

N° Ordre/Faculté/UMBB/2017

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'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme

MASTER 2

Présenté par :

SEGHIER HOUDA et SALIHI RYMA

Filière : Hydrocarbures

Option : Géologie Pétrolière

Thème

**ÉTUDE SÉDIMENTOLOGIQUE ET STRATIGRAPHIE
SÉQUENTIELLE DU DÉVONIEN INFÉRIEUR D'ELOUABED
RÉGION DE BENOUD**

Devant le jury :

Mr CHAOUCHI. R	Professeur	Président
Mr SAADAOUI. M	MCA	Examineur
Mme DERRIDJ.A	MAB	Examineur
Melle BENAYAD. S	MAB	Examineur
KECIR .A	MAA	Rapporteur

Année Universitaire : 2016/2017

Remerciement

Au terme de ce travail

*Je tiens à remercier le bon dieu pour le courage
et la patience qu'il m'a donné afin de mener ce projet à terme.*

Je remercie vivement ma promotrice consultante

*Mme. A. KACIR pour son aide et ses conseils
judicieux, ainsi que tous les enseignants de la Géologie.*

*Je remercie également Mr. BELAFAR Farid ET OUAHAB Rachid
pour leur aide durant notre stage*





Dédicaces Dédicaces

*Je dédie ce travail à ma chère grande mère et à ma mère qui
m'ont soutenu durant toutes mes études et partagé mes
moments difficiles ;*

A mes ancles surtout ancle RACHED;

A mes tantes ;

A mes cousins et cousines ;

A toute ma famille Cherif;

Ainsi que mes amis sans exception.

SEGHIER Houda



Dédicace

Aujourd'hui, ici rassemblés auprès des jurys, Nous prions dieu que cette soutenance fera signe de persévérance Et que nous serions enchantés Par notre travail honoré

Je dédie ce travail à tous ceux qui m'ont orienté durant ma vie et qui ont su me montrer le droit chemin, à ceux qui m'ont apporté, amour, encouragement et compréhension, pour mener à bien mes études.

Ama mère qui a sacrifiée sa jeunesse pour mon auspice

A celui qui m'a donné vie et qui m'as apporté sans cesse son amour, mon père

A mes 2 petits frères Abd el Rahim et Abd el Raouf

A tout la famille Salihî petits et grands

A tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près durant les moments difficiles.

A tous mes amis, Et surtout mes collègues du groupe MAGL212

Salihî Ryma

Sommaire

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I : Généralité sur le bassin

I. Situation géologique et géographique.....	2
I.1. Situation géographique	2
I.2. Situation géologique.....	3
II. Synthèse des travaux réalisés dans le sillon de Benoud.....	4
III. Stratigraphie du bassin.....	5
III.1. Le Paléozoïque	5
III.2. Le Mésozoïque	7
III.3. Le Cénozoïque.....	8
IV. Evolution structurale du bassin.....	10
V. Evolution géodynamique	12
V.1. Les événement pré-hercyniens	12
V.2. La phase Hercynienne majeure	13

Chapitre II : Généralité sur la région d'étude

I. Cadre géographique	17
II. Cadre géologique	18
III. Aspect stratigraphique	19
III.1. LE PALEOZOIQUE	19
III.2. LE MESOZOIQUE	20
III.3. LE CENOZOIQUE	21
IV. Aspect structural	23
V. Aspect petrolier.....	27
V.1. ROCHES MERES.....	27
V.2. ROCHES RESERVOIRS.....	30
V.3. ROCHES COUVERTURES	32
V.4. LES PIEGES	32

Chapitre III : Etude sédimentologique

I. Rappels théoriques sur les concepts de la sédimentologie.....	33
I.1. Faciès et Eléctrofaciès.....	33
I.2. Texture	33
I.3. Aperçu sur les mileux de dépôts.....	33
I.4. Les structures sédimentaires.....	35

II.	Description lithologique des carottes du Dévonien inférieur.....	37
III.	Interprétation des facies du Dévonien inférieur.....	45
IV.	Interprétation des cartes en iso-valeurs.....	50
V.	Conclusion.....	56

Chapitre IV : Stratigraphie séquentielle

I.	Séquence génétique.....	57
I.1.	Paraséquence.....	57
I.2.	La notion d'accommodation.....	57
I.3.	Les orders des séquences.....	58
I.4.	Concept de séquence.....	58
II.	Découpage séquentielle du Dévonien inférieur.....	61
III.	Conclusion.....	68

Chapitre V : Étude pétrophysiques

I.	Caractéristiques pétrophysiques.....	69
I.1.	la porosité.....	69
I.2.	La perméabilité.....	69
I.3.	la relation entre la porosité et la perméabilité.....	70
II.	Représentation graphique.....	70
II.1.	Evolution verticale.....	70
II.2.	Les histogrammes.....	76
II.3.	Evolution horizontale.....	84
II.4.	les corrélations entre porosité et la perméabilité.....	86
III.	Conclusion.....	89
	Conclusion générale.....	90

Bibliographie

Liste de figures

Fig. I.1 : Carte des grands ensembles structuraux de la plateforme saharienne.....	2
Fig. I.2 : Carte géologique de sillon de Benoud (document Sonatrach)	3
Fig. I.3 : Colonne stratigraphique type du sillon de Benoud suivant une direction SW-NE (Document SH)	9
Fig. I.4 : Schéma structurale de la région de Benoud (Document SH)	11
Fig. I.5 : Coupe sismo-tectonique à travers l'Atlas Saharien, le sillon de Benoud et l'ensellement de Djofra. (Document SH).....	11
Fig. II.2 : Localisation géographique du périmètre EL Ouabed (Document SH)	16
Fig. II.1 : Localisation géographique du périmètre de recherche El Ouabed.....	17
Fig. II.3 : Carte géologique du périmètre El Ouabed (Document SH).....	18
Fig. II.4 : La colonne stratigraphique de la région Benoud (Document SH)	22
Fig. II.5 : Plan de position des coupes structurales établies (Document SH).....	23
Fig. II.6 : Coupe structural traversant la partie orientale du prémètre EL Ouabed	25
Fig. II.7 : Section sismique 82BZ19 (Document SH).....	25
Fig. II.8 : Coupe structural traversant la structure de Brézina (Document SH)	26
Fig. II.9 : Section sismique 93D19 (Document SH)	26
Fig. II.10 : Carte de mesures des taux de C.O.T de la roche mère Silurienne	28
Fig. II.11 : Carte de maturation de la roche mère Silurien.....	29
Fig. III.1 : Carte en isobathes au toit d'Emsien.....	50
Fig. III.2 : Carte en isobathes au toit du Siéginien	51
Fig. III.3 : Carte en isobathes au toit du Gédinnien	52
Fig. III.4 : Carte en isopaques d'Emsien	53
Fig. III.5 : Carte en isopaques du Siéginien	54
Fig. III.6 : Carte en isopaques du Gédinnien.....	55
Fig. IV.1 : Contrôles allogénétiques de l'enregistrement sédimentaire (Guillocheau et al.) ..	58
Fig. IV.2 : Définition de la séquence selon le modèle d'Exxon et de Galloway simplifié de faciès model (Roger G. Walker et Noel P. James, 1992).....	59
Fig. IV.3 : Représentation schématique du modèle d'EXXON (1999)	60
Fig. IV.4 : Découpage séquentielle de puits AET-1.....	62
Fig. IV.5 : Découpage séquentielle de puits MAMS-1	63
Fig. IV.6 : Découpage séquentielle de puits MAMI-1	64
Fig. IV.7 : Découpage séquentielle de puits MAME-1	65
Fig. IV.8 : Découpage séquentielle du puits MAMI-2.....	66
Fig. IV.9 : Corrélation diagraphique NE-SW à travers les puits: AET-1, MAMS-1, MAMI-1, MAME-1 et MAMI-2.....	67
Fig. V.1 : Profil de porosité dans le puits MAMI-1 (Siéginien)	71
Fig. V.2 : Profil de porosité dans le puits MAME-1 (Siéginien)	71
Fig. V.3 : Profil de porosité dans le puits MAME-1 (Gédinnien).....	72
Fig. V.4 : Profil de porosité dans le puits MAMS-1 (Gédinnien).....	73
Fig. V.5 : Profil de porosité dans le puits MAMI-1 (Siéginien)	74
Fig. V.6 : Profil de perméabilité dans le puits MAME-1 (Siéginien)	75
Fig. V.7 : Profil de porosité dans le puits dans le puits MAMA-1 (Gédinnien)	75

Fig. V.8 : Profil de la perméabilité dans le puits MAMS-1 (Gédinnien)	76
Fig. V.9 : Histogramme de la porosité de Siéginien au niveau de puits MAMI-1	77
Fig. V.10 : Histogramme de la porosité de Siéginien au niveau de puits MAME-1	78
Fig. V.11 : Histogramme de la porosité de Gédinnien au niveau de puits MAME-1	78
Fig. V.12 : Histogramme de la porosité de niveau supérieur de Gédinnien au niveau de puits MAMS-1	79
Fig. V.13 : Histogramme de la porosité de niveau inférieur de Gédinnien au niveau de puits MAMS-1	79
Fig. V.14 : Histogramme de la perméabilité de Siéginien au niveau de puits MAMI-1	80
Fig. V.15 : Histogramme de la perméabilité de Siéginien au niveau de puits MAME-1	81
Fig. V.16 : Histogramme de la perméabilité de Gédinnien au niveau de puits MAME-1	82
Fig. V.17 : Histogramme de la perméabilité de premier niveau de Gédinnien au niveau	83
Fig. V.18 : Histogramme de la perméabilité de deuxième niveau de Gédinnien au niveau de puits MAMS-1	83
Fig. V.19 : Carte iso-porosité de Gédinnien dans le sillon de Benoude	84
Fig. V.20 : Carte en iso-perméabilité du Gédinnien dans le sillon de Benoude	85
Fig. V.21 : Corrélation perméabilité-porosité dans le réservoir Séginien au niveau de puits MAMI-1	86
Fig. V.22 : Corrélation perméabilité-porosité dans le réservoir Siéginien au niveau de puits MAME-1	87
Fig. V.23 : Corrélation perméabilité-porosité dans le réservoir Gédinnien au niveau de puits MAME-1	87
Fig. V.24 : Corrélation perméabilité-porosité dans le réservoir Gédinnien au niveau de puits MAMS-1 (Niveau supérieur)	88
Fig. V.25 : Corrélation perméabilité-porosité dans le réservoir Gédinnien au niveau de puits MAMS-1 (niveau inférieur)	88

Liste des tableaux

Tableau. I.1 : Résumé des événements tectoniques ayant affectés la région de Benoud à l'Hercynien et à l'Alpin (Géoressources- sontrah, 1996).....	15
Tableau. III.1 : Les différents milieux de dépôts	35

INTRODUCTION

Le sillon de Benoud correspond à l'extension Ouest du système pétrolier du Hassi R'mel. Géologiquement, il constitue une jonction entre deux grands ensembles différents, à savoir : la plateforme saharienne et l'Atlas Saharien.

La recherche pétrolière dans cette région est orientée principalement à partir d'indices de subsurface qui sont basés sur des considérations strictement structurales, sans pour autant avancer des probabilités de réussite. Les résultats obtenus par les forages implantés n'ont pas pu répondre à la complexité tectonique de cette zone, considérée comme sous explorée, de par la faible densité des puits ; soit un puits par 1500 km² et un total de 3191 km² de sismique 2D de qualité moyenne. Néanmoins, de bons indices de gaz et d'huile ont été rencontrés dans certains forages.

Ce travail consiste en l'étude et l'évaluation des réservoirs Paléozoïques du Sillon de Benoud. Notre étude sera présentée sous 5 chapitres :

- Généralités sur le bassin.
- Généralités sur la région d'étude (El Ouabed).
- Une étude sédimentologique avec un essai de reconstitution en environnements des dépôts paléozoïques.
- La stratigraphie séquentielle et une corrélation des séries Paléozoïques afin d'expliquer la distribution des différentes formations.
- Etude pétrophysique.

Pour arriver à ce but nous avons fait appel à un certain nombre de technique :

- Description des carottes au niveau de cinq sondages avec l'étude des structures sédimentaires.
- Caractérisation de l'environnement de dépôt.
- Un découpage et des corrélations par le biais des outils Diagraphique.

Chapitre I

Généralité sur le Bassin

I. Situation géologique et géographique

I.1. Situation géographique

Géographiquement, le sillon de Benoud appartient à la province pétrogazéifère du Sahara Occidental, s'étendant sur une superficie de 10710.74 km², et s'étale sur les wilayas d'el Bayadh, Laghouat et Ghardaïa (voir fig. I.1)

Celle-ci se situe entre :

00° 30' – 02° 40' : Longitude Est Et 32° 30' – 33° 40' : Latitude Nord.

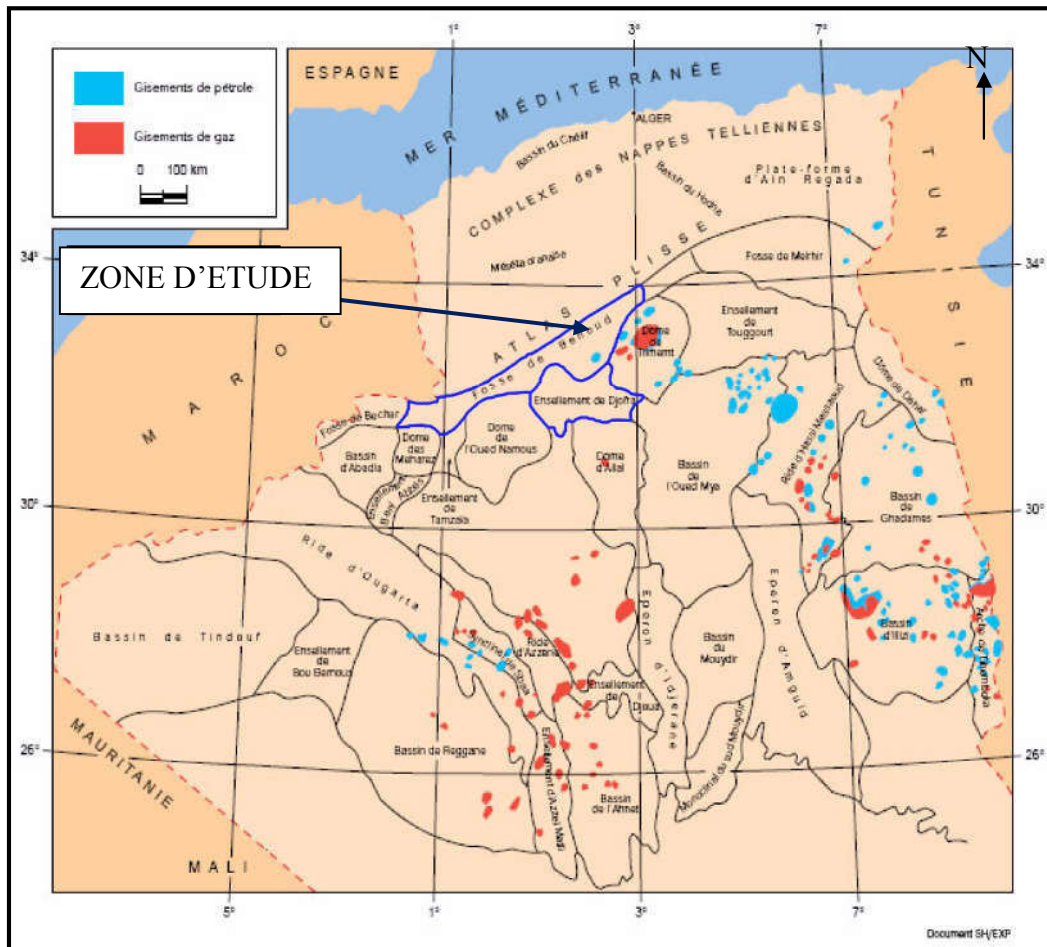


Fig. I.1: Carte des grands ensembles structuraux de la plateforme saharienne. (Document SH/EXP)

I.2. Situation géologique

De point de vue géologique, le sillon de Benoud situé à l'Ouest du champ géant de gaz et de condensât de Hassi R'mel. (Voir fig. I.2)

Il est limité :

- Au Sud, par l'ensellement de Djofra et la voute de Oued Namous.
- A l'Est, par dôme de Tilrhert.
- A l'Ouest, par la région de Béchar.
- Et au Nord, par l'accident sud Atlasique.

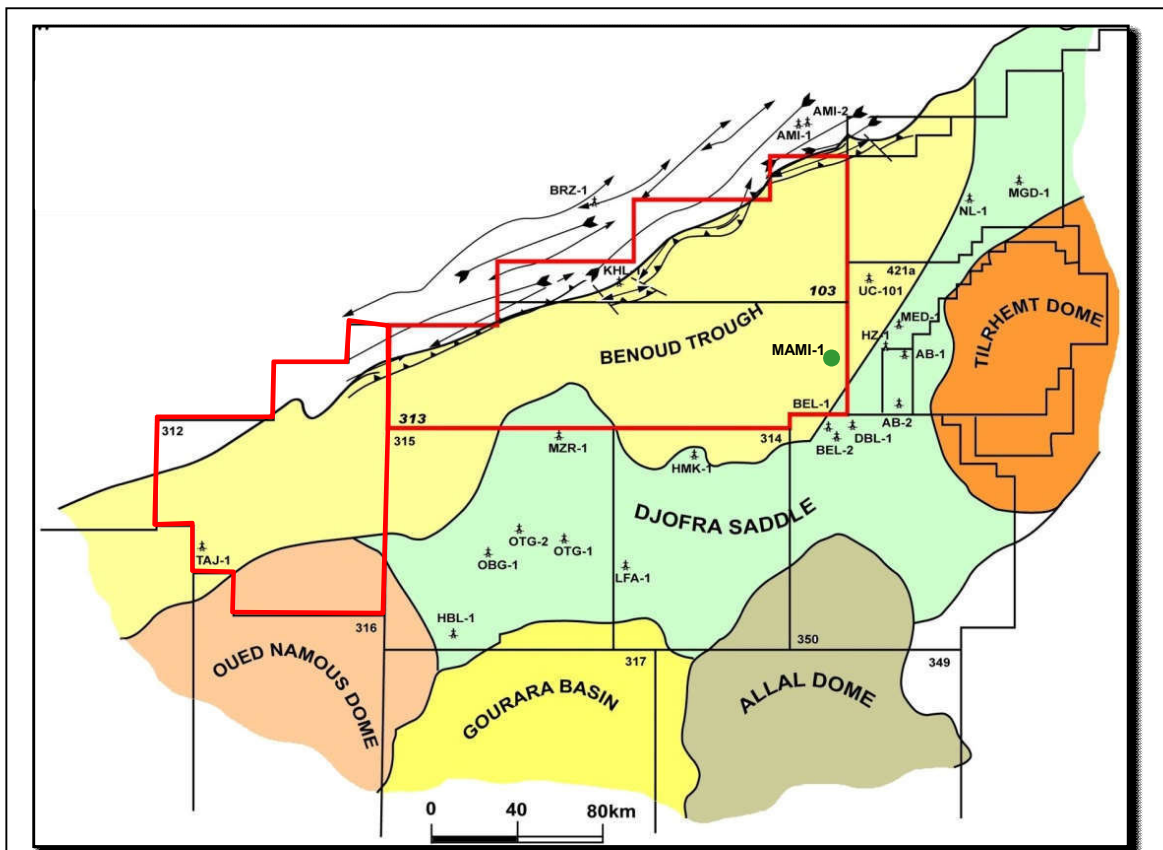


Fig. I.2. carte géologique de sillon de Benoud (document Sonatrach)

II. Synthèse des travaux réalisés dans le sillon de Benoud

L'exploration dans cette région a commencé dès le début des années cinquante, après la découverte du gisement de gaz de Hassi R'mel qui se trouve à environ 100km. La réalisation des différentes campagnes sismiques et gravimétriques ont abouti au forage du premier puits d'exploration AG-1 par la CFPA en 1955 ayant pour objectif, la reconnaissance du biseau triasique et l'exploration des formations paléozoïques. Il atteint le Silurien 2004m de profondeur.

En 1965, un forage a été réalisé par ESSO dans la région de Touadjine (TAJ-1), ce puits a montré indices de gaz/huile dans Lias, indices de gaz dans le Dévonien inférieur et Gothlandien. Il a terminé dans le Cambrien à 3797,10m de profondeur.

En 1970, La SOPEFAL a réalisé le sondage MZ-1 dans le but de rencontrer les formations récifales dans le Jurassique, le Trias gréseux et l'exploration du Cambrien ; ce forage n'a montré aucun indice pétrolier.

Entre 1972 et 1976, plusieurs campagnes sismiques ont été menées dans la région. En 1979, un autre forage a été réalisé par la SONATRACH dans la région de Kherabek (KEW1). Il avait pour objectif la série carbonatée du Lias et les niveaux gréseux du Carbonifère. Ce forage a atteint le Lias à 2571 m de profondeur.

Entre 1979 et 1992, plusieurs campagnes sismiques ont été menées dans la région par l'ENAGEO.

En 1992, le puits KHL-1 a atteint le Sieginien à une profondeur de 5106 m, il avait pour objectifs l'exploration de la série gréso-carbonaté du Dogger, les carbonates du Lias et la série du Sieginien.

En 2008 le puits EK1-1 a été foré, et atteint la profondeur de 4800 m dans le Dévonien.

Le puits MAMI-1 (bloc 313) a été réalisé en 2010, a fin de l'exploration des réservoirs Dévonien inférieur, les séries Jurassiques et la Dalle du M'Kratta (Ordovicien).

En 2012, deux autres prospects ont été mis en évidence, il s'agit des structures de MAME-1 et AET-1. Le puits MAME-1 a subi une opération de fracturation sans succès, et ce à cause d'un problème instrumentale, par contre le puits AET-1, fait actuellement l'objet d'une stimulation par fracturation.

Le forage MAMI-2 (foré en 2013) est situé au nord du forage MAMI-1. C'est un puits de délinéation de la découverte de MAMI-1. l'intérêt de ce puits est d'apprécier

l'accumulation d'huile de la découverte de MAMI-1. Actuellement, il fait l'objet d'une stimulation par fracturation.

Le forage du puits MAMS-1 a débuté 15/02/2016 dans le cadre de l'engagement de la 1^{ère} phase de recherche

III. Stratigraphie du bassin

III.1. Le Paléozoïque

Le Paléozoïque est représenté par 1000 à 3000 mètres de sédiments, à dominance argilo-gréseuse, reposant en discordance sur le Précambrien.

➤ Le Cambrien :

La sédimentation est marquée par des dépôts détritiques continentaux à littoraux.

Le Cambrien atteint par certains forages de la région, est représenté par la formation des grès de Hassi Menkel, constitués par un niveau grès-quartzitique à intercalations argileuses (MZR-1, NL-2). Son épaisseur dépasse les 121m à MZR-1.

➤ Le Cambro-ordovicien :

Cette formation représentée par les grès d'El Arich El Megta est constituée de grès silico-quartzitiques avec des passées argileuses, équivalent à la litho zone Ri + zone des alternances. Son épaisseur est de 132m à NL-2.

➤ L'Ordovicien :

L'Ordovicien est caractérisé par une sédimentation détritique comparable à celle reconnue dans toute la partie Nord de la plate-forme saharienne. Il se distingue par des périodes de glaciations et des intermittences transgression-régression, marquées par des sédiments argilo-gréseux marins à continentaux.

Il est constitué par une alternance de grès et d'argiles subdivisée en plusieurs formations. Il s'agit de bas en haut :

- ✓ Les argiles d'El Gassi :(64m à NL-2) argiles grises à fines passées de grès glauconieux ;
- ✓ Les grès d'El Erg El Anguer :(130m à MZR-1) grès fins à moyens à intercalations argileuses ;
- ✓ Les argiles d'Azzel :(40m à NL-2) argiles gris-noires avec de fines passées plus gréseuses ;
- ✓ Les argiles de Oued Saret :(60m à NL-2) argiles grises à noires, silteuses à gréseuses ;
- ✓ Les argiles microconglomératiques : (164m à NL-2 et 113m à MED-1) argiles noires micacées, silto-gréseuses à gros grains de quartz éoliens ;

✓ La dalle de Mkratta : (36m à MED-1) niveau grès-quartzitique.

➤ **Le Silurien :**

La fonte des calottes glaciaires provoquèrent une transgression marine qui va affecter l'ensemble de la plateforme saharienne.

Le Silurien est représenté par la formation des Argiles d'Oued Ali, matérialisées par des argiles noires riches en matières organiques et radioactives à nombreuses intercalations calcaires et gréseuses. La faune est essentiellement formée par des Graptolites, et la radioactivité est surtout liée à la forte concentration en Uranium (WEC, 1995).

Cette formation relativement constante riche en matière organique constitue la roche mère principale dans la région. L'épaisseur du Silurien varie entre 257m à HMK-1 et 171m à MED-1.

➤ **Le Dévonien :**

La mer se retire de la majeure partie de la région au Gédinnien, donnant lieu à une sédimentation détritico-littorale avec toutefois quelques influences franchement marines.

Les forages de la région n'ont rencontré que le Dévonien inférieur. Ce dernier est généralement argilo-gréseux à la base puis gréseux au sommet, avec parfois des intercalations calcaires et dolomitiques. Ces termes sont résumés sous le nom de Dkhissa, lequel lui-même est subdivisé en Dkhissa inférieur argilo-gréseux et Dkhissa supérieur gréseux, correspondant respectivement au Gédinnien et au Siéginiens. Une nouvelle transgression affecte la région à l'Emsien.

La sédimentation devient argileuse à intercalations de siltstones et de quartzites (formation de Teferguenit), l'Eifelien, formé de siltstones quartzitiques à intercalations argileuses (formation de *Talha*), le Givétien (formation de Sebbat) marneux à passées argileuses et le Frasnien formé d'une alternance de dolomies et d'argiles sombres (formation de MedenYahya).

Dans le Siéginiens de Hassi Mokta (HMK-1), des niveaux de dolérites altérées, pouvant atteindre les 100 mètres d'épaisseur sont signalés. L'épaisseur du Dévonien varie entre 95 m à MZR-1 et 360 m à HMK-1.

➤ **Le Carbonifère :**

Le cycle régressif du Dévonien supérieur est suivi par une transgression au Carbonifère. La sédimentation est marine (shore face et shelf) avec des dépôts carbonatés et détritico-marins.

Le Carbonifère ne se rencontre que dans certaines régions, comme Bordj Nili (NL-2) au Nord Est du sillon de Benoud, où il n'est représenté que par le Moscovien. Il est formé par des grès à la base, surmonté par une alternance d'argile, de calcaires et de dolomies.

Le Viséen (formation de Timimoun) est marneux avec des passées d'argile et plus rarement de grès, le Namurien est argileux à passées de dolomies et le Westphalien est argileux à passées de dolomies à la base et gréseux à passées d'argiles et de dolomies au sommet avec des traces de charbon et d'hématite.

Les études sismiques ont révélé la présence de récifs dans le Viséen. L'épaisseur du Carbonifère atteint 25m à NL-2.

III.2. Le Mésozoïque :

Le Mésozoïque repose en discordance sur le Paléozoïque. La série sédimentaire, dominée par des dépôts lagunaires, a une épaisseur qui varie entre 2000 et 3000 mètres environ, les plus grandes épaisseurs se trouvent à proximité de l'accident Sud Atlasique.

➤ **Trias :**

Au Trias, toute la région connaît un basculement vers le NE, le môle d'Allal jouant toujours en zone haute va constituer la principale source des apports détritiques du Trias, avec néanmoins une moindre contribution des reliefs de Hassi R'mel.

Le Trias est subdivisé en trois grands ensembles lithologiques :

- ✓ **Le Trias éruptif :** il est représenté par un dolérite de quelques dizaines de mètres d'épaisseur intercalés entre deux niveaux d'argiles parfois silteuses à passées de grès fins à moyens.
 - ✓ **Le Trias détritique (Trias argilo-gréseux) :** subdivisé en : **T1** (qui fait partie du Trias détritique ou argilo-gréseux) et **T2** (Trias gréseux) : constitués par trois niveaux gréseux séparés par des intercalations d'argiles silteuses à fines passées gréseuses, qui totalisent une épaisseur de 126 m à NL-2 contre 23 mètres à MED-1. Les argiles salifères inférieures (Trias argileux) formées essentiellement d'argilites indurées, souvent brun-chocolat, à passées dolomitiques et gypseuses. Leur épaisseur moyenne est de 40m.
 - ✓ **Le Trias salifère (Trias S4) :** représenté à BEL-1 et MED-1, par des évaporites à intercalations argileuses, avec une épaisseur moyenne de 20 m.
- **Le Jurassique :**
- ✓ **Le Lias :** formé à la base par des dépôts essentiellement évaporitiques (argiles salifères, anhydrite), évoluant au sommet vers des faciès carbonatés (dolomies et calcaires).

- ✓ **Le Dogger** : est marqué par un faciès argileux dolomitique à la base qui devient progressivement détritique au sommet.
- ✓ **Le Malm** : est composé essentiellement d'alternances argilo-gréseuses et argilo-sableuses parfois avec des intercalations dolomitiques.

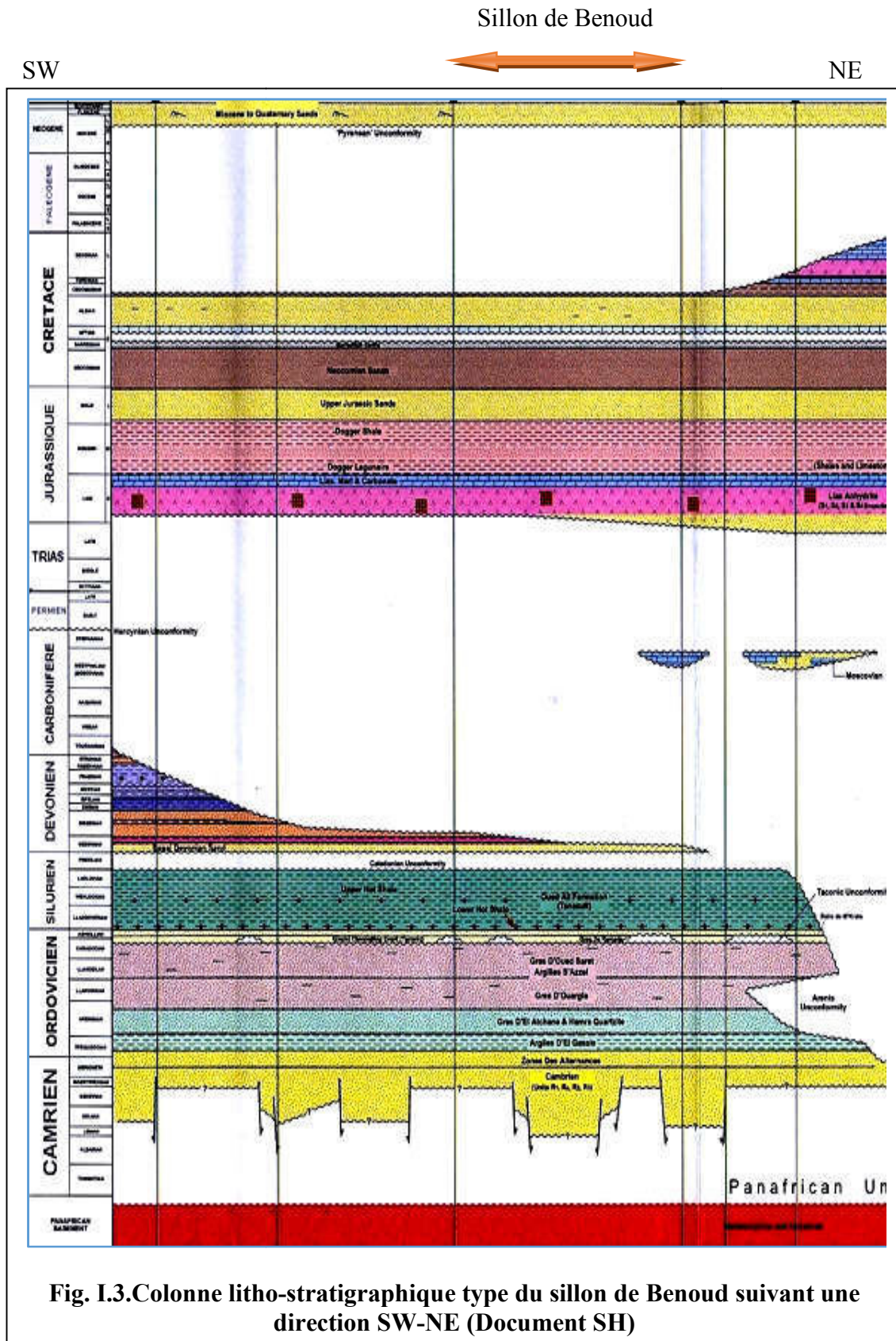
Le Trias et le Jurassique correspondent à la formation de Zarzaïtineet équivalents sédimentaires.

➤ **Le Crétacé :**

Le Crétacé dans cette région est série une allant du Néocomien jusqu'au Sénonien. Deux ensembles peuvent être distingués, le premier détritique terrigène (Crétacé inf.), le second carbonaté et évaporitique (Crétacé sup.).

III.3. Le Cénozoïque :

Le Cénozoïque recouvre presque entièrement toute la région de Benoud sur une épaisseur variable, représenté par des formations détritiques continentales à couleur rouge dominante et repose en discordance sur les termes du Crétacé.



IV. Évolution structurale du bassin

Le sillon de Benoud est un bassin étroit et asymétrique d'orientation NE-SW, long de 495 km pour une largeur de 64 km, juxtaposé à la flexure Sud Atlasique. Il correspond à un bassin d'avant fosse varisque constituant une zone de transition entre le domaine de l'Atlas Saharien au Nord et la plateforme saharienne au Sud.

L'un des traits remarquables de cette région est l'existence d'un grand accident (l'Accident Sud Atlasique), qui a joué un grand rôle dans sa structuration en zones hautes et zones basses (S.GUERBI. 1995).

Cet accident sépare la plateforme saharienne dont la structuration est généralement hercynienne des domaines atlasiques intensément déformés par les mouvements alpins. (Voir fig. I.5)

Cet accident qui se manifeste à l'affleurement par des accidents discontinus orientés NE-SW a été décrit par de nombreux auteurs.

G.Lucas et D.Galmier, 1952, décrivent cette grande faille Sud Atlasique à jeu inverse, qui a mis en contact une série du Jurassique moyen au NW et une série Crétacée au SE; ce mécanisme de déformation est attribuée à la tectonique Alpine.

Durand Delga et al. (1980), pensent que l'Accident se traduit par un jeu inverse avec une composante décrochante dextre ainsi les plis en échelons sont le résultat de la déformation de la couverture au-dessus d'un décrochement basal.

Aissaoui (1980), pense qu'il ne s'agit pas d'un accident unique, mais d'une bande formée d'une série de flexures d'âge différents, se relayant d'ouest en Est. Il le décrit comme « une limite sédimentaire avec un changement de faciès important et une limite tectonique entre un domaine atlasique et une fosse Sud-Atlasique».

D.Aissaoui (1987), le décrit dans les Monts de Négrine comme étant un accident profond et décrochant dextre et parfois décrochevauchant à vergence Sud.

Selon Frizon de Lamotte et al (1989), il s'agit d'un chevauchement aveugle plurikilométrique entraînant tous le domaine Atlasique sur la plateforme saharienne.

Pour Guiraud (1990), cet accident est une succession d'accidents indépendants les uns des autres, ayant joué ou rejoué lors de diverses phases tectono-orogéniques.

Par contre, Bettahar et al(1994), considèrent l'Accident Sud Atlasique comme un accident majeur décrochant et décrochevauchant dextre orienté respectivement E-W et NE-SW.

D'après B.Addoum (1995), il correspond à des chevauchements dans la couverture

Crétacé, qui ont accommodé un raccourcissement N-S variable.

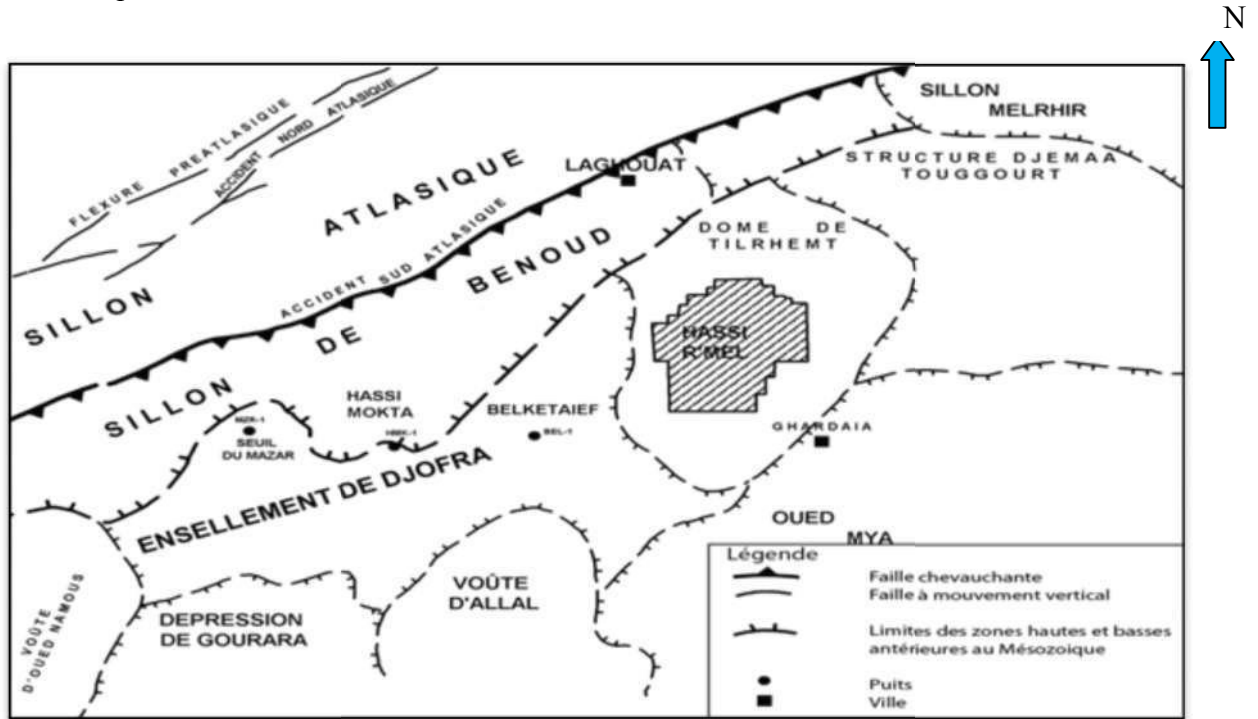


Fig. I.4. schéma structural de la région de Benoud (Document SH)

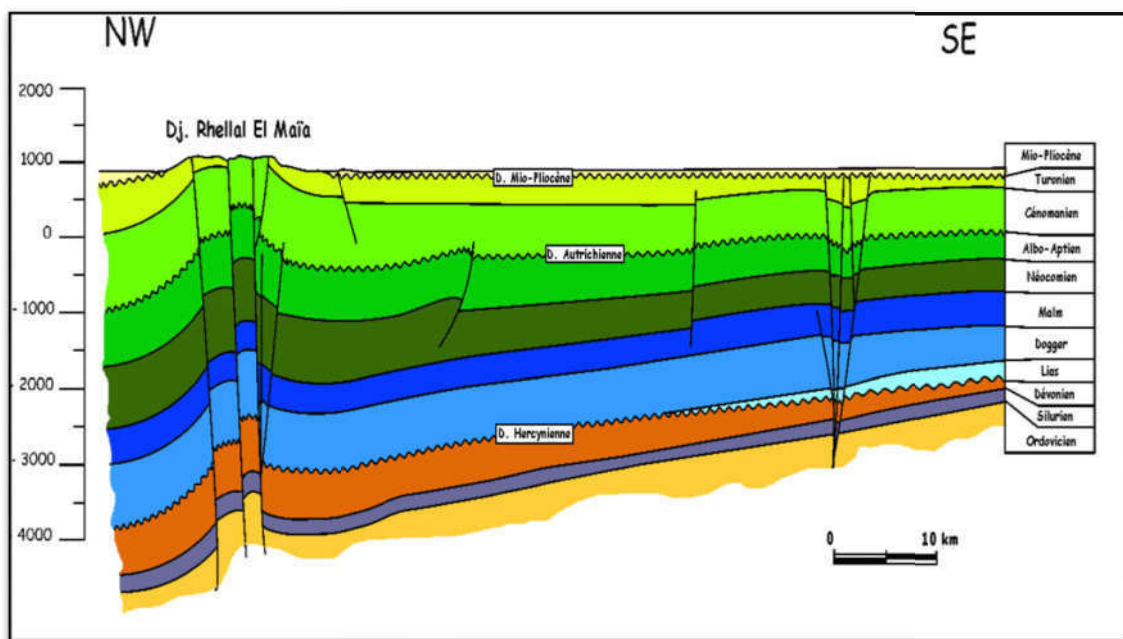
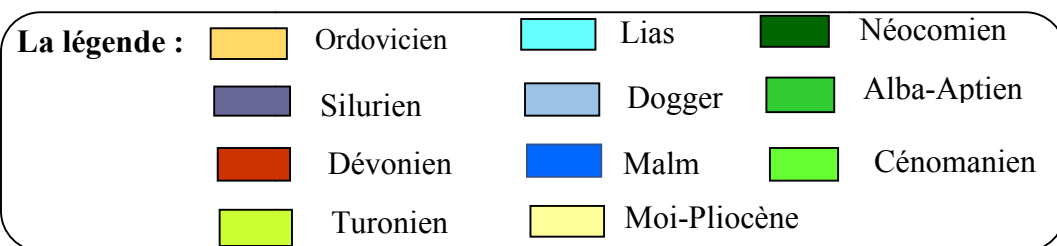


Fig. I.5: Coupe tectonique à travers l'Atlas Saharien, le sillon de Benoud et l'ensellement de Djofra. (Document SH).



V. Évolution géodynamique

L'évolution géologique du sillon de Benoud est très complexe, elle englobe le cycle Calédonien et Hercynien de l'ère Paléozoïque, ainsi que le cycle Alpin au Méso-Cénozoïque. Il s'est développé comme une partie de la plateforme saharienne pendant le Paléozoïque, recevant les sédiments clastiques fins à grossiers approvisionnés essentiellement à partir d'un Hoggar stable. (Voir tableau I.1)

V.1. Les événements pré-hercyniens

Les effets des différentes phases du cycle Calédonien (la phase Sarde distensive du Cambro-ordovicien, la phase Taconique compressive du Caradocien et la phase Calédonienne compressive de la fin du Silurien) sont apparentes dans la région.

➤ Événement Téconique :

Cet événement a commencé à l'Arénigien conduisant au soulèvement des dômes de Hassi R'mel et de Oued Namous. . L'Ordovicien est caractérisé par des discordances locales, et surtout par un basculement régional vers le Sud, d'où une forte érosion sur le flanc nord (Oued Namous et Hassi R'mel) par rapport au flanc sud (Oued Mya) .La discordance taconique proprement dite est décrite à la base des argiles micro conglomératiques d'âge Asghillien.

➤ Événement Calédonien :

L'événement calédonien est lié à la fermeture de l'Océan Iapetus accentuant ainsi les mouvements compressifs qui ont soulevé la Plateforme Saharienne durant l'événement tectonique. La discordance a mis en contact les argiles marines de haut fond (série d'Oued Ali) d'âge silurien et les grès du Dévonien (Grès De Dkhissa).

➤ Évènement Hercynien :

Cet évènement est suivi dans le Sillon de Benoud, comme partout ailleurs dans la plateforme saharienne, d'une déformation intense, des soulèvements importants et d'une forte érosion.

➤ La phase Viséenne :

Elle est annoncée par une discordance (discordance Viséenne), visible au Sud-Ouest. La direction de serrage est N040 (Boudjema, 1987 ; WEC, 1995), produisant des structures NW-SE et d'importants soulèvements dans la région, suivi d'une période d'érosion aplanissant les rides structurales récemment créées.

➤ **La phase Namurienne :**

Cette phase est visible seulement dans la partie Sud-Ouest du sillon de Benoud, et se manifeste par une discordance amenant le Namurien sur des terrains allant du Dévonien supérieur au Viséen inférieur (Kostenko et Guerbi, 1994).

➤ **La phase Anti-Westphalienne :**

Le Westphalien repose en discordance sur le Dévonien au Nord et au Nord-Est du sillon de Benoud. Cette discordance se prolonge de la région de Béchar où le Moscovien surmonte le Bashkirien inférieur ou le Serpukhovien (KaziTani et Durée, 1993) jusqu'à la région de Bordj Nili où il repose sur du Silurien.

V.2. La phase Hercynienne majeure

La dernière phase la plus importante qui a affecté la région de Benoud datée au post-Stéphaniens (WEC, 1995), de direction N120 (Boudjema, 1987) produit des structures NE-SW, et d'importants soulèvements (Anadarko, 1993) suivis d'un grand cycle d'érosion. Ce dernier a eu pour résultat l'absence du Permien et l'érosion d'autres niveaux paléozoïques jusqu'au Silurien (au Nord du MZR-1) (Kostenko et Guerbi, 1994). Cette importante érosion se traduit par une discordance majeure (discordance Hercynienne) qui sépare les dépôts paléozoïques des dépôts mésozoïques.

Lors de cette phase, des mouvements d'extension se manifestent dans la région de Benoud par des failles normales subméridiennes (Anadarko, 1993).

V.3 L'événement Alpin :

Le sillon de Benoud est en relation directe avec l'ouverture de l'Atlantique entamée au Trias lors de cet événement (Mésocène-Cénozoïque).

Le Sillon de Benoud s'est formé en deux phases :

✓ **Trias - Jurassique inférieur :**

La région de Benoud à cette période constituait une zone haute, le résultat d'un système de failles normales sur la rive Sud du bassin Atlasique en formant un demi-graben.

✓ **Jurassique moyen - Actuel :**

Le Sillon de Benoud a commencé à s'affaisser au Jurassique moyen, avec un taux de subsidence irrégulière. Au Crétacé la subsidence a connu un moment de ralentissement pour s'accélérer au Tertiaire. Le mécanisme de subsidence du Sillon de Benoud est à mettre en relation avec le développement d'une marge sédimentaire passive sous la région qu'occupe l'Atlas actuellement.

➤ **La phase distensive du Trias-Lias**

Au Trias-Lias, le sillon de Benoud se trouvait sur la marge sud du sillon Atlasique. Le régime distensif a provoqué le rejeu d'anciens accidents NE-SW en failles normales entraînant des changements de faciès et des variations d'épaisseur le long de ces failles.

➤ **La phase Autrichienne**

Le rejeu en failles inverses des accidents subméridiens dans la région de Benoud, a conduit à la formation de voûtes anticlinales orientées Nord-Sud.

Cette phase est reconnue en sismique par une discordance (discordance Autrichienne) qui sépare l'Aptien terminal du Barrémien et des failles essentiellement inverses coupées par cette discordance.

➤ **La phase Laramienne**

La différenciation du sillon de Benoud a probablement commencé avec cette phase, au Crétacé supérieur. En effet, lors de cet événement émerge l'Atlas Saharien et à son pied, du côté saharien, s'installent des gouttières molassiques, dont le sillon de Benoud, recevant les produits du démantèlement de l'Atlas Saharien (KaziTani, 1986 ; Kazi Tani et Duée, 1993).

Cette phase affecte les séries Cénomano-turoniennes qui affleurent dans la région d'El Kohol et s'exprime par des plis orientés N330 ainsi que des fentes de tension en échelons indiquant un raccourcissement N240 (Habani et Medaouri, 1994).

➤ **La phase Atlasique majeure**

Cette phase éocène qui s'exprime par des failles inverses et des plis essentiellement NE-SW indiquant une direction de serrage NW-SE, est responsable du soulèvement du domaine atlasique.

Une érosion succède aux soulèvements et s'exprime aujourd'hui en sub-surface par une discordance (discordance Atlasique) régionale qui sépare le Mésozoïque (Crétacé) du Cénozoïque (Mio-Pliocène).

➤ **La phase néogène**

Cette phase est notamment responsable de la formation au front de la chaîne Atlasique, aux limites avec le sillon de Benoud, de chevauchements à vergence Sud à Sud-Est, surmontés par des plis étroits NE-SW. Elle s'exprime à l'affleurement dans la région d'El Kohol par des décrochements conjugués, NW-SE dextres et NE-SW sénestres compatibles avec une compression Nord-Sud, qui décalent parfois les structures préexistantes.










PHASES	DIRECTION DES CONTRAINTES	EFFETS SUR LA STRUCTURATION
NEOGENE (Néogène)		<ul style="list-style-type: none"> Le sillon de Benoud adopte la configuration qu'on lui connaît actuellement. Formation au front du domaine atlasique, aux limites avec le sillon de Benoud, de chevauchements à vergence Sud à S-E, associés à des plis de rampes. Elle se traduit dans la région d'El Kohol par des décrochements NW-SE sénestres compatibles avec une compression N-S.
ATLASIQUE MAJEURE (Eocène Sup.- Miocène inf.)		<ul style="list-style-type: none"> Surrection du domaine atlasique et formation de failles inverses et de plis NE-SW. L'érosion qui a succédé aux soulèvements se traduit actuellement par une discordance régionale séparant le Mio-Pliocène du Crétacé supérieur.
LARAMIENNE (Crétacé supérieur)		<ul style="list-style-type: none"> Emersion du domaine atlasique et formation de gouttières molassiques du côté saharien, dont e le sillon de Benoud. Dans la région d'El Kohol, elle affecte le Crétacé supérieur et se traduit par des plis NW-SE, compatibles avec une direction de serrage NE-SW.
AUTRICHIENNE (anti-Aptien terminal)		<ul style="list-style-type: none"> Rejeu des accidents subméridiens inverses et formation de voûtes anticlinales orientées N-S suivies d'une période d'érosion, qui n'affecte toutes fois que le Barrémien.
DISTENSIVE DU TRIAS-LIAS (Trias-Lias)		<ul style="list-style-type: none"> Rejeu d'anciens accidents, essentiellement NE-SW, en failles normales et épanchement de roches volcaniques.
HERCYNIENNE MAJEURE (post-Stéphanien)		<ul style="list-style-type: none"> Formation de failles inverses NE-SW, de failles normales subméridiennes et d'importants soulèvements dans la région de Benoud. Erosion profonde du Paléozoïque, localement jusqu'au Silurien (paléo-soulèvement de Mazar), se traduisant par une discordance régionale séparant le Paléozoïque du Mésozoïque.
ANTI-WESTPHALIENNE (anti-Westphalien)		<ul style="list-style-type: none"> Discordance entre le Westphalien et les autres séries paléozoïques antérieures, visible le long du bord septentrional du sillon de Benoud.
NAMURIENNE (Namurien)		<ul style="list-style-type: none"> Discordance entre le Namurien et le Viséen inférieur, voire le Dévonien supérieur, visible au SW.
VISIENNE (Viséen)		<ul style="list-style-type: none"> L'actuel sillon de Benoud se trouvait sur la marge Sud du sillon de Nekheila, un élément de l'avant-fosse varisque. Formation de structures NE-SW et d'importants soulèvements, suivis d'une période d'érosion. Au SW, discordance entre le Viséen et le Dévonien.

Tableau .I.1: Résumé des événements tectoniques ayant affectés la région de Benoud à l'Hercynien et à l'Alpin (Géoressources-Sonatrach, 1996).

Chapitre II

Généralité sur la région d'étude

Le périmètre d'EL Ouabeda été acquis par Sonatrach en périmètre de recherche en 2014, pour une période de Sept (07) années, réparties en trois (03) phases de 3,2 et 2 années (2014-2017; 2017-2019; 2019-2021). Cette autorisation de recherche a été donnée pour l'évaluation du potentiel pétrolier de ce périmètre EL Ouabed, l'acquisition de 1400km de sismique 2D et le forage de deux (02) puits. Les objectifs seraient essentiellement représentés par les séries gréseuses du Dévonien inférieur et l'Ordovicien. A la date d'entrée en vigueur de l'autorisation de recherche dans ce périmètre contractuel. Actuellement, ce périmètre se trouve dans sa 1^{ère} phase de recherche.

Cette zone est composée des blocs 103 et 313. Ces blocs ont fait l'objet d'exploration depuis les années soixante, leurs intérêts se trouve dans leurs proximité par rapport au champ gazier de Hassi R'mel d'une part, et d'autre part leur situation par rapport au sillon de Benoud. (Voir Fig. II.1).

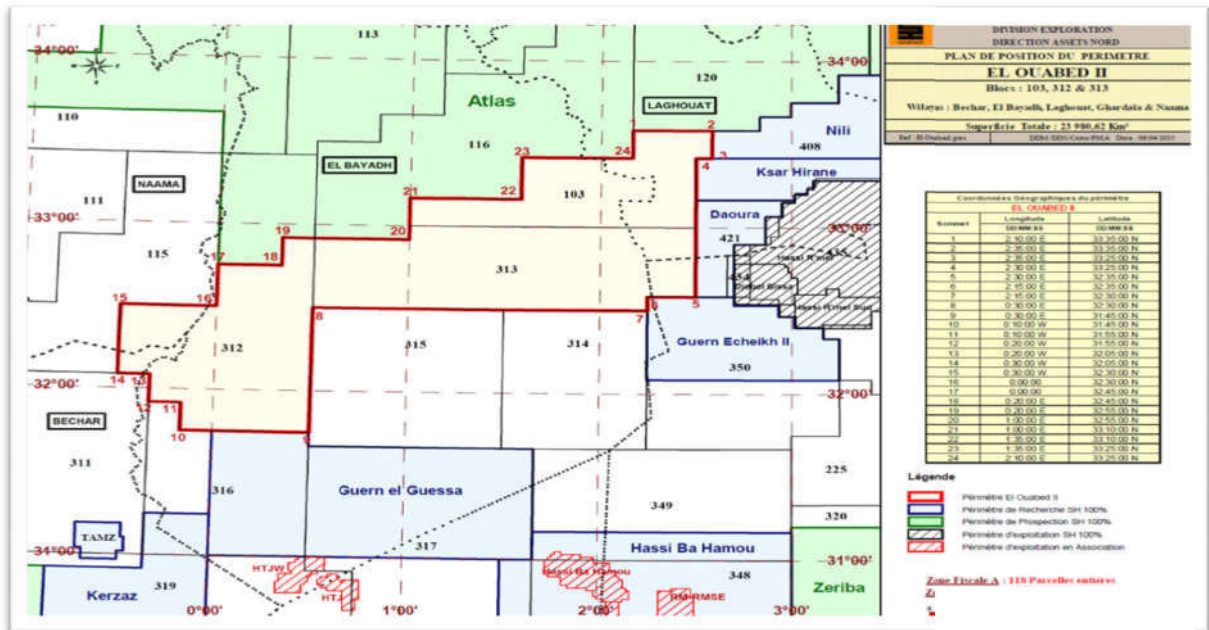


Fig. II.1. Localisation géographique du périmètre de recherche El Ouabed (Document SH)

I. Cadre géographique

La région d'étude El Ouabed est localisée dans la partie Ouest de l'Algérie à cheval entre l'Atlas Saharien au nord et la Plate-forme Saharienne au sud. Elle s'étend sur une superficie de 23980,62 km² ; et s'étale sur le territoire des wilayas d'El Bayadh, Laghouat, Bechar et Nâama. Elle est limitée à l'Est par le méridien 2° 30' qui passe près de la ville d'Aflou et à l'Ouest par le méridien 0° 30' E passant à l'Ouest d'El Biod Sidi Chikh. Deux routes traversent cette région El Ouabed, il s'agit de la Route Nationale N107 qui relie El Bayadh à Ghardaïa et la route N59 et N6B qui relie El Bayadh à Bechar. (Fig. II.2).

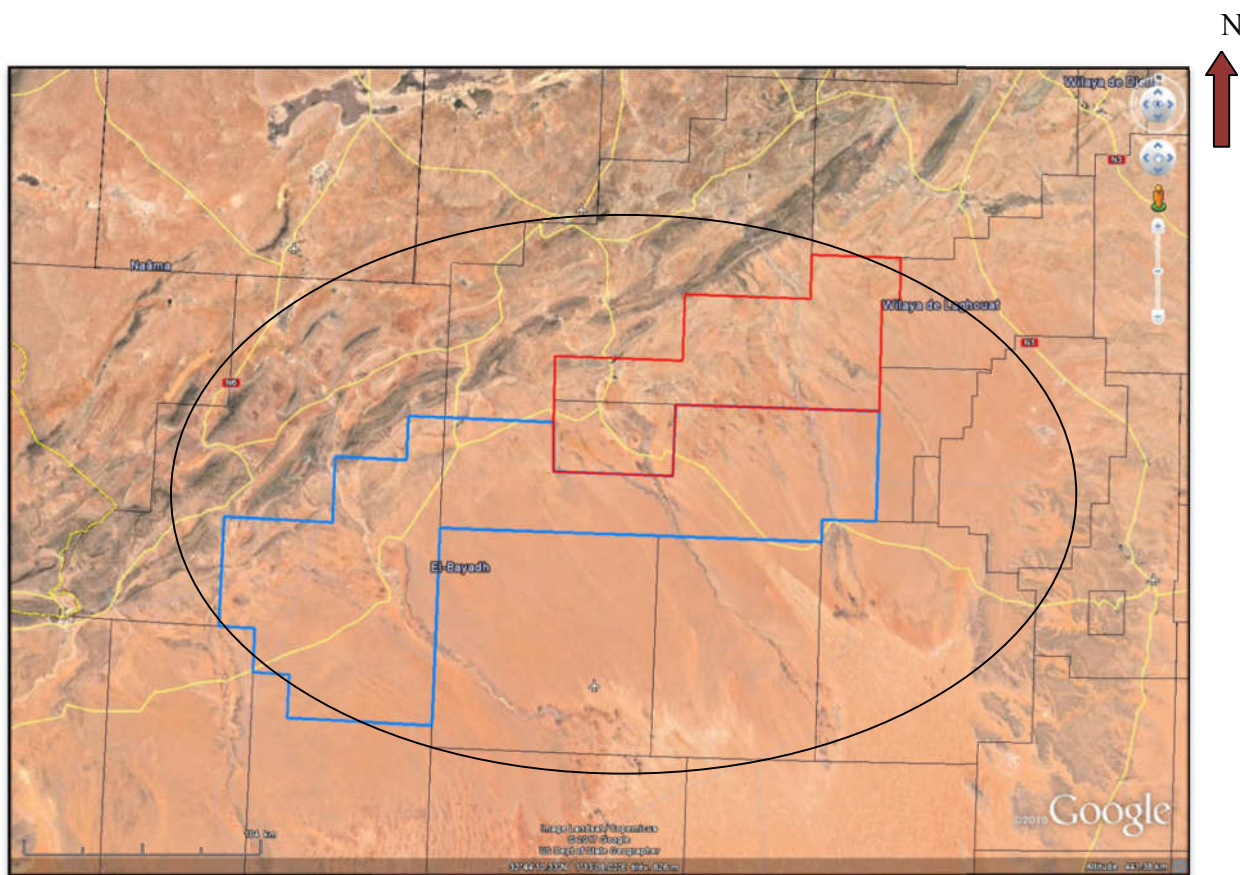
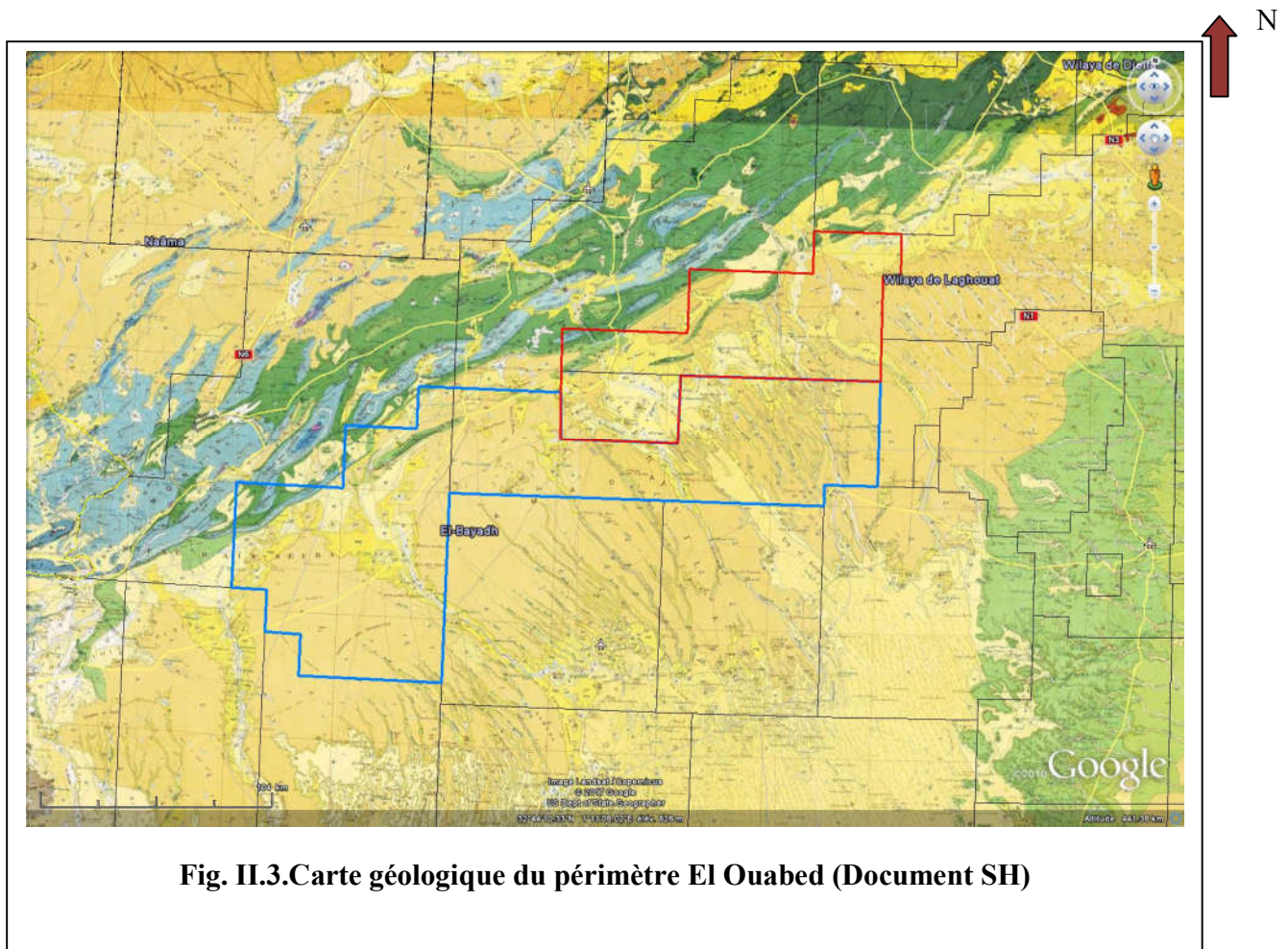


Fig. II.2. Localisation géographique du périmètre EL Ouabed (Document SH)

II. Cadre géologique

La région d'étude El Ouabed représente la partie orientale du Sillon de Benoud. Il est constitué de deux entités géologiques, séparées par un accident majeur, il s'agit de l'Atlas Saharien représenté par les affleurements mésozoïques dans la partie nord et de la Plate-forme Saharienne qui occupe la partie sud (Fig. II.3).

El Ouabed est limité au Sud par l'ensellement de Djofra, au Nord par l'Atlas Saharien, à l'Est par le dôme de Tilrhemt et à l'Ouest par le Bassin de Béchar et la voûte d'Oued Namous.



III. Aspect stratigraphique

La coupe stratigraphique du périmètre El Ouabed ne diffère pas de la coupe stratigraphique type du sillon de Benoud (Voir Fig. II.4).

III.1. PALEOZOIQUE

- **Cambrien (Ep> 270m)** : Constitué d'un ensemble de quartzites blanchâtre moyennes à grossières parfois conglomératiques, avec des stratifications entrecroisées et de rares passées d'argiles.
- **Ordovicien (Ep> 330m)** : Il est formé par :
 - ✓ **El Arich d'El Megta (230m)** : C'est un ensemble de quartzites blancs à gris-clair très fins, avec des argiles et des grains de quartz arrondis.
 - ✓ **Argiles d'El Gassi (50m)** : Elles sont composées d'argiles gris-foncées, micacées et d'argiles silteuses, à traces de grès blancs, glauconieux et quartzitiques.
 - ✓ **Argiles d'Oued Saret (10m)** : Elles sont constituées d'argiles gris-foncées, micacées.
 - ✓ **Les Argiles microconglomératiques (30)** : C'est des argiles à siltstones très argileux, noires, à grains de quartz fins à grossiers, arrondis et à traces d'oolithes chloriteuses
 - ✓ **La Dalle de M'Kratta (10m)** : Ce sont des quartzites gris-foncées avec des marnes interstratifiées et des argiles noires en feuillets.
- **Silurien (Ep>307m)** : il est subdivisé en deux unités :
 - ✓ **Silurien argilo-gréseux (190m)** : il est constitué d'intercalations de grès blancs, très fins, fortement quartzitiques, légèrement micacées et d'argiles gris-noir, silteuses.
 - ✓ **Silurien argilo-carbonaté (180)** : il est composé d'argiles gris-foncées à noirs, pyriteuses et fossilifères à intercalations de calcaires bruns à rouges micritiques.
- **Dévonien (Ep>410m)** : il est subdivisé en trois unités stratigraphiques :
 - ✓ **Siegénien (150m)** : il est constitué d'intercalations de grès blancs, très fins, quartzitiques, légèrement micacés et de siltstones gris-blancs, argileux, quartzitiques et micacées.

- ✓ **Emsien (130m)** : il est composé de siltstones gris-foncés, légèrement calcaires et fortement micacés.
- ✓ **Frasnien-Famennien (130m)** : il est représenté par des dolomies grises à rouges, noduleuses, micritiques, à goniatites abondantes, avec des intercalations d'argiles noires et de marnes grises-foncées, fortement fossilifères.
- **Carbonifère (Ep > 670m)** : on distingue les subdivisions suivantes :
 - ✓ **Viséen (320m)** : Il est composé de marnes grises, tendres, micacée, silteuses, interstratifiées d'argiles silteuses.
 - ✓ **Namurien (220m)** : Il est représenté par des argiles feuilletées, micacées, renfermant des dolomies blanches très fines à fractures cimentées d'argiles gris-clair, silteuses.
 - ✓ **Westphalien (130m)** : il est constitué de grès quartzitiques, blancs à gris, très fins, légèrement dolomitiques. Cet ensemble admet quelques intercalations d'argiles rouges finement mouchetées et micacées et des dolomies grises, pseudo-oolithiques à sableuses à la base.

III.2. MESOZOIQUE

Les terrains mésozoïques reposent en discordance sur les formations paléozoïques et se composent comme suit :

- **Trias (Ep > 70m)** : il est formé à la base et au sommet par des argiles rouges gypseuses à traces d'anhydrites, intercalées d'une quarantaine de mètres environ de roches magmatiques (dolérite), vertes, très altérées au sommet.
- **Jurassique (Ep > 900m)** : on distingue :
 - ✓ **Lias (150m)** : Ce sont des alternances de grès bruns, très fins, légèrement dolomitiques, d'argiles gris-vert, de dolomies grises à beiges très fines, pseudo-oolithiques, légèrement argileuses et localement sableuses et de calcaires blancs, légèrement argileux.
 - ✓ **Dogger (330)** : il est composé d'argiles bariolées, brunes, avec des intercalations de grès beiges à blancs extrêmement fins et de dolomies légèrement silteuses et argileuses vers le milieu de la série.

✓ **Malm (420m)** : Il est composé de grès blancs, gris-clair, moyens à grossiers, dolomitiques et à intercalations d'argiles grises verdâtres légèrement silteuses, localement.

➤ **Crétacé (Ep>1150m)** : Il est subdivisé en deux ensembles :

✓ **Crétacé inférieur (360m)** : Cette ensemble sédimentaire débute par des calcaires gréseux alternant avec des argiles, puis il devient essentiellement sableux .

✓ **Crétacé supérieur (790m)** : Le Cénomano-Turonien est caractérisé par des dépôts argileux, marneux à gypses et par des calcaires dolomitiques. Il est composé d'argiles rouges à passées de calcaires blancs.

III.3. CENOZOIQUE

On distingue :

➤ **Eocène (>32 m)** : Il n'a été décrit qu'au niveau du forage de Kohol. Il est formé par du sable translucide, grossier, avec passées de calcaire jaune à beige, gréseux, dur et d'argile brun-rouge, sableuse, légèrement carbonatée.

➤ **Mio-Plio-Quaternaire (>370 m)** : Il est constitué de conglomérats à éléments de grès grossier à fin, rose à blanc, à ciment calcaire, avec quelques éléments calcaires et des fragments de silex. Il est intercalé par des grès mal classés, avec de nombreux grains de quartz à faces cristallines et d'argiles silteuses très fines.

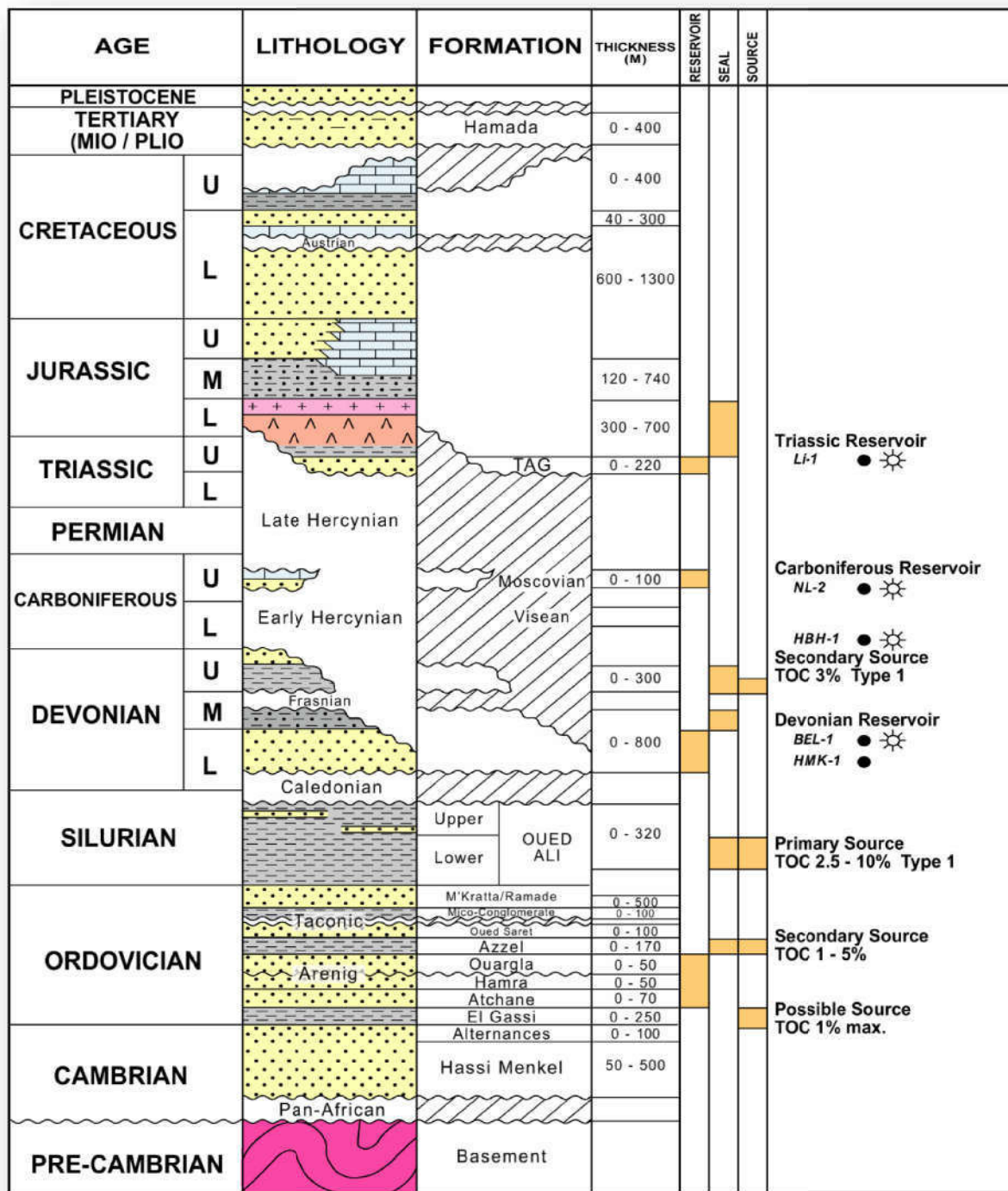


Fig. II.4. La colonne stratigraphique de la région Benoud (Document SH)

IV. A spect structural

La configuration structurale actuelle est le résultat de l'influence de plusieurs phases tectoniques liées aux évènements hercyniens et alpins. Cette région d'étude El Ouabed est constituée de deux entités structurales ayant évolué différemment au cours des temps géologiques, l'Atlas Saharien au nord et le Sillon de Benoud appartenant à la plate-forme saharienne au sud. Ces deux ensembles structuraux sont séparés par un accident majeur qui traverse toute l'Afrique du Nord d'Ouest en Est, il s'agit de Front de chevauchement Sud Atlasique (FSA) selon les auteurs.

En se basant sur les données de terrain et les quelques profils sismiques qui couvre la zone, nous avons établi plusieurs coupes sismo-géologiques. Nous discuterons, dans ce qui suit, les deux (02) coupes structurales les plus importantes (Fig. II.5).

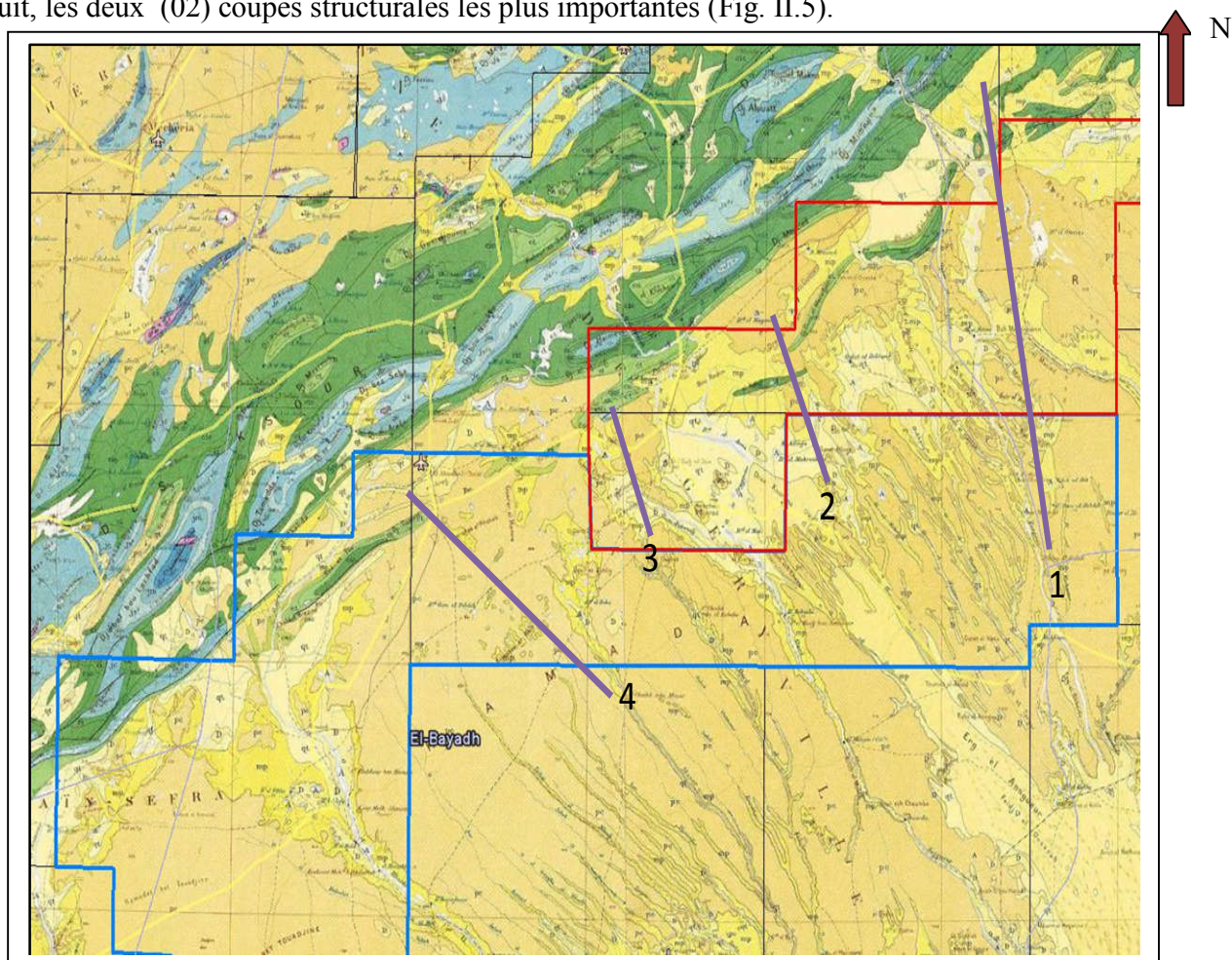


Fig. II.5. Plan de position des coupes structurales établies (Document SH)

➤ **Coupe N°1 : (Fig. II.6)**

C'est une coupe qui passe à l'est de la localité de Tadjrouna. Elle traverse les affleurements arasés du Crétacé inférieur d'Argoub Es Saba et de Lahdjar Lazreg. L'affleurement d'Argoub Es Saba correspond en profondeur à une structure chevauchante à vergence nord, et qui s'en racine dans le Lias. Les affleurements de Lahdjar Lazreg sont caractérisés par la présence de plusieurs accidents décro-chevauchants de direction NE-SW.

La section sismique 92BZ19 montre que l'accident chevauchant migre vers le sud pour développer d'autres structures qui n'affleurent pas en surface. Les structures de la partie Sud de la coupe constituent le prolongement occidental de la structure d'El Kheil (EKL-1) foré en 2008 (Fig. II.7), et sont liées à des failles décrochantes qui développent des structures en fleur.

Cette coupe montre que les séries sédimentaires plongent vers le NW où elles sont plus développées.

➤ **Coupe N°3 : (Fig. II.8)**

C'est une coupe qui passe par Djebel el Rhélida, par une grande structure de surface de 35km de long et 4km de large, et qui présente des flancs à pendage modéré (albo-aptien) et des flancs constitués par les séries Cénomano-turonienne.

En profondeur, elle est interprétée comme un anticlinal qui se développe à la faveur de deux failles inverses redressée (failles décrochantes) à cause de l'existence d'une branche de l'accident située sur le flanc sud et qui y affleure en surface. Cet accident c'est un décrochement dextre orienté pratiquement ENE-WSW.

En s'éloignant de cette zone la tectonique devient calme comme le montre de profile sismique 93ED19 (Fig. II.9).

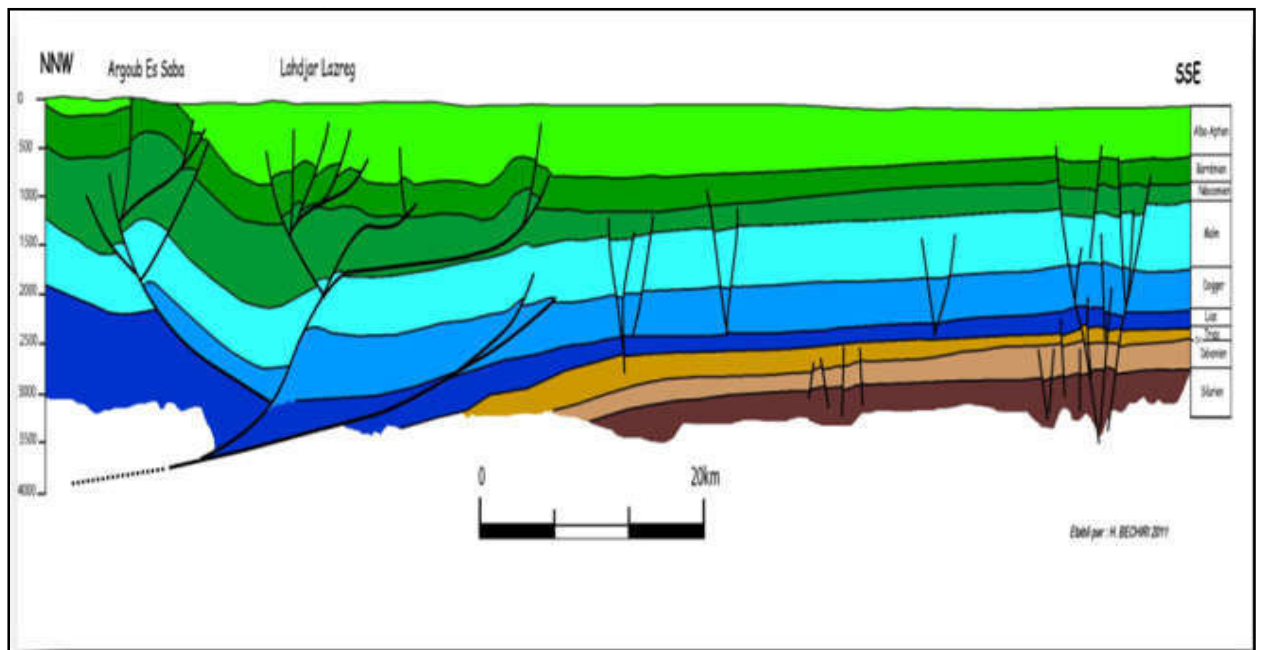


Fig. II.6. Coupe structural traversant la partie orientale du périmètre EL Ouabed (Document SH)

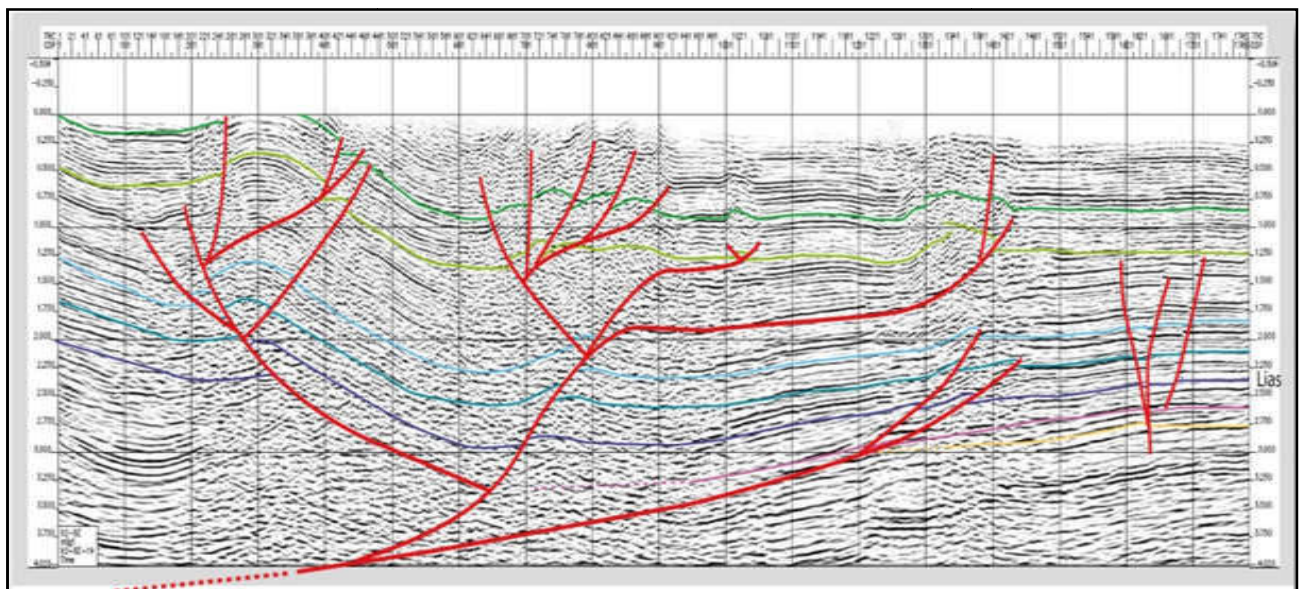


Fig. II.7. Section sismique 82BZ19 (Document SH)

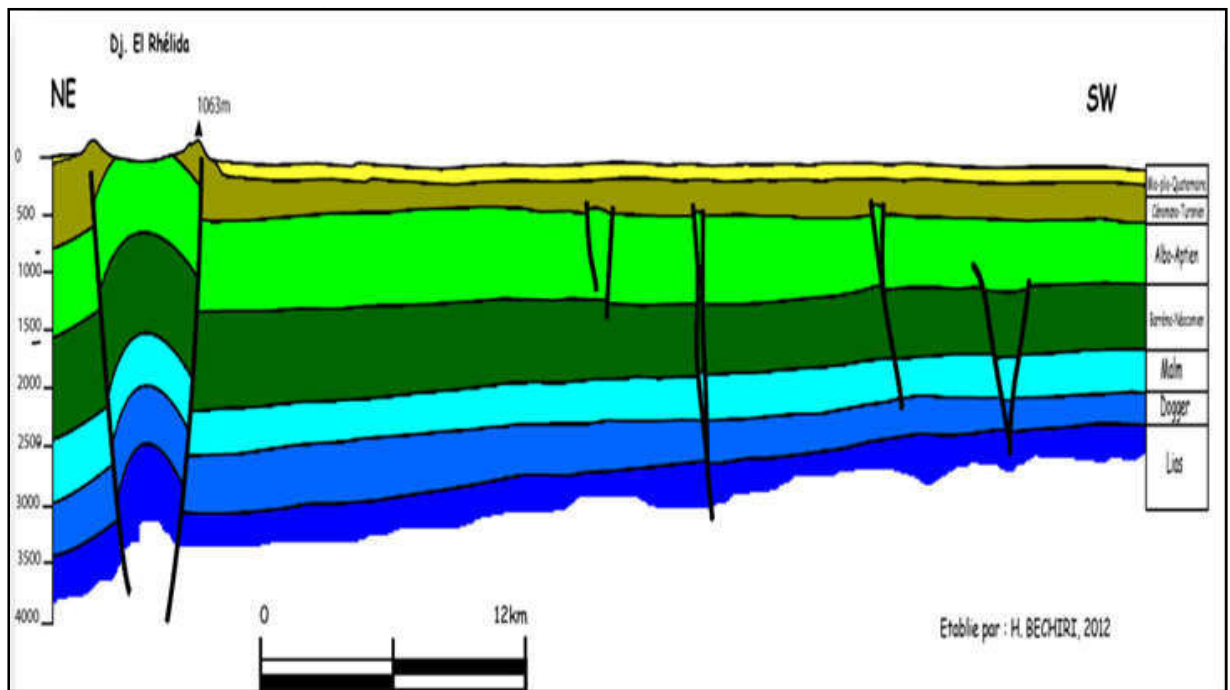


Fig. II.8. Coupe structural traversant la structure de Brézina (DocumentSH)

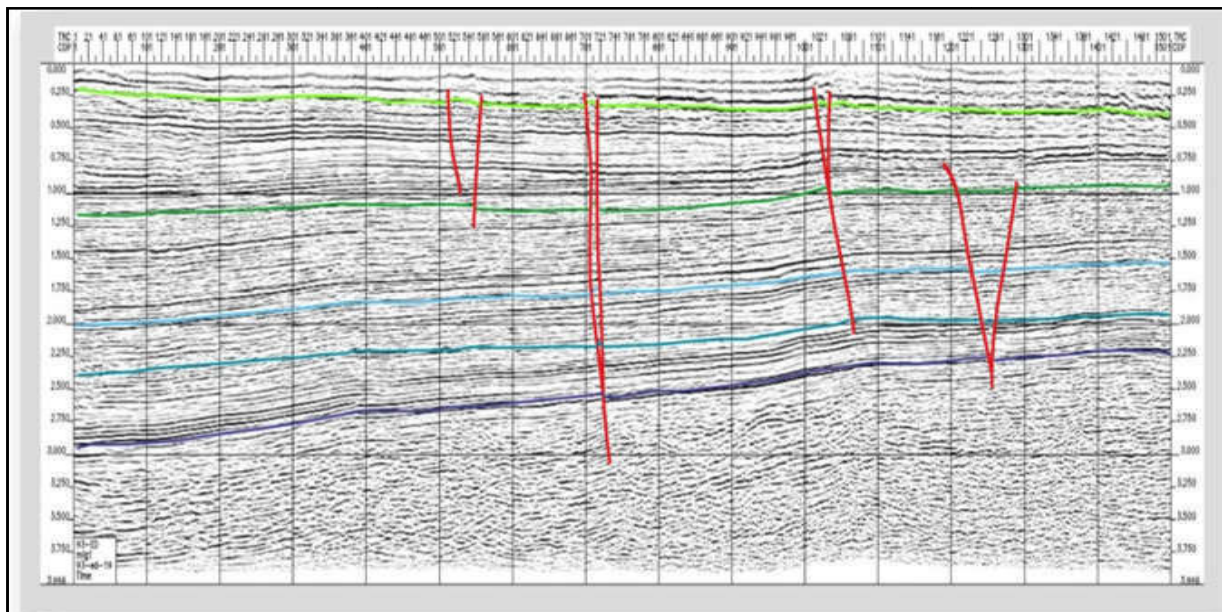


Fig. II.9. Section sismique 93D19 (Document SH)

L'établissement de ces coupes structurales a permis de mettre en évidence deux styles structuraux qui caractérisent le périmètre de recherche El Ouabed. Le premier correspond à une tectonique chevauchante voire décro-chevauchante au bord de l'Accident Sud Atlasique qui découleraient d'un régime compressive à transpressif, il a engendré des structure en rampe et pallier avec dédoublement de séries (cas de Dj. Kohol) ou des plis passifs sur rampes. Le deuxième style correspond à une tectonique cassante beaucoup plus calme, avec des failles normales ou inverse, voir décrochantes qui engendrent des structures contre failles (cas de MAMI-1, foré en 2010). Ces coupes ont montré aussi que le trace de l'Accident Sud Atlasique.

V. Aspect pétrolier

La partie orientale du sillon de Benoud renferme les plays pétroliers du Paléozoïque avec le Dévonien inférieur et l'Ordovicien constituant les principaux objectifs dans ce sillon. Le Jurassique et le Trias peuvent constituer aussi des objectifs potentiels dans la partie nord du bloc 103a.

V.1. ROCHES MERES

Dans le périmètre El Ouabed, plusieurs niveaux roches mères ont été mis en évidence. Ces niveaux potentiels sont riches en matière organique, et sont reconnus au sein de l'Ordovicien, du Silurien, Dévonien et le Jurassique.

➤ Roche mère de l'Ordovicien

Les argiles micro conglomératiques et les argiles d'El Gassi montrent un faciès constitué d'argiles noires, carbonatées à silteuses indiquant un milieu de dépôt marin.

➤ Roche mère du Silurien

Le Silurien est constitué d'argiles noires, riches en graptolithes (Argiles radioactives). Ces séries datées Ludlow et Wenlock reposent sur les grès de l'Ordovicien dans presque tous les forages étudiés. Son épaisseur varie de 100 à 400 m. Les niveaux les plus appropriés présentant une bonne richesse en matière organique, sont les argiles radioactives inférieures et les argiles radioactives supérieures.

L'étude géochimique effectuée par le CRD (1992) a montré une excellente richesse en matière organique dans ces niveaux.

Pour le puits MAMI-1 : Le Silurien radioactif présente des teneurs en COT variant entre 0.40% et 7.06%. L'intervalle allant de 3410m à 3530m présente une bonne richesse en matière organique ; le COT moyen est de l'ordre de 3.97% et des valeurs S2 modéré. Le Tmax est entre 417 et 460°C et un IAT qui oscille entre 3 et 3,5.

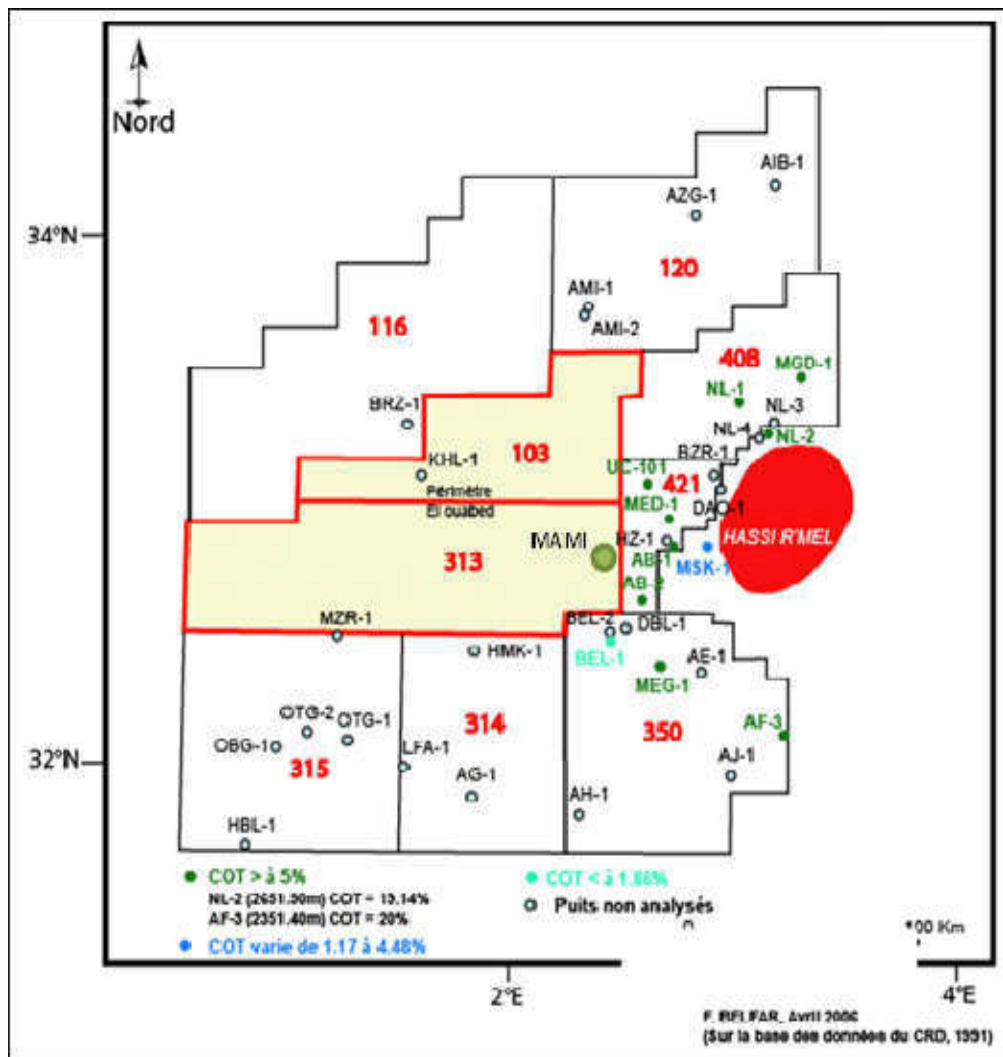
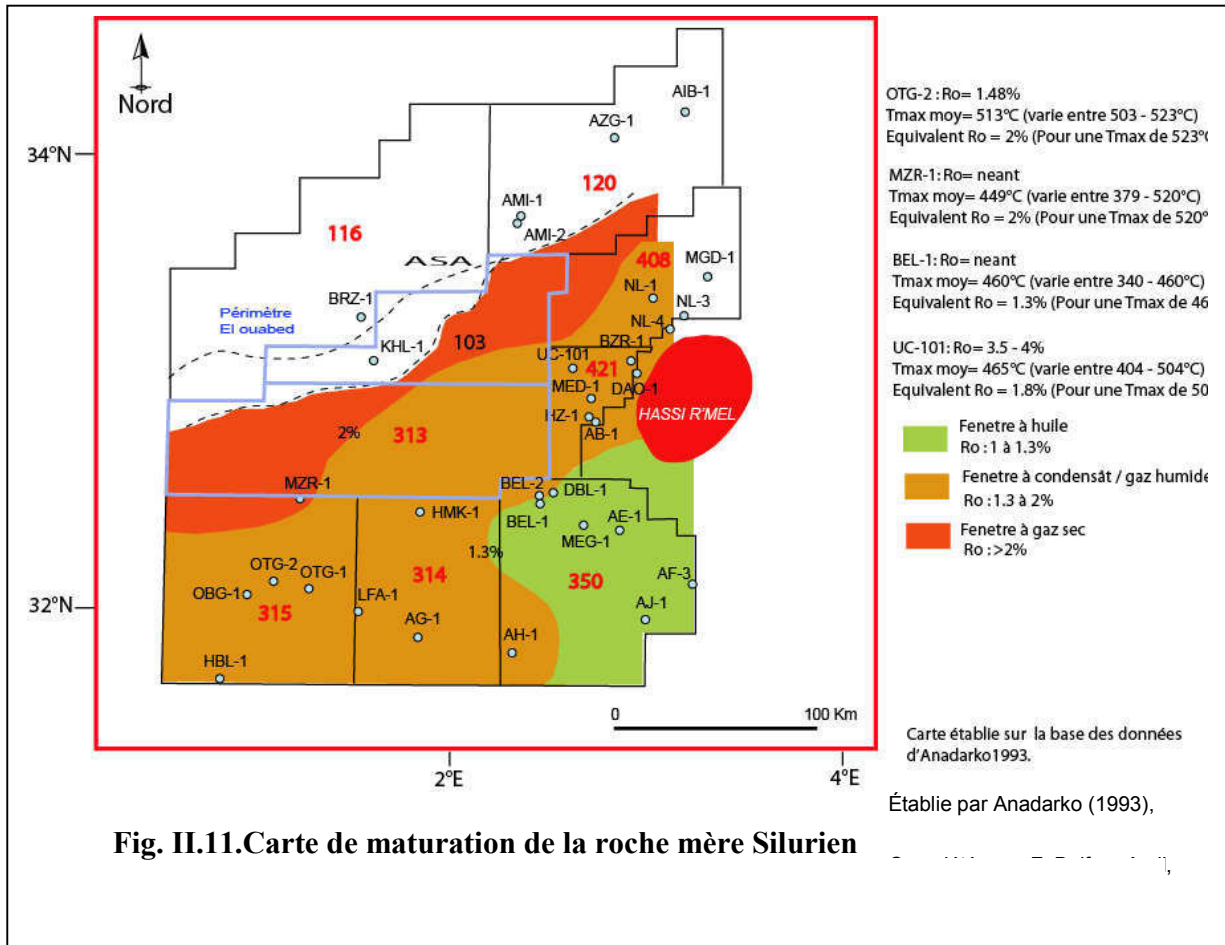


Fig. II.10. Carte de mesures des taux de C.O.T de la roche mère Silurienne (Document SH)

✓ La Maturation du Silurien

La carte de maturation du Silurien établie sur la base des données géochimiques disponibles et par extrapolation (Fig. II.11) montre 03 zones de maturation distinctes, suivant une direction SE-NW allant de la phase à huile au SE vers la phase à gaz au NW en passant

par la phase à condensat au centre. Les réservoirs sont alors alimentés dans le périmètre en gaz ou condensât.



➤ Roche mère du Dévonien

La matière organique contenue dans les niveaux argileux du Dévonien inférieur est généralement faible en C.O.T. le forage MED-1 dans l'intervalle Gédinnien (2632-2760 m) présente des valeurs de COT atteignant 1.12% avec un S1=1.99 mg d'HC/g de roche et PP=5.76 mg d'HC/g de roche.

Au vu de la pauvreté en matière organique, l'état de maturation de ces séries est difficile à évaluer. Cependant la zone de formation d'huile se retrouve à NL-2 et BEL-1 (T°max de pyrolyse de 445 °C et des I.A.T variant de 1.5 à 3). Par contre à MED-1, les T°max sont plus élevés (484°C < T°max < 537° C et l'IAT varie de 3 à 4), correspondant à la zone à huile et Condensât – gaz.

Les argiles du Frasnien, s'étalent sur une épaisseur de 50 à 70m, généralement tronquées par la discordance Hercynienne. Le Puits HBL-1 (Situé au sud du périmètre) a traversé 45 m d'argile gris-noire attribuée au Frasnien, le C.O.T calculé étant supérieur à 6%, le pic S2 moyen est de 4.3 mg d'HC/g de roche. Ces argiles se trouvent le plus souvent à la fin de la fenêtre à huile avec des T°max de 430° à 445°C et un IAT de 3. La matière organique est de type II-III.

➤ **Roche mère du Carbonifère**

Le Carbonifère n'est présent que dans la région de Bordj Nili, où a été traversé par les sondages MGD-1 et NL-1. Les échantillons prélevés et analysés ont montré une faiblesse de la matière organique à NL-1, tandis qu'elle est moyenne à MGD-1 (C.O.T atteint 1.15% entre 3069.20m et 3106.75m). La pyrolyse Rock Eval a montré des paramètres faibles et un état de maturation en phase a condensât – gaz humide (T°max=464°C).

L'étude du kérogène par microscopie optique, montre un palynofaciès, composé de matière organique de type amorphe avec quelques débris ligneux, des cuticules et des spores. L'état de maturation de cet intervalle analysé se trouve entre la fin de la phase à huile à la phase condensât – gaz humide (I.A.T=2.5 à 3).

➤ **Roche mère du Jurassique**

Dans les sondages NL-2, DAS-1, MED-1, MSK-1 et AF-3, quelques échantillons du Malm présentent des valeurs de C.O.T appréciables atteignant 13.98% (NL-2 et MED-1). Dans le forage MSK-1, c'est plutôt le Dogger qui montre les teneurs les plus élevées en C.O.T atteignant 16.84%. Les paramètres de pyrolyse Rock Eval sont élevés avec un PP=20 mg d'HC /g de roche. Les températures maximales de pyrolyse sont faibles (423 °C) pour les échantillons du Malm et les situent en phase d'immaturité.

A MED-1, les séries du Dogger et du Lias montrent un matériel de couleur plus foncé (I.A.T=1.5 à 2.5) ainsi que des températures qui correspondent en phase à huile (435 °C<T°max<446 °C).

V.2. ROCHES RESERVOIRS

Les principaux réservoirs potentiels de la région sont situés dans le Paléozoïque :

➤ **Le réservoir Ordovicien**

Ce réservoir est assez hétérogène, mais la Dalle de M'kratta a révélé de très bon indice notamment la présence d'huile au niveau de la structure de Mammi et de Arich Et Tergui. Ce

réservoir présente des porosités appréciables, mais de faible perméabilité ($\Phi = 1-8\%$ et $k = 0.01$ md). Ces mauvaises propriétés pétrophysiques sont principalement dues à la destruction de la porosité primaire par les transformations diagénétiques, notamment la cimentation siliceuse. Ces propriétés se trouvent améliorées parfois localement, par la présence de la fracturation.

➤ **Le réservoir Dévonien**

Les propriétés réservoirs des grès du Dévonien inférieur sont très variables, oscillant entre 2 et 30 % pour les porosités et 0.1 à 200 md pour les perméabilités. Néanmoins les réservoirs du Gédinnien, Siéginien sont très intéressants en présence de la fracturation. En effet, le Gédinnien a révélé $7.7 \text{ m}^3/\text{h}$ d'huile au niveau du forage MAMI-1 et la présence d'huile dans les forages, MAMI-2, MAME-1 et AET-1.

➤ **Le réservoir Carbonifère**

Les grès et les carbonates du Moscovien qui ont produit de l'huile ($8 \text{ m}^3/\text{h}$) à Nili-2 peuvent être prospectifs au NE (bloc 103) et au SW (bloc 312). Au niveau de NI-2, la porosité est de 20% et la perméabilité de 800mD. Le Viséen qui a été détecté par la sismique, sous forme récifale, peut aussi être prospectif au NE du périmètre.

➤ **Le réservoir Jurassique**

Certains niveaux carbonatés du Lias traversés par les forages avoisinant la région d'étude. Ils ont donné des indices d'hydrocarbures, l'important indice ($5662 \text{ m}^3/\text{h}$ de gaz CH_4) a été rencontré par Ain Mahdi-1 qui est implanté dans l'Atlas Saharien Occidental.

Les dolomies vacuolaires traversées par les forages TAJ-1 et KEB-1 et EKL-1 ont donné des porosités variant de 3 à 25% et des perméabilités de 0,1 à 8900mD.

Le Dogger a donné des indices d'huile à HMK-1 (au Sud du périmètre EL OUABED) et il a été interprété à gaz au niveau du puits EKL-1. Les porosités moyennes sont de 10% et les perméabilités varient de 0,1 à 80 md. Ces indications militent en faveur de l'exploration du Dogger dans la région d'étude.

V.3. ROCHES COUVERTURE

Les couvertures des réservoirs paléozoïques sont assurées par les argiles de l'Ordovicien, du Silurien, du Dévonien et du Carbonifère ainsi que le Trias salifère. Les couvertures des réservoirs mésozoïques sont représentées par les argiles du Lias et du Dogger.

V.4. LES PIEGES

Au niveau de la région d'étude, il existe une variété de pièges qui peuvent être explorés, il s'agit de pièges structuraux simples ou complexes, de pièges mixtes et de pièges lithologiques.

Chapitre III

Etude sédimentologique

L'approche sédimentologique est réalisée dans le but de mieux caractériser les réservoirs et de définir les environnements de dépôt en utilisant la description des carottes des différents puits.

I. Rappels théoriques sur les concepts de la sédimentologie

I.1. Faciès et Eléctrofaciès

- **Faciès** : C'est un ensemble de caractères d'une roche ou d'une unité sédimentaire résultant des conditions géographiques, climatiques, topographiques, physico-chimiques et biologiques (Haug, 1907 in BOUDJEMAA.A, 1987).
- **Eléctrofaciès** : Les diagraphies permettent de mesurer un certain nombre de paramètres physiques des roches dont l'ensemble va constituer (O. Serra) un électrofaciès.

I.2. Texture

Elle désigne les aspects géométriques des constitutifs de la roche, grain ou particules et cristaux. Elle est caractérisée par leur taille, leur forme, leur arrangement et leur classement, ainsi que leur liaison grain-grain, grain-matrice, grain-ciment.

Les propriétés pétrophysiques d'une roche, (perméabilité K, porosité ϕ) dépendent essentiellement de la texture qui joue un rôle prédominant dans les roches sédimentaires.

I.3. Aperçu sur les milieux de dépôts

La compréhension des conditions d'accumulation des sédiments, de la géométrie des corps sédimentaires et des relations spatio-temporelles des différents faciès requiert la connaissance des systèmes de dépôt. Il est donc nécessaire de définir des critères d'identification ; pour cela, on construit des modèles théoriques de dépôt. Ces derniers ont pu être établis grâce à des comparaisons entre dépôts anciens et dépôts actuels (principe de l'actualisme).

Les éléments primordiaux définissant le milieu de dépôt sont : Les structures sédimentaires, la bathymétrie et la granulométrie.

Le milieu de dépôt ayant une importance dans les études de système pétrolier se subdivise en trois domaines :

- Continental
- Côtier
- Marin

Domaine de sédimentation	Environnement	facies	Structure sédimentaire	Type de séquence
Continental	<p>Désertique : -vaste étendue de sable moyen à fin -végétation inexistante -climat aride ou semi – aride</p>	<p>Dépôts éoliens qui sont : -dunes : un ensemble de dunes constitue des ergs. -sebkha : bassin de sédimentation surtout évaporitique</p>	<p>Stratification entrecroisée. Rides</p>	
	<p>Fluviatile : sédiment qui s'accumulent par ruissellement d'eau -système fluvialite entresse : -Zone a gradient topographique important -charge sédimentaire variable. -faible sinuosité majeure -système fluvialite à méandres : -Pourcentage d'argiles plus important. -un seul chenal unique très sinueux</p>	<p>Dépôts de chenaux : se manifestent par des séquences à base érosive. -des dépôts grossiers. Dépôts de barres : forment le sommet des séquences, sable moyen à fin. Dépôts de chenaux : à prédominance sableuse, grossière à la base. -Dépôts fins au sommet. -alternance de sable fin et des argiles à l'extrême sommet avec des traces de racines</p>	<p>-Stratification de type feston. -Stratification oblique Ride et laminations planes -Stratification oblique -Stratification entrecroisée -Laminations parallèles et traces de racines</p>	<p>-Séquence en forme cylindrique à évolution granostratodécroissante -Séquence en forme de cloche à évolution granodécroissante</p>
Domaine mixte	<p>-Delta : c'est une accumulation sédimentaire transportée par les cours d'eau, freinée au contact d'une étendue d'eau (lac, mer, océan). -plaine deltaïque supérieure : Dominée par les fleuves. -plaine deltaïque inférieure : Dans ce domaine les courants des fleuves et les actions des vagues s'affrontent -le front de delta : Se trouve dans la zone</p>	<p>-Dépôts grossiers suivis de dépôts fins. Cordons littoraux, grés très fins -Argile à slumps Grés fins à moyens, dépôts de cordons. -ce sont des dépôts très fins</p>	<p>Stratification oblique et laminations planes. Slumps. Stratification obliques de haute énergie.</p>	<p>-Séquence à base ravinante et à évolution granodécroissante. (Séquence en forme de cloche) C'est une séquence négative (corsening up).</p>

	profonde .caractérisée par des séquences d'énergie et de granulométrie croissante. -le pro-delta : talus deltaïque.			
Marin	Zone néritique : correspond à la zone de la plateforme continentale (entre 0m et 200m de profondeur). -zone supratidale : peut évoluer en lagune de basse énergie. Zone intertidale : souvent immergée, elle est soumise à l'action de la marée. Zone infratidale : immergée en permanence sous l'eau. Zone bathyale : talus +glacis Zone abyssale : zone de basse énergie, froide et calme.	-éléments fins évaporites, dunes aquatiques formées de carbonates. Sous l'effet des tempêtes se forment des brèches d'érosion -des dépôts de haute énergie -boue argileuse ou carbonatée, sédiments carbonatés (mudstone et wakstone formes de bioclastes) -dépôts de type flysch. Deepsea fan de haute énergie. Boue si l'énergie est faible. -boue argileux siliceuse.	-Laminations planes, traces de racines et de dessiccation ainsi que des figures d'émersion. -stratifications entrecroisées, birdeyes, Herringbores et rides de courants -laminations planes. -Laminations planes.	

Tableau. III.1:Les différents milieux de dépôts

I.4. Les structures sédimentaires

Une strate correspond donc à une unité de sédimentation qui s'est déposée sous des conditions physiques relativement stables. Les strates déposées dans des conditions différentes auront des aspects suffisamment contrastés pour pouvoir être identifiées. Les strates ne comportent donc pas de notion d'épaisseur ou de composition.

La mise en place des sédiments s'accompagne de la formation de structures sédimentaires dites primaires, car acquises au moment ou peu de temps après le dépôt et avant la consolidation des sédiments.

Ces structures primaires fournissent des informations précieuses sur les conditions hydrodynamiques du milieu de sédimentation.

➤ Les structures de slump

Le Slump est un glissement de masse de sédiments suivant une pente avec un plan de cisaillement externe. On le reconnaît par des traces des déformations qui s'expriment par des fractures et des plis internes. Ce type de structure définit un milieu de sédimentation rapide, favorisé par une pente, une déformation tectonique ou par une activité sismique. Ces structures de slump dépendent de la cohésion des matériels.

Le Slump ne peut être synonyme directement d'un dépôt marin, il peut aussi s'observer sur les barres de méandres des rivières, de chenaux de marées lorsque leur pente s'accroît ou dans les dépôts fluviaux marins pendant les périodes de gel. Il s'observe également dans les structures éoliennes lorsque le sable est humide.

➤ **Coulée des débris ou débris flow**

Dépôt en masse de débris mélangés avec l'eau et de la boue et qui se caractérise par une absence de texture. Sa base est formée par une figure de charge.

➤ **Les structures liées à l'action des courants**

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

✓ **Stratification horizontale :**

C'est un dépôt qui s'organise en strate horizontale et caractérise un milieu de sédimentation à faible énergie.

✓ **Stratification entrecroisée oblique :**

Ce sont des couches à stratification parallèle avec une forte inclinaison qui est supérieure à 10°. Ces structures sédimentaires sont associées à des dépôts de sédiments moyens à grossiers et caractérisent un environnement de balancement d'alternance de courant faible énergie.

✓ **Stratification entrecroisée en auge :**

Ces structures entrecroisées caractérisent un courant de faible intensité.

✓ **Stratification lenticulaire (lenticular-bedding) :**

Lorsqu'une zone de dépôt est soumise épisodiquement à un courant porteur de sable, les rides peuvent être isolées et former des lentilles sableuses au sein d'un sédiment argileux.

➤ **Stratification ondulées (wavy-bedding) :**

Les stratifications ondulées sont dues aux variations d'énergie, comme lors des crues ou des décrues fluviales ou lors des phases de flot.

II. Description lithologique des carottes du Dévonien inférieur

Pour la description des carottes nous avons choisi cinq puits : MAMI-1, MAMI-2, MAME-1, MAMS-1 et AET-1.

La description des carottes recèle des informations fiables et directes. Elle consiste à décrire toutes les structures visibles à l'œil nu et à la loupe binoculaire.

➤ Puits MAMI-1 :

Le Dévonien inférieur existe entre 2650 m et 3329 m de profondeur. Il est représenté par 3 carottes.

- ✓ Le niveau carotté du Siéginien se trouve entre 3105 et 3121,5 m (carotte# 5) ; il a 16.5m d'épaisseur, et constitue, de bas en haut :

Carotte #5	intervalle 3121.5 m- 3105 m	SIEGINIEN
3121.5 m – 3115.5 m	Argile: sableuse gris noir, avec des passées de grès très fin silteux et micacé. Présence des laminations horizontales et obliques.	
3115.5 m - 3109 m	Grès: grès très fin à fin, argileux, micacé et carbonaté avec des passées d'argile gris. Présence de stratification oblique.	
3109 m –3105 m	Grès: grès fin à moyen, silteux, carbonaté, moyennement à bien consolidé avec stratification horizontale et oblique.	

- ✓ Dans l'Emsien on a deux niveaux carottés ; ils constituent, de bas en haut :
Le premier niveau se trouve entre 2822,5 et 2840,5 m (carotte# 4) et a 18 m d'épaisseur.
Le deuxième niveau se trouve entre 2725 et 2731 m (carotte#3) ; il a 6 m d'épaisseur.

Carotte # 4	Intervalle 2840.5 m- 2822.5 m	EMSIEN
2840.5 m – 2836 m	Argile : grise à gris foncé, indurée, silteuse à très silteuse voire siltstone par endroits, fortement micacée, avec nodules et fines passées de Grès gris-blanc à blanc, fin à moyen, parfois très fin, siliceux à silico-carbonaté, moyennement dur à dur,	
2836 m – 2829 m	Alternance : très fine de Grès gris-blanc à blanc, fin à moyen, parfois très fin, siliceux à silico-carbonaté, moyennement dur à dur, micacé, et de siltstone gris, argileux, dur, micacé.	
2829 m – 2822.5 m	Grès :gris-blanc à blanc, fin à moyen, parfois très fin, siliceux à silico-carbonaté, moyennement dur à dur, micacé, à porosité faible à moyenne, présentant des spots de fluorescence directe jaune pâle au sommet, avec des veinules et très fines passées de siltstone gris, argileux, dur, micacé.	

Carotte # 3	Intervalle 2731 m- 2725 m	EMSIEN
2731 m – 2725 m	Siltstone : gris à gris-sombre, argileux à grains de Quartz, induré, très micacé, avec passées centimétriques à décimétrique nodules et filonets de Grès gris blanc, très fin, compact, dur, siliceux, subanguleux, micacé, pyriteux par endroits, rares fissures obliques à remplissage siliceux.	

➤ **Puits MAMI-2 :**

Le Dévonien inférieur se trouve entre (2787-3408 m), et carottée au niveau de l'Emsien, Siégénien et Gédinnien (4 carottes).

- ✓ La carotte #5 au niveau de Gédinnien se trouve entre (3353-3335 m) ; il a 18 m d'épaisseur et constitue, de bas en haut :

Carotte # 5	Intervalle 3353 m- 3335 m	GEDINNIEN
3353 m – 3335 m	<p>Grès : gris blanc à blanc, gris sombre très fin à fin, micacé, subarrondi à subanguleux, siliceux à silico-argileux, friable à moyennement dur avec passées centimétriques et millimétriques d'argile grise à gris foncé, tendre à indurée, silteuse.</p>	

- ✓ Le niveau carotté de Siéginien se trouve entre (3101-3116 m ; carotte#3) ; il a 15 m d'épaisseur, et constitue, de bas en haut :

Carotte # 3	Intervalle 3116 m- 3101 m	SIEGINIEN
3116 m – 3112 m	<p>Argile : grise à gris foncé, tendre à indurée, silteuse, rarement micacée avec passées centimétriques de grès gris blanc à blanc, très fin à fin, siliceux à silico-argileux, friable, avec présence de bioturbation et stratification oblique.</p>	
3112 m – 3108.5 m	<p>Grès : gris blanc à blanc, très fin à fin, micacé, subarrondi à subanguleux, siliceux à silico-argileux, friable à moyennement dur avec passées centimétriques et millimétriques d'argile grise à gris foncé, tendre à indurée, présence de bioturbation.</p>	
3108.5 m – 3101 m	<p>Argile : grise à gris foncé, silteuse, tendre à indurée, avec passées centimétriques de grès gris blanc à blanc, gris clair, gris sombre, très fin à fin, subarrondi à subanguleux, siliceux à silico-argileux, friable, avec lamination horizontale.</p>	

- ✓ Dans l'Emsien on a deux carottes (carotte #1 : 2832-2841 m ; il a 9 m d'épaisseur et carotte# 2 : 2857-2875 m ; il a 9 m d'épaisseur) et elles constituent, de bas en haut :

Carotte # 2	Intervalle 2875 m- 2857 m	EMSIEN
2875 m – 2857 m	<p>Intercalations : de grès gris blanc à blanc gris clair, gris sombre moucheté, beige, très fin à fin, subarrondi à subanguleux, siliceux à silico-argileux, micacé, friable et d'argile gris vert à verdâtre, silteuse, tendre à indurée.</p>	
Carotte # 1 2841 m – 2832 m	<p>Intercalation : d'argile gris vert à verdâtre, tendre à indurée, fortement silteuse, micacée et de grès gris blanc à gris clair, rarement gris vert, très fin à fin, subarrondi à subanguleux, siliceux à silico-argileux, friable, présence films d'argile gris vert à verdâtre, tendre à indurée, fortement silteuse.</p> <p>Stratification horizontale et oblique, avec bioturbation.</p>	

➤ **Puits MAMS-1 :**

Le Dévonien inférieur se trouve entre (2680-3304 m), et carottée au niveau de Siéginnien et Gédinnien ;

- ✓ Les niveaux carottés du Gédinnien se trouvent entre (3223-3241 m ; carotte #3 ; 18 m d'épaisseur et 3275-3293 m ; carotte #4 ; Il a 18 m d'épaisseur), et constituent, de bas en haut :

Carotte # 4	Intervalle 3293 m- 3275 m	GEDINNIEN
3293 m – 3279 m	<p>Grès : gris brun, gris sombre, fin à très fin, bien classé, siliceux, moyennement consolidé à friable, micacé, localement fortement micacé, avec des passées de films d'argile grise à gris foncé, indurée, silteuse, micacée, feuilletée.</p>	
3279 m – 3275.6 m	<p>Argile : grise à gris foncé, indurée, silteuse, micacée, feuilletée, localement fossilifère.</p>	
3275.6 m – 3275 m	<p>Grès : gris blanc à gris clair, fin à très fin, bien classé, siliceux, moyennement à bien consolidé, dur, micacé.</p>	

Carotte # 3	Intervalle 3241 m- 3223 m	GEDINNIEN
3241 m – 3235.7 m	<p>Complexe : argilo-gréseux, composé d'argile gris foncé à gris noir, indurée, silteuse, micacé, feuilletée, localement fossilifère et de fines intercalations centimétriques de grès gris blanc à blanc, gris sombre, très fin, siliceux à silico-argileux, moyennement à bien consolidé, dur, finement micacé.</p> <p>Grès : gris blanc à gris clair, fin à très fin, bien classé, siliceux, moyennement à bien consolidé, dur, micacé localement fortement micacé avec des fines passées d'argile gris foncé à noir, indurée, micacée silteuse.</p>	
3235.7 m – 3223 m		

- ✓ Les niveaux carottés du Siéginien se trouvent entre (3113-3131 m ; carotte #1) et (3156-3174 m ; carotte# 2) ; ils ont 18 m d'épaisseur et constituent, de bas en haut :

Carotte # 2	Intervalle 3174 m – 3156 m	SIEGINIEN
3173.5 m – 3172.5 m	<p>Grès : gris blanc à gris beige, fin à très fin, bien classé, siliceux, moyennement à bien consolidé, finement micacé.</p> <p>Complexe : argilo-gréseux composé d'argile grise à gris noir, indurée, silteuse, micacé, feuilletée, localement fossilifère, traces de pyrite et de fines intercalations centimétriques de grès gris blanc, gris sombre, très fin, siliceux à silico-argileux, moyennement à bien consolidé, finement micacé.</p> <p>Grès : gris blanc, très fin, bien classé, siliceux, moyennement à bien consolidé, finement micacée.</p>	
3172.5 m – 3157 m		
3175 m -3165 m		

Carotte # 1	Intervalle 3131 m – 3113 m	SIEGINIEN
3131 m – 3124 m	<p>Argile : grise à gris noir, indurée, silteuse, finement micacée.</p> <p>Complexe : argilo-gréseux, composé de fines intercalations centimétriques de grès gris blanc à blanc, gris sombre, très fin, siliceux à silico-argileux, parfois silico-carbonaté, moyennement à bien consolidé, micacé et d'argile grise à gris noir, indurée,</p>	
3124 m – 3113 m		

➤ **Puits MAME-1 :**

Le Dévonien inférieur se trouve entre (2689m-3321 m) ; il est carotté au niveau de Gédinnien, Siégienien et Emsien ;

- ✓ Dans le Gédinnien, la carotte#10 se trouve entre (3286 m-3287 m). Elle a 1 m d'épaisseur et constitue, de bas en haut :

Carotte # 10	Intervalle 3287 m – 3286 m	GEDINNIEN
3286 m – 3287 m	Grès : fin à moyen de couleur gris brun quartzitique à ciment essentiellement siliceux et parfois argilo carbonaté. Présence de micas et quelques films d'argile.	

- Les niveaux carottés du Siégienien se trouvent entre (3020m-3038 m ; carotte #5, 3127 m-3145 m ; carotte#6, 3163 m-3177 m ; carotte#7, 3194 m-3212 m ; carotte#8 et 3212 m-3226m ; carotte#9). Ils ont 18 m d'épaisseur et constituent, de bas en haut :

Carotte # 9	Intervalle 3226 m- 3212 m	SIEGINIEN
3226 m – 3218 m	Argile : grise noire, légèrement silteuse, carbonatée par endroits, compacte, massive, localement micacée, à quelques fines passées millimétriques de silt gris verdâtre.	
3218 m – 3212 m	Grès : gris beige, fin, bien classé, moyennement consolidé à ciment essentiellement siliceux, avec passées centimétriques d'argile noire.	

Carotte # 8	Intervalle 3212 m- 3194 m	SIEGINIEN
3212 m – 3204 m	Grès : gris beige, fin, bien classé, moyennement consolidé à ciment essentiellement siliceux, parfois argileux, à quelques rares passées millimétriques d'argile noire.	
3204 m – 3202 m	Alternance non régulière : (plus de grès que d'argile) de grès fin à très fin, dur, moyennement consolidé avec des porosités visuelles faible à moyennes et d'argile noire compacte dure et quelques passées et de silts gris verdâtre en forme de lentilles.	
3202 m-3199 m	Argile : gris noir, légèrement silteux, carbonatée par endroits, compacte, massive, localement micacée, à quelques fines passées millimétriques de silt gris verdâtre.	
3199 m-3194 m	Alternance : de silt gris verdâtre à beige et d'argile gris noir, finement silteuse, feuilletée, compactée, dessinant souvent une stratification horizontale.	

Carotte # 7	Intervalle 3177 m- 3163 m	SIEGINIEN
3177 m – 3164 m	Argile : grise noire, indurée, feuilletée, parfoissilteuse, à quelques intercalations millimétriques à centimétriques de silt gris verdâtre.	
3164 m – 3163 m	Grès : fin à très fin passant beige parfois blanc, localement silstone à passées d'argile gris noir.	

Carotte # 6	Intervalle 3145m- 3127m	SIEGINIEN
3145 m – 3136.93 m	Alternance : d'argile compacte, gris foncé à noire, légèrement silteuse à quelques lentilles de silts vert formant des passées mm discontinues, et de grès fin à très fin beige parfois verdâtre et à stratifications obliques.	
3136.93 m -3133.75 m	Alternance non régulière : (plus de grès que complexe) de Grès gris beige fin à très fin, quartzitique, bien classé à ciment essentiellement siliceux. Présence de films d'argile noire et de complexe argilo silteux gris verdâtre : il s'agit d'une alternance	

3133.75 m-3127 m	d'argile gris noir feuilletée compacte et de silts gris verdâtre. Argile : gris noir parfois verdâtre, silteuse à quelques passées mm à cm de silts verdâtre et quelque fissures à remplissage siliceux.
------------------	--

Carotte # 5	Intervalle 3038m- 3020m	SIEGINIEN
3038 m – 3036 m	Complexe : argilo silteux, C'est une alternance de silt vert et d'argile dessinant des stratifications horizontales et parfois ondulées.	
3036 m – 3034 m	Alternances : d'argile gris foncé à noire légèrement silteuse et de grès fin à très fin.	
3034 m – 3020 m	Grès : fin, gris beige localement verdâtre, quartzitique, bien classé, consolidé et à ciment essentiellement siliceux et accessoirement argileux. Ces grès comportent des films d'argile noire soulignant le plus souvent les stratifications obliques et parfois ondulées.	

➤ **Puits AET-1 :**

Le Dévonien inférieur existe entre 2643 m et 3240.5 m de profondeurs. Il est représenté par 4 carottes.

- ✓ Le niveau carotté du Gédinnien se trouve entre 3234 m et 3252 m (carotte# 4) ; il a 18 m d'épaisseur et constitue, de bas en haut :

Carotte # 4	Intervalle 3252 m- 3234 m	GEDINNIEN
3240.5 m – 3235.35 m	Argile : noire charbonneuse, indurée, silteusemicacée avec abondance de nodules cm de silstone.	
3235.35 m – 3234 m	Silstone : gris vert, très dur avec inclusion de Pyrite et empreintes de fossiles (bivalves et gastéropodes).	

- Les niveaux carottés du Siégénien se trouvent entre 3036 m -3054 m (carotte# 2) ; et 3112 m-3130 m (carotte#3) ; ils ont 18 m d'épaisseur et constituent, de bas en haut :

Carotte #3	Intervalle 3130 m- 3112 m	SIEGINIEN
3130m – 3125 m	Grès : blanc à beige, localement gris verdâtre, fin, siliceux à silico-carbonaté, consolidé avec des passées cm d'Argile gris foncé, indurée, silteuse, micacée. Présences de miroirs de friction et des empreintes de fossiles.	
3125 m – 3112 m	Argile : grise à gris foncé, indurée, très silteuse, micacée passant par intervalles à des silstones gris sombre, dur avec quelques passées cm de Grès gris clair, fin à très fin, silico-argileux.	

Carotte #2	Intervalle 3054 m- 3036 m	SIEGINIEN
3054 m – 3044 m	Argile : grise à gris foncé, indurée, silteuse, avec passées de Grès blanc à beige, fin à très fin argileux carbonaté, moyennement consolidé.	
3044 m – 3036 m	Grès : blanc à beige, fin à rarement moyen, subarrondi, silico-argileux, moyennement consolidé.	

- Le niveau carotté de l'Emsien se trouve entre 2740 m et 2758 m (carotte#1) ; il a 18 m d'épaisseur et constitue, de bas en haut :

Carotte #1	Intervalle 2758 m- 2740 m	EMSIEN
2758 m – 2740 m	Argile : grise à gris foncé, indurée, silteuse à silto-gréseuse, micacée, pyriteuse par endroit, passant parfois à des silstones gris sombres très durs, avec des passées millimétriques à centimétriques de grès gris clair à blanc, fin à très fin, argileux à silico-argileux, compact dur.	

III. Interprétation des facies du Dévonien inférieur

Les dépôts du Dévonien inférieur du sillon de Benoud dans le puits que nous avons décrit montrent un Gédinnien à dominance gréseux, par contre un Siéginien relativement argileux à argilo-gréseux. L'Emsien, débute par des niveaux gréseux.

L'enchaînement des faciès nous permet d'individualiser 5 associations de faciès. Les structures sédimentaires observées permettent de définir les environnements de dépôt qui sont généralement marins détritiques.

➤ **Faciès 1 : Argile-silteuse avec des passées de grès très fin**

Ce faciès est présent dans deux puits (MAMI-1, MAMI-2). Il correspond à l'Argile grise à gris foncé, silteuse voir siltstone par endroits, avec passées centimétriques de grès, gris sombre, très fin à fin, subarrondi à subanguleux, siliceux à silico-carbonaté, friable, moyennement dur à dur, micacé. Les structures sédimentaires les plus dominantes sont : les stratifications obliques, les slumps et des laminations obliques et horizontales. La bioturbation est faible dans les argiles.

Ce faciès est déposé dans l'environnement **OFF-SHORE** notamment au Siégienien.

➤ **Faciès 2 : Argile-silteuse avec des fines passées et lentilles de silt**

Ce faciès est composé d'une argile noire, silteuse, compacte et massive avec des fines passées (millimétriques à centimétriques) et des lentilles de silt. La bioturbation est faible dans les argiles et abondante dans les lentilles de silt.

Ce faciès à prédominance argileuse est attribué à l'environnement **OFFSHOERE** ou il s'est déposé sous le niveau de base des vagues de beaux temps et même possible, au-dessus du niveau de base des vagues de tempêtes quand la sédimentation s'effectue essentiellement en suspension. Les bases abruptes des lentilles de silt sont liées aux événements de tempêtes.

➤ **Faciès 3 : Grès fin à très fin à stratification horizontale à oblique**

Il s'agit de grès fins, blanc à beige, quartzitique à ciment essentiellement siliceux et parfois argileux bien classés avec passées centimétriques d'argile noire. Les stratifications horizontales et obliques sont présentes dans ces dépôts. La bioturbation est faible.

Ce faciès est interprété comme étant déposé dans un milieu marin peu profond dans des conditions de **MIDDLE SHOREFACE** à **UPPER SHOREFACE** sous dominance des tempêtes à cause de la présence de fines passées d'argile entre les bancs de grès et l'existence des structures sédimentaires (stratifications obliques et horizontales et la bioturbation).

➤ **Faciès 4 : Intercalations grès, silt et argile**

Ce faciès est représenté par un faciès hétérolitique. Ce dernier correspond à une alternance de grès beige fin à très fin bien classé et d'argile noire, silteuse, feuilletée, compacte et dure

et de silt verdâtre rarement en forme de lentille. Les stratifications horizontales et obliques sont observées, la bioturbation est faible.

Ce faciès indique un environnement **LOWER SHOREFACE** à **MIDDLE SHOREFACE**.

➤ **Faciès 5 : complexe argilo-gréseux à stratification horizontale et ondulée**

C'est un faciès argilo-gréseux composé de fines intercalations, centimétriques de grès gris sombre, très fin, moyennement à bien consolidé, micacé et d'argile noire, indurée, silteuse, finement micacée. Ce faciès montre une diversité dans les structures sédimentaires d'où les stratifications horizontales et parfois ondulées sont dominantes.

Ce faciès s'est probablement déposé en **LOWER SHOREFACE** à cause de la dominance de la granulométrie fine, les bancs de grès qui sont relativement fins (décimétriques et centimétriques).

❖ **Lithofaciès et structures sédimentaires recensées dans la région d'étude :**



Oblique Laminations in Sandstone



Bioturbation in Sandstone

Puits MAMI-1 (3112.5 m)



slumps

Puits MAMI-1(3115 m)



Cross-bedding Bioturbation in Siltstone

Puits MAME-1(3026 m) Puits MAMI-2(3112 m)



Massive, beige Sandstone

Puits MAME-1(3218 m)



Sequence deposit (fining up) Horizontal stratifications

Puits MAME-1(3036 m) Puits MAME-1(3207.3 m)



IV. Interprétation des cartes en iso-valeurs

IV.1. La carte en isobathes au toit de l'Emsien (fig. III.1)

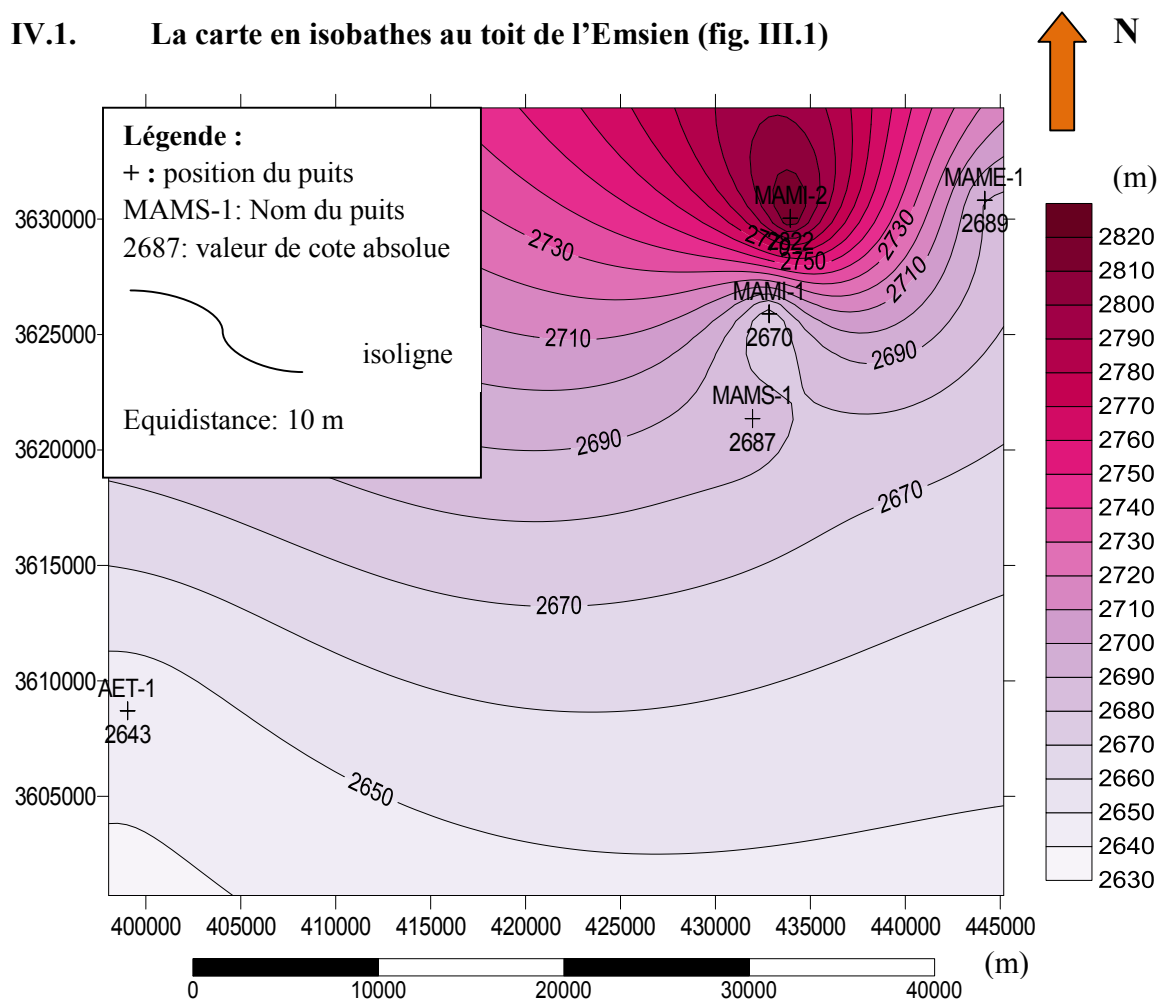


Fig. III.1. Carte en isobathes au toit de l'Emsien

➤ Interprétation de la carte en isobathes au toit de l'Emsien

Cette carte montre un approfondissement vers le Nord-Est avec une pente irrégulière vers le Nord-Est où la valeur la plus profonde se trouve au niveau du puits MAMI-2 qui égale 2077 m. Alors que la valeur minimale se situe au niveau du puits AET-1 avec une profondeur de 2643 m dans la partie Sud-Ouest. L'ensemble indique une orientation moyenne Sud-Ouest vers Nord-Est. Les profondeurs du toit de l'Emsien ne sont pas les mêmes dans tous les puits, cela est la structuration de la région en blocs.

IV.2. La carte en isobathes au toit du Siégénien (Fig. III.2)

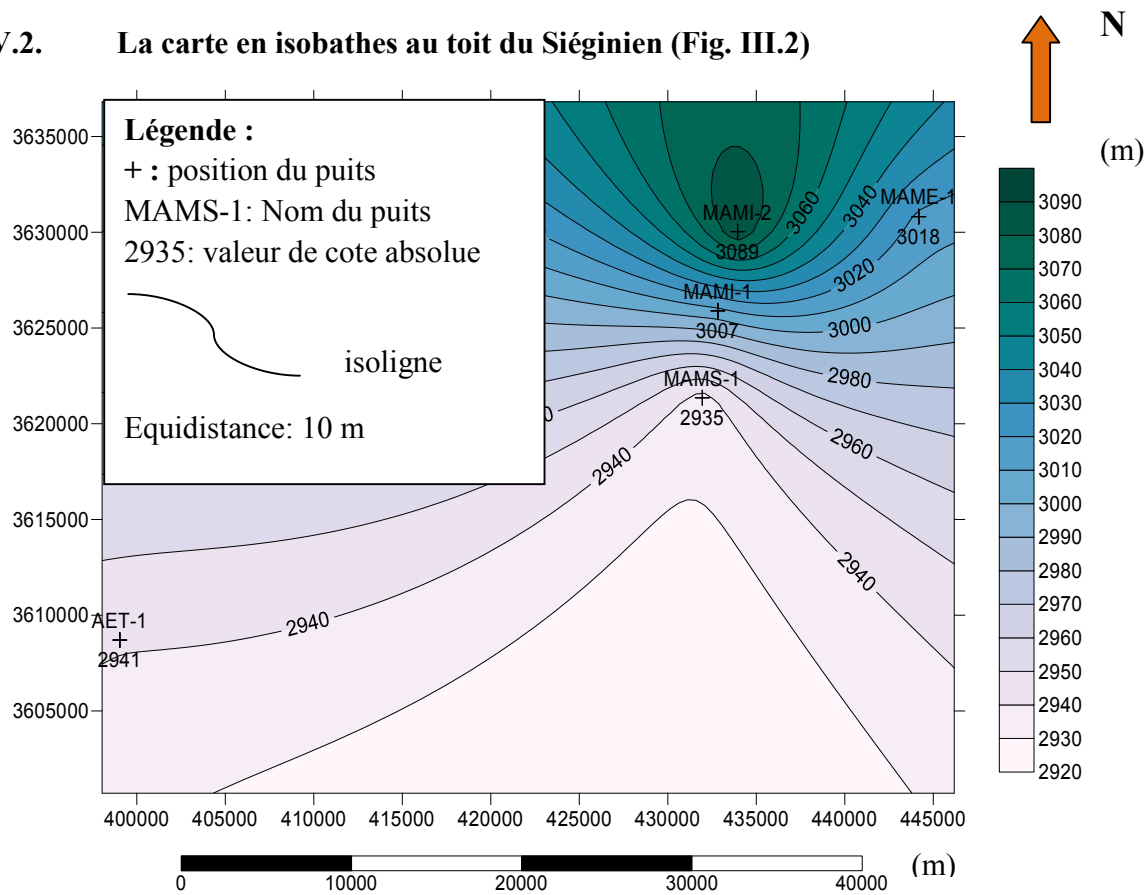


Fig.III. 2.Carte en isobathes au toit du Siégénien

➤ Interprétation de la carte en isobathes au toit du Siégénien

La carte nous montre que l'approfondissement s'effectue en allant vers le Nord-Est où se trouve le puits MAMI-2 avec une profondeur de 3089 m. Le profondeur minimale se trouve au niveau du puits MAMS-1 d'une valeur 2935 m dans la partie Est.

Les profondeurs du toit de Siégénien ne sont pas les mêmes dans tous les puits, cela est dû à la structuration de la région en blocs.

IV.3. La carte en isobathe au toit du Gédinnien

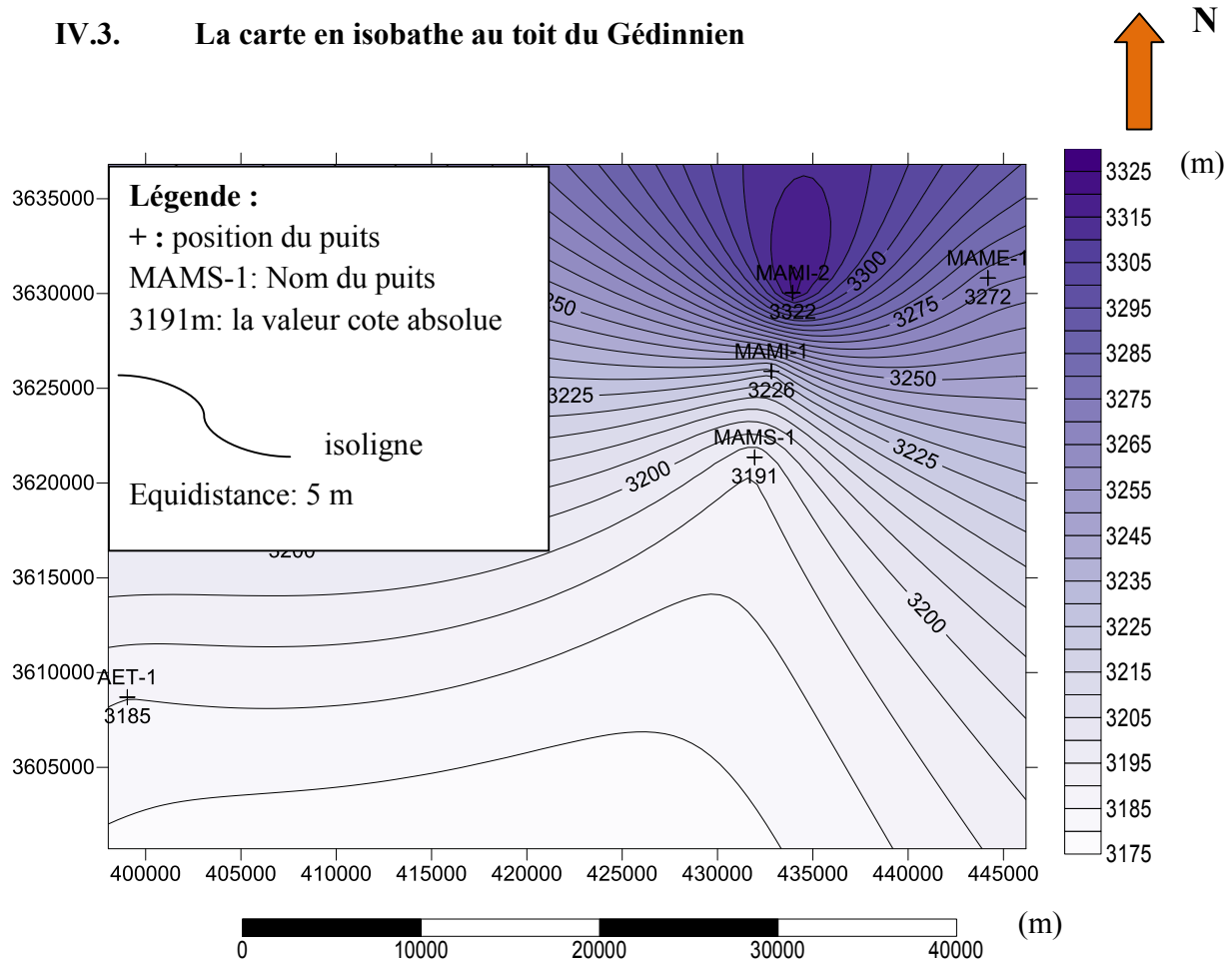


Fig.III.3.Carte en isobathes au toit du Gédinnien

➤ Interprétation de la carte en isobathes au toit du Gédinnien

Cette figure montre que l'approfondissement varie du Nord-Est vers Sud-Est. Au niveau du puits MAMI-2 se trouve la valeur maximale de la profondeur 3322 m dans le Nord-Est. Au niveau du puits AET-1 dans le Sud-Ouest on a la valeur minimale de la profondeur 3185 m. Les profondeurs du toit de Gédinnien ne sont pas les mêmes dans tous les puits, cela est dû à la structuration de la région en blocs.

IV.4. La carte en isopaques de l'Emsien (Fig.III.4)

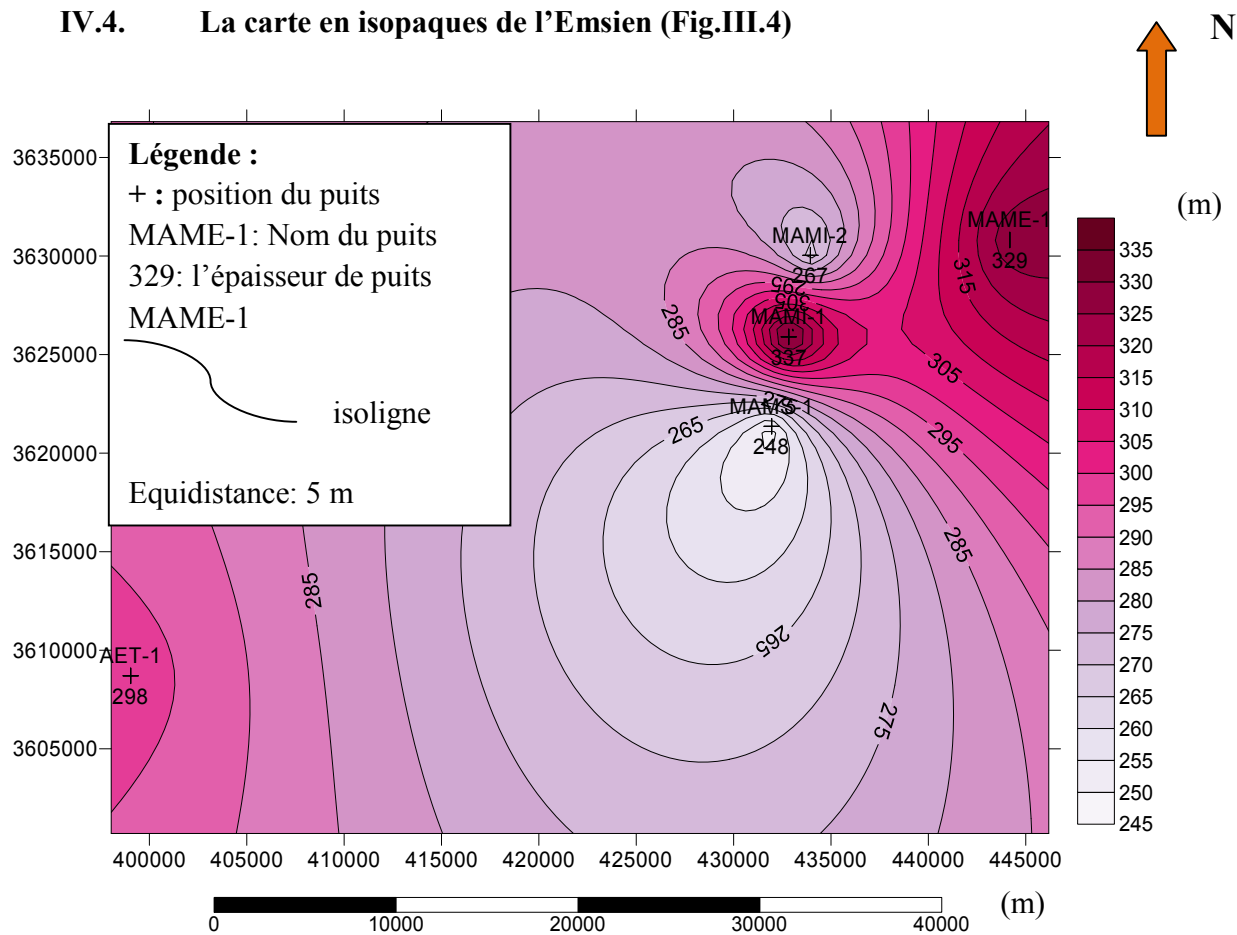


Fig. III.4. Carte en isopaques de l'Emsien

➤ Interprétation de la carte en isopaques d'Emsien

La carte nous montre un gradient d'épaissement orienté du Nord-Est vers le Sud-Ouest ou l'épaisseur est maximum 329 m au niveau du puits MAME-1, tandis que la valeur minimale de l'épaisseur se trouve au niveau du puits MAMS-1 qu'égal 248 m. les grandes épaisseurs correspondent aux zones basses lors du dépôts, alors la carte montre une structure en Horst et Graben.

IV.5. La carte en isopaques du Siéginien (Fig. III.5)

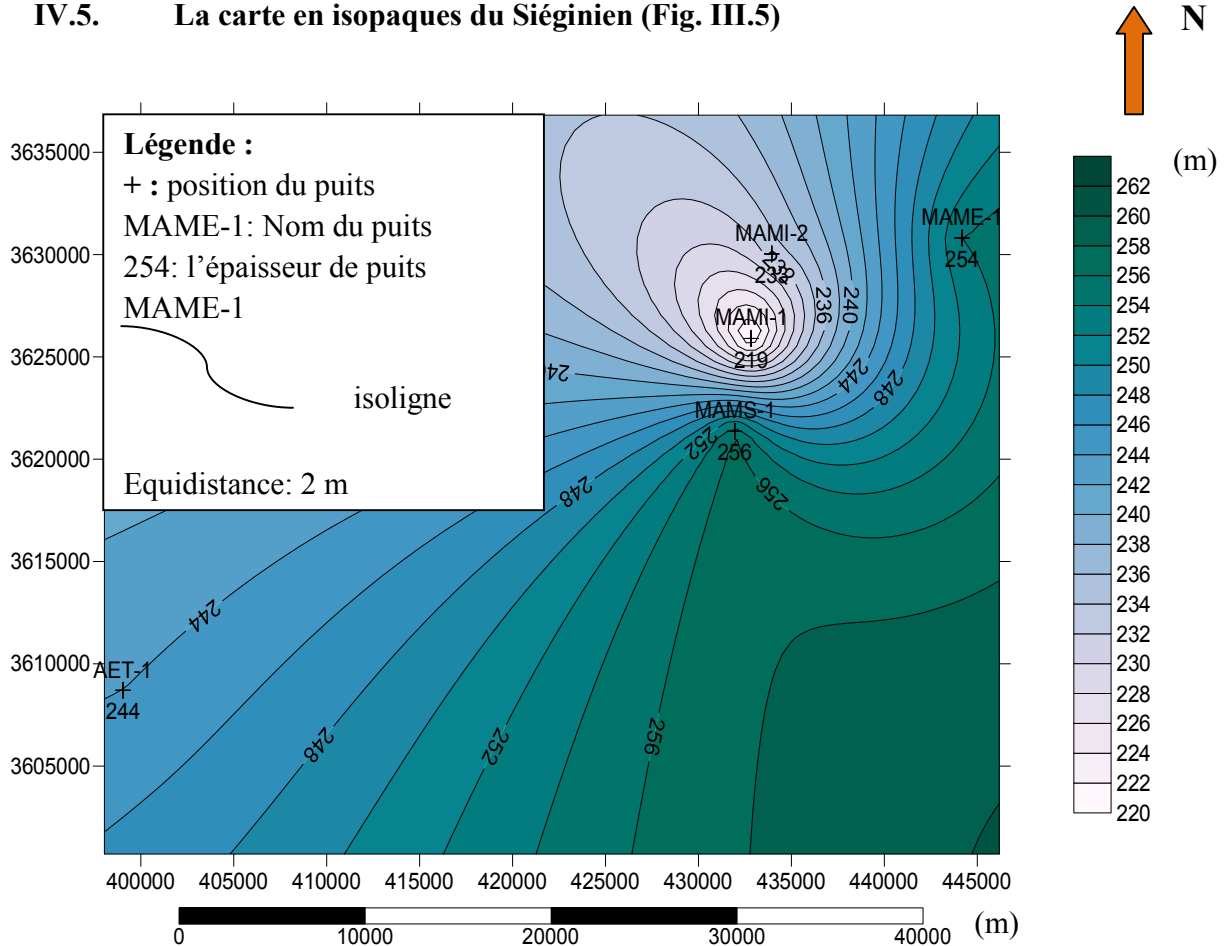


Fig. III.5. Carte en isopaques du Siéginien

➤ Interprétation de la carte en isopaques du Siéginien

La carte montre que l'épaisseur maximale se trouve au niveau du puits MAMS-1 d'une valeur égale à 256 m situé dans la partie Est de la carte. Par contre, l'épaisseur minimale se trouve au niveau du puits MAMI-1 qu'égal 219m situé dans la partie Nord-Est donc l'orientation de l'épaississement varie du Nord-Ouest jusqu'au Sud-Est. Les grandes épaisseurs correspondent aux zones basses lors des dépôts. La structure de la région est en Horst et Graben.

IV.6. La carte en isopaques du Gédinnien (Fig.III.6)

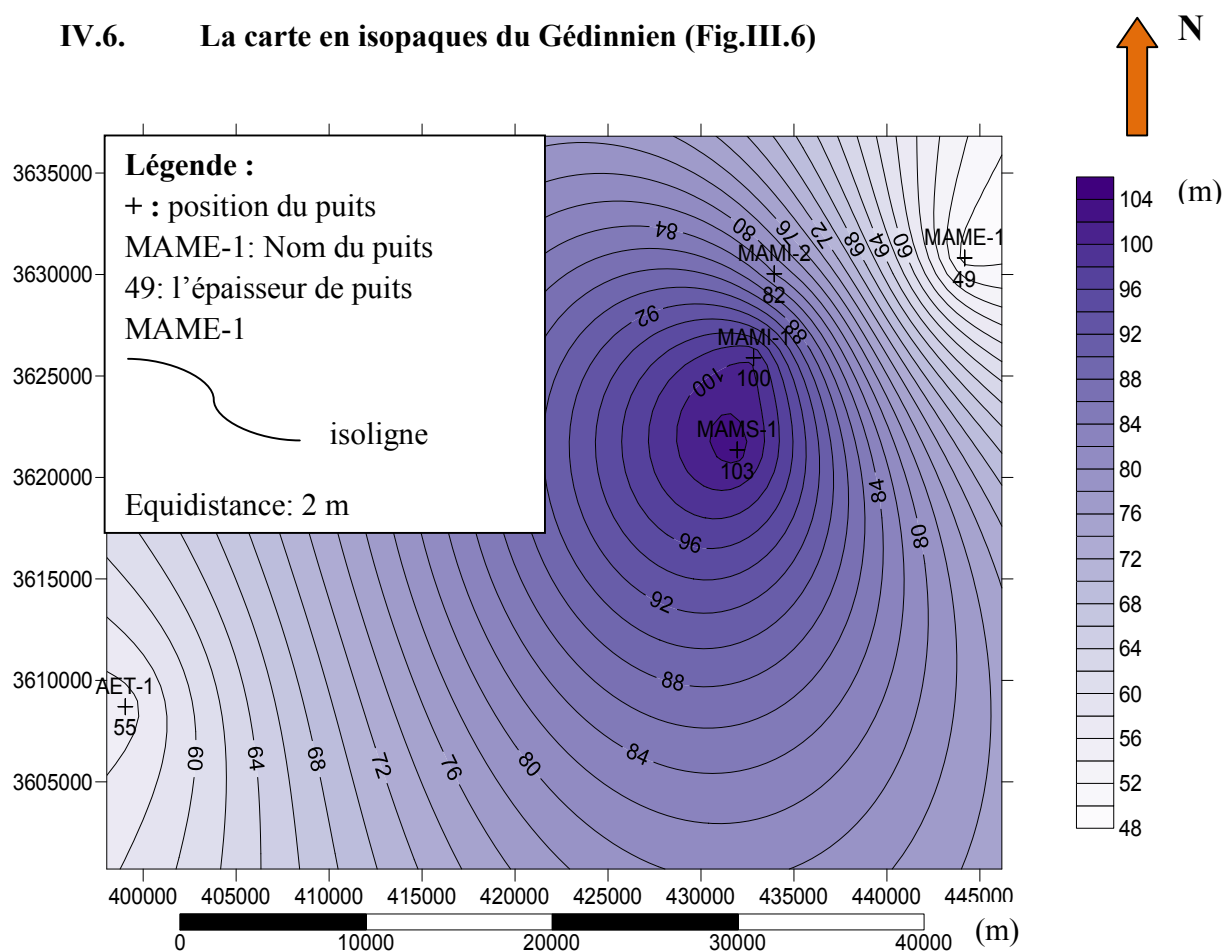


Fig. III.6. Carte en isopaques du Gédinnien

➤ Interprétation de la carte en isopaques du Gédinnien

D'après cette carte, le gradient d'épaissement du Gédinnien est orienté Sud-Ouest ou la valeur minimale se trouve au niveau du puits AET-1 qu'égal 55 m en suite augmente vers le Nord-Est jusqu'au puits MAMS-1 avec une épaisseur de 103 m.

Les grandes épaisseurs correspondent aux zones basses lors du dépôts (structure Horst et Graben).

V. Conclusion

L'étude sédimentologique du Dévonien inférieur à travers les puits forés dans la région EL Ouabed Ouest Hassi R'mel a permis de cerner certains aspects de la sédimentation afin de définir son milieu de dépôt.

La sédimentation est essentiellement marin détritique, cinq lithofaciés ont été déterminé :

- 1) Argile silteuse avec des passées de grès très fin
- 2) Argile silteuse avec des fines passées et lentilles de silt
- 3) Grès fin à très fin à stratification horizontale à oblique
- 4) Intercalations grès, silt et argile
- 5) Complexe argilo-gréseux à stratification horizontale et ondulée

L'environnement de dépôt a été interprété comme étant un OFF-SHORE, de Lower, Middle à Upper Shoreface, dominé par les courants de tempête.

Au cours du Dévonien inférieur, les grès du Gédinnien et Emsien sont très fins à fins, passant à des silstones, carbonatés, siliceux et argileux au Siégenien.

Les cartes en isobathes et en isopaque montre que la région de MAMI est structurée en horst et graben ce qui a permis le développement des zones plus épaisses et profondes que d'autres.

Chapitre IV

Stratigraphie séquentielle

La stratigraphie est l'étude des relations des roches dans un cadre chrono stratigraphique, constituées de strates répétitives génétiquement liées, limitées par des surface d'érosion, de non dépôt ou par leurs continuité en concordance (Posamentier et al, 1988).

L'objectif de la stratigraphie séquentielle est de définir des unités sédimentaires, limitées par des surfaces à valeur temporelle correspondant à des périodes particulières de variation du niveau marin relatif.

I. Séquence génétique de dépôts

La séquence de dépôt, définie par MITCHOUM et al (1971) est une unité stratigraphique constituée d'une succession relativement continue de strates génétiquement liées, limitées à la base et au sommet par des discontinuités ou leurs continuités en concordance. La notion de séquence de dépôt est donc avant tout un concept géométrique (organisation spatio-temporelle des couches).

I.1. Paraséquence

Une paraséquence est une unité de bancs successifs cohérents entre eux, issus d'une même dynamique d'installation, définie entre deux surfaces de première inondation ou surfaces de transgression. Il peut s'agir de surface d'aggradation, de rétrogradation ou de progradation en fonction de la charge sédimentaire et des variations du niveau de base. Définis par (VERA, 1994), les cortèges sédimentaires (System tracts) regroupent, sous un même nom, un ensemble de systèmes de dépôts contemporains et déposés dans des conditions de niveau de base identiques.

Les modèles de cortèges sédimentaires sont établis en fonction de leur caractère transgressif rétrogradant (CT cortège transgressif ou TST transgressive system tract), régressif progradant (PBN prisme de bas niveau ou LST, lowstand system tract), transgressif aggradant ou progradant (PHN prisme de haut niveau ou HST, highstand system tract).

I.2. La notion d'accommodation

C'est la totalité de l'espace disponible pour le dépôt des sédiments.

L'espace d'accommodation varie dans le temps et l'espace selon trois facteurs :

- les apports sédimentaires (détritiques ou de précipitation),
- la tectonique (subsidence ou élévation du fond) et
- l'eustatisme (variation du niveau marin par).

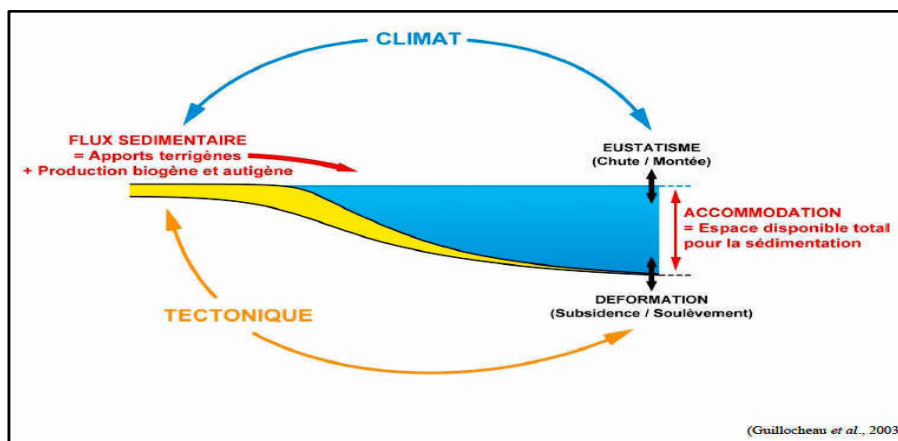


Fig. IV.1. Contrôles allogénétiques de l'enregistrement sédimentaire (Guillocheau et al.)

I.3. Les ordres des séquences

La tectonique et l'eustatisme présentent chacun plusieurs ordres de variation d'amplitude et de durées variables. Du fait que la variation du niveau de la mer résulte du jeu combiné de ces deux paramètres, il existe plusieurs ordres de séquences de dépôt.

Suivant "l'École EXXON", il est classiquement défini six ordres de dépôt en fonction de la durée qu'ils représentent :

ordre	durée
1er ordre	>50 Ma
2e ordre	3 à 50 Ma
3e ordre	0,5 à 3 Ma
4e ordre	0,08 à 0,5 Ma
5e ordre	0,03 à 0,08 Ma
6e ordre	0,01 à 0,03 Ma

I.4. Concept de séquence

I.4.1. Définition de séquence

Selon GALLOWAY (1988), la séquence est un ensemble de lithofaciès génétiquement liés, se succédant dans l'espace et dans le temps pendant un cycle élémentaire complet de la variation des niveaux marins relatifs. Elle est délimitée par deux surfaces d'inondation maximales (SIM) ou (MFS). En domaine de plateforme, cette séquence est composée par un cortège progradant et un cortège rétrogradant.

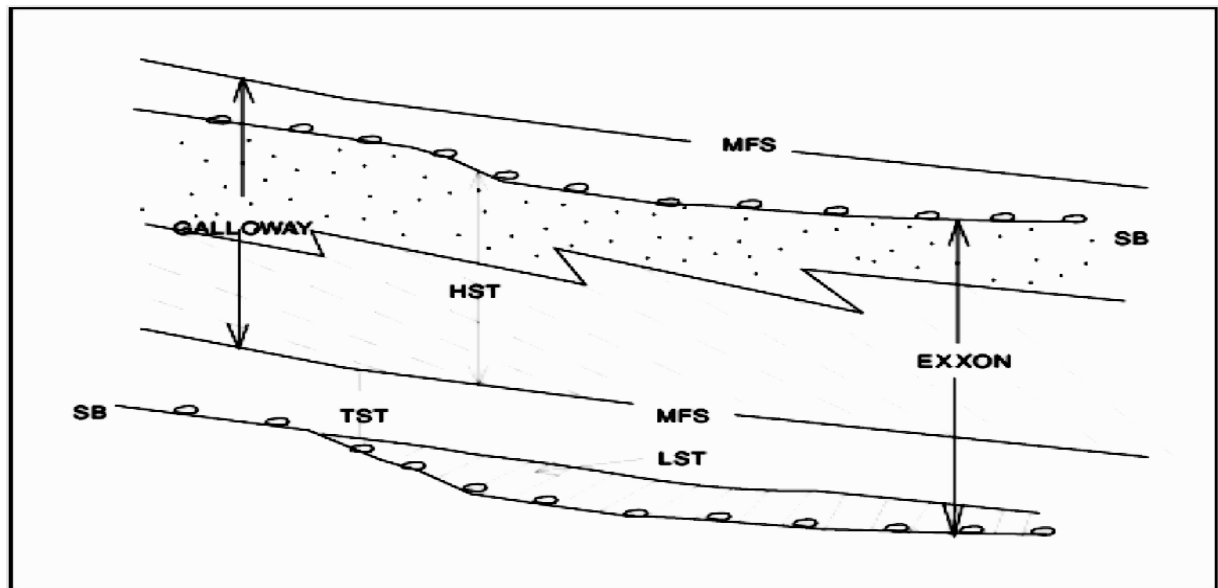


Fig. IV.2. Définition de la séquence selon le modèle d'Exxon et de Galloway simplifié de faciès model (Roger G. Walker et Noel P. James, 1992)

I.4.2. Les cortèges sédimentaires

La séquence est formée par 03 cortèges sédimentaires. Les dépôts mis en place durant la chute de niveau marin relatif constituent le cortège de bas niveau (Lowstand Système Tract), les dépôts correspondants à la phase de remontée du niveau relatif de la mer constituent le cortège transgressif (Transgressive Systems Tract), enfin les dépôts mis en place en fin de montée et en haut niveau relatif forment le cortège de haut niveau (Highstand Systems Tract).

- **Le cortège de bas niveau (Lowstand système tract, LST) :** limité à la base par une discordance (SB) et au sommet par une surface de transgression. Il se dépose durant la phase de chute rapide du niveau marin jusqu'à la première partie de la remontée.
- **Le cortège transgressif (transgressif système tract TST) :** qui surmonte la surface transgressive et se dépose durant la remontée rapide du niveau marin. Sa base est une surface de transgression TS et au sommet une surface d'inondation maximale (MFS).
- **Le cortège de haut niveau (High System Tract ; HST) :** ce cortège sédimentaire se forme lors de la remontée eustatique, situé dans la partie supérieure de la séquence, il débute par des paraséquences aggradantes et se termine par des para-séquences progradantes. Il se développe vers la fin de la montée eustatique, durant la stabilité

eustatique et pendant le début de la chute du niveau marin. Les para-séquences sont stratodécroissantes.

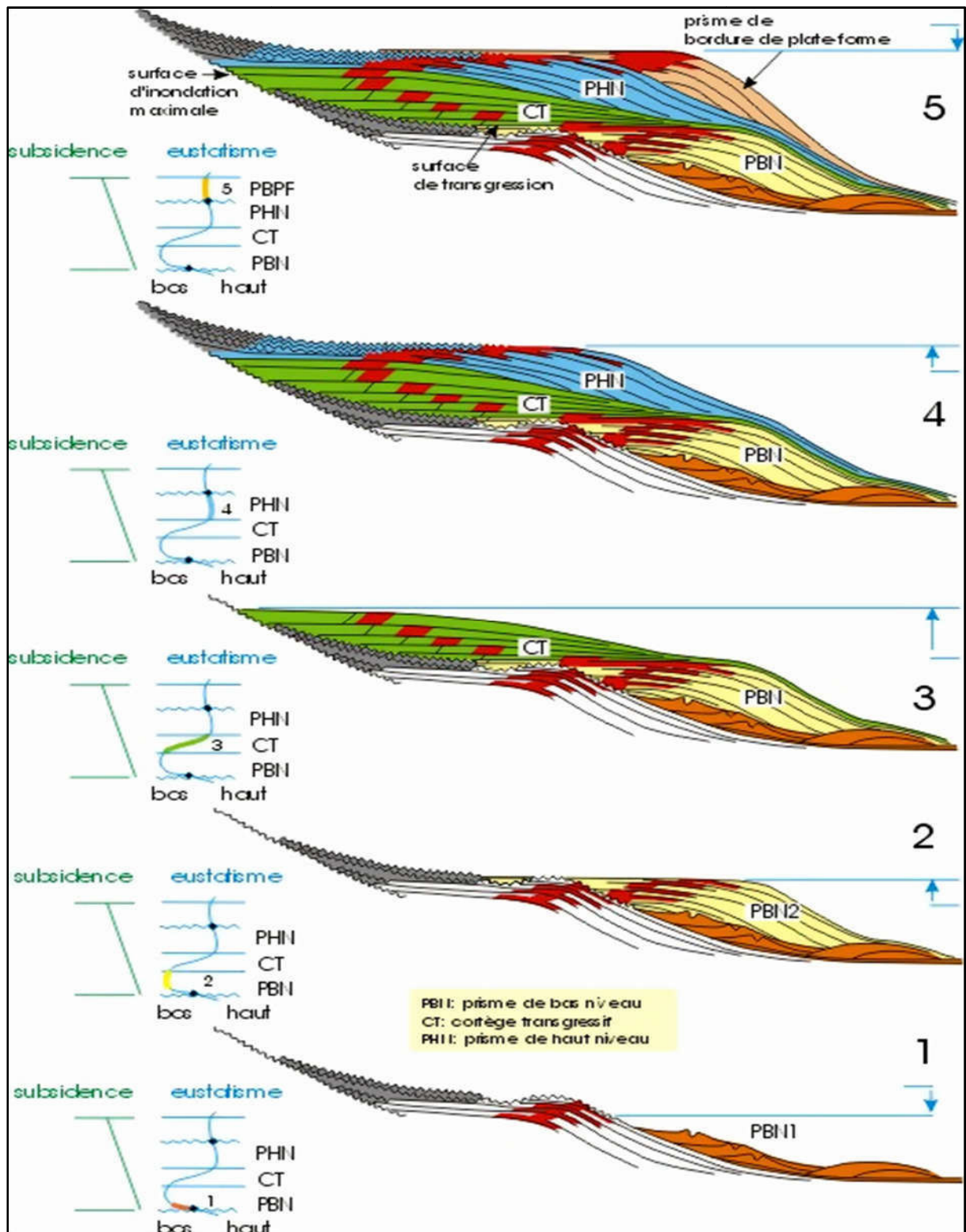


Fig. IV.3. Représentation schématique du modèle d'EXXON (1999)

II. Découpage séquentielle du Dévonien inférieur

D'après les données diagraphiques de cinq puits AET-1, MAMS-1, MAMI-1, MAME-1 et MAMI-2, nous avons établi un découpage séquentiel. (Fig.IV.4 / Fig.IV.5 / Fig.IV.6 / Fig.IV.7 / Fig.IV.8).

Dans tout les puits le Dévonien inférieur présente 4 séquences génétiques, limitées par des surfaces d'inondation maximale (MFS), l'épaisseur est pour les puits MAMI-1 et MAMI-2 identique.

Pour les puits AET-1 et MAME-1 on remarque que la séquence de niveau supérieur est plus épaisse que les trois séquences inférieur, par contre dans le puits MAMS-1 la troisième séquence est la plus épaisse.

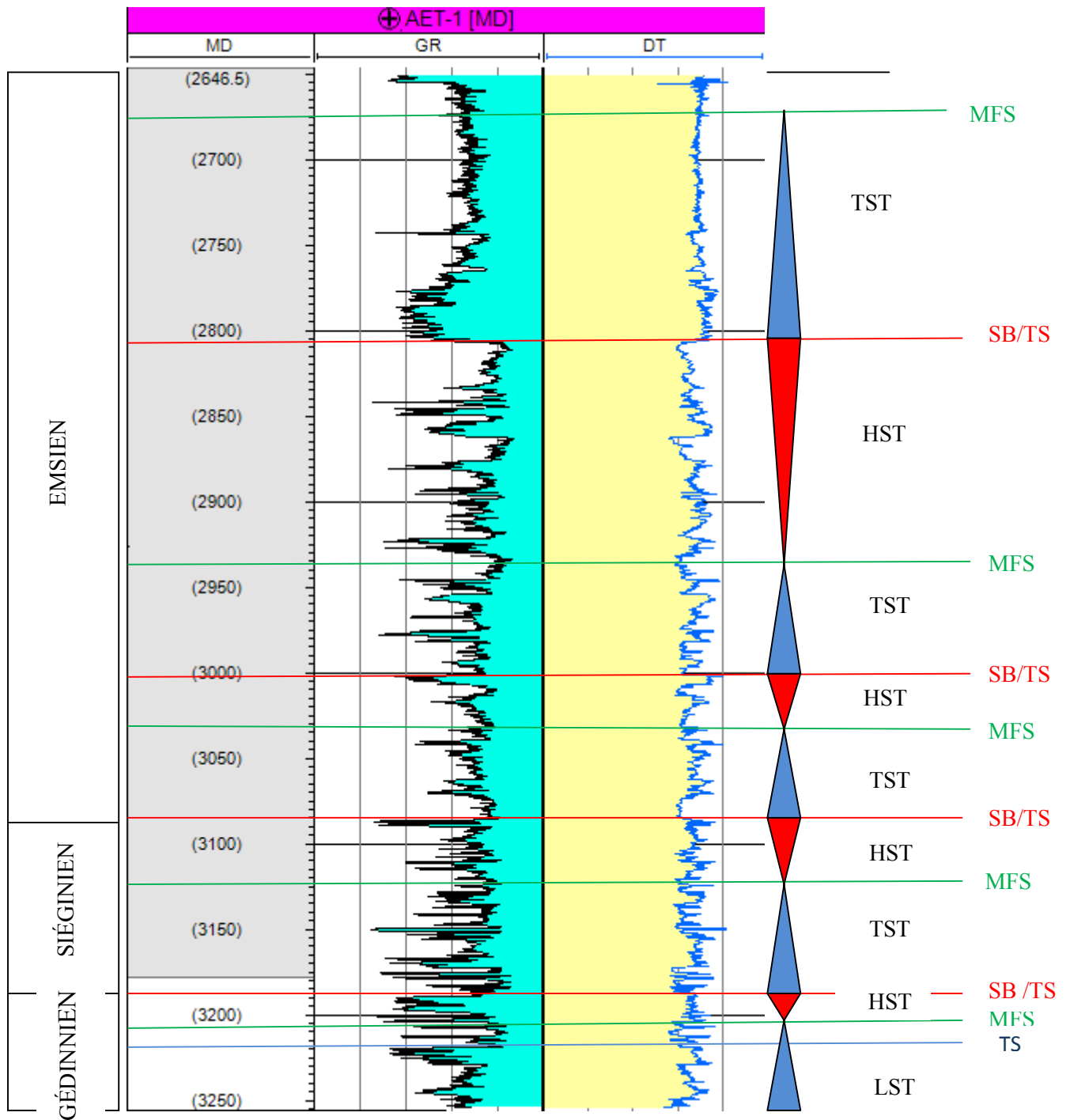


Fig. IV.4. Découpage séquentielle de puits AET-1

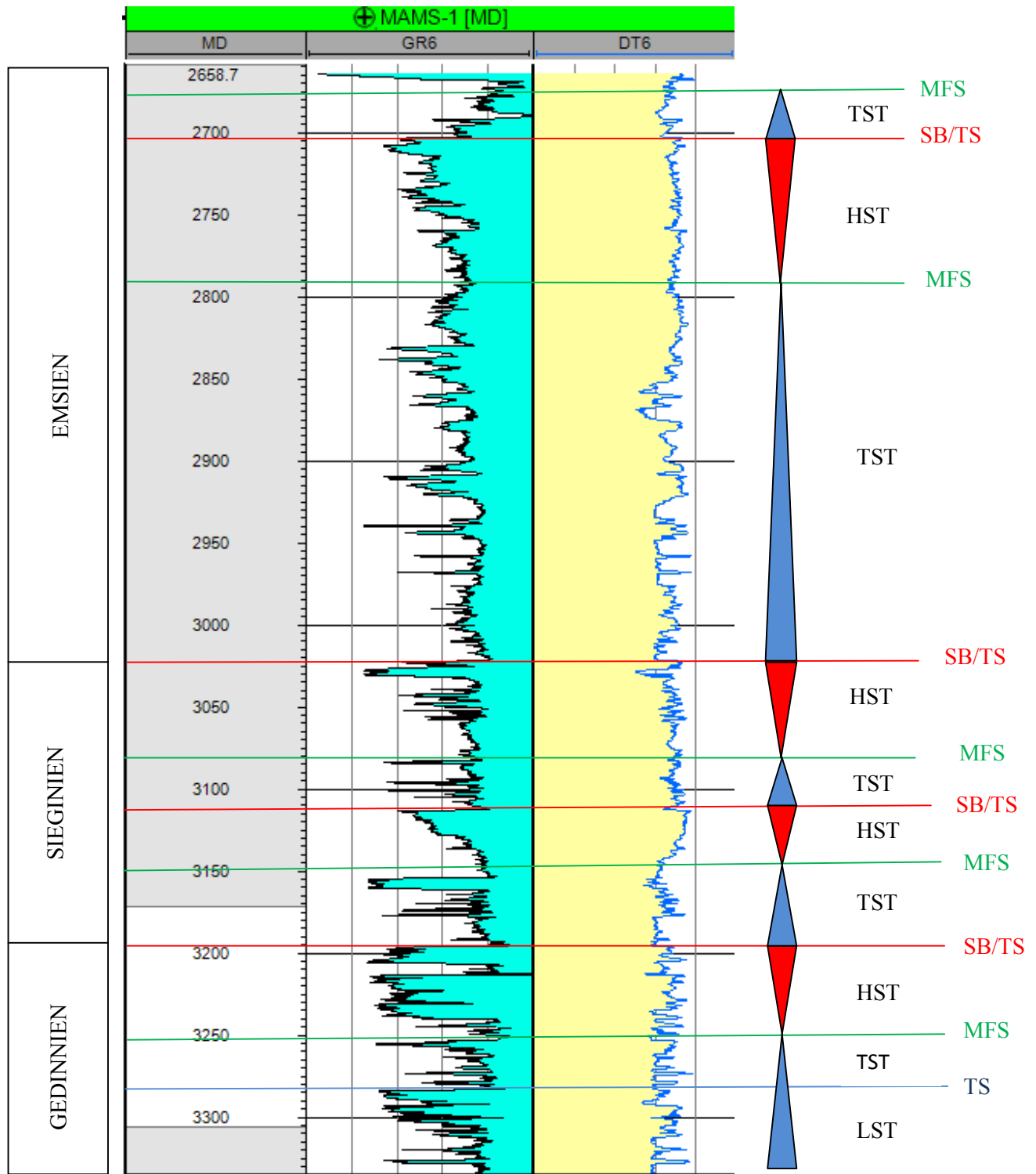


Fig. IV.5. Découpage séquentielle de puits MAMS-1

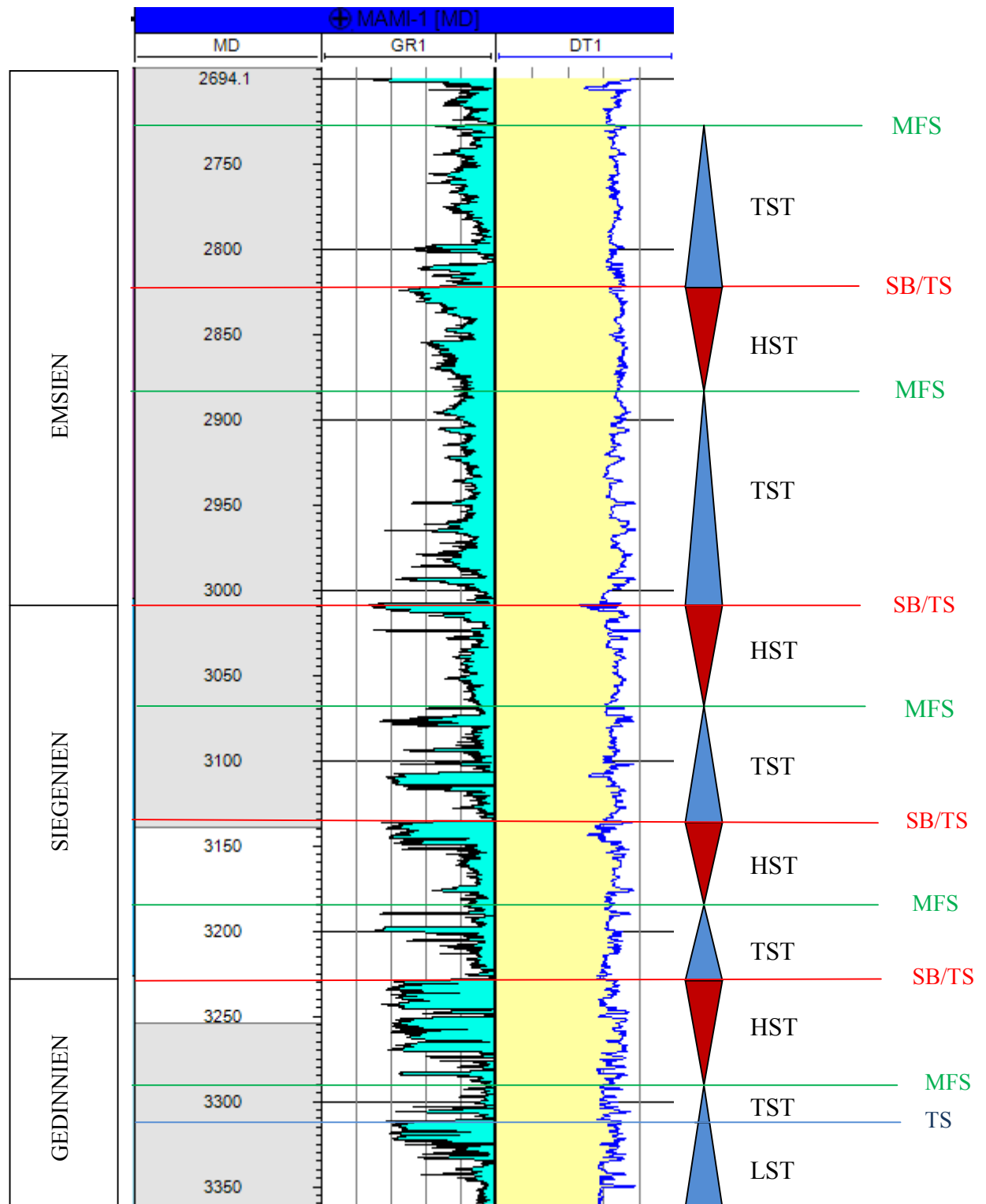


Fig. IV.6. Découpage séquentielle de puits MAMI-1

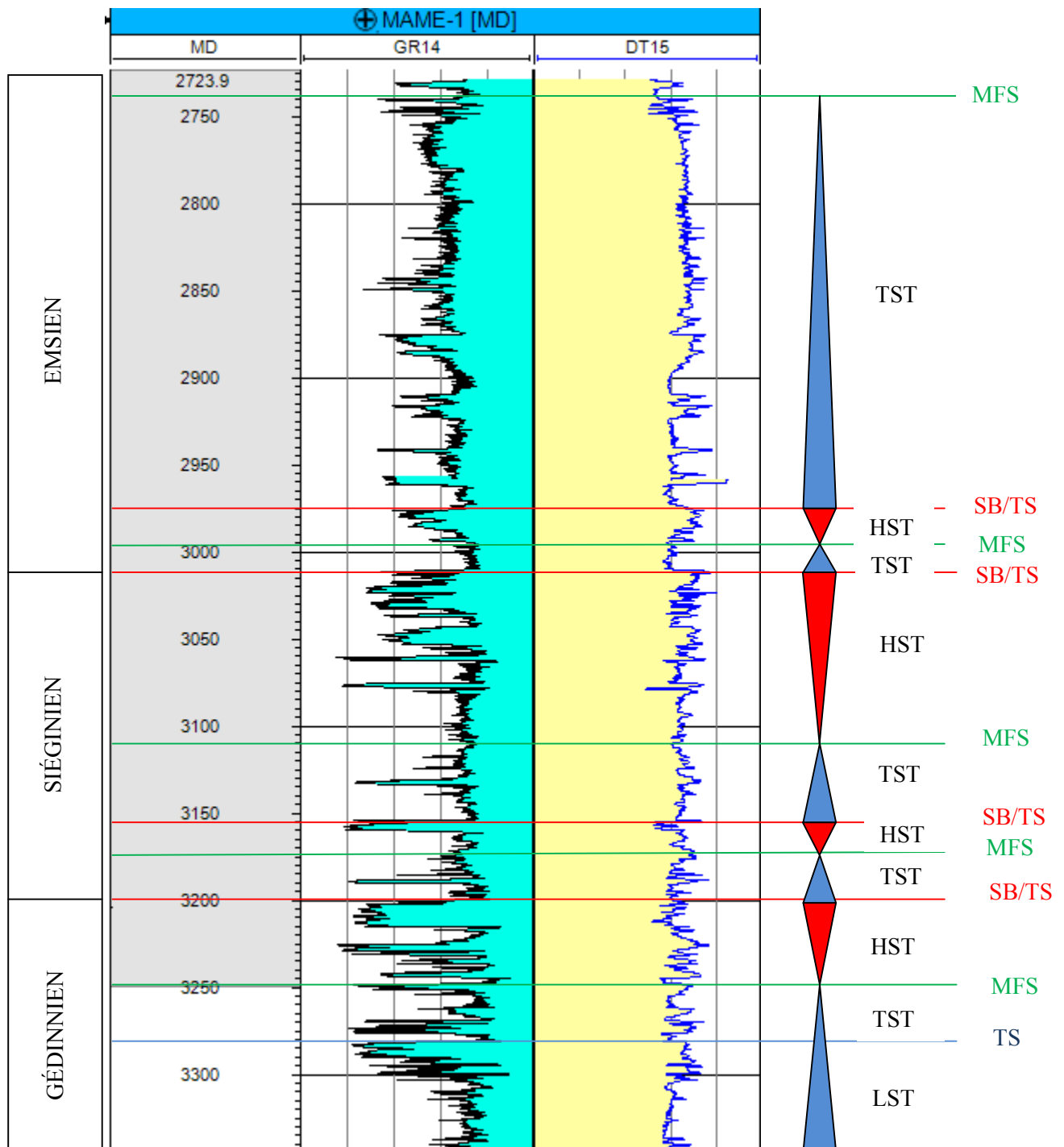


Fig. IV.7. Découpage séquentielle de puits MAME-1

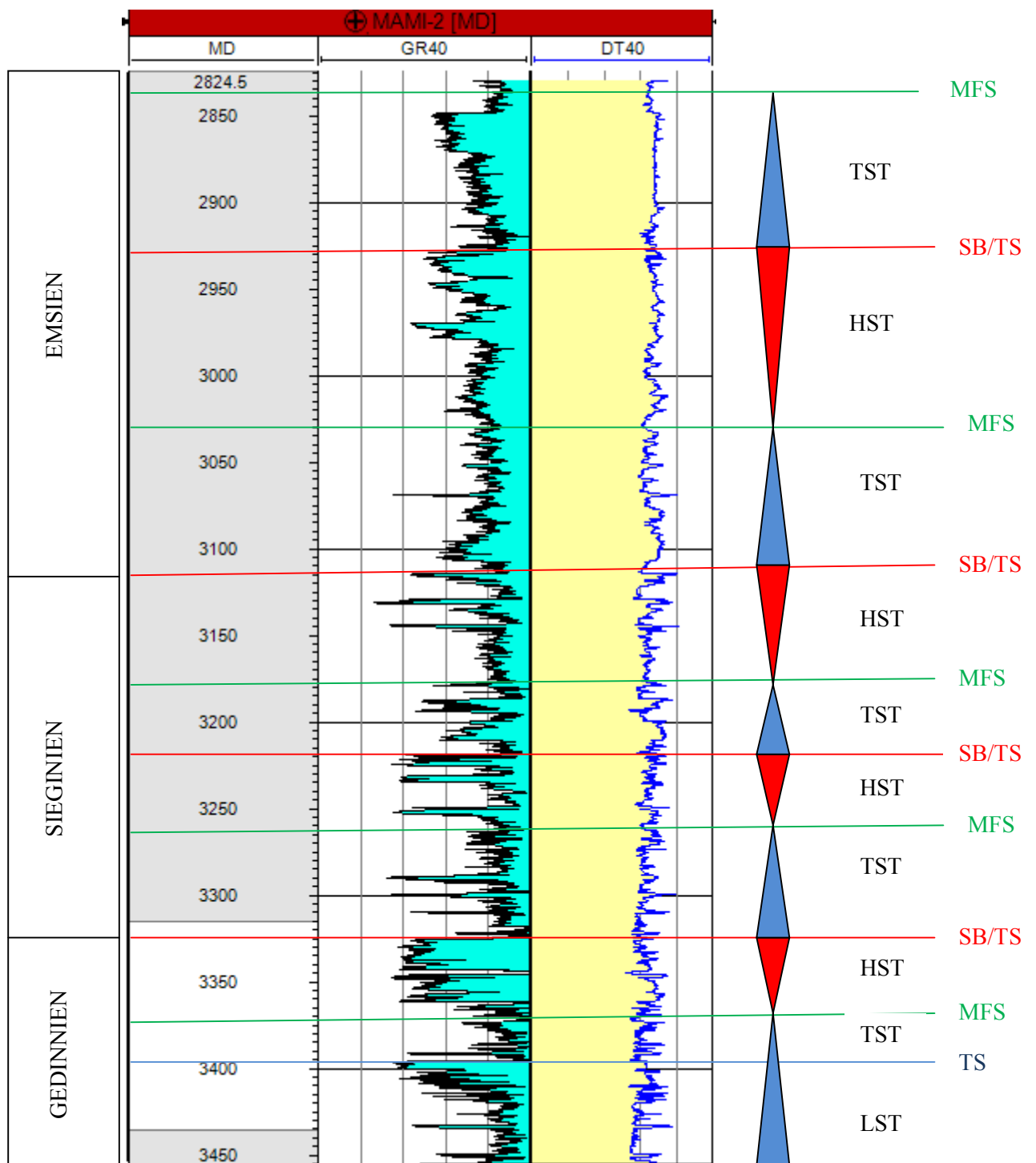


Fig. IV. Découpage séquentielle de puits MAME-2

NE

SW

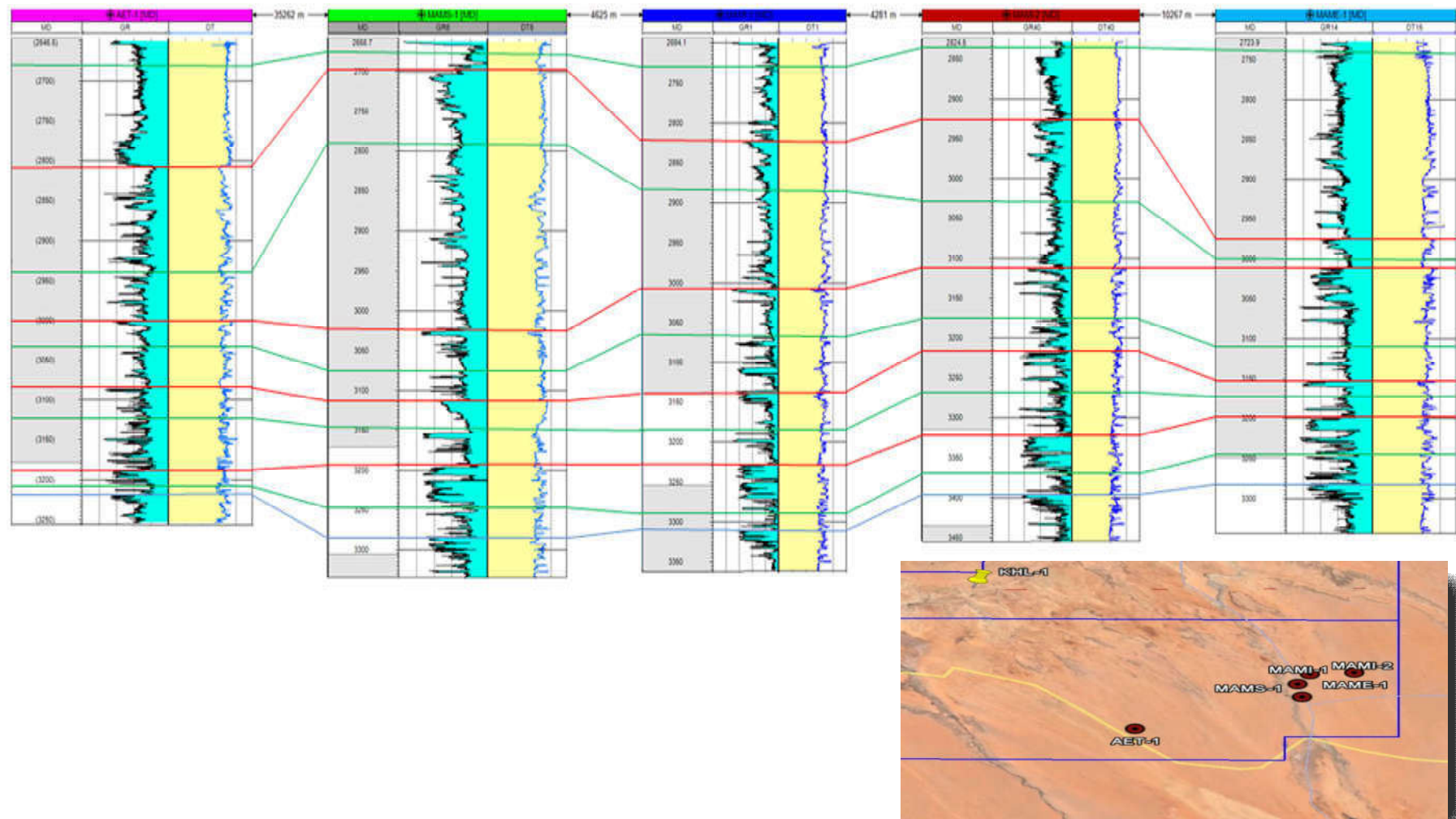


Fig. IV.9. Corrélation diagramme NE-SW à travers les puits : AET-1, MAMS-1, MAMI-1, MAME-1 et MAMI-2

III. Conclusion

La corrélation diagraphique de direction NE-SW au niveau de Dévonien inférieur se fait d'après la réalisation d'un découpage séquentielle sur l'ensemble de puits AET-1, MAMS-1, MAMI-1, MAME-1 et MAMI-2. Le résultat est l'apparition de 4 séquences génétiques pour chaque puits, la base du Gédinnien correspond à un LST (la description détaillé des carottes du Gédinnien, présente des surfaces d'érosion à la base et des figures sédimentaires, tel que les stratifications obliques, et une granulométrie assez grossière). On remarque également que le centre du sillon est essentiellement argileux.

L'allure générale du Dévonien inférieur est une séquence transgressive.

Chapitre V

Étude pétrophysiques

Les réservoirs sont des roches caractérisés par des pores et fissures reliés entre eux et dans lesquelles peuvent circuler et se rassembler des fluides. Ces caractères s'expriment fondamentalement en termes de porosité et perméabilité, qui sont le résultat de toute une histoire géologique où la variation spatio-temporelle de ces paramètres est contrôlée par la dynamique du bassin, la tectonique et la sédimentation.

Notre approche dans ce chapitre consiste à traiter et à analyser les intervalles constituant les réservoirs Siéginien et Gédinnien.

I. Caractéristiques pétrophysiques

I.1. La porosité

Elle correspond par définition au volume total occupé par les vides de la roche (V_p) divisé par le volume total de la roche (V_t).

$$\varphi = \frac{V_p}{V_t}$$

- Φ : porosité [%].
- V_p : volume total de l'échantillon [m^3].
- V_t : volume des vides entre les grains solides [m^3].

Échelle quantitative de la porosité :

- $\Phi < 5\%$ porosité négligeable ;
- $5 < \Phi < 10\%$ porosité faible ;
- $10 < \Phi < 15\%$ porosité moyenne ;
- $15 < \Phi < 20\%$ porosité bonne ;
- $\Phi > 20\%$ porosité très bonne ;

I.2. La perméabilité

Henry Darcy réalisa une série d'expériences sur l'écoulement de l'eau dans une couche filtrante de sable. Il en déduit en 1856 la loi éponyme qui montre que le débit par unité de surface d'un filtre était, toutes choses égales par ailleurs, proportionnel à la différence de charge existant entre ses deux faces.

La loi de Darcy :

$$K = 0.136 \times \frac{\varphi^2}{S_w^{4,4}}$$

- K : perméabilité md ;
- Φ : porosité % ;

- S_w : saturation en eau % ;

Échelle quantitative de la perméabilité :

- $10 < K < 50$ md Faible ;
- $50 < K < 200$ md Moyenne ;
- $K > 200$ md Bonne ;

I.3. La relation entre la porosité et la perméabilité

Une relation exponentielle 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 droite avec des pentes différentes suivant les formations. , la structure des pores est indiquée de manière qualitative par la relation entre la porosité et la perméabilité. Une faible porosité accompagnée par une grande perméabilité signifie que les pores sont larges. Grande porosité et faible perméabilité suggère des petits pores (Archie, 1952).

II. Représentation graphique

II.1. Évolution verticale

II.1.1. Évolution verticale de la porosité

L'étude de l'évolution verticale de la porosité a été établie sur trois puits verticaux.

➤ Le puits MAMI-1 (Fig. V.1)

Siégénien 3105-311 m : la porosité dans cet intervalle varie verticalement entre 5,52 et 17,28 %. Elle est aussi bonne.

L'évolution de la porosité, présente une homogénéité autour d'une moyenne de 13,51 %.

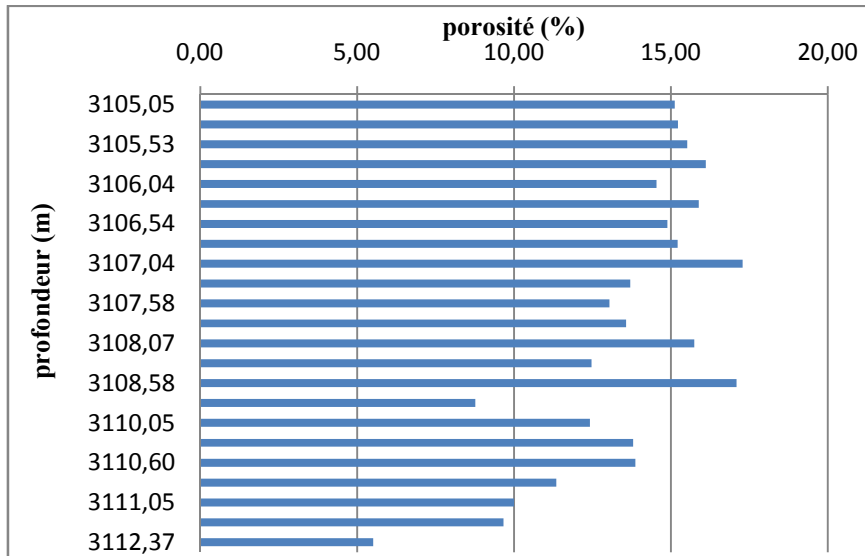


Fig. V.1. Profil de porosité dans le puits MAMI-1 (Siégénien)

➤ **Le puits MAME-1**

Siégénien 3198,03-3211,78 m (Fig. V.2): l'évolution verticale de la porosité marquée par des valeurs bonnes à très bonnes varie entre 0,30 et 21,23 % avec une moyenne de 9,44 %.

Gédinnien 3212,04-3225,48 m (Fig. V.3): la porosité dans cet intervalle varie verticalement entre 0,32 et 23,10 %, avec une moyenne de 12,89 %.

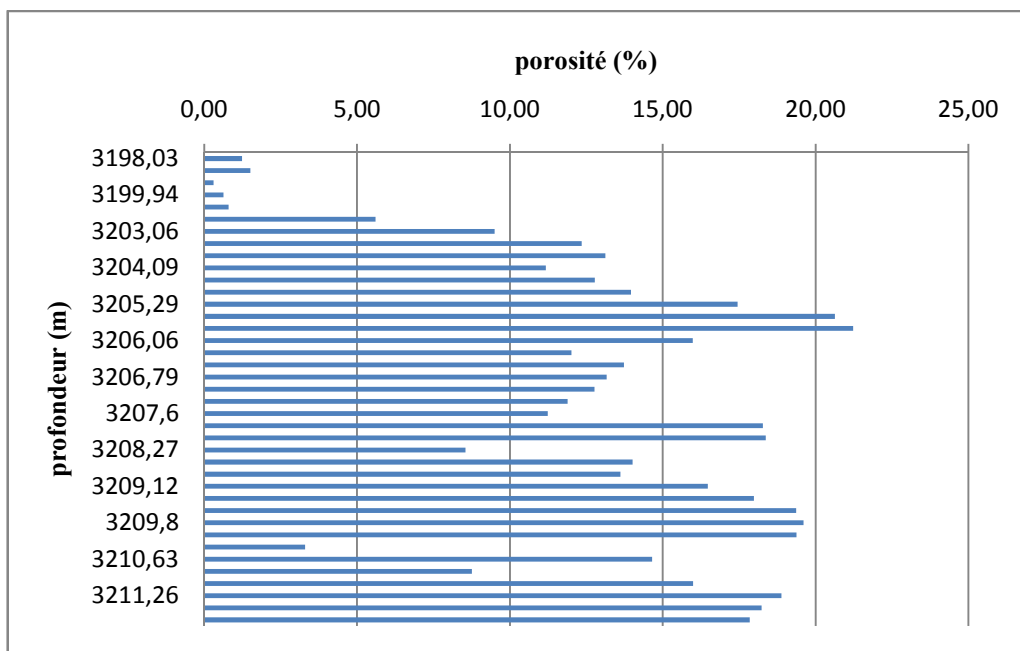


Fig. V.2. Profil de porosité dans le puits MAME-1 (Séginien)

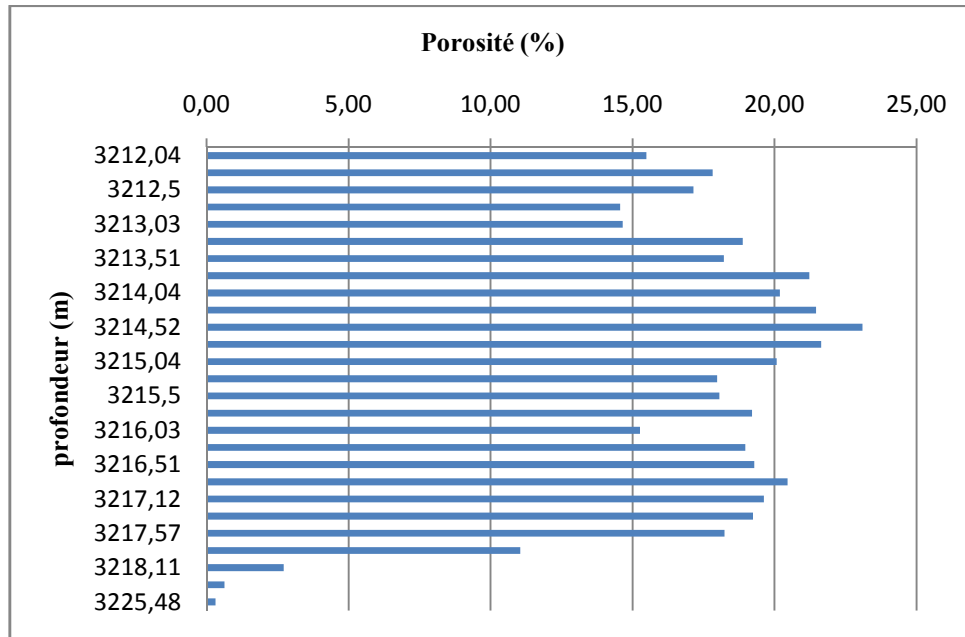


Fig. V.3. Profil de porosité dans le puits MAME-1 (Gédinnien)

➤ **Le puits MAMS-1 (Fig. V.4)**

Niveau supérieur 3223,03-3240,5 m: la porosité dans cet intervalle varie verticalement entre 0,19 et 17,25 %, elle est relativement bonne avec une moyenne de 6,57%.

Niveau inférieur 3275,20-3292,81 m: la porosité dans cet intervalle varie verticalement entre 2,19 et 19,24 % avec une moyenne de 11,25 %, dans cet intervalle la porosité est moyenne à bonne.

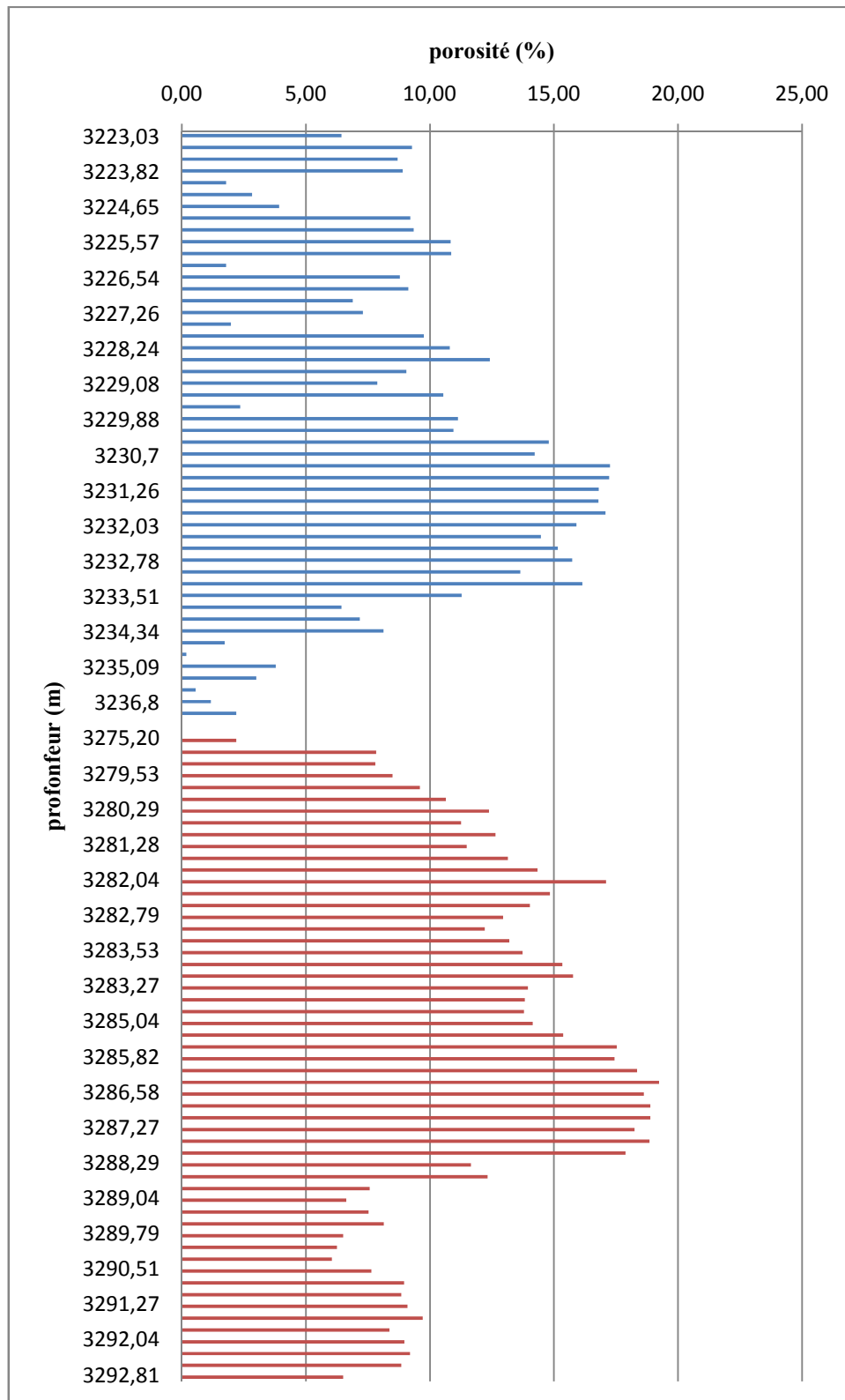


Fig. V.4. Profil de porosité dans le puits MAMS-1 (Gédinnien)

II.1.2. Évolution verticale de la perméabilité

L'étude de l'évolution verticale de perméabilité sera réalisée pour les mêmes puits verticaux décrits dans l'analyse de porosité.

➤ Le puits MAMI-1 (Fig. V.5)

Siéginien 3105,05-3112,37 m: la perméabilité dans cet intervalle varie verticalement entre 0,055 et 1,13 md, avec une moyenne de 0,15 md. On a une seule perméabilité c'est la perméabilité primaire.

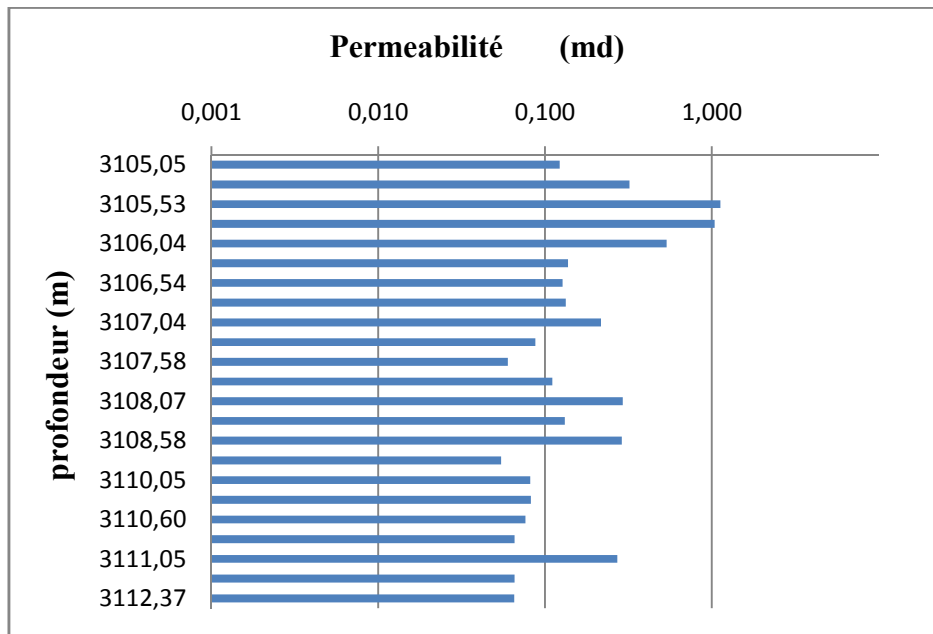


Fig. V.5. Profil de perméabilité dans le puits MAMI-1 (Siéginien)

➤ Le puits MAME-1

Siéginien 3198,03-3211,78 m (Fig. V.6): la perméabilité dans cet intervalle varie verticalement entre 0,01 et 6,993 md, avec une moyenne de 0,13 md. On note la présence de trois segments qui illustrent deux types de perméabilité primaire et secondaire.

Gédinnien 3212,04-3225,48 m (Fig. V.7): la perméabilité dans cet intervalle varie verticalement entre 0,011 et 16,209 md, avec une moyenne de 1,1 md. La perméabilité se présente en deux types primaire et secondaire.

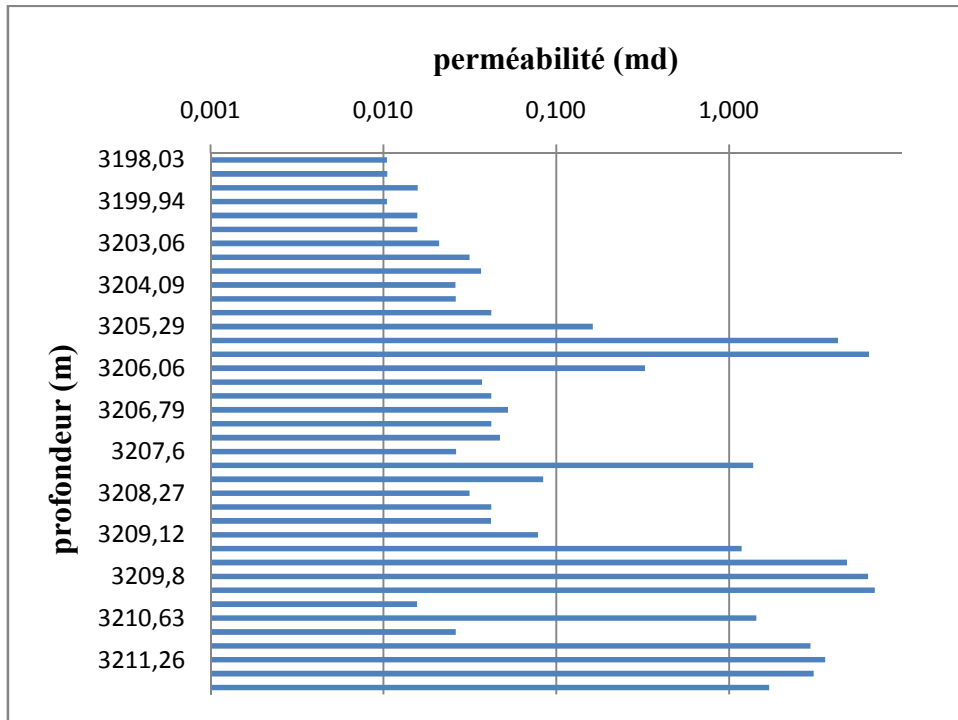


Fig. V.6. Profil de perméabilité dans le puits MAME-1 (Siéginien)

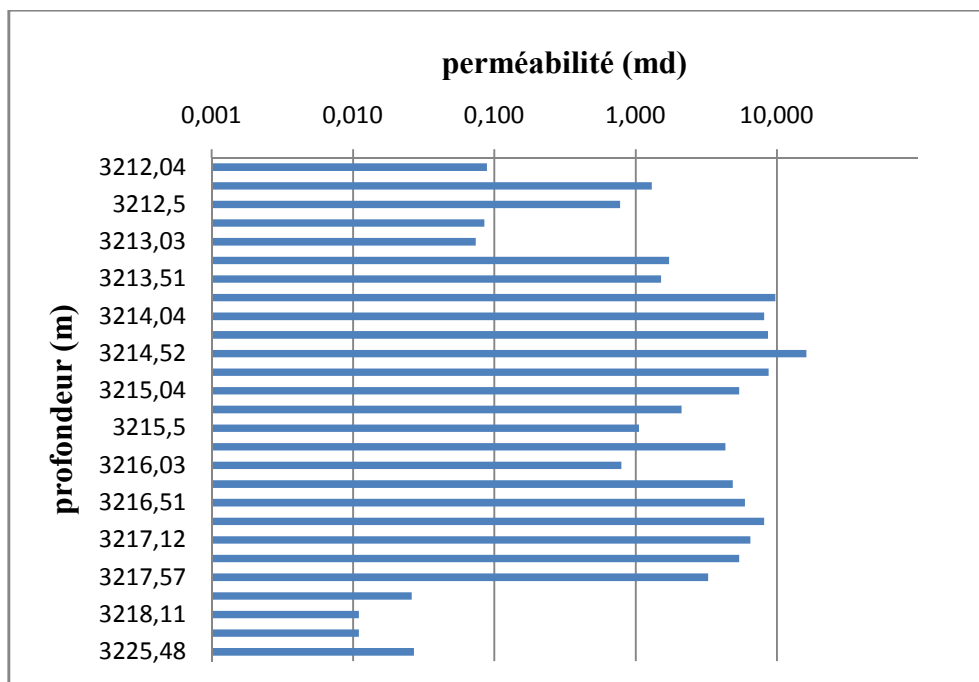


Fig. V.7. Profil de perméabilité dans le puits dans le puits MAMA-1 (Gédinnien)

➤ Le puits MAMS-1 (Fig. V.8)

Niveau supérieur 3223,03-3240,5 m : la perméabilité dans cet intervalle varie verticalement entre 0,001 et 2,07 md, avec une moyenne de 0,05 md. On note la présence de deux segments qui illustrent deux types de perméabilité primaire et secondaire.

Niveau inférieur 3275,2-3292,81 m : la perméabilité dans cet intervalle montre une distribution qui varie entre 0,001 et 8,4 md, avec une moyenne de 1,10 md. On remarque l'existence de deux types de perméabilité (perméabilité primaire et perméabilité secondaire).

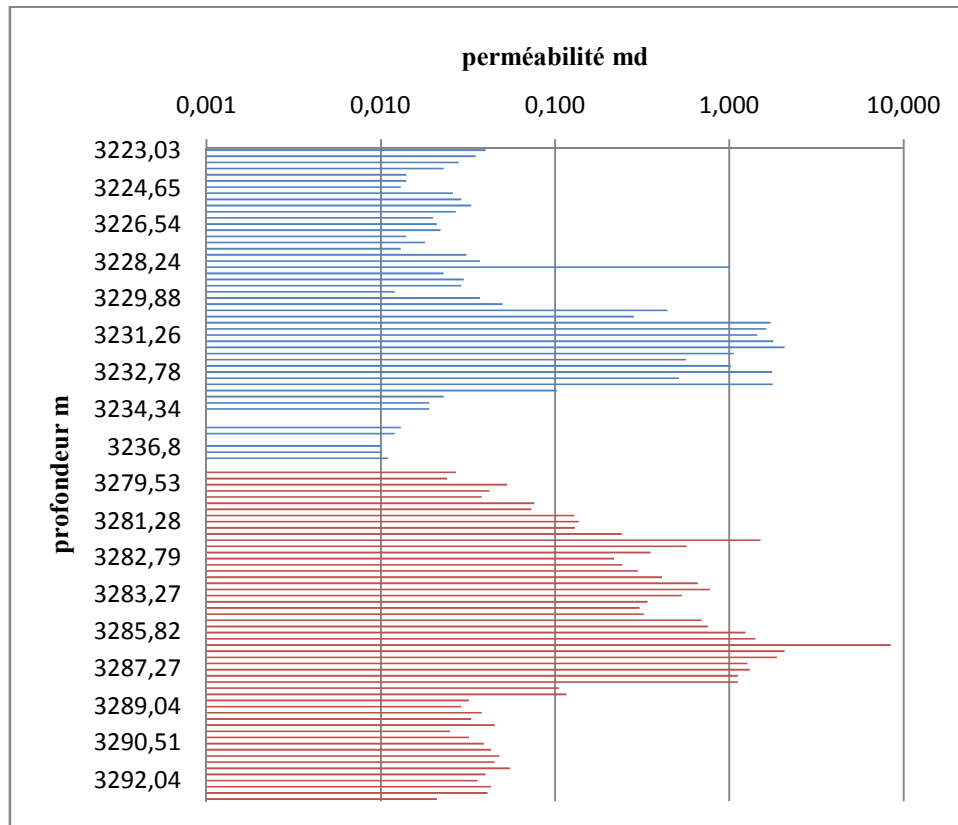


Fig. V.8. Profil de la perméabilité dans le puits MAMS-1 (Gédinnien)

II.2. Les histogrammes

Les moyennes de présentation de population regroupées de porosité et perméabilité sont faites à l'aide de loi de STERGESS, ce dernier permet de donner le nombre des classes pour population quantitative où le nombre de classe : $N=1+3,3*\log(J)$. Avec (J) le nombre de population.

II.2.1. Les histogrammes de la porosité

➤ Le puits MAMI-1 (Fig. V.9)

Le Siéginnien : le nombre des valeurs utilisé est de 23, elles sont réparties en 6 classes. L'histogramme de la porosité présente une allure unimodale, avec une asymétrie à droite. Les plus grandes valeurs de porosité appartiennent à la classe [13,8- 16 %] avec une fréquence de 10 %

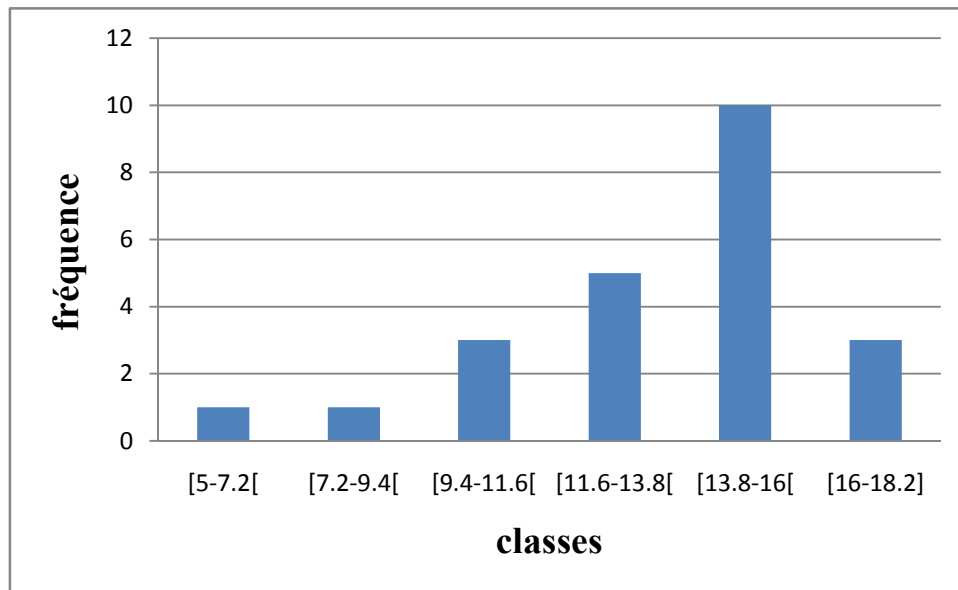


Fig. V.9. Histogramme de la porosité de Siéginien au niveau de puits MAMI-1

Le puits MAME-1

Le Siéginien (Fig. V.10) : le nombre des valeurs utilisé est de 39, elles sont réparties en 7 classes. L'histogramme de la porosité présente une allure polymodale, avec une asymétrie à droite, les trois classes qui présentent les valeurs de la porosité les plus fréquentes sont exprimées comme suite :

- 6 % des valeurs de la porosité sont comprises entre 0 et 3,5 %.
- 12 % des valeurs de la porosité sont comprises entre 10,5 et 14 %.
- 10 % des valeurs de la porosité sont comprises entre 17,5 et 21 %.

Le Gédinnien (Fig. V.11) : le nombre des valeurs utilisé est de 27, elles sont réparties en 6 classes. L'histogramme de la porosité présente une allure bimodale, avec une asymétrie à droite, les deux classes qui présentent les valeurs de la porosité les plus fréquentes sont exprimées comme suite :

- 3 % des valeurs de la porosité sont comprises entre 0 et 4 %.
- 12 % des valeurs de la porosité sont comprises entre 16 et 20 %.

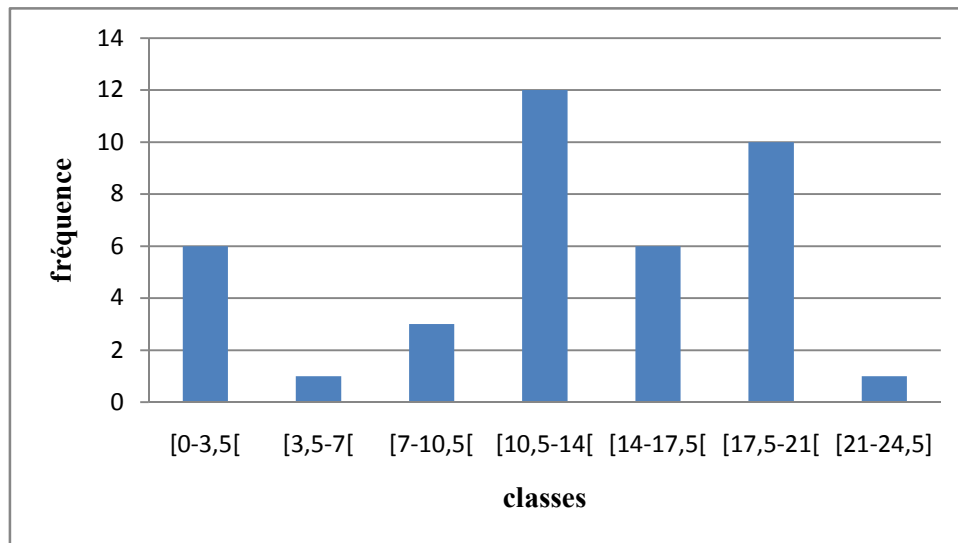


Fig. V. 10. Histogramme de la porosité de Siéginien au niveau de puits MAME-1

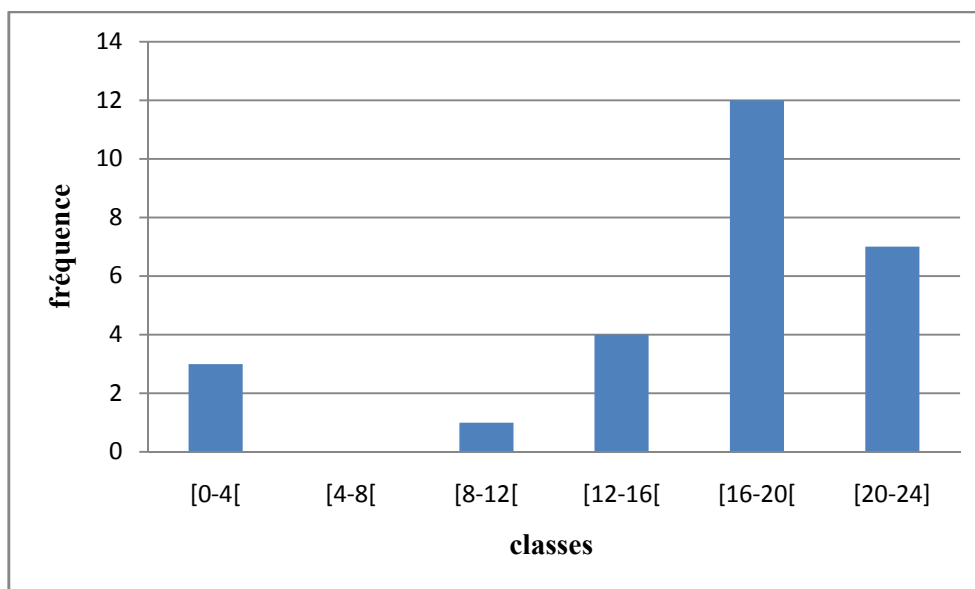


Fig. V. 11 . Histogramme de la porosité de Gédinnien au niveau de puits MAME-1

➤ **Le puits MAMS-1**

Niveau supérieur 3223,03-3240,5 m (Fig. V.12) : le nombre des valeurs utilisé est de 51, elles sont réparties en 7 classes.

La distribution de la porosité est polymodale, elle représente 3 modes, le premier mode correspond à la classe [0-2,5[dont la fréquence est de 0,1 ; le deuxième correspond la classe [7,5-10[dont la fréquence est de 0,11 et le troisième mode correspond la classe [15-17,5] de fréquence de 0,09.

Niveau inférieur 3275,20-3292,81 m (Fig. V.13) : le nombre des valeurs utilisé est de 55 ; elles sont réparties en 7 classes.

Comme le premier niveau la distribution de la porosité est polymodale, elle représente 3 modes, le premier mode correspond à la classe [7-9,5[dont la fréquence est de 0,14 ; le deuxième appartient à la classe [12-14,5[dont la fréquence est de 0,14 et la troisième mode correspond à la classe [17-19,5[dont la fréquence de 0,11.

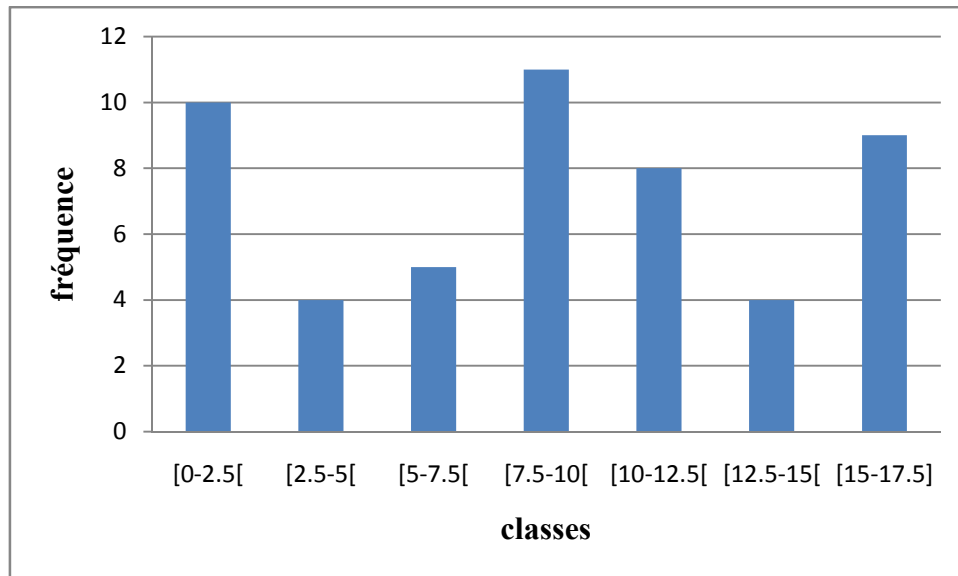


Fig. V.12. Histogramme de la porosité de niveau supérieur de Gédinnien au niveau de puits MAMS-1

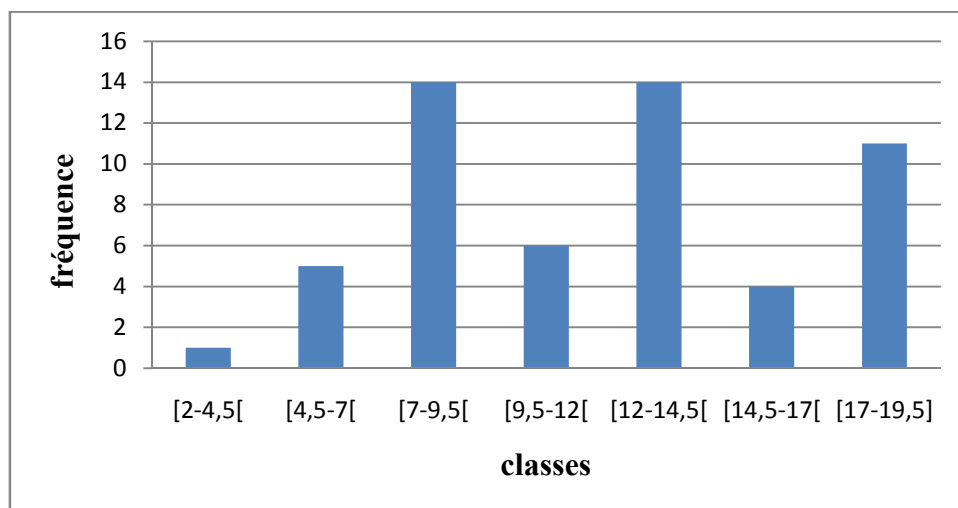


Fig. V.13. Histogramme de la porosité de niveau inférieur de Gédinnien au niveau de puits MAMS-1

❖ conclusion

Le Siéginién : d'après l'analyse des histogrammes de porosité de Siéginién, au niveau de puits MAMI-1 on a une seule famille de porosité, c'est la porosité primaire ou encore matricielle, elle dépend de la dimension, du classement des grains et de la proportion de la matrice, donc de l'énergie du milieu de dépôts et de l'évolution diagénétique postérieure.

Dans le puits MAME-1 on a deux familles de porosité, une porosité primaire qui se forme pendant la sédimentation et une porosité secondaire qui s'est formée après la sédimentation.

Le Gédinnien : d'après l'analyse des histogrammes de porosité de Gédinnien, au niveau des puits MAMS-1 et MAME-1 on a trois famille de porosité, une la porosité primaire qui se forme pendant la sédimentation et la porosité secondaire qui s'est formée après la sédimentation.

II.2.2. L'histogramme de la perméabilité

➤ Le puits MAMI-1 (Fig. V.14)

Siéginién : l'histogramme de la perméabilité présente une allure bimodale, avec une asymétrie à gauche, les deux classes qui présentent les valeurs de la perméabilité les plus fréquentes sont exprimées comme suite :

- 18 % des valeurs de la perméabilité sont comprises entre 0.05 et 0.25 %.
- 1 % des valeurs de la perméabilité correspond aux deux classes adjacentes [0.85-1.05[et [1.05-1.25].

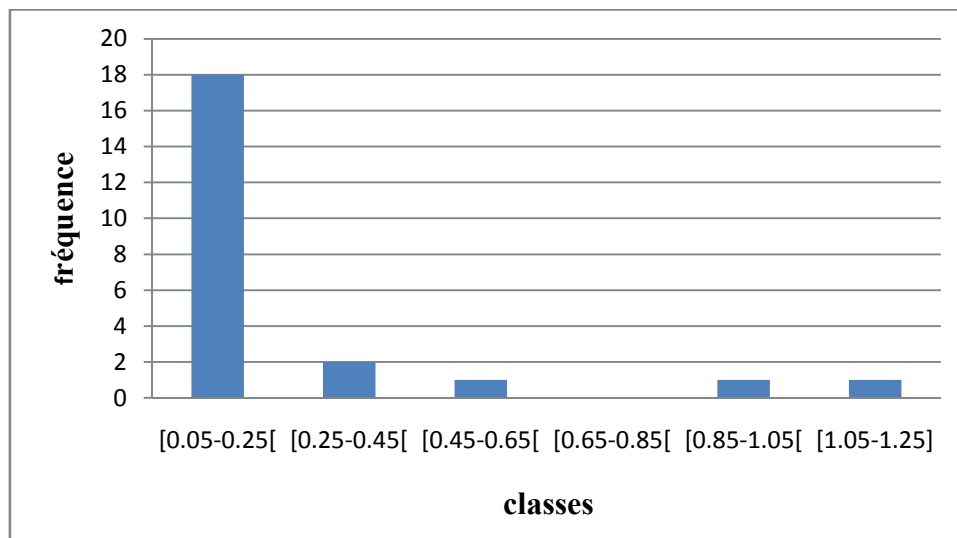


Fig. V.14. Histogramme de la perméabilité de Siéginién au niveau de puits MAMI-1

➤ **Le puits MAME-1**

Siéginien (Fig. V.15) : la distribution de la perméabilité est polymodale, elle présente 3 modes, le premier mode correspond à la classe [0.01-1.01] [dont la fréquence est de 27 %, le deuxième mode correspond aux deux classes adjacentes la [3.01-4.01] [et [4.01-5.01] [de fréquence 2 %, et le troisième mode appartient à la classe [6.01-7.01] dont la fréquence est de 3 %.

Gédinnien (Fig. V.16): l'histogramme de la perméabilité présente une allure bimodale avec une asymétrie à gauche, les classes qui présentent les valeurs de la perméabilité les plus fréquentes sont exprimées comme suite :

- 14 % des valeurs de la perméabilité sont comprises entre 0.01 et 3.01 %.
- 1% des valeurs de la perméabilité sont comprises entre 15.01 et 18.01 %.

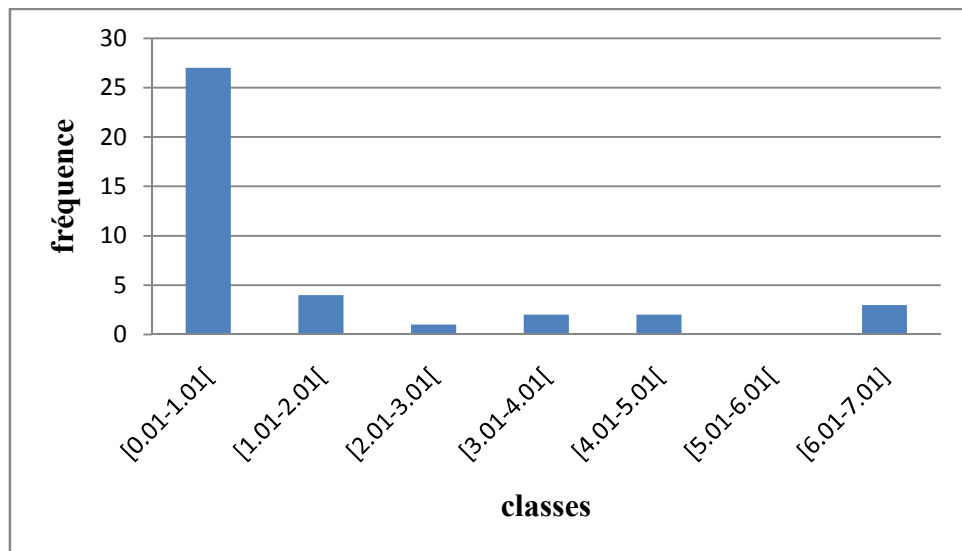


Fig. V. 15.Histogramme de la perméabilité de Siéginien au niveau de puits MAME-1

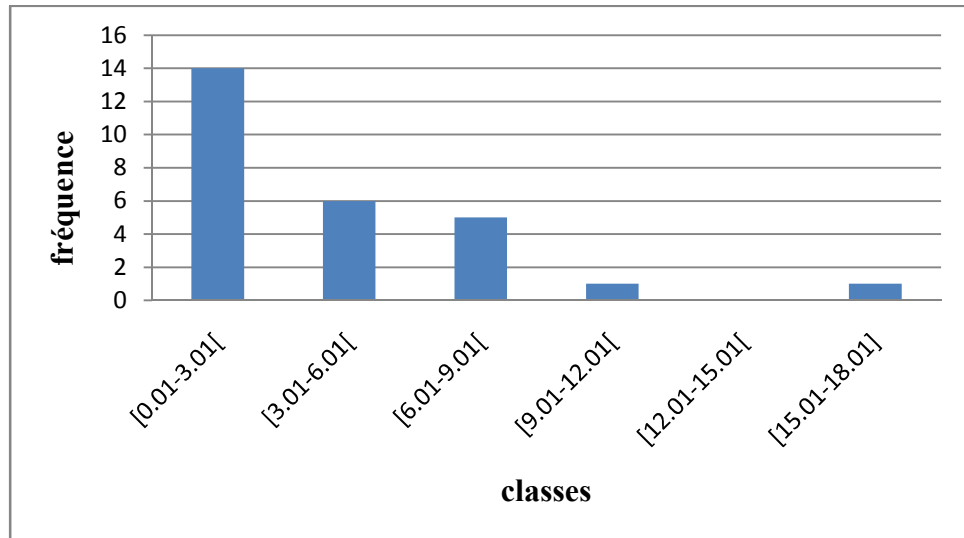


Fig. V.16. Histogramme de la perméabilité de Gédinnien au niveau de puits MAME-1

➤ **Le puits MAMS-1**

Niveau supérieur 3223,03-3240,5 m (Fig. V.17): l'histogramme de la perméabilité présente une allure bimodale avec une asymétrie à gauche, les classes qui présentent les valeurs de la perméabilité les plus fréquentes sont exprimées comme suite :

- 38 % des valeurs de la perméabilité sont comprises entre 0,001 et 0,3 %.
- 5 % des valeurs de la perméabilité sont comprises entre 1,5 et 1,8 %.

Niveau inférieur 3275,2-3292,81 m (Fig. V.18): l'histogramme de la perméabilité présente une allure bimodale avec une asymétrie à gauche, les classes qui présentent les valeurs de la perméabilité les plus fréquentes sont exprimées comme suite :

- 45 % des valeurs de la perméabilité sont comprises entre 0,001 et 1,2 %.
- 1 % des valeurs de la perméabilité sont comprises entre 7,2 et 8,4 %.



Fig. V.17. Histogramme de la perméabilité de premier niveau de Gédinnien au niveau de puits MAMS-1

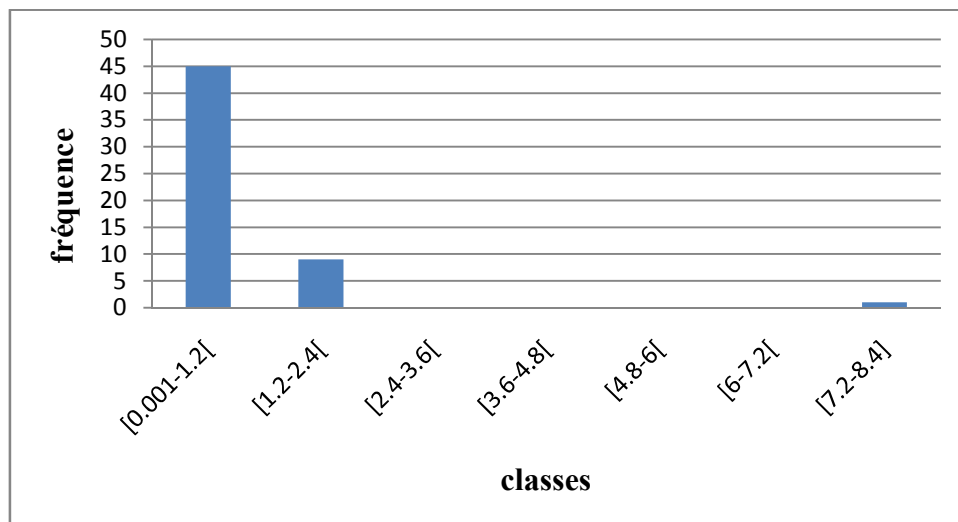


Fig. V.18. Histogramme de la perméabilité de deuxième niveau de Gédinnien au niveau de puits MAMS-1

✓ conclusion

Le Siéginnien : d'après l'analyse des histogrammes de perméabilité du siéginnien, au niveau des puits MAMI-1 et MAME-1 on a deux familles de perméabilité, une perméabilité primaire qui se forme au moment de la sédimentation et une perméabilité secondaire liée au fractures.

Le Gédinnien : la même chose que le Siéginnien.

II.3. Evolution horizontale

II.3.1. Évolution horizontale de la porosité

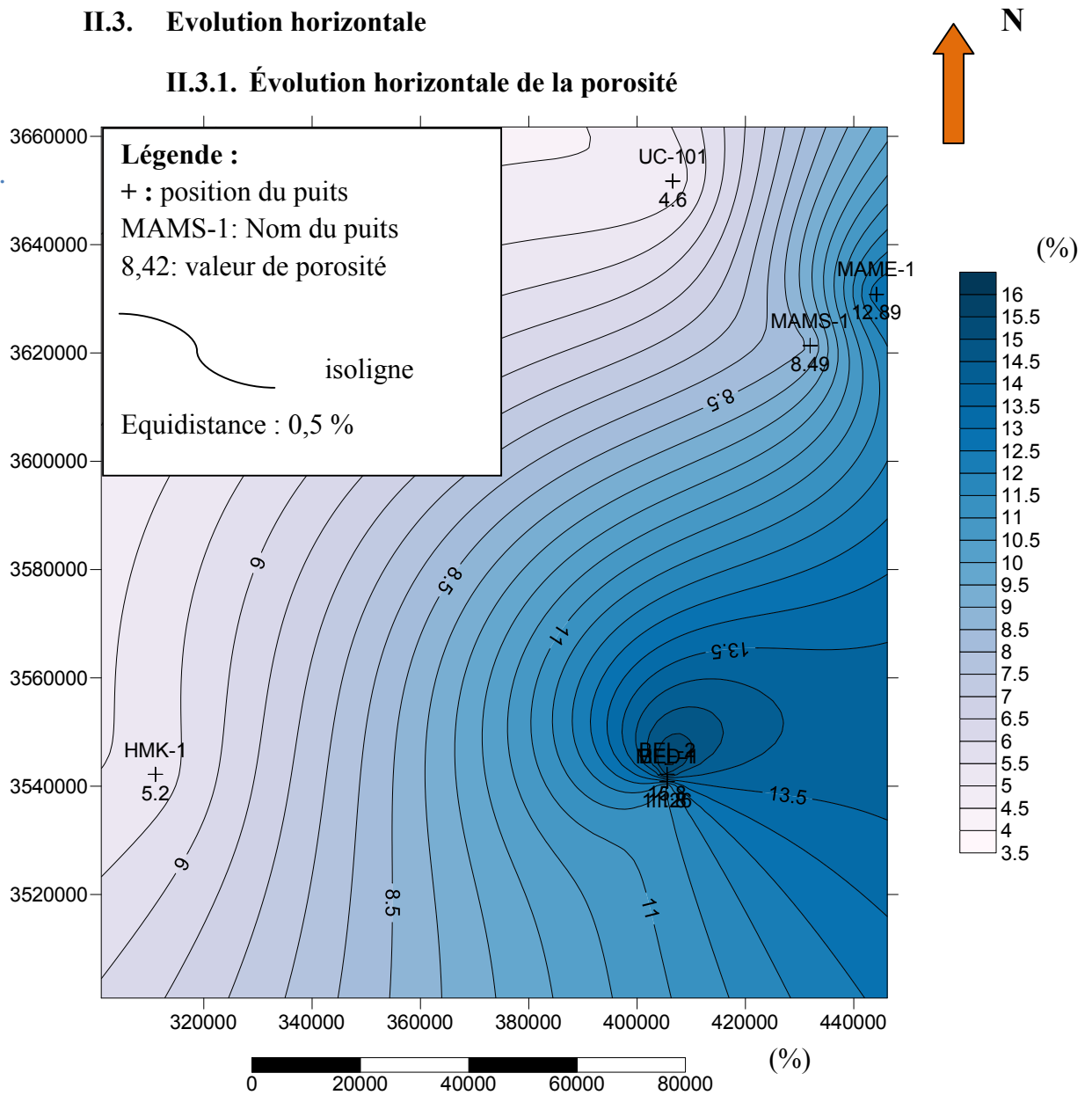


Fig. V.19. Carte iso-porosité de Gédinnien dans le sillon de Benoude

✓ **L'interprétation de la carte en iso-porosité du Gédinnien**

Nous observons que la porosité est bonne dans les puits BEL-1, BEL-2 et MED-1 dont la valeur maximale est 15,8 %. La valeur minimal de la porosité est mesuré au niveau de puits UC-101 qui situé au Nord de la région.

L'augmentation de la porosité suivant la direction NW-SE est expliquée par l'enrichissement du milieu en argile.

II.3.2. Évolution horizontale de la perméabilité

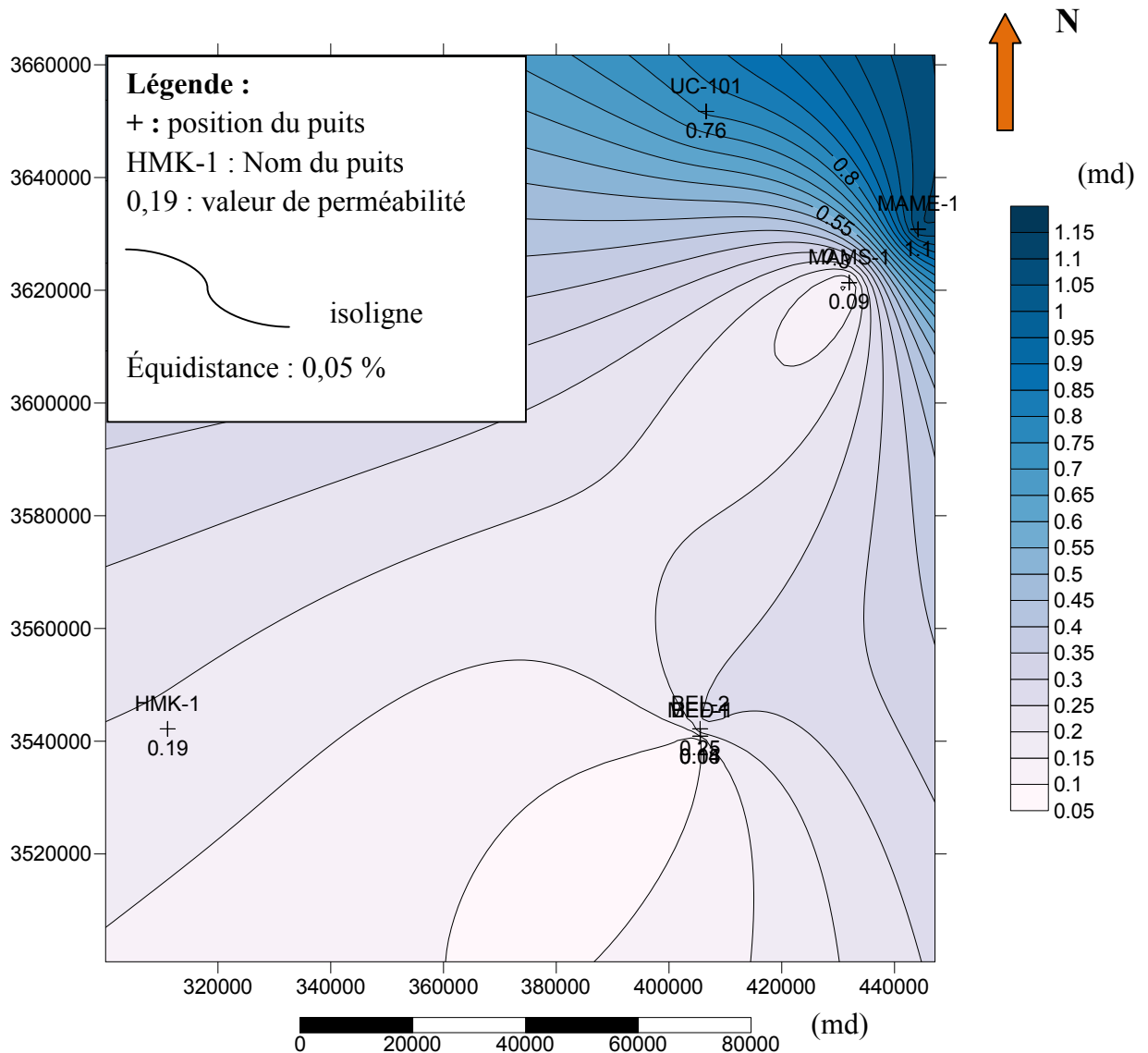


Fig. V.20. Carte en iso-perméabilité du Gédinnien dans le sillon de Benoude

✓ L'interprétation de la carte en iso-perméabilité du Gédinnien

Nous observons que la perméabilité est très faible dans toute la région, la valeur maximale est enregistrée au niveau de puits MAME-1 (1,1 md) situé à l'Est de la région, la valeur minimale est de 0,05 md au niveau de puits BEL-1.

L'augmentation de la perméabilité suivant la direction NNE-SSW est expliquée par l'enrichissement du milieu en argile.

II.4. Les corrélations entre la perméabilité et la porosité

Les corrélations entre la perméabilité et la porosité ont été établies dans les réservoirs Siéginien et Gédinnien pour 4 puits. Ces corrélations vont nous permettre d'observer la relation qui existe entre ces deux paramètres pétrophysiques, puis on établit la droite de tendance, et en fin pour évaluer cette liaison, on calcule le coefficient de corrélation.

✓ Interprétation de la corrélation entre la perméabilité et la porosité pour le Siéginien et le Géinnien

D'après les corrélations de Siéginien (Fig. V.21) (Fig. V.22) et Gédinnien (Fig. V.23) (Fig. V.24) (Fig. V.25), on note que la variation de la perméabilité est indépendante de la porosité. Ceci est encore prouvé par les valeurs du coefficient de corrélation qui tend vers zéro dans tout les puits, donc il n'y a aucune relation entre la perméabilité et la porosité.

Les coefficients de corrélation est au voisinage de zéro, ceci s'explique l'hétérogénéité de ces réservoirs.

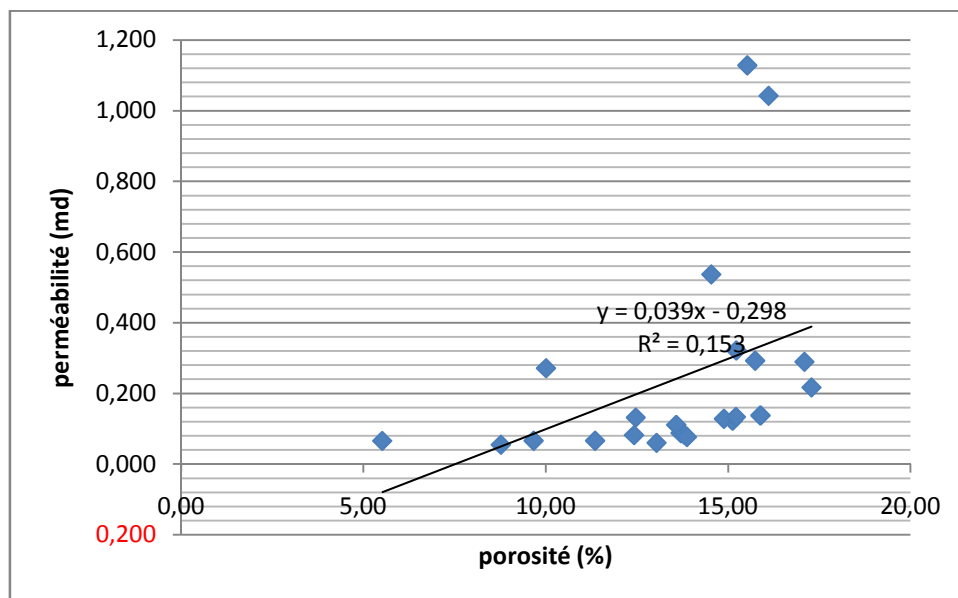


Fig. V.21. Corrélation perméabilité-porosité dans le réservoir Siéginien au niveau de puits MAMI-1

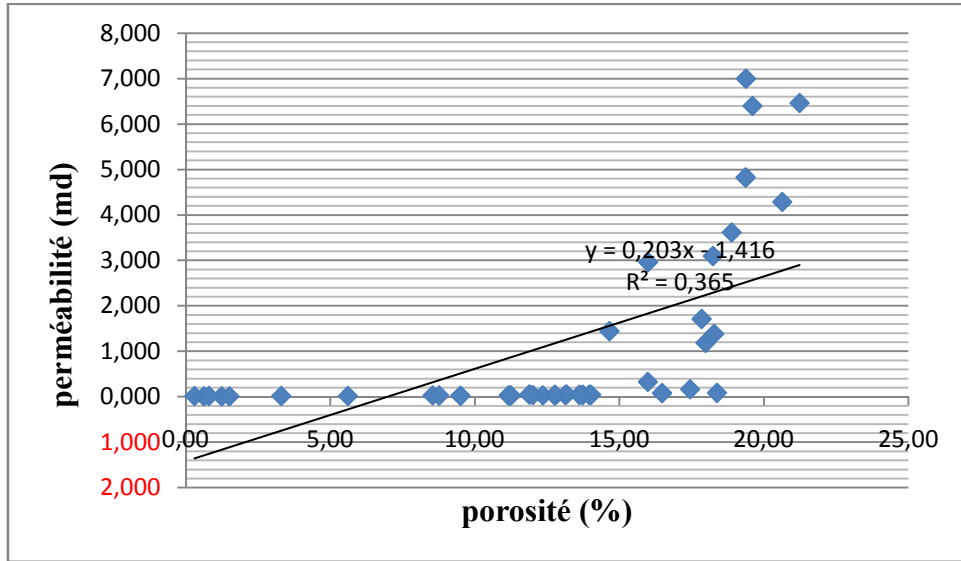


Fig. V.22.Corrélation perméabilité-porosité dans le réservoir Siégien au niveau de puits MAME-1

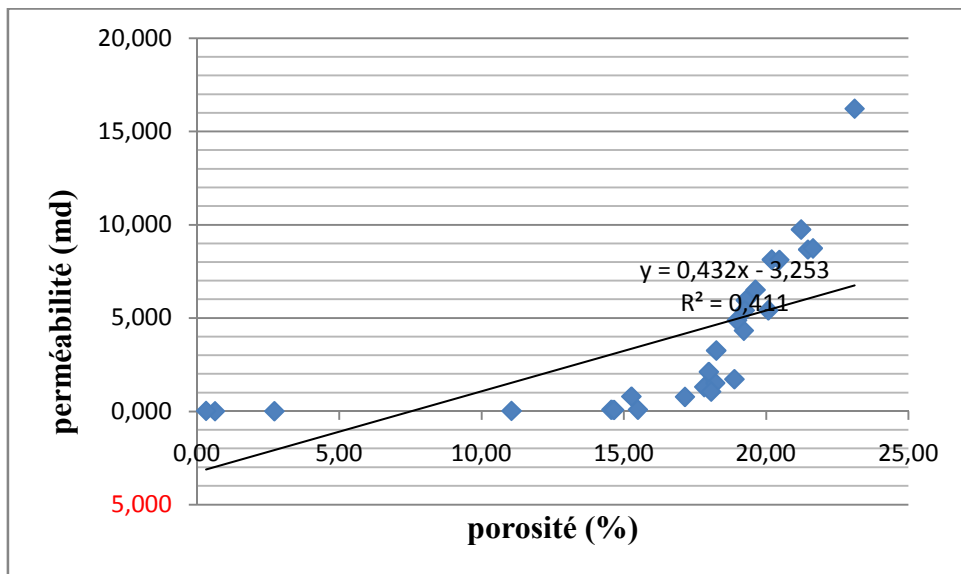


Fig. V.23.Corrélation perméabilité-porosité dans le réservoir Gédinnien au niveau de puits MAME-1

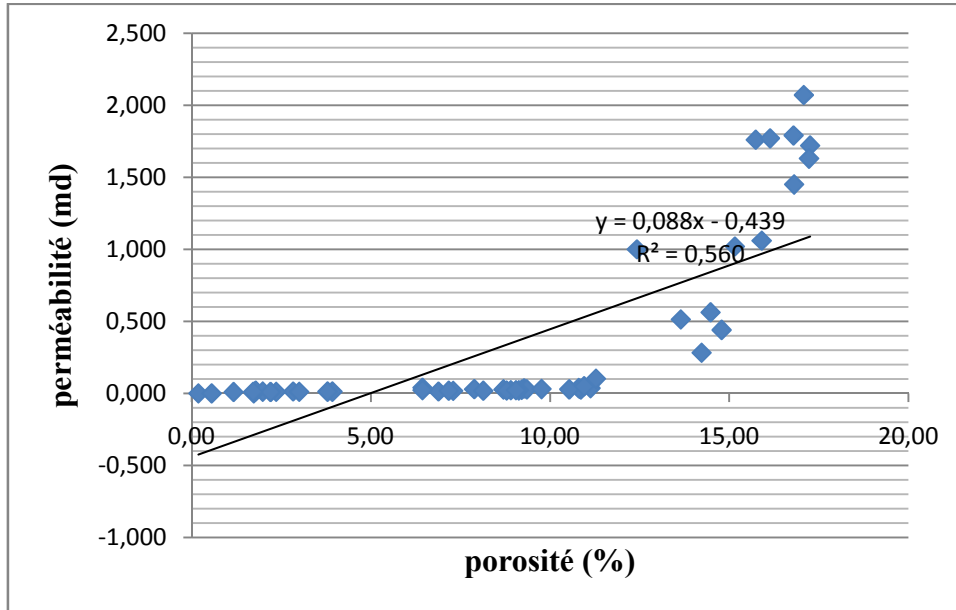


Fig. V.24.Corrélation perméabilité-porosité dans le réservoir Gédinnien au niveau de puits MAMS-1 (Niveau supérieur)

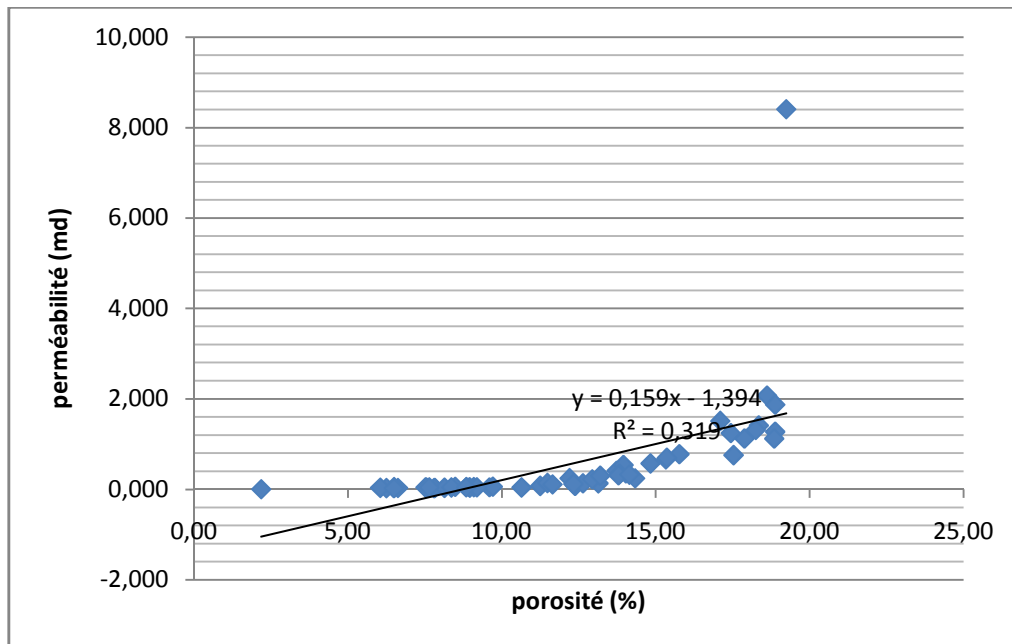


Fig. V.25.Corrélation perméabilité-porosité dans le réservoir Gédinnien au niveau de puits MAMS-1 (niveau inférieur)

III. Conclusion

Les propriétés pétrophysiques des réservoirs Gédinnien et Siéginien sont indépendantes, ces réservoirs sont caractérisés par une porosité moyenne à bonne et une perméabilité très faible.

La faible perméabilité est la raison principale pour dit que ces réservoirs sont compact et les coefficients de corrélation explique la mauvaise qualité de ces réservoirs traduite par une hétérogénéité.

CONCLUSION GENERALE

Ce travail permet de corréler les réservoirs du Dévonien inférieur de la zone Ouest du champ Hassi R'mel, Sillon de Benoud en Algérie. Cette étude s'appuie sur la description des carottes de 5 puits (MAMI-1, MAMI-2, MAME-1, MAMS-1, AET-1) et le découpage séquentiel de ces puits dans la zone d'étude.

Les principales conclusions de cette étude sont les suivantes :

- La sédimentation est essentiellement marin détritique, l'environnement de dépôts a été interprété comme étant : Off-shore, Lower, Middle à Upper Shoreface.
- La structure de la région de MAMI est en Horst et Graben.
- Les découpages des séries de Dévonien inférieur montrent quatre séquences génétiques pour chaque puits, la base du Gédinnien correspond à un LST, on remarque également que le centre du sillon est essentiellement argileux.

L'allure générale du Dévonien inférieur est une séquence transgressive.

- Les propriétés pétrophysiques des réservoirs Gédinnien et Siéginien sont indépendantes, ces réservoirs sont caractérisés par une porosité moyenne à bonne et une perméabilité très faible.

La faible perméabilité est la raison principale pour dit que ces réservoirs sont compact et les coefficients de corrélation explique la mauvaise qualité de ces réservoirs due à l'hétérogénéité du milieu.

BIBLIOGRAPHIE

- Ait Salam Hamid (février 2015) ; la géométrie des réservoirs gréseux, un outil pour la modélisation.
- Archie (1952); made the first attempt at relating rock fabric to petrophysical rock properties in carbonates rocks.
- Boudjemàa. A. (1987) ; Evolution structurale du bassin pétrolier triasique du Sahara Nord (Algérie) Thèse de doctorat en science, université de Paris(XI) Orsay.
- CLAUDE BACCHIANA (juin 2009), IFP training & séquence stratigraphy.
- F. BELFAR, M+. KHELILI ; rapport SH-EXP (2005), potentiel pétrolier du périmètre El Ouabed (blocs 103, 313).
- Galloway (1989) ; séquence stratigraphic models – STRATA Terminology.
- Kazi Tani. N (1996) ; Evolution comparée des bassins algériens depuis le Protérozoïque inférieur. 2^{ème} journées scientifiques et techniques JST2. Recueil de communications. Tome 1.
- Mitchum et al (1971) ; concepts de stratigraphie séquentielle.
- O.SERRA (1985), diagraphie différées (Tome II) « acquisition des données diagraphique ». Les grès du Paléozoïque Sahara sédimentation et discontinuité ; évolution structurale d'un craton ; édition : TECHNIP. PARIS.
- Posamentier et al (1988), séquence stratigraphy – subcommission on Quaternary stratigraphy.
- Fiche technique Schlumberger (Januaru, 2016); Geology and geomechanics analysis for drilling design of MAMS.
- Fiche technique, rapport d'analyse des carottes, master log des puits MAMI-1, MAMI-2, MAME-1, MAMS-1 et AET-1, rapport SH-EXP.
- Rapport SH-EXP ; étude de l'extension du réservoir Gédinnien dans la région d'El Ouabed.
- Rapport SH-EXP ; réservoir argilo-gréseux.