordance Hercynienne sur le Paléozoïque, et débute par la série de grès-argile de Trias et se termine par la série de calcaire de Crétacé supérieur. Entre ces deux séries les dépôts de Mésozoïque sont généralement argileux sauf qu'à la fin du Crétacé inférieur où la série est dolomitique.

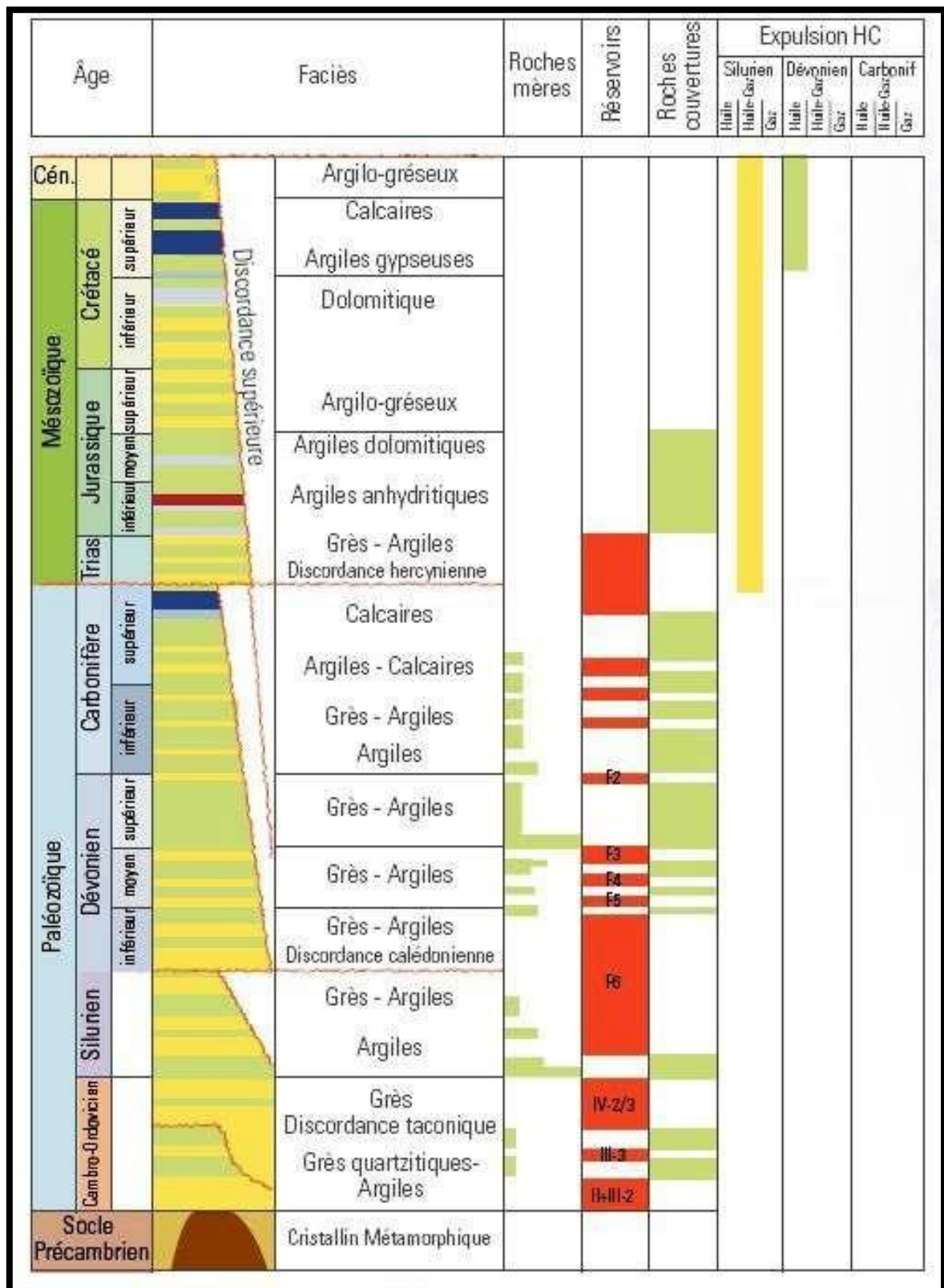


Fig. I.03 : Colonne lithostratigraphique du bassin d'Illizi
(document SONATRACH/Schlumberger 2007)

III.4. Aspect structural et tectonique :

La région In-Adaoui-Ohanet se situe dans la partie Nord du bassin d'Illizi. Ce bassin est limité au Sud par le massif du Hoggar, à l'Ouest par le haut fond d'Amguid El Biod, à l'Est par le môle de Tihemboka et au Nord par le môle d'Ahara qui sépare le bassin d'Illizi du bassin de GHADAMES.

Le bassin d'Illizi a un pendage régional vers le Nord et coupé par quelques failles majeures très anciennes héritées du socle, car elles se poursuivent jusqu'au Hoggar (**Fig. I.04**). L'orientation de ces failles est NE-SW (BEICIP 1980). Les rejets dépassent souvent la centaine de mètres.

Les nombreuses directions de trend de failles, l'existence des différents môles et structures prouvent que la structuration à l'échelle du bassin est le résultat de plusieurs phases tectoniques dont les plus connues sont:

- L'orogénèse Panafricaine.
- L'orogénèse Calédonienne.
- L'orogénèse Hercynienne.
- L'orogénèse Alpine.

L'orogénèse Panafricaine :

L'histoire structurale d'Illizi découle de l'Orogenèse Panafricaine qui a contribué à la construction des cratons Est et Ouest Africains. Cette Orogenèse est caractérisée par de grands accidents subméridiens verticaux, localisés sur tout le substratum Précambrien créant des zones de moindres résistances pour les phases orogéniques postérieures dont les plus importantes sont : L'orogénèse Calédonienne, Hercynienne et Alpine qui vont déterminer le modèle de la couverture sédimentaire et tracer l'architecture du bassin, l'âge de cette orogénèse est compris entre 500 et 650 Ma.

L'orogénèse Calédonienne :

- **Le Cambro-Ordovicien :**

L'homogénéité du faciès des dépôts Cambriens reflète une sédimentation de plateforme stable. L'individualisation des bassins sahariens n'existait pas encore. Cependant, ce calme tectonique dans l'ensemble s'est trouvé perturbé par endroit par le jeu

d'accidents bien souvent contemporains verticaux, provoqué par une phase de distension attribuable à une ouverture océanique (Boudjemaa-1987).

Localement, les événements tectoniques peuvent être matérialisés par les discontinuités suivantes :

- Une discontinuité d'âge Trémadocien (base de l'Ordovicien) traduite par des ravinements et lacunes de dépôt.
- Les mouvements tectoniques qui ont succédé à l'installation d'une glaciation généralisée à l'échelle du Sahara, marquée par une importante discordance de ravinement glaciaire entre les formations d'In Tahouite et de Tamadjert (Complexe terminal).

La période Cambro-Ordovicienne se termine par la fonte de l'Inlandsis polaire, donnant lieu à des réajustements isostatiques entre l'Ordovicien, le Silurien et à la fin de la grande transgression qui en découle.

- **Le Siluro-Dévonien :**

Les mouvements Calédoniens sont subdivisés en :

- Mouvements Calédoniens sensu-stricto datés du Silurien supérieur.
- Mouvements Dévoniens inférieur d'âge Gédinien-Siégnien.
- Mouvements Dévoniens supérieur d'âge Frasnien.

Les mouvements de faible intensité à déplacement verticaux ne sont que l'accentuation de structuration initiée au Cambro-Ordovicien, notamment l'ébauche de l'axe Amguid El Biode-Hassi Messaoud bordé à l'Est par la faille de Ramade et prolongé au Nord par la structure de Rhourde El Baguel, amorçant la future limite occidentale des bassins de l'Erg oriental. Les mouvements tectoniques sur le môle d'Ahara pour cette période, se résument en deux basculements successifs précoces vers le Sud au Cambro-Ordovicien puis vers le Nord au Silurien.

L'orogénèse Hercynienne:

La fin du Dévonien a été marquée par une suite de mouvements épirogéniques, ayant entraîné l'érosion de la plus grande partie de la plate-forme saharienne. La première phase

importante du cycle Hercynien d'orientation N40° post-Dévonien supérieur donne d'importantes structures NW-SE dues à une compression.

La seconde post-Carbonifère d'orientation N 120° mettant en place des structures NE-SW est la plus importante, car elle a entraîné une érosion importante atteignant des niveaux très variables de la couverture Paléozoïque.

Les mouvements Mésozoïque et Tertiaire:

Les mouvements post-Hercyniens de la plate-forme Saharienne sont attribués par certains auteurs (Fabre 1976), aux effets de la séparation Afrique-Amérique et de la formation de la chaîne Alpine.

- **La phase Autrichienne :**

C'est une phase (N 90°) considérée comme phase de compression d'âge Crétacé supérieur. Elle a fait rejouer en inverse toutes les failles méridiennes d'où la naissance de nombreux pièges structuraux et elle se termine par une érosion presque totale sur l'ensemble du bassin. On enregistre dans le bassin d'Illizi durant cette période de grandes structures, l'exagération du rôle de Tihemboka et le soulèvement de la partie Ouest.

- **La phase Atlasique :**

La phase Atlasique ou Pyrénéenne (N160°) d'âge Sénonien-Eocène est responsable de la formation de grandes structures N70° environ, suite au serrage qui fera rejouer tous les accidents subméridiens en décrochement sénestre, et les failles normales formées au Jurassique en failles inverses.

- **La phase Oligocène :**

C'est la phase N 50°, 60° d'âge Oligocène, considérée comme phase de compression, elle est l'origine de nombreux plis amples le long d'accident NW-SE.

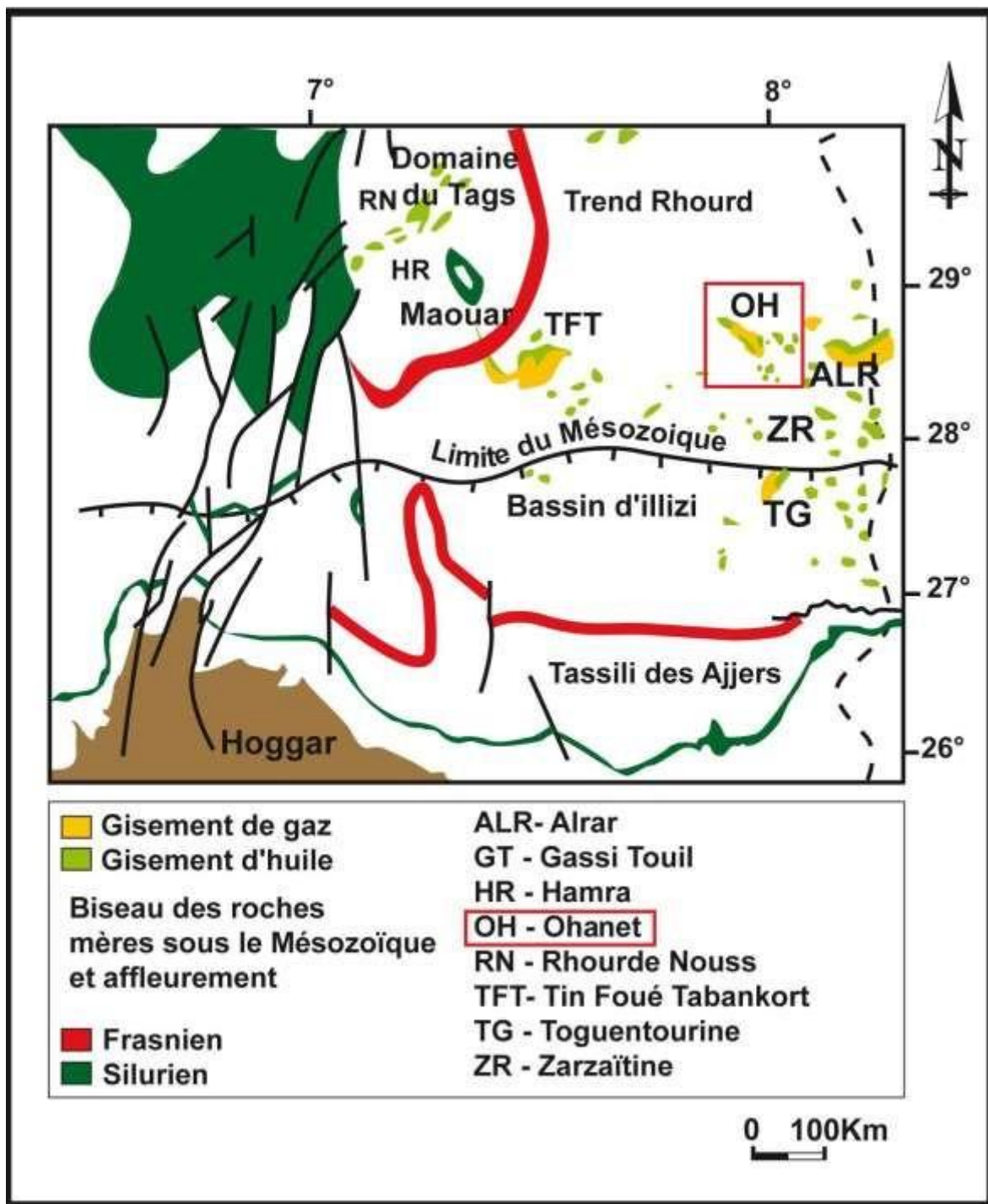


Fig. I.04 : Carte structurale régionale du bassin d'illizi
(document SONATRACH/Schlumberger 2007)

The background of the image is a vast, rugged landscape of reddish-brown, layered rock formations. The rocks are tall and jagged, with some peaks appearing rounded and others more pointed. The lighting is warm, suggesting a sunset or sunrise, which casts long shadows and highlights the textures of the rock. The sky is a clear, pale blue. The overall scene is one of natural grandeur and geological complexity.

Chapitre II :
ETUDE DU CHAMP
**« IN ADAOUI-
OHANET »**

I. Synthèse des travaux réalisés dans la région d'In Adaoui :

Le champ d'In-Adaoui-Ohanet se trouve dans la partie extrême Nord-Est du monoclinale d'Illizi à 20 km de Guelta. Le réservoir Ordovicien a été découvert en Août 1960 par le forage OT-102 par le CREPS et Petropar. Depuis, plus de 30 forages ont traversé l'Ordovicien (OT-102, OTN-1, IA-101, IA-103, IA-104, IA-105, IA-123 IA-134 ...). (Fig. II.01)

Les premiers forages forés à travers les structures d'In-Adaoui-Ohanet et le réservoir Ordovicien montre que ce réservoir demeure un objectif à gaz. Les unités à étudier sont les unités II, III et IV. Les premiers forages réalisés sur la structure d'In Adaoui sont :

- Le premier sondage OT-102 qui avait pour objectif de l'exploration de l'Ordovicien reprenant le programme initial OT-101 (arrêté au Dévonien), Il fut réalisé en 1960 et a donné un fort débit de gaz au sommet de l'Ordovicien de 425.10^3 m³/h en test dans l'intervalle perforé (2745.8-2761.5m).

- Le sondage IA-101 était destiné d'explorer une culmination située au Nord-Ouest du gisement d'huile du Dévonien et explorer l'Ordovicien, qui s'est révélé comme un mauvais réservoir avec de faible débit de gaz (800 m³ /h). Ce puits a été mis en production en Septembre 1962, puis fermé depuis le 4 Septembre 1963.

- Le sondage d'exploration OTN-1 avait pour objectif la recherche d'un éventuel anneau d'huile dans l'Ordovicien reconnu par les deux premiers forages IA-101 et OT-102. Ce réservoir s'est avéré sec sur toute sa hauteur bien que de rares suintements fluorescents furent observés sur les carottes.

- En Mai 1982, Le forage IA-103 à double objectifs (Dévonien et Ordovicien) a montré la présence de gaz avec de faible débit dans l'Ordovicien; par la suite, le réservoir fut fracturé et les débits furent améliorés (23000 m³/h).

- En 1992 un 5^{ème} puits IA-104 a été foré, c'est un puits d'extension jusqu'à l'Ordovicien, il a montré la présence de gaz jusqu'à -2357m.

- A la fin de 1992, le forage d'exploration OTB-1 avait pour objectif de l'exploration de l'Ordovicien dans la partie sud d'In Adaoui. Ce forage a montré une nette dégradation de l'Ordovicien avec des traces de gaz au sommet.

- Un 7^{ème} puits IA-105 a été foré en 1996, dont l'objectif consiste à délimiter le gisement de gaz à In Adaoui-Ohanet et à confirmer le contact gaz/eau (-2395 m) d'après l'analyse des diagraphies.

- IA-106 et IA-107 forés en 1997, ils sont pour objectif de délimiter l'extension des grès poreux et perméables de l'unité IV vers le Nord et d'évaluer le potentiel gazéifié de cette unité.

La compaction du réservoir Ordovicien a amené à procéder à la fracturation de ce réservoir afin d'améliorer la capacité de production.

Pour sa difficulté d'exploitation, les travaux de forages a été arrêté depuis 1997 jusqu'à 2001 quand les travaux reprise. Depuis, le champ d'In Adaoui devenu un champ essentiellement productif à gaz.

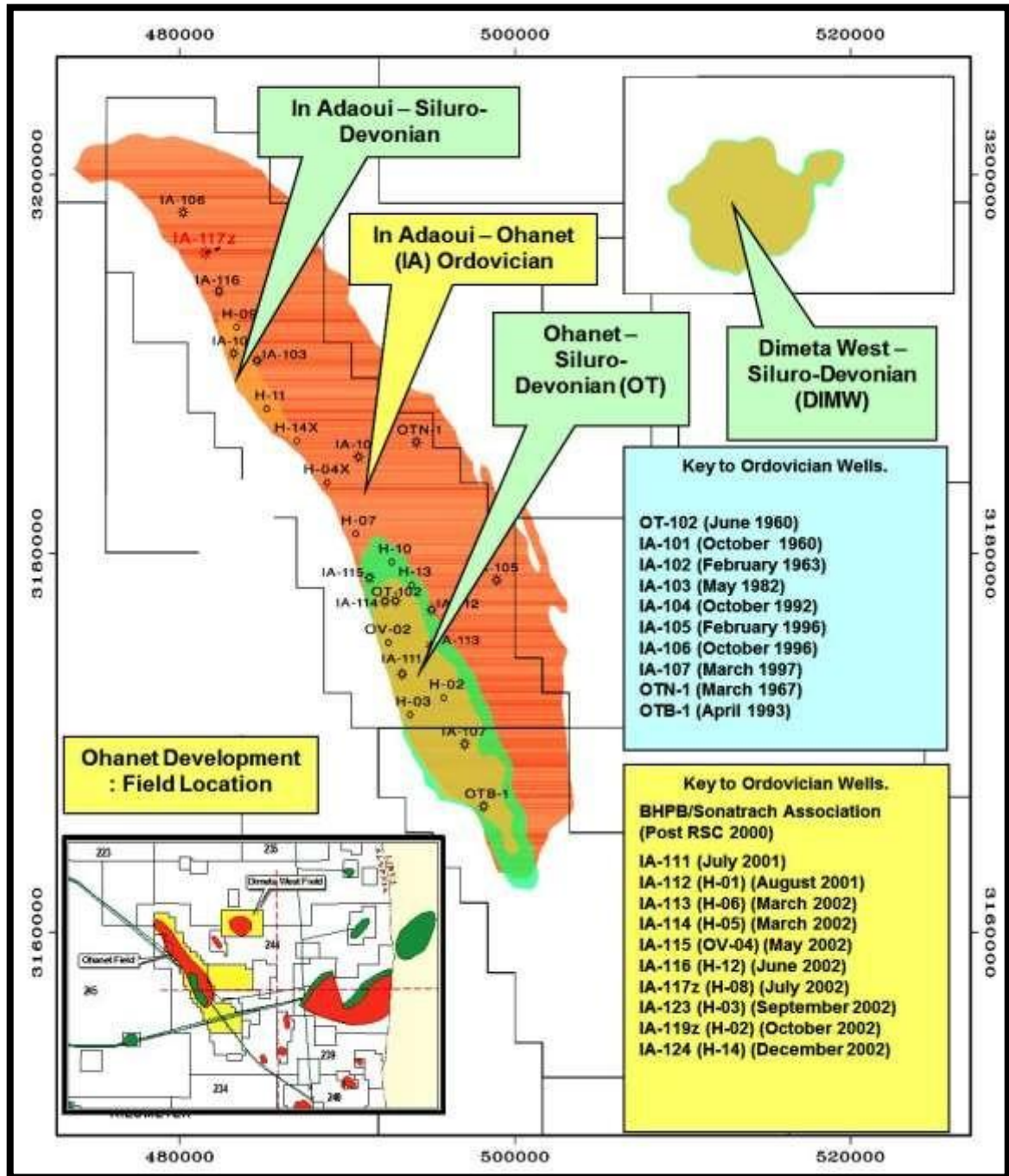


Fig. II.01 : Situation des champs d'Ohanet, historique et implantation des puits de champ d'In Adaoui (document BHPbilliton 2002)

II. Cadre géologique de la région :

II.1. Situation géographique :

Le champ d'In Adaoui est situé dans le plateau de Tinrhert à une distance de 1000 km d'Alger et à 30 km de la frontière libyenne dans la partie Sud-Est du Sahara oriental algérien (**Fig. II.02**). Entre Longitude : 8° 52' 37'' à 9° 00' 00'' Ouest Et Latitude : 28° 35' 35'' à 28° 44' 47'' Nord.

II.2. Situation géologique :

Le champ d'In Adaoui est situé au Nord-Est du bassin d'Illizi sur la partie centrale du plateau de Tinrhert. Il est délimité à :

- L'Est par le môle d'Alrar.
- L'Ouest par le bombement de Tin-Fouyé.
- Le Nord par l'Erg oriental.
- Le Sud-ouest par l'axe Essaoui-Mellene.
- L'extrême Sud-est par l'axe de Tihemboka.

Et au Sud par une série de plateaux où sont localisés de nombreux gisements du bassin d'Illizi (Ohanet, Zarzaitine, Tiguentourine, Guelta...).

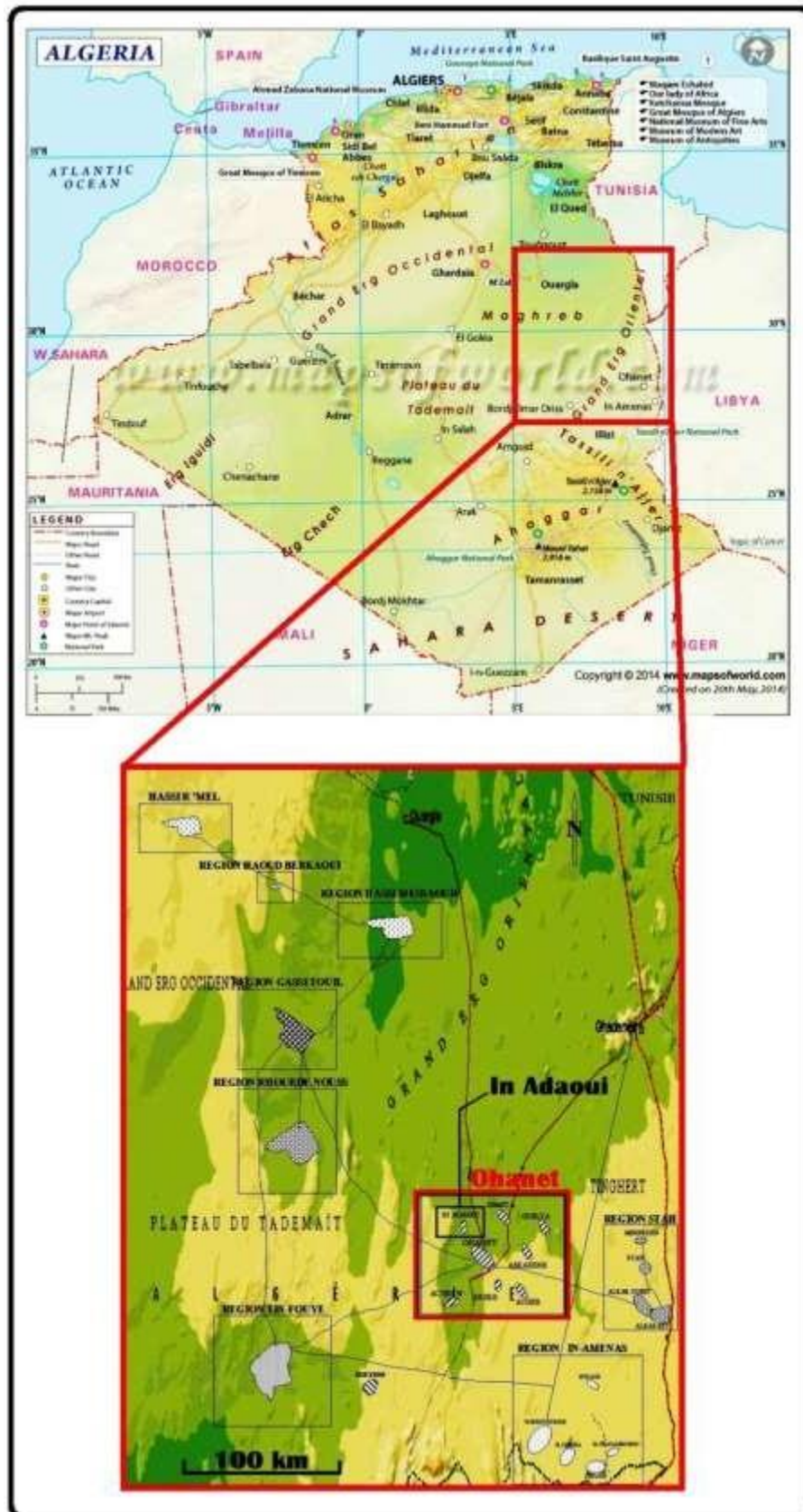


Fig. II.02 : Situation géographique du champ In Adaoui-Ohanet
(document SONATRACH & BHPbilliton-2003, modifié)

II.3. Stratigraphie :

A partir de l'analyse des données de sondages (IA-101, IA-106, IA-107, IA-111 IA-112, IA-123...) et les documentations de BHPbilliton et SONATRACH nous avons construit la lithostratigraphie de champ In-Adaoui-Ohanet avec le système pétrolier. (Fig. II.03)

La stratigraphie du champ In Adaoui est caractérisée par des dépôts paléozoïque et mésozoïque reposent en discordance sur un socle métamorphique Précambrien.

Le Paléozoïque est composé des dépôts allant de l'ordovicien au Carbonifère. Les dépôts du Mésozoïque reposent en discordance sur les différents termes du Paléozoïque et sont constitués par le Trias, le Jurassique et le Crétacé.

II.3.a. Le socle :

Il est composé de roches granitiques et métamorphique du Précambrien sur lequel reposent les séries sédimentaires du Paléozoïque.

II.3.b. Le Paléozoïque :

Caractérisé par une épaisseur moyenne de 3000m. Il est constitué de :

L'Ordovicien :

- **Unité III :**

Epaisseur varie de 0 à 220 m. Elle est traversée par la majorité des sondages dans le bassin d'Ilizi, mais elle est absente dans certains endroits à cause des ravinements glaciaire.

L'unité III est constituée par des grès beiges siliceux souvent argilo-siliceux et quelque fois à ciment calcaire. Les grès et les argiles sont riches en Tigillites. On peut rencontrer des passées gréseuses à microconglomératiques à la base de cette unité.

- **Unité IV-1 :**

Absente dans la région d'In Adaoui.

- **Unité IV-2 :**

Son épaisseur varie de 56 m (IA-105) à 120 m (OTN-1). Dans certains cas le faciès de l'unité IV-2 est constitué par des grès fins à très fins, le plus souvent à stratification obliques (IA-105), parfois microconglomératique à slumps. Dans d'autre cas le faciès de l'unité IV-2 est représenté par des argiles noires à grises micacées, à grains de quartz ou micro-conglomératique (OTB-1).

- **Unité IV-3 :**

Cette unité a été traversée par les forages d'In Adaoui-Ohanet, d'une épaisseur variable de 0 m (IA-104 et IA-101) à 61.5 m (OTN-1), elle est absente dans certains endroits à cause des surcreusements glaciaire (paléovallées). Cette unité est constituée par des grès fins à moyens homogènes avec des intercalations argileuses. Ces grès ont une extension limitée. Ils diminuent d'épaisseur en allant d'In Adaoui vers Ohanet (OTB-I).

Le Silurien

- **Le Silurien inférieur :**

Marqué par des argiles grise indurées silteuses, avec des passées de grès fin à moyen à ciment siliceux, épaisseur entre 218 et 237 m.

- **Le Silurien supérieur :**

Constitué par :

- **Unité A :** argiles noires feuilletées, épaisse de 57 à 81 m.
- **Unité B :** grès gris moyens à ciment silico-argileux avec argile noire silteuse feuilletée, épaisse de 51 à 68 m.

Le Dévonien :

Epaisseur moyenne est de 230 m, représenté par :

- **Dévonien inférieur :** constitue la partie supérieure du réservoir F6, il est formé de bas en haut par les unités suivantes :

- Unité B2 :** ensemble grès-argileux de grès fins et d'argile siliceuse d'épaisseur moyenne égale à 35 m.
- Unité C1 :** grés fins, parfois friable de couleur grise avec des argiles vertes d'épaisseur moyenne égale à 20 m.

- **Dévonien moyen** : représenté par deux unités :
 - **Unités E2 (Frasnien)** : argiles noires feuilletées, avec des intercalations de calcaires argileux blanc, épaisse de 25 m environs.
 - **Unité E3 (Fammennien)** : argiles grises silteuses, micacées et pyriteuses avec une épaisseur qui varie entre 120 et 127 m.

- **Dévonien supérieur (Strunien)** : représenté par :
 - **La Série argileuse** : formée par des argiles noires et brunes, schisteuses finement micacées, parfois pyriteuses avec quelques rares passées de grès fins à très fins. L'épaisseur moyenne est de 150 m.
 - **L'ensemble F2** : Constitué par des argiles brunes à noirâtres avec des intercalations de grès fins.

Le Carbonifère :

Epaisseur moyenne 1200 m. Il comprend les unités suivantes :

- **Unité A (Tournaisien)** : Argiles noires schisteuses, finement micacées à intercalation de grès fins à siliceux et calcaire. Epaisseur moyenne est de 195m.

- **Unité B (Viséen)** : Grès fins à moyens argilo-siliceux ou siliceux, gris clairs à beiges clairs et argiles indurées grise à noires. Epaisseur moyenne est de 225m.

- **Unité C (Viséen)**: Argiles noires indurées à bancs de grès très fins à fins siliceux silico-argileux. Epaisseur moyenne est de 240 m.

- **Unité D (Namurien)**: Niveaux de grès fin à très fin argilo-siliceux et gris clair fin à beige. Epaisseur moyenne est de 175 m.

- **Unité E (Westphalien)**: Marnes bariolées brunes à grises passant à des argiles légèrement marneuses indurées, bariolées brunes-rouges, jaunâtres et noires avec des intercalations de calcaires fins, marneux et gréseux. A la base calcaire beige pseudolithies noires et argile bariolée à dominante noire avec passée brun-rouge et grise ou jaunâtre. Epaisseur moyenne est de 240 m.

- **Unité F (Westphalien):** Dolomie à pâte fine jaune ou blanche, parfois finement gréseux. Epaisseur moyenne de 240m.

II.3.c. Le Mésozoïque :

Le Mésozoïque repose en discordance angulaire sur les termes du Paléozoïque, il est constitué par :

Le Trias (Zarzataine inférieur):

Epais de 95 m environ, il est connu sous le nom « série de Zarzataine inférieure ». Il est constitué de grès fin à ciment dolomitique avec des passées de calcaire dolomitique.

Le Jurassique:

Formé de bas on haut par:

- **Lias (Zarzataine moyen):** composé d'argile marron plastique à sable fin avec des passées de marne au sommet, épais de 133 ai 162 m.
- **Dogger (Zarzataine supérieur):** Epais de 300 à 324 m environ est composé par de puissants bancs d'argiles avec un banc gréseux à la base.
- **Malm (Taouratine inférieur):** Epais de 175 à 182 m, composé d'argile pâteuse à sableuse avec des alternances gréseuses.

Le Crétacé :

Epais de 350 m environ, formé essentiellement de roches carbonatées, évaporitiques d'argiles et de sables, il est constitué par :

- **Aptien (Taouratine moyen):** Epais de 28 à 37 m, composé de sables fins et d'argiles avec des niveaux gréseux.
- **Albien (Taouratine supérieur):** Epais de 17 à 21 m, composé de sables fins à moyens avec des niveaux gréseux.

- **Cénomaniens** : Composé de deux séries :
 - **Série d'In-Akamil** : argile marneuse avec des passées de grès fin dolomitique, épais de 50 à 62 m.
 - **Série argilo-gypseuse**: alternance d'argile marneuse et de gypse translucide et fibreux.

- **Turonien** : Epais de 23 à 77 m, il est composé de calcaire gréseux ou marneux jaunâtre avec niveau dolomitique.

Conclusion sur la stratigraphie de la région :

Pour le champ d'In Adaoui, l'Ordovicien est constitué par l'unité IV-3 et IV-2 appelées 'Complexe Terminal'.

Le complexe terminal (unité IV) est le dernier dépôt glaciaire. Elle repose en discordance sur l'unité III-3 sauf dans certain endroit (IAK-1) où l'unité IV repose directement sur le socle.

Le sommet de l'unité IV est constitué par un banc gréseux, parfois avec des intercalations argileuses ou argilo-gréseuses. Ce banc gréseux qui représente l'unité IV-3 appelée 'dalle terminal' c'est le réservoir principal. La Couverture est assurée par les argiles à Graptolites du Silurien.

ERES	ETAGES	SOUS ETAGES	LIMITES LITHOLOGIQUES	EPAISSEUR (m)	LITHOLOGIE	DESCRIPTION	DISCORDANCES	ROCHE MERE	RESERVOIRES	COUVERTURE	EXPULSION DES HC									
											SILRIEN			DEVONIEN						
											HUILE	HUILE GAZ	GAZ	HUILE	HUILE GAZ	GAZ				
MESOZOIQUE	CRETACE	TURONIEN		23-77		Calcaire gréseux														
				24-32		Dolomie et d'argile marneuse														
		CEZONIEN	Série argile à gypse		119-158		Alternance d'argile marneuse et de gypse translucide et fibreux													
			In Akamil		50-62		Argile marneuse avec passé de grés fin dolomitique													
		ALBIEN	Taouratine supérieur		17-21		Sables fins à moyens avec des niveaux gréseux													
	APTIEN	Taouratine moyen		28-37		Sables fins et d'argile avec des niveaux gréseux														
	JURASSIQUE	MALM	Taouratine inférieur		175-182		Argile pâteuse à sableuse avec des alternances gréseuses													
		DOGGER	Zarzataine supérieur		300-324		Composé de puissants bancs d'argile avec un banc gréseux à la base													
		LIAS	Zarzataine moyen		133-162		Argile marron plastique à sable fin avec passées de marne au sommet													
	TRIAS	KEUPER	Zarzataine inférieur		90-95		Grés fin à ciment dolomitique avec passées de calcaire dolomitique	Hierynienne												
	PALEOZOIQUE	CARBONIFERE	WESTPHALIEN	F		45-57		Constitué de la base au sommet de différentes formations lithologiques argilo-gréseuses qui s'intercalent avec des niveaux grésocalcaires												
				E		220-260														
			NAMURIEN	D		160-195														
C				230-250																
VIENN			B		220-230															
TOURNAISIEN		A		190-205																
DEVONIEN		STRUNIEN	F2		30-60															
		FAMMENNIEN	E3		120-127															
		FRANSIEN	E2		20-28		Argiles noires feuilletées, avec intercalations de calcaires argileux													
			C1		18-22		Grés fins friables, gris, avec des argiles verts													
SILIRIEN		LUDLOVIEN	F6		51-88	B1	Grés moyen à ciment silico-argileux avec argile noire silteuses feuilletées													
			A			57-81	Constitué d'argile noires feuilletée silteuses													
		WENLOKLLANDOVERY	Gothlandien-argileux		218-227		Constitué par des argiles grises indurées, silteuses avec des passées de grés fin à moyen	Calcaire												
ORDOVICIEN	ASHGHILL	IV		IV-3	0-61.5	Grés clair à brunâtre fin à moyen siliceux bien consolidé avec intercalation d'argile grise feuilletée siliceuse avec inclusion de pyrite														
		IV-2		56-120	Grés fin silteux avec intercalation d'argile silteuses noire	Taconique														
	CARADOC A LLANVIRNI	III		0 - 220		Grés beige siliceux souvent argilo-siliceux riches en Tigillites	Discordance de socle													
PRE CAMBRIEN	Socle Cristallin				Constitué de roches granitiques et métamorphiques															

Fig. II.03 : Colonne lithostratigraphique type avec les systèmes pétroliers de la région d'In Adaoui-Ohanet (document SONATRACH, modifié)

II.4. Aspect structural et tectonique :

II.4.a.C adre Structurale :

L'interprétation structurale d'In-Adaoui-Ohanet réalisée par "Western Atlas 1995" montre que la région est fortement faillée. Les failles ont un caractère inverse et elles sont généralement orientées NW-SE. (**Fig.II.04**)

La carte en isobathes au toit de l'Ordovicien montre qu'il y a deux culminations importantes formées deux grandes structures anticlinales. (**Fig. II.05**)

Les travaux sismiques dans la région d'In Adaoui sont réalisés par une campagne sismique de SONATRACH depuis 1993 et par coopération avec BHPbilliton depuis 2003.

L'interprétation des profils sismique 3D à travers le puits IA-125 (**Fig. II.06**) montre la faille inverse majeure (Faille F1) de direction NW-SE (PS1). Pour le 2^{ème} profil sismique (PS.2) de direction NW-SE, on remarque les prévisions des contacts de puits IA-117 (non foré) avec les structures sédimentaires. Aussi les profils PS.1 et PS.2 montre la continuité des structures sédimentaires (absence des failles) jusqu'à la faille F1.

Les failles les plus importantes sont :

- **Faille F1** : délimitant la structure d'In Adaoui à la partie occidentale. Cette faille est d'orientation NW-SE et un rejet de 60m visible sur les profiles sismiques. (**Fig. II.06**)
- **Faille F2** : est d'orientation NW-SE situé à la partie SW d'In Adaoui. Entre les failles F1 et F2 se situe les structures les plus positives de la région.
- **Faille F3** : est parallèle à la faille F2 et se trouve dans la partie Est du secteur d'étude.

Un nombre important de failles secondaires sous forme de réseaux, donne une allure structurale et tectonique compliquée. Toutes les structures productives sont liées directement à ce réseau de failles. L'âge de cette structuration est Hercynien.

Pour suivre l'évolution des couches du réservoir Ordovicien, nous avons effectué un profil géologique NW-SE à travers les puits IA-106, IA-101, IA-104, OT-102 et OTB-1 (**Fig. II.07**). Montrant la discontinuité des dépôts de l'unité IV-3 (absence de l'unité IV-3 dans les puits IA-101 et IA-104). Cette dernière est causée par des surcreusements

glaciaires et par une phase tectonique du Paléozoïque qui influe sur la répartition des dépôts de l'unité IV-3.

II.4.b. Tectonique :

La structure d'In Adaoui-Ohanet a été affectée par plusieurs phases responsables de sa structuration, les phases les plus importantes sont : la phase intra-Arénigienne et la phase Taconique.

Dans la région d'In Adaoui la phase Taconique a une influence directe sur la répartition de l'unité IV. En effet, les phases tectoniques du Paléozoïque ont une influence sur la répartition des dépôts qui sont marqués dans la série stratigraphique soit par un non dépôt, soit par des érosions, et par des amincissements.

On distingue deux phases tectoniques majeures :

• La phase intra-Arénigienne :

La discordance majeure intra Arénigienne où l'Argilo-Gréseux Supérieur (AGS) repose en discordance sur l'unité II à ALE-3 et ET-101 au Nord-ouest de Tinrhert soit sur l'Argilo-Gréseux Inférieur (AGI) à ACH-1, ALR-1 et TMT-2 soit directement sur le socle à OTN-1 et OT-102.

Les unités III-2, III-1 et II sous l'Argilo-Gréseux Supérieur (AGS) dans la région de Tinrhert sont marquées par leur absence et se biseautent à proximité des môles d'Ahara et de Tihemboka. Cette absence est due aux mouvements épirogénique intra-Arénigienne (BEICIP, Décembre 1986).

• La phase Taconique :

A la phase Taconique, un premier soulèvement affecte la sédimentation Cambro-Ordovicienne érigeant la région d'Ohanet en zone haute. Une importante discordance de ravinement (discordance Taconique) sépare le complexe terminal de l'unité III-3. Le ravinement glaciaire est tributaire de la structuration provoquée par les mouvements Taconique. En effet, les surcreusements (ravinements) sont conditionnés par la paléotopographies, caractérisée par deux principales directions de paléovallées :

- L'une ayant une orientation NW-SE formée par Timedratine.
- L'autre le long de l'accident du Fadnoun où l'épaisseur du complexe terminal atteint 220 m à IAK-1 et repose directement sur le socle.

Les dépôts de l'unité IV ou le complexe terminal sont caractérisés par un changement de faciès et par des discordances de ravinement intra-Unité IV provoquées par des mouvements glaciaires. (BEICIP 1986)

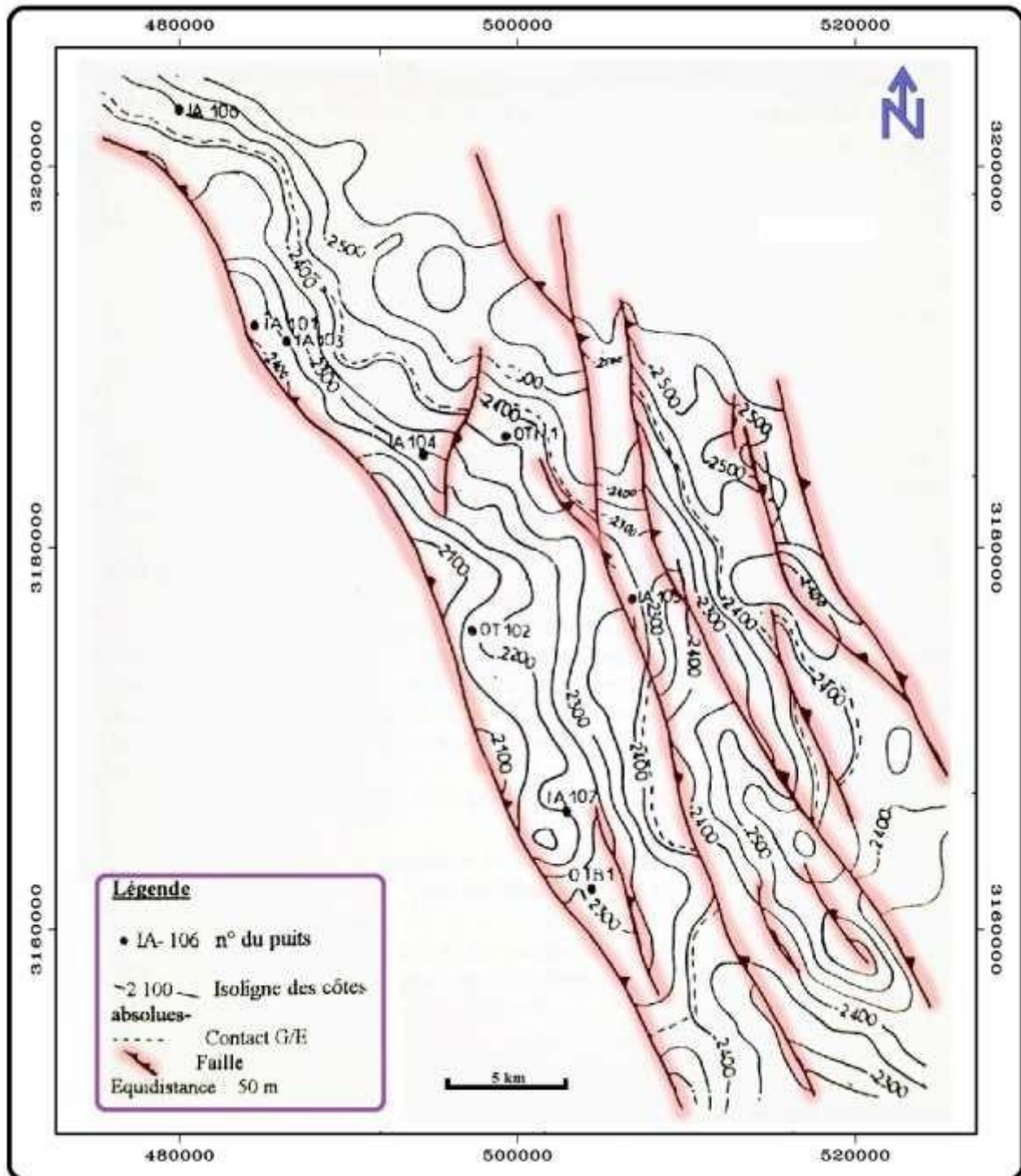


Fig. II.04 : Carte structurale au toit de l'Ordovicien de champ In Adaoui
(Document SONATRACH/Western Atlas 1995, modifié)

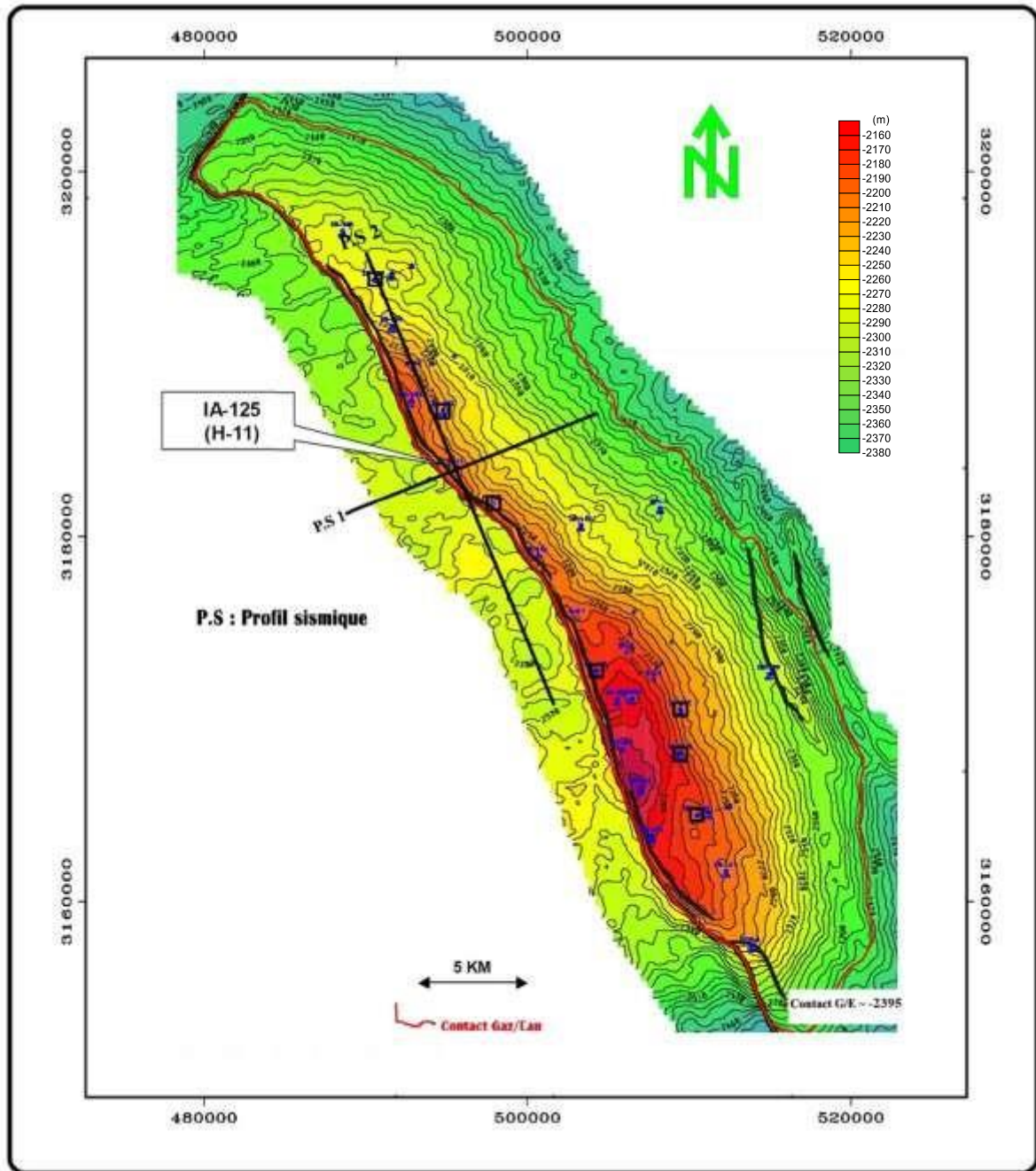


Fig. II.05 : Carte en isobathes au toit de l'Ordovicien
(document BHPbilliton 2002, modifié)

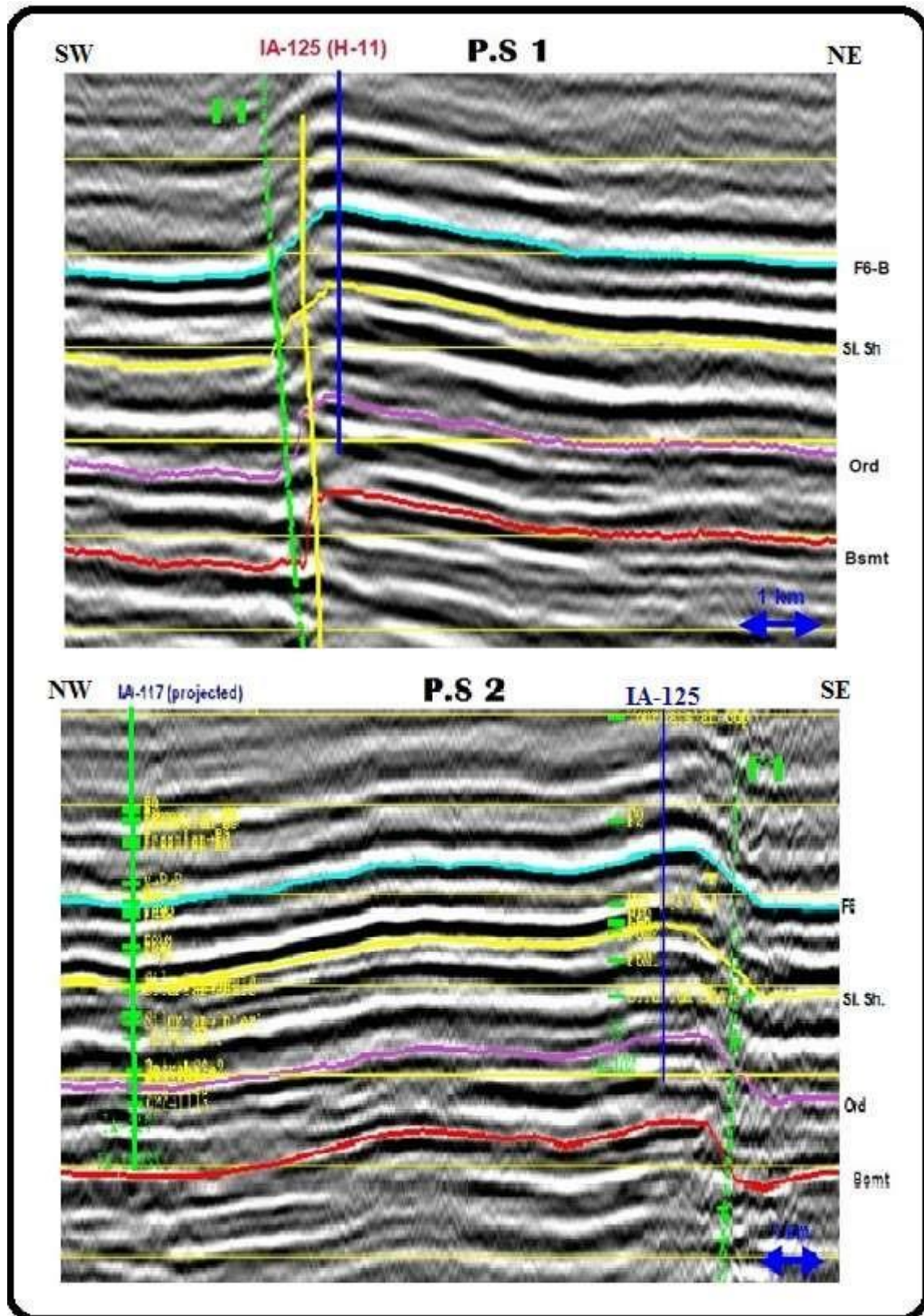


Fig. II.06 : Les Profils sismiques passant par le puits IA-125 (BHPbilliton 2002)

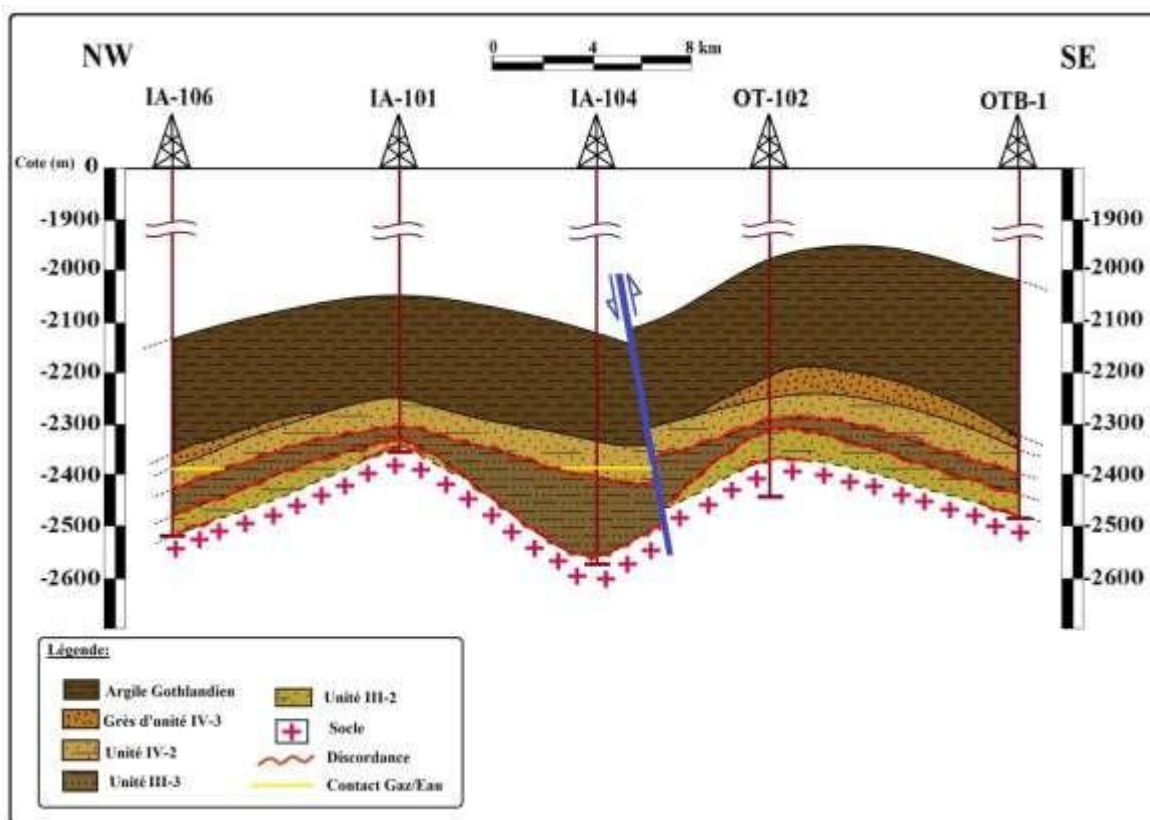


Fig. II.07 : Profil géologique schématique à travers les puits IA-106, IA-101, IA-104
OT-102 et OTB-1

III. Aspect pétrolier de la région d'étude :

III.1. Les roches mères :

Les principales roches mères sont :

- Les argiles du Gothlandien avec une épaisseur qui varie de 25 à 310 m.
- Les argiles de l'Ordovicien et du Carbonifère (moins importante)

D'après les tests géochimiques lancés sur toute la couverture sédimentaire saharienne, seule le Silurien est considéré comme roche mère. Les travaux géochimiques ont révélé que le Dévonien, le Carbonifère et l'Ordovicien sont aussi des roches mères, mais il faut noter que les formations argileuses appartenant à ces systèmes ne sont pas systématiquement riches en matières organiques, seuls quelques niveaux présentent de bons potentiels.

Les travaux géochimiques ont montré que les premiers hydrocarbures formés dans le bassin d'Illizi remontent à la fin du Carbonifère suite à l'érosion Hercynienne qui détruit

les structures positives et les couvertures. Ces hydrocarbures n'ont pas pu être piégés entraînant ainsi une diasmigration et leur destruction par oxydation et biodégradation.

Une deuxième époque de génération des hydrocarbures dans le bassin d'Illizi est datée au Crétacé après l'orogénèse Hercynienne. L'Ordovicien, le Silurien et le Dévonien sont de nouveau enfouis et portés à des profondeurs où les conditions sont favorables pour transformer la matière organique de l'Ordovicien et du Silurien en roche mère à gaz, le Dévonien et le Carbonifère en roche mère à huile.

III.2. Les roches couvertures :

Les roches couvertures principales dans cette région sont essentiellement des argiles du Silurien, Dévonien supérieur et du Carbonifère.

III.3. Les roches réservoirs :

Pour le bassin d'Illizi, tous les réservoirs à hydrocarbures sont de type gréseux ; Les grès du l'Ordovicien d'unité IV et les grès du Dévonien-Gothlandien des réservoirs F6, F5, F4, F3 et F2.

Le meilleur réservoir en termes de qualité pétrophysique matricielle est l'unité IV. Tel que les réservoirs de complexe terminal correspondent à des dépôts glaciaires avec de rapides variations de faciès, d'épaisseur et de caractéristiques pétrophysiques.

Les principaux caractères sédimentaires de l'unité IV dans la région d'In Adaoui sont :

- La variation rapide d'épaisseur de l'unité IV-3.
- La variation rapide de faciès des séries gréseuses et argilo-gréseuses de l'unité IV-2.
- La difficulté de prévoir l'extension des faciès.

Il faut noter aussi les phénomènes diagénétiques, car les mouvements tectoniques ont joué en compression et dans ce cas la recristallisation des grains du quartz et nourrissage en silice entraînent la diminution du vide matriciel et la porosité matricielle devient faible à très faible.

III.4. Types de pièges :

Pour le champ d'In Adaoui, les pièges sont de types structuraux, ils sont principalement des structures anticlinales, aux écrans d'étanchéités causés par les failles à rejet supérieur à l'épaisseur du réservoir (rejet atteint le 400m).

The background image shows a vast, arid landscape with prominent, eroded rock formations. The rocks are a warm, reddish-brown color, suggesting a sedimentary or volcanic origin. The formations are jagged and layered, with some showing vertical erosion patterns. The sky is a pale, clear blue, and the overall lighting is bright, casting soft shadows on the rock surfaces.

Chapitre III :
**CARACTERISATION
SEDIMENTOLOGIQUE**

I. Introduction :

Dans le domaine pétrolier, pour exploiter convenablement un gisement de pétrole ou de gaz, il faut des études : sédimentologique, pétrographique, diagénétique et pétrophysique pour connaître bien que possible les caractéristiques du réservoir afin de reconstruire les paléoenvironnements, paléogéographies et paléoclimats de la formation de ce réservoir par l'étude des caractéristiques : chimique, minéralogique, et paléontologique des roches sédimentaires et la pétrographie sédimentaire, ainsi que l'étude de l'évolution des caractéristiques des roches sédimentaires au cours du temps.

Cette étude présente les résultats d'une synthèse sédimentologique, pétrographique et diagénétique effectué à la base des données des puits forés sur la structure d'In Adaoui Ohanet (IA-106, IA-107, IA-111 et IA-115), qui sont :

- Les données d'épaisseur de l'unité IV-3, ceci permettant d'établir les cartes en isopaques en vue d'étudier l'architecture et les variations d'épaisseurs du réservoir Ordovicien unité IV-3.
- Les Documents du réservoir Ordovicien (photomicrographies, photos des carottes, données des carottes..) réalisés par BHPBilliton, SONATRACH et BEICIP-Franlab pour établir l'étude sédimentologique, pétrographique et diagénétique.
- Les données des logs diagraphiques pour une comparaison avec les carottes et pour établir le découpage séquentiel.

Ce travail a été structuré en quatre parties :

- ❖ La 1^{ère} partie : une approche sédimentologique, qui traite tout ce qui concerne les limites et la variation d'épaisseurs et de faciès de l'unité IV-3 et IV-2.
- ❖ La 2^{ème} partie : interprétation sédimentologique des données des carottes des puits IA-106, IA-107 et IA-111.
- ❖ La 3^{ème} partie est consacrée à l'analyse sédimentologique et à l'étude pétrographique et diagénétique de l'unité IV-3 et IV-2 utilisant les données des carottes de puits IA-115 (Ce puits précisément parce que les données qui sont nécessaires pour cette étude est disponible uniquement dans ce puits qui est localisé dans une zone à des caractéristique pétrophysique les plus favorables). Cette partie est divisée en trois parties comme suite :

- a) Analyse sédimentologique et lithologique avec la biostratigraphie pour définir les différentes strates, leur déposition, la fluctuation du niveau de la mer et le changement des rapports des sédiments.
 - b) L'étude pétrographique qui est basée sur la description des lames minces au microscope optique polarisant.
 - c) L'étude des phénomènes diagenétique qui est basée essentiellement sur les observations microscopiques.
- ❖ La 4^{ème} partie : est la stratigraphie séquentielle de sorte que le découpage séquentiel nous permet de voir l'organisation des corps sédimentaires et leur succession dans l'espace et dans le temps (reconnaissance des séquences de dépôts géologiques et des cortèges sédimentaires).

II. Approche sédimentologique:

L'unité IV est subdivisée en deux sous-unités :

- Unité IV-3, dite dalle terminale.
- Unité IV-2, dite ensemble inférieur.

Dans cette approche, nous allons tenter de déterminer les traits caractéristiques de chaque sous-unité (**Fig. III.01**), en se référant aux travaux effectués par BEICIP.

II.1. Les Limites de l'unité IV-3 (dalle terminale) :

A l'échelle régionale, cette unité est connue, surtout sur les plans lithologiques et diagraphiques. C'est une formation qui se singularise par des qualités de réservoir essentiellement gréseuse et par les variations de facies et d'épaisseur.

Cette unité s'étendue presque sur toute la région étudiée (sauf aux zones des puits IA-101, IA-103 et IA-104). L'épaisseur de l'unité IV-3 varie de zéro (0)m (puits IA-104) à plus de 60m (OTN-1). La carte en isopaques (**Fig. III.02**) montre que l'épaisseur augmente de SW vers le NE et diminue vers la faille.

La Limite inférieure:

La Limite inférieure est présentée par l'unité IV-2. Dans cette région, et plus exactement au niveau de puits OTN-1, il est difficile de reconnaître l'unité IV-3 de l'unité IV-2 d'après le Gamma-ray, car ils présentent dans leurs coupes, une similitude des

composants lithologiques dans les deux formations (IV-3 et IV-2), par contre au niveau des puits OTB-1, IA106... cette limite est nette.

Limite supérieure:

Cette limite est très nette, car on assiste à une discontinuité lithologique marquée par un passage brusque des grès à des argiles de Silurien.

II.2. Les Limites de l'unité IV-2 (ensemble inférieur):

La Limite inférieure :

Stratigraphiquement, cette formation repose en discordance Taconique sur l'unité III. (Fig. III.01)

La Limite supérieure:

La limite supérieure présente un banc argilo-gréseux, rentrant en contact avec les grès de l'unité IV-3. Cette limite est plus difficile à marquer, lorsque la lithologie des deux unités IV-3 et IV-2 s'homogénéise continuellement dans le sens vertical. Dans ce cas on est amené à compter d'avantage sur l'observation des carottes.

Etage	Nomenclature dans le bassin d'Ilizi		Lithologie	Epaisseur	Description	Discordances
SILURIEN inf	Argile à Graptolites			218 à 237 m	Argile noir silteuse.	
ORDOVICIEN	IV-3	Complexe Terminal Ou Formation de Tamadjert		0 à 61.5 m	Grès fin à moyen homogène avec des intercalations argileuses.	Discordance Taconique Discordance Intra-Atzougienne Discordance de socle
	IV-2			56 à 120 m	Grès fin silteux avec intercalation d'argile silteuses noire	
	III-3	Formation d'IN-Tahouite		0 à 120 m	Grès beige siliceux souvent argilo-siliceux, avec la présence des Tigillites	
	III-2	Banquette		0 à 50 m	Grès quartzitique fin à grossier, présence des joints stylolitiques et des Tigillites	
	III-1	Vire de mouflon		0 à 50 m	Grès fin avec intercalation des niveaux argilo-silteux	
Socle Précambrien					Roches granitiques, cristallines et métamorphiques	

Fig. III.01 : Stratigraphie régionale de l'Ordovicien du champ In Adaoui-Ohanet

II.3. Description Lithologique de l'unité IV-3:

II.3.a. Variation d'épaisseurs :

Elle varie de zéro (0) m (IA-104) à 61.5 m (OTN-1).

II.3.b. Variation de faciès:

Suivant les descriptions des carottes faites par SONATRACH, l'unité IV-3 est représentée par des grès fins à moyens homogènes avec des intercalations argileuses.

II.4. Description lithologique de l'Unité IV-2:

II.4.a. Variation d'épaisseur:

L'épaisseur varie de 43 m (IA-105) à 100 m (OTN-1).

II.4.b. Variation de faciès:

D'après les fiches des carottes, l'unité IV-2 est représentée dans certains cas par des grès fins à très fins, le plus souvent à rides et à stratification oblique. Dans d'autres cas le faciès de l'unité IV-2 est plus argileux, cette argile est de couleur noire à gris-noire micacée à grains de quartz microconglomératiques. On remarque ici un grand changement de faciès sur une courte distance.

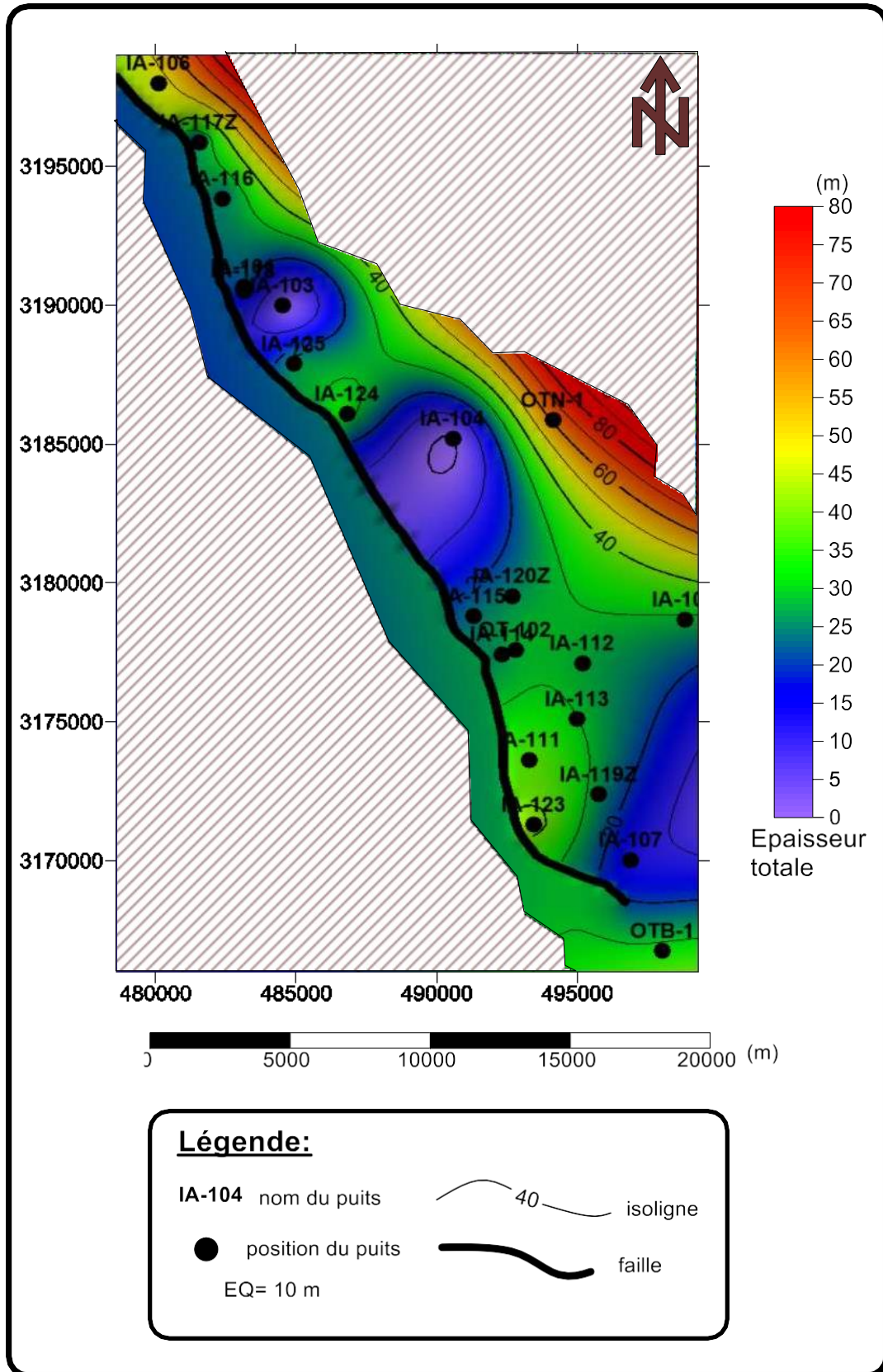


Fig. III.02 : Carte en isopaque totale du réservoir Ordovicien unité IV-3

III. Interprétation sédimentologique des données des carottes :

Cette interprétation est pour but d'établir les environnements des dépôts et les faciès sédimentaires dominant dans l'Ordovicien dans la région étudiée.

III.1 Interprétation sédimentologique du puits IA-106 : (Fig. III.03)

Pour ce puits, l'unité III-3 n'a pas été carottée. le reste des carottes prélevées de ce puits indiquent la présence des unités suivantes :

- **L'unité IV-3** : son épaisseur est égale à 37.5m, est caractérisée par un seul type d'environnement de dépôts qui correspond au complexe marin turbidité (qui résulte des événements littoral fluvio-glaciaire). Les dépôts distingués sont :
 - ❖ Des dépôts de chenal distributeur majeur d'un cône sous-marin profond (**voir Fig. III.06**), au sommet (épaisseur de 3m) est constitués par des grès à grains moyens à grossier avec des stratifications entrecroisées en auge à la base.
 - ❖ Des Mégarides d'aggradation empilés (épaisseur 31.75m) composés de grès fins à moyens à stratifications parallèles ondulées, mud draps et des rares mud clasts.
 - ❖ Des empilements de turbidites avec des flux liquéfiés (Liquefied flows) à la base d'épaisseur égale à 2.75m, composés de grès fins à moyens à ride de courant et des structures d'échappement d'eau.
- **L'unité IV-2** : l'épaisseur de cette unité est égale à 20m, l'environnement de dépôts correspond au complexe marin turbidité, les dépôts caractérisant cette unité sont :
 - ❖ Des sédiments du fond marin (Flux par gravité avec dropstones) au sommet d'épaisseur égale à 15.75m, composés de siltites argileuses à argiles silteuses avec des intercalations de minces couches de grès slumpés.
 - ❖ Des faciès de dépôt remaniés par gravité à la base (épaisseur 4.25m) caractérisés par des couches slumpées composées de grès qui sont introduit avec des matrices argileuses et silteuses.






sys	Formation	Épaisseur (m)	Lithologie	Description lithologique	Environnement de dépôt
					Interprétation des faciès
ORDOVICIEN	UNITE IV-3	3		Grès moyens à grossier grenus occasionnellement conglomératique. Des stratifications entrecroisées à la base	<p>Complexe marin turbidité</p> <p>Chenal distributeur majeur</p>
		31.75		Grès fins à moyens, des stratifications parallèles ondulées, mud drapes occasionnel et rare mud Clasts	<p>Complexe marin turbidité</p> <p>Mégarides d'aggradation empilés</p>
		2.75		Grès fin à moyen (quartz arénites), des rides de courant et des structures d'échappement d'eau	<p>Complexe marin turbidité</p> <p>Empilement de turbidites avec flux liquéfiés</p>
	UNITE IV-2	15.75		Siltites argileuses grises sombres à argiles silteuses avec des minces couches de grès slumpés et Dropstones gris à gris sombres	<p>Complexe marin turbidité</p> <p>Flux par gravité (gravity flows) avec dropstones</p>
		4.25		Couche slumpée avec le matériel slumpés est souvent des grès et les lits déformés sont introduit avec des matrices silteuses et argileuses	<p>Complexe marin turbidité</p> <p>Flux par gravité (gravity flows) avec slumps</p>

Fig. III.03 : Log sédimentologique du puits IA-106

III.2. Interprétation sédimentologique du puits IA-111 : (Fig. III.05)

Les carottes de ce puits présentent les résultats suivants :

- **L'unité IV-3** : avec une épaisseur égale à 37.75m, les environnements de dépôts correspondent au marin peu profond au sommet et un complexe marin turbidité pour le reste. Cette unité est composée de :
 - ❖ Des dépôts intertidaux au sommet (épaisseur 2.62m), le seul faciès de l'environnement marin peu profond se présente dans cette unité, qu'est formée par de fines couches des grès à grain moyens à conglomératique et bioclastique transgressifs situés au-dessus du chenal distributeur majeur du complexe marin turbidité.

- ❖ Des dépôts du chenal, distributeur majeur du cône sous-marin profond (épaisseur 27.25m) où on trouve un grès moyen à grossier avec des stratifications entrecroisées en auge à la base.
- ❖ Des faciès de dépôt remaniés par gravité à la base (épaisseur 7.38m) formé par des grès slumpés avec des matrices silteuses et argileuses.
- **L'unité IV-2** : avec une épaisseur égale à 56.37m, les environnements de dépôts correspondent à un complexe marin turbidité et à la sédimentation du fond marin, les dépôts caractérisant cette unité sont :
 - ❖ Des dépôts du cône sous-marin profond slumpés sous l'action de gravité au sommet (épaisseur 3.12m), formé par des grès slumpés avec des matrices silteuses et argileuses.
 - ❖ Des dépôts de turbidite distales (épaisseur 37.75m), composé de siltites et des grès à grains très fins à fins micacés argileux et compactes.
 - ❖ Des dépôts d'empilement secondaire du complexe des chenaux à la base d'épaisseur égale à 15.5m, ils sont composés de grès à grains fins à grossiers avec des stratifications entrecroisées en auge à la base et de calcaires occasionnels.
- **L'unité III-3** : avec une épaisseur égale à 44.5m, les environnements de dépôts correspondent au complexe marin turbidité et à la sédimentation du fond marin, Les dépôts distingués sont :
 - ❖ Des dépôts de levées des chenaux distributeurs au sommet avec une épaisseur de 22.5m, composés de grès très fins à fins intercalés occasionnellement par des siltites argileuses et des argiles à stratifications parallèles et ondulées
 - ❖ Des dépôts de turbidite distale (épaisseur 7m), composé de siltites et des grès très fins à fins micacés argileux et compactes.
 - ❖ Des dépôts d'empilement secondaire du complexe des chenaux à la base d'épaisseur égale à 15m, elle est composée de grès fins à grossier avec des stratifications entrecroisées en auge à la base et de calcaire occasionnel.




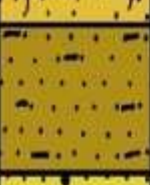
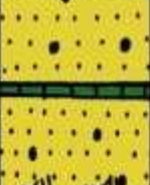

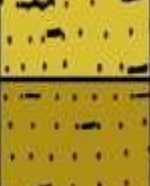
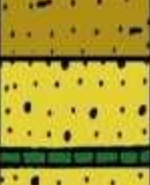

sys	Formation	Epaisseur (m)	Lithologie	Description lithologique	Environnement de dépôt
					Interprétation des faciès
ORDOVICIEN	UNITE IV-3	2.62		Grès bioclastiques moyens à conglomératiques incluant des intercalations de granules de quartz poly-cristallin	Marin peu profond Grès transgressifs
		27.75		Grès moyen à grossier grenus occasionnellement conglomératique. Et Des stratifications entrecroisées en auge à la base	Complexe marin turbidité Chenal distributeur majeur
		7.38		Couche slumpée avec le matériel slumpés est souvent des grès et les lits déformés sont introduit avec des matrices silteuses et argileuses	Complexe marin turbidité
	UNITE IV-2	3.12		Siltites et des grès très fins à fins micacés argileux et compacts	Flux par gravité (gravity flows) avec slumps Complexe marin turbidité
		37.75		Grès fin à moyen (quartz arénites), des stratifications entrecroisées en auge à la base, des rides de courant et des structures d'échappement d'eau avec calcaire occasionnel	turbidites distales
		15.5		Grès très fins à fin grenus micacés intercalés occasionnellement par des Siltites argileuses à argiles grises sombres. Stratification parallèles ondulées	Complexe marin turbidité et sédimentation du fond marin Empilement secondaire du complexe de chenaux
	UNITE III-3	22.5		Siltites et des grès très fins à fins micacés argileux et compacts.	Complexe marin turbidité
		7		Grès fin à moyen (quartz arénites), des stratifications entrecroisées en auge à la base, des rides de courant et des structures d'échappement d'eau avec calcaire occasionnel	turbidites distales
		15		Grès très fins à fin grenus micacés intercalés occasionnellement par des Siltites argileuses à argiles grises sombres. Stratification parallèles ondulées	Complexe marin turbidité et sédimentation du fond marin Empilement secondaire du complexe de chenaux

Fig. III.04 : Log sédimentologique du puits IA-111

III.3. Interprétation sédimentologique du puits IA-107 : (Fig. III.06)

Les carottes de ce puits présentent les résultats suivants :

- **L'unité IV-3** : avec une épaisseur égale à 13.64m, l'environnement de dépôt est marin peu profond, c'est la seule zone où l'unité IV-3 est constitué complètement par des dépôts marins peu profond, elle est composée de :
 - ❖ Des dépôts intertidaux au sommet avec une épaisseur égale à 3.25m, la sédimentation se dépose d'estran à arrière-plage (foreshore to backshore) caractérisés par des grès grossiers à conglomératiques à petites stratifications entrecroisées en auge.
 - ❖ Des dépôts d'avant plage supérieur à moyen (épaisseur 6.25m), caractérisés par des grès fins à moyens avec des couches d'argiles détritiques, de faibles stratifications entrecroisées inclinées et des rides de courant (ondulations).
 - ❖ Des dépôts d'avant plage inférieur à la base (épaisseur 4.14m), caractérisés par des siltites gréseuses à grès silteux très fins à bioturbations abondantes.
- **Unité IV-2** : Avec une épaisseur égale de 28m, les environnements de dépôt correspondent au marin peu profond au sommet et au complexe marin turbidité pour le reste. Les dépôts distingués sont :
 - ❖ Des dépôts d'avant plage inférieur au sommet (épaisseur 3.36m) caractérisés par des siltites gréseuses à grès silteux très fins à bioturbations abondantes.
 - ❖ Des dépôts de levées chenaux distributeurs (épaisseur 2.5m), caractérisés par des grès très fins à fins micacés intercalés occasionnellement par des siltites argileuses à stratifications parallèles et ondulées.
 - ❖ Des dépôts d'empilement de turbidite à la base (épaisseur 22.25m) composés de grès fins à moyens à stratification parallèle et ondulées avec des mud draps occasionnels et rares mud clastes.
- **Unité III-3** : Avec une épaisseur égale à 42.25m. Les environnements de dépôts correspondent aux complexe marin turbidité et a la sédimentation du fond marin. Les dépôts caractérisant cette unité sont :
 - ❖ Des facies de dépôt remaniés par la gravité au sommet (épaisseur 6.75m) formés par des grès slumpés avec des matrices silteuses et argileuses.
 - ❖ Des dépôts marin distale (épaisseur 3.25m), formés par une mince couche d'argile grise sombre faiblement silteuse avec des lentilles de grès et des

bioturbations occasionnelles.

❖ Des dépôts du cône sous-marin profond slumpés sous l'action de gravité (épaisseur 3.75m), formé par des grès slumpés avec des matrices silteuses et argileuses.

❖ Des dépôts du complexe marin turbidité et de la sédimentation du fond marin (épaisseur 28.5m), composés de siltites argileuses grises sombres à argiles silteuses avec des lits minces des grès slumpés sous l'action de gravité, avec Mud supported (diamictite) et Dropstones gris à gris sombres ; parfois des calcaires occasionnels.

sys	Formation	Epaisseur (m)	Lithologie	Description lithologique	Environnement de dépôt Interprétation des faciès
	ORDOVICIEN	UNITE IV-3	3.25		Grès grossier à très grossier grenus à conglomératique à petites stratifications entrecroisées en ange.
6.25				Grès fin à moyens grenus avec des couches d'argiles grenus des faibles stratifications entrecroisées inclinées des rides de courant (ondulations) et des creux subverticales.	Marin peu profond Avant-plage supérieur à moyenne
4.14				Siltites gréseuses à grès silteux très fins avec des quantités variés d'argile organique, des bioturbations abondantes	Marin peu profond Avant-plage inférieur
UNITE IV-2		3.36		Grès très fins à fin grenus micacés intercalés occasionnellement par des Siltites argileuses à argile grises sombres. Stratification parallèles ondulées	Complexe marin turbidité Levées
		2.5		Grès fins à moyens, des stratifications parallèles ondulées, mud drapes occasionnel et rares mud clasts	Complexe marin turbidité Empilement de turbidites
		22.25		Grandes couches slumpées. Le matériel slumpés est souvent des grès et les lits déformés sont introduit avec des matrices silteuses et argileuses	Complexe marin turbidité Flux par gravité (gravity flows) avec slumps
UNITE III-3		6.75		Mince couche d'argile grise sombre faiblement silteuse avec des lentilles des grès et bioturbations occasionnelles.	Complexe marin turbidité Argile marin distale
		3.25		Couche slumpée avec le matériel slumpés est souvent des grès et les lits déformés sont introduit avec des matrices silteuses et argileuses.	Complexe marin turbidité Flux par gravité (gravity flows) avec slumps
		3.75		Siltites argileuses grises sombres à argiles silteuses avec des lits minces des grès slumpés. Mud supported (diamictite). Dropstones gris à grès sombres. Avec calcaire occasionnel.	Complexe marin turbidité et sédimentation du fond marin Flux par gravité (gravity flows) avec slumps et dropstones
		28.5			

Fig. III.05 : Log sédimentologique du puits IA-107

III.4. Conclusion sur l'interprétation sédimentologique :

L'interprétation des données des carottes prises à partir des puits IA-107, IA-111 et IA-106 montrent que l'environnement de sédimentation dominant pour l'unité IV de la structure de l'Ordovicien du champ In Adaoui c'est l'environnement fluvio-glaciaire littoral qui est l'origine d'une sédimentation des dépôts correspond au cône sous-marin profond (complexe marin turbidité). (Fig. III.06)

Donc, les dépôts qui forment l'unité IV sont des dépôts glacio-marins.

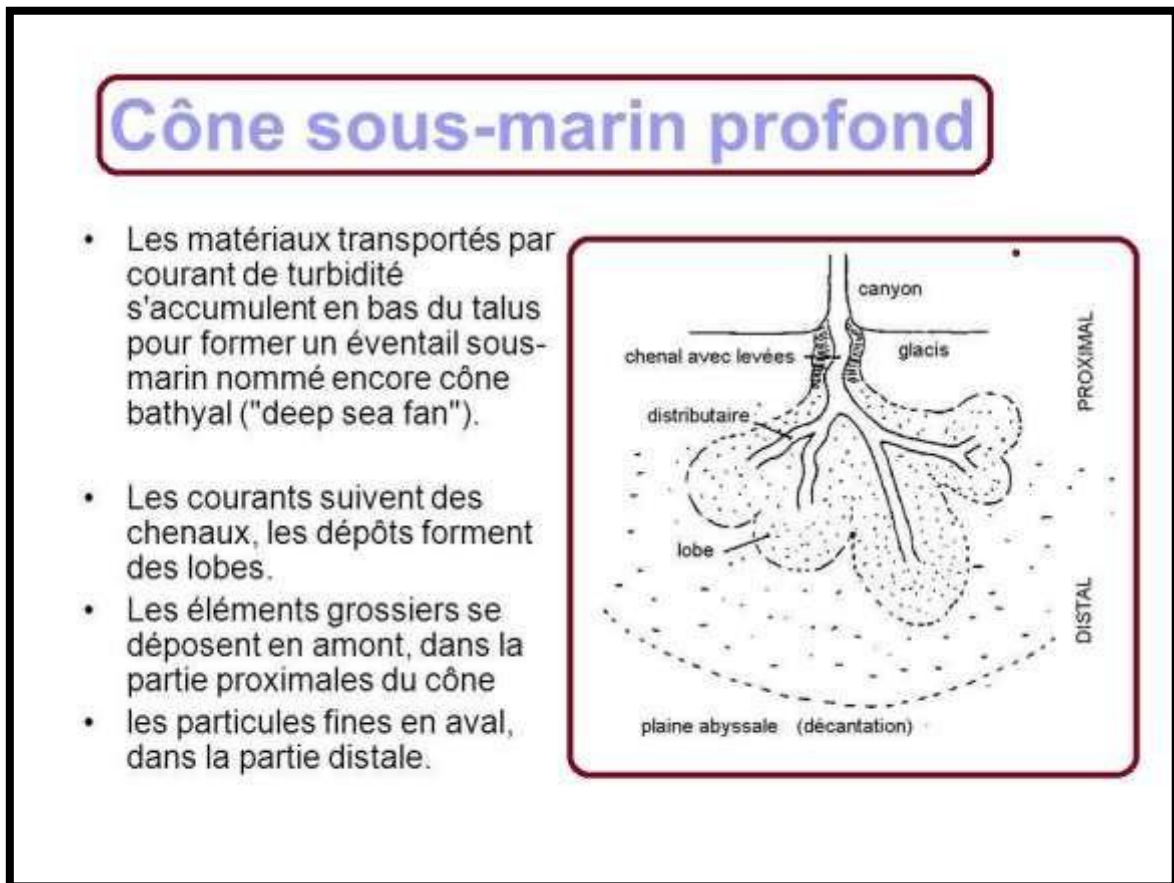


Fig. III.06 : Illustration de cône sous-marin profond (complexe marin turbidité)

IV. Etude sédimentologique, pétrographique et diagénétique:

IV.1. Introduction :

Cette partie présente les résultats d'une étude sédimentologique, pétrographique et diagénétique sur les carottes de puits IA-115 dans le champ d'In Adaoui. Nous avons choisi ce puits particulièrement pour plusieurs raisons, la plus importante est sa situation au centre du champ à proximité d'une zone à paramètres pétrophysiques favorables et traverse la structure anticlinale de la zone d'étude. Les carottes étudiées ont été prises du réservoir de l'Ordovicien supérieur (unité IV-2 et IV-3).

Deux carottes pour IA-115 sont étudiées (C1 et C2). Un écart de 50 mètres sépare les deux carottes. Les profondeurs des carottes et les profondeurs des logs diagraphiques correspondantes sont résumées dans le (Tableau. III.01).

En outre, un total de 27 échantillons conservés de 15cm de long ont été prélevés dans les intervalles gréseux de l'Ordovicien.

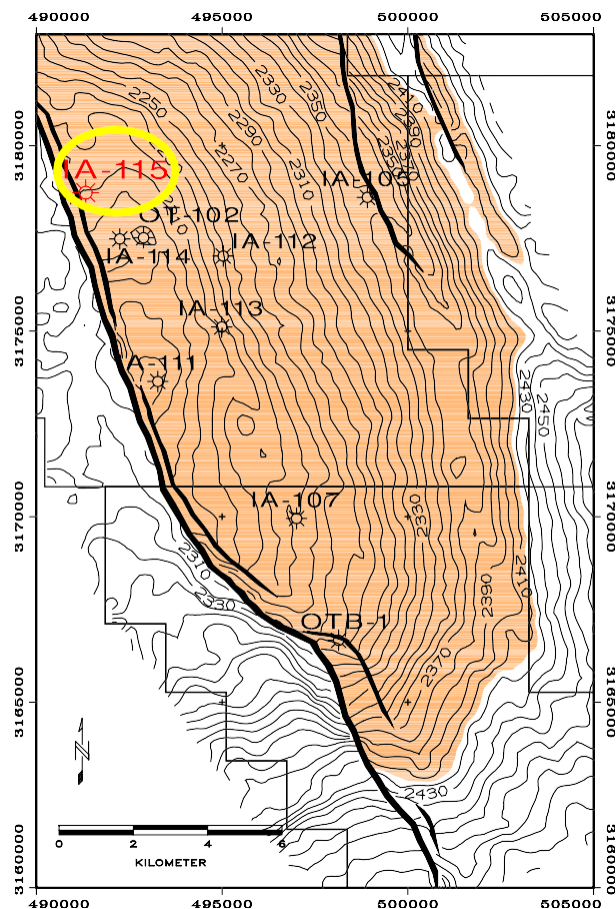


Fig. III.07 : Carte de localisation du puits IA-115

	Profondeur de carotte P.C (m)	Profondeur de Log P.L (m)	Décalage (m)	Epaisseur (m)
Top C1	2763.4	2768.15	4.75	37.6
Base C1	2801	2805.75	4.75	37.6
Top C2	2851	2857	6	23
Base C2	2873.8	2879.8	6	23

Tableau. III.01 : Profondeur du Carotte vs profondeur du Log diagraphique.

Une enquête pétrographique et diagénétique détaillée a également été entreprise sur 28 échantillons (voir la liste des échantillons dans le **Tableau. III.02**), en particulier l'étude des relations de croissances de quartz et de la qualité du réservoir, Les descriptions détaillées des carottes (C1 et C2) effectués par BEICIP-Franlab, sont présentées dans **Annexe 1**, ainsi que les descriptions des lames minces avec deux photomicrographies par échantillon (**Annexe 2**).

Sept (07) échantillons ont également été sélectionnés pour la biostratigraphie (**Tableau. III.02**) dans les rares intervalles argileux minces interstratifiées dans les grès. Le contact avec les argiles Silurien n'a pas été carotté.

Le résumé des codes des faciès, les environnements de dépôts et l'interprétation sédimentologique, est présenté dans le (**Tableau. III.03**).

Profondeur d'échantillon (carotte, m)	Profondeur d'échantillon (log, m)	PETROGRAPHIE	BIOSTRATIGRAPHIE
2763.50	2768.00	X	
2766.00	2770.50	X	
2768.55	2773.05	X	
2771.50	2776.00	X	
2774.25	2778.75	X	
2776.50	2781.00	X	
2779.25	2783.75	X	
2782.25	2786.75	X	
2785.00	2789.50	X	
2786.50	2791.00		X
2787.40	2791.90	X	
2789.55	2794.05	X	
2790.30	2794.80	X	
2790.70	2795.20		X
2793.55	2798.05	X	
2796.50	2801.00	X	
2798.50	2803.00	X	
2800.50	2805.00		X
2851.30	2857.30	X	
2853.05	2859.05		X
2855.00	2861.00	X	
2857.00	2863.00	X	
2857.75	2863.75	X	
2859.00	2865.00		X
2860.25	2866.25	X	
2862.25	2868.25	X	
2864.25	2870.25	X	
2866.50	2872.50	X	
2867.25	2873.25	X	
2868.90	2874.90		X
2869.25	2875.25	X	
2870.25	2876.25	X	
2871.00	2877.00	X	
2873.05	2879.05	X	
2873.55	2879.55		X
		28	7

Tableau III.02 : Liste des échantillons pour l'étude pétrographique et biostratigraphique dans IA-115

Formation	Environnement de dépôt	Code de faciès	Interprétation des faciès
Silurien	Marin	Ma1	Marin
Unité IV	Marin peu profond	SM1	Grès transgressifs
		SM2	Intertidal (foreshore to backshore)
		SM3	Avant-plage supérieur à moyenne
		SM4	Avant-plage inférieur
	Complexe marin turbidité	MT1	Coulées de débris ou de remplissage de canal basal
		MT2	Chenal distributeur majeur
		MT3	Empilement secondaire du complexe des chenaux
		MT4	Top du complexe des chenaux
		MT5	Mégarides d'aggradation empilés
		MT6	Flux par gravité (gravity flows) avec slumps
		MT7	Empilement de turbidites avec flux liquéfiés
		MT8	Levées
		MT9	Lits minces de turbidite
		MT10	Flux par gravité (gravity flows) avec slumps et dropstones
		MT11	Argile marin distale

Tableau. III.03 : Codage et interprétation des Faciès pour l'intervalle Ordovicien

IV.2. Analyse sédimentologique :

IV.2.a. Analyse des faciès sédimentaires :

Les faciès identifiés dans les carottes étudiées sont présentés dans le (Tableau. III.04) ci-dessous.

Carotte Top (m)	Carotte Base (m)	Log Top (m)	Log Base (m)	Caractéristiques majeurs
2763.4	2786.23	2768.15	2790.98	Grès mal triés "hétérométriques", Evènement d'épandage fluvio-glaciaire majeur (MT2)
2786.23	2790.56	2790.98	2795.31	Progradation basale, MT6 dominante
2790.56	2801	2795.31	2805.75	Turbidites distaux, possibilité des courants externes de turbidité, drainage régional renouvelé, faciès MT9 dominant
2851	2865.35	2857	2871.35	Empilement secondaire sous-marin du complexe des chenaux, chenaux et digues / levées, MT3 dominant
2865.35	2873.80	2871.35	2880	Ecoulement des débris et sheet-floods dominants (MT1 et MT6)

Tableau. III.04 : Association des faciès dans le puits IA-115

Deux carottes, inégales en longueur et séparées par un intervalle de 50 m, ont été recueillies dans le puits IA-115. Le détail des unités est présenté ci-dessous (de bas en haut):

Unité 2865.35 – 2873.80m P.C (8.45 m)

(2871.35 - 2880m P.L)

Lithofaciès: Cette unité se caractérise par une succession de lithotypes distinctes organisées en deux sous-unités.

- **La première sous-unité (2869.50 – 2873.80m P.C)** : est constituée de grains très fins, mal classés (avec des granules de sable occasionnels), grès compact, calcite-cimentée sans structure vers la base (ci-dessous 2872.50m), passant vers le haut à un grès plus structuré et légèrement grossier, affiche des lames horizontales de siltites. Un contact érosif fort apparaît au niveau de 2869.50m.

- **La deuxième sous-unité (2865.35 – 2869.50 m P.C)** : est caractérisée par plusieurs conglomérats. Il se compose de conglomérats polygéniques (**Planche 1**) avec

clastes arrondis, y compris le granite (voir le centre de la Planche 1), argilite sidéritique, roches ignées verdâtres, carbonates et argilites gris foncé. Certains clastes peuvent atteindre jusqu'à 10cm de taille. Tous les fragments sont situés dans un ciment de calcite ferreuse. Ce conglomérat est recouvert par une fine couche de grès à grains fins à stratifications horizontales (2865.35 – 2866.15 P.C, voir la partie gauche de la Planche 1).

La qualité du réservoir: Les grès sont généralement étroitement cimentés par la calcite ferreuse dans les intervalles conglomératiques. La porosité est généralement inférieure à 5%, avec des perméabilités associées a moins de 0.8 md.

Environnement / Faciès: on considère cet intervalle comme appartenant à des écoulements des débris (pour les conglomérats désorganisés) liés à la glace-rafting sur le fond de la mer (Faciès MT1). Les lits sont minces, parfois ondulés à stratifiés horizontalement, de grès interstratifiés dans les conglomérats correspondent à un stade tardif (lamine supérieure parallèle).

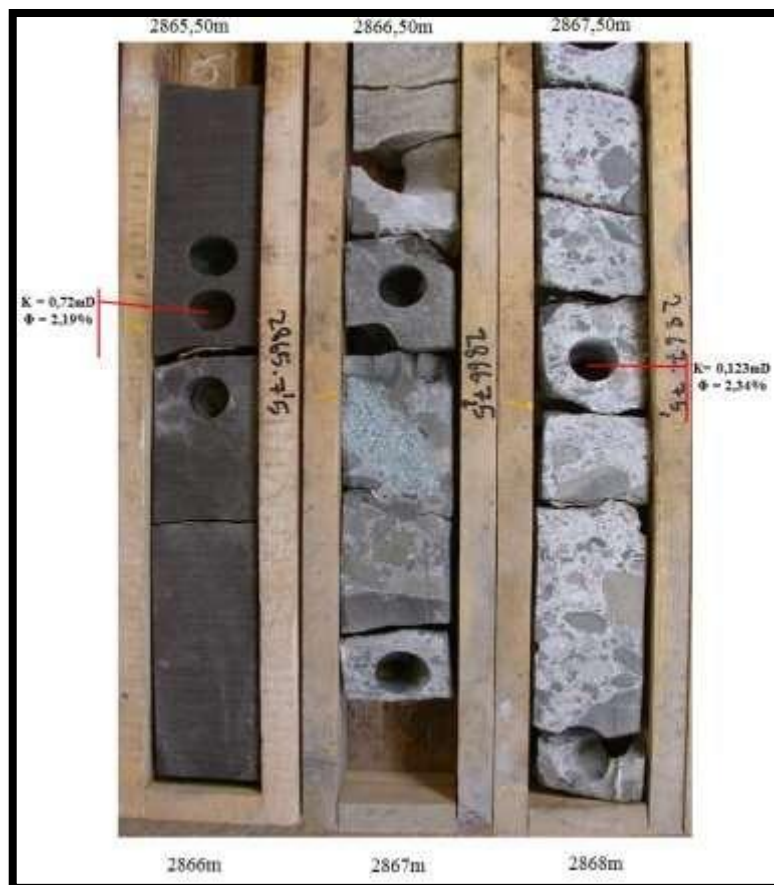


Planche 1 : conglomérat vers la base de l'unité IV

Unité 2851 – 2865.35m P.C (14.35m)**(2857 – 2871.35m P.L)**

Lithofaciès: Cette unité est dominée par des grès fins, rarement à grain moyen. Elle peut être divisée en deux sous-unités:

- **Une sous-unité inférieure (2858.83 – 2865.35m P.C) :** grès à grains fins à moyens. Les grès de base sont principalement anhiste, sauf dans la partie supérieure des séquences des ensembles ridés sont affichés à petite échelle. Un mince intervalle de grès-argileux foncé marque le haut de l'unité (2858.83 - 2859.10m P.C).

- **Une sous-unité supérieure (2851 – 2858.83m de P.C) :** dominée par des grès à grains fins, s'affichent sous forme sigmoïdale (processus de traction, voir la **Planche 2B et 2C**). La partie supérieure est formée d'un grès légèrement grossier et mal classé, qui comprend des granulés de quartz flottants (**Planche 2A**).

La qualité du réservoir: la porosité visible varie de faible à modérée, allant de 1-8%, dans la sous-unité supérieure, plus régulière dans la sous-unité inférieure avec une moyenne de 4-6%. Dans l'ensemble de l'intervalle, les perméabilités sont faibles, réduites par le ciment carbonaté et le quartz.

Environnement / Faciès: Cet intervalle est représentatif d'empilement secondaire du complexe des chenaux alternant avec des possibles digues/levées des chenaux (faciès dominants MT3). Dans ces larges zones de faible gradient, il est impossible d'identifier un corps de sable constituant le relief sédimentaire d'origine. La plupart des processus de sédimentation impliquent le transport et le dépôt par les courants de traction.

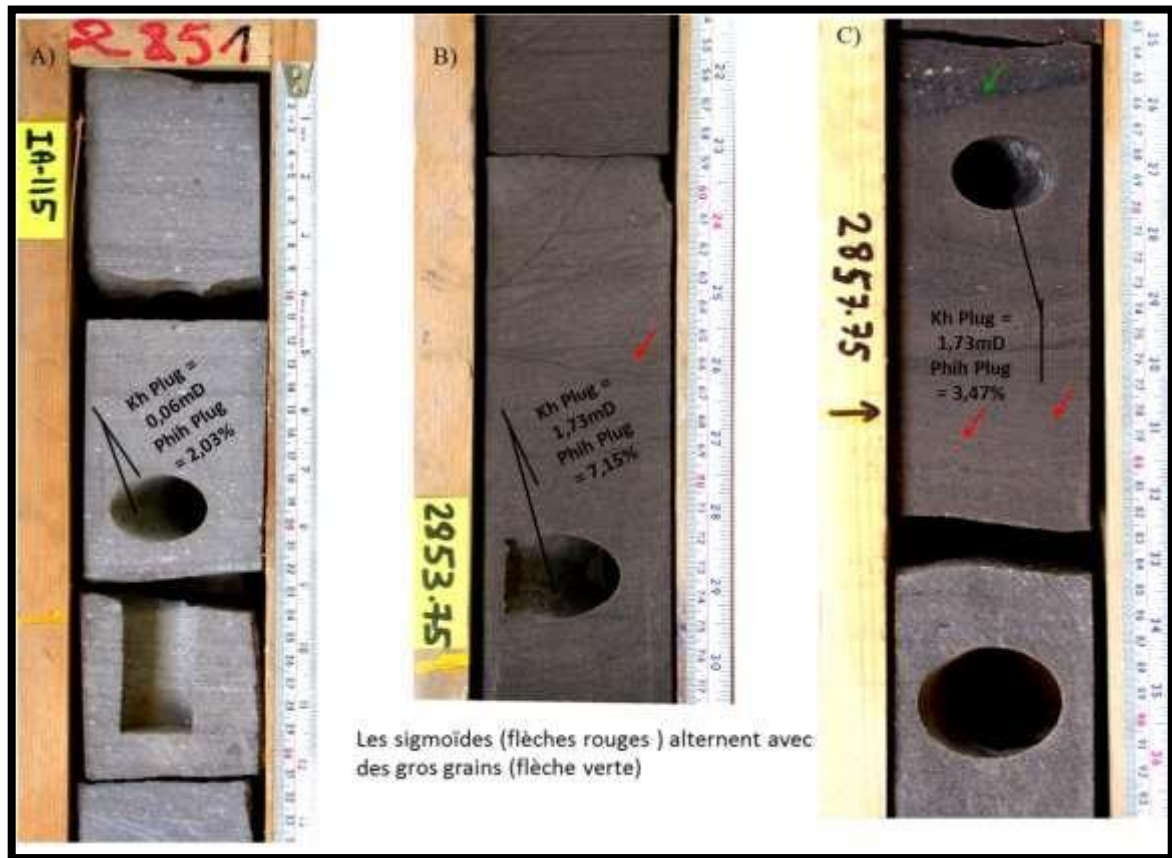


Planche 2 : Des grès entrecroisés avec des sigmoïdes

Unité 2790.56 - 2801m P.C (10.44m)

(2795.31 – 2805.75m P.L)

Lithofaciès: Cette unité, dont les caractéristiques sédimentologique principales sont illustrées dans la **Planche 3**, se distingue par la présence de nombreuses rides et mamelon empilés en succession monotone d'un cycle de grès à grain très fin d'un (1) mètre d'épaisseur. Les sédiments sont fortement arkosiques (env. 25% de feldspaths) et micacés (voir **Annexe 2. les Plaques 13 et 15**). Des stratifications d'argilites d'ordre millimétriques discrètes se produisent régulièrement (**Planche 3**).

La qualité du réservoir: Les propriétés du réservoir sont très faibles, avec des porosités variant entre 2 et 8% et des perméabilités généralement inférieures à 0.008 mD. L'espace des pores intergranulaires a été réduit à des niveaux négligeables par l'excroissance de quartz et le ciment carbonaté.

Environnement / Faciès: Ce faciès est interprété comme une turbidite distale (Faciès MT9) où la stratification est bien mince (laminations ondulées).

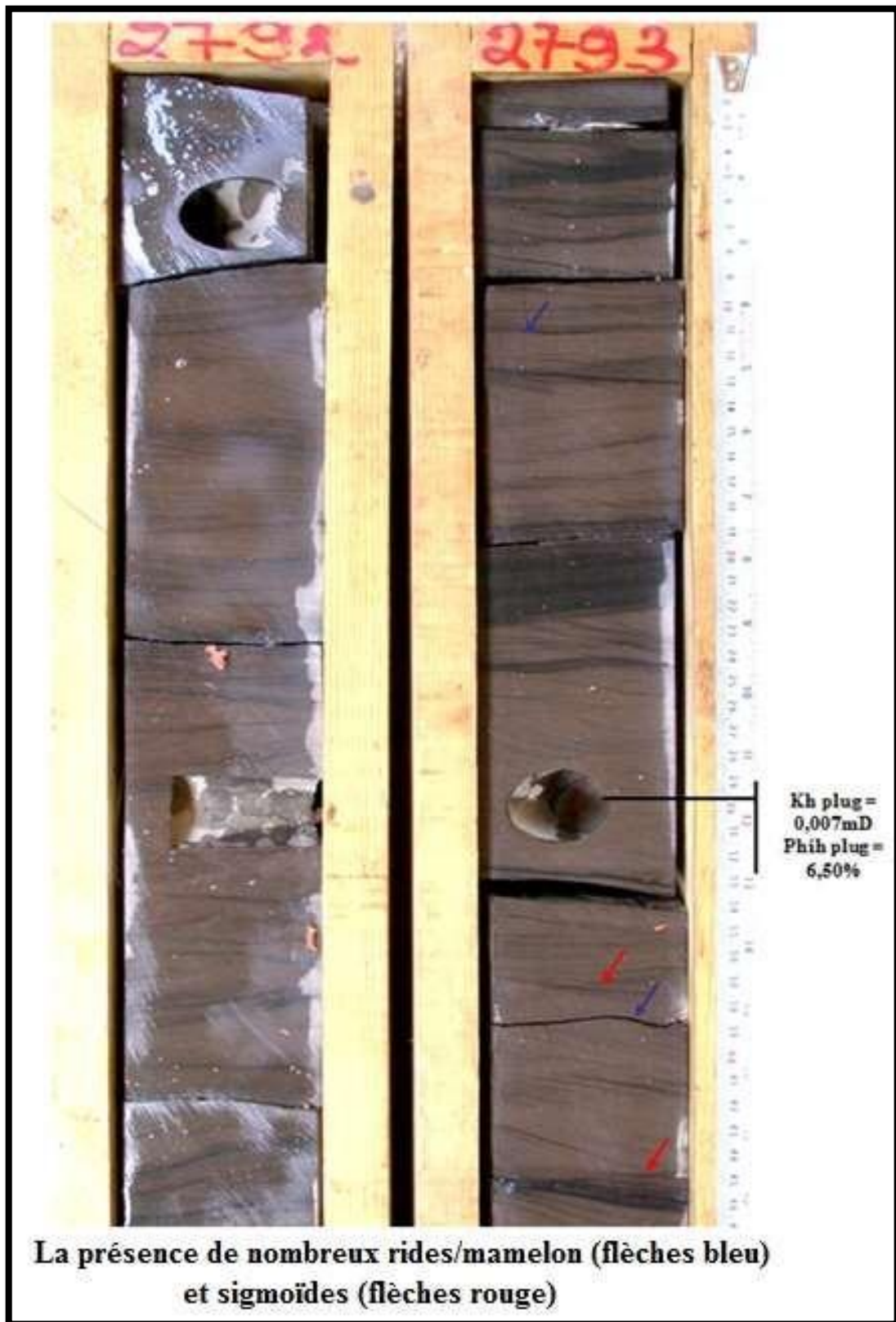


Planche 3 : Grès ridé à grains très fins

Unité 2786.23 – 2790.56m P.C (4.33m)

(2790.98 – 2795.31m P.L)

Lithofaciès: Cet intervalle est de transition entre l'unité sous-jacente de grès à grains très fins et le grès grossiers mal triés qui le recouvre. Il est constitué principalement par des grès à grains fins avec de minces siltites récurrente et argilites y compris les granules de quartz.

La qualité du Réservoir: La qualité du réservoir est faible, avec des porosités dans l'ordre de 4-6% et des perméabilités généralement inférieures à 0.08 mD. Excroissances de quartz et des ciments de type carbonate sont responsables de l'occlusion de la majeure partie du réseau de pores d'origine.

Environnement / Faciès: Cet intervalle est représentatif d'écoulement des débris par gravité (gravity flows). Faciès MT6 représente le début du processus de progradation.

Unité 2763.4 – 2786.23m P.C (22.83m)

(2768.15 – 2790.98m P.L)

Lithofaciès: les principales caractéristiques sédimentologiques sont illustrées dans la **Planche 4**; ils sont constitués de grès très hétérométriques, affichant de larges variations dans la taille des grains de fine à très grossière et granules. Les fractions grossières et granulaires sont généralement organisées en stratifications horizontale à subhorizontale avec une échelle millimétrique à décimétrique, sans classement apparent. La surface d'érosion est discrète et les stratifications sont également marquées par une teneur en argile légèrement supérieure définissant des lamines qui sont légèrement ondulée. Des lits entrecroisés de grès sont plus fréquents vers le haut de cette unité.

La qualité du réservoir: la porosité visible est modérée, bien que les valeurs généralement allant de 4-6%. Les perméabilités sont meilleures que dans le reste de la section et varient de un (1) à plusieurs dizaines de mD. Une telle variation de la perméabilité est liée aux variations granulométriques à petite échelle lorsque la population à grains fins peut constituer des barrières de perméabilité à une évolution d'échelle décimétrique dans une couche plus perméable.

Environnement / Faciès: Ce faciès fortement progradant représente un mélange de processus de dépôt. Principalement un dépôt par des forts courants alternant avec des sheet-floods éphémères (Faciès MT6).

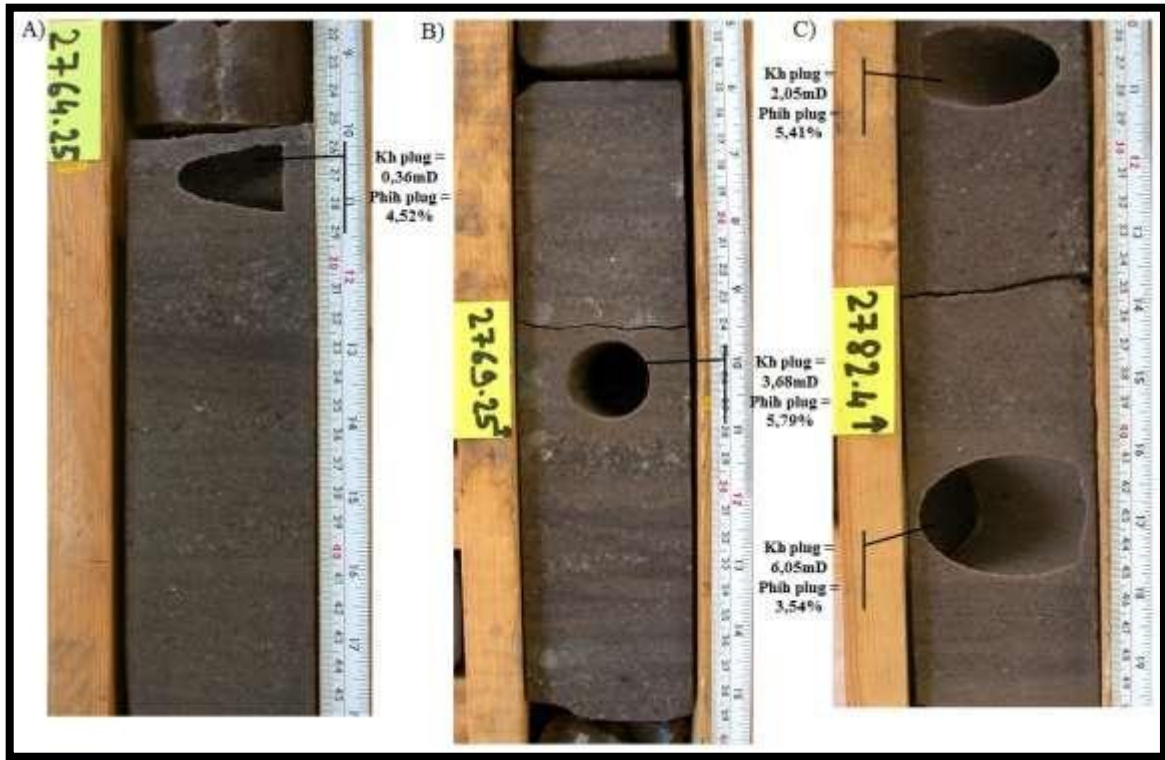


Planche 4 : Grès mal triés avec de gros grains

IV.2.b. Systèmes de dépôts :

La base de l'unité IV (correspond au toit de l'unité III-3), a été provisoirement fixée à 2901m P.L (n'a pas été carottée) en tenant compte de la présence d'épaisses unités de grès identifiés dans les Logs (2885-2892m et 2893-2901m). Ces grès «propres» sont plus susceptibles d'appartenir à l'unité IV qu'à l'Unité III-3. En plus de cela, les grès de l'Unité III-3 sont généralement marqués par une diminution moyenne de la gamma-ray et une diminution de la teneur en sable net.

Toutefois, aucune décision définitive ne peut être prise que l'endroit où fixer la limite entre l'unité IV et l'unité III-3, basée uniquement sur la réponse du Log.

La meilleure méthode pour détecter la limite supérieure de l'unité III-3 serait d'établir une colonne lithologique détaillée basée sur la description des carottes, Les grès et les sables hétérolithiques appartenant à cette unité sont caractérisés par leur contenu micacé élevé qui devrait être facilement détectée par les observations.

En outre, une enquête biostratigraphique systématique faites sur les coupes de carottes prises régulièrement dans la partie inférieure (entre l'unité IV et l'unité III-3), en raison de la discordance glaciaire présente à la base de l'unité IV, un écart d'âge devrait être existé, avec un contact entre l'Ashgill (l'âge de l'Unité IV) et le Caradoc (l'âge de l'unité III-3).

Prenant en considération une possibilité de la limite **Unité III-3 / Unité IV** à 2901m. Les systèmes de dépôt de recouvrement de l'unité IV peuvent être résumés comme suit: (de bas en haut)

- Une unité de base comprenant un mélange de flux par gravité avec des flux des débris. Cette unité est représentée par un intervalle de log (2871.35-2901m), la sédimentation de fond est représentée par l'argileux/limoneux "diamictite", identifiée dans les logs par leur haute gamma-ray. Il faut noter que cette carotte basale appartient toujours à l'Unité IV, comme il est confirmé par les données biostratigraphiques.

- Une unité formée par une succession d'empilement secondaire sous-marin du complexe de chenaux est représentée par l'intervalle de Log (2843-2871.35m).

- Une unité intermédiaire de lits minces de turbidite est présenté dans l'intervalle de log (2795.31-2843m). Il est partiellement représenté par la section carottée 2790.56-2801m.

- Une unité progradante supérieure 2795,31m P.L (2790,56m P.C), complètement carottée, est constituée par un sable progradant basal recouvert par une épaisse succession des sheet-floods.

La partie la plus haute de l'unité IV et le contact avec les argiles Siluriennes ne sont pas carottés. Le contact avec les argiles Silurien a été établi à 2767.5m P.L.

IV.3. La Biostratigraphie :

IV.3.a. Introduction :

Sept échantillons de carottes (2786.50m, 2790.70m, 2800.50m, 2853.05m, 2859.00m, 2868.90m et 2873.55m) ont été traités selon la technique habituelle (à savoir la destruction de la matrice minérale, d'abord avec HCl, puis avec du HF (Hydrofluoric) et nettoyage avec HNO₃. Les échantillons contiennent un peu d'huile nécessitant des procédés de nettoyage spécifiques.

IV. 3.b. Méthodologie :

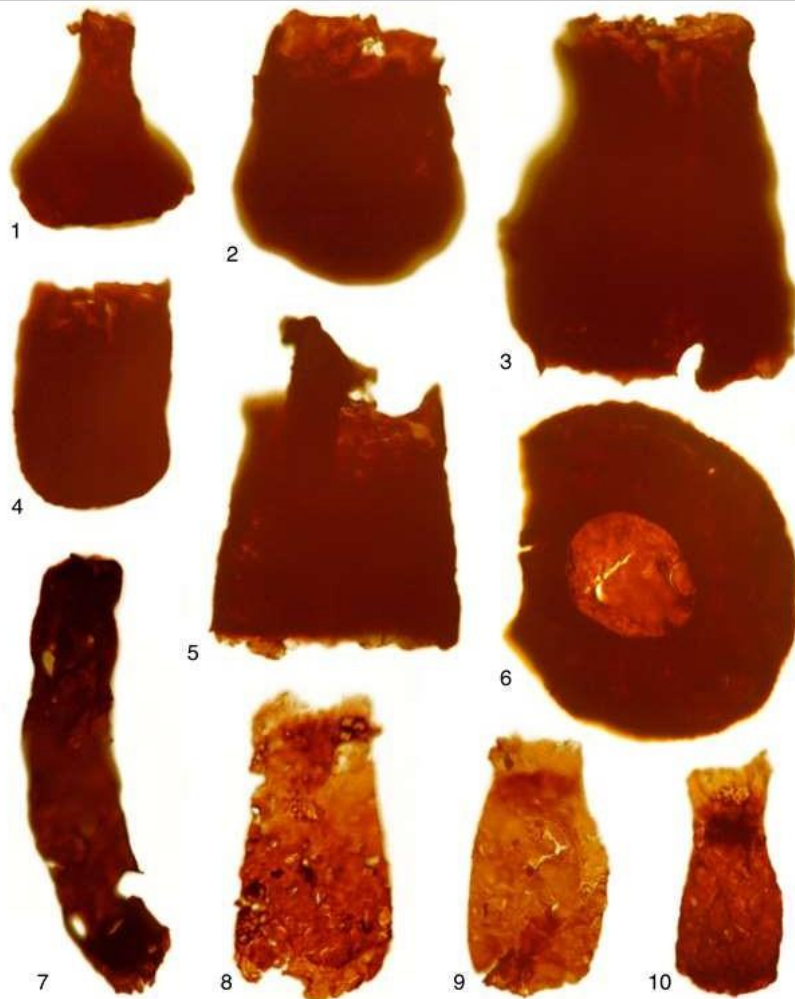
Le résidu organique est tamisé en utilisant une maille de 53 micromètres afin de récupérer chitinozoaires, scolécodontes, et les plus possibles des fragments de plantes. Tous les microfossiles sont cueillis à la main sous le microscope binoculaire. Le résidu organique inférieure à 53 micromètres est monté dans des glissières palynologiques permanentes. Les chitinozoaires et les autres grandes palynomorphes (tissu végétal, scolécodontes) ont été comptés à partir de l'ensemble du résidu (par exemple à partir de 10 grammes de roche), sauf pour l'échantillon le plus riche (de 2790.70m) où 10% ont été repris. Leur abondance est exprimée en nombre de spécimens de chitinozoaires par gramme de roche. Les classes utilisées pour décrire la fréquence relative des chitinozoaires sont présentées dans le **Tableau. III.05**. A cause de l'apparition de nombreux spécimens fragmentés, (impossible d'identifier, même au niveau générique), la diversité des chitinozoaires est calculée exclusivement sur le relevé au moins au niveau générique.

IV.3.c. Résultats :

Les données sont présentées en ordre stratigraphique, du plus jeune au plus ancien échantillon (**Tableau III.05**). Les principales espèces de chitinozoaires sont illustrées dans les **Planche 5** et **Planche 6**.

2873.55 m	2868.90 m	2859.00 m	2853.05 m	2800.50 m	2790.70 m	2786.50 m	IA-115
v							
	s			s	s	?	<i>Armoricochitina nigerica</i>
v			s	n		s	<i>Euconochitina</i> gr. <i>lepta</i>
v	s		s	s	v	s	<i>Calpichitina lenticularis</i>
v	s		?	v	v	?	<i>Tanuchitina elongata</i>
v				s	s	s	? <i>Rhabdochitina</i> sp.
	v			v	v		<i>Desmochitina minor</i>
	v						<i>Spinachitina</i> ?. sp.
	v						<i>Belonechitina</i> sp.
				v	s	v	<i>Conochitina</i> sp. 1
				?			<i>Angochitina</i> sp. 1
						s	<i>Conochitina</i> sp. 2
n		n		s	s		Conochitinidae indet.
7		<1	7	20	110	11	Chitinozoans / gram / rock
					v		Scolecodonts
v	v	v	v	v	v	v	Leiospheres
v	v	v	v	v	v	v	Acritarchs
v	v						Cryptospores
	v		v				Tissue
n >50 % 20-50 % s 5-20 % v < 5 % V occurrence							

Tableau III.05 : Gamme et la fréquence relative des chitinozoaires et diverses palynomorphes enregistrées dans le puits IA- 115



Grossissement: **x 380**, à l'exception des figures. 7 et 10: **x 240**

Légende:

Figure. 1: **Ancyrochitina** ; 2873.55m

Figure. 2: **Conochitina** ; 2873.55m

Figures. 3 et 5: **Armoricochitina nigerica** ; 2873.55m

Figure. 4: **Belonechitina** ; 2868.90 m

Figure. 6: **Calpichitina lenticularis** ; 2868.90m

Figure. 7: **Tanuchitina. Elongata** ; 2868.90m

Figure. 8: **Conochitina** ; 2853.05m

Figures. 9 et 10: **Conochitina** ; 2853.05m

Planche 5 : Chitinozoaires de puits IA-115



Grossissement: x 380, à l'exception des figures. 1,2, 4 et 7: x 240
la figure. 3: x95

Légende:

Figure. 1: *Tanuchitina* ; 2853.05m

Figure. 2: *Conochitinidae* ; 2853.05m

Figure. 3.: Fragment de tissu Grand, éventuellement d'origine végétale; 2853.05m

Figure. 4: *Tanuchitina elongata* ; 2790.70m

Figure. 5: *Calpichitina lenticularis* ; 2790.70m

Figure. 6: *Armoricochitina nigerica* ; 2790.70m

Figure. 7: *Rhabdochitina* ; 2786.50m

Figures. 8 et 9: *Angochitina* ; 2786.50m

Figure. 10: *Calpichitina lenticularis* ; 2786.50m

Figure. 11: *Conochitina* ; 2786.50m

Echantillon extrait de : 2786.50m

Lithologie : Mudstone gris foncée.

Microfossiles à parois organiques :

Le résidu organique obtenu à partir du traitement de 5g de roche comprend chitinozoaires et acritarches. La préservation des chitinozoaires est correcte avec une maturation faible (couleur jaune à brun clair des vésicules).

Parmi les spécimens identifiés un *Lagenochitina* à paroi mince avec des très petites épines, souvent érodés. Cette forme (25% des individus identifiées) n'a pas été observée précédemment et donc il est provisoirement appelé ici *Angochitina* (**Planche. 6, Fig. 8 et 9**). Il est accompagné par de petits *Conochitina* et *Tanuchitina* (Forme élancée différente de *elongata* et renvoyé à cette espèce avec un point d'interrogation sur le **Tableau III.05**). *Conochitina* et *Euconochitina gr. lepta* (environ 15% des individus identifiés). Moins de 10% de quelques *Calpichitina* et peut-être un spécimen mal conservé d'*Armoricochitina nigerica*.

Les acritarches comprennent de nombreux représentants du genre *Veryhachium* (environ dix fois plus abondante que les autres acritarches) et *Evittia* rare. Aucune espèce *Villosacapsulla* n'a été enregistrée parmi les acritarches triangulaires, mais un *diacrodian* a été observée.

Affectation d'âge :

Cet assemblage chitinozoaires est très particulier. Cependant, la présence de chitinozoaires lenticularis indique clairement un âge Ordovicien tardif que les espèces ne varie pas au-delà du Silurien/Ordovicien. Les occurrences d'*Euconochitina gr. lepta* et *Armoricochitina nigerica* suggèrent un âge Ashgill. L'absence de spécimens *Tanuchitina elongata* ou de *Spinachitina* ne permet pas une affectation plus précise de l'âge. Cependant, les échantillons plus profonds sont déjà à la fin d'Ashgill, l'argile à 2786.50m doit également avoir le même âge.

Paléoenvironnement:

L'association d'*Acritarches* avec un nombre modéré de chitinozoaires supporte un environnement marin distal supérieur (upper offshore). L'abondance de *Veryhachium*

triangulaire à l'égard de l'autre taxon *Acritarches* est généralement interprétée comme une indication des conditions environnementales défavorables.

Echantillon extrait de : 2790.70 m

Lithologie : Siltite grise bien micacé.

Microfossiles à parois organiques :

Le résidu organique (10 g de roche traitée) contient de nombreux chitinozoaires (près de 110 spécimens par gramme de roche).

Euconochitina gr. lepta sont les mieux représentés (environ 45% des individus identifiées). Les taxons subordonnés mal conservés comprennent *Nigerica* *Armoricochitina* (environ 10% des individus identifiées), quelques *lenticularis* *Calpichitina*, *Desmochitina* mineurs et *Tanuchitina elongata* (**Planche 6, Fig. 4**). Divers *Conochitinidae*, y compris *Conochitina* (forme à paroi mince) ont été observés.

Les *Acritarches* sont abondants et largement dominés par des formes triangulaires appartenant au genre *Veryhachium*. Quelques *Netromorphs* (type *Leiofusa*) et *Acanthomorphs* coexistent avec *Leiospheres* à paroi mince. Aucun *Cryptospires* n'a été enregistrés.

Affectation d'âge :

Cet assemblage chitinozoaires supporte un âge Ordovicien tardif. L'apparition d'un *Elongata* mal conservé suggère que l'échantillon appartient à la chitinozoaires biozone *d'Elongata*, à savoir, à la fin d'Ashgill. La présence *d'Armoricochitina nigerica*, associée à de nombreux *Euconochitina gr. Lepta*, soutient également cette cession d'âge.

Paléoenvironnement :

Système de sédimentation d'offshore supérieur est probable (mais pas la plus haute mer, en raison de l'abondance des chitinozoaires et la faible diversité de l'assemblage de acritarches). L'abondance de *Veryhachium* triangulaire (plus de 90% ou les acritarches enregistrées) suggère des conditions environnementales défavorables.

Echantillon extrait de : 2800.50 m

Lithologie : Siltite brunâtre.

Microfossiles à parois organiques :

Le résidu organique (10g de roche traitée) contient un nombre modéré de chitinozoaires (près de 20 spécimens par gramme de roche). Les chitinozoaires enregistrées sont très semblables à ceux de 2790,70m. Les mêmes espèces, la diversité spécifique similaire, sont présents dans les deux échantillons de carotte. Des espèces *Euconochitina gr. lepta* (gros spécimens à paroi épaisse) représente environ 50% des individus identifiées (**Tableau III.05**). Les taxons subordonnés comprennent *Calpichitina lenticularis*, *Armoricochitina nigerica*, *Desmochitina* mineur et divers *Conochitinidae*, y compris des petites *Conochitina* à parois minces.

Les acritarches sont abondants et la plupart d'entre eux appartiennent au genre *Veryhachium* (environ 90% des acritarches enregistrées).

Affectation d'âge :

Cet assemblage chitinozoaires est pratiquement identique au précédent échantillon (2790.70m). Il est donc également fait référence au biozone chitinozoaires *elongata* d'âge Ashgill tardif.

Paléoenvironnement:

Offshore probable, semblable à celles de l'échantillon précédent (2790.70m).

Echantillon extrait de : 2853.05 m

Lithologie: diamictite avec une matrice de sable argileux et divers clastes y compris les grains bleuâtres de quartz, la pyrite et des grains noirs qui semblent être du (bitume).

Microfossiles à parois organiques :

Les chitinozoaires sont relativement rares (environ sept (07) spécimens par gramme de roche), et peu diversifiée. Les *Conochitinidae*s sont les plus abondantes (45% des individus identifiées), la *Conochitina* (**voir Planche 5, Fig. 10**) représente environ 25% des chitinozoaires identifiés.

L'assemblage des acritarches récupérés sont de la même composition que dans les exemples précédents, à savoir le genre *Veryhachium* dominant avec plus de 90% des acritarches enregistrées.

Affectation d'âge :

Cet assemblage de chitinozoaires n'est pas typique de la fin Ashgill en raison *d'elongata*, l'chitinozoaires index du Hirnantien (dernier étage géologique de l'Ordovicien supérieur) n'a pas été fermement identifié à 2853,05m. Néanmoins, un âge Ashgill tardif est donné à cet échantillon parce qu'il est "entre crochets" par des échantillons de cet âge.

Paléoenvironnement:

Basé sur la lithologie particulière de l'échantillon de base (de type "argile microconglomératque"), ce matériau a été déposé dans un environnement glacio-marin.

Echantillon extrait de : 2859.00 m

Lithologie : grès sombre brunâtre.

Microfossiles à parois organiques et l'affectation d'âge :

Seuls quelques fragments de Conochitinidae ont été récupérés à partir de cet échantillon correspond à l'Ashgill tardif.

Paléoenvironnement :

La présence de minuscules acritarches dans ce grès peut être liée à l'existence de très fines lamelles argileuse. L'assemblage est trop pauvre pour permettre une conclusion stratigraphique ou paléoenvironnementale.

Echantillon extrait de : 2868.90 m

Lithologie : diamictite avec un horizon limoneux et clastes dispersés de nature diverse.

Microfossiles à parois organiques :

L'échantillon traité (10 g) a donné un nombre modéré de chitinozoaires (environ 22 spécimens par gramme de roche). L'assemblage chitinozoaires est dominé par *Euconochitina gr. Lepta* (plus de 40% des spécimens identifiés) et par espèce *Conochitina* regroupées sous le nom de famille *Conochitinidae*. (**Voir Planche 6 Fig. 2**). Les taxons habituels du biozone *d'elongata* sont présents, à savoir, *Tanuchitina elongata*, avec très peu *Belonechitina*, *Desmochitina* mineure et éventuellement une *Spinachitina*.

Acritarches et *leiospheres* sont relativement abondants. *Veryhachium* est toujours le genre dominant (environ 90% des acritarches enregistrées).

Affectation d'âge :

L'apparition de *Tanuchitina elongata* indique un âge Ashgill tardif ;pour cet échantillon dont la composition est très proche des échantillons précédemment étudiés plus jeune (à savoir, 2790.70 et 2800.50m).

Paléoenvironnement :

Offshore supérieure est probable pour ce dépôt glacio-marin. Ceci est soutenu aussi par la faible diversité des acritarches, et surtout par la grande quantité de *Veryhachium*.

Echantillon extrait de : 2873.55m

Lithologie : diamictite à gros grains (des dropstones jusqu'à la taille des graviers), y compris le quartz transparent et des fragments de roches vertes.

Microfossiles à parois organiques:

L'échantillon (10g de roche traitée) a donné quelques chitinozoaires (près de sept (7) spécimens par gramme de roche). Le *Conochitinidae* (près de 60% des chitinozoaires identifiés), l'assemblage de *chitinozoaires* est dominant avec de forme trapue (**Planche 5, Fig. 2**). *Euconochitina gr. lepta* est extrêmement rare par rapport à son abondance presque dans tous les autres échantillons. A l'inverse, *nigerica* est la mieux

représentée dans cet échantillon (environ 25% des échantillons identifiés) (**Planche 5. Fig. 3 et 5**). Quelques *Cryptospires* et *Netromorphs* (type *Eupoikilofusa*) ont été également enregistrées.

Affectation d'âge :

Un âge Ashgill tardif est donné à cet échantillon.

Paléoenvironnement :

Offshore supérieure est probable pour ce dépôt glacio-marin.

IV.3.d. Conclusion sur la biostratigraphie :

Les chitinozoaires enregistrées dans les assemblages de l'Ordoviciens supérieur sont extrêmement mal conservées et par conséquent l'identification spécifique est possible uniquement pour quelques spécimens. Néanmoins, ces assemblages chitinozoaires présentent des similitudes avec les assemblages habituellement observés dans les dépôts glacio-marins de l'Ordovicien tardive de diverses localités du nord du Gondwana. L'apparition de *Tanuchitina elongata* et les espèces d'index pour le *Hirnantien*, doit être soulignée. Ils prennent en charge un âge Ashgill tardif pour les sept (07) échantillons de base, même si cette espèce n'a pas été enregistrée dans l'échantillon le plus jeune à 2786.50m.

La mauvaise conservation de tous les microfossiles à parois organiques semble liée à des processus diagénétiques précoces, plutôt que de la lithologie grossière des diamictites, ou grâce à remaniement par des processus d'érosion glaciaire. En effet, les vésicules sont également réparties dans les Mudstones à grains très fins (par exemple, l'échantillon 2786.50m). La couleur jaune-brun des vésicules chitinozoaires à parois minces, ainsi que la couleur jaune pâle des acritarches ne sont pas en faveur d'une modification thermique de la matière organique. Une activité bactérienne précoce semble plus vraisemblable pour expliquer la dégradation des vésicules de palynomorphes et de la matière organique dispersée dans les sept échantillons avec des lithologies contrastées.

Enfin, il est confirmé que les deux intervalles carottés appartiennent à l'Unité IV, et que le contact avec l'Unité III pourrait éventuellement être mis en place à travers une analyse biostratigraphique des échantillons sélectionnés du fond, mettant en évidence la discordance glaciaire entre les deux unités.

IV.4. Etude pétrographique et diagénétique :

IV.4.a. Introduction :

La pétrologie de puits IA-115 a été étudiée en observant 28 lames minces des grès. Les échantillons ont été prélevés dans les différents lithofaciès représentatifs de (MT1, MT2, MT3, MT6 et MT9) afin de permettre des comparaisons directes. Ils ont été classés en utilisant le schéma de Dott (1964) (**Fig. III.08**); ce schéma classe les grès selon les proportions relatives des fragments de quartz, de feldspaths et de fragments lithiques. Dans le cadre de ce régime; seize (16) échantillons sont classés comme arénites de quartz, sept (07) comme subarkoses (5-25% de feldspaths potassique), quatre (04) arénites comme arkosiques (>25% de feldspaths potassique) et un (01) en tant que arénites sublithiques (fragments de roche 5-25%). (**Voir le Tableau. III.6**)

Les photomicrographies des lames minces sont présentées dans l'**Annexe 3**, pour la pétrographie (deux photomicrographies par échantillon), ainsi qu'une description détaillée des minéraux détritiques et authigènes, des caractéristiques de porosité et des principales phases diagénétiques.

Deux fiches pétrographiques sont également élaborées résumant les principales observations, en termes de caractéristiques texturales et pétrophysiques (**Tableau.III.6**) et en termes de minéralogie (**Tableau. III.7**).

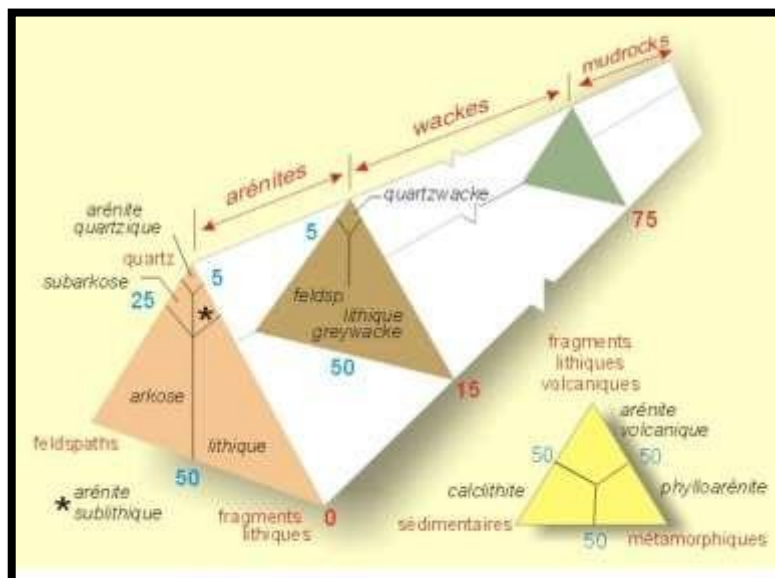


Fig. III.08 : Classification des grès suivant Dott (1964). Le petit triangle à droite suggère une classification des greywackes lithiques sur la base de la nature des fragments rocheux.

N° d' échantillon	Profondeur d' échantillon P.C (m)	Profondeur d' échantillon P.L (m)	Code de faciès	Lithologie	PROPRIETES TEXTURALES				PETROPHYSIQUE		POROSITE VISIBLE (%)				
					Taille des grains	Triage	Arrondissement	Contact du grain	Porosité (%)	Perméabilité (mD)	INTERGRANULAIRE	INTRAGRANULAIRE	MICROPOROSITE	MOLDIC	HYDROCARBURES
1	2763.50	2768.25	MT2	arénite Quartzique	fU-mL	M-G	SR-R	L,CC,S	7.53	18.6	12.0	0	0	Tr	0
2	2766.00	2770.75	MT2	arénite Quartzique	mL	M-G	SR-R	L,CC,S	8.27	34.6	8.3	0	0	1.0	0
3	2768.55	2773.30	MT2	arénite Quartzique	mL	P	SA-R	L,CC,S	4.32	2.59	4.3	0	0	0.6	0
4	2771.50	2776.25	MT2	arénite Quartzique	vcL	P	SA-R	L,CC,S	4.39	1.55	5.0	Tr	0	Tr	0
5	2774.25	2779.00	MT2	arénite Arkosique	vfL	VG	A-SR	L,CC	6.53	10.9	0	0	0	0	Tr
6	2776.50	2781.25	MT2	arénite Quartzique	vcL	M	SR-R	L,CC,S	8.09	127	10.3	Tr	0	Tr	0
7	2779.25	2784.00	MT2	arénite Quartzique	mL-mU	P-M	SR-R	L,CC,S	5.61	3.98	6.0	Tr	0	Tr	0
8	2782.25	2787.00	MT2	arénite Quartzique	mL	M	SA-R	L,CC,S	5.41	2.05	7.3	Tr	0	Tr	0
9	2785.00	2789.75	MT2	arénite Quartzique	fl	G	SA-SR	L,CC,S	5.43	0.10	2.3	Tr	0	Tr	0
10	2787.40	2792.15	MT6	arénite Quartzique	mL	M	SA-SR	L,CC,S	3.05	<0.01	0.6	Tr	0	Tr	0
11	2789.55	2794.30	MT6	arénite Quartzique	fl	G-VG	SA-SR	L,CC,S	6.16	0.59	5.3	Tr	0	0.3	0
12	2790.30	2795.05	MT6	Subarkose	fl	G	A-SR	L,CC,S	6.48	0.07	2.0	Tr	0	0.6	0
13	2793.55	2798.30	MT9	arénite Arkosique	vfL	G-VG	A-SR	L,CC	8.24	0.03	0	Tr	0	Tr	0
14	2796.50	2801.25	MT9	arénite Arkosique	vfL	VG	A-SR	L,CC	6.15	<0.01	0	0	0	0	Tr
15	2798.50	2803.25	MT9	arénite Arkosique	vfL	VG	A-SR	L,CC	4.97	<0.01	0	0	0	0	Tr
16	2851.30	2857.30	MT3	Subarkose	fU	P	SA-R	P,L	2.03	<0.01	0	0	0	0	Tr
17	2855.00	2861.00	MT3	arénite Quartzique	fU	G	SR-R	L,CC	6.40	0.69	4.3	Tr	0	1.3	Tr
18	2857.00	2863.00	MT3	Subarkose	fl-fU	G	SR-R	L,CC	7.76	0.08	3.0	Tr	0	1.3	0
19	2857.75	2863.75	MT3	arénite Quartzique	fU	G	SR-R	L,CC	6.69	3.47	5.0	Tr	0	Tr	0
20	2860.25	2866.25	MT3	arénite Quartzique	fU	G	SR-R	L,CC,S	7.93	0.24	4.6	Tr	0	0.3	0
21	2862.25	2868.25	MT3	arénite Quartzique	fl-fU	G	SR-R	L,CC,S	5.91	0.09	2.6	Tr	0	0.3	0
22	2864.25	2870.25	MT3	arénite Quartzique	fU	G	SR-R	L,CC	3.87	0.02	5.3	Tr	0	0.3	0
23	2866.50	2872.50	MT1	arénite Quartzique	mU	P	SR-R	P,L	0.97	0.10	Tr	0	0	0	Tr
24	2867.25	2873.25	MT1	arénite Sublithique	mU-mL, vcL-vcU	P	SR-R	L,CC,S	2.57	0.12	0.6	0	0	Tr	0.3
25	2869.25	2875.25	MT6	Subarkose	vfU-fl	G	SA-R	L,CC,S	5.30	0.04	0.3	0	0	Tr	Tr
26	2870.25	2876.25	MT6	Subarkose	fl	G-VG	SA-R	L,CC	5.33	<0.01	1.0	Tr	0	0.3	0
27	2871.00	2877.00	MT6	Subarkose	fl	G	SR-R	L,CC,S	1.66	<0.01	1.0	Tr	0	Tr	0
28	2873.05	2879.05	MT1	Subarkose	fl	M-G	SR-R	L,CC,S	5.05	<0.01	0	0	0	Tr	0

Légende

Taille des grains : vf = très fine, f = fine, m = moyenne, c = grossière, vc = très grossier, L = inférieur, U = supérieure	Triage : VP = très mauvais, P = mauvais, M = Modéré, G = Bon, VS = Très bonne	Arrondissement : SA = subangulaire, A = angulaire, SR = subarrondies, Arrondi, Bi = bimodale	Contact du grain : F = Flottant, Point, L = Longitudinal, CC = Concavo-convexe, S = suturée (stylolitique)
---	---	--	--

Tableau. III.06 : Fiche pétrographique en termes texturales et pétrophysiques de l'Ordovicien de puits IA-115

N° d'échan-tillon	Profondeur d'échantillon P.C (m)	Profondeur d'échantillon P.L (m)	Code de faciès	Minéralogie détritique (%)							Minéralogie authigène (%)			
				QUARTZ MONOCRISTALLIN	QUARTZ POLYCRISTALLIN	FELDSPATHS	MICAS	ARGILES	FRAGMENTS DE ROCHE	AUTRES	SILICE	CARBONATES	ARGILES	AUTRES
1	2763.50	2768.25	MT2	75.6	1.3	Tr	0	Tr	0.3	Tr	9.6	0.3 (S,D)	Tr	0.6 (P)
2	2766.00	2770.75	MT2	75.3	6.3	Tr	Tr	0	Tr	Tr	6.0	Tr (S)	1.0	2.0
3	2768.55	2773.30	MT2	70.3	14.0	Tr	0	0	Tr	Tr	9.3	0.6 (C,S,D)	0	0.6
4	2771.50	2776.25	MT2	62.0	26.0	0.3	0	0	1.0	Tr	3.3	2.0 (C,D,S)	0	0.3
5	2774.25	2779.00	MT2	48.0	1.0	31.0	7.6	1.3	0	Tr	4.0	7.0 (C,D)	0	Tr
6	2776.50	2781.25	MT2	63.3	22.0	Tr	0	0	Tr	Tr	4.5	Tr (S,D)	0	0
7	2779.25	2784.00	MT2	68.3	15.0	1.0	0	Tr	Tr	0.3	5.6	3.6 (C,S,D)	0	Tr
8	2782.25	2787.00	MT2	68.6	16.6	1.0	0	0	0.6	0.3	3.6	1.6 (C,S,D)	0	Tr
9	2785.00	2789.75	MT2	74.0	4.0	2.6	Tr	0.3	Tr	0.3	15.3	1.0 (C,S,D)	0	Tr
10	2787.40	2792.15	MT6	74.0	4.3	1.6	Tr	0.3	0.6	Tr	15.3	3.0 (D, S)	0	Tr
11	2789.55	2794.30	MT6	70.0	2.3	3.3	Tr	0	Tr	0.3	15.6	2.6 (D,S,C)	0	Tr
12	2790.30	2795.05	MT6	70.0	2.0	10.6	Tr	Tr	Tr	0.3	10.3	4.0 (D,S)	0	Tr
13	2793.55	2798.30	MT9	52.3	0.3	23.0	6.0	3.0	0	0.3	8.3	6.6 (D,S)	0	Tr
14	2796.50	2801.25	MT9	44.3	1.0	28.0	10.3	5.0	0	0.6	4.6	6.0 (D,S)	0	Tr
15	2798.50	2803.25	MT9	48.6	0.6	24.6	3.6	2.0	0	0.6	7.3	11.6 (D,S)	0	0.6
16	2851.30	2857.30	MT3	67.6	5.3	10.0	1.0	9.3	0	1.0	1.0	3.6 (S, D)	0	1.0
17	2855.00	2861.00	MT3	74.0	1.6	2.6	0.3	Tr	Tr	Tr	14.6	1.0 (D,C)	0	Tr
18	2857.00	2863.00	MT3	59.7	0.6	5.6	0.6	0.6	Tr	Tr	22.3	6.0 (C,D,S)	0	Tr
19	2857.75	2863.75	MT3	68.0	2.6	2.3	Tr	1.0	Tr	1.0	17.6	2.3 (D,C,S)	0	Tr
20	2860.25	2866.25	MT3	75.3	2.0	0.3	Tr	0	0	0.3	16.6	0.3 (D,S)	0	Tr
21	2862.25	2868.25	MT3	75.6	1.0	2.0	Tr	0	0.3	0.3	17.3	0.3 (S,D,C)	0	Tr
22	2864.25	2870.25	MT3	73.6	2.0	1.0	Tr	0	Tr	Tr	17.0	0.6 (D,C,S)	0	Tr
23	2866.50	2872.50	MT1	44.0	29.6	1.6	0	0	Tr	0.3	0	24.3 (C,D)	0	Tr
24	2867.25	2873.25	MT1	37.0	41.3	1.3	Tr	8.0	8.0	0	0.3	3.0 (C,D)	0	Tr
25	2869.25	2875.25	MT6	66.6	1.3	9.6	2.3	4.3	Tr	Tr	13.0	2.0 (D)	0	0.3
26	2870.25	2876.25	MT4	71.6	0.6	7.6	0.3	Tr	Tr	Tr	15.6	2.6 (D,C)	0	Tr
27	2871.00	2877.00	MT6	72.6	1.3	7.6	Tr	1.0	Tr	Tr	14.6	1.6 (D,C)	0	Tr
28	2873.05	2879.05	MT1	75.6	3.6	5.3	0.3	2.6	0.3	Tr	9.6	2.3 (S,D,C)	0	Tr
Légende														
Carbonates: S=Sidérite, D=Dolomite, C=Calcite				Argiles: K=Kaolinite, I=Illite, C=Chlorite				Autres: P=Pyrite, B=Barytine, Hr=Hématite						

Tableau. III.07 : Fiche pétrographique en termes de minéralogie de l'Ordovicien de puits IA-115

IV.4.b. Texture :

Les propriétés texturales sont très variables. Vers le haut de l'intervalle (échantillons de 2763.50-2785m), correspondant au faciès MT2, les grès sont à grains moyen parfois très fine, fin et grossier). Au cours de cet intervalle, les grès sont mal triés (pauvres, bons très bons dans le cas de l'arénite arkosique à 2774.25m), les grains présentent un contact concavo-convexes parfois suturé indique une compaction modérée à sévère au cours de l'enfouissement. Les formes des grains varient de subangulaires à arrondies. Ces variations de texture reflètent la forte hétérogénéité observée dans les carottes, avec de nombreuses phases inégales et des population de granulés de quartz parfois bien organisée ou dispersés dans une matrice plus fine.

Au-dessous de cet intervalle (de 2789m), les grès sont principalement à grains fins, subarrondies à arrondie et bien triés. Les grains de quartz présente généralement un contact concavo-convexes et plus rarement suturées indique une compaction modérée à sévère. Les arénites arkosiques (2793.55m, 2796.50m et 2798.50m) correspondent au faciès MT9 avec des grains subangulaires à arrondie.

La variation de texture reflète la forte hétérogénéité observée au niveau des carottes, avec des populations de granulés de quartz bien organisés ou dispersés dans une matrice plus fine.

Sur les 28 échantillons analysés, 17 montrent une structure laminaire continue et discontinue avec une concentration de minéraux lourds et opaques, fragments de roche, oolites, argile détritique et de la muscovite. Plusieurs échantillons montrent également des textures laminaires plus épaisses (2782.25m, 2857.00m et 2869.25m) créé par des concentrations de grains de quartz détritiques très grossiers à grossiers et très fins. Il n'y a pas de relation évidente entre la structure vue dans les lames mince et les faciès observés dans les carottes.

IV.4.c. Les Minéraux Détritiques :

Les pourcentages des minéraux détritiques sont présentés dans le **Tableau. III.7**.

Quartz Monocristallin : (37.0 à 75.6%) est le minéral détritique principal le long de toute la section carottée, présente fréquemment des inclusions minérales comme le zircon, le mica, la tourmaline et d'autres inclusions tubulaires de composition inconnue. ce

type de quartz est attribué à une source plutonique, bien que, en réalité, plusieurs origines ignées et métamorphiques sont susceptibles.

Quartz Polycristallins: (0.3 à 41.3%) est abondant avec des pourcentages très élevés (1.3 à 41.3%) observées dans les faciès MT1 et MT2. Les grains de ce quartz sont caractérisés par une textures allongées crénelées et microcristallines. Ces grains sont dérivés de l'hydrothermalisme (recristallisation métamorphique).

Les Feldspaths Potassique : (Tr à 31.0%) sont présents dans toute la partie carottée du puits IA-115, toujours abondants entre 2790.30m et 2851.30m (10.0 à 28.0%) et 2869.25m et 2873.05m (05.03 à 09.06%), où les grès sont classés comme des arénites arkosiques et subarkoses (**voir Tableau.III.6**).

Les feldspaths potassiques sont représentés par des grains de tailles différentes, qui sont en grande partie maclés (**voir Annexe 2. Plaques 13 et 15**). On peut remarquer des restes squelettiques dans les pores de Moldic. L'argile verte est présente dans certains pores résultant de l'altération de feldspaths potassiques. La dissolution des grains de feldspaths potassiques a créé des quantités mineures des pores secondaires intragranulaires et des pores de Moldic dans la plupart des échantillons.

Les Micas : (Tr à 10.3%), représentés exclusivement par la muscovite, sont abondantes dans les grès à grains plus fins subarkoses et les arénites arkosiques, concentrés à l'intérieur des laminations, et développés de façon aléatoire.

Matrice primaire : (Tr à 9.3%), comme la muscovite, est particulièrement commune dans les arénites arkosiques, subarkoses. Une sublitharenite, se produit en quantités moindres dans les arénites quartzique. Elle est représentée par argiles très biréfringent pâle, modérée à brun foncé, plus rarement pâle brun jaunâtre. Cette argile forme avec la muscovite des laminations piégées entre les grains de quartz détritiques, et plus rarement un remplissage des pores (**Annexe 2. Plaque 24A**). A 2855.00m les laminations de matrice primaire montre un vaste remplacement par la dolomite ferreuse, ceci est lié à une diffusion de ciment le long d'une petite fracture.

A 2851.30m, la matrice de grès ne ressemble pas à celle observée ailleurs. Elle est très biréfringente et limoneuse comprenant la muscovite, des traînées de matrice primaire d'argile et de carbonate détritique, en plus du quartz authigènes (**Annexe 2. Plaque 16**).

Par conséquent, cette phase de remplissage des pores intercrystallines est classée comme matrice limoneuse.

La fraction lithique : est représentée dans la section carottée IA-115 par des fragments de roches sédimentaires (Tr à 8.0%) irréguliers à arrondies, de couleur jaune très pâle à brun modérée, et des fragments d'argilite très biréfringents. l'ensemble est souvent déformés et «pressé», formant ainsi une pseudomatrice et parfois montre un remplacement par la pyrite, plus rarement des oxydes de Fe/Ti, la dolomite et le rutile authigène. Vers le haut de la section carottée, les fragments de roche d'argilite se concentrent avec les grains détritiques en lamelles.

Les Fragments de roches sédimentaires trouvés sont des fragments des roche de grès, variant de wackestone riches en argile à dolomite-arénites de quartz et pyrite-cimenté, fragments de roche d'anhydrite, des fragments de roche de dolomie (parfois oolitiques) et des fragments de roche calcaire (parfois bioclastique). Fragments de Roche métamorphique (Tr) dans la section carottée sont identifiés à 2782.25m, 2857.75m, 2869.25m et 2873.05m

Calcite non-ferreuse (Bioclastes) : est rare, seulement observée dans trois échantillons (à 2857.00m voir **Annexe 2. Plaque 18B**, 2857.75m et 2873.05m). Elle se produise généralement dans le remplissage des pores de ciment de calcite ferreuse et probablement dans les fragments altérés de Bioclastes ou de coquilles de Bryozoaires (**Annexe 2. Plaque 19B**).

Les Minéraux lourds : (Tr à 0.6%) se présentent en petites quantités le long de la section carottée du puits IA-115, par le zircon de couleur brun foncé, rutile, tourmaline hautement biréfringent et un grenat singulier rouge (celui-ci à 2763.50m). Ces minéraux sont souvent concentrés avec des fragments de roche d'argile et des minéraux opaques formant ainsi des lamelles. Les minéraux opaques sont généralement de forme arrondis (Tr à 0.3%), avec un éclat orange à rouge, souvent concentrées dans les lamines avec des oxydes Fe/Ti.

IV.4.d. Les Minéraux authigènes:

L'Argile Authigène : est rare (Tr à 1.0%), seulement identifié dans les deux premiers échantillons (2763.50m et 2766.00m) de la section carottée, elle est de couleur brun à brun foncé (**Annexe 2. Plaques 1 et 2**). Sa présence aux contacts de grains suggère qu'elle est formée avant le compactage, au début de la diagenèse.

Quartz : (0.3 à 22.3%) est un minéral majeur. Il est plus particulièrement abondant entre 2855.00m et 2864.25m (14.6 à 22.3%) correspondant au faciès MT3, mais il est également commun entre 2785.00m et 2790.30m (10.3 à 15.6%) et 2869.25m et 2871.00m (13.0 à 15.6%), ce qui correspond au faciès MT6 (à l'exception de l'échantillon 2785.00m). Le quartz authigène présente l'excroissance syntaxiale généralement épaisse sur les grains de quartz détritiques. L'excroissance peut être mal défini et peut-être sous-estimé au niveau des grès à grains très fins des arénites arkosiques. Dans les grains de grès grossiers, ils sont souvent délimités par une morphologie fortement automorphe. L'excroissance de quartz est probablement le résultat d'une phase minérale diagénétique précoce.

Un certain nombre des phases carbonatées a été observées (sidérite, dolomite calcite), avec un impact évident sur la qualité du réservoir. La Sidérite (Tr à 1.6%) est un ciment commun malgré qu'elle est mal identifiée ou négligée. Dans le IA-115 la sidérite est identifiée vers le haut de la section carottée (2763.50m à 2782.25m, voir **Annexe 2. Plaques 4B, 7B et 8B**) correspond au faciès M2. Elle est caractérisée par des faisceaux «turbides» de grain fin à moyen brun foncé, subautomorphe à automorphe, aplatisés et rhomboédriques. De 2779.25m de fond, les cristaux de sidérite se forment sur les marges des pores remplis de calcite ferreuse. Parfois, la sidérite apparaît souvent «flotter» au sein de la calcite et montre également une dissolution partielle.

De 2785.00m de fond (en plus de la arénite arkosique à 2774.25m) la phase carbonatée est classée comme la Sidérite et/ou dolomite non-ferreuse (Tr à 5.6%). Elle est présentée dans tous les échantillons, mais ne forme jamais une phase minérale diagénétique majeure, cette phase carbonatée est présentée par des cristaux de grande taille à moyenne et de formes exomorphes à idiomorphes, 'turbide' de couleur brun foncé, (comme la sidérite) à claire (comme la dolomite non-ferreuse).

Dolomite Non-ferreuse : (Tr à 0.6%) est identifiée uniquement au 2866.50m et 2867.25m correspond aux faciès MT1. Elle est représentée par des cristaux de grande taille à moyenne, subautomorphe à idiomorphe, elle remplaçant les feldspaths potassiques et les fractions anhydritiques. Aucune preuve directe de son placement dans la séquence diagénétique n'a été observée.

Dolomite ferreuse : (Tr à 8.6%) est présent dans toute la section carottée mais jamais elle forme une phase minérale diagénétique majeure. elle est très abondante entre 2787.40m et 2798.50m correspond aux faciès MT6 et MT9. elle se produit généralement aussi en cristaux isolés fins à grossiers, xénomorphes à idiomorphes. elle remplace les cristaux de K-feldspath, les oolithes la matrice primaire et les fragments de roche et les argilite, sa nature riche en fer suggère une précipitation diagénétique tardive qui succède la précipitation de la dolomite non ferreuse

Calcite Ferreuse : (Tr à 24.3%) est présente en quantités mineures, forme une importante phase minérale diagénétique dans l'un des vingt-huit échantillons (2866.50m, voir **Annexe 2. Plaque 23**). Elle est la plus abondante dans les faciès MT1 et MT2. Cette phase minérale authigène est représentée par des phénocristaux cristaux a petits cristaux, de formes variées de xénomorphes, idiomorphes, à subpoikilotopique à des masses poikilotopique qui cimente plus de 10 grains et réduisant ainsi la porosité locale. Des cristaux de calcite ferreuse de taille grossière suggère une précipitation diagénétique tardive, probablement succède la dolomite ferreuse.

Barytine : (Tr) est présente seulement à 2867.25m correspond aux faciès MT1, elle est représentée par des cristaux de tailles différentes, dans le remplissage des pores et la phase minérale de remplacement des grains, qui obture localement la porosité. La Barytine est difficile à placer dans la séquence diagénétique globale en raison de sa rareté mais elle est censée d'être une phase minérale diagénétique tardive.

Pyrite : (Tr à 2.0%) existe avec de faibles quantités sauf au niveau des quatre premiers échantillons (2763.50m-2771.50m), correspond au faciès MT2. Cependant, un développement de la pyrite a été observé au-dessous du contact avec les argiles Siluriennes dans tous les puits voisins.

Les oxydes de Fe/Ti : (Tr), présents en faibles quantités, on les trouve à la fois dans les remplissages de pores et les remplacements de grains, sont aussi parfois concentrées dans des lamines. Malheureusement, ils sont difficiles à placer dans la séquence diagénétique.

Les Minéraux lourds Authigènes : (Tr dans quatre échantillons) sont représentés en quantités faible de rutile en forme de tige 'turbide', qui remplit partiellement les pores primaires intergranulaires et éventuellement remplace les grains (fragments de roches sédimentaires).

IV.4.e. Les ciments :

Le ciment carbonaté :

Le ciment carbonaté est très abondant dans la section carottée IA-115, sa présence est révélé par les analyses pétrographiques dans quelques échantillons de la section carottée. Il est représenté par la sidérite, la dolomite et la calcite ferreuse. Il occupe les vides intergranulaires et le vide de dissolution, ce qui réduit beaucoup le réseau poreux (2763.50m à 2782.25m, voir **Annexe 2. Plaques 4B, 7B et 8B**). Son pourcentage total varie de 0 à 24.3%. (**Fig. III.09**)

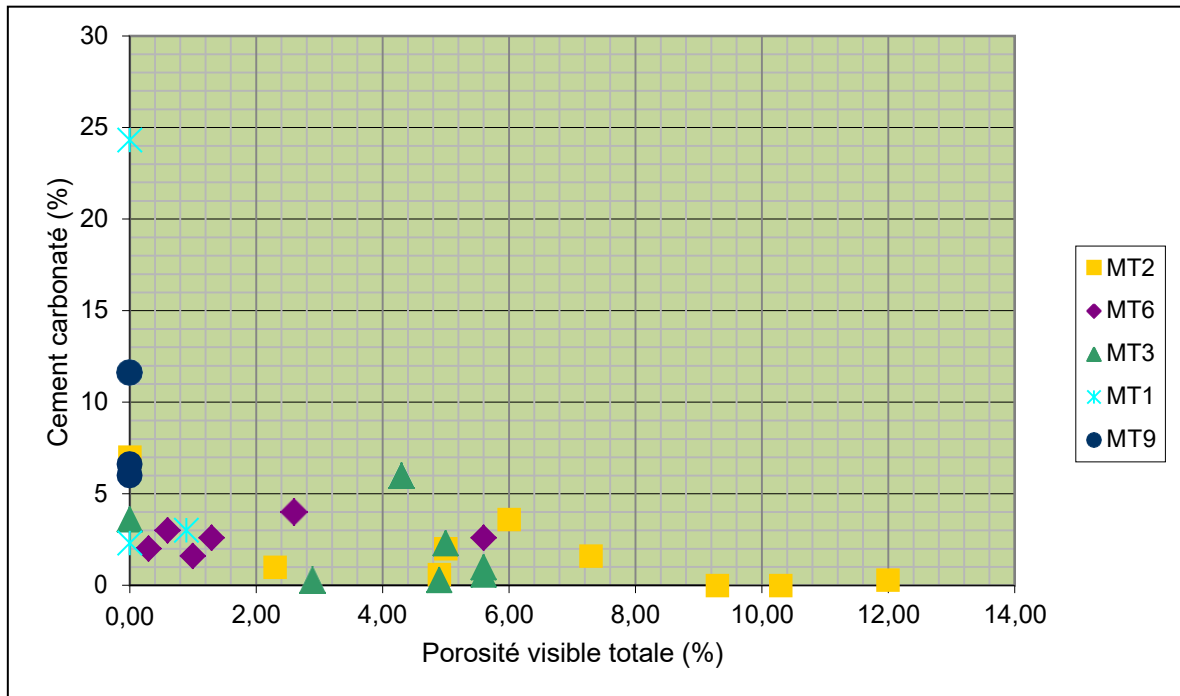


Fig. III.09 : Ciment carbonaté vs Porosité visible totale (groupés selon faciès) de l'Ordovicien de puits IA-115

Le ciment siliceux :

Le ciment siliceux est matérialisé par une silice de compaction précoce et de nourrissage tardif. La silice de nourrissage se développe autour des grains de quartz formant des auréoles soulignées par des impuretés. Le ciment de compaction est développé soit entre les grains de quartz soit sous forme de plages de silice microgrenue. Il se trouve dans les contacts entre les grains de type concavo-convexes à suturés. Son pourcentage total varie de 0 à 22.3%

Le ciment argileux :

Il est moins important que le ciment siliceux et le ciment carbonaté. Il est composé d'illite de chlorite et de kaolinite qui cohabite dans l'espace intergranulaire et se dispose soit en franges autour des grains de quartz soit en plages entre les grains (voir **Annexe 2. Plaque 2**).

Le ciment pyriteux :

La présence de ce ciment est accessoire et se développe dans la porosité primaire intergranulaire et dans la porosité de dissolution (voir **Annexe 2. Plaque 2**). Sa présence est

révélee par les analyses pétrographiques dans quelques échantillons de cet intervalle carotté surtout dans les quatre premiers échantillons (2763.50m-2771.50m, voir **Annexe 2. Plaque 1**), Sa proportion est inférieure à 2 %.

IV.4.f. Etude des phénomènes diagénétique :

Notion de diagenèse :

La diagenèse est l'ensemble des processus physico-chimiques qui affectent un sédiment pendant, après son dépôt et avant son métamorphisme. On distingue en général, deux stades de diagenèse :

- **Un stade précoce** : qui se manifeste après le dépôt du sédiment.
- **Un stade tardif** : qui affecte le sédiment au cours de l'enfouissement. Grâce à des phénomènes de compaction, il se produit alors des phénomènes de cristallisation, de dissolution, de recristallisation minéralogique et des remplacements des minéraux.

Méthode d'étude :

L'étude des phénomènes diagénétiques est basée essentiellement sur les observations microscopiques qui consistent à :

- Déterminer les minéraux authigènes.
- Etudier les relations entre les grains et les ciments.
- Identifier les phases de cimentation, de dissolution et de remplacement des minéraux.
- Déterminer l'ordre chronologique de leur mise en place.

Les faciès du réservoir de l'Ordovicien sont affectés par plusieurs phénomènes diagénétiques, après leur dépôt et au cours de leur enfouissement qui sont (suivant l'ordre chronologique) :

a. Réarrangement des grains détritiques :

Un compactage modéré à forte provoque une déformation verticale observée sur les grains.

b. Développement des premières argiles authigènes :

Une phase diagénétique très mineure, présentée par des floues couches d'argile au contact entre les grains.

c. La silicification (l'excroissance de quartz) :

Une phase diagénétique majeure, c'est le développement de ciment de quartz autour des grains détritiques, le ciment de quartz croissant dans les continuités optiques des grains qui le formé.

La silicification est un phénomène qui est du à plusieurs facteurs qui sont :

- La dissolution due au phénomène de compaction et matérialisée par contacts entre les grains de types concavo-convexes et suturés.
- La circulation des eaux riches en SiO_2 .
- Les émerisions momentanées dues aux variations du niveau marin.
- L'altération des micas et des feldspaths.

Les observations pétrographiques de toutes les lames ont permis de distinguer deux types de ciments siliceux :

• **Le ciment siliceux de compaction** : localisé entre les grains de quartz et favorisé par les contacts entre les grains de types concavo-convexes et suturés.

• **Le ciment siliceux de nourrissage** : développé autour des grains de quartz et souligné par des impuretés. Il est tardif par rapport au ciment siliceux de compaction, car son développement est partiel. L'origine la plus probable de cette silice est la circulation des eaux riches en SiO_2 qui provient de la transformation des argiles, de l'altération des micas et des feldspaths.

d. Précipitation des carbonates:

Une phase diagénétique majeure, le ciment carbonaté est rencontré en quantité plus important que le ciment siliceux et le ciment argileux, il est représenté par la sidérite et accessoirement par la dolomite. Le ciment carbonaté est développé dans la porosité intergranulaire et de dissolution. Son origine est due à la circulation des eaux riche en CaCO_3 sous une pression et températures élevées. La sidérite est le résultat de la

transformation de la calcite en présence du fer libéré par le chlorite. La dolomie provient de la substitution d'un ion Ca^{2+} par les ions Mg^{2+} .

e. Développement du ciment pyriteux :

Une phase diagénétique mineure, la pyrite considérée comme un ciment accessoire. Elle est développée dans le réseau poreux intergranulaire et de dissolution. Sa localisation dans la porosité de dissolution atteste un ordre chronologique de mise en place très tardif, peut être après l'arrivée des hydrocarbures qui peuvent engendrer un milieu réducteur favorable au développement de la pyrite.

f. Dissolution des minéraux :

La dissolution est un phénomène assez important qui accompagne souvent d'autres phénomènes comme la compaction, la recristallisation, la cimentation et l'épigénisation. Elle affecte certains minéraux (comme les feldspaths) et certains ciments (siliceux carbonaté...), suite à leur solubilité sous certaines conditions de pression, température et concentration en sels dissous dans les eaux interstitielles. Dans ce cas, et d'après l'observation des lames minces colorées au bleu de méthylène, le phénomène de dissolution affecte préférentiellement le ciment (dolomite et/ou calcite ferreuse) à la suite de la circulation des eaux et l'élévation de la pression et de la température. Ce phénomène est particulièrement important car il augmente considérablement la porosité du réservoir. A 2782.25m la porosité intergranulaire secondaire mineure est créée à partir de la dissolution partielle de la sidérite.

Tous les pores de Moldic sont attribués à la dissolution des grains de feldspaths, le plus souvent K-feldspath. Il est toujours abondant entre 2855.00m et 2864.25m, correspondant au faciès MT3. Tout l'espace des pores Moldic reste vacant suggérant la dissolution du grain à la fin de la diagenèse.

IV.4.g. La Porosité :

Les pourcentages de la porosité discutés ci-dessous ont été obtenus à partir des données de comptage pétrographiques (voir **Tableau. III.06**). Il y a une bonne concordance (coefficient de corrélation $R^2=0.5546$) entre la porosité visible dans les sections minces et celle mesurée lors de l'analyse des carottes (**Fig. III.10**).

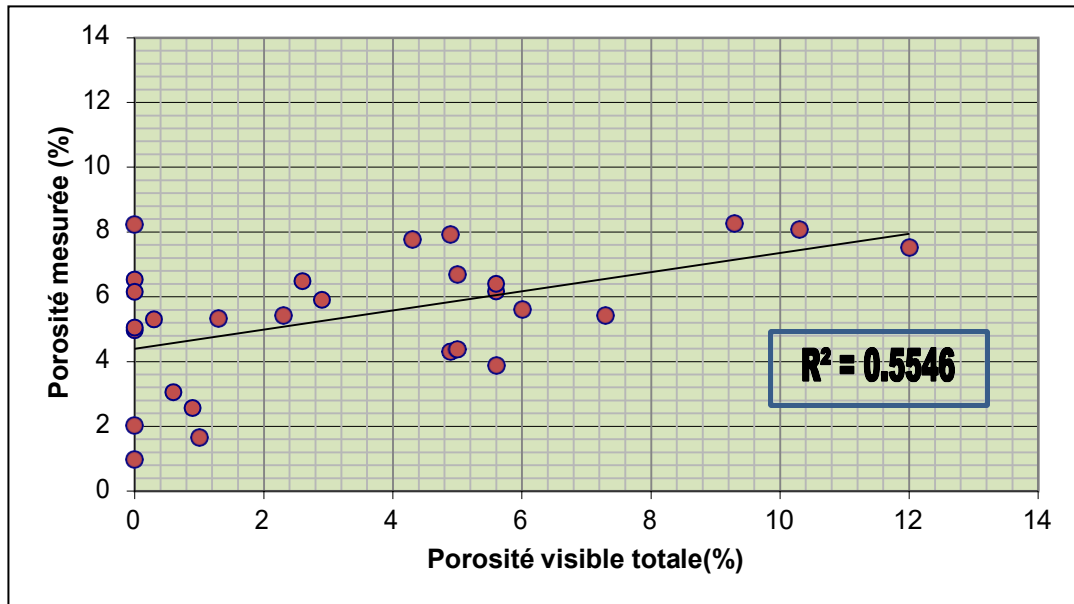


Fig. III.10 : Porosité mesurée (carotte) vs Porosité visible totale de l'Ordovicien de puits IA-115

Les types de porosité et son effet sur la qualité du réservoir :

Porosité Primaire intergranulaire : (Tr à 12.0%) est la principale forme de porosité, même si elle est inférieure à 6.0% dans la majorité des échantillons observés.

Dans une large mesure, les propriétés des réservoirs dépendent de la préservation d'un réseau poreux primaire. Les porosités intergranulaires primaires les plus élevées (4.3 à 12.0%) sont observées vers le haut de l'Unité IV, dans les grès progradants hétérométriques correspondant aux faciès MT2 (voir la porosité en bleu dans **Annexe 2. Plaques 1 à 8**). Une exception à cette règle est l'arénite arkosique à 2774.25m qui ne conserve aucune porosité visible. Au-dessous de 2782.25m la porosité intergranulaire primaire est mal conservée. Elle est notamment absente dans le cas des arénites arkosiques à des grains très fins entre 2793.55m et 2798.50m correspondant aux faciès MT9, elle varie entre 0 et 0.6% dans les faciès MT1 vers la base du puits. Des valeurs légèrement plus élevées ont été observées dans les faciès MT3 (0 à 5.3%) et MT6 (0.3 à 5.3 de%).

Une forte relation inverse existe entre la porosité et les ciments carbonatés (**voir Fig. III.09**), soulignant que les ciments carbonatés sont responsables de la réduction de l'espace des pores primaires et ainsi de la qualité du réservoir.

L'espace principal des pores intergranulaires et ainsi la qualité du réservoir semble être réduit par une combinaison de compactage, qui est modéré à sévère tout au long de

l'intervalle carottée et l'excroissance de quartz; ces derniers sont étendues dans de nombreuses parties du puits. Les pourcentages relatifs des minéraux authigènes et de la porosité visible totale en fonction de la profondeur sont représentés dans la figure ci-dessous (Fig. III.11).

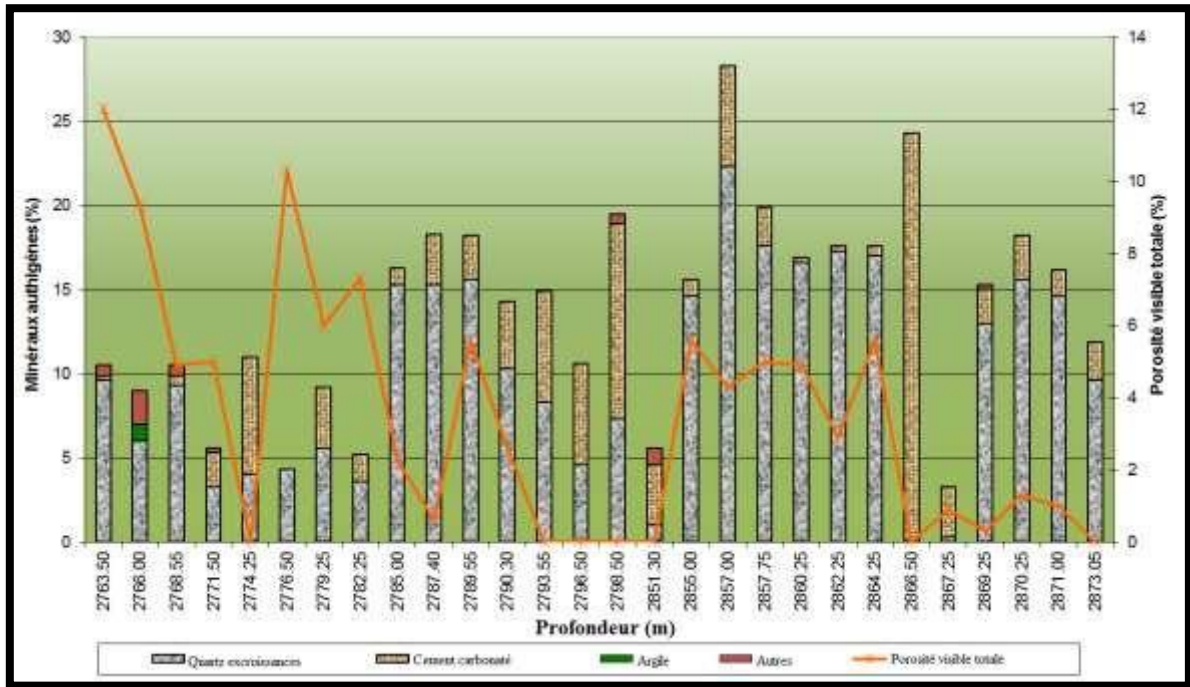


Fig. III.11 : Relation entre la porosité visible totale et les minéraux authigènes de l'Ordovicien de puits IA-115

Il existe une relation claire entre la porosité, l'excroissance de quartz et les faciès dans la section carottée IA-115 (Fig. III.12). Vers le haut de la section carottée, correspondant au faciès MT2, l'excroissance de quartz apparaît dans des faibles abondances (<10%) et la porosité intergranulaire primaire montre une conservation modérée à bonne.

A l'inverse, dans les faciès MT6, l'excroissance de quartz est abondant (10.3 à 15.6%) ce faciès montre des porosités intergranulaires primaires de faibles valeurs (0.3 à 5.3%). Le faciès MT3 est légèrement différent, un pourcentage élevé de l'excroissance de quartz (jusqu'à 22,3%) est combiné avec une augmentation de la porosité intergranulaire par rapport à d'autres faciès à travers l'intervalle carotté. Dans les faciès MT9 l'excroissance de quartz n'est pas particulièrement élevés (04.06 à 08.03%) (Éventuellement sous-estimé), mais la porosité intergranulaire primaire est absente. Ceci est le résultat de la taille des grains (très fine).

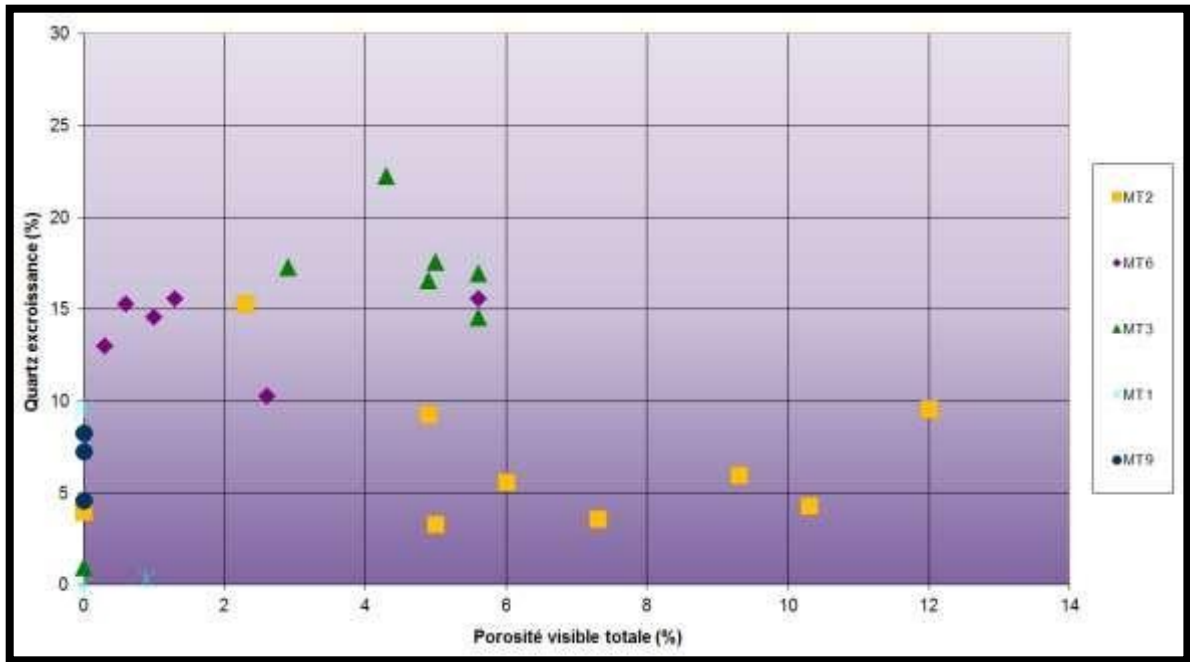


Fig. III.12 : Relation entre l'excroissance de quartz et la porosité visible totale de l'Ordovicien de puits IA-115

En résumé, la mauvaise qualité du réservoir dans la section carottée IA-115 est due à une combinaison d'un compactage modérée à forte et un développement extensif d'excroissance de quartz. En outre, pour le faciès (MT9) la taille des grains joue également un rôle important dans la réduction de la porosité intergranulaire et de détruire la qualité du réservoir.

Porosité intergranulaire secondaire : est rare (enregistrée dans deux échantillons) et elle est vraiment difficile à identifier et donc à quantifier. A 2766.00m les Pores surdimensionnés sont peut-être formés par la dissolution du ciment de (dolomite et/ou calcite ferreuse) (Fig. III.13). A 2782.25m la porosité intergranulaire secondaire est créée à partir de la dissolution partielle de la sidérite. (Fig. III.14)

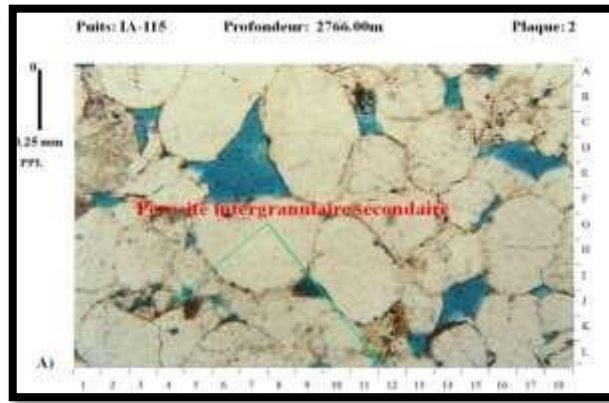


Fig. III.13 : Porosité intergranulaire secondaire (à 2766.00m)

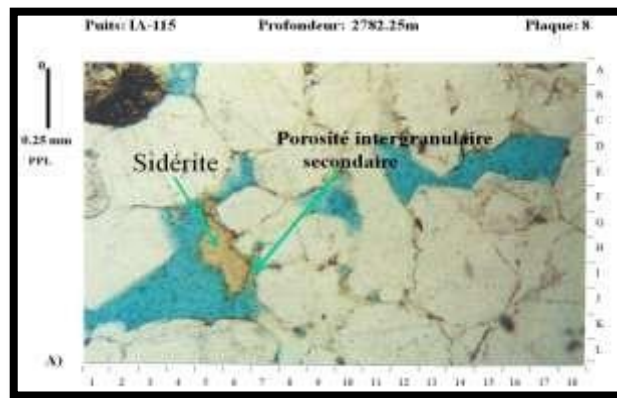


Fig. III.14 : Porosité intergranulaire secondaire (à 2782.25m)

Porosité Intragranulaire : (Tr) est présente dans toute la section carottée IA-115, produite à partir de la dissolution partielle des grains de feldspaths potassiques. Sa nature isolée rend l'espace des pores «inefficace» et par conséquent, elle ne contribue pas à la qualité réservoir.

Porosité de Moldic : (Tr à 1.3%), elle est toujours abondante entre 2855.00m et 2864.25m, correspond au faciès MT3. Tous les pores Moldic sont attribués à la dissolution des grains de feldspaths, le plus souvent K-feldspath. Comme la porosité intragranulaire, les pores de Moldic sont isolés et donc ne pas améliorer de façon significative la qualité réservoir. (Voir **Annexe 2. Plaques 13 et 15**).

IV.4.h. Les Traces des hydrocarbures :

Sont rares (Tr à 0.3%) dans la section carottée IA-115. stries opaques de bitume sont identifiés dans les arénites et les subarkoses (2851.30m, 2869.25m 2774.25m, 2796.50m et 2798.50). (Fig. III.15)

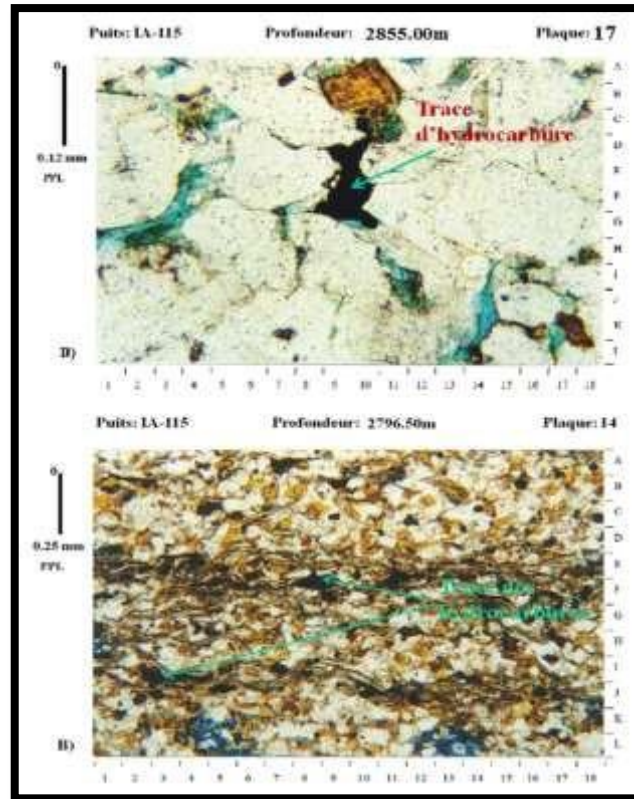


Fig. III.15 : Traces des hydrocarbures à 2855.00m et 2796.50m

IV.5. Conclusion :

L'étude sédimentologique réalisée sur les deux carottes de l'unité IV du puits IA-115 conduit aux conclusions suivantes:

- Les intervalles minces d'argile interstratifiés dans les grès ont été datés Ashgill tardif (Ordovicien). Les assemblages de chitinozoaires présentent des similitudes avec celles habituellement observées dans les dépôts glacio-marins Ordovicien tardif de diverses localités du nord du Gondwana. Malheureusement, l'intervalle supérieure de grès (MT2) constitue le meilleur réservoir, dépourvu de toute argile n'a pas été daté par comparaison avec les puits adjacents.
- L'unité IV a été partiellement carottée dans deux intervalles distincts. Les contacts avec les argiles de Silurien et avec l'unité III-3 n'a pas été carottés. La carotte C1 (2763.4 - 2801m) représente un paramètre de turbidite distale (MT9) fortement recouverte par une unité mal triée. L'unité de grès (MT2) représentant une progradation majeure, probablement mise en place par l'activité glaciaire. La carotte C2 (2851 - 2873,80m) est plus caractéristique d'un complexe basal dominant des coulées de débris et de sheet-floods (MT1 et MT6).
- L'étude pétrographique classique a été effectuée sur 28 échantillons montrant que les grès MT2 et MT3 sont principalement les arénites quartzique, le MT9 (des turbidites distales) est une arénites arkosiques, et les sables inférieurs sont subarkoses. Le quartz monocristallin et polycristallin est le minéral détritique dominant, suivie par des feldspaths potassiques, de la muscovite et les fragments de roche occasionnels.
- L'étude diagénétique a révélé:
 - 1) La rareté des argiles authigènes.
 - 2) La complexité des phases carbonatées, consistant en un mélange de la sidérite, de la calcite et de la dolomite avec diverses teneurs en fer.
 - 3) L'importance d'excroissance de quartz qu'il est principalement dominant.
- La porosité intergranulaire primaire est la principale forme de porosité, même si elle n'est pas maintenue dans la majorité des échantillons observés.

Elle est réduite principalement par la présence des carbonates et de ciments siliceux avec le compactage modéré à fort. La porosité intragranulaire secondaire présente à travers la section carottée est associée à la porosité Moldic (due à la gravure du feldspath).

V. Résultats sédimentologique (stratigraphie séquentielle) :

V.1. Introduction :

La stratigraphie séquentielle est un nouveau concept qui a été développée pour étudier et interpréter les environnements sédimentaires en temps et en espace. Elle combine la lithostratigraphie, la biostratigraphie avec l'analyse des faciès pour définir les différentes strates, dont leur déposition est contrôlée par la fluctuation du niveau de la mer et le changement du rapport des sédiments. Par définition, La stratigraphie séquentielle est une méthode qui permet de définir les repères chronostratigraphiques, à l'échelle globale, celle-ci est basée sur des discordances d'origine eustatiques encadrant des unités génétiques des dépôts. Cette technique a été initialement développée dans un premier temps en domaine marin par les compagnies pétrolières dans le but d'améliorer les méthodes de corrélations, afin de mieux prévoir des nouveaux réservoirs potentiels à hydrocarbures.

Le premier modèle définit par Vail et al, (1971), basé essentiellement sur les marges continentales passives. Les principaux paramètres de ce modèle se résument en :

- Les variations du niveau marin.
- Les apports sédimentaires qui régissent l'espace disponible.

En générale, la stratigraphie séquentielle s'appuyé sur l'importance de l'espace créé par les fluctuations du niveau marin pour accommoder les flux des sédiments, que ce soit fluviatile ou marin.

V.2. Découpage séquentiel et interprétation: (Fig. III.16)

L'application de la stratigraphie séquentielle au niveau de la région d'étude (champ d'In Adaoui), qui appartient à la plateforme Saharienne a été réalisée sur la base de l'analyse de la variation verticale des caractères litho-sédimentologique, des faciès analysés sur les données des carottes disponibles (C1 et C2) et des logs diagraphiques. A partir de ces dernières données, nous avons essayé d'effectuer le découpage séquentiel en prenant compte la séquence limite entre deux surfaces d'inondation maximale (MFS) selon Mitchum.

Le résultat de découpage séquentiel montre la présence de deux séquences sédimentaires décrites de bas en haut comme suit :

- **Séquence 1** : séquence transgressive formée par un prisme de bas niveau (LST) et un intervalle transgressif (TST), tel que :

- ❖ **Le prisme de bas niveau (LST)** : repose sur une limite inférieure (SB), il est constitué de cortèges sédimentaires du complexe marin turbidité ; des flux des débris (debris flows), des flux par gravité (gravity flows), flux de débris et sheet-floods, des flux par gravité avec slumps, des flux de débris de calcaire cimenté, turbidite de stade tardif (haute énergie) et suivi par un stade finale de la diminution du niveau marin, représentée par l'empilement secondaire de complexe des chenaux; Ces dépôts sont constitués par des grès fins à grossier avec des stratifications parallèles ondulées et entrecroisées au sommet et de calcaire occasionnel.

- ❖ **L'intervalle transgressive (TST)** : surmonte la surface transgressive (ST) et limité au sommet par une surface d'inondation maximale (MFS) cette surface indique la période de la sédimentation minimale de tout le système, caractérisée par les dépôts des lits minces de turbidite, flux par gravité ; Ces dépôts sont constitués par des siltites argileuses à argiles silteuses avec des intercalations de fines couches de grès slumpés avec des stratifications parallèles à ondulées au sommet.

- **Séquence 2** : formée par un prisme de haut niveau marin (HST) et un intervalle transgressive (TST), tel que :

- ❖ **Le prisme de haut niveau marin (HST)** : séparé de la séquence (1) par une surface d'inondation maximale (MFS), la majeure partie de ce cortège est progradante et composée par les dépôts de ; l'épandage fluvio-glaciaire majeur et unité fortement progradante, ce dépôt est constitué par des grès fins à moyens à stratifications parallèles ondulées, ce cortège sédimentaire est limité au sommet par une surface transgressive (TS) matérialisée par la déposition des argiles noires à graptolites du Silurien.

- ❖ **L'intervalle transgressive (TST)** : repose sur la surface transgressive (TS) et surmontée par une limite de séquence (SB) ce qui passe à des niveaux condensés (CS) et indique la période de sédimentation minimale de tout le système, ce cortège composé de dépôt marin est constitué par des argiles à graptolites.

Le découpage séquentiel, les résultats d'analyse des carottes et les logs diagraphiques réalisés par Bhpbilliton et BEICIP-Franlab, sont détaillés dans **Annexe 3**.

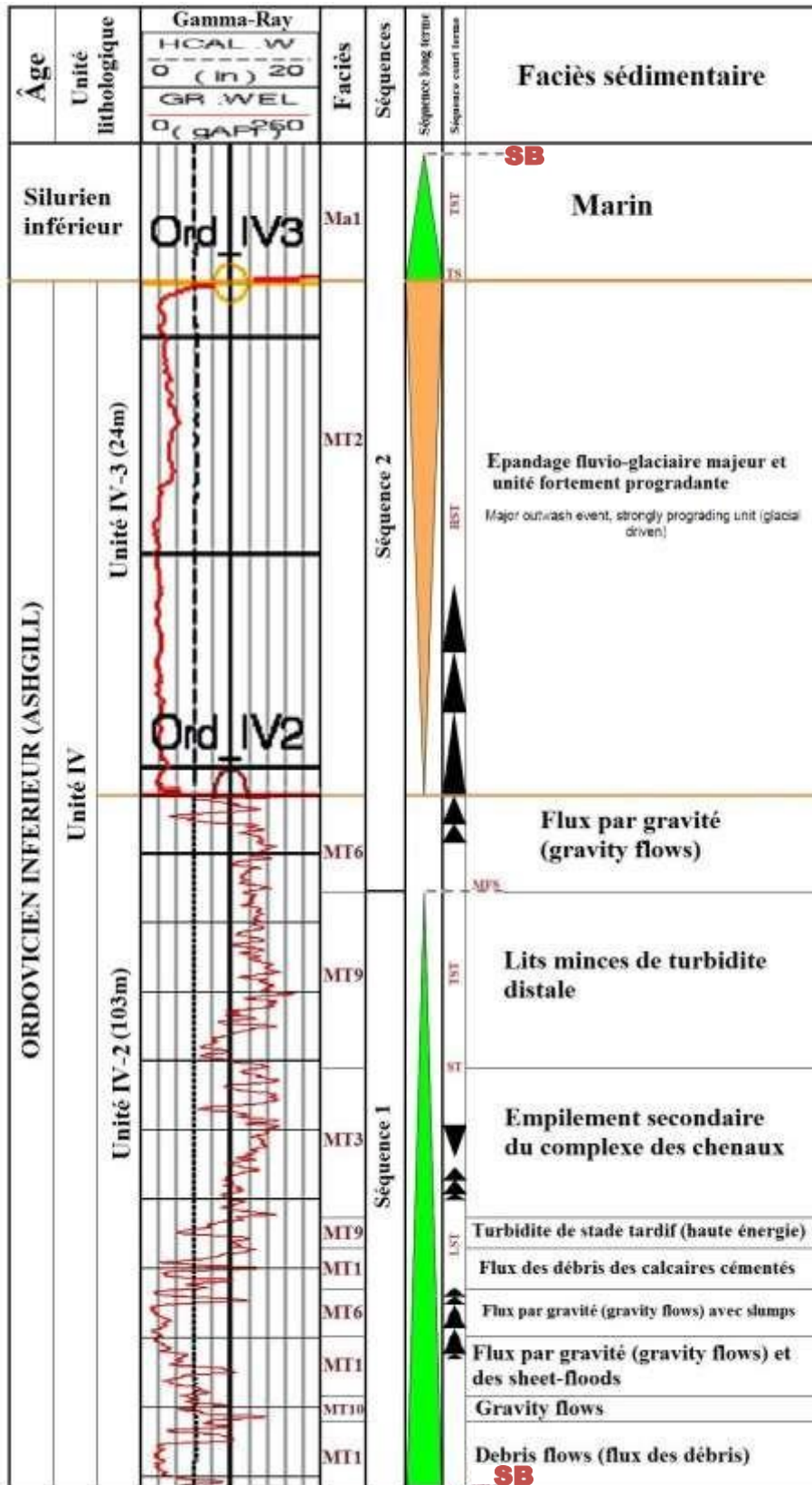


Fig. III.16 : Séquence stratigraphique de l'Ordovicien (unité IV-2 et IV-3) puits IA-115 (rapport Bhpbilliton et BEICIP-Franlab 2002, modifié)



Chapitre IV :

**ETUDE
PETROPHYSIQUE
DU RESERVOIR**

I. Introduction :

Dans le domaine pétrolier, pour exploiter convenablement un gisement de pétrole, de gaz naturel ou encore une roche aquifère, il faut connaître aussi bien que possible les caractéristiques intrinsèques des roches qui renferment ces ressources. Leur capacité de stockage (c'est-à-dire la porosité), leur aptitude à laisser circuler les fluides (c'est-à-dire la perméabilité) ainsi que les méthodes utilisées pour mesurer l'une et l'autre sont des informations primordiales à réunir et à étudier pour décrire le réservoir (Monicard, 1965) et démontré les zones les plus perspectives et les limites industrielles pour s'engager dans l'exploitation du gisement ou non.

L'existence d'accumulation d'hydrocarbures dans un bassin sédimentaire dépend de l'existence d'ensemble de trois types des roches

- Roche riche en matière organique (roche mère).
- Roche réservoir présentant de bonnes qualités pétrophysiques, (porosité et perméabilité) qui favorise l'accumulation des hydrocarbures.
- Roche couverture imperméable qui empêche la migration des hydrocarbures.

Les hydrocarbures, une fois formés à partir de leurs roches mères, vont évoluer dans les niveaux poreux et perméables du sous-sol qui constituent les réservoirs, encadrés par des séries imperméables jouant le rôle de couverture. Cet ensemble réservoir-couverture est occupé en permanence par des aquifères au sein desquels vont se concentrer le pétrole et le gaz.

Les réservoirs sont des roches présentant des vides, pores ou fissures, reliés entre eux et dans lesquels peuvent circuler et se rassembler des fluides. Leurs caractéristiques pétrophysiques s'expriment fondamentalement en termes de porosité et de perméabilité dont les relations sont souvent complexes, ces deux variables pétrophysique ne sont pas corrélables.

La porosité et la perméabilité qui sont deux caractéristiques fondamentales d'un réservoir pétrolier, dépendent de toute l'histoire géologique du bassin contenant le réservoir, milieu de dépôt, nature des sédiments, diagenèse, tectonique....

A la base des données de puits forés sur la structure d'In Adaoui Ohanet, nous avons effectué une étude pétrophysique dans le but de mieux caractériser le réservoir Ordovicien (unité IV-3).

II. Généralités :

II.1. La porosité :

La porosité est l'ensemble des vides (pores) d'un matériau solide (roche), ces vides sont remplis par des fluides (liquide ou gaz).

La porosité est aussi une valeur numérique définie comme le rapport entre le volume des vides et le volume total d'un milieu poreux :

$$P = \frac{V_v}{V_t} \text{ [%]}$$

Avec :

- la porosité.
- le volume total de la roche, c'est-à-dire la somme du volume de solide et du volume des pores.
- le volume des pores.
- volume occupé par les solides.

Le Géologue et le producteur ne s'intéressent qu'aux vides connectés entre eux et susceptible de contenir des fluides, elle correspond à la porosité utile .

Pour l'évaluation de la porosité, on utilise les méthodes directes de mesures au laboratoire sur des échantillons de carottes, ou on utilise les méthodes indirectes (les diagraphies électriques et nucléaires):

- ❖ Gamma Ray (GR).
- ❖ Densité (RHOB).
- ❖ Neutron porosité (NPHI).
- ❖ Sonique (DT).

II.2. La perméabilité :

La perméabilité d'un milieu est caractérisée par son aptitude à laisser circuler un fluide (liquide ou gaz) au sein de son espace poreux, sous l'effet d'un gradient de pression. Elle dépend de la structure interne de l'espace poreux et particulièrement de la connectivité de ces différents éléments. C'est une propriété de transport macroscopique exprimant le rapport entre une force (gradient de pression) imposée à un fluide pour traverser le milieu et le débit résultant. On peut mesurer la perméabilité d'un milieu avec un échantillon de laboratoire ou de terrain (méthode directe) ou par diaggraphie acoustique (méthode indirecte). La perméabilité d'un milieu étudié s'exprime en (m^2) en unité S.I. mais aussi en Darcy, unité couramment utilisée par les pétroliers, dans notre réservoir d'In Adaoui on utilise le milli Darcy (mD) car on a une perméabilité faible ne atteint pas le Darcy. Un Darcy correspond à la perméabilité d'un milieu dans lequel un fluide d'une viscosité de 1 centipoise (eau à 20 C°) soumis à un gradient de pression de 1 atm/cm, s'écoule à la vitesse de 1 cm/s, avec :

$$1 \text{ Darcy} = 0,97. m^2$$

Il y a tellement des méthodes qui peuvent être utilisées pour calculer la perméabilité la plus pratique est la méthode de Coates :

Avec :

- ❖ K la perméabilité.
- ❖ la porosité.
- ❖ Saturation en eau.

III. Distribution des paramètres pétrophysiques dans l'unité IV-3 de l'Ordovicien :

III.1. Distribution de la porosité :

III.1.a. La carte en isoporosité du réservoir Ordovicien unité IV-3 :

D'après la carte en isoporosité d'unité IV-3 (Fig. IV.01) ; on remarque que les valeurs de porosités sont faibles vers les flancs (3.7% à IA-106, 5.3% à OTB-1 et 4.00 à IA-105) avec une augmentation de l'Est vers l'Ouest et de Sud vers le Nord avec des valeurs maximales près de la faille (10.9% à IA-101, 8.6% à IA-118 et 8.6% à OT-102).

La carte montre une variation des valeurs de la porosité entre 4-8 % sur une distance de 40 km, donc faible variation par rapport à la distance (réservoir compact).

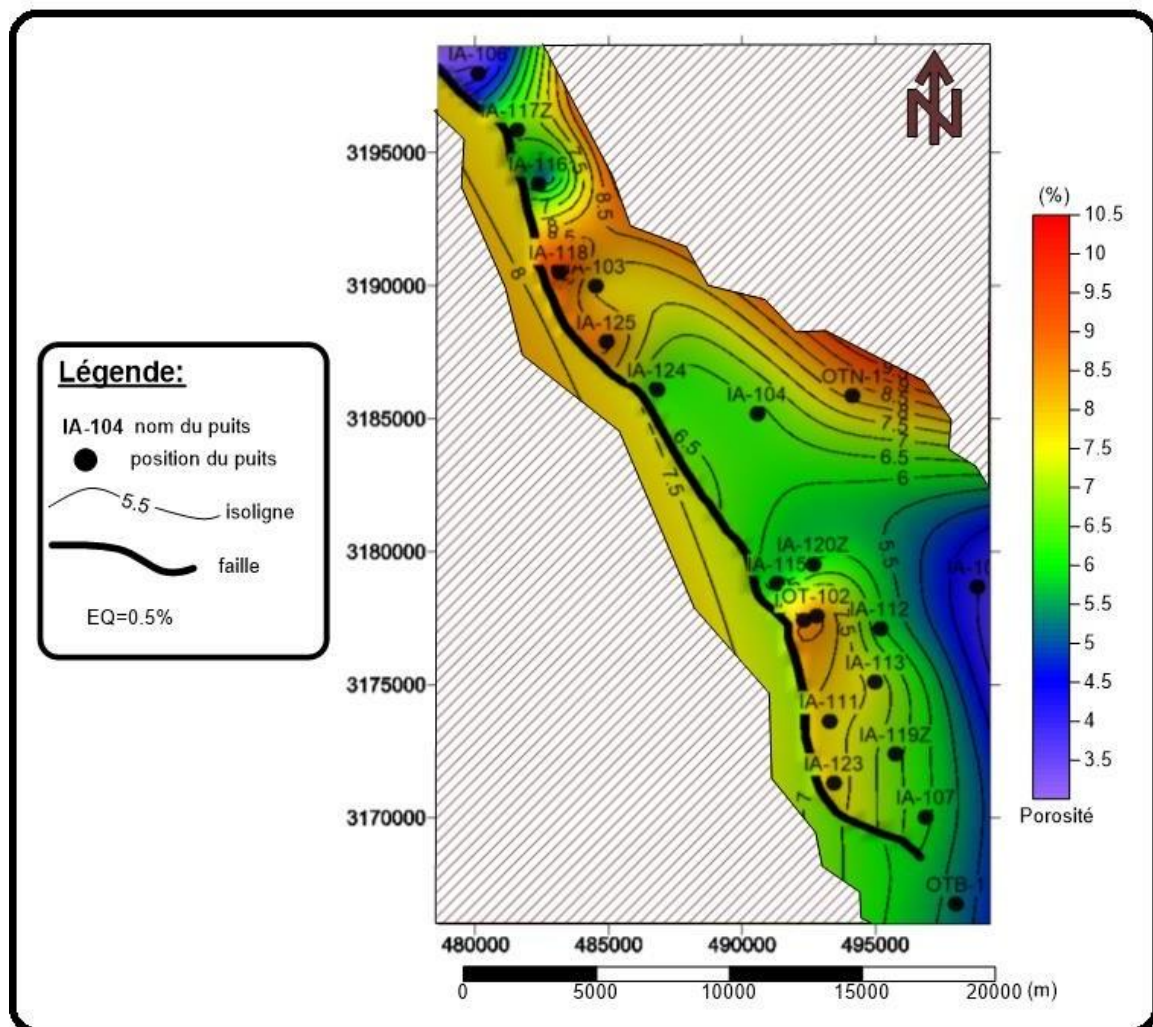


Fig. IV.01 : Carte en isoporosité du réservoir Ordovicien unité IV-3

III.1.b. Evolution vertical de la porosité :

D'après des mesures de porosité effectuées sur les échantillons des carottes prélevés tous les 25 cm des puits IA-116, IA-115 et IA-112. On établit une étude de l'évolution verticale de la porosité en fonction des résultats de la diagraphie réalisée au niveau de l'unité IV-3 de l'Ordovicien pour montrer la relation entre la porosité et la fraction matricielle :

Le puits IA-116 :

L'évolution verticale de la porosité (**Fig. IV.02**) montre une distribution instable de la porosité dans l'unité IV-3 (avec une moyenne faible de 04.24%) à cause de la variation du volume de la matrice argileuse en fonction de la profondeur, tel que l'on remarque une relation inverse entre la porosité et le volume d'argile. On peut subdiviser cette distribution en deux intervalles :

- L'intervalle supérieur (-2290.5/-2300m) : avec une moyenne de 05.04% et une valeur maximale de 11%. Pour cet intervalle les valeurs de porosité et les accumulations de gaz sont plus favorables que l'autre intervalle (-2300/-2314m) et montrant certaine stabilité.
- L'intervalle inférieur (-2300/-2314m) : avec une moyenne de 3.72% et une valeur maximale de 8%. Pour cet intervalle on remarque l'augmentation de volume d'argile et de la présence de la sidérite (indice de ciment carbonaté) ce qui conduit à la diminution de la porosité.

Le puits IA-115 :

D'après le graphe de l'évolution verticale de la porosité (**Fig. IV.03**), on remarque que la porosité, le volume d'argile et le volume de gaz dans l'unité IV-3 varient d'une manière stable. Avec la présence de la sidérite (ciment carbonaté) à -2215 m. La moyenne de la porosité est de 05.70%.

Le puits IA-112 :

L'évolution verticale de la porosité (**Fig. IV.04**) montre une distribution en trois intervalles :

- L'intervalle supérieur (-2238/-2250m) : Les valeurs de la porosité dans cet intervalle varient entre 3.1% et 7.1% avec une certaine constance autour de 5% (moyenne de 5.2%).
- L'intervalle (-2250/-2262m) : Les valeurs de la porosité dans cet intervalle augmentent en général de 5.5% vers 11% avec la présence des anomalies vers 3%, la moyenne est 6.3%.
- L'intervalle inférieur (-2262/-2267.5m) : Les Valeurs de la porosité montrent une diminution de porosité de 11% vers 3.5% avec une augmentation de volume d'argile à la base, la moyenne de porosité est 6.5%. On remarque aussi une augmentation du volume des hydrocarbures et du gaz dans cet intervalle.

Les valeurs élevées de la porosité, de gaz et des hydrocarbures du réservoir Ordovicien (IV-3) sont localisées dans la partie inférieure de puits IA-112 (-2262/-2267.5m) avec une moyenne de porosité de 6.5% mais ces valeurs restent pauvres.

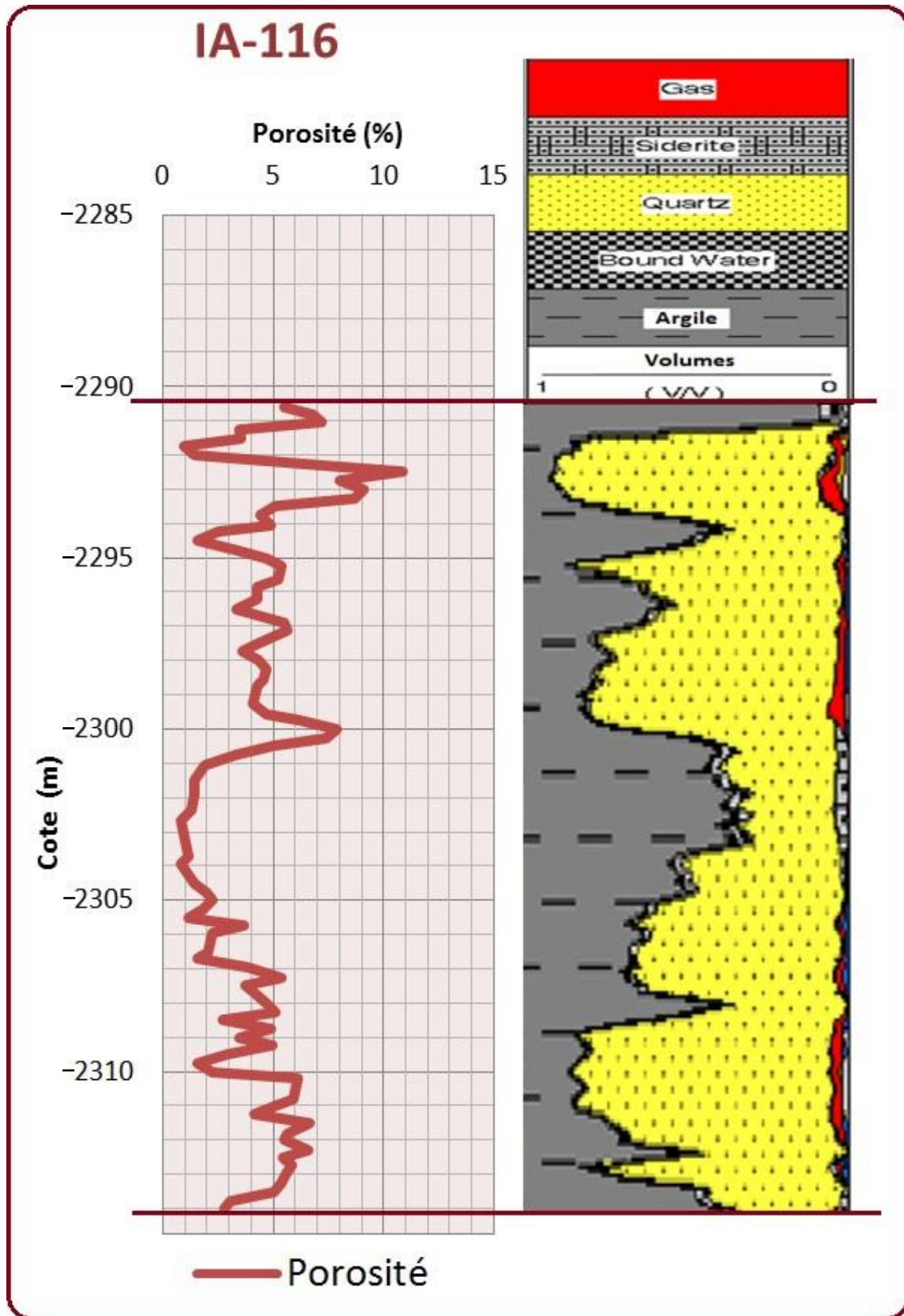


Fig. IV.02 : Evolution verticale de la porosité et les résultats de diagraphie du réservoir Ordovicien ‘Unité IV-3’ de puits IA-116

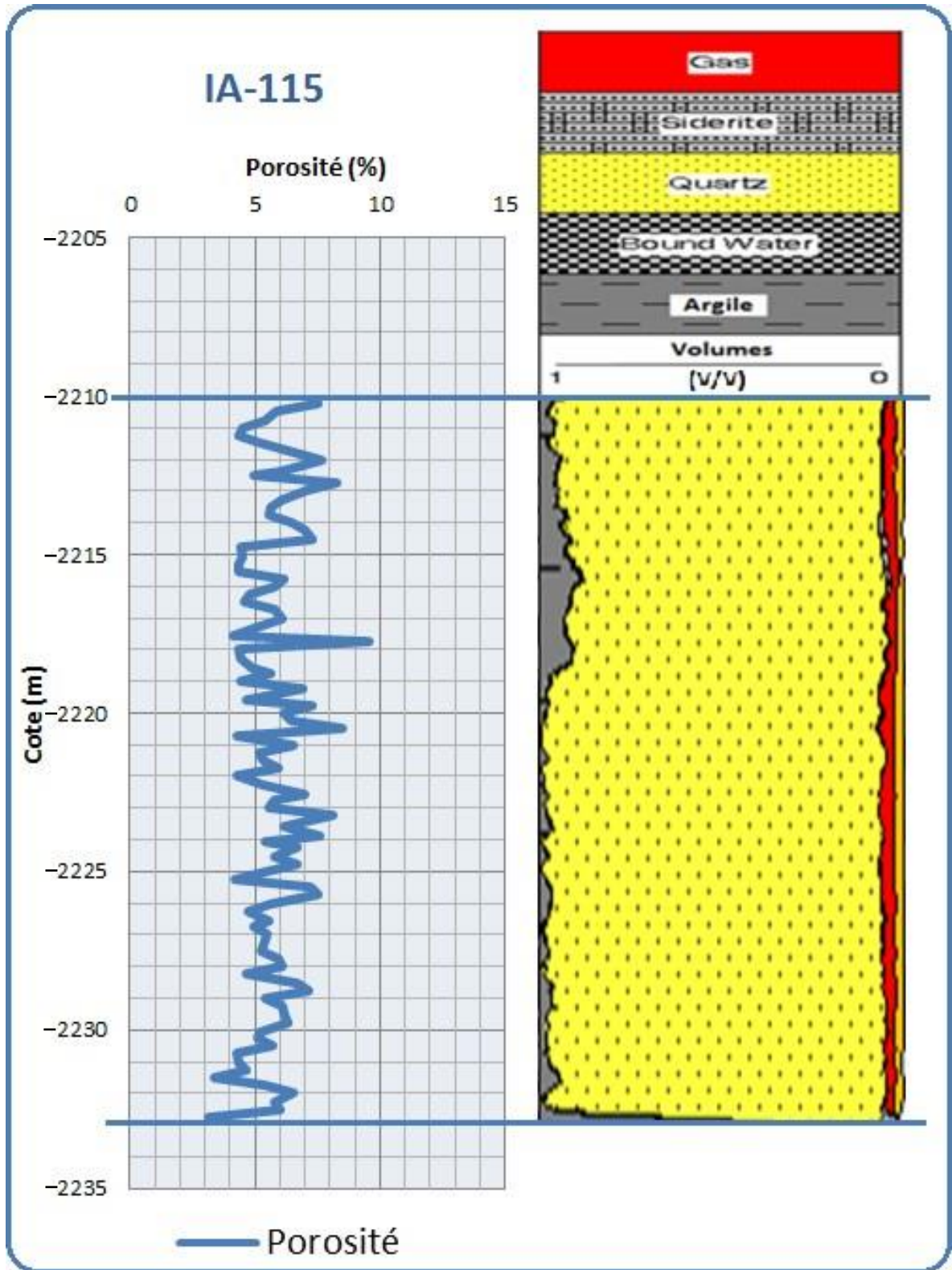


Fig. IV.03 : Evolution verticale de la porosité et les résultats de diagraphie du réservoir Ordovicien ‘Unité IV-3’ de puits IA-115

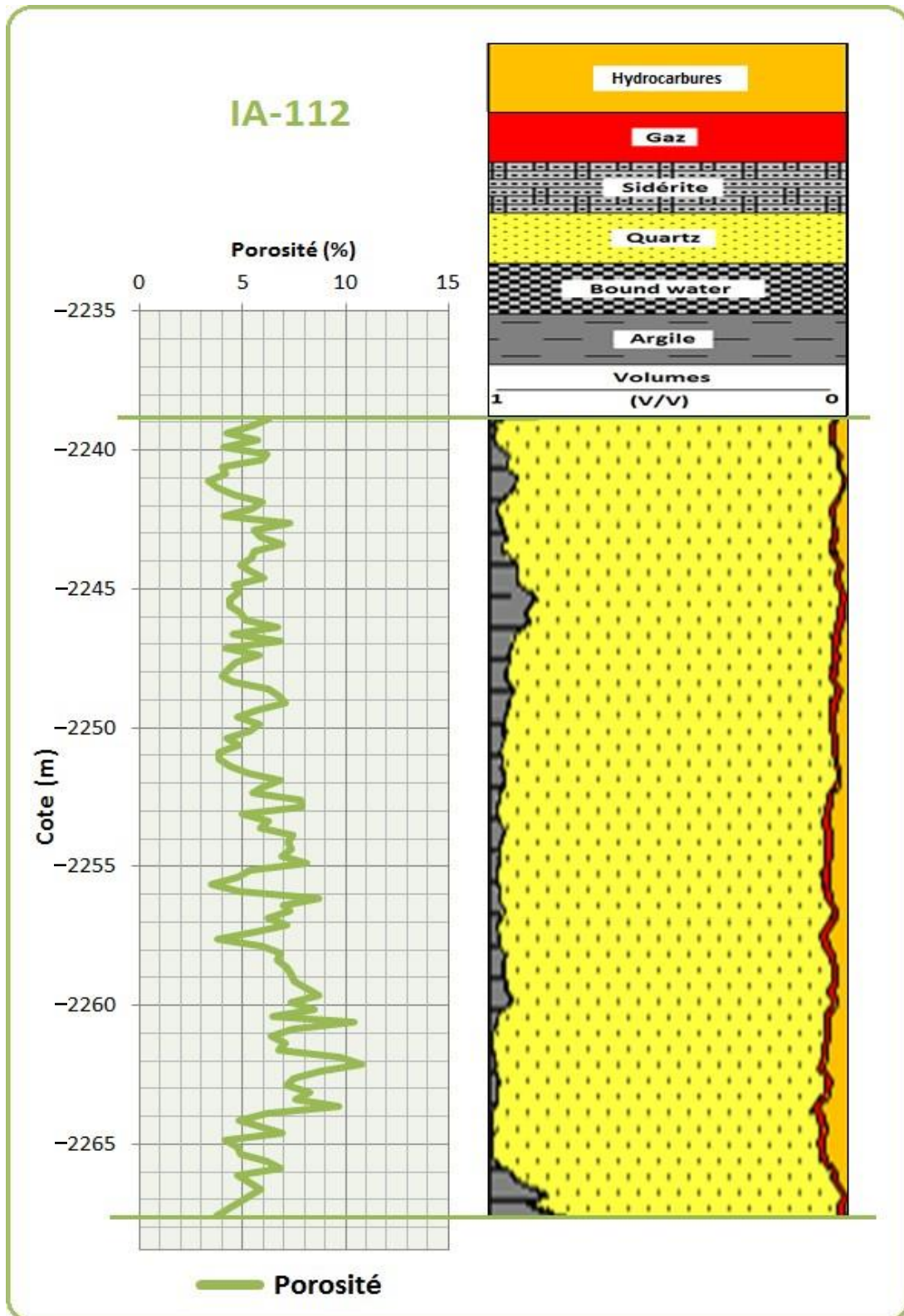


Fig. IV.04 : Evolution verticale de la porosité et les résultats de diagraphie du réservoir Ordovicien ‘Unité IV-3’ de puits IA-112

III.2. Distribution de la perméabilité :

III.2.a. La carte en isoperméabilité du réservoir Ordovicien unité IV-3 :

A cause de la variation brusque des valeurs de la perméabilité, la carte en isoperméabilité ne peut pas être établie pour l'unité IV-3 de l'Ordovicien au niveau du champ d'In Adaoui.

L'établissement de la carte en isoperméabilité en utilisant les données des puits donne des zones à des valeurs négatives. Pour cela, à la suite de la conversion en valeur réelle, on corrige les isolignes (correspond à des valeurs négatives) en considérant que les valeurs réelles égales à zéro.

La carte établie par cette méthode (**Fig. IV.05**) montre que le champ d'In Adaoui à une mauvaise distribution de perméabilité. Cette dernière a une seule zone à des valeurs favorables entre 10 et 43 mD (Perméabilité bonne) vers le SE à une extension de 4-6 km et une surface de 23 km² ; pour cette zone on remarque une augmentation des valeurs de perméabilité de SE vers NW (vers la faille). Toutes les autres zones à une perméabilité faible ou nulle.

III.2.b. Evolution vertical de la perméabilité :

L'étude de l'évolution verticale de la perméabilité (**Fig. IV.06**) a été réalisée pour les mêmes puits (IA-116, IA-115 et IA-112) décrits pour la porosité.

Les valeurs de la perméabilité sont tirées à partir des mesures directes effectuées sur les échantillons des carottes.

Le puits IA-116

D'après le graphe de ce puits, on peut conclure que les valeurs de la perméabilité sont presque nulles avec une moyenne de 0.4 mD sauf qu'au toit de l'unité IV-3 où on peut avoir des valeurs atteint 12 mD. Ces faibles valeurs dues à la compaction des grès très fins, mal classés et l'augmentation du ciment siliceux et de la matrice argileuse.

Le puits IA-115 :

Pour ce puits IA-115, on remarque des valeurs de perméabilité très variées avec une moyenne de 12.44 mD (bonne). La distribution montre des anomalies (des valeurs

favorables entre 126 et 78 mD), ces valeurs due à des grés fissurés par endroits et des grés grossiers plus ou moins cimentés.

Le puits IA-112 :

Avec une moyenne de 09.90 mD, on remarque pour ce puits les mêmes points précédents pour le puits IA-115, des perméabilités très variés avec des anomalies (entre 30 et 90 mD).

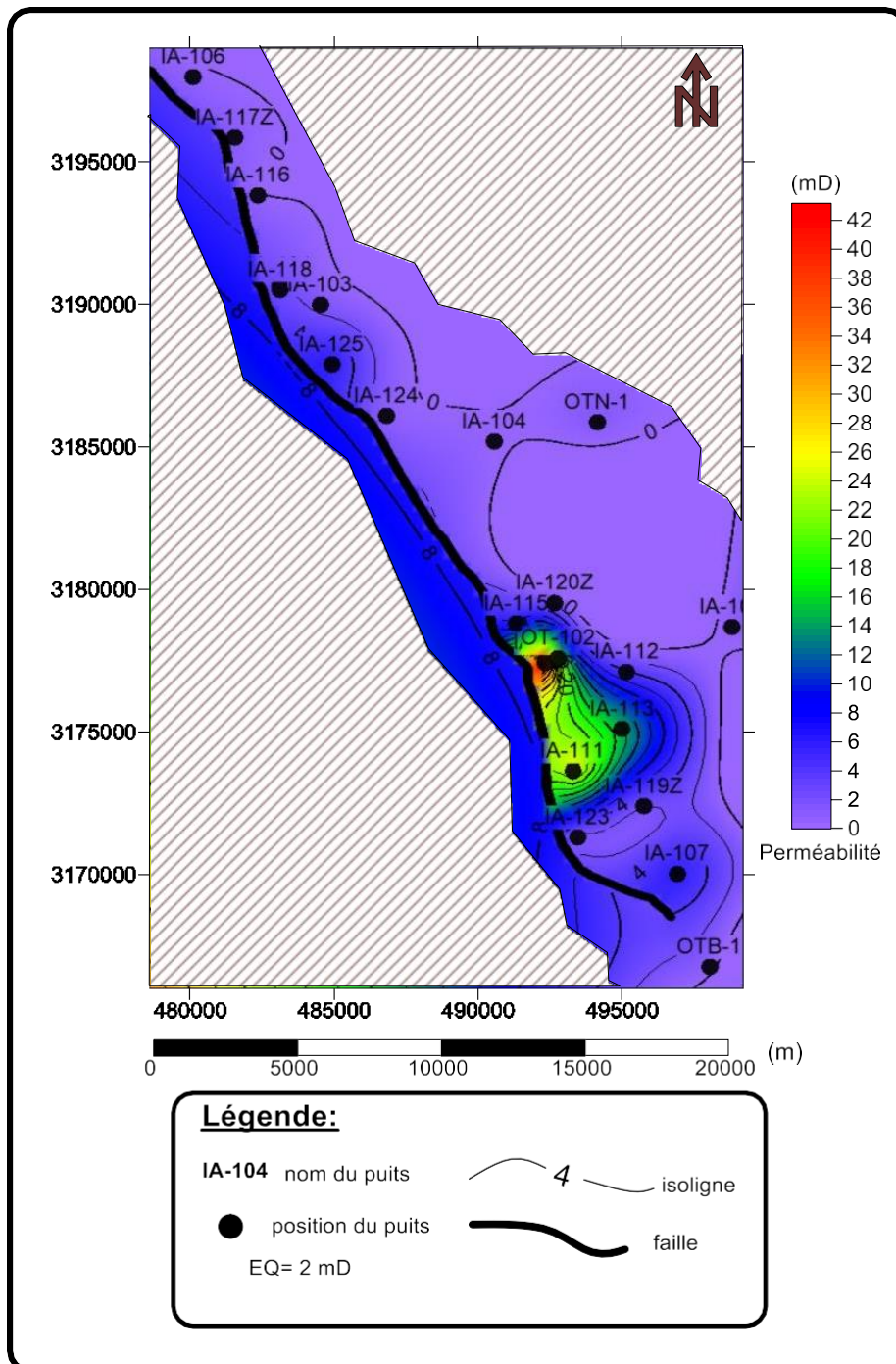
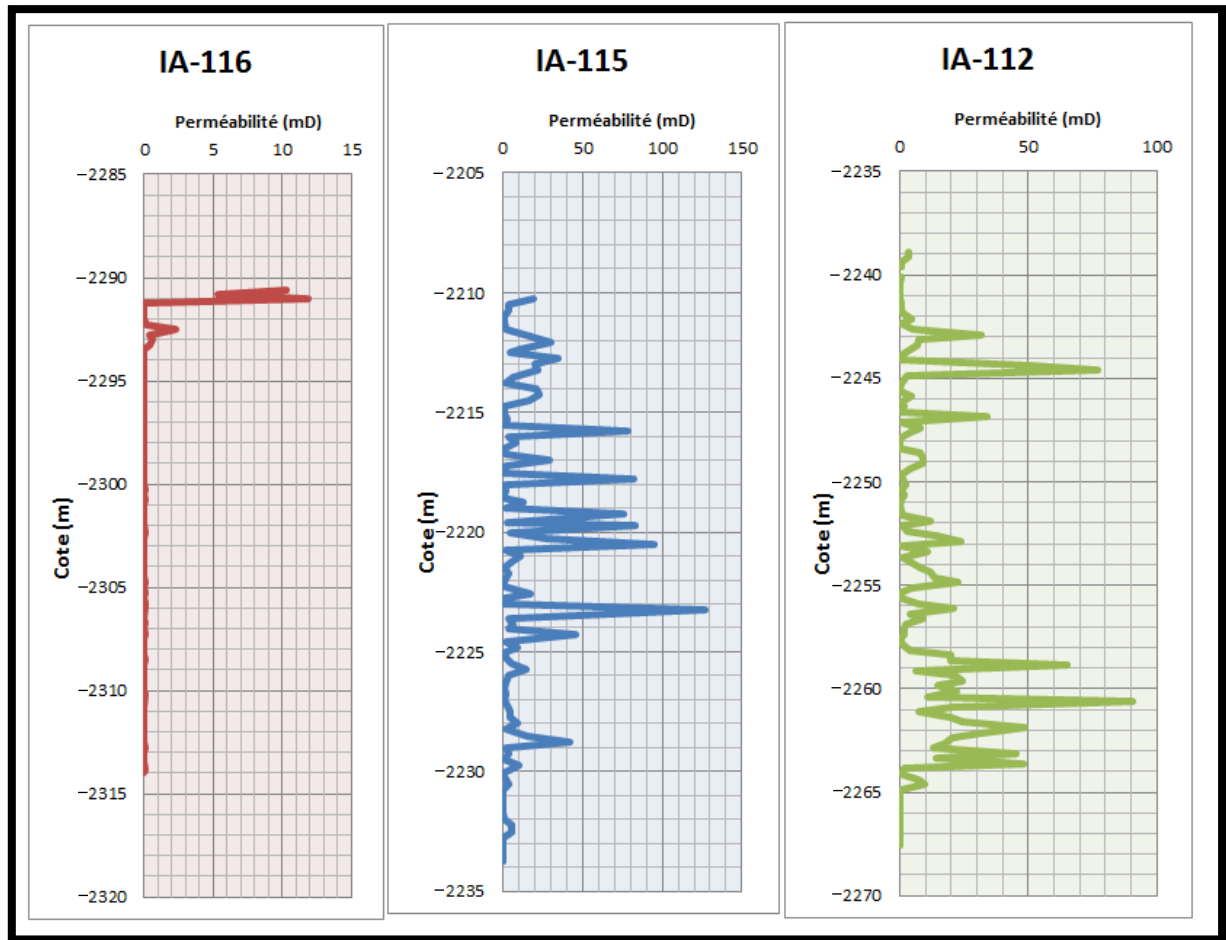


Fig. IV.05 : Carte en isoperméabilité du réservoir Ordovicien unité IV-3



**Fig. IV.06 : Evolution verticale de la perméabilité du réservoir Ordovicien
‘Unité IV-3’ de puits IA-116, IA-115 et IA-112**

IV. Analyse des paramètres pétrophysiques du réservoir Ordovicien unité IV-3 :

IV.1. Introduction :

Cette analyse consiste à traiter et à analyser les trois puits IA-116, IA-115 et IA-112 dans le réservoir Ordovicien unité IV-3, le but de cette démarche est de parvenir à une meilleure perspective de la distribution des paramètres pétrophysiques dans le réservoir de notre zone d'étude.

IV.2. Méthodologie :

Afin de mieux apprécier les paramètres pétrophysiques caractérisant le réservoir d'étude, nous avons tenté d'une part d'approcher la relation entre la porosité et la

perméabilité en établissant des diagrammes de corrélations et déterminer le cut-off d'après la corrélation. D'autre part, réaliser des histogrammes illustrant la distribution des valeurs de porosité et de perméabilité.

IV.3. Interprétation des diagrammes de la porosité et de la perméabilité :

a. Les Histogrammes de la porosité : (Fig. IV.07)

- **Puits IA-116 :** la distribution est unimodale avec une asymétrie droite. La classe modale est [4-6 [% avec une fréquence de 42%. On remarque que 73% des valeurs varient entre 4 et 8%.
- **Puits IA-115 :** la distribution est unimodale aussi avec une asymétrie droite. La classe modale est [4-6[% avec une fréquence de 61%. La majorité des valeurs (92%) varient entre 4 et 8%.
- **Puits IA-112 :** la distribution est unimodale à caractère asymétrique droite. La classe modale est [4-6[% avec une fréquence de 46%. Avec 82% des valeurs qui varient entre 4 et 8%.

b. Les histogrammes de la perméabilité : (Fig. IV.08)

Pour les histogrammes de la perméabilité des trois puits IA-116, IA-115 et IA-112, on remarque que la majorité des valeurs ont une fréquence entre 87 et 100% et varient entre 0 et 25 mD ; avec une distribution unimodale à caractère asymétrique droite. La classe modale pour les trois puits est [0-25[mD.

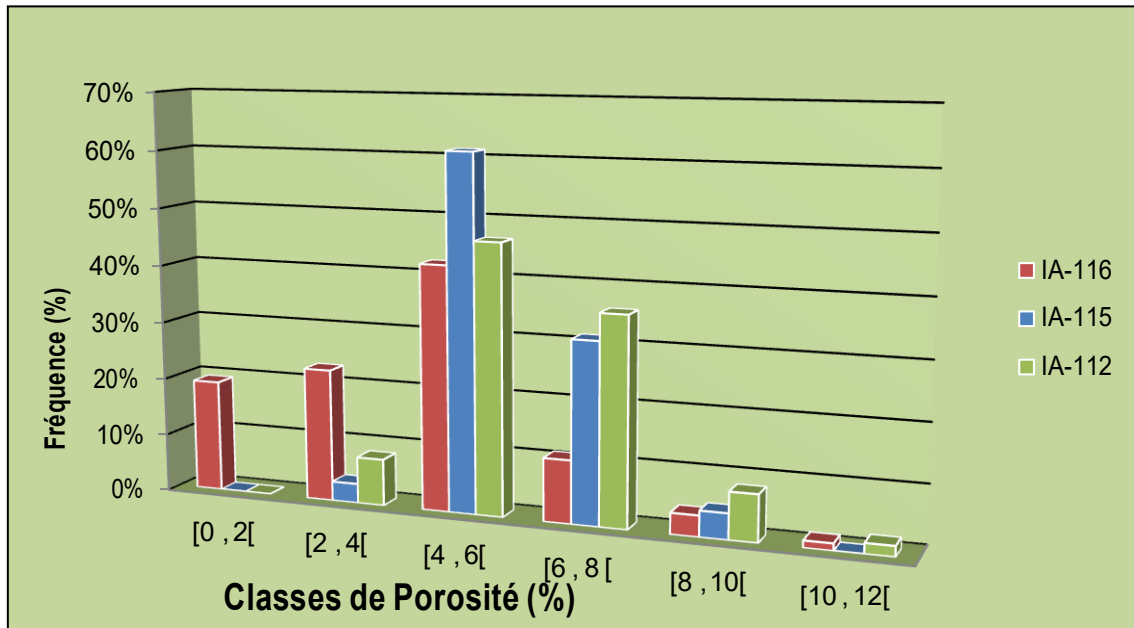


Fig. IV.07 : Histogramme de répartition de la porosité de l'unité IV-3 des puits IA-116, IA-115 et IA-112

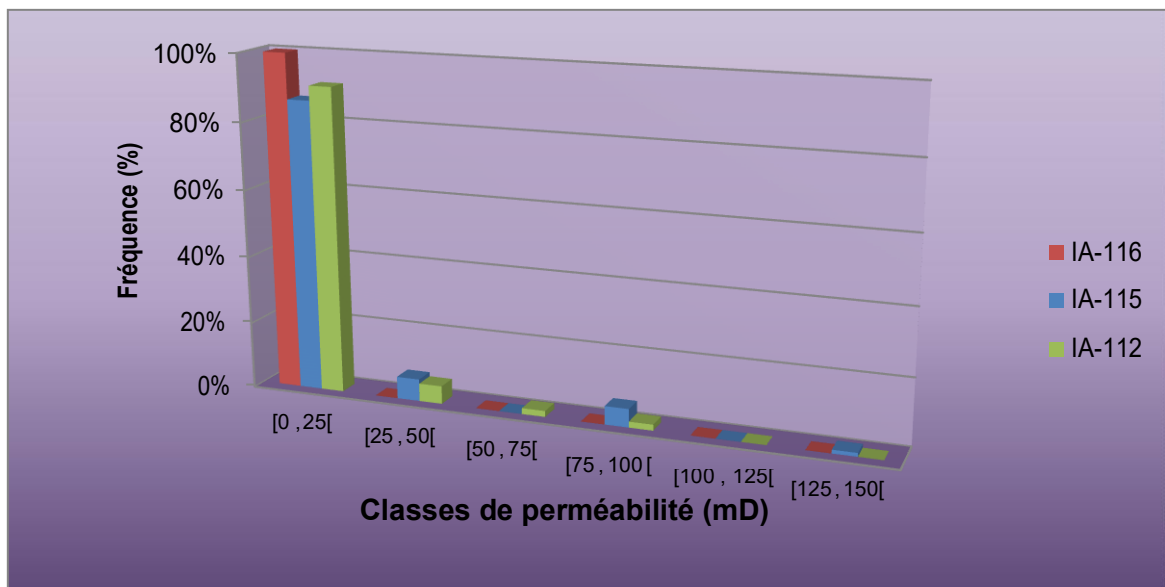


Fig. IV.08 : Histogramme de répartition de la perméabilité de l'unité IV-3 des puits IA-116, IA-115 et IA-112

c. Les corrélations entre la porosité et la perméabilité :

Une relation logarithmique entre la porosité et la perméabilité est généralement constatée. En effet, un graphique du logarithme de la perméabilité en fonction de la porosité donne approximativement une courbe avec des courbures différentes suivant les formations. De nombreux chercheurs ont observé que dans les roches détritiques

notamment, il existait fréquemment une bonne corrélation entre la porosité et la perméabilité (Serra, 1985). Chilingar (1964) a mené cette recherche en fonction de la taille des grains et il a obtenu le type de relations.

Pour notre réservoir la corrélation est mauvaise à cause de la nature lithologique hétérogène des roches de l'unité IV-3 de l'Ordovicien.

- **Puits IA-116** : La courbe de corrélation entre les valeurs de la perméabilité et ceux de la porosité (**Fig. IV.09**) montre une relation logarithmique, le coefficient de corrélation est faible $R^2=0.0471$.
- **Puits IA-115** : à partir de la courbe de corrélation entre la porosité et la perméabilité (**Fig. IV.10**), on remarque que ces dernières sont réparties en un nuage de point avec une liaison monotone positive non linéaire, le coefficient de corrélation est faible $R^2= 0.3699$.
- **Puits IA-112** : Pour ce puits la courbe de corrélation (**Fig. IV.11**) montre une liaison monotone positive non linéaire entre la porosité et la perméabilité, le coefficient de corrélation est faible $R^2=0.3424$.

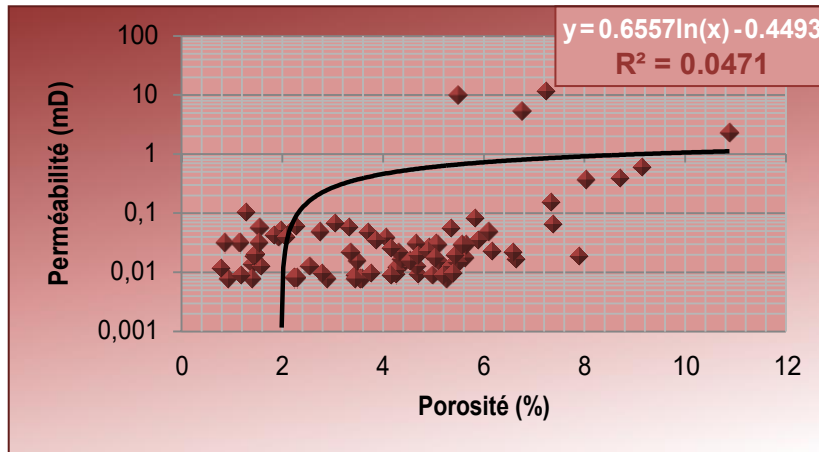


Fig. IV.09 : Courbe de corrélation entre la perméabilité et la porosité du puits IA-116

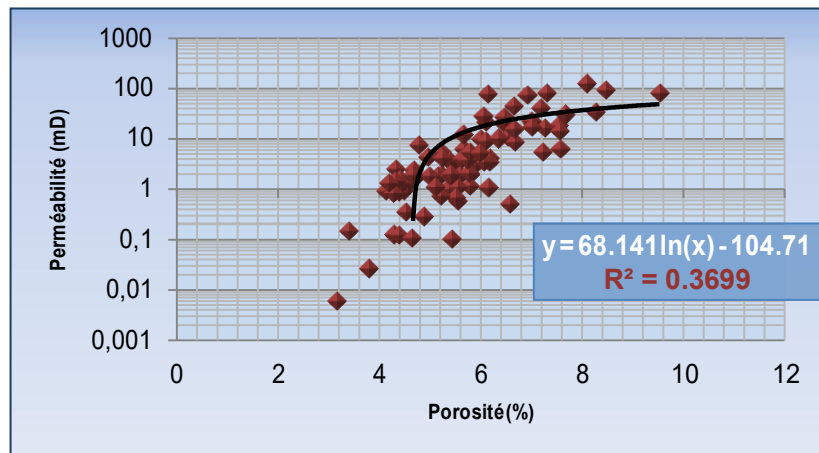


Fig. IV.10 : Courbe de corrélation entre la perméabilité et la porosité du puits IA-115

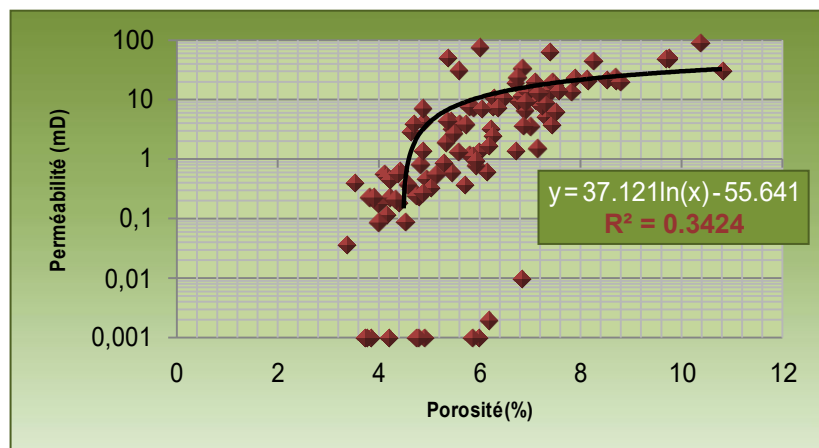


Fig. IV.11 : Courbe de corrélation entre la perméabilité et la porosité du puits IA-112

IV.4. Détermination de la limite industrielle (cut-off):

Les caractéristiques pétrophysiques de notre réservoir sont mauvaises, le choix d'un cut-off est très important car il pourra éliminer des niveaux réservoirs qui sont considérés auparavant sans intérêt. Ce type de réservoir est caractéristique des réservoirs compacts (faible porosité et perméabilité avec des valeurs généralement inférieures à 10 % et 0.1 md respectivement), qui sont candidats à la production par fracturation. Les cut-off utilisés dans la zone d'étude ont été déterminés à partir des cross plots entre porosités carottes et perméabilité carottes (**Fig. IV.12**).

Notre réservoir est compact, donc pour une perméabilité minimale $K=0.1$ mD le cut-off de porosité est égale à 4.7%.

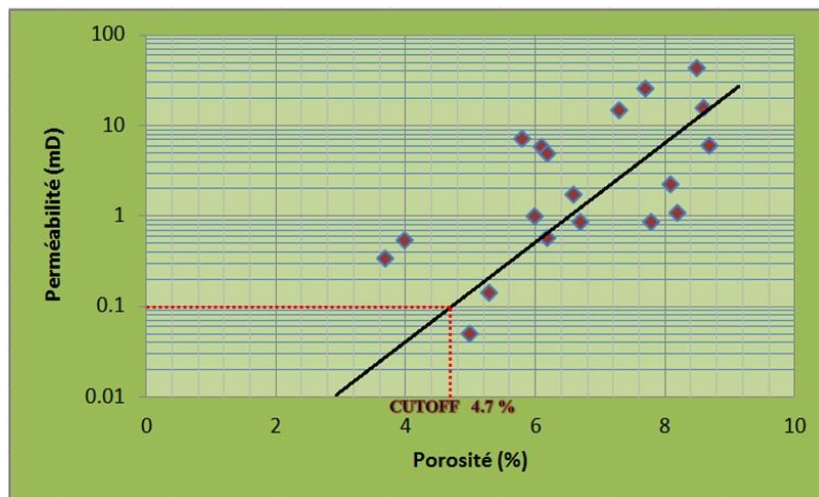


Fig. IV.12 : Cut-off de porosité d'après le diagramme de corrélation entre la perméabilité et la porosité des puits

V. Conclusion sur les caractéristiques pétrophysiques du réservoir d'unité IV-3 de l'Ordovicien :

En conclusion, le réservoir d'unité IV-3 de l'Ordovicien se caractérise par de mauvaises qualités réservoirs reflétées par des porosités faibles (entre 8.7 à IA-125 et 3.7% à IA-106) et une perméabilité faible à négligeable, surtout sur les flancs du réservoir (à OTB-1 $K=0.14$ mD et IA-105 $K= 0.54$ mD).

Ces mauvaises caractéristiques pétrophysiques due à des phénomènes ce que nous avons étudié dans le chapitre précédent (compactage et le développement extensif de quartz excroissance).

VI. Interprétation des résultats diagraphique des paramètres pétrophysiques :

Le log diagraphique présenté par le logiciel de Techlog à partir de fichier LAS montre des informations géologiques en profondeur; l'interprétation diagraphique se fait par l'intervient de certains paramètres pétrophysiques très importants, parmi ces paramètres : GR, porosité densité (RHOZ), porosité neutron (NPHI) et porosité sonique (DT).

Les logs diagraphiques des puits IA-115 et IA-125 (**Fig. IV.13**) montrant d'une façon visible les zones d'hydrocarbures, la courbe de GR évaluée le pourcentage d'argile d'une chaque intervalle, et le composite log entre la porosité neutron (NPHI) et la porosité densité (ROHZ) montre les zones favorable à grés (roche réservoir).

L'interprétation des zones d'hydrocarbure montre des zones essentiellement à gaz, et la présence d'huile pour le puits IA-125, mais cette huile n'est pas exploitable.

L'interprétation montre que le volume d'argile de l'unité IV-3 moins que de l'unité IV-2. Donc l'unité IV-3 est la meilleure couche réservoir dans cet intervalle.

VI.1. Détermination lithologique :

L'abaque de MID-Plot est un «Cros-plot» entre la porosité neutron (NPHI) et la porosité densité (RHOZ) lu lorsque le forage est rempli de boue. La projection des données pétrophysiques (densité apparente, porosité neutron) des certains puits sur l'abaque (**Fig. IV.14**) montre que la nature lithologique de réservoir Ordovicien est gréseux, ces données peut avoir à partir de log diagraphique.

Le cross-plot (Schlumberger chart) de puits IA-115 (utilisant Techlog) montre aussi que la nature du notre réservoir est gréseux avec une porosité entre 4 et 10%. (**Fig. IV.15**)

VI.2. Identification de la matrice :

L'utilisation d'un abaque de "MID-Plot" permettant de comparer les valeurs de la densité de la matrice et de la vitesse des ondes acoustiques dans la matrice et cela dans le but d'identifiée la nature de matrice à l'intervalle d'unité IV-3 sélectionnée. L'interprétation des résultats des puits IA-115, IA-125 et IA-123 indique que la nature de la matrice est siliceuse. (**Fig. IV.16**)

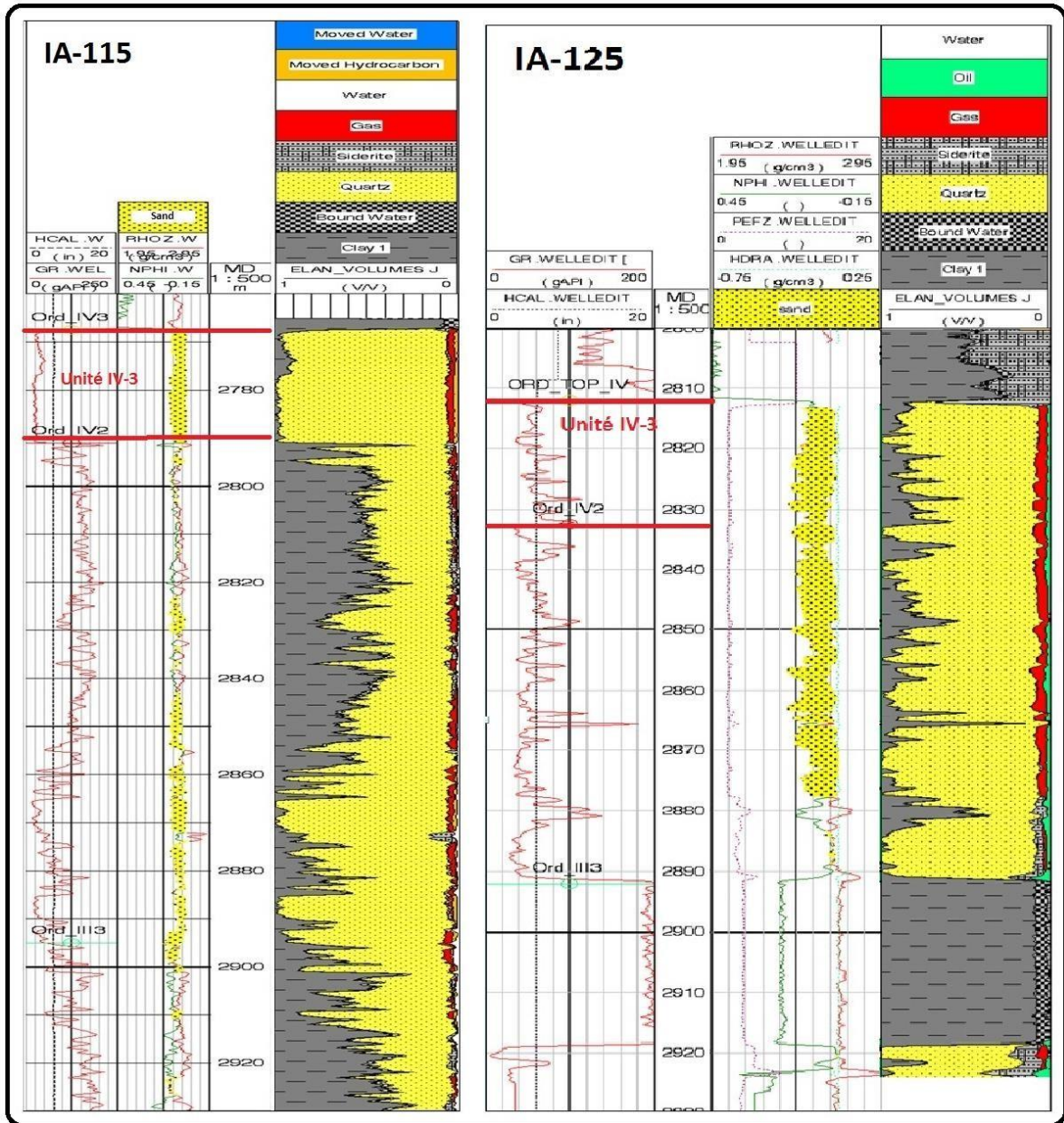


Fig. IV.13 : Résultats de l'interprétation pétrophysique des puits IA-115 et IA-125

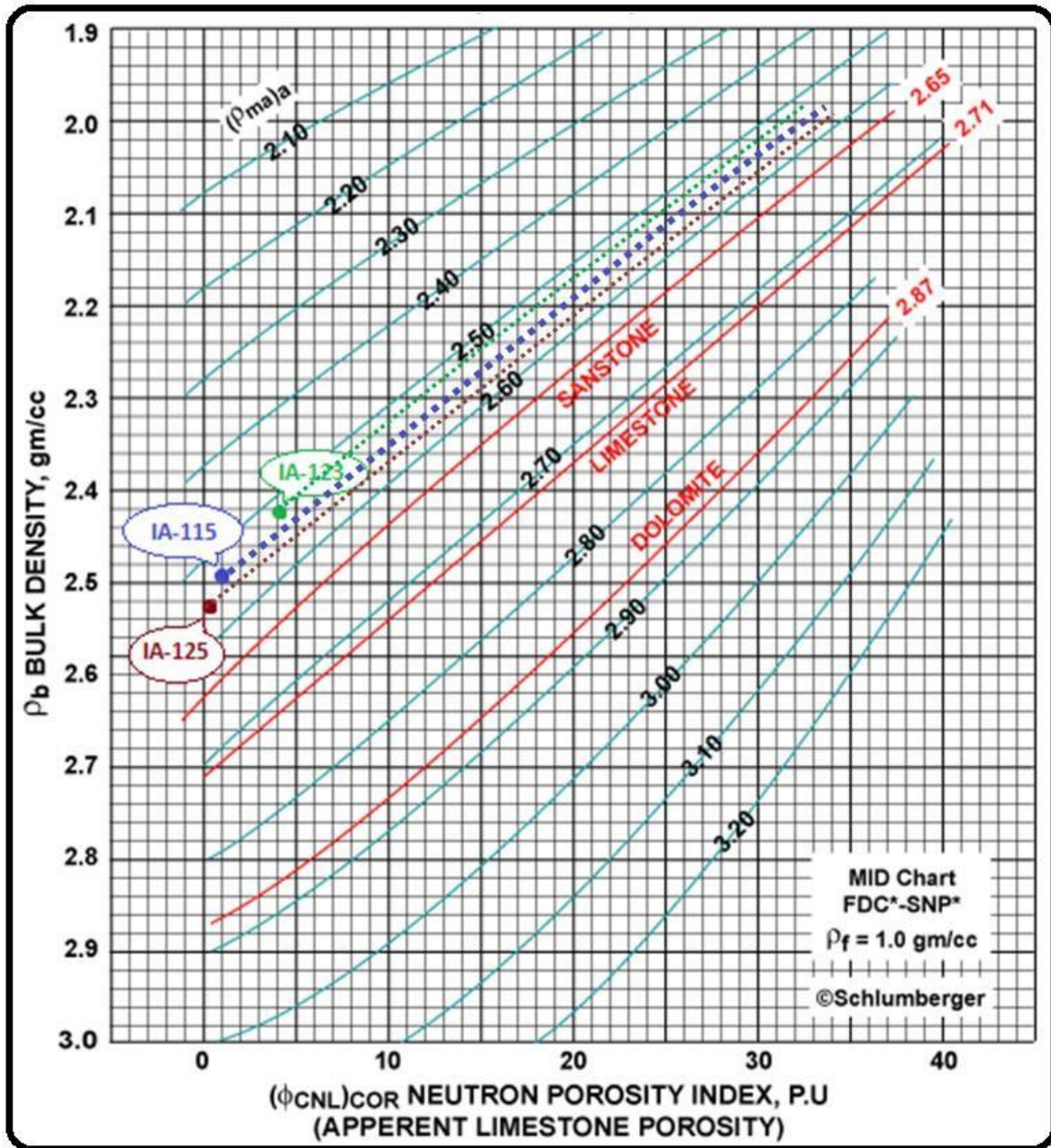


Fig. IV.14 : Détermination de la lithologie du réservoir Ordovicien aux puits IA-115, IA-125 et IA-123 par le MID-Plot

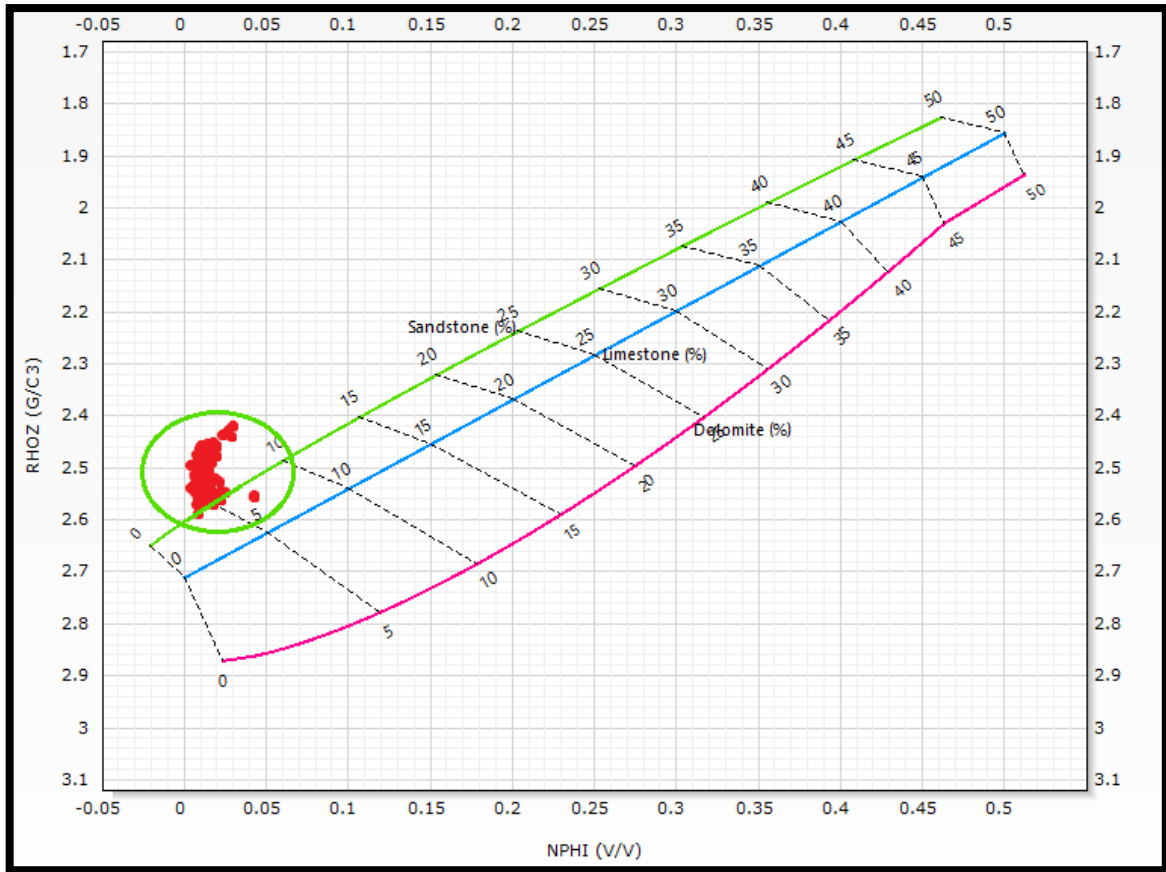


Fig. IV.15 : Détermination de la lithologie du réservoir Ordovicien au puits IA-115 par cross-plot (Techlog)

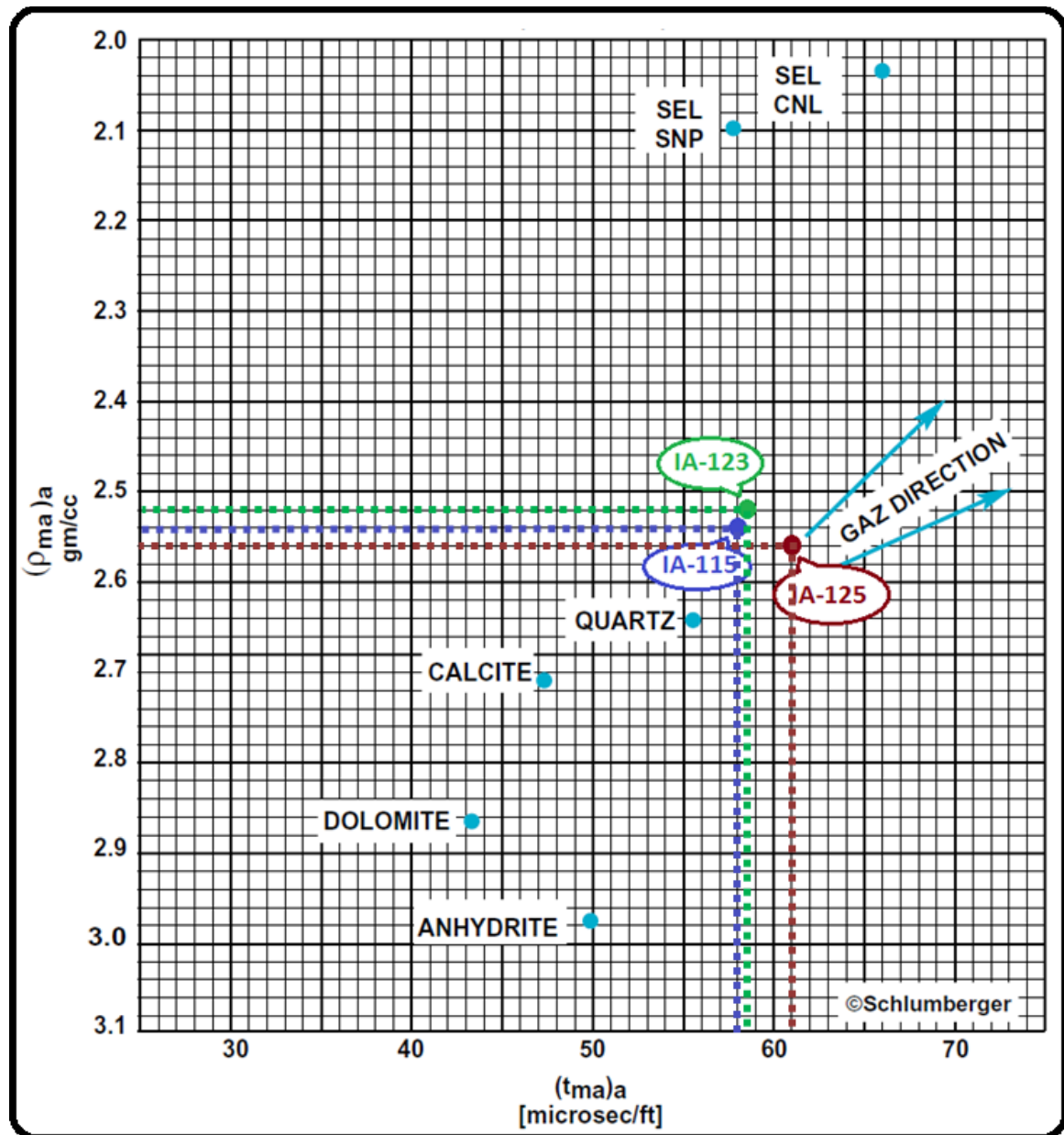


Fig. IV.16 : Identification de la matrice (MID-PLOT) d'unité IV-3 des puits IA-115, IA-123 et IA-125

VI.3. Détermination de la porosité primaire :(Fig. IV.17)

La comparaison entre deux diagramme de même paramètres permet la détermination indirect des certains paramètre comme la porosité primaire. La détermination de porosité primaire est très importante notamment si on a un manque de certaines données pétrophysiques, cette procédure se fait à l'aide des plusieurs abaques. L'abaque ci-dessous montre des valeurs estimées proche aux valeurs mesurées sur terrain. Le traitement précédent des données pétrophysiques de réservoir Ordovicien indiqué que le type de la

matrice est un grès quartzitique. Donc Les résultats obtenus montre que la porosité primaire des puits IA-115, IA-123 et IA-125 à l'unité IV-3 sont de 2%, 3.1% et 7.6% respectivement.

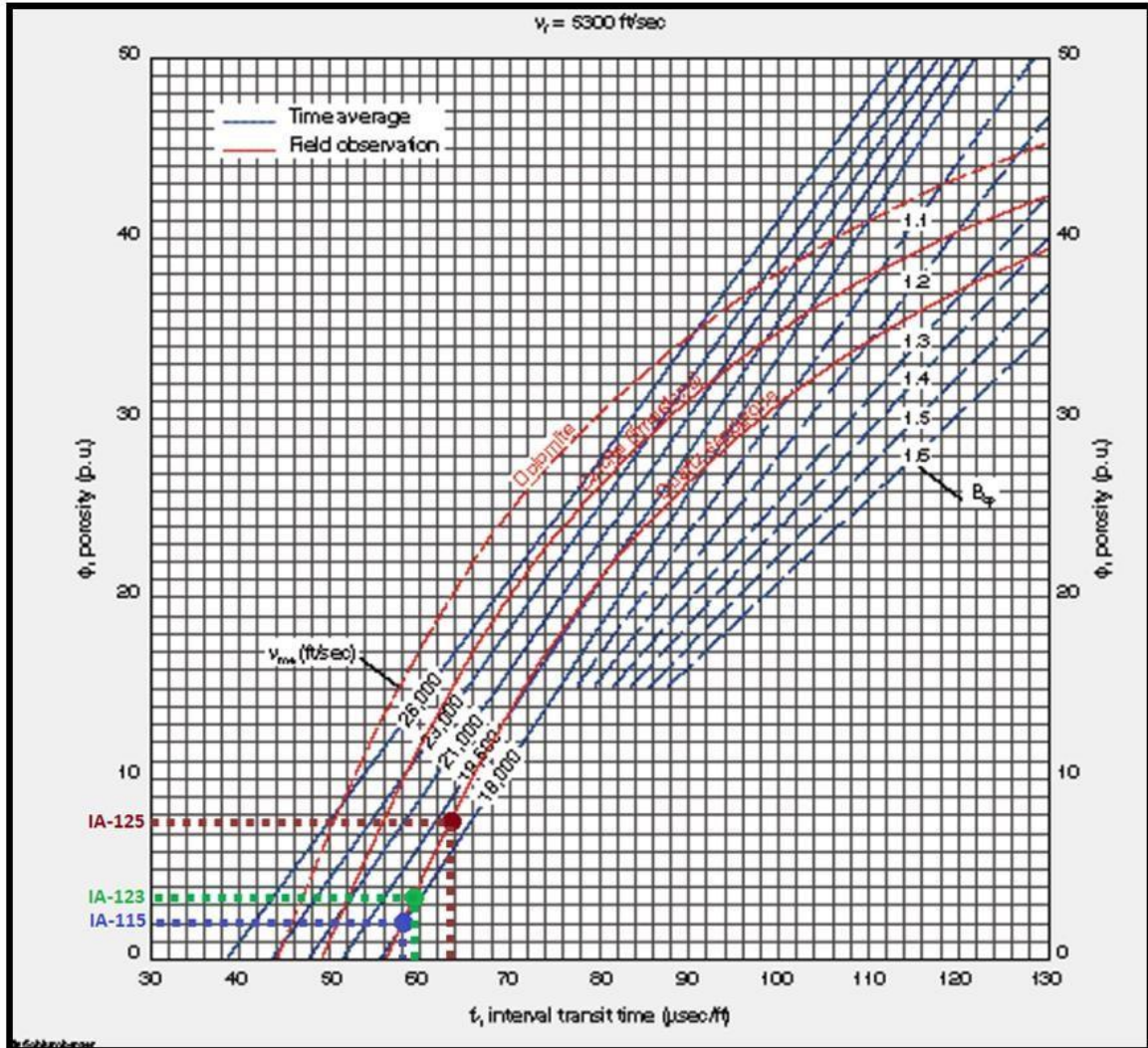


Fig. IV.17 : Évaluation de la porosité primaire des puits IA-115, IA-123 et IA-125

VI.4. Conclusion :

L'interprétation diagraphique des paramètres pétrophysiques montre que les résultats d'étude directe sur les carottes d'unité IV-3 (voir chapitre III) sont compatibles avec les résultats d'étude indirecte par diagraphie.



Chapitre V :

**TREND-ANALYSE
DES PARAMETRES
DU RESERVOIR**

I. Introduction :

Pour donner une meilleure idée sur la variation des propriétés pétrophysiques dans le réservoir d'unité IV-3 de l'Ordovicien du champ In Adaoui, On a utilisé la méthode de Trend-Analyse.

Cette méthode est basée sur la recherche des tendances pour l'ensemble d'une population des paramètres du réservoir et à extraire de cette dite population des sous-ensembles ayant certains caractères particulières dans le cas de variable à deux dimensions.

Le lissage des valeurs avec Trend-Analyse est dirigé à rechercher une générale tendance de l'évolution d'un phénomène et d'explorer les zones positives liés à l'anomalie en faveur des bonnes qualités de la production du réservoir.

Pour chaque paramètre du réservoir (épaisseur utile, porosité et perméabilité) et d'après les cartes du trend, on peut déterminer les anomalies positives et négatives liées aux paramètres étudiés.

Ensuite, par la superposition des cartes des anomalies d'épaisseur utile, de porosité et de perméabilité, nous conduit à délimiter les zones de bonne, moyennes et mauvaises caractéristiques du réservoir.

II. Méthodologie :

Dans notre cas où les données correspondent à une surface tridimensionnelle, les irrégularités locales peuvent obscurcir la répartition régionale. Donc pour ressortir beaucoup mieux les anomalies on retranche les variations régionales.

La surface du Trend est celle qui représente le mieux la distribution des paramètres étudiés. Le plan qu'on choisi pour la surface du Trend est déterminé au mieux par rapport à l'ensemble des données avec la méthode des moindres carrés.

II.a. Lissage par la méthode des moindres carrés :

L'équation utilisé est : $Z(x,y) = ax+by+c$, tel que $Z(x,y)$ est la variable étudiée. Les coefficients **a**, **b** et **c** sont obtenus en minimisant la somme des carrés entres les valeurs calculer (Z) et (Z'). Tel que l'équation de Trend est : $Z'(x,y) = ax+by+c$

Formule de calcul :

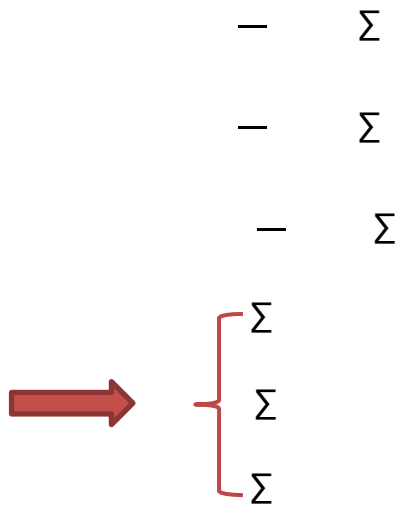
On a : $Z(x,y) = Z'(x,y) + \epsilon(x,y)$ tel que $\epsilon(x,y)$ c'est l'écart-type. S

$$= \sum (Z_i - Z'_i)^2 = \text{minimum}$$

$Z'(x,y) = ax + by + c$, on remplace Z' par sa valeur, on aura :

$$S = \sum (Z_i - ax - by - c)^2 = \text{minimum}$$

En suit en faisant les dérivées partielles par rapport aux coefficients **a**, **b** et **c**. Nous aurons un complexe de matrices qui permettra de les calculer, donc d'obtenir l'équation du plan du paramètre considéré.



Donc :

$$\begin{cases} a\sum X^2 + b\sum X.Y + c.X.n = \sum Z.X \\ a\sum X.Y + b\sum Y^2 + c.Y.n = \sum Z.Y \\ a\sum X + b\sum Y + c.n = \sum Z \end{cases}$$

Pour résoudre ce système des équations, on utilise la méthode des matrices :

$$\Delta = \begin{bmatrix} \sum & \sum & \sum \\ \sum & \sum & \sum \\ \sum & \sum & \sum \end{bmatrix}$$

Pour résoudre le déterminant Δ , il faut avoir d'abord les valeurs des nombres de la matrice. Pour cela, il faut établir des tableaux de calculs.

Une fois que Δ est calculé on peut déterminer les coefficients **a**, **b** et **c** :

—
—
—

Avec :

$$\Delta a = \begin{bmatrix} \sum & \sum & \sum \\ \sum & \sum & \sum \\ \sum & \sum & \sum \end{bmatrix} \quad \Delta b = \begin{bmatrix} \sum & \sum & \sum \\ \sum & \sum & \sum \\ \sum & \sum & \sum \end{bmatrix} \quad \Delta c = \begin{bmatrix} \sum & \sum & \sum \\ \sum & \sum & \sum \\ \sum & \sum & \sum \end{bmatrix}$$

Les coordonnées X et Y des points A, B et C choisis aléatoirement pour le triangle d'interpolation sont données en dixième de centimètre par rapport aux repère orthonormé, sur la carte de base à l'échelle 1/200 000.

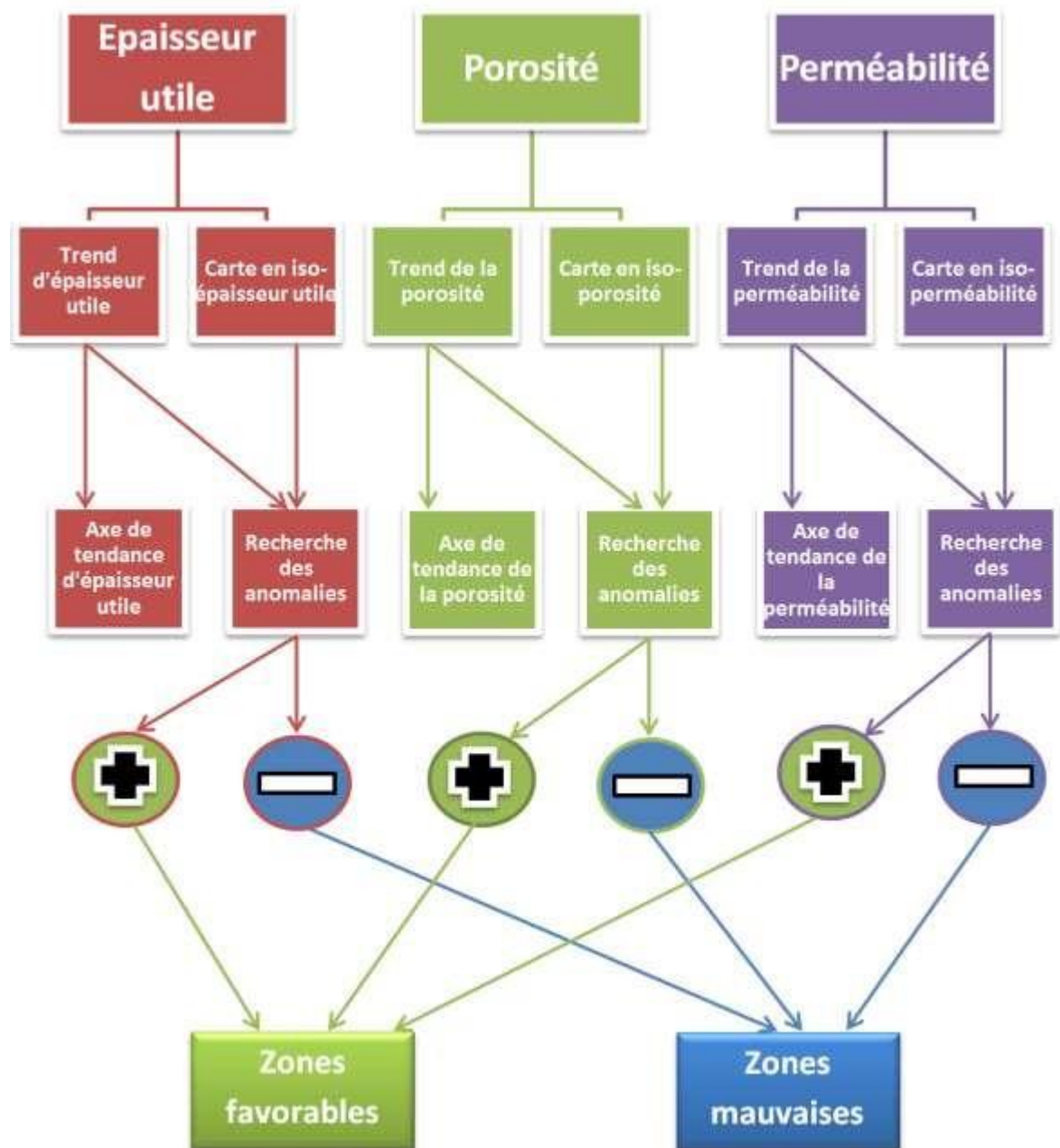
Le triangle d'interpolation choisie est formé par les points :

A (4.38 ; 5.65)

B (1.00 ; 8.00)

C (5.16 ; 1.00)

II.b. Les étapes de traitement géostatistique des paramètres du réservoir :



III. Détermination des trends :

Les coordonnées orthonormées et les données des puits (de l'unité IV-3) sont résumées dans le tableau ci-dessous : **(Tableau. V.01)**

N°	Puits	Coordonnées		Epaisseur		Porosité moy (%)	Perméabilité moy (mD)
		X	Y	Total	Utile		
01	IA-105	5.18	3.67	28.63	6.75	4	0.54
02	IA-106	1	8	46.38	9.13	3.7	0.34
03	IA-107	4.76	1.73	13.63	8.88	6.1	5.76
04	IA-111	3.95	2.54	37.75	31	7.7	25.31
05	IA-112	4.37	3.31	28.45	18.72	6.2	4.9
06	IA-113	4.33	2.86	29.88	23	7.3	14.64
07	IA-114	3.73	3.39	25.38	24.88	8.5	43.01
08	IA-115	3.51	3.69	24.13	17.63	5.8	7.04
09	IA-116	1.5	7.06	23.5	7.8	5	0.05
10	IA-117Z	1.31	7.51	20	11.6	6.7	0.86
11	IA-118	1.67	6.32	44	22	8.1	2.24
12	IA-119Z	4.5	2.25	26.2	22.4	6.6	1.7
13	IA-120Z	3.81	3.86	25	17.8	6	0.99
14	IA-123	3.98	2.01	44	14	7.8	0.85
15	IA-124	2.49	5.33	84.04	28	6.2	0.57
16	IA-125	2.07	5.73	25.9	22.8	8.7	5.99
17	OT-102	3.83	3.42	28.5	25.8	8.6	15.45
18	OTB-1	5	1	33	5.3	5.3	0.14
19	OTN-1	4.13	5.27	61.5	6	8.2	1.06

Tableau. V.01 : Les coordonnées orthonormées et les données des puits de l'unité IV-3

Les équations des trends pour chaque paramètre sont :

L'épaisseur utile : (E_U)

$$\left. \begin{array}{l} a = -5.86 \\ b = -4.00 \\ c = 53.76 \end{array} \right\} \Rightarrow E_U(x,y) = -5.86x - 4.00y + 53.76 \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} E_U(A) = 5.37 \\ E_U(B) = 15.84 \\ E_U(C) = 19.32 \end{array} \right.$$

La Porosité : (P_o)

$$\left. \begin{array}{l} a = -0.64 \\ b = -0.48 \\ c = 10.89 \end{array} \right\} \Rightarrow P_o(x,y) = -0.64x - 0.48y + 10.89 \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} P_o(A) = 5.30 \\ P_o(B) = 6.33 \\ P_o(C) = 7.06 \end{array} \right.$$

La Perméabilité : (K)

$$\left. \begin{array}{l} a = -3.07 \\ b = -3.28 \\ c = 31.13 \end{array} \right\} \Rightarrow K(x,y) = -3.07x - 3.28y + 31.13 \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} K(A) \approx 0.00 \\ K(B) = 1.70 \\ K(C) = 11.83 \end{array} \right.$$

IV. Interprétation des résultats :

IV.1. Interprétation des cartes des Trends et des anomalies :

L'épaisseur utile :

- **Carte du Trend** : D'après la carte du Trend (**Fig. V.01**) qui est représenté par des lignes du plan représentant la moyenne statistique de l'épaisseur utile, ces lignes montrent une augmentation régionale NE-SW. Cette augmentation se fait avec un gradient d'environ 1.5 m/km.

- **Carte des anomalies** : L'intersection entre les isopaques utiles et les lignes du Trend (**Fig. V.02**) montre trois (3) zones, deux (2) zones positives à épaisseur utile favorable située sur un axe NNW-SSE parallèlement avec la faille avec une extension moyenne. l'autre zone est mauvaise à épaisseur défavorable.

La porosité :

- **Carte du Trend** : Les lignes du Trend-Analyse (**Fig. V.03**) montrent que la porosité augmente avec la même façon que l'épaisseur utile de NE vers le SW (vers la

faille) avec un gradient faible de 0.16%/km. Cette similarité avec l'épaisseur utile indique que la porosité est synsédimentaire (primaire).

- **Carte des anomalies** : L'intersection entre les lignes de porosité et les lignes du Trend (**Fig. V.04**) montre cinq (05) zones des anomalies, Deux zone positives à porosité favorable avec une bonne extension, et trois (03) zones négatives à porosité mauvaise.

La perméabilité :

- **Carte du trend** : Le trend de la perméabilité (**Fig. V.05**) montre que la tendance régionale est statiquement du NNE-SSW (vers la faille). Mais d'après la carte en isoperméabilité, la perméabilité d'unité IV-3 régionalement négligeable (réservoir compacte) sauf qu'une seule zone.

- **Carte des anomalies** : L'intersection entre les lignes de perméabilité et les lignes du Trend (**Fig. V.06**) montre une seule zone à perméabilité favorable près de la faille, le reste du champ est une zone mauvaise. La zone favorable est située entre deux failles majeures, si pour ça la perméabilité de cette zone est probablement une perméabilité de fissuration due à des phénomènes tectoniques.

IV.2 : Conclusion sur la distribution des anomalies :

D'après les valeurs réelles des paramètres pétrophysique d'unité IV-3 données par les puits et d'après les résultats de l'utilisation de la méthode du Trend-Analyse, On remarque qu'il y a similarité de tendance de ces paramètres entre-elles. Donc, ce fait nous conduit à déduire que les caractéristiques pétrophysiques du réservoir Ordovicien d'unité IV-3 sont originelles (synsédimentaire), sauf qu'une seule zone où la perméabilité n'est pas originale (perméabilité due à des phénomènes tectoniques).

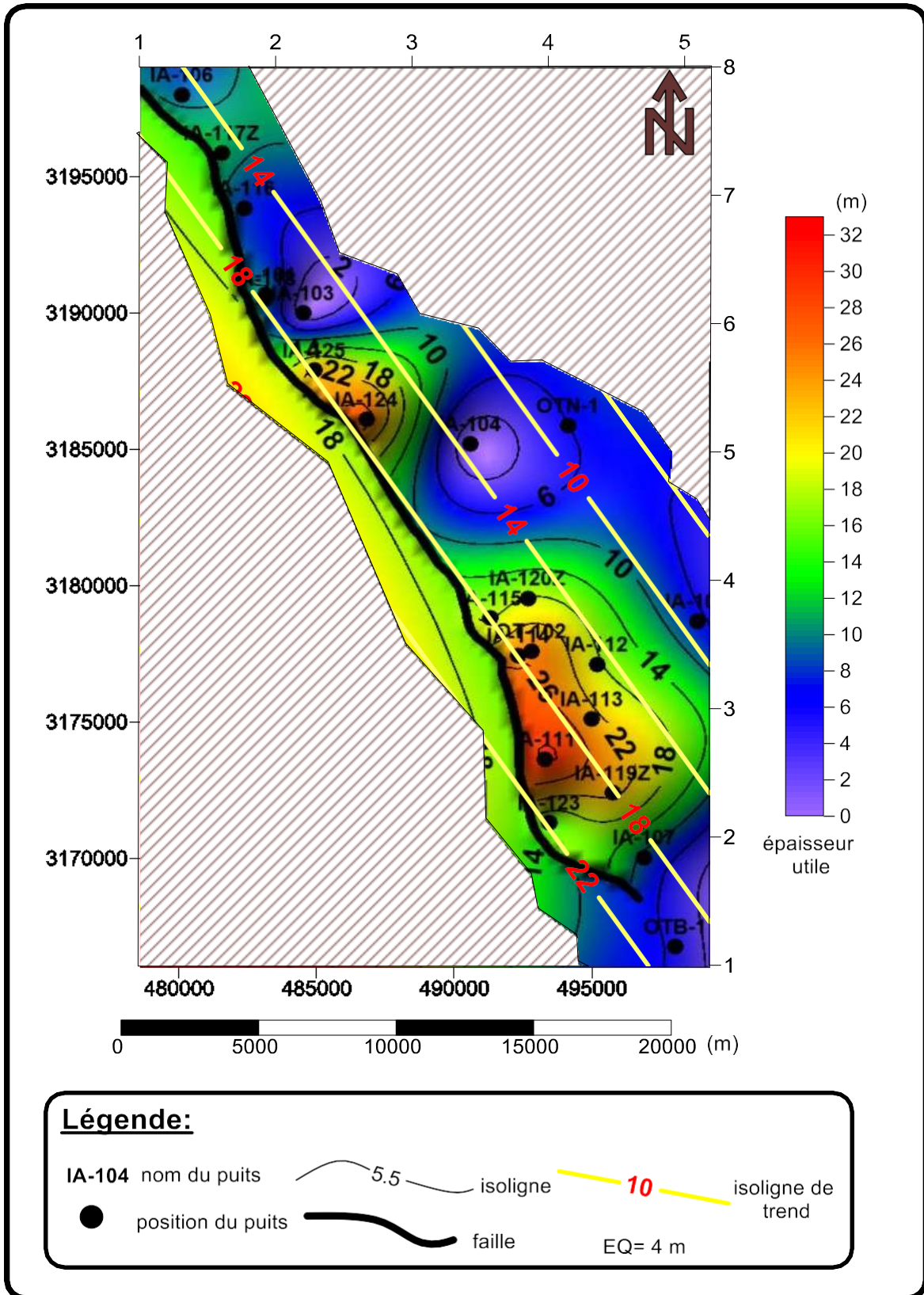


Fig. V.01: Carte du Trend de l'épaisseur utile d'unité IV-3 de l'Ordovicien

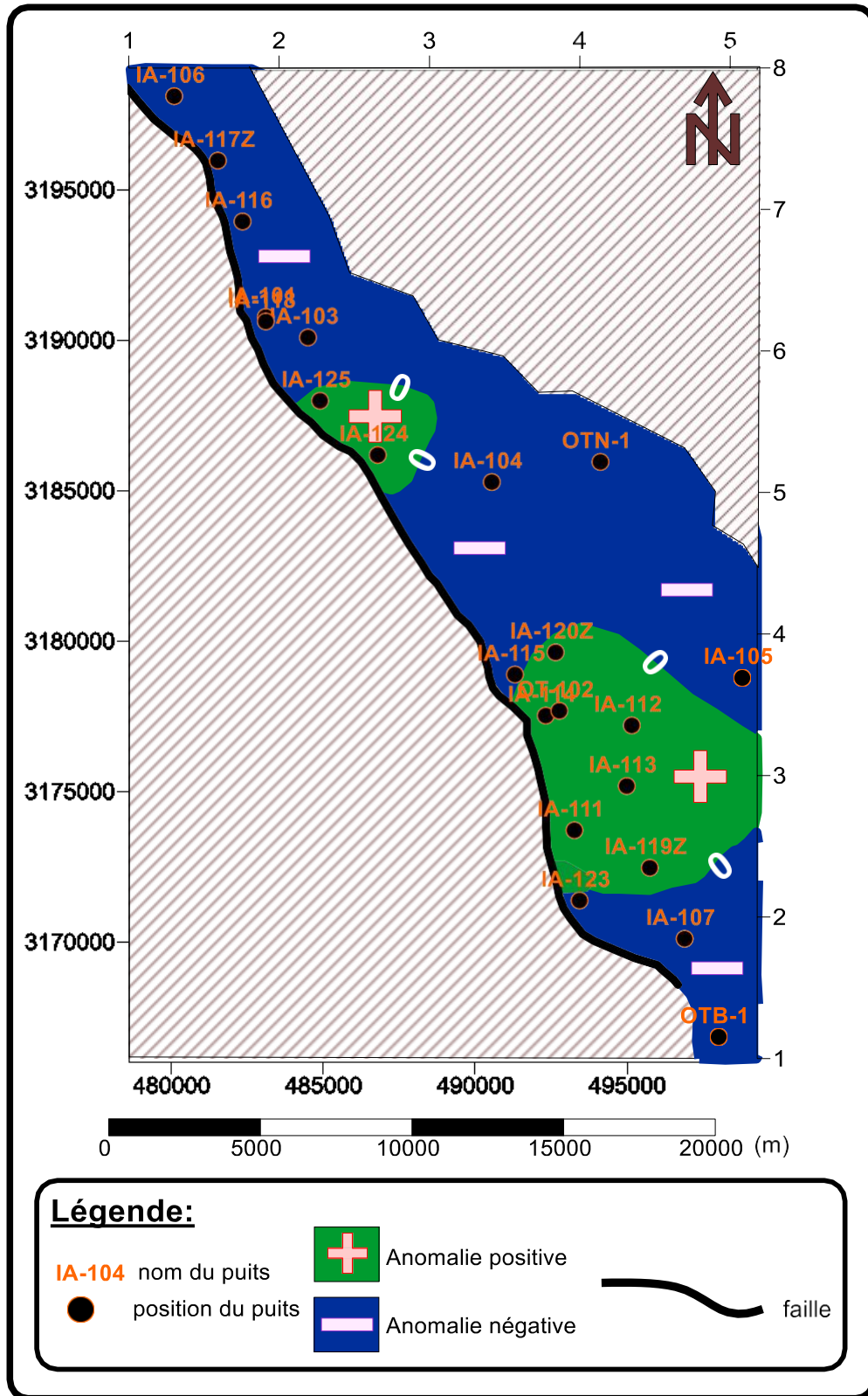


Fig. V.02: Carte des anomalies de l'épaisseur utile d'unité IV-3 de l'Ordovicien

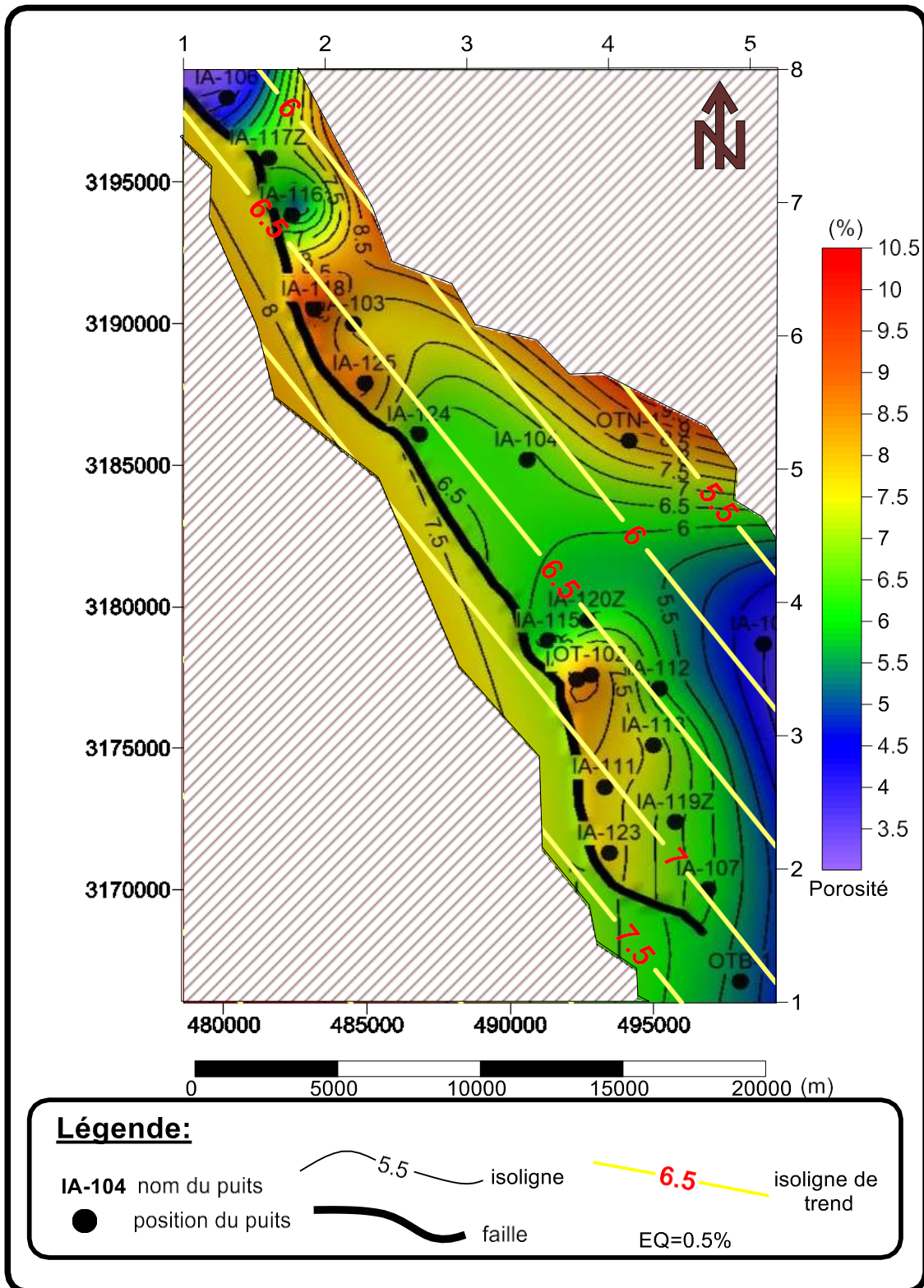


Fig. V.03: Carte du Trend de la porosité d'unité IV-3 de l'Ordovicien

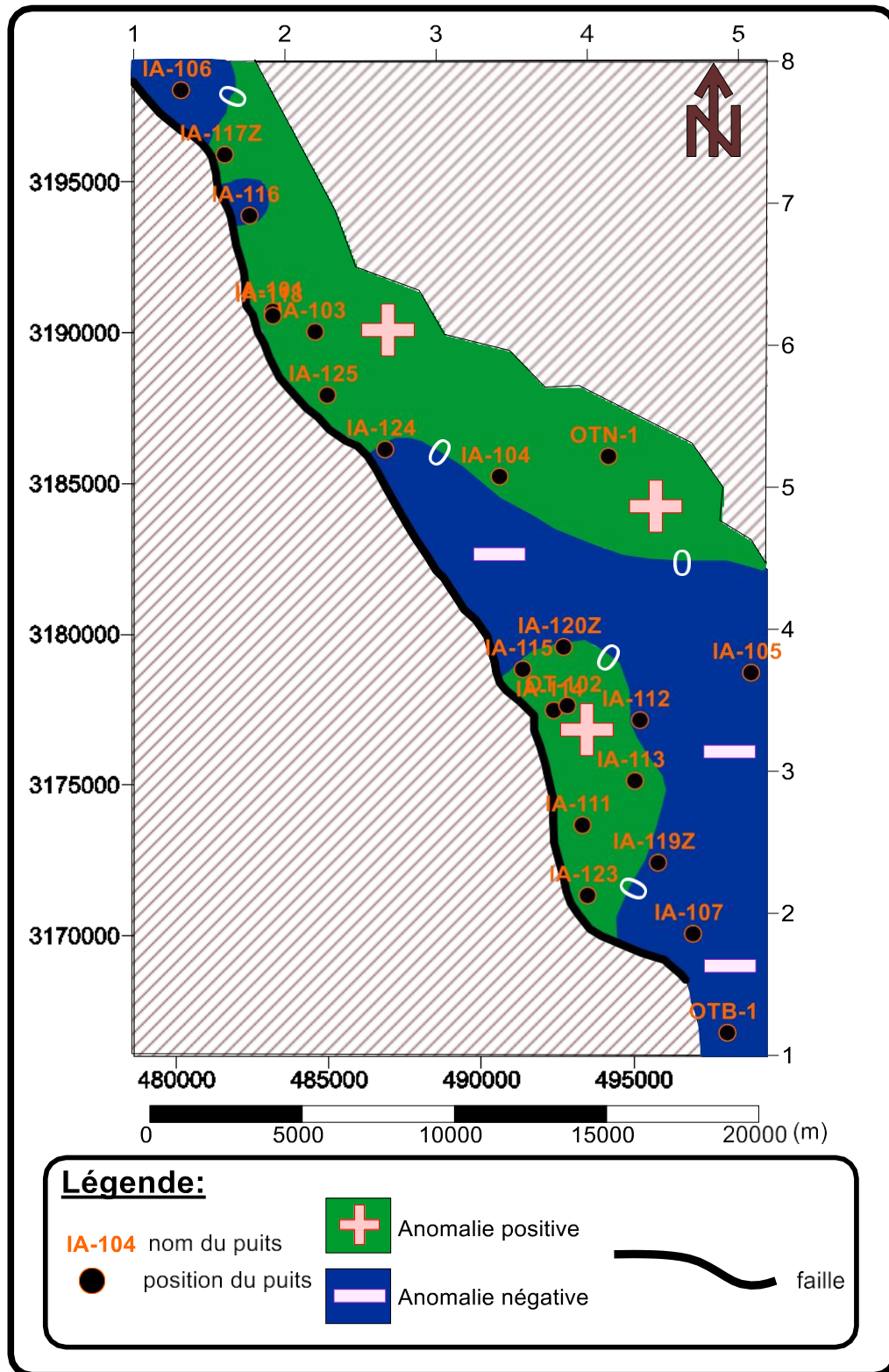


Fig. V.04: Carte des anomalies de la porosité d'unité IV-3 de l'Ordovicien

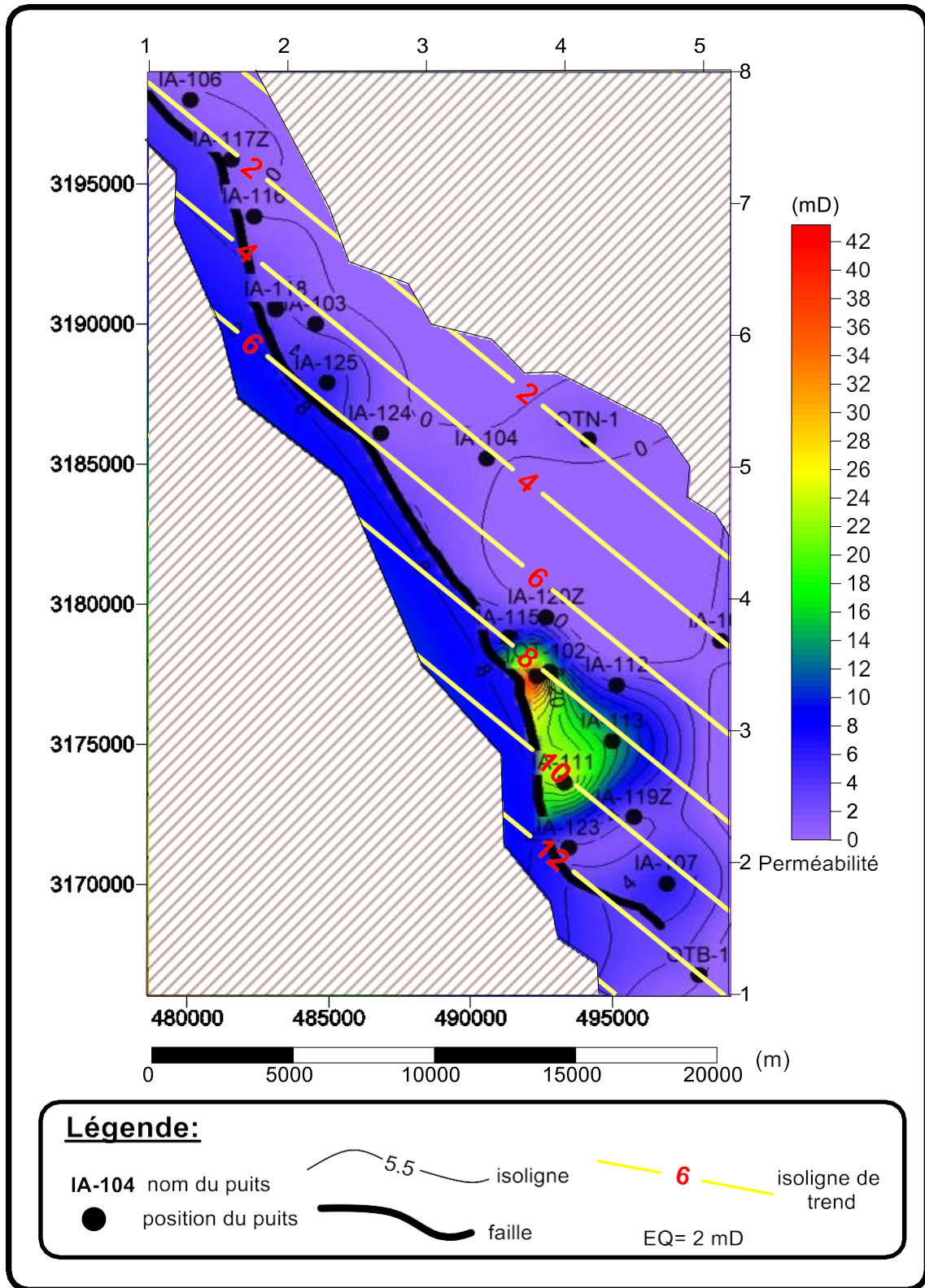


Fig. V.05: Carte du Trend de la perméabilité d'unité IV-3 de l'Ordovicien

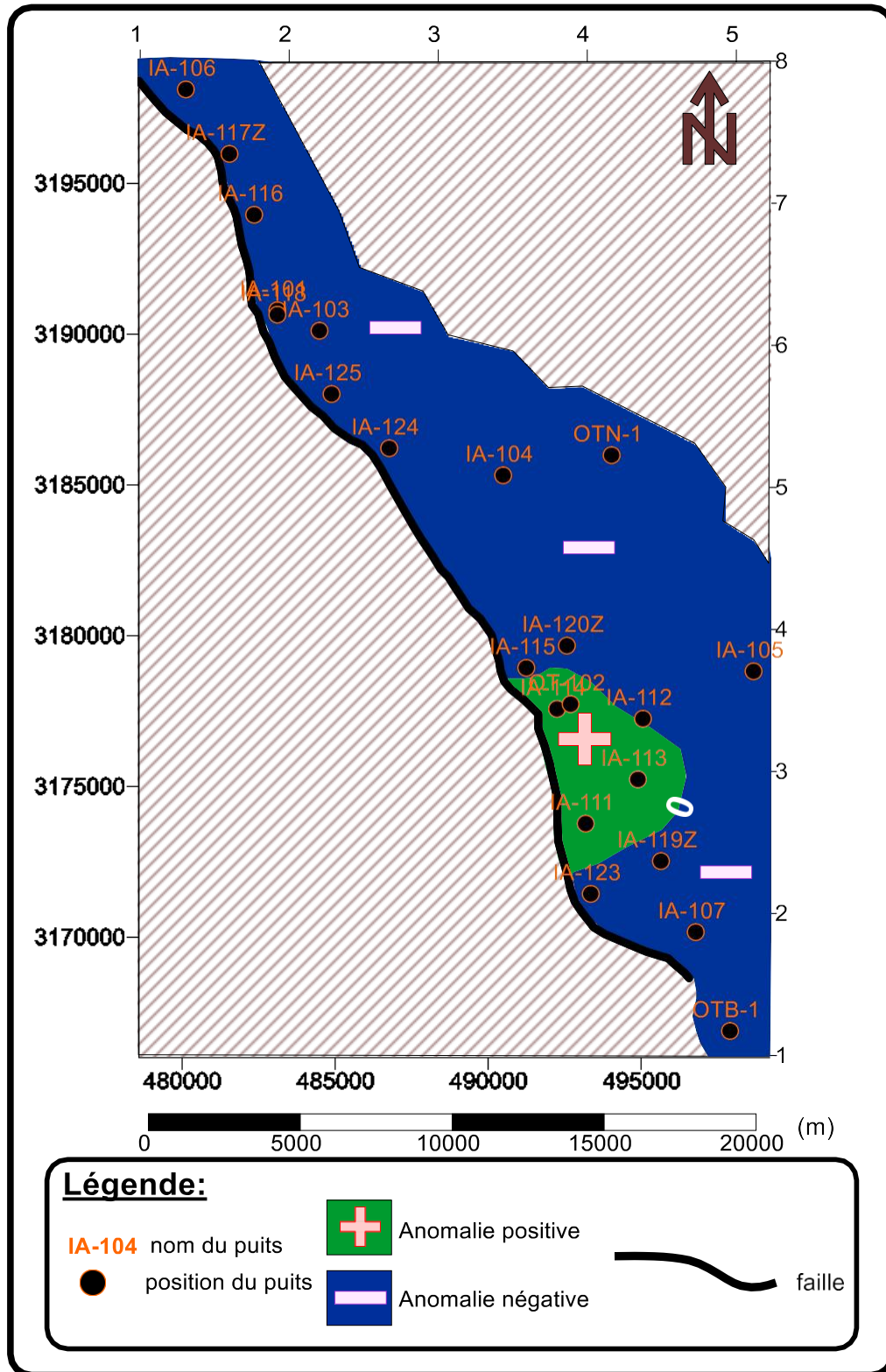


Fig. V.06: Carte des anomalies de la perméabilité d'unité IV-3 de l'Ordovicien

IV.3. Interprétation de la carte de zonation :

IV.3.a. Etablissement du tableau de catégorie : (Tableau. V.02)

L'établissement de ce tableau est basé sur la qualité de la distribution des anomalies des paramètres étudiés (épaisseur utile, porosité et perméabilité), à savoir positives ou négatives, permettant aussi d'établir plusieurs catégories déterminant des zones à plusieurs qualités pour l'accumulation des hydrocarbures.

Paramètres Catégories	Epaisseur utile	Porosité	Perméabilité	Qualité des catégories
Catégorie I	+	+	+	Très bonne
Catégorie II	+	-	+	Bonne
Catégorie III	+	+	-	Bonne
Catégorie IV	-	+	-	Moyenne
Catégorie V	+	-	-	Faible
Catégorie VI	-	-	-	Pauvre

Tableau. V.02 : Tableau des catégories

IV.3.b. Interprétation de la répartition des anomalies :

D'après la carte de zonation (Fig. V.07) qui est le résultat de la superposition des cartes des anomalies des paramètres du réservoir, on peut voir la répartition des anomalies et leurs interprétations, comme suite :

Catégorie I : Les anomalies positives se localisent dans la partie Sud du champ près de la faille entre les puits IA-115 et IA-119Z.

⇒ La zone de la **catégorie I** est la meilleure zone pour les travaux d'exploitation du réservoir Ordovicien avec un bon intérêt économique.

Catégorie II : Les anomalies de cette catégorie sont localisées à la partie Est de la **catégorie I**. Avec une porosité négative.

Catégorie III : Les anomalies de cette catégorie occupent une surface considérable avec une perméabilité négative.

Catégorie IV : Seulement la porosité est positive, les anomalies de cette catégorie sont localisées dans les flancs du champ d'étude.

⇒ Les zones des **catégories II, III et IV** avec leur bonne extension représentent des zones favorables à des travaux de développement et d'exploitation dans le futur par augmentation de la perméabilité de la couche réservoir en utilisant les processus de la fracturation des roches.

Catégorie V : Seulement l'épaisseur utile est positive, les anomalies de cette catégorie sont localisées dans la partie centrale du champ d'étude.

Catégorie VI : Toutes les paramètres sont négatives, Les anomalies de cette catégorie sont localisées dans les flancs de la région d'étude.

⇒ Les zones des **catégories V et VI** peuvent être exploitées comme des zones injectives (surtout la zone de **catégorie V**), pour augmenter la pression de la couche productive dans les zones favorables, mais il faut utiliser une combinaison de fracturation et d'injection pour permettre la circulation des fluides injectés vers les zones favorables.

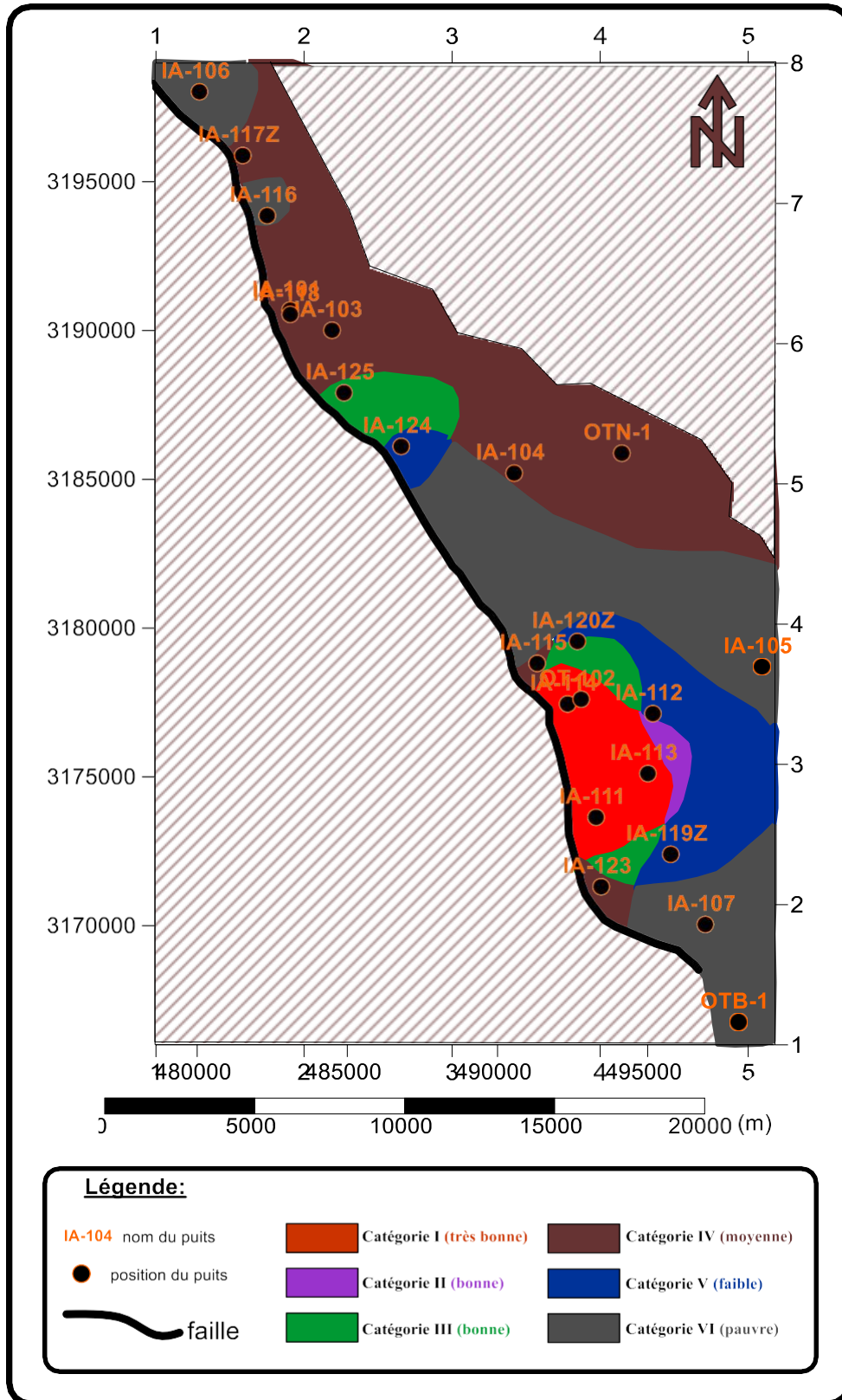


Fig. V.07: Carte de zonation de l'unité IV-3 de l'Ordovicien

The background of the slide is a photograph of a rugged, arid landscape. The terrain is dominated by tall, jagged rock formations in shades of orange, red, and brown. The sky is a clear, pale blue. The overall scene is one of a vast, desolate natural environment.

Conclusion générale
&
Recommandations

Conclusion générale

L'étude effectuée dans la région d'In Adaoui-Ohanet nous a permis d'obtenir les résultats suivants :

- L'étude sédimentologique, pétrographique et diagénétique réalisée sur les carottes de l'unité IV montre les résultats suivants :
 - ❖ L'interprétation des données des carottes prises à partir des puits montre que les environnements de sédimentation dominants pour l'unité IV du réservoir Ordovicien du champ In Adaoui sont l'environnement fluvio-glaciaire et l'environnement marin turbidité.
 - ❖ L'analyse des faciès sédimentaires d'après les carottes étudiées montre un paramètre de turbidite distale (unité IV-2) fortement recouverte par une unité mal triée (unité IV-3). Tandis que l'unité de grès (d'unité IV-3) représente une progradation majeure, probablement mise en place par l'activité glaciaire. Les dépôts de l'unité IV-2 caractérisent un complexe basal dominant par des coulées de débris et de sheet-floods.
 - ❖ La biostratigraphie nous a permis de déterminer avec précision l'âge des formations étudiées (unité IV-2 et IV-3), qui correspond à l'Ashgill tardif (Ordovicien supérieur).
 - ❖ L'étude pétrographique montre que les grès de l'unité IV-3 sont principalement des arénites quartziques. Pour l'unité IV-2 les grès sont (de bas en haut) des arénites quartziques, arénites arkosiques et subarkoses, caractérisés par un quartz monocristallin et polycristallin qui est le minéral détritique le plus dominant.
 - ❖ L'étude diagénétique a détecté l'influence négative d'excroissance de quartz et les phases carbonatées sur la qualité du réservoir.
 - ❖ La porosité est représentée principalement par la porosité intergranulaire primaire, qui est réduite par une combinaison entre la modération et le fort compactage et le développement extensif d'excroissance de quartz.
 - ❖ La stratigraphie séquentielle montre que les dépôts sédimentaires de l'unité IV sont formés durant deux séquences, la première est transgressive formant l'unité IV-2 et la deuxième est régressive formant l'unité IV-3.

- L'étude des paramètres pétrophysiques du réservoir Ordovicien (unité IV-3), mise en évidence les résultats suivants :
 - ❖ La mauvaise qualité du réservoir est caractérisée par une porosité faible (ne dépassent pas le 9% en moyenne) et une perméabilité faibles à négligeable (généralement inférieur à 0.1%).
 - ❖ Le cut-off de perméabilité estimé à 1 mD correspond un cut-off de porosité estimé à 4.7%.
 - ❖ Les résultats d'étude indirecte par la diagraphie sont compatibles avec les résultats d'étude directe sur les carottes d'unité IV-3.
- L'étude géostatistique (Trend-Analyse) des paramètres du réservoir Ordovicien (unité IV-3), nous a permet de déduire les résultats suivants :
 - ❖ La similarité des tendances des paramètres pétrophysiques nous a donné une vue sur l'origine de ces paramètres, de ce fait, on déduit que les caractéristiques pétrophysiques du réservoir Ordovicien d'unité IV-3 sont originelles (syngénétique) sauf une seule zone (la zone de catégorie I et II) où la perméabilité n'est pas originelle (une perméabilité due à des phénomènes tectoniques).
 - ❖ Les meilleurs critères de bon réservoir (zone de catégorie I) sont localisés au niveau de la partie Sud du champ près de la faille.

Recommandations

A la fin de ce travail, nous recommandons :

- Une étude sédimentologique et diagénétique approfondies comprendre l'unité III pour l'établissement d'une colonne lithologique plus détaillée, afin de mieux éclaircir la limite entre l'unité IV-2 et III-3 dans la zone favorable de catégorie I.
- L'établissement des cartes en isopaques, des modèles 3D et des coupes géologiques plus détaillée pour l'unité IV (complexe terminal) sur la base des sections sismiques orientées NNW-SSE, afin de mieux cerner les paléovallées, l'état géologique des formations et la relation entre la qualité du réservoir (unité IV-3) et sa position.
- L'établissement d'une simulation géologique détaillé caractérisant le réservoir de l'unité IV-3 pour mieux déterminer les méthodes convenable pour l'exploitation efficace de ce réservoir compact.
- Faire plus des forages dans les zones des catégories à caractère très bonne à moyenne (les zones de catégorie I, II, III et IV).
- L'intensification des opérations de fracturation dans le réservoir de l'unité IV-3 dans la future, surtout pour la zone de catégorie IV, qui représente une zone prometteuse pour le développement de l'exploitation de gaz.

A dramatic landscape of jagged, reddish-brown rock formations under a clear sky. The foreground shows a dark, sandy or volcanic ash-covered slope leading up to a prominent, sharp rock spire. In the background, more rugged peaks and ridges are visible, some with patches of snow or light-colored rock. The overall scene is arid and mountainous.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

- Algeria WEC (well evaluation conference). 2007.** SONATRACH/Schlumberger, Illizi bassin. PP 29-35.
- Beuf, S. et Bennacef, A. 1971.** Les grès du Paléozoïque inférieur au Sahara. Sédimentation et discontinuités, Evolution structurale d'un craton. Editions Technique, Paris.
- BEICIP-Franlab internal report. 2002.** Upper Ordovician Reservoir (Unit IV interval) in the IA-112 Well from the Ohanet/In Adaoui field. Prepared for BHP Petroleum.
- BEICIP. 1971.** Les grès de Paléozoïque inférieur au Sahara. PP 259-330.
- BEICIP. 1972.** Synthèse du Cambro-Ordovicien du Sahara Algérien Tome 1. PP. 32-88.
- BEICIP. 1973.** Synthèse du complexe terminal de l'Ordovicien «Bassin d'Illizi».
- BEICIP. 1980.** Les gisements du Trend structural Tiguentourine, la reculé Assekaifaf
Etude géologique et structurale des réservoirs Cambro-Ordovicien.
- Beuf, S. et al. 1971.** Les grès du Paléozoïque inférieur au Sahara. Sédimentation et discontinuités, Evolution structurale d'un craton. Editions Technip, Paris.
- BEICIP-Franlab internal report. 2002.** Upper Ordovician Reservoir (Unit IV interval) in the IA-115 Well from the Ohanet/In Adaoui field. Prepared for BHP Petroleum.
- BEICIP-Franlab internal report. 2002.** Upper Ordovician Reservoir (Unit IV interval) in the IA-112 Well from the Ohanet/In Adaoui field. Prepared for BHP Petroleum.
- Boulvain, N. 2015.** Eléments de Sédimentologie et de Pétrologie sédimentaire.
- Boukhalfa, A. et al. 2009.** Interprétation diagraphique du réservoir Cambro-ordovicien du bassin d'Illizi. Algérie
- Dott R.L. 1964.** Wacke, greywacke and matrix – what approach to immature sandstone classification? Jour. Sed. Petrol, Vol.34, PP.625-632.
- Echikh, K. 1975.** Géologie des provinces pétrolifères de l'Algérie, Sned, Alger.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Eyles, C. 2000.** Subaqueous mass flow origin for Lower Permian diamictites and associated facies of the Grant Group, Barbwire Terrace, Canning Basin, Western Australia. *Sedimentology*, vol. 47, PP. 343-356.
- Fabre, J. 1976.** Introduction à la géologie du Sahara Algérien, Sned, Alger.
- Hallala, A. 1997.** Mémoire de fin d'études (Ingénieur d'état INH), Essai de caractérisation du réservoir Cambro-Ordovicien et évaluation des réserves, Champ In Adaoui-Ohanet.
- Hirst, P. et Benbakir, A. 2001.** Turbidite Channels and Megaripples within the Late Ordovician Proglacial Succession of Algeria.
- Hirst, J. et Philip, P. 2001.** Density flow processes and their Influence on Reservoir Quality in the Late Ordovician Proglacial Sequence, Algeria. North Africa Research Workshop, abstract.
- Khodja, A. et Hussein, A. 1998.** Lower paleozoic chronostratigraphy and paleogeography in South Eastern Sahara – Results of a compared field study in Algeria and Libya. The Geological Conference on Exploration in Murzuq basin. First Day programme 20th.9.1998.
- Philippe, G. MURAT, B. 2002.** Upper Ordovician Reservoir (Unit IV interval) in the IA-115 Well from the Ohanet/In Adaoui field.
- Rapport d'implantation** des puits IA-101, IA-103, IA-104, IA-105, IA-106, IA-107, IA-111 IA-112, IA-113 IA-114, IA-115, IA-116, IA-117Z, IA-118, IA-119Z, IA-120Z, IA-123, IA-124, IA-125 OT- 102, OTN-1 et OTB-1.
- Rapport de fin de sondage** des puits IA-101, IA-103, IA-104, IA-105, IA-106, IA-107, IA-111 IA-112, IA-113 IA-114, IA-115, IA-116, IA-117Z, IA-118, IA-119Z, IA-120Z, IA-123, IA-124, IA-125 OT- 102, OTN-1 et OTB-1.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Sadaoui, M., Chaouchi, R., Remichi, L. 2010.** Trend-Analysis of petro-physical properties of reservoirs in Oued Mya basin (Sahara Algerian).
- Scholle, P.A. 1979.** A Colour Illustrated Guide to Constituents, Textures, Cements and Porosities of Sandstones and Associated Rocks. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Memoir # 28, PP 201.
- Walker, R.G. 1992.** Turbidites and Submarine Fans. In: Facies Models. Response to Sea Level Change. Walker and James (eds), Geological Association of Canada.
- Western Atlas. 1995.** Interprétation sismiques de la région Ohanet, London. P25.
- Worden, R. H. et Morad, S. 2000.** Quartz cementation in oil field sandstones: a review of the key controversies. Spec. Publs. int. Ass. Sediment., vol. 29, PP.1-20.

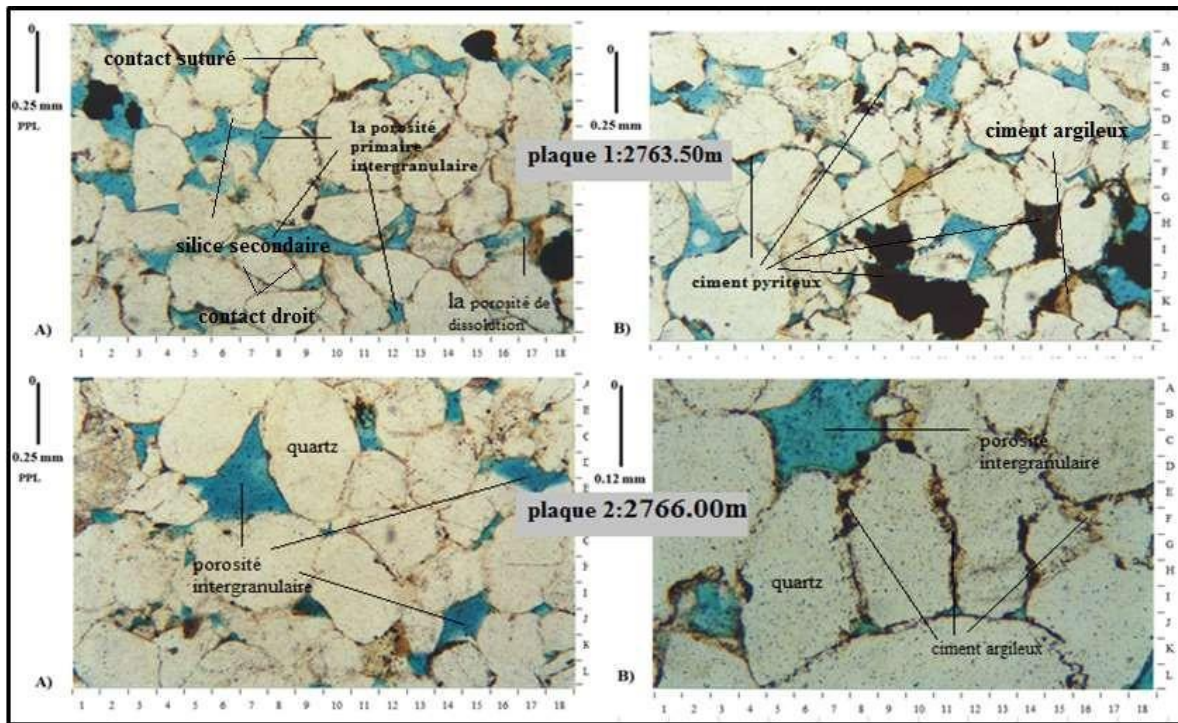
A dramatic landscape of jagged, reddish-brown rock formations under a clear sky. The word "ANNEXES" is overlaid in a stylized green font with a black outline. The rock formations are layered and craggy, with some peaks appearing rounded and others more pointed. The foreground shows a dark, sandy or silty area, possibly a dry lake bed or a volcanic ash field. The background features more distant, hazy mountain ranges.

ANNEXES

Annexe 1

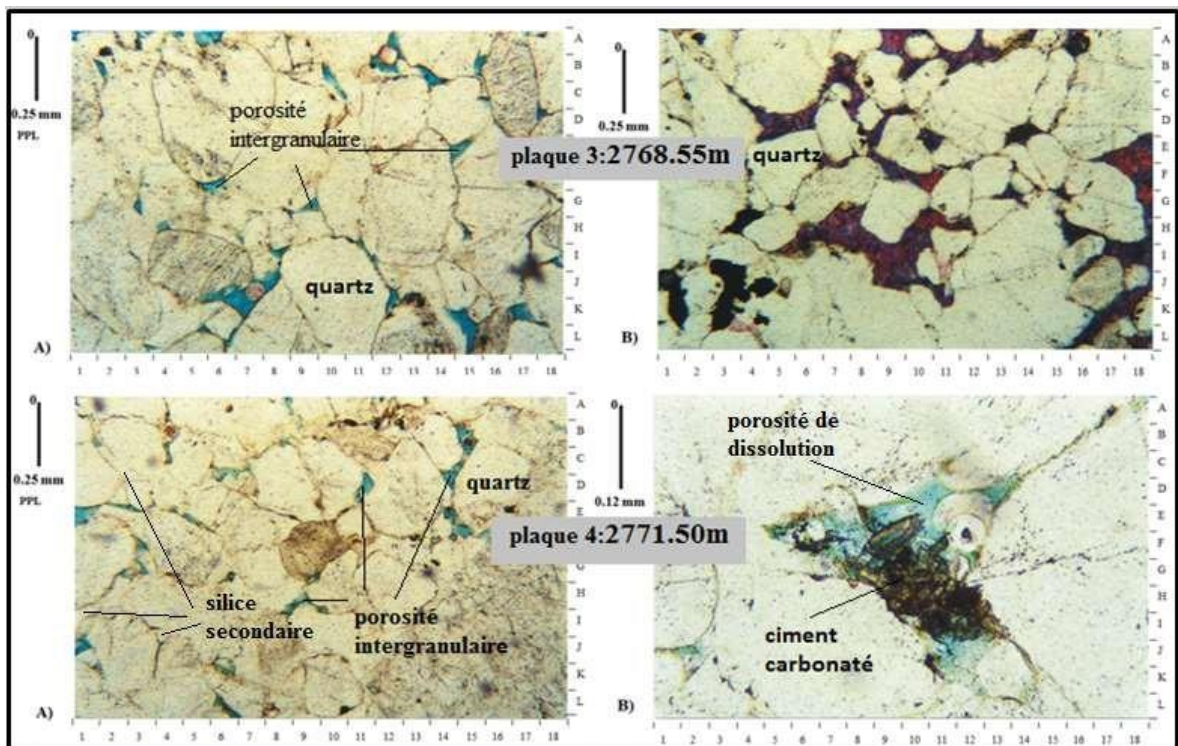
Annexe 2

ANNEXE 2



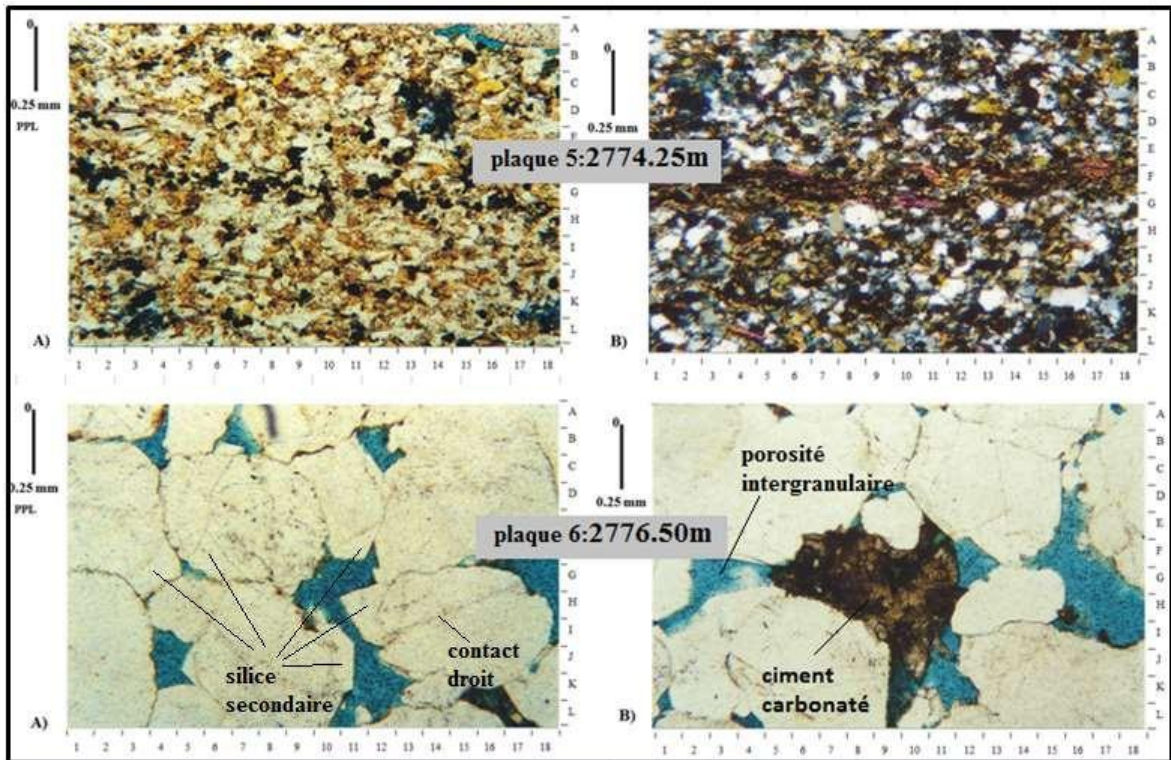
1

Plaques 1 et 2 : illustration de porosité intergranulaire et de la porosité de dissolution et développement de ciments pyriteux dans la porosité intergranulaire et de dissolution dans la plaque 1 et ciment argileux dans la plaque 2.

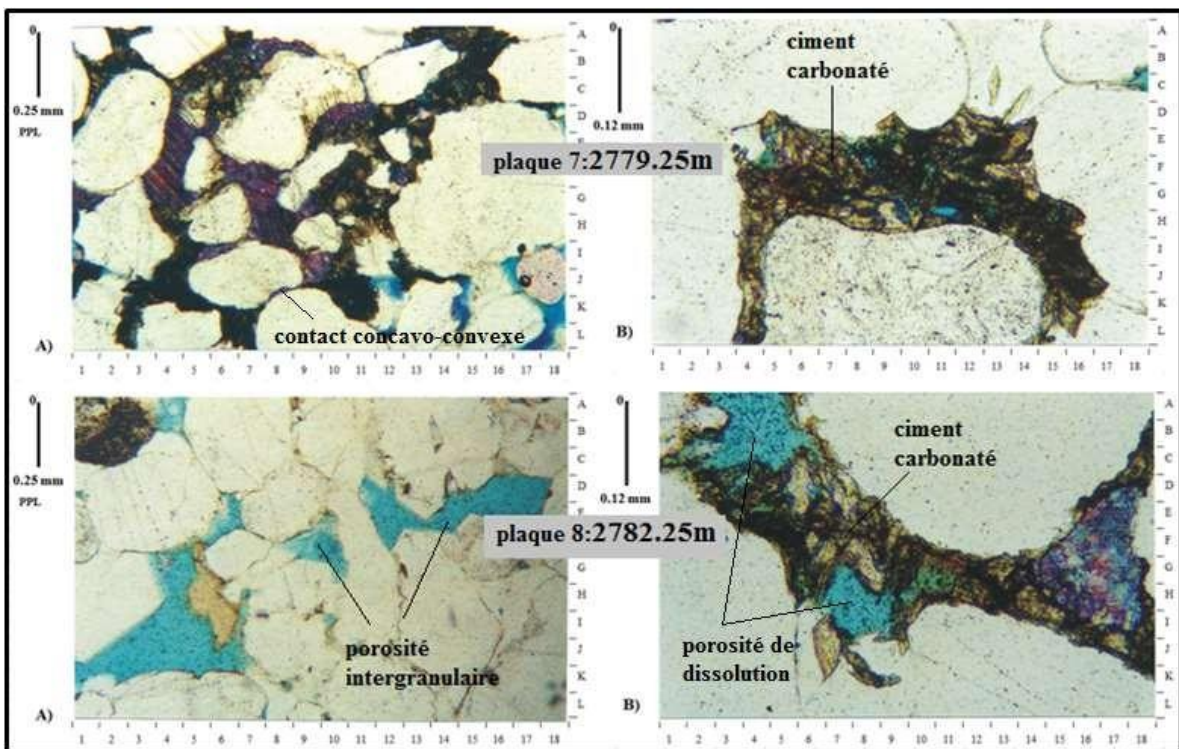


Plaques 3 et 4 : Développement de ciment carbonaté dans la porosité intergranulaire et illustration de porosité intergranulaire.

ANNEXE 2

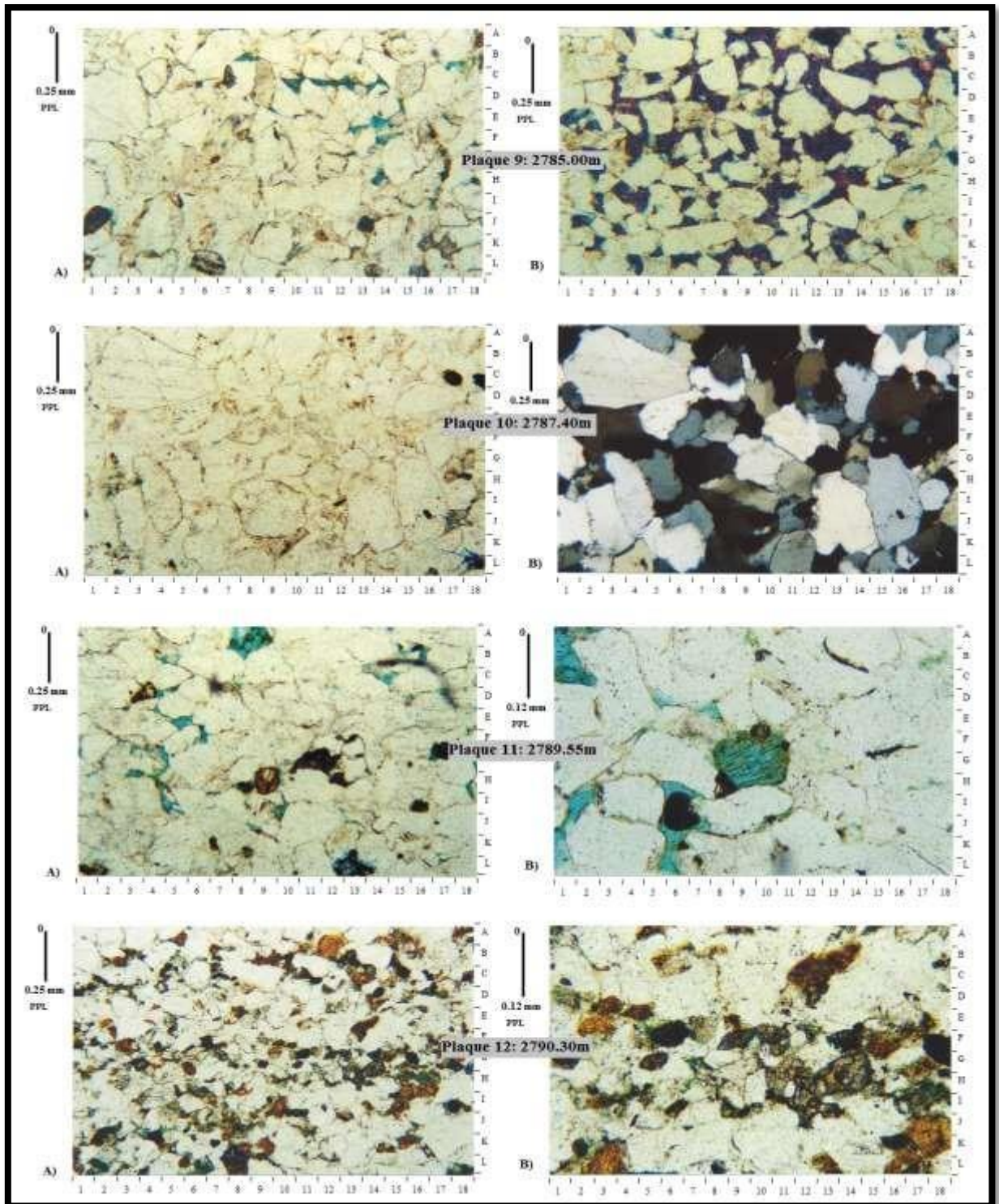


Plaques 5 et 6 : Développement de ciment carbonaté dans la porosité intergranulaire dans la plaque 6B et illustration de porosité intergranulaire.



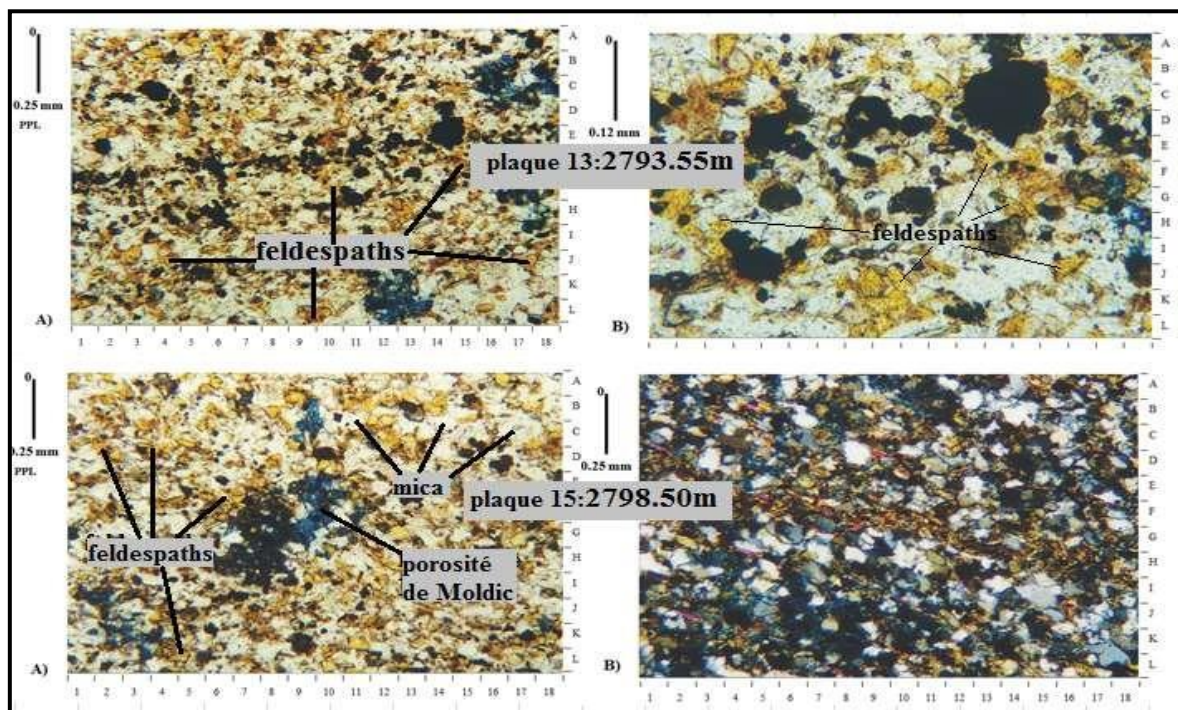
Plaques 7 et 8 : Développement de ciment carbonaté dans la porosité intergranulaire et illustration de porosité intergranulaire dans les plaques 7B et 8B.

ANNEXE 2

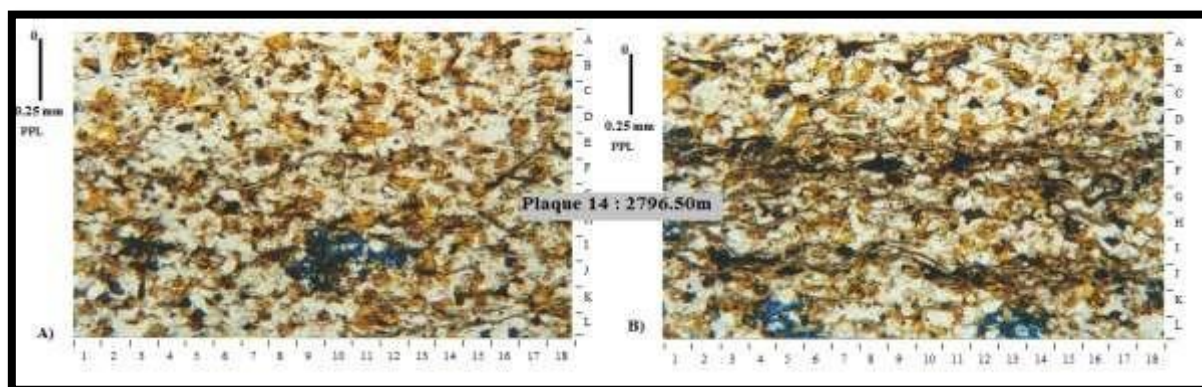


Plaques 9, 10, 11 et 12

ANNEXE 2

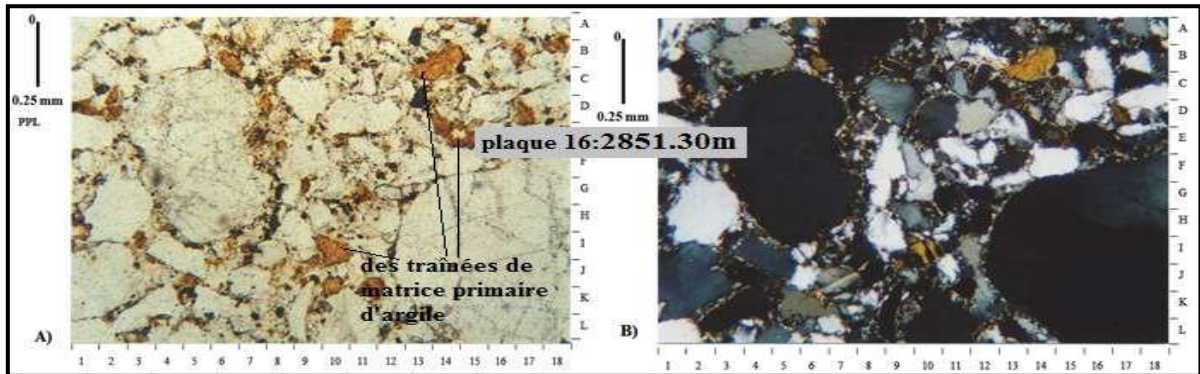


Plaques 13 et 15 : illustration des sédiments qui sont fortement arkosique (env. 25% de feldspaths) et micacé et de la porosité Moldic produit à partir de la dissolution des grains de feldspaths (Les Feldspaths Potassique).

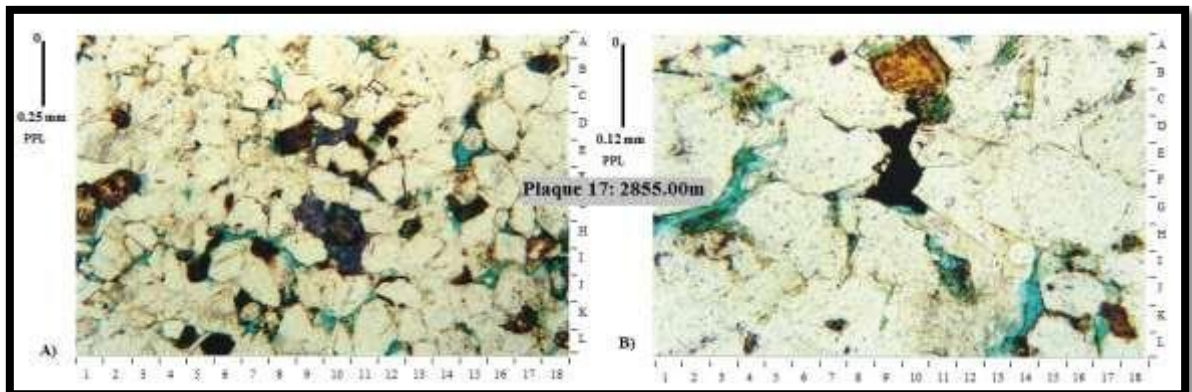


Plaque 14

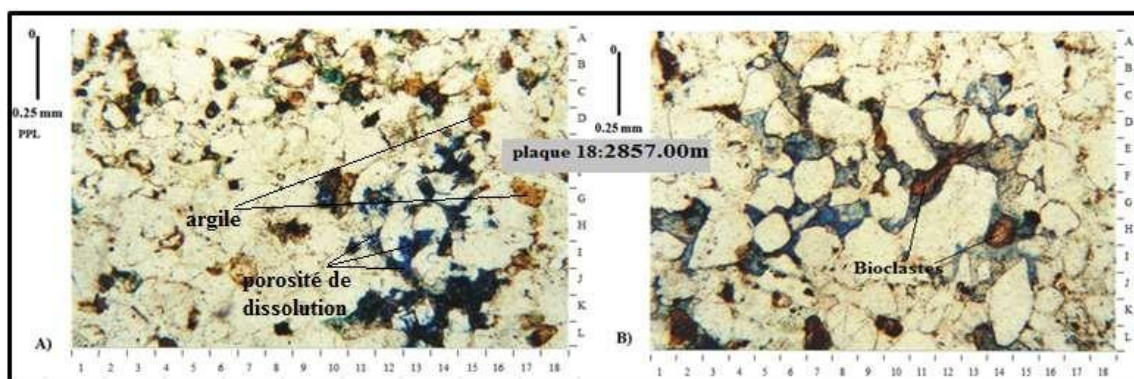
ANNEXE 2



Plaques 16 : illustration de la matrice de grès très biréfringent et limoneux comprenant muscovite. Des traînées de matrice primaire d'argile et de Carbonate détritique, et quartz authigènes.

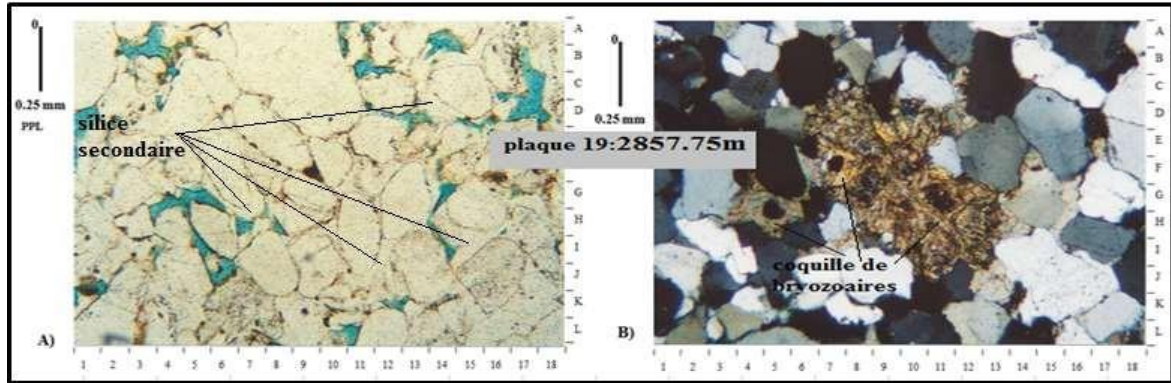


Plaques 17



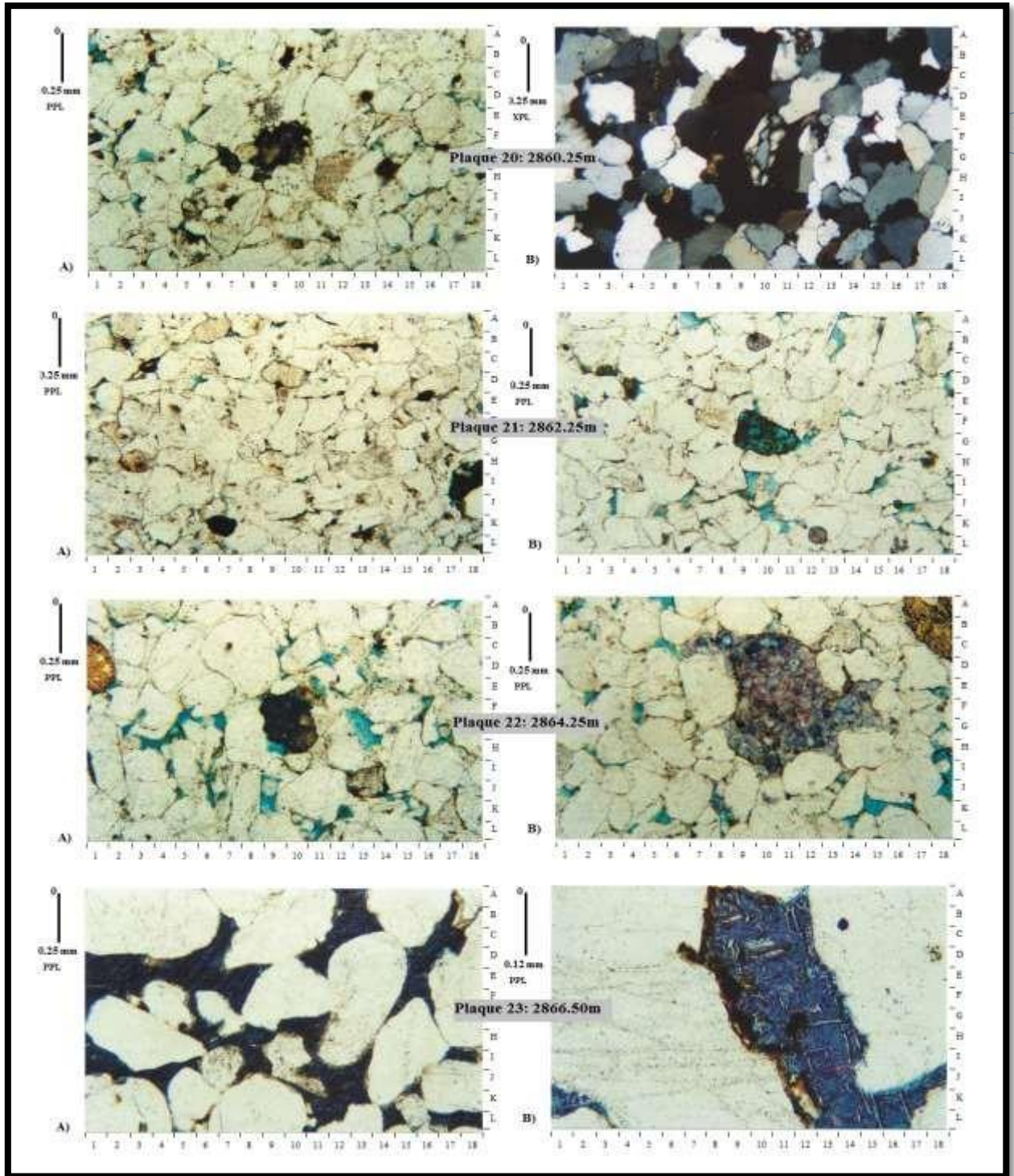
Plaques 18: Mise en évidence de la Bioclaste (calcite non-ferreuse).

ANNEXE 2



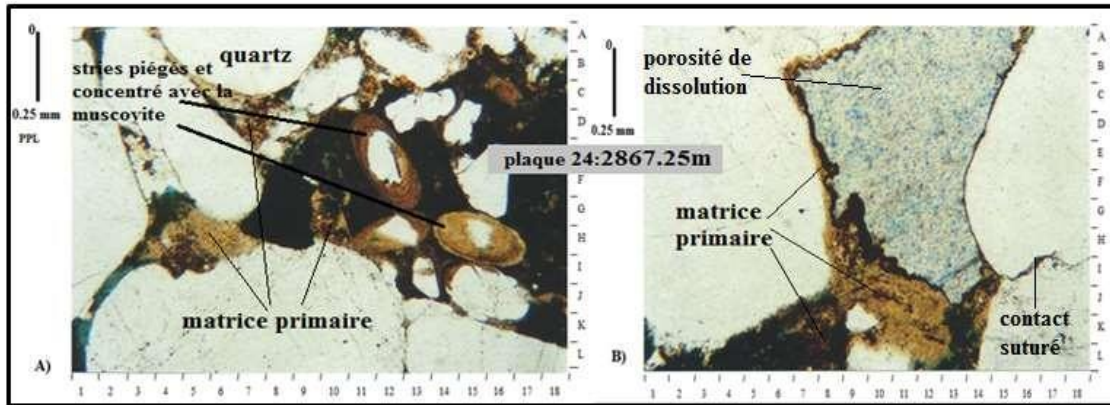
Plaques 19 : Mise en évidence des fragments ou de coquille de bryozoaires qui sont des animaux des mers chaudes et peu profondes.

ANNEXE 2



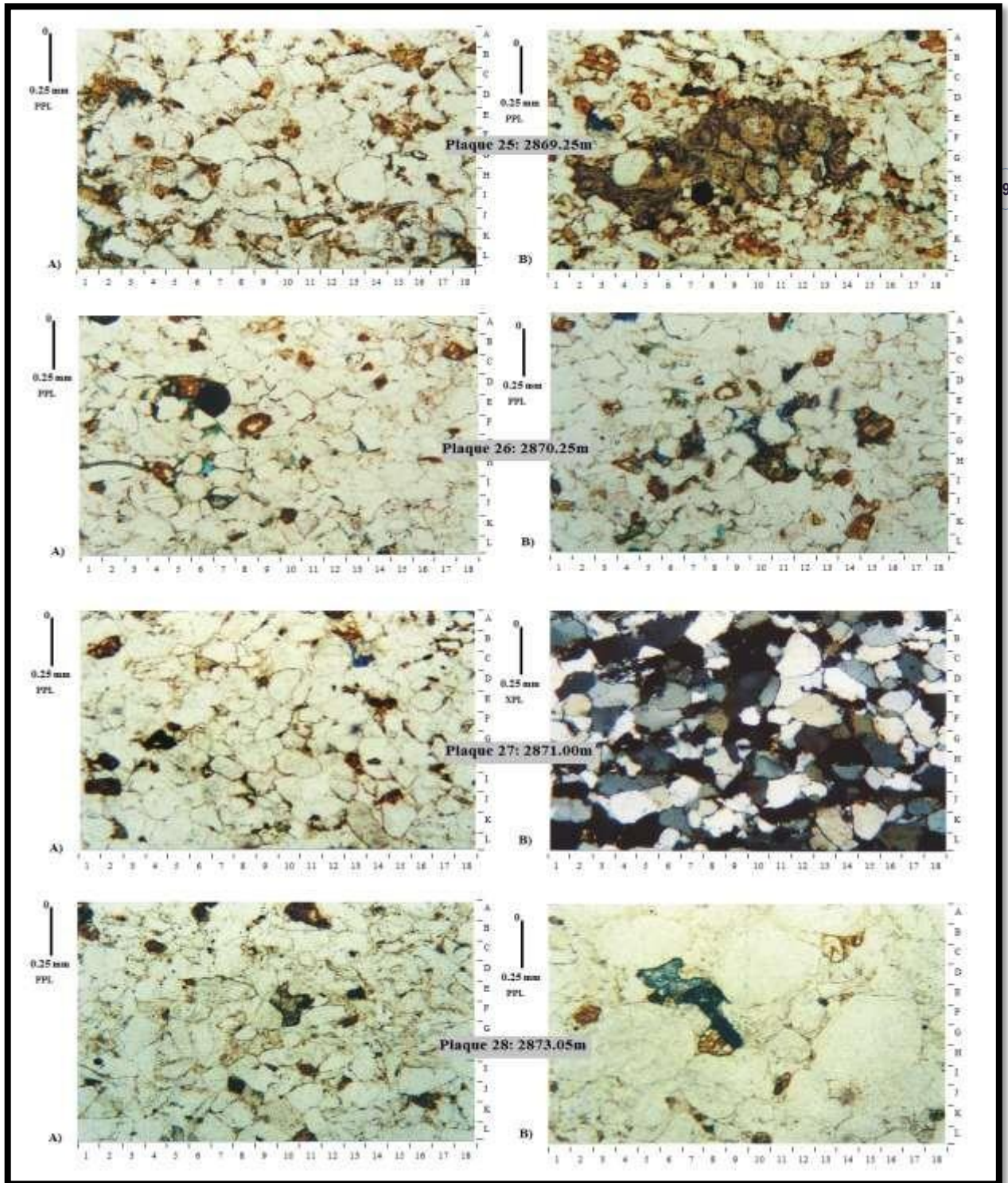
Plaques 20, 21, 22 et 23

ANNEXE 2



Plaques 24: Argile très biréfringent pâle, modérée à brun foncé, plus rarement pâle brun jaunâtre. Cela forme des stries discontinues piégés entre les grains de quartz détritiques se produit concentré avec la muscovite en lamelles continues et discontinues.

ANNEXE 2



Plaques 25, 26, 27 et 28

Annexe 3

ANNEXE 3

