

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOU MAMMARI DE TIZI OUZOU
Faculté des sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
DEPARTEMENT DES SCIENCES GEOLOGIQUES

En vue de l'obtention du diplôme de
MASTER EN GEOLOGIE

Option : Bassins Sédimentaires

SUJET :

**Sédimentologie et l'évaluation Diagraphique du réservoir du
Dévonien inférieur du sillon de Benoud.**

Soutenu le : 29/06/2025

Réalisé par : Ouaras Yasmine

Dif Sara

Devant le jury :

M^r. ACHOUI M'hand

Président

M^r. AMROUCHE Farid

Promoteur

M^r. BELFAR Farid

Co-Promoteur

M^{elle}. OUIKENE Karima

Examinatrice

Tizi Ouzou 2025

Remerciement

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier en premier lieu, le bon dieu de nous avoir donnée la volonté et la patience pour mener cette formation de cinq ans et ce travail jusqu'à son terme.

Ce travail actuel est le fruit de nos propres efforts ainsi que des contributions, et nous souhaitons exprimer notre gratitude sincère envers eux.

Nous tenons également à exprimer nos sincères remerciements à notre encadrant Monsieur Farid Amrouch. Pour sa générosité, son esprit d'entraide et son énergie positive .c'est toujours un plaisir de travailler avec toi ; tu fais toujours preuve d'une bonne attitude au travail ; merci pour ça.

Qui a dirigé nos travaux avec beaucoup d'attention et leur soutien moral. Je la remercie de m'avoir encadre, oriente, aide et conseillé.

Nous remercions aussi Monsieur Belfard Farid pour l'encadrement et le suivi durant le stage effectué au niveau de Sonatrack Division Exploitation -Boumerdes.

Mes vifs remerciements à tous les enseignants du département géologie.

Nous exprimons également notre reconnaissance envers nos familles DIF et OUARAS.

Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué et collaboré de près ou de loin à l'élaboration de cette étude

MERCI A TOUS ET MERCI POUR TOUT.

Dédicace

Tous d'abord je tiens à remercier dieu de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je tiens c'est avec grand plaisir que je dédie ce travail à celle qui a allumé la bougie de ma vie, ma magnifique mère .Au roi qui a fait de moi une princesse, tu n'es pas seulement mon père,

Tu es ma source d'inspiration et ma force et tout dans ce monde.

Aucune dédicace ne pourra faire témoin de mon profond amour, mon immense gratitude et mon plus grand respect à votre égard.

A mes sœurs pour leur compréhension et leur grandes tendresse et leur aide, que dieu les garde pour moi.

A mon binôme **Yasmine** et toute sa famille.

A mes collègues de l'université Mouloud Mammeri merci pour les souvenirs et les moments que nous avons passée ensemble. Je vous souhaite que de bonheur et de réussite.

Sarah Dif

Dédicace

Celui qui dit « je l'ai » l'a obtenu

Le voyage n'a pas été court, et il ne devait pas l'être, le rêve n'était pas proche, et le chemin n'était pas parsemé de facilités.

Je dédie ce travail à mes parents, qui ont toujours cru en moi et m'ont donné la force de poursuivre mes rêves « *Abderrahmane ; Fatima* ».

A mes sœurs, qui m'ont apporté leur soutien moral et leur énergie positive tout au long de ce parcours « *Inès ; Mélissa ; Anaïs* ».

A ceux qui ont tendu les bras sans relâché ni lassitude dans mes moments de faiblesse « *Saïd ; Khelifa ; Moukrane* » que dieu vous garde comme des piliers fermes pour moi.

A ma très chère grand-mère *Zohra* que dieu la préserve, à mes chères tantes « *Nadia ; Zhor ; Samiha* » que j'aime beaucoup.

A mon binôme *Sara* et toute sa famille

Tous mes amis (*Ouarda, joujou, lysa, Saloua, Sonia, Dyhia*) Et tous ceux qui me sont chers.

A toute la promotion géologie fondamentale

Ouaras yasmine

SOMMAIRE

Remerciement

Dédicace

Dédicace

Chapitre 1 : généralités

| | | |
|------|--|----|
| I. | Introduction | 1 |
| II. | Problématique. | 1 |
| III. | 1-Cadre géographique. | 2 |
| | 2- Cadre géologique..... | 3 |
| | 3- Géologie régionale..... | 4 |
| | 4- Géologie local..... | 4 |
| | 5- Aperçue litho stratigraphique. | 5 |
| | a) Paléozoïque..... | 6 |
| | b) Mésozoïque..... | 6 |
| | c) Cénozoïque. | 8 |
| | 6- Aperçue structural..... | 8 |
| IV. | Dévonien inférieur..... | 10 |

Chapitre 02 : Etude Sédimentologique

| | | |
|------|---|----|
| I. | a- Introduction | 12 |
| | b- Rappels théoriques sur les concepts de la sédimentologie..... | 12 |
| | b-1) Les processus sédimentaires..... | 12 |
| | b-2) La texture..... | 12 |
| | b-3) Les environnements de dépôts | 12 |
| | b-4) Facies et électrofaciès..... | 13 |
| | b-5) Les structures sédimentaires..... | 13 |
| II. | Stratigraphie | 15 |
| | a) Les formations du Dévonien inférieur | 15 |
| | b) La zonation du dévonien inférieur. | 16 |
| | 1) Associations de faciès du Gédinien/Siégenien. | 17 |
| | 2) Microfaciès et milieu de dépôts de Dévonien inférieur..... | 23 |
| | 3) Environnements de dépôts du Dévonien inférieur (Gédinien, Siégenien) | 26 |
| III. | Description lithologique des carottes du Dévonien inférieur | 29 |
| IV. | Corrélations lithostratigraphiques (orientation) entre les sondages (la partie Est et Ouest de sillon de Benoud) | 48 |
| V. | Conclusion | 51 |

Chapitre 03 : L'évaluation Diagraphique.

| | | |
|-------|---|----|
| I. | Introduction..... | 54 |
| II. | La Diagraphie dans les puits pétroliers..... | 54 |
| III. | Les types des diagraphies utilisées | 54 |
| | A) Diagraphie nucléaire | 54 |
| | B) Diagraphie acoustique | 55 |
| VI. | Application principales de la diagraphie | 55 |
| VII. | Méthode d'analyse. | 56 |
| VIII. | L'évaluation diagraphiques des réservoirs. | 56 |
| IX. | Conclusion. | 69 |

Chapitre 04 : Conclusion générale.

| | |
|------------------|----|
| Conclusion. | 71 |
|------------------|----|

Résumer :

Le travail porte sur l'étude d'un ensemble géologique très important appelé le sillon le Benoud, il vise à établir une stratigraphie complète et une corrélation des données pour mieux exploiter les ressources de la région grâce à l'étude des puits et l'évaluation diagraphiques.

Le Dévonien inférieur du sillon de Benoud représente une période géologique clé pour la compréhension de l'évolution sédimentaire et des environnements anciens de la région. Cette unité est caractérisée par des dépôts marins peu profonds, riches en sédiments carbonatés et silico clastiques, témoignant d'un environnement favorable à la préservation de la matière organique. Le Dévonien inférieur joue ainsi un rôle crucial dans l'évaluation des ressources énergétiques du sillon de Benoud.

Abstract :

This work focuses on the study of a very important geological complex called the Benoud Trench. It aims to establish a complete stratigraphy and data correlation to better exploit the region's resources through well studies and log evaluation.

The Lower Devonian of the Benoud Trench represents a key geological period for understanding the sedimentary evolution and ancient environments of the region. This unit is characterized by shallow marine deposits rich in carbonate and silico-clastic sediments, reflecting an environment favorable to the preservation of organic matter. The Lower Devonian thus plays a crucial role in assessing the energy resources of the Benoud Trench.

CHAPITRE 01 :
GÉNÉRALITÉS

I. Introduction :

La plateforme saharienne est une région géologique d'une grande importance, faisant partie du craton Nord-africain. Elle est caractérisée par une diversité géologique et géomorphologique, au Nord, elle est bordée par les chaînes de montagnes de l'atlas, séparées de la plateforme par la flexure sud-atlasique. Cette flexure joue un rôle essentiel dans la structuration du paysage, influençant les caractéristiques géologique de la région. (*Selmi et al., 2021*)

Au Sud, la plateforme est délimitée par le massif des Eglabs et le Hoggar, situés respectivement au Sud-Ouest et au Sud-Est. Ces massifs montagneux, qui s'élèvent au-dessus de la plateforme, contribuent à la diversité écologique et climatique de la région.

Le sillon de Benoud, fait partie de la province occidentale de la plateforme saharienne. Ce sillon avec ces caractéristiques géologiques unique, témoigne des processus tectonique.

II. Problématique et l'objectif de l'étude :

Ce sujet a été proposé dans le cadre d'une convention, entre l'université MOULOUDE MAMMERI de Tizi-Ouzou et la Division Exploration (SONATRACH), il consiste en l'étude de la sédimentologie et l'évaluation diagraphique du réservoir du Dévonien inférieur de sillon de Benoud.

La formation Dévonien inférieur est l'objectif principal, elle peut être subdivisée en trois(3) sous étages qui sont Gédinien ; Siégenien ; Emsien. Ce travail consiste à replacer l'étude dans son cadre stratigraphique. Il expose les différentes formations attribuées au Dévonien inférieur (Gédinien-Praguien-Emsien). Le sujet de notre étude portait spécifiquement sur le Gédinien ou nous avons étudié la sédimentologie et l'évaluation diagraphique (sillon de Benoud).

Ils sont constitués par des alternances des grés et des argiles. L'autre objectif est de comprendre la répartition et les caractéristiques des différents réservoirs du Dévonien inférieur dans la région.

III. 1- Cadre géographique :

Géographiquement, le sillon de Benoud appartient à la province pétrogazéifère du la plateforme saharienne, s'étendant sur une superficie de 10710.74 km², et s'étale sur les wilayas d'el Bayadh, Laghouat et Ghardaïa. (**Fig.01**)

Cette région s'étend entre 00° 30' – 02° 40' : Longitude Est Et 32° 30' – 33° 40' : Latitude Nord. (Seghier *H. et al*, 2017)

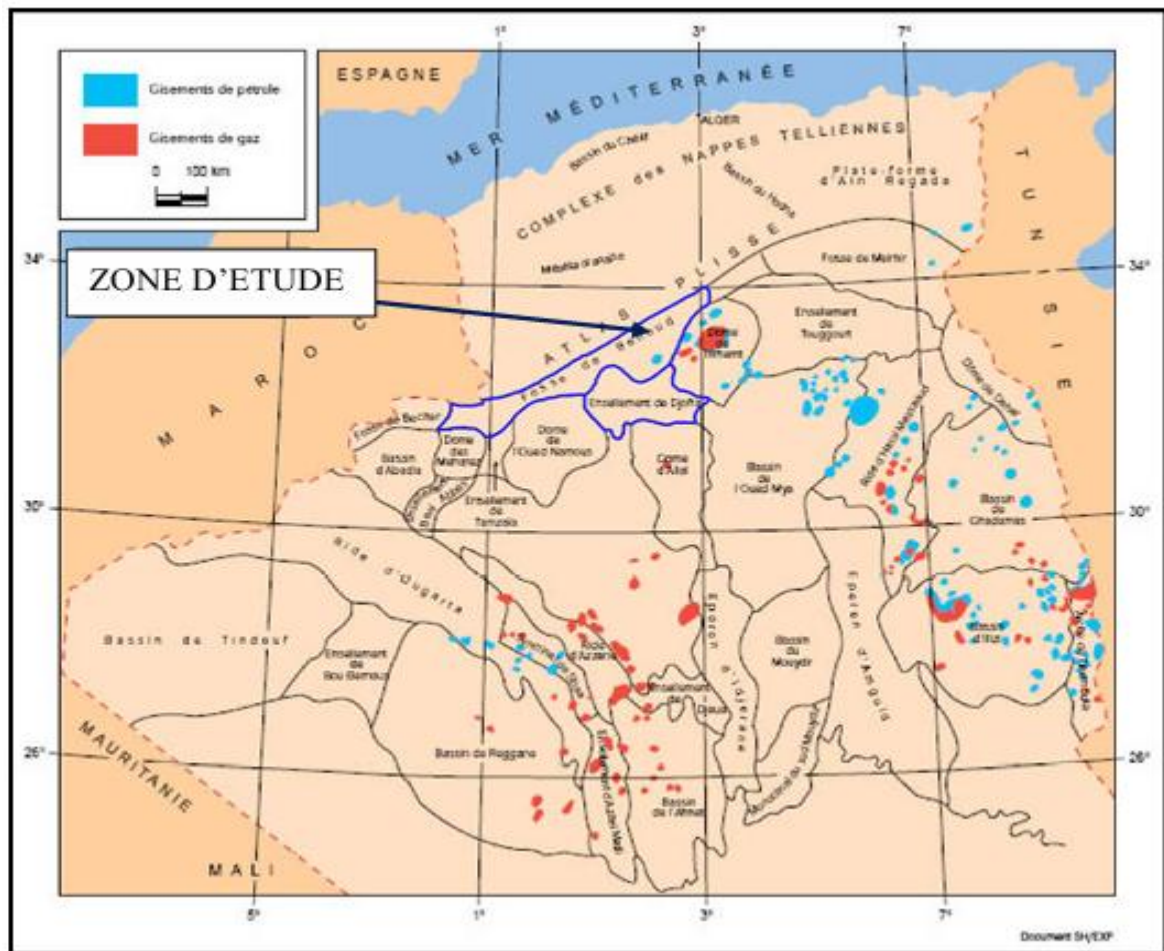


Fig.01 : Carte des grands ensembles structuraux de la Platform saharienne. (Document Sonatrach 2021)

2- Cadre géologique :

Du point de vue géologique, le sillon de Benoud situé à l'Ouest du champ géant de gaz et de condensât de Hassi R'mel, est constitué de deux entités géologique séparée par un accident majeur « Accident Sud Atlasique ».

Il est limité :

- Au Sud, par l'ensellement de Djofra et la voute de Oued Namous.
- A l'Est, par dôme de Tilrhemt.
- A l'Ouest, par la région de Béchar.
- Et au Nord, par l'accident sud Atlasique. (*Seghier H et al, 2017*)

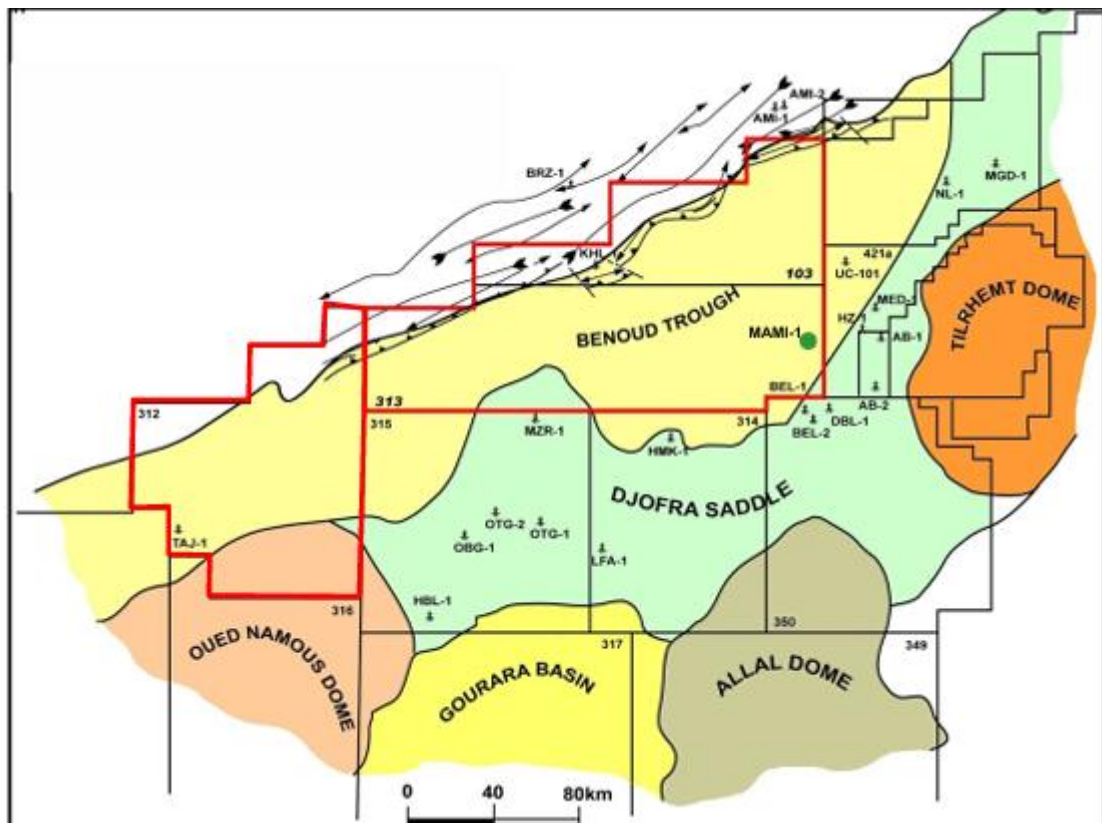


Fig. 02 : Carte géologique de sillon de Benoud (Document Sonatrach, 2021)

3- Géologie régionale :

Le bassin de Benoud, situé dans la plateforme saharienne occidentale, possède une géologie complexe résultant de plusieurs cycles tectoniques et sédimentaires. Il a été façonné par le cycle calédonien (Ordovicien–Silurien), le cycle hercynien (Carbonifère–Permien), et le cycle alpin (Mésocène–Cénozoïque). Pendant le Paléozoïque, il a reçu des sédiments clastiques fins à grossiers, principalement issus d'un Hoggar géologiquement stable. (Document Sonatrach)

4- Géologie local :

Le sillon de Benoud est une dépression géologique située au Nord du Sahara Algérien, servant de transition entre la plateforme Saharienne au Sud et l'atlas Saharien au Nord. Il est délimité au Nord par l'accident Sud-Atlasique, à l'Ouest par la région de Bechar, à l'Est par le dôme de Tilrhemt et au Sud par l'ensellement de Djofra et la route d'Oued Namous.

Le relief est relativement plat en comparaison avec celui du domaine atlasique ; les altitudes varient entre 600m et 1000m. (*Ighoumracene M.O., 2008*)

Le bassin de Benoud est stratégiquement important pour l'exploration géologique en raison de ses ressources en hydrocarbures, particulièrement dans les formations du Dévonien et du Jurassique, et il a des caractéristiques tectoniques qui le rendent intéressant pour

L'industrie pétrolière et gazière.

5- Aperçu litho stratigraphique :

Le bassin de Benoud, situé dans le sud-ouest de l’Algérie, fait partie du Sahara algérien est une dépression géologique importante entre l’Atlas saharien au Nord et la plateforme saharienne au Sud. Le bassin est constitué de plusieurs formations géologiques, qui se sont déposées au cours des différentes périodes géologiques. (Fig. 03)

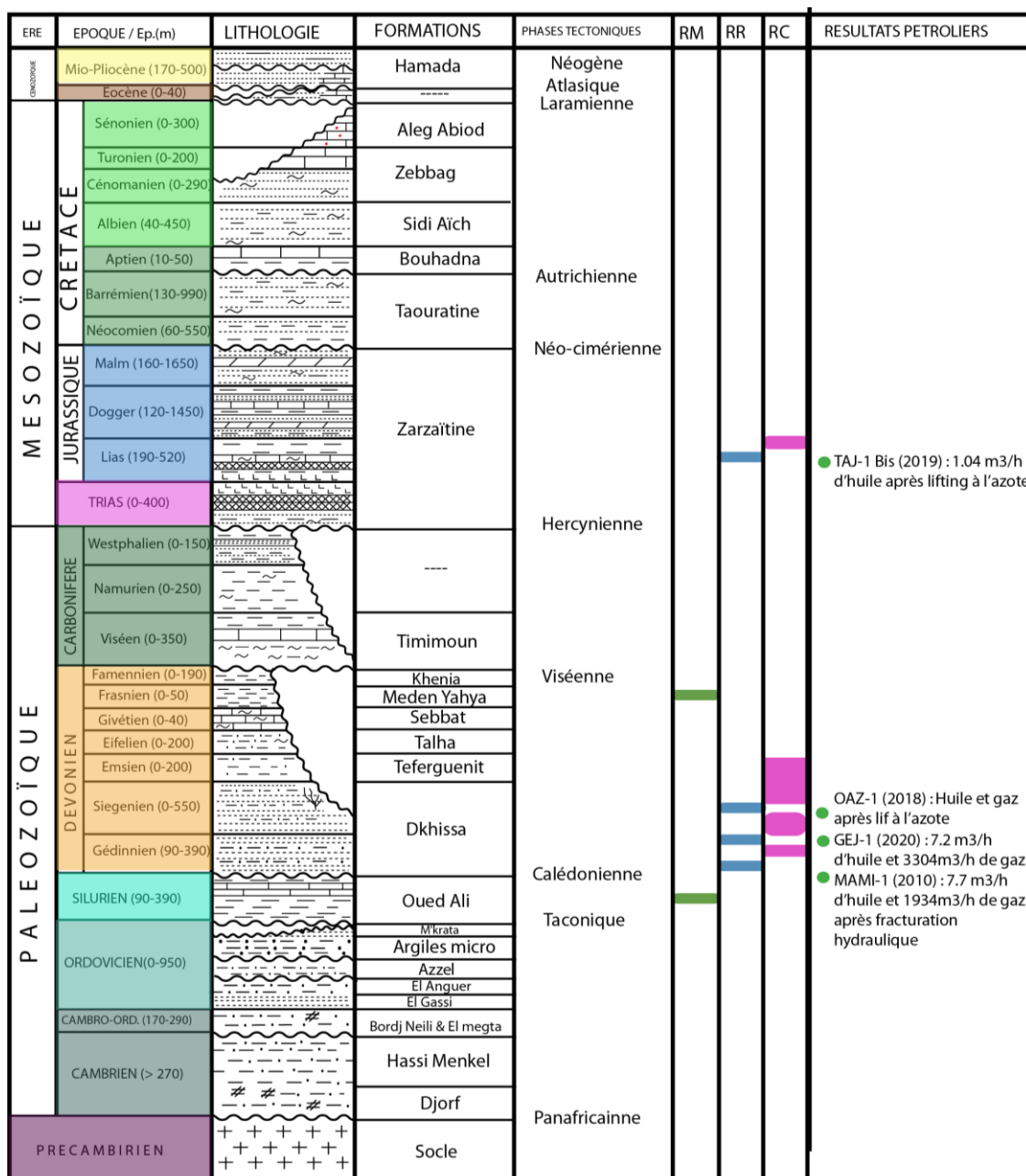


Fig. 03 : La colonne stratigraphique de la région Benoud (Document Sonatrach, 2005)

5) a. Paléozoïque :

Le Paléozoïque est représenté par 1000m à 3000m des sédiments à dominance argilo-gréseux, reposant en discordance sur le Précambrien.

1) Cambrien :

La sédimentation est marquée par des dépôts détritiques continentaux à littoraux, représenté par la formation des grés du Hassi Menkel. (Document Sonatrach, 2005)

2) Ordovicien :

L'Ordovicien est caractérisé par une sédimentation détritique comparable à celle reconnue dans toute la partie Nord de la plateforme saharienne, distinguée par une période de glaciation et une alternance transgression-régression marquée par des sédiments Argilo-gréseux marins à continentaux.

3) Silurien :

Le Silurien est représenté par la formation des argiles noires riche en matière organique (graptolites) et de matières radioactives (uranium). Cette formation constitue la roche mère principale dans la région.

4) Dévonien :

Le Dévonien caractérisé par une sédimentation détritique littorale avec influence marin. Les forages dans 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 de dolomie.

5) Carbonifère :

La sédimentation dans le Carbonifère, incomplète, est marine avec des dépôts carbonatés et détritique. Il est formé par des grés à la base surmontée par une alternance d'argile, de calcaire et de dolomie

5) b. Mésozoïque :

Le Mésozoïque repose en discordance sur le Paléozoïque ; caractérisé par une sédimentation lagunaire. . (Ben Sania et *al*, 2024)

1) Trias :

Le Trias est subdivisé en 03 grands ensembles litho stratigraphiques :

- Trias Eruptif :

Il est représenté par des coulées doléritiques de quelques dizaines de mètres d'épaisseur intercalés entre deux niveaux d'argile silteuses à passées de grés fins à moyens.

- Trias Détritique (Trias argilo-gréseux) : Subdivisé en

* T1 (qui fait partie du Trias détritique ou argilo-gréseux)

* T2 (Trias gréseux) qui atteint une épaisseur de 126 m.

- Trias Salifère :

Représenté par des évaporites à intercalation argileuse. Leurs épaisseur moyenne est de 40m.

2) Jurassique :

- Lias :

Formé à la base par des dépôts essentiellement évaporitiques (argile, sel, anhydrite), au sommet par des facies carbonatés (dolomie et calcaire).

- Dogger :

Caractérisé par un facies argileux dolomitique à la base qui évolue progressivement en facies détritique au sommet.

- Malm :

Est composé essentiellement d'alternance argilo-gréseux et argilo-sableuse parfois avec des intercalations dolomitiques.

3) Crétacé :

Deux ensembles peuvent être distingués : le premier détritique terrigène (Crétacé inférieur), le second carbonaté et évaporitiques (Crétacé supérieur).

5) c. Cénozoïque :

Le Cénozoïque repose en discordance sur le Crétacé, Recouvre presque entièrement toute la région de Benoud caractérisé par des formations détritiques continentale à couleur rouge dominante. (*Ben Sania et al, 2024*)

6- Aperçue structural :

Le sillon de Benoud est un bassin étroit de forme asymétrique, orienté Nord-Est / Sud-Ouest (NE-SW). Il s'étend sur environ 495km de longueur pour une largeur moyenne de 64 km, et se situe en juxtaposition directe avec la flexure sud-atlasique.

Ce sillon correspond à un bassin d'avant-fosse varisque, jouant le rôle de zone de transition entre deux grands ensembles géologiques :

- Au nord, le domaine de l'atlas saharien.
- Au sud, la plateforme saharien

Un élément structurant majeur de cette région est l'accident Sud-Atlasique, une grande faille tectonique qui a profondément influencé l'architecture géologique de la zone. (*Boudjma A, 1987*)

Cet accident tectonique agit comme limite structurale entre :

- La plateforme saharienne, à structuration héritée principalement de l'orogénèse hercynienne.
- Et les domaines atlasiques, affectes par une déformation plus intense d'origine alpine.

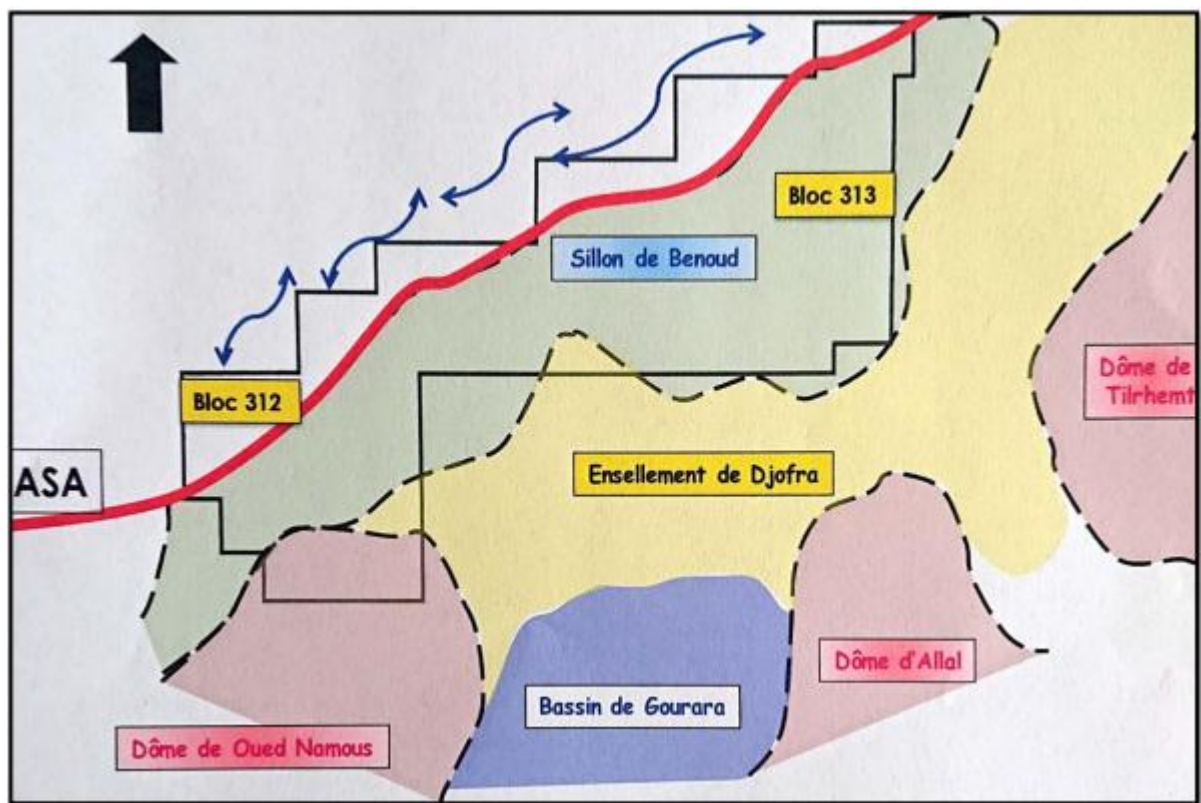


Fig.04 : Schéma structural de la région de Benoud (Document Sonatrach, 2005)

IV. Dévonien inférieur :

Le Dévonien inférieur est la première subdivision de la période dévonienne qui s'étend de 419 à 393 millions d'années ; il représente une étape géologique et paléontologique clé dans l'histoire de la terre marquée par une importante diversification de la vie marine, climat et de continents.

Le Dévonien inférieur comprend trois étages chrono stratigraphiques principaux (du plus ancien au plus récent) : Gédinien / Siégenien / Emsien.

➤ **Gédinien :**

C'est le premier étage de Dévonien inférieur, il couvre une période allant d'environ 419,2 à 410,8 million d'année, très riche en fossiles marins avec un climat généralement chaud et stable, réorganisation des masses continental en cours.

➤ **Siégenien :**

C'est le deuxième étage du Dévonien inférieur situé entre Lochkovien et l'Emsien. Il couvre une période allant d'environs 410.8 à 407.6 million d'années. (Il s'agit d'une unité officielle dans l'échelle chrono stratigraphique internationale), riche en fossiles marin avec environnement marin peu profond.

➤ **Emsien :**

Est le troisième et le dernier étage du Dévonien inférieur, couvrant une période d'environ 407.6 à 393.3 millions d'année. Correspond à une période de haute Transgression marine, favorisant de vastes dépôts marins peu profonds, développement des récifs et de communauté benthique complexe.

CHAPITRE 02 :

ÉTUDE

SÉDIMENTOLOGIQUE

I. a-Introduction :

La sédimentologie est l'étude des phénomènes sédimentaires est des roches sédimentaires. L'approche Sédimentologique est réalisée dans de le but de mieux caractériser les réservoirs et de définir les environnements de dépôts en utilisant la description des carotte des différents puis.

b- Rappels théoriques sur les concepts de la sédimentologie :

La sédimentation est un processus dans lequel des particules de matière quelconque cessent progressivement de se déplacer et se réunissent en couches. Les facteurs induisant la sédimentation peuvent être variés en nombre et en proportion.

En géologie, la sédimentation se forme à basse température à la surface du globe, soit par déposition des produits d'érosion (par exemple le sable, l'argile), soit par précipitation (par exemple les évaporites), soit par accumulation au fond des océans des débris minéraux des animaux ou plantes mortes (par exemple la craie, la diatomite), soit par d'autres processus froids. Les sédiments se disposent en strates. S'il y a interruption dans la continuité de la sédimentation on parle de discordance. Entre deux strates, lorsque le sédiment n'est pas encore compacté, il y a glissement et donc formation d'un slump : les couches sont perturbées et ne deviennent solides qu'ensuite. (J. Élie Brochier, 2002).

1) Les processus sédimentaires :

Les matériaux qui se déposent en strates subissent un long processus pour passer du sédiment à la roche. Ces processus se déroulent selon 3 grandes étapes : l'altération de la roche mère, le transport des éléments et le dépôt.

2) La 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.

3) Les environnements de dépôts :

Est un environnement sédimentaire un lieu géographique où se déposent et se forment les sédiments, tels que les rivières, les lacs, les deltas et les océans. Ayant une importance dans les études de système pétrolier se subdivise en trois domaines :

Continental / côtier / marin

Les éléments primordiaux définissant le milieu de dépôts sont :

Les structures sédimentaires / La bathymétrie / La granulométrie.

4) **Facies et électrofaciès :**

- **Facies :** En géologie, le terme de faciès est un terme général qui est employé dans plusieurs champs de la discipline. Il a un intérêt descriptif et sert à qualifier un étage lithostratigraphique. Les faciès permettent de catégoriser ces étages à l'aide de critères déterminants qui leur sont propres.
- **Électrofaciès :** L'étude des électrofaciès est une étape fondamentale de toute caractérisation de réservoir. Traditionnellement, elle repose sur une combinaison de données carottées et pétro physiques (diagraphies de puits).

5) **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. (Seghier H et al, 2017)

a) **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.

b) **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.

c) **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. (Seghier H et al, 2017)

II. Stratigraphie :

Ce travail consiste à replacer l'étude dans son cadre stratigraphique. Il expose les différentes formations attribuées au Dévonien inférieur (Gédinien-Praguien-Emsien).

(Document Sonatrach, 2011)

a) Les formations du Dévonien inférieur

Le Gédinien :

Entre le Siégenien et les argiles du Silurien, tous deux bien individualisés, un ensemble qui est formé de silts et de grés (Zeimlet) à la base et des argiles silteuses (Saheb –El –Jir) au sommet.

- ❖ La formation de Zeimlet : Elle est représentée par des grés très fins carbonatés et silts, assez riche en brachiopodes, entropodes, trilobites, son épaisseur varie de 34m à 122m. Cette formation est présumée gédinienne
- ❖ La formation de Saheb –El –Jir : Elle est formée d'argile silteuses azoïque, micacée à passées de silstones et grés fins argileux. Des pistes dénotant une sédimentation peu profonde, son épaisseur varie de 52m à 122m. Cette formation est présumée gédinienne.

Le Siégenien :

- Le Dkhissa argilo-gréseux : (Siégenien Argilo-gréseux)

C'est un ensemble formé d'argile gréseuse parfois silteuses, présentant parfois de rares débris d'entropodes et des grés très fins à fins carbonatés avec de rares intercalations de niveaux dolomitiques. Cet ensemble s'étend sur l'ensemble de la région avec une épaisseur variant de 58m à 187m.

- Le Dkhissa gréseux : (Siégenien gréseux)

Cet ensemble homogène de grés fins à moyen à ciment argilo-calcaires lumachellique à brachiopodes, entroques, on note la présence fréquente de niveaux d'oolithes à la base et au sommet. Son épaisseur varie de 120m à 320m. (Document Sonatrach, 2011)

1) Associations de faciès du Gédinien/Siégenien :

Les Dépôts du Gédinien et du Siégenien présentent une grande diversité de faciès, témoignant de l'évolution des environnements sédimentaires, On y observe cinq faciès qui sont :

- ❖ **Facies 1** : Alternance de grès très fins et d'argile silteuses à stratifications obliques

Description :

Ce faciès se caractérise par une hétérolithie bien développée, représentée par une alternance de Grès fins à très fins, généralement mal classés, allant de propres à légèrement argileux, ainsi que de niveaux d'argile silteuses et de silt argileux. Il présente une grande variabilité dans les structures sédimentaires, dominées par des stratifications sigmoïdes, des stratifications obliques, des drapages argileux, typiques des environnements tidaux. Ces structures forment principalement des chenaux tidaux et des barres sableuses.

On observe également des rides de vagues et des stratifications entrecroisées planes. La bioturbation est modérée, dominée par la présence de Planolites. À la base de certains bancs, on trouve des galets d'argile (mud clastes) et des fragments argileux, témoins d'un remaniement sédimentaire localisé.

L'épaisseur des dépôts associés aux chenaux tidaux varie généralement entre 2 et 3 mètres, tandis que celle des barres sableuses peut atteindre jusqu'à 3 mètres. Le signal gamma ray associé à ce faciès montre une alternance rapide de valeurs basses et hautes, en lien avec les drapages argileux. L'ensemble de ces dépôts présente une organisation strato-grano-croissante, traduisant une dynamique sédimentaire rythmée et évolutive. (Document Sonatrach, 2011)

Interprétation :

Ce faciès traduit un environnement dominé par la présence de **chenaux distributaires** et de **barres sableuses**. Les stratifications obliques ainsi que l'imbrication de galets d'argile témoignent d'un transport sédimentaire par traction, sous l'effet de courants unidirectionnels, comme le suggère Pemberton (1992) (Document Sonatrach, 2011). Selon Bijudival (2000), la formation de telles stratifications nécessite des courants périodiquement puissants, évoluant dans un régime hydrodynamique turbulent.

L'influence des marées est également manifeste, mise en évidence par la présence de multiples indicateurs tidaux au sein des corps gréseux. La granulométrie fine des sédiments suggère un dépôt le long d'un axe de courant tidal maximal. L'ensemble de ces caractéristiques permet d'associer ce faciès à un milieu de "tidal point bar" (équivalent) ou de barre de chenal, tels que décrits par Pemberton (1992) et Jackson (1981) (Document Sonatrach, 2011).

- ❖ **Faciès 2** : alternance de grès très fins et d'argile silteuses à flaser bedding et rides de vagues.

Description :

Cette zone présente également un faciès hétérolithique, caractérisé par une alternance de grès très fins et d'argile silteuses. On y observe des structures sédimentaires typiques des milieux tidaux, telles que des flaser bedding, un litage lenticulaire (lenticular bedding) ainsi que des rides de vagues. La bioturbation est modérée, représentée par des assemblages de Planolites et de Macrofaune. Ce faciès montre de fortes similitudes avec un environnement tidale dominant. La signature gamma ray associée présente des valeurs élevées et une tendance croissante, en lien avec l'abondance des apports fins.

Interprétation :

Ce faciès est interprété comme étant **d'origine subtidale**, c'est-à-dire déposé dans une zone soumise à l'influence marée-fluviale, typique des estuaires, des deltas et, dans certains cas, des lagunes côtières bien connectées aux rivières et à la mer. Les flaser bedding, caractéristiques des environnements tidaux, traduisent des conditions hydrodynamiques variables, marquant une augmentation de l'énergie lors des phases de Dépôt sableux. Ils coexistent avec des dépôts lenticulaires et un litage ondulé, formant un ensemble sédimentaire représentatif des environnements tidaux mixtes, comme le décrivent Tessier et al, (1995).

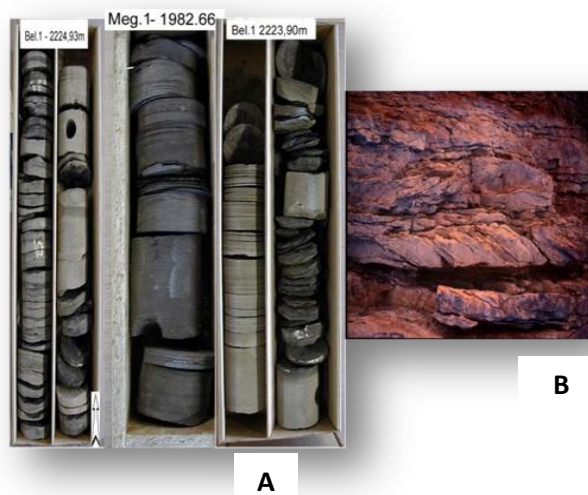


Fig.05 : Faciès Tidal. (**A** : carottes **B** : affleurement)

❖ **Faciès 3** : grès fin à très fin avec des fines passées d'argiles à silt

Description :

Ce faciès est le plus dominant dans notre intervalle étudié. Il est présent dans tous les puits et les logs décrits. Il correspond à un grès très fin moyen à mal classé. Des stratifications entrecroisées à faible angle et une alternance de silt argileux et d'argile silteuses sont observées dans ce faciès.

Les structures sédimentaires les plus dominantes sont les stratifications entrecroisées en mamelons (hummocky cross stratification «HCS»). L'épaisseur des unités gréseuses dans ce faciès varie de quelques centimètres à 5 mètres. Le gamma ray présente une signature typique qui correspond à des contacts abrupts avec une décroissance nette des valeurs.

Interprétation :

Ce faciès est déposé dans l'environnement **Lower Shoreface**. La bioturbation élevée ou autrement dit la présence d'un grand nombre de terriers dans ce faciès peut refléter la sédimentation ralentie sous des conditions de beaux temps avec des rares événements de tempête (Maceachern et Pemberton, 1992, in Kaced, 1991).in Document Sonatrach, 2011

Cette interprétation est basée sur 4 arguments :

- ✓ La position stratigraphique de ce faciès qui est immédiatement au-dessus de l'Offshore
- ✓ La présence des stratifications entrecroisées en mamelon « HCS »
- ✓ La dominance de la granulométrie fine
- ✓ Les bancs de grès qui sont relativement fins

❖ **Facies 4** : Grès fin à moyen à stratifications horizontales planes à obliques et HCS

Description :

Ce faciès est constitué de grès fins à micacés, bien à moyennement classés, formant une alternance avec des couches minces de silt argileux. On y observe des structures sédimentaires caractéristiques telles que le litage ondulé, les HCS (stratifications entrecroisées à sommet plan) et des drapages argileux marqués. La bioturbation est modérée à forte, dominée par les ichnofossiles Planolites, Thalassinoides, Teichichnus et Asterosoma. Les unités gréseuses varient en épaisseur de quelques centimètres à plusieurs mètres. Le profil gamma ray montre des bases nettes et abruptes, suivies d'une diminution progressive des valeurs.

Interprétation :

Ce faciès est interprété comme ayant été déposé dans un environnement marin peu profond, correspondant à une zone comprise entre le *Middle Shorface* et l'*Upper Shorface*, sous l'influence dominante des tempêtes. La présence de galets d'argile ainsi que de fines couches d'argile intercalées entre les bancs de grès témoigne d'une activité tempétueuse fréquente, responsable de l'érosion des dépôts formés durant les périodes calmes (dépôts post-tempête). Par ailleurs, la présence de structures sédimentaires de type HCS (Hummocky Cross Stratification) confirme également une mise en place dans ce type d'environnement dynamique. (Document Sonatrach, 2011)



Fig. 06 : dépôts de Shorface (**A** : carottes **B** : affleurement)

❖ **Facies 5** : Argile noire avec des fines passées et lentilles de silt

Description :

Il s'agit d'une argile noire, silteuses 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. Elle est représentée essentiellement par Les Planolites et les Graptolites. Les Micas sont localement présents dans ce faciès.

Interprétation :

Ce faciès décrit par Krause et Nelson (1991), ressemble fortement aux deux faciès argile noire et silt argileux bioturbés décrits par Keith (1991). Ce faciès à prédominance argileuse est attribué à l'**environnement Offshore** où il s'est déposé sous le niveau de base des vagues. Les bases abruptes des lentilles de silt sont liées aux événements de tempêtes. Ces lentilles de silt sont considérées comme des tempestites (Seyfried et Sprechmann, 1985 in Smidt et Seyfried, 1991 in Kaced). (Document Sonatrach, 2011)



Fig.07 : Dépôts de l'Offshore

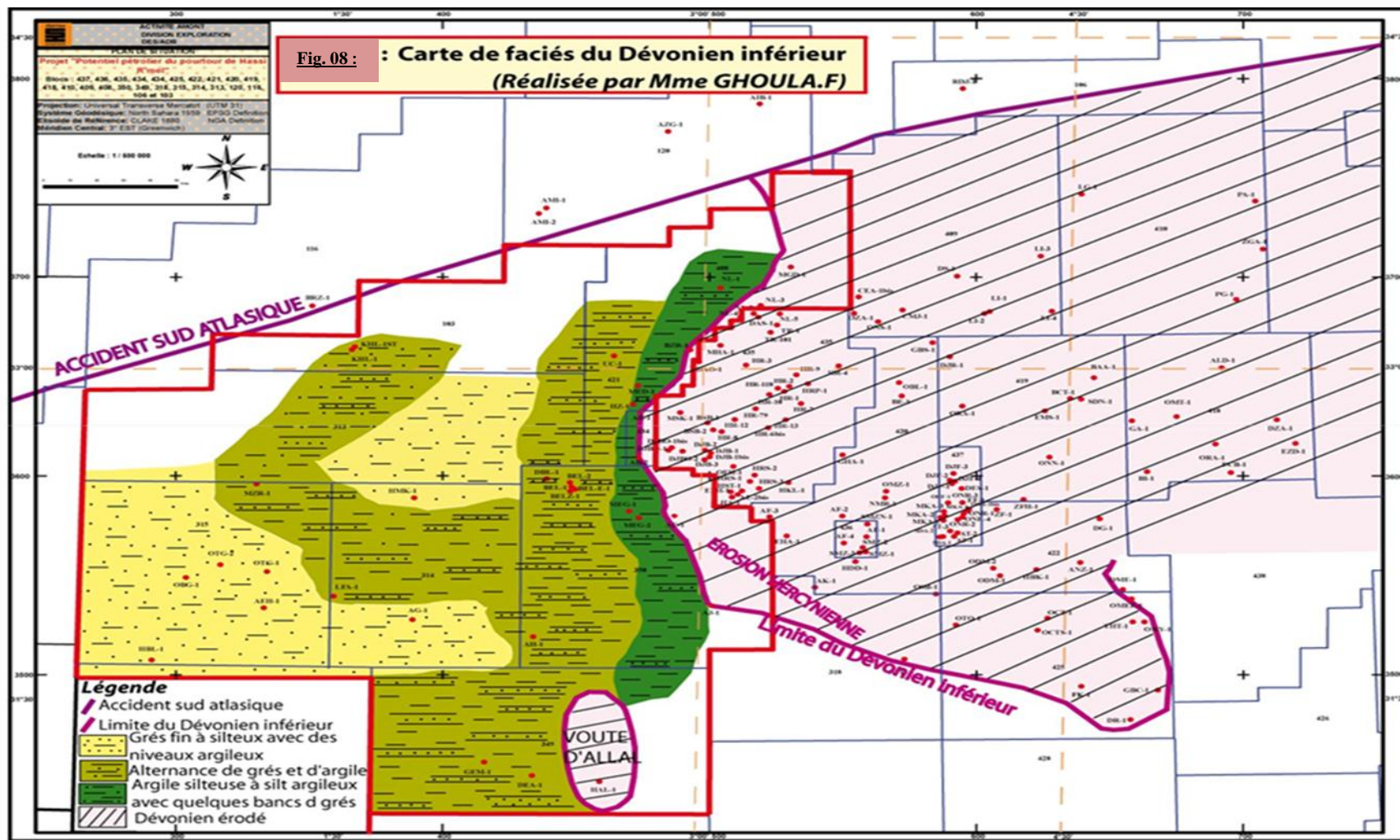


Fig.08 : Carte de faciès du Dévonien inférieur. (Document Sonatrach, 2011)

2) Microfaciès et milieux de dépôts de dévonien inférieur :

L'analyse des microfaciès montre que le Dévonien est argilo-gréseux à la base et gréseux au sommet, on peut distinguer :

a) Le Gédinien :

❖ A la base :

Il fait partie de la série du Dkhissa inférieur et se compose généralement de deux niveaux de grès très fins, feldspathiques et micacés, avec un ciment argilo-carbonaté, imprégnés de matière organique. Ces grès peuvent être localement siliceux et présentent des transitions vers des argiles noires gréseuses micacées. (fig. 05) (Photo 01)

Ces grès contiennent des bioclastes, tels que des échinodermes et d'autres fragments non identifiés, et montrent parfois des signes de bioturbation ainsi que des stratifications entrecroisées les deux niveaux de grès sont séparés par un intervalle d'argile noir finement silteuses, parfois carbonatée, riche en matière organique. La transition entre les grès et les argiles est progressive, elle fait penser à des séquences chenalisées influencées par les marées.

❖ Au sommet :

On observe une alternance d'Argile noir, silteuses et micacée riche en matière organique, localement dolomitique présentant des laminations gréseuses ; de grès très fins, argilo-micacés parfois carbonatés (photo 2) ; de silt grossier.

Dans l'ensemble de cette unité, les feldspaths sont principalement représentés par des plagioclases, tandis que les micas se transforment en argiles, le ciment est majoritairement argileux, avec des occurrences locales de dolomie.

Les argiles sont principalement composées de chlorite, bien que l'on note également la présence de kaolinite et d'illite. On constate aussi l'altération des micas et des feldspaths en argiles, ainsi que la corrosion du quartz par les carbonates.

Les dépôts argileux faiblement bioturbés et sans structures sédimentaires indiquant un milieu calme ou ils se sont déposés par décantations .ce qui correspond au domaine marin ouvert (offshore)

Les niveaux gréseux bioturbés a stratification entrecroisées qui renferment des bioclastes évoquent un milieu marin agité lié à l'action des vagues et peu profond ; caractérisée par les apports terrigènes (argile et sable fin).on peut le situer à la partie inférieur de l'avant cote (Shore face)

L'empilement de ces différents faciès est lié au changement de niveau marin relatif.
(Mr Ighoumracene M., 2008)

b) Le Siégenien :**❖ A la base :**

Le Siégenien se compose principalement de grés fins à moyens, mal classés à la base. Ces grés présentent des laminations ou des nodules et sont cimentés par une matrice noire, soit siliceuse, soit argileuse fortement dolomitique et parfois riche en oxydes de fer (photo 03).

On observe des zones riches en carbonates ainsi que des zones avec une forte concentration de bioclastes, notamment des Bivalves, des Brachiopodes, des Echinodermes et de rares Terriers remplis d'Argiles sont également à noter (photo 04).

Parfois, de larges plages de carbonates calcitiques et dolomitiques se forment, ces carbonates se développant sous forme de croûtes plus ou moins continues. Entre ces Grés on trouve quelques intercalations de fines couches de Silt ou d'argiles noires silteuses, imprégnées de matière organique.

❖ Au sommet :

On trouve des silts finement carbonatés contenant des Bioclastes des figures de charge, ainsi que des laminations de Quartz plus grossiers et dispersés accompagnés de rides de courant.

Ces silts alternent avec de fines couches de grés fins très fins, fossilifères ayant un ciment argileux imprégné de matière organique, qui peut parfois devenir argilo-carbonaté (photo 05 et 06).

Leur environnement de dépôts à haut énergie, caractérisé par une faible bioturbation, se limitant à quelques rares terriers à une accumulation de bioclastes.

Les structures sédimentaires observées : laminations planes, rides ondulées de courant, situées dans la partie inférieure de l'avant cote (Shore face). (Mr Ighoumracene M., 2008)

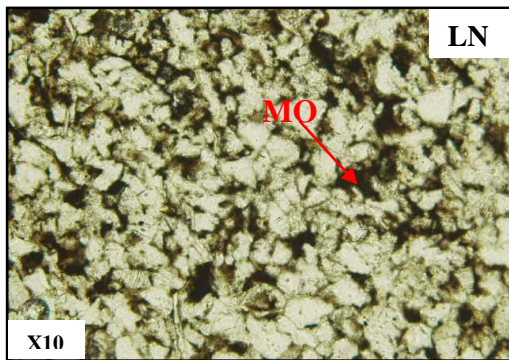


Photo 1 : Grès très fin argilo-micacé imprégné de M.O. (**MO**).

Sondage HMK-1, côte : 2613.50 m

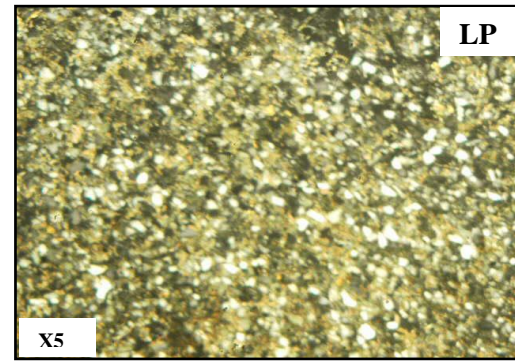


Photo 2 : Grès très fin à ciment argilo-dolomitique abondant.

Sondage HMK-1, côte : 2460 m

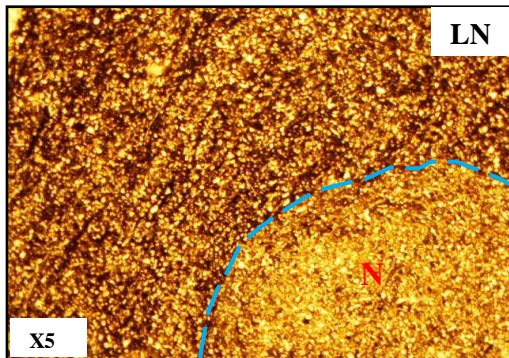


Photo 3 : Grès très fin à ciment argilo-ferrugineux. Nodule gréseux (**N**).

Sondage HMK-1, côte : 2408.50 m

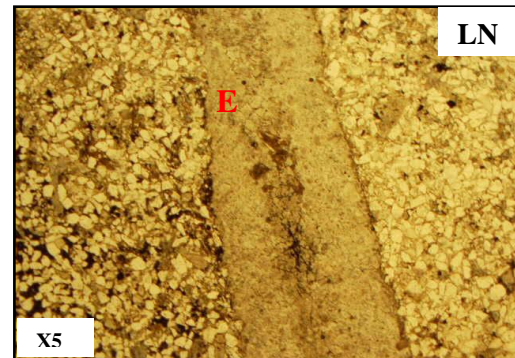


Photo 4 : Grès très fin à ciment argileux imprégné de M.O. Fragment d'Echinoderme (**E**).

Sondage HMK-1, côte : 2301 m

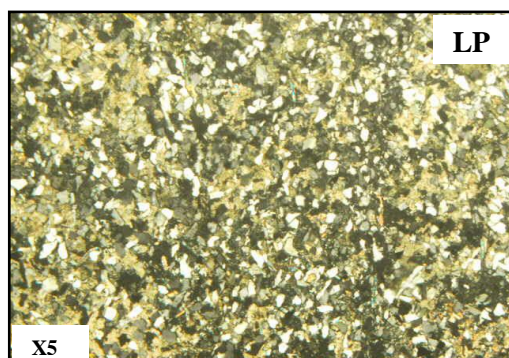


Photo 5 : Grès très fin à ciment argilo-carbonaté.

Sondage HMK-1, côte : 2285.50 m

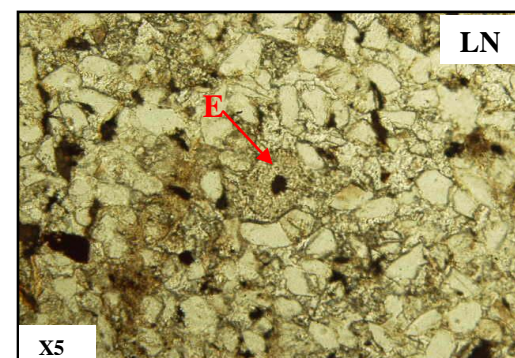


Photo 6 : Grès fin à ciment argileux imprégné de M.O. Echinoderme (**E**).

Sondage HMK-1, côte : 2270 m

Fig09 : photos de lame minces au microscope dans le sondage HMK-1

3) Environnements de dépôts du Dévonien inférieur (Gédinien, Siégenien) :

3-1) Dépôts de la plaine côtière (Coastal plain) :

Les faciès de la plaine côtière prennent place entre les faciès continentaux et marins. La zone de sédimentation est spécifiquement localisée entre la ligne de baie (bayline) et la ligne de rivage. Les faciès sont dominés par une signature tidale importante.

Les dépôts qui correspondent sont des **dépôts de chenaux tidaux, de barres** et des **dépôts de la zone subtidale**. Ce type d'environnement sédimentaire qui est largement développé durant le Silurien supérieur à travers une grande partie de la plate-forme saharienne. Les affleurements du Tassili montrent des exemples typiques de ce genre d'environnement de dépôts et des dépôts similaires ont été attribués au F6 du bassin d'Illizi. (Eschard et al, 2005 ; Henniche, 2002) *in* (Document Sonatrach, 2011).

En Algérie, l'influence des marées est clairement enregistrée dans les affleurements du Tassili, à plusieurs niveaux des séries du Siluro-Dévonien (Consortium SH/IFP, 2000 ; Henniche, 2002). On y observe des structures caractéristiques telles que des barres et chenaux tidaux, des grès subtidaux et tidaux, ainsi que des dépôts de type *mud flat*. Ces sédiments présentent souvent une granulation croissante et des dépôts en sigmoïdes atteignant plusieurs mètres d'épaisseur. De tels éléments indiquent un régime macro tidal marqué, où l'influence des marées est particulièrement forte. Ce type d'environnement est typiquement associé à des phases transgressives, résultant d'un espace d'accommodation élevé, lui-même lié à des variations eustatiques. Par ailleurs, la morphologie côtière est profondément incisée par de larges estuaires, Les « tidal flat » et les chenaux distributaires sont dominants. (Document Sonatrach, 2011)

3-2) Dépôts marins :

Les faciès marins sont les faciès les plus dominants dans notre zone étudiée. Ils correspondent principalement aux grès progradants du **Shorface** et aux argiles de l'**Offshore**.

Ce type d'environnement de dépôts est influencé par deux paramètres majeurs : l'action des vagues et l'action des marées. L'action des vagues dépend de plusieurs facteurs tels que : la géométrie de la cote, bathymétrie, ect.... Lorsque plusieurs facteurs entraînent une forte activité des vagues, on considère que la côte est dominée par les tempêtes (*storm-dominated*). Dans les autres cas, on parle de côtes dominées simplement par les vagues.

Toutefois, dans certaines situations, l'action des marées peut surpasser celle des vagues. Dans un environnement à dominance tempétueuse, les traces laissées par les marées

sont rarement conservées, car la zone du *Shorface* est constamment remaniée par les vagues. En revanche, lorsque l'intensité des tempêtes diminue, l'influence tidale devient plus visible dans les dépôts sédimentaires, en fonction de la profondeur maximale atteinte par cette influence. Ainsi, toutes les combinaisons sont possibles entre un *Shorface* dominé par les tempêtes et les vagues, ou par les marées et les vagues, selon le contexte dynamique local.

En période calme, les vagues redistribuent les grès jusqu'à 20–30 m de profondeur, tandis que lors de tempêtes, leur action peut atteindre 70 m de profondeur. Les dépôts du *Shorface* ont généralement un profil lisse, en cliniforme avec une pente douce de 2°, et les grès peuvent s'étendre jusqu'au domaine offshore sous forme tabulaire. Les *Shorface* dominés par les tempêtes sont composés de bancs épais de grès fins à très fins, bien classés, possédant de bonnes qualités réservoirs. Cependant, la présence fréquente de micas peut réduire la perméabilité verticale de ces dépôts. (Document Sonatrach, 2011)

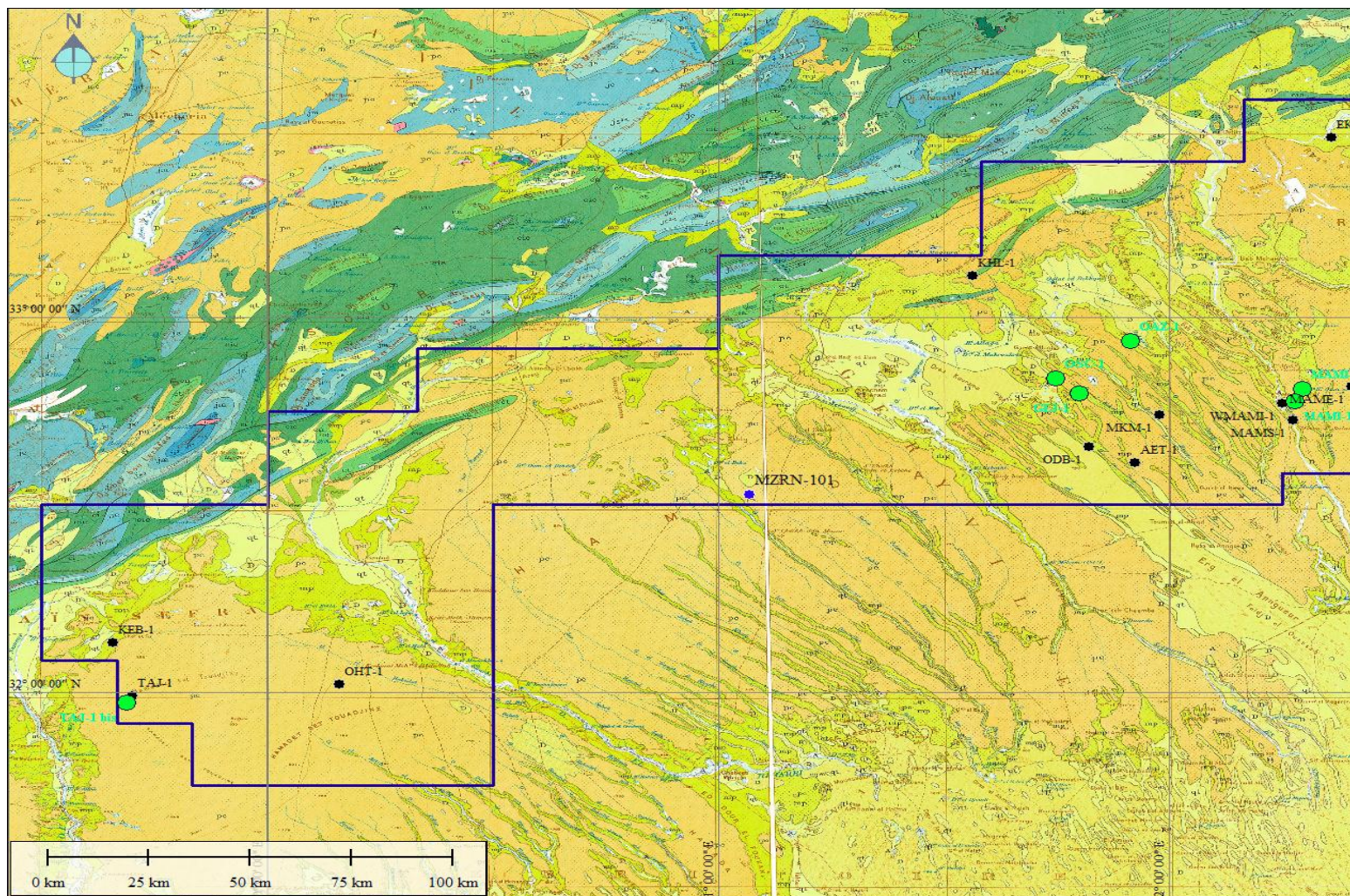


Fig.10 : plan de position des puits.

III. Description lithologique des carottes du Dévonien inférieur :

La description des carottes est une étape essentielle dans l'interprétation Sédimentologique et stratigraphique, concentre sur la description du type de sédiment rencontré, de la granulométrie, de la texture, la couleur, la lithologie, de l'épaisseur des bancs et des figures sédimentaires associées, et sur la définition d'un facies sédimentaires.

- A.** Pour la description des carottes nous avons choisi trois puits dans la zone Est qui sont : (MAMI-1 ; MAMS-1 ; W MAMI).

1. Puits MAMI-1 :

Le Dévonien inférieur existe entre 3287 m et 3209 m de profondeur dans la zone Est de sillon de Benoud. Il est représenté par deux carottes :

○ Carotte 10 (barre inférieur) :

cette carotte prise dans la barre inférieur de sillon de Benoud avec une épaisseur de un mètre prise entre les côtes 3286m et 3287m, d'âge Dévonien inférieur, constituée d'une séquence qui présente des Grès très fins à Silts, fortement argileux, micacés plus ou moins durs, de couleur gris sombre à rougeâtre, à rares Stratifications horizontales et faiblement inclinées.

○ Carotte 09 (barre supérieur) :

Prise dans la barre supérieure de sillon de Benoud, avec une épaisseur de 23 mètres qui varie entre les côtes 3226m et 3209m, d'âge de Dévonien inférieur. Nous y avons définis 02 séquences :

✓ Séquence N°01 :

D'une épaisseur de 08m (3226m – 3218m), présentée par une succession de HF/S et HF/SD, présentée par des argiles silteuses de couleur gris sombre, micacée, indurée à passées silteuses fines, parfois inclinée et déformées (slumping).

On note la présence de quelques bancs centimétriques de Grés très fin, gris clair, à structure horizontales, les rides de courants et slumps. Cette séquence déposée dans un

domaine de transition offshore (Offshore Transition).

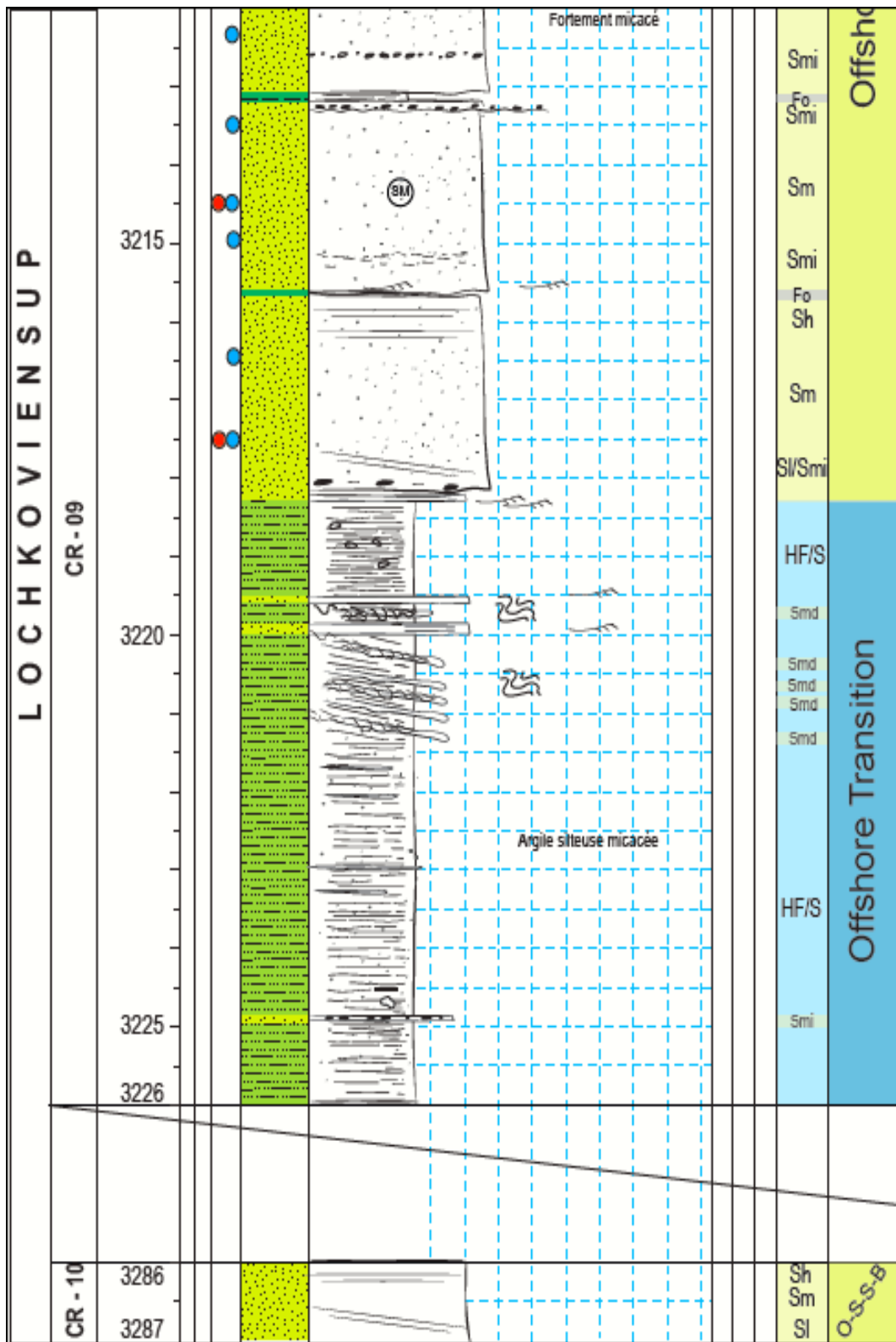


Fig.11 : Carotte 10 (barre inferieur) est la Carotte 09 (barre supérieur) qui prise dans le Puits MAMI-1

✓ Séquence N°02 :

Cette séquence d'une épaisseur de 09m (3218m – 3902m) limitée par 02 bases de **F0**, constituées de 10 cortèges (**Si/Smi ; Sm ; Sh ; Sh/Si**).

Sur le plan lithologiques elle est constituée d'un ensemble sédimentaires d'un empilement de barres pluri métriques de grès très fin à fin, fortement argileux, très micacé, de couleur grisâtre/ verdâtre, dur, à mudchips et parfois quelques galets millimétriques disséminés. Cette séquence présente au sommet horizontal, les obliques faiblement inclinées (-10°) et des bioturbations très rare.

Ces barres présentent un aspect massif en général, avec la présence de rares stratifications obliques, horizontale et obliques faiblement inclinées, déposés sur les bancs **de sable au large d'offshore (Offshore Sand Bars)**.

2. Puits MAMS-1 :

○ Carotte 04 (barre inferieur) :

La carotte du puits MAMS-1 a été prélevée dans la formation LOCHKOVIAN, avec une épaisseur de 18 m entre 3293m et 3275m. Subdivisé sur deux séquences :

✓ Séquence N°01 :

D'une épaisseur de 14m (3293m – 3279m), la base de cette séquence présente des grès très fin à fin, argileux, gris à beige claire, présente aussi une porosité apparente importante, massif à quelques laminations très faiblement inclinées, légèrement friable, intercalé par des passées d'argile avec des lentilles de grès, à structures ondulées « wavy bedding », et rides de vagues.

Grès très fin à fin, argileux, grisâtres à beige, avec une porosité apparente considérable, légèrement friable, oxydé, avec des fines laminations d'argiles horizontales très peu visible, autrement c'est un grès massif. A galets et chips argileux millimétriques. Limité par trois bases de **HS/F**, constituées de 8 cortèges (**Sm ; Sm/Sh ; Smi**). Déposé sur les barres de sable offshore

✓ Séquence N°02 :

D'âge Lochkovien, avec une épaisseur de 4m (3281m – 3275m), correspond à des grès induré, laminé, à aspect schisteux, très peu silteux avec des lentilles centimétriques et millimétriques. Les structures sédimentaires retrouvées sont des rides de vagues, rides de courant et HCS. La bioturbation dans cette séquence est très faible (locale).

Limité par **SHCS** et 2 cortèges de **HS/F** qui dépose sur la **face inférieure du rivage (Lower Shoreface)**.

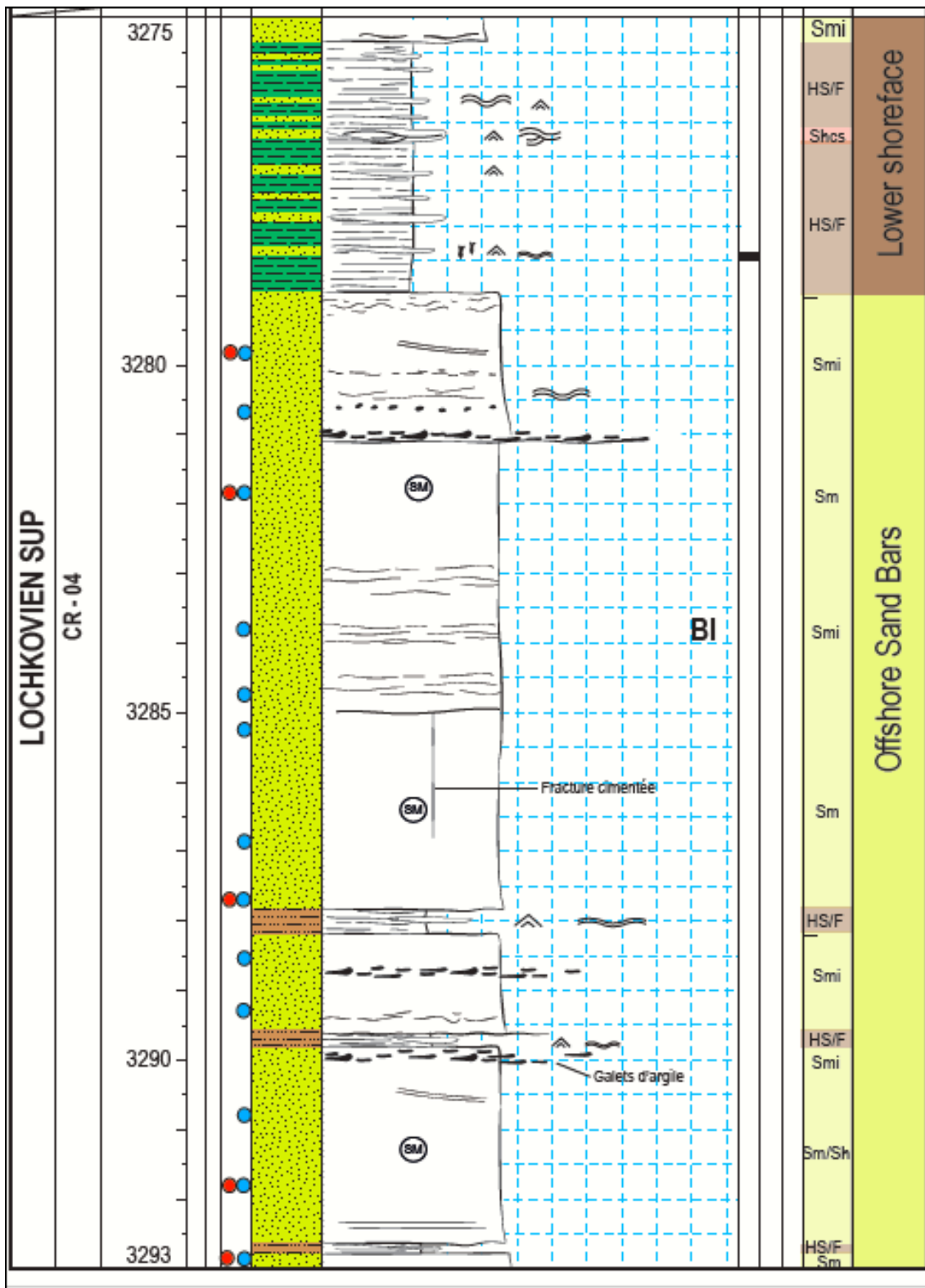


Fig.12 : Carotte 04 (barre inferieur) qui prise dans le Puits MAMS-1

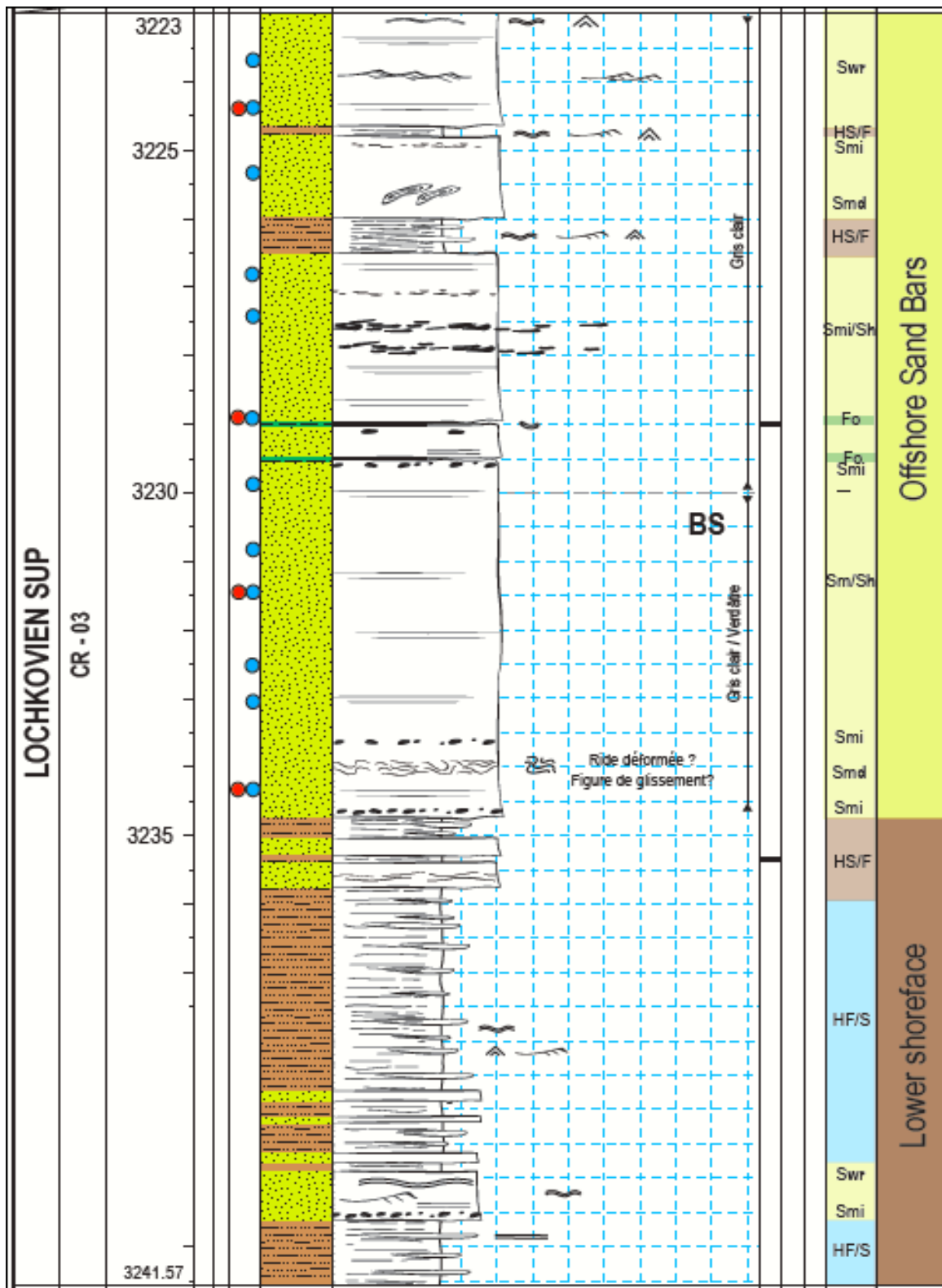


Fig.13 : Carotte 03 (barre supérieur) qui prise dans le Puits MAMS-1

○ **Carotte 03 (barre supérieur) :**

La carotte a été prise dans la formation lochkovienne, dont la barre supérieure, avec une épaisseur de 18,57 m (3241.75m – 3223m). Cette carotte comprend 02 unités lithologiquement séparées :

✓ **Séquence N°01 :**

Prise avec une épaisseur de 06.57m (3241.57m – 3235m). Correspond à des facies hétérolithique argilo-silteux, avec des passées centimétriques de grés très fins de couleur gris clair et des lentilles gréseuses.

Les structures sédimentaires retrouvées sont des rides de vagues et des structures ondulées (wavy bedding) ainsi que des structures horizontales dans les bancs de grés. Cette séquence déposée sur (Lower Shoreface). Présenté par 4 cortèges (HF/S ; Smi ; Swr).

✓ **Séquence N°02 :**

D'âge Lochkovien, d'une épaisseur de 13m (3236m - 3223m). Limitée par 2 limites de F0, et 10 cortèges (Smi ; Swr ; HF/S ; Smd ; Sm/Sh).

La partie basale :

Grès gris clair à verdâtre, très fin, bien classé, micacé, légèrement friable, avec une porosité visuelle modérée, à traces d'oxydes et galets argileux sans surface érosive. Les structures sédimentaires retrouvées sont des rides de vagues déformées (figures de glissement) avec quelques structures horizontales difficiles à observées.

La partie supérieure :

Grés gris clair, très fin, légèrement friable, bien classé, argileux, à porosité faible, rarement bioturbés, à clastes et chips argileux, rides de vagues et laminations d'argile horizontales et ondulées.

Les grés sont intercalés par des passages hétérolithiques à lenticular et wavy bedding. Cette séquence déposée sur Offshore Sand Bars.

3. Puits WMAMI :

○ **Carotte 03 (barre inférieure) :**

D'âge lochkovien, d'une épaisseur de 18.4m entre 3377.4m et 3359m. Deux séquences ont été définies :

✓ Séquence N°01 :

D'une épaisseur de 12.4m (3377.4m – 3365m), limitée par 03 limites F0, caractérisée par la présence de 32 cortège (Sm ; HS/F ; Sm/Smi ; Sr ; Shcs ; Sma ; Smd).

Présentée par une alternance de grès, très fins à silts, brun roux, micacés, légèrement friable, argilo-carbonatés, des mud chips et mud clastes au sommet de bancs et parfois éparées, des rides, des HCS et SCS. Avec des argiles silteuses, gris sombre, laminées, avec quelques rides, des figures de glissement, et des lentilles gréseuses. Bioturbation en traces.

On note également que ces argiles sont très riches en coquilles par endroit (surface transgressive). Cette séquence se dépose sur le Lower Shoreface.

✓ Séquence N°02 :

D'une épaisseur de 06m entre (3365m – 3359m) d'Age Lochkovien. En remarque 07 cortèges (Sm ; SP/SR ; Smi ; Spi ; Shcs ; Smd ; H/S).

Présente à la base des grès, très fin, brun roux, micacés, compacts, avec des rares mud chips.

On note la présence de quelques galets au sommet, des stratifications obliques accompagnées de micas, des HCS, slumps, des low angle, des rides de courant.

Au sommet des argiles gris sombre bioclastiques à la base et des lentilles gréseuses rides courant. Cette séquence se déposée sur L'offshore Sand Bars.

○ **Carotte 02 (Barre supérieur) :**

D'âge Lochkovien, d'une épaisseur de 18m entre (3297m – 3279m) subdivisée en 03 séquences :

✓ Séquence N°01 :

C'est un petit banc d'argiles grise a sombre, consolidée, bioclastique, a lenticular bedding et rides de courant au sommet des HCS. On note aussi la présence des micas. D'une épaisseur de 1.7m, avec 02 cortèges (HF/S ; Hcs). Qui se dépose sur Offshore T.

✓ Séquence N°02 :

D'une épaisseur de 11.5m, c'est une alternance de bancs décimétriques et métrique de grès, très fins, gris claire à verdâtre, micacés avec quelques stratifications horizontales, avec des niveaux d'argiles gris sombre au sommet des bancs.

On note :

- La présence des mud chips et mud clastes à la base et au sommet des bancs.
- Contorted bedding

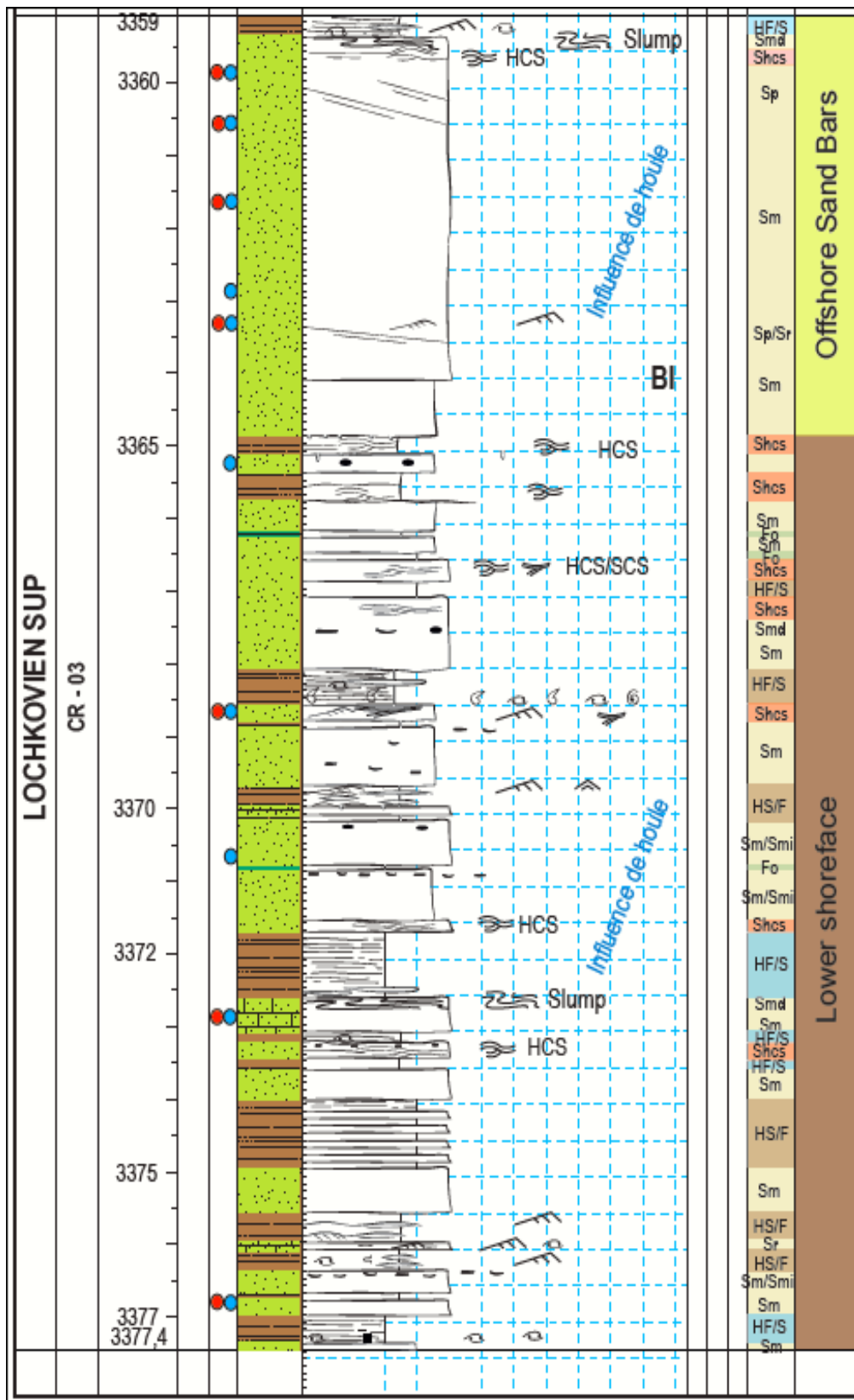


Fig.14 : Carotte 03 (barre inferieur) qui prise dans le Puits WMAMI

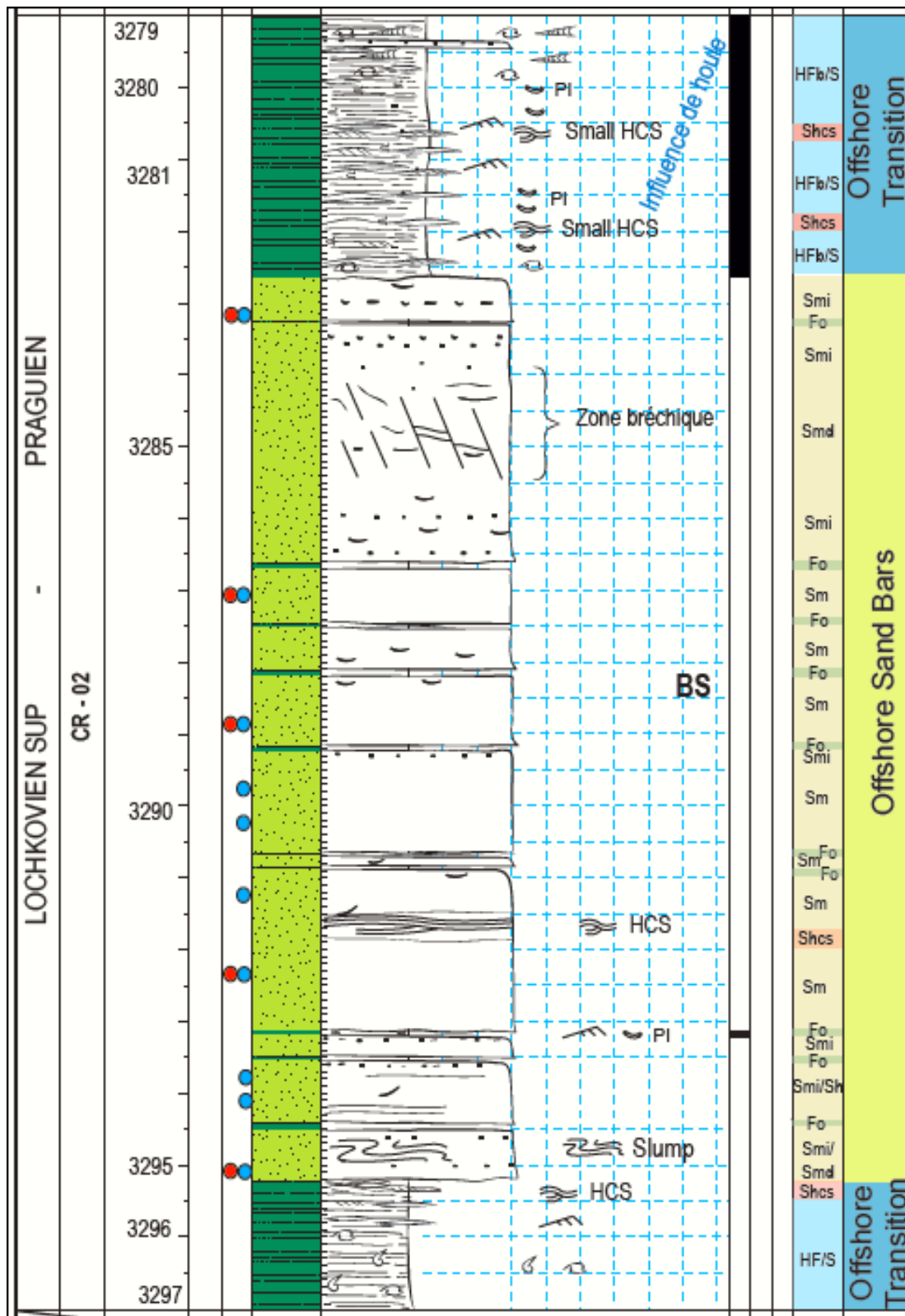


Fig.15 : Carotte 02 (barre supérieur) qui prise dans le Puits WMAMI

- Rares rides du courant
- Intervalle bréchiq.

Cette séquence se dépose sur l'offshore Sand bars, Limitée par 10 limites de F0, et de 17 cortèges (Smi/Smd ; Smi/sh ; Smi ; Sm ; Smd).

✓ Séquence N°03 :

C'est des argiles gris sombre, légèrement silteuses, micacée, avec des lentilles gréseuses accompagnées de rides de courant et des petites HCS, bioclastique (fragment de coquille), à faible bioturbation et laminations horizontales.

Les lentilles gréseuses s'amincissant vers le sommet. La présence de 5 cortèges (Hfb /s ; Shcs).

B. Pour la description des carottes de la zone ouest on a choisie 05 puits qui sont :

(OSC-1 /OAZ-1/ MKM/ ODB-1/ GEJ-2) :

1. puits OSC-1 :

○ **Carotte 04 (barre inferieur) :**

Cette carotte prise dans la barre inferieur de sillon de Benoud (partie ouest), avec une épaisseur de 18mètre (3769m – 3751m).D'Age Lochkovien. On a définie 04 séquences :

✓ Séquence N°01 :

C'est une barre métrique de grès fin à très fin, fortement argileux, de couleur grisâtre/verdâtre, plus ou moins friable, a galets argileux, flaser bedding et structures obliques faiblement inclinées (-10°).

Au sommet de la barre, on note la présence d'intercalations d'argile ondulée (wavy), ainsi que des rides de courant et de vagues, slumps, et quelques bioturbations horizontales et verticales. D'une épaisseur de 02m. Avec une succession de 04 cortèges (Sm ; Smi/Sm ; HS/F). La séquence se dépose sur O-S-S-B.

✓ Séquence N°02 :

D'une épaisseur de 5.5m entre (3768m - 3762.5m), qui présente un passage pluri métrique d'argiles silteuses, de couleur gris sombre/noirâtre, indurée, plaquette, riche en traces de fossiles (fragments et moules entiers de forme conique) à quelques intercalations centimétriques de de grès très fin à rides de courant et slump, L'ensemble est probablement imprégné.

Présenté par 05 cortèges (Sm ; HS/F ; Fm/FI ; Smd). La séquence se déposé sur offshore transition.

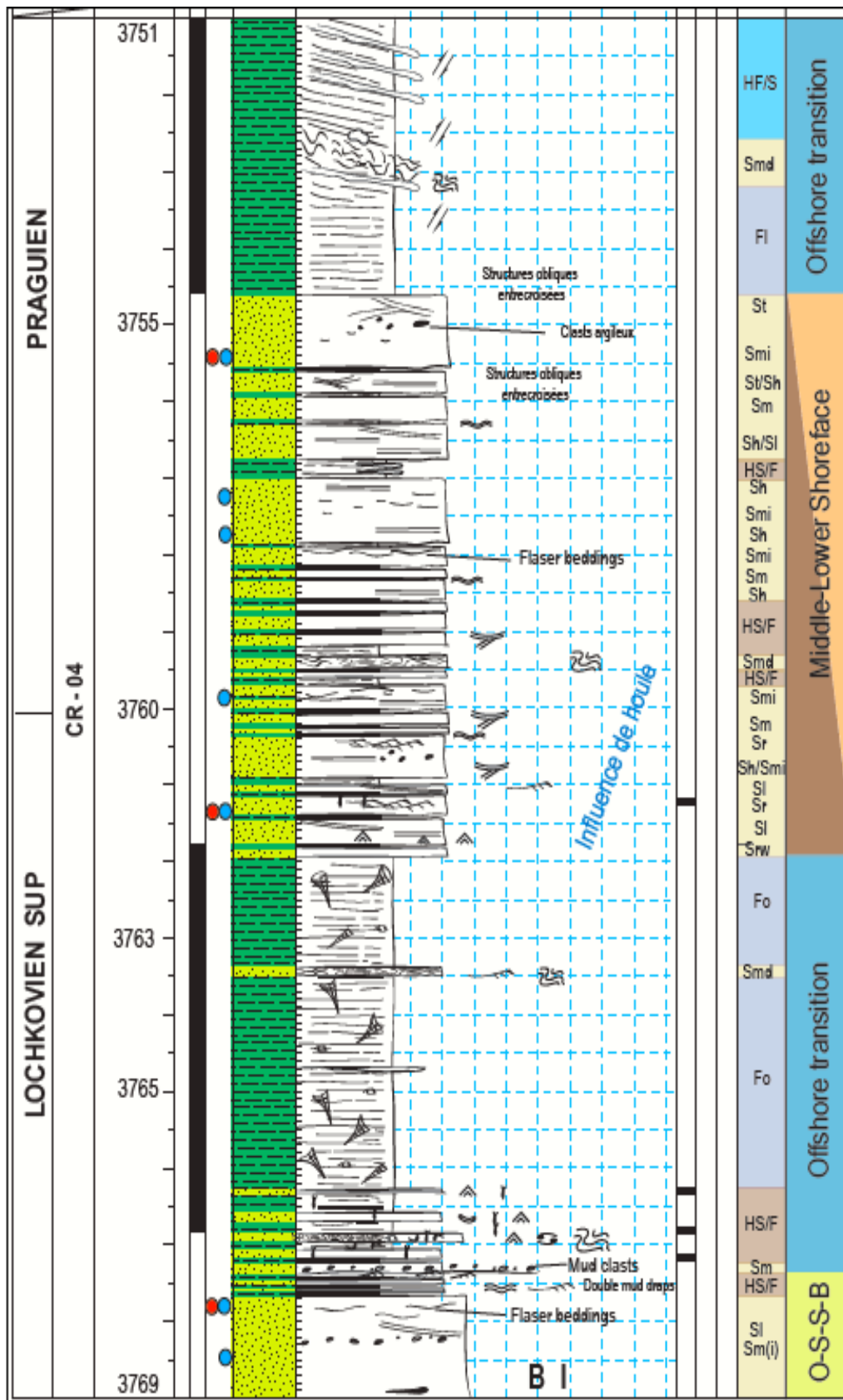


Fig.16 : Carotte 04 (barre inferieur) qui prise dans le Puits OSC-1

✓ Séquence N°03 :

D'âge Lochkovien avec une épaisseur de 6.7m, avec 23 cortèges (Srw ; SI ; Sr ; Sh/Smi ; Sm ; Smi ; HS/F ; Smd ; Sh ; Sh/SI ; St/SI ; St).

C'est un ensemble sédimentaire constitué d'un empilement de barres centimétriques à métriques de grès très fin, fortement argileux, micacé, de couleur grisâtre, plus ou moins dur, à clastes argileuses répétitives, parfois ondulées, centimétriques.

Les structures sédimentaires retrouvées sont des rides de vagues, rides de courant, SCS, structures horizontales, structures obliques faiblement inclinées (-10°) et structures obliques entrecroisées vers le sommet, qui se déposent sur l'offshore Sand Bars.

✓ Séquence N°04 :

C'est des argiles silteuses indurée, de couleur gris sombre/ noirâtre, plaquette, à slickensides (traces de friction), à slump et, strates inclinées et déformées vers le sommet.

L'ensemble est probablement imprégné. D'une épaisseur de 4.5 m de 3 cortèges (HF/S ; Smd ; Fm/FI).

2. puits OAZ-1 :○ **Carotte 04 (Barre supérieur) :**

La carotte a été prise dans la barre supérieure avec une épaisseur de 18 m, comprend quatre séquences :

✓ Séquence N°01 : D'âge S.A.G

D'une épaisseur de 6m (4153-4157), limités par 5 cortèges (FM/FI ; HS/F ; HF/S) sur le plan lithologique elle est constituée d'un faciès hétérolithique d'une intercalation d'argiles gris sombre, indurée, paquetée, parfois à rares bioturbations horizontales, et des bancs gréseux très fins, durs, grisâtres, à rides de courant, rides de vagues, wavy et convolutes.

Cette séquence contient deux passages (métrique, hétérolithique). Elle se dépose sur l'offshore transition.

✓ Séquence N°02 : d'Age lochkovian

Cette séquence prise avec une épaisseur de 4m, présente une succession de 7 cortèges (SH ; Fm/FI ; SR ; SM ; SH/SM ; SM/SH).

C'est un ensemble sédimentaire constitué d'un empilement de barres métriques de grès très fin, dur, massif, de couleur grisâtre/rougeâtre, oxydé, micacé, à « mud chips », intercalé par des minces passées d'argiles gris sombre.

Les structures sédimentaires retrouvées dans les grès sont des rides de courant, structures horizontales et massives. Déposé sur l'offshore Sand bars.

✓ Séquence N°03 : d'Age lochkovian

D'une épaisseur de 5m, composé d'un facies hétérolithique constitué d'une intercalation d'argile gris sombre, indurée, plaquettée, et des bancs gréseux très fins, à rides de courant et rides de vagues(wavy), convolutes et structures en flammes. Déposé sur l'offshore transition avec un cortège (HF/S).

✓ Séquence N°04 :

C'est la dernière séquence de cette formation qui épaisse 3m, qui présente 5 cortèges (SMI ; SM ; SW). C'est un empilement de barre métrique à pluri métrique de grès très fin, dur, massif, de couleur grisâtre/rougeâtre, oxydé, micacé, à mud chips et figures de charge, intercalé par des passages argileux parfois ondulés. Sans structures sédimentaires apparentes.

3. puits MKM :

○ Carotte 06 (barre inférieure) :

La carotte été prise dans la formation S A G. Gédinien dans la barre inférieure, avec une épaisseur de 18m. La carotte comprend deux séquences avec 12 cortèges.

✓ Séquence N°01 :

D'une épaisseur de 14m, déposé sur Lower Shoreface, présenté :

-Argile silteuses de couleur gris sombre à noirâtre, indurée, intercalée par des niveaux centimétriques de grès très fin à silt, de couleur gris clair, à ciment carbonaté.

-Grès très fin, gris clair, à slump.

-Facies hétérolithique à wavy et lenticular bedding, composé d'argile silteuses de couleur gris sombre à noirâtre, indurée, se débitant en plaquettes, contenant des empreintes de bivalves et déformes coniques, à laminations planaires, intercalée par des passages centimétriques de grès gris verdâtre à wavy bedding, légèrement effervescent.

-facies hétérolithique a lenticular bedding, constitué d'argile silteuses gris sombre à noirâtre, induré se débitant en plaquettes (plurimétrique) ,intercalé par un niveau pluri décimétriques de grés très fin, gris clair, massif, a laminations planaires coiffé a un sommet par un passage a galets argileux.

Cette séquence déposée sur Lower Shoreface.

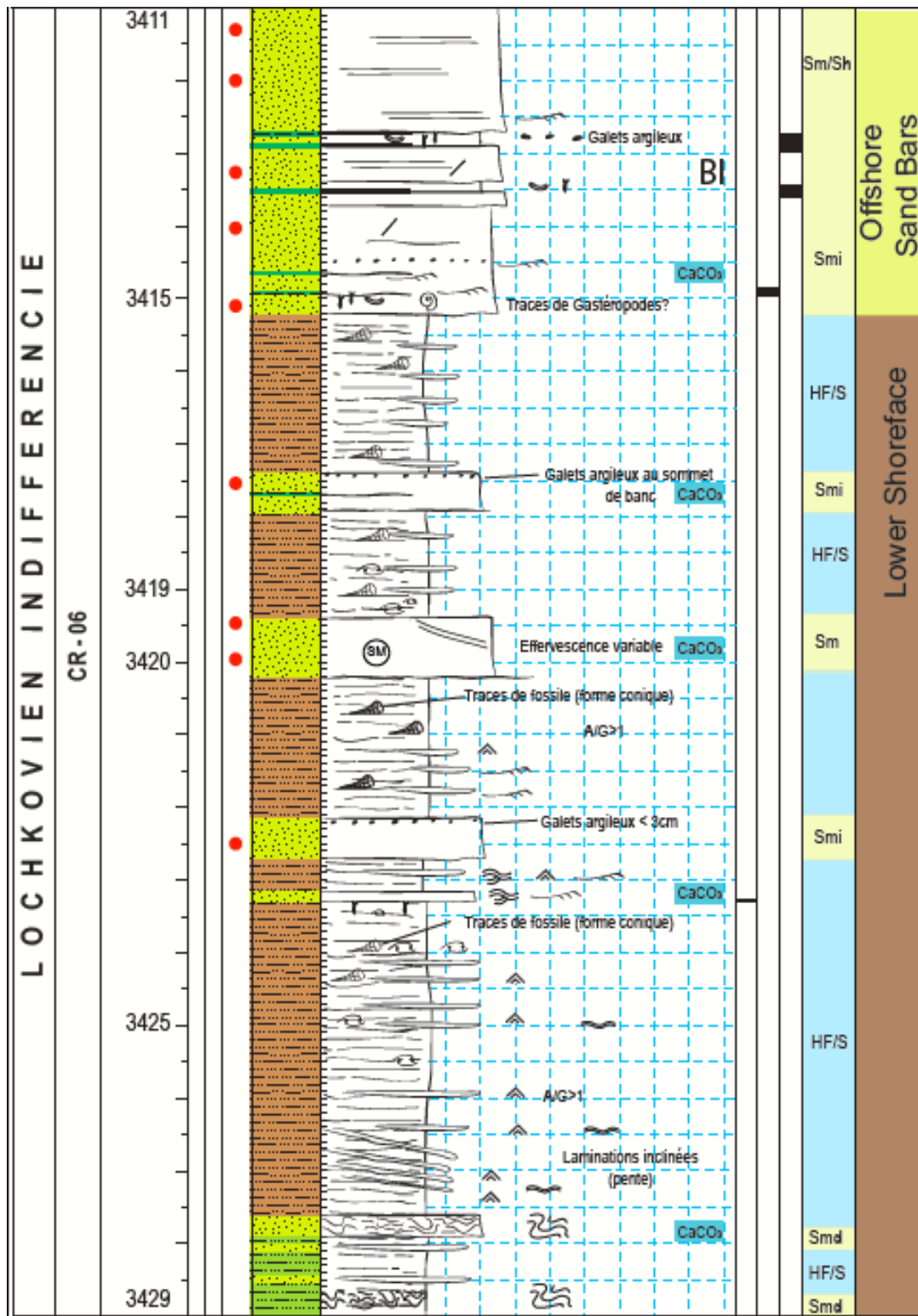


Fig.17 : Carotte 06 (barre inferieur) qui prise dans le Puits MKM

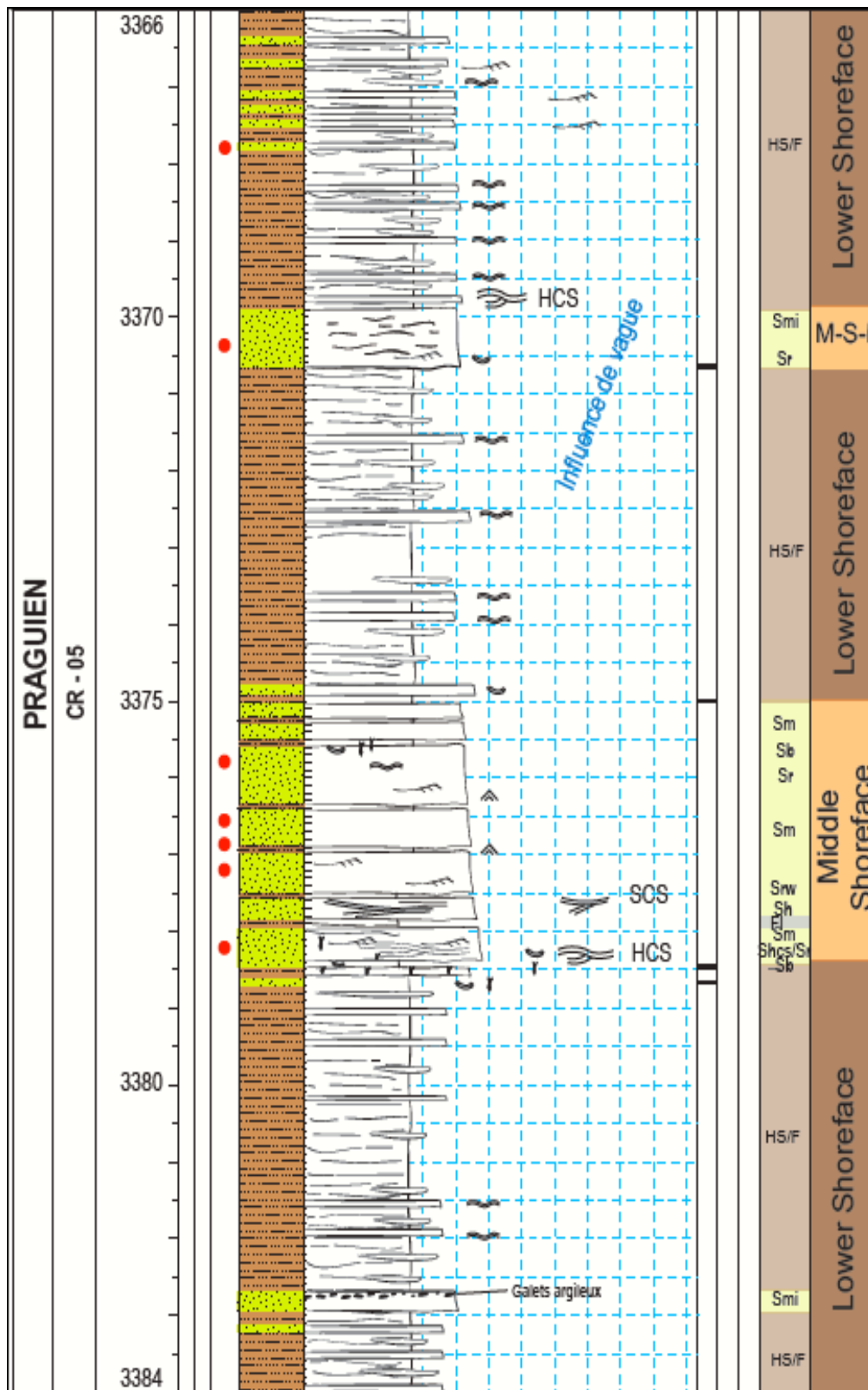


Fig.18 : Carotte 05 (barre supérieur) qui prise dans le Puits MKM

✓ Séquence N°02 :

D'une épaisseur de 04m, c'est une barre plurimétrique constituée d'une succession de plusieurs séquence composé de grès très fin, de couleur gris clair à lamination planaires, non bioturbés, entrecoupé par des passages centimétriques a décimétriques de grés argileux a flaser bedding, intensément a moyennement bioturbés, et des passages centimétriques a rides de vagues. On note la présence de niveau centimétrique d'argile noir.

Elle se dépose sur l'offshore Sand bars.

○ Carotte 05 (barre supérieur) :

Cette séquence marque le passage barre inferieur –barre supérieur, d'une épaisseur de 18m.

Elle débute par facies hétérolithiques a wavy et lenticular bedding, constitué d'argile silteuses gris sombre à noirâtre, induré, entrecoupé par des grés très fins de couleur vert foncé à grisâtre.

Barre gréseuse constitué d'un grés très fin, de couleur gris clair a stratification planes ,parfois inclinées et des passages a rides entrecoupé par des niveau d'argile noire indurée parfois à wavy bedding.

Alternance d'un facies hétérolithiques à lenticular bedding et des niveaux centimétriques de gré très fin gris clair à laminations plaines et rides de courant. Cette séquence se dépose sur Lower Shorface.

4. Puits GEJ-2 :

○ Carotte 03 (barre inferieur) :

Cette carotte prise dans la barre inférieure de sillon de Benoud, d'une épaisseur de 18 m entre 3844 m et 3826 m. subdivisée sur plusieurs séquences :

Cette carotte commence par un petit banc de quelque cm qui présente grès fin, sombre à laminations planes et clastes

- ✓ Entre 3844.2m et 3838m : faciès hétérolithique à dominance argilo-silteuses, faiblement bioturbés, lenticulaire à wavy bedding et des bancs centimétrique à décimétrique du HCS.
- ✓ Un petit banc de grés fin à très fin à ciment carbonaté riche au bioclastes dans la partie sommitale, slumps / convolutes, nous avons aussi des calcaires grainstone.
- ✓ Entre 3838.5m et 3835m : argiles silteuses feuilleté laminé, et quelques lentilles de grés très fins.
- ✓ Entre 3835m et 3831m : grés très fin beige, bioclastique à ciment carbonaté. Aussi des grés très fin de couleur gris sombre, massif dans l'ensemble rarement laminé.
- ✓ Entre 3831.2m et 3828.2 : c'est des argiles silteuses hétérolithiques, des lentilles et lamines de grés très fin à rides et à HCS/SCS. Faiblement bioturbés.

- ✓ La dernière séquence qui prise entre 3828.2 et 3826 grès fin à très fin, gris sombre, faiblement structuré / laminé, pas d'argiles noir.

- **Carotte 02 (barre supérieur) :**

Prise dans barre supérieur, d'une épaisseur de 18m. La carotte comprend deux séquences :

- ✓ Séquence N°01 : entre 3755m et 3741m

Grès gris à grès –claire, fin à très fin, argileux, micacé, friable, à stratifications planes, figures de slumps nodules d'argiles avec intercalation centimétrique à décimétrique de facies hétérolithique. Nous avons la dominance d'argiles grise à grès foncée, grès verdâtre, micacé, légèrement feuilletée et bioturbés, lenticulaire et wavy bedding.

- ✓ Séquence N°02 : entre 3737m et 3741m

Facies hétérolithique à dominance d'argiles d'une couleur gris-foncée, grès verdâtre, légèrement feuilletée, silteuses, à lenticular bedding, HCS, ripples bedding, légèrement bioturbés, à orthocères.

5. Puits ODB-1 :

- **Carotte 04 (barre supérieur) :** d'une épaisseur de 18m

- ✓ Entre 3233m et 3225.5m : faciès hétérolithique avec des bioturbation, très fracturé et incliné, entrecoupe à la base et dans leur partie médiane par des bancs gréseux à structures gravitaire.
- ✓ Entre 3225.5m et 3222m : grès fin à très fins presque hétérolithique, très argileux et faiblement bioturbés dominé par une bioturbations H.
- ✓ Entre 3222m et 3217 : c'est des argiles silteuses noir feuillé sur une mente par un niveau gréseux très fins à rides et HCS. Grès fins beige verdâtre bioturbés présentant des failles et des fractures.
- ✓ Entre 3217m et 3215m : grès beige jaunâtre, légèrement faible à une base érosive à galets d'argiles à des structures massifs ou horizontale vers le sommet.

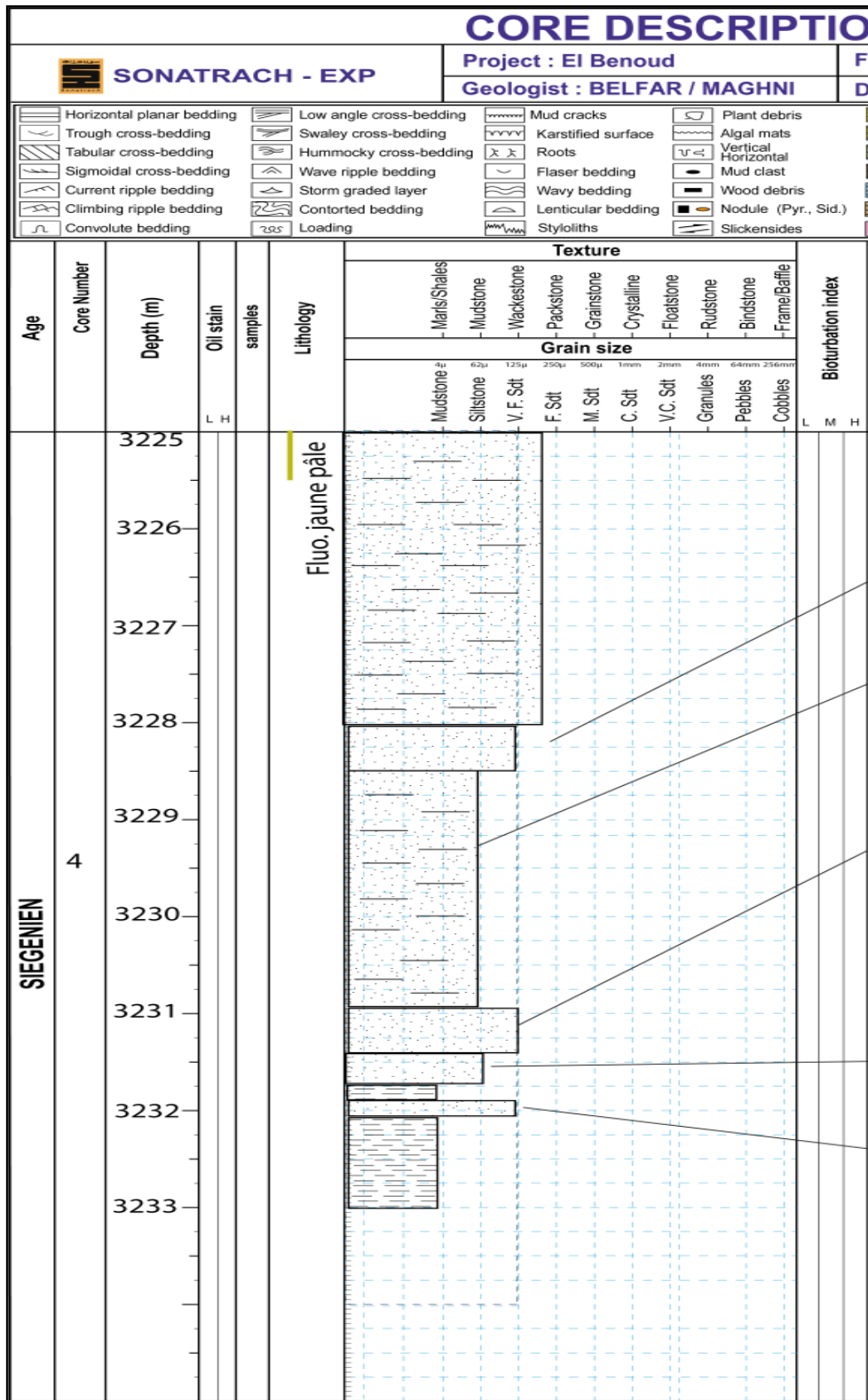
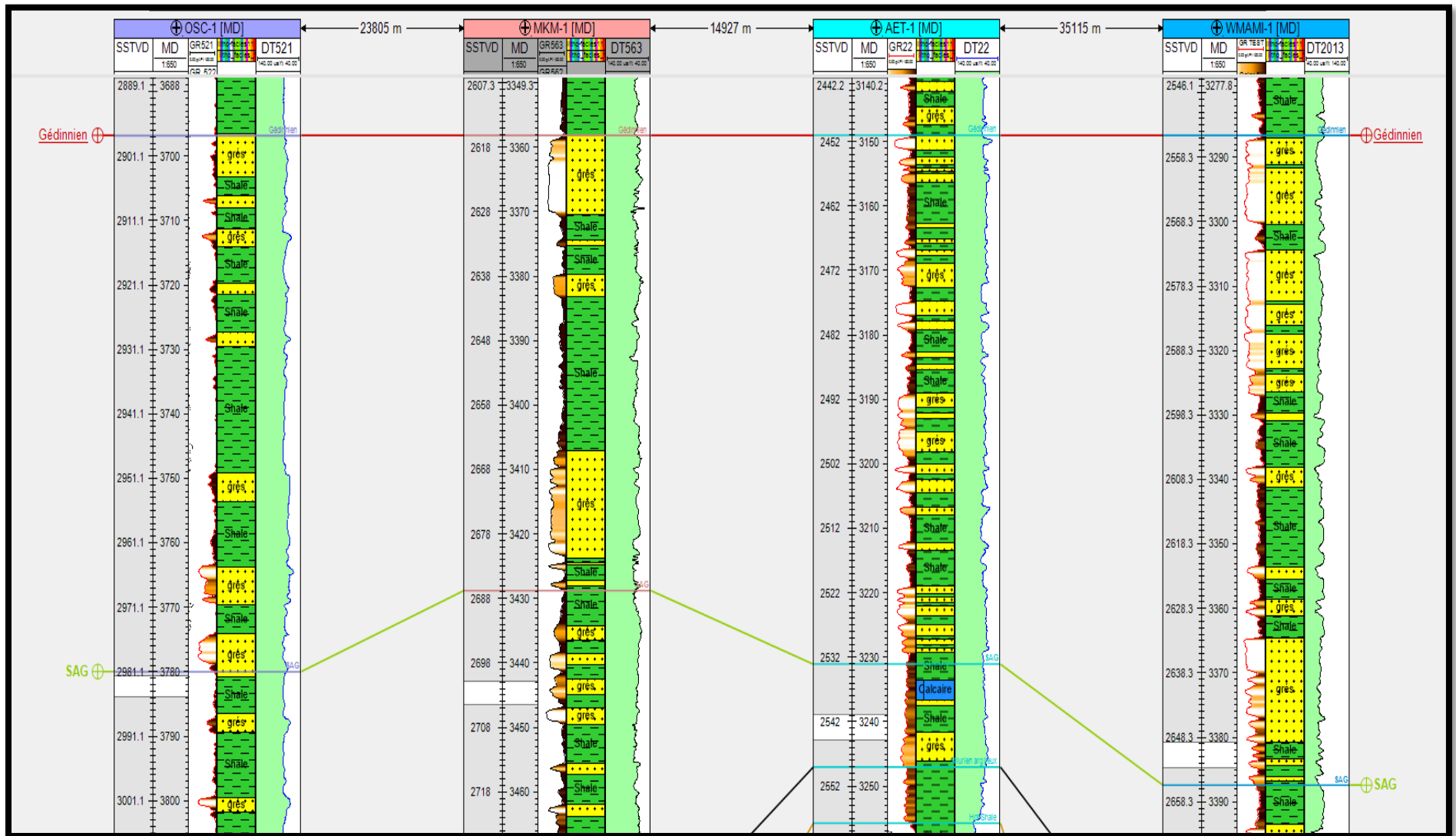


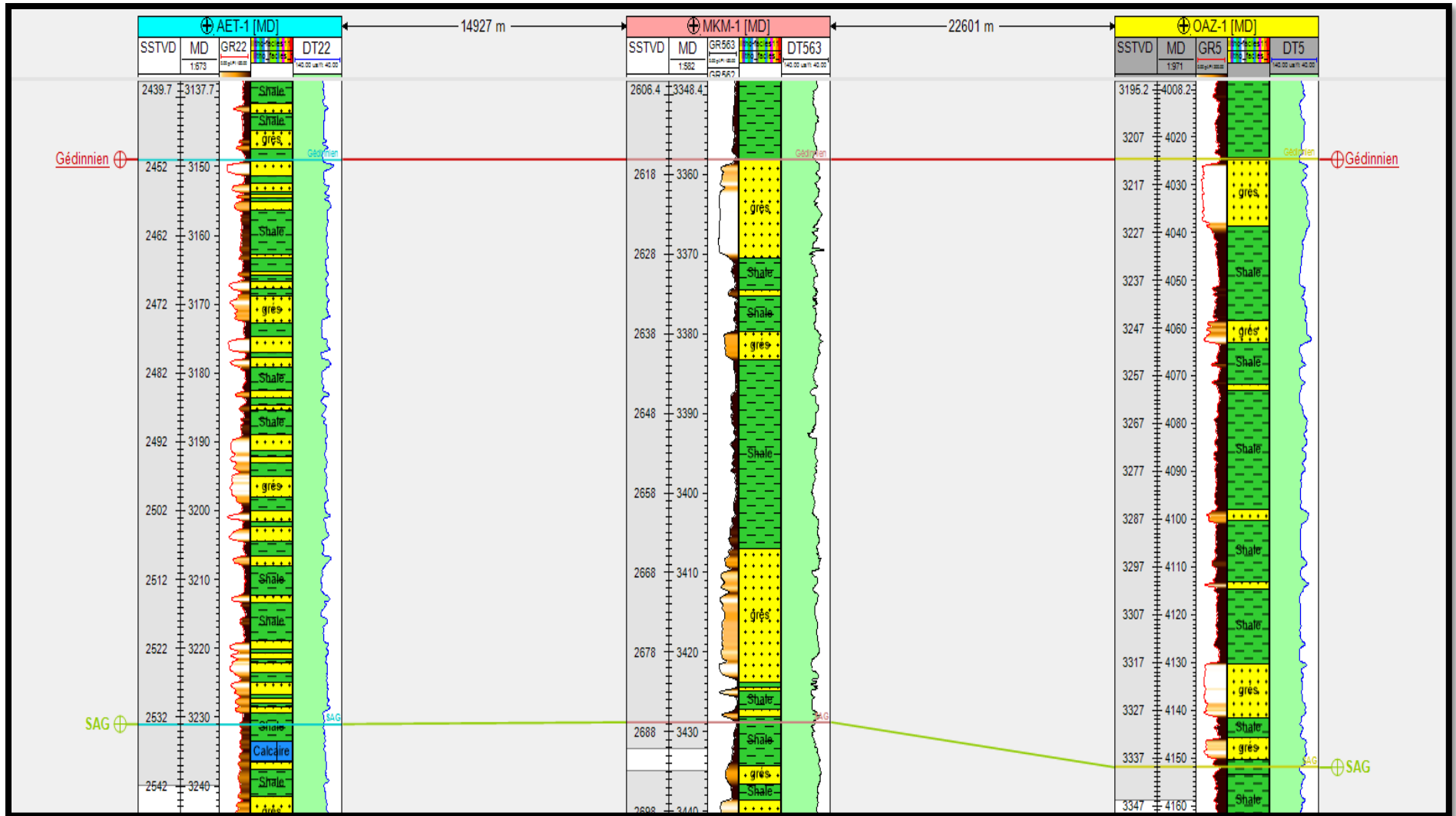
Fig.19 : Carotte 04 (barre supérieur) qui prise dans le Puits ODB-1

| Code | LITHOFACIES | ENVIRONNEMENTS DE DEPOT |
|---------|--|--|
| Fo | Argile silteuse noire, à structures laminaires parfois discontinues ou lenticulaires à pyrite et plus ou moins bioturbé | Offshore |
| Fm | Argile massive plus ou moins silteuse, présentant un débitage en agrégats | Offshore/Shoreface |
| Fl | Argile silteuse laminée | Offshore/Shoreface |
| FSI (b) | Silt-argileux laminé légèrement bioturbé | Offshore transition |
| HF(b)/S | Faciès hétérolithique à dominance argileuse, à lentilles de grès fins, bioturbé, avec des rides de courant et/ou de vagues | Middle-lower Shoreface/Offshore transition |
| HS(b)/F | Faciès hétérolithique à dominance gréseuse, à lentilles et wavy bedding, des fragments de coquilles, bioturbé, avec des rides de courant et/ou de vagues | Middle-lower Shoreface/Offshore transition |
| St | Grès à stratifications entrecroisées en auges | Shoreface |
| Sp | Grès à stratifications entrecroisées planes | Shoreface |
| Sl | Grès à stratifications obliques planes faiblement inclinées | Shoreface |
| Sh | Grès à stratifications planes horizontales | Shoreface |
| Sm (i) | Grès massifs (sans structures apparentes), à galets et chips argileux | Shoreface |
| Sm (d) | Grès massifs, argileux, à déformations synsédimentaires (faille normale et slumps). | Shoreface |

| | | |
|------|---|---|
| Sb | Grès intensément bioturbé | Shoreface |
| Sr | Grès fins, argileux, à rides de courant | Shoreface/Tidal |
| Sw | Grès fins, argileux à rides de vague et wavy bedding | Shoreface |
| Sf | Grès, fins à flaser bedding | Foreshore/Tidal |
| Shcs | Grès fins à stratifications en mamelons (HCS). | Middle-Lower shoreface/ Offshore transition |
| Sc | Grès fins carbonaté très riche en fragments de coquilles. | Shoreface/offshore transition |
| Ssig | Grès fins à stratifications sigmoïdales | Environnement tidal |

c) Corrélations lithostratigraphiques (orientation) entre les sondages (la partie Est et Ouest de sillon de Benoud) :





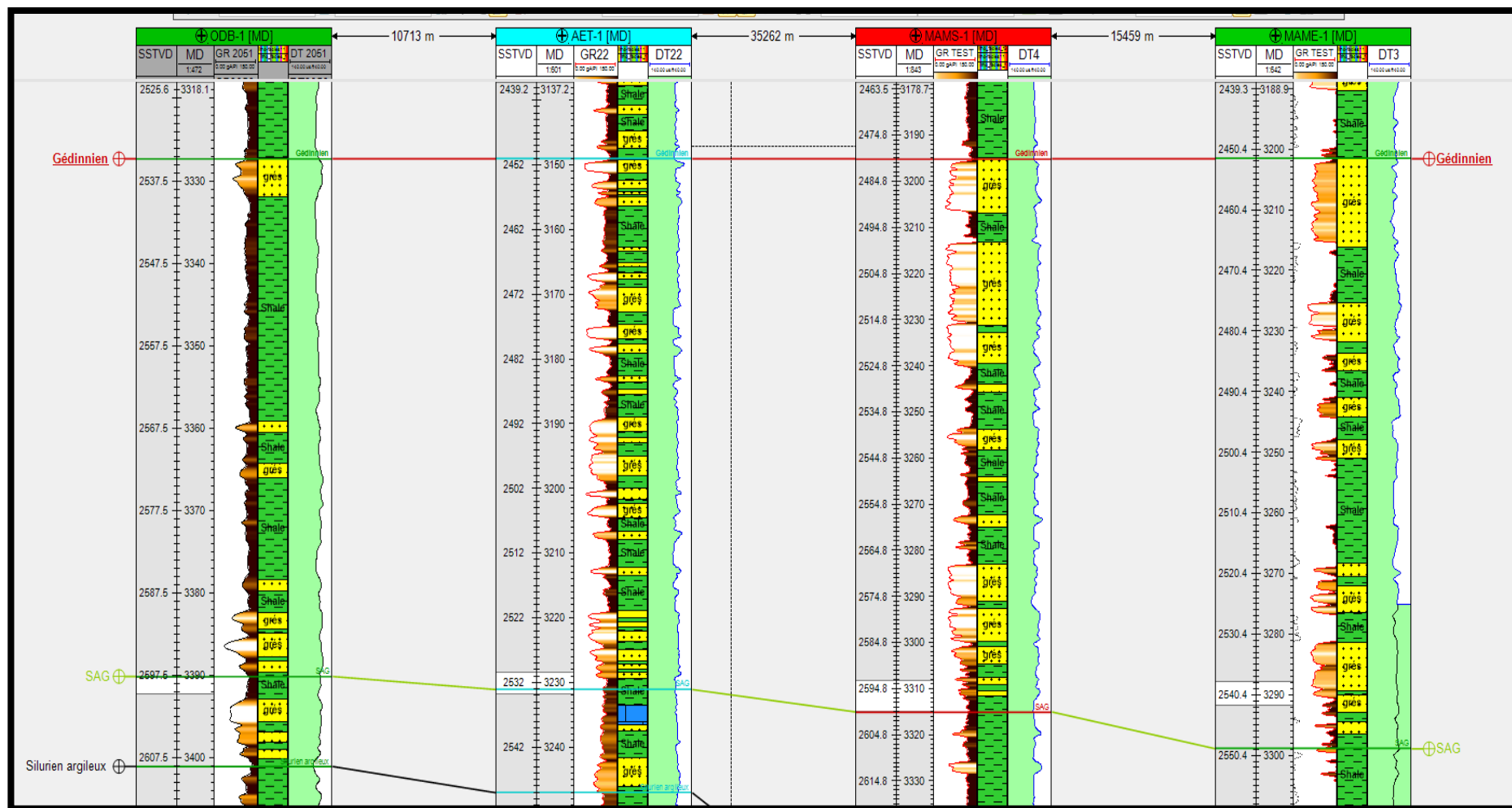


Fig.20 : Corrélation lithostratigraphique (orientation) entre les sondages (la partie Est et Ouest de sillon de Benoud).

Conclusion :

L'étude Sédimentologique du Dévonien inférieur à travers les puits forés dans la région Benoud a permis de cerner certains aspects de la sédimentation afin de définir son milieu de dépôt.

- Pour la description des carottes nous avons choisi trois puits dans **la zone Est** :

(MAMI-1 ; MAMS-1 ; WMAMI-1). Nous avons affecté 06 carottes de différents âges du dévonien inférieur.

La partie inférieure :

Les séquences sédimentaires dans cette partie représentent un environnement dynamique probablement côtier ou deltaïque ou des processus variés de dépôts.

On observe une aggradation verticale typique d'un remplissage de bassin en régime transgressif à légèrement régressif, correspondant à une dynamique côtière complexe.

La partie supérieure :

La séquence sédimentaire décrite reflète un environnement de dépôt complexe, influencé par des processus marins et fluviaux où les grès très fins et légèrement friables alternent avec des faciès hétérolithiques, marquée par des conditions hydrodynamiques.

Les éléments bioclastiques et la bioturbation limitée suggèrent un écosystème actif, tandis que les structures de déformation et les niveaux de mud clastes indiquant des événements de remobilisation.

L'analyse séquentielle de cette coupe stratigraphique est dominée par des faciès hétérolithiques argilo-gréseux caractérisés par des lentilles gréseuses, des rides de vagues, des structures sédimentaires ondulées et des laminations horizontales.

L'évolution verticale de la sédimentation suggère un progrès marin où les environnements côtiers avancent vers le large.

L'environnement de dépôt a été interprété comme étant un offshore de transition, Lower Shelf, offshore sans bars.

- Pour la description des carottes de **la zone Ouest** on a choisi 05 puits (OSC-1 /OAZ-1/ MKM/ ODB-1/ GEJ-2).

La partie inférieure :

Des barres gréseuses plurimétriques observées représentent un environnement de dépôt dynamique influencé par des processus marins, marquée par des fluctuations dans les conditions hydrodynamiques et des événements de déformation.

✚ La partie supérieure :

Des ensembles sédimentaires constituée des barres métriques oxydée, intercalée par des passages hétérolithiques, reflète d'un environnement influencé par des processus marin.

La coupe stratigraphique révèle une transition progressive, marqué par des facies hétérolithiques silto-argileux a bioturbation variable, vers des dépôts plus gréseux caractérisée par un environnement de barres sableuses offshore.

Cette évolution verticales traduite par une augmentation du contenue en grés fins a laminations planaires et flaser bedding, suggère une progradation de système côtier sou l'effet d'un apport sédimentaire croissant ou d'une baisse relative de niveau marin.

CHAPITRE 03 :
L'ÉVALUATION
DIAGRAPHIQUE

I. Introduction :

La diagraphie est une technique essentielle utilisée dans les domaines de l'exploration et de l'exploitation des ressources souterraines, principalement dans le secteur pétroliers et gaziers.

Elle consiste à mesurer et à enregistrer diverses paramètres géophysiques et géologiques des formations traversées par un puits de forage. L'objectif principal de cette méthode est de fournir une image détaillée de la composition et des caractéristiques des couches souterraines, afin de mieux comprendre le réservoir et de guider les décisions d'exploitation.

Actuellement les diagraphies constituent une des données géologiques des terrains traversées la plus accessibles.

II. La Diagraphie dans les puits pétroliers :

Dans les puits pétroliers, la diagraphie est un outil fondamental pour l'évaluation et la caractérisation des réservoirs, réalisée à l'aide des sondes descendues dans le trou de forage, elle permet de mesurer en continu les propriétés physiques des formations traversées, sans nécessiter de carottage sur toute la profondeur. Les diagraphies les plus utilisées en contexte pétroliers.

- ✚ Gamma Ray (GR) : mesure e la radioactivité naturelle (indique souvent la teneur en argiles).
- ✚ Sonic (ou acoustique) : mesure de la vitesse des ondes sonores dans la roche (lié à la compaction et porosité).
- ✚ Résistivité : indique la capacité d'une formation à conduire l'électricité (utile pour détecter les fluides, types de roches).
- ✚ Neutron : sensible à la présence d'hydrogène, donc utile pour estimer la porosité.
- ✚ Densité : mesure la densité électronique apparente (aide à déterminer la porosité et lithologie).

III. Les types des diagraphies utilisées :

A) Diagraphies nucléaires :

1. Radioactivités naturelle (gamma ray) :

Elle est mesurée à l'aide d'un compteur à scintillation descendu au bout du câble. Symbole est GR et son unité est l'API (American petroleum Institute).

La radioactivité gamma naturelle est liée à la présence dans la roche d'isotope radioactifs, émetteurs de rayons gamma, appartenant à la famille des trois éléments radioactifs : le potassium (K40), le thorium (TH232), l'uranium (U238 et U235).

2. diagraphie neutron :

Mesure l'attitude d'une formation à ralentir le neutron rapides émis par une source placée sur l'outil ; suite à leur collision avec les noyaux d'hydrogène .la réponse de l'outil est en fonction de la teneur d'hydrogène, la porosité et du type de fluide contenue dans la formation. La principale information recueillie de cette diagraphie est la porosité (NPH).

3. diagraphie densité :

Mesure la densité de la formation par interaction des rayons gammas avec le milieu. Cette densité est en fonction du type de roche, de sa porosité et de fluides qu'elles renferment. (*In Ittou et all., 2021*)

B) Diagraphie acoustiques :

1. Diagraphie Sonic :

La diagraphie Sonic mesure le temps de propagation d'ondes acoustique (de compression) dans la formation. Ce dernier est d'une part proportionnel à la vitesse et d'autre part, en fonction du type de la roche, de sa porosité, et de ses degrés de compaction. Il s'exprime habituellement en micro second /pied.

IV. Application principales de la Diagraphie :

- ✓ Identifier les lithologies (argiles, grés, carbonates).
- ✓ Délimiter les contacts stratigraphiques et corrélérer les couches.
- ✓ Estimer la porosité, saturation en eau ou hydrocarbures.
- ✓ Détecter les zones productives ou perméables.
- ✓ Interpréter les structures sédimentaires ou diagenétiques.
- ✓ Avoir une idée de type de formation.
- ✓ Connaitre la résistivité de l'eau de formation.

✚ Avantages de la diagraphie :

- Fournit un enregistrement continu et détaillé de sous-sol
- Utilisable même sans carottes
- Permet une interprétation rapide des environnements de dépôt.
- Résoudre les problèmes particuliers (qualité de cimentation, détection de l'épaisseur, venue de gaz).
- Etablir des corrélations de puits a puits.

V. Méthode d'analyse :

L'analyse des documents diagraphique peut être réalisées manuellement ou de façon automatiquement. Dans notre cas, nous avons opté pour la méthode manuelle qui consiste après la correction à :

- Découper la série sédimentaire en élecbancs en analysant l'amplitude des variations sur les différentes courbes.
- Déterminer l'électrofaciès (litho faciès) pour chaque élecbancs.

Délimiter le faciès géologique final (unité stratigraphique selon le langage des pétroliers) ou (unité lithostratigraphique). (Itou *et al*, 2021)

VI. L'évaluation diagraphiques des réservoirs :

 La partie Est : MAME-1 / MAMS-1 / WMAMI

Intervalle 3228,6-3257m :

Cet intervalle montre des saturations à hydrocarbures sur une hauteur utile cumulée de 7m. La porosité et la saturation en eau moyennes sont respectivement de 13 et 45%.

La partie basale (3258,2-3270,4m) serait à eau.

Notons cependant, que les résistivités chutent globalement au niveau de cet intervalle.

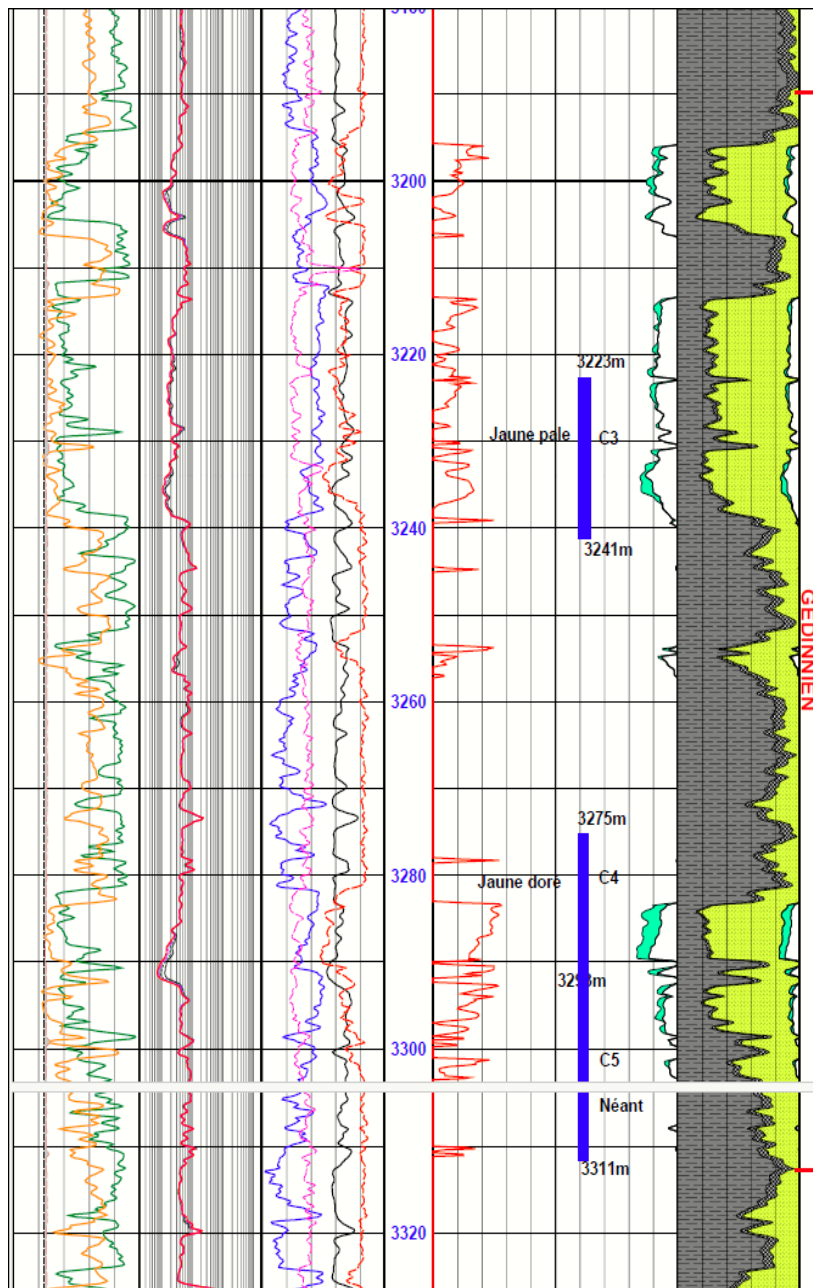
Intervalle 3311-3324m :

Cet intervalle montre des saturations à hydrocarbures sur une hauteur utile de 7 m.

La porosité et la saturation en eau moyennes sont respectivement de 12 et 30%.

| | | | | | | | | | | | |
|------------|-----|-------------|------|--------------|------|-------------------|-------|-------------------|--|--------------|--|
| GR | | m2r1 | | DT | | Moved Water | | Moved Hydrocarbon | | Water | |
| 0 (gAPI) | 150 | 0.2 (ohm.m) | 2000 | 140 (us/ft) | 40 | Moved Water | | Moved Hydrocarbon | | Oil | |
| GR | | m2r2 | | CNC | | Moved Hydrocarbon | | Water | | Halite | |
| 150 (gAPI) | 300 | 6 (in) | 16 | 0.2 (ohm.m) | 2000 | 0.45 () | -0.15 | Water | | Bound Water | |
| CALI | | m2r3 | | ZDEN | | Oil | | Elan Fluid A | | Volumetric A | |
| 6 (in) | 16 | 0.2 (ohm.m) | 2000 | 1.85 (g/cm3) | 2.85 | 0.5 (VV) | 0 | 1 (VV) | | 0 | |
| BIT | | m2r6 | | PE | | Oil | | Volumetric A | | Illite | |
| 6 (in) | 16 | 0.2 (ohm.m) | 2000 | 0 () | 10 | Oil | | Volumetric A | | Illite | |
| KTH | | m2r9 | | MD | | SUWI | | Elan Fluid A | | Volumetric A | |
| 0 (gAPI) | 150 | 0.2 (ohm.m) | 2000 | 1 (m3/m3) | 0 | 0.5 (VV) | | 0 | | 1 (VV) | |
| KTH | | Caves | | 1 : 500 | | m | | 0 | | 0 | |
| 150 (gAPI) | 300 | 0 | | m | | 1 | | 0 | | 0 | |

MAMS-1



Gédinien (3191-3312m) : Ce réservoir pourrait être subdivisé en deux parties :

Upper Gédinien (3191-3280m) :

Les bancs gréseux de ce réservoir sont aquifères (80%), compacts, argileux. La combinaison des courbes Neutron-Densité montre une légère séparation entre ces deux courbes, ce qui signifie la présence de Silt dans la matrice déjà décrite dans le log. De plus, les points de mesure de pression proposés (absence de perméabilité).

Pour rappel, ce réservoir avait produit de l'eau salée saturée au niveau du puits MAME-1 et 5L d'huile dans la chambre d'échantillonnage pour le puits MAMI-1.

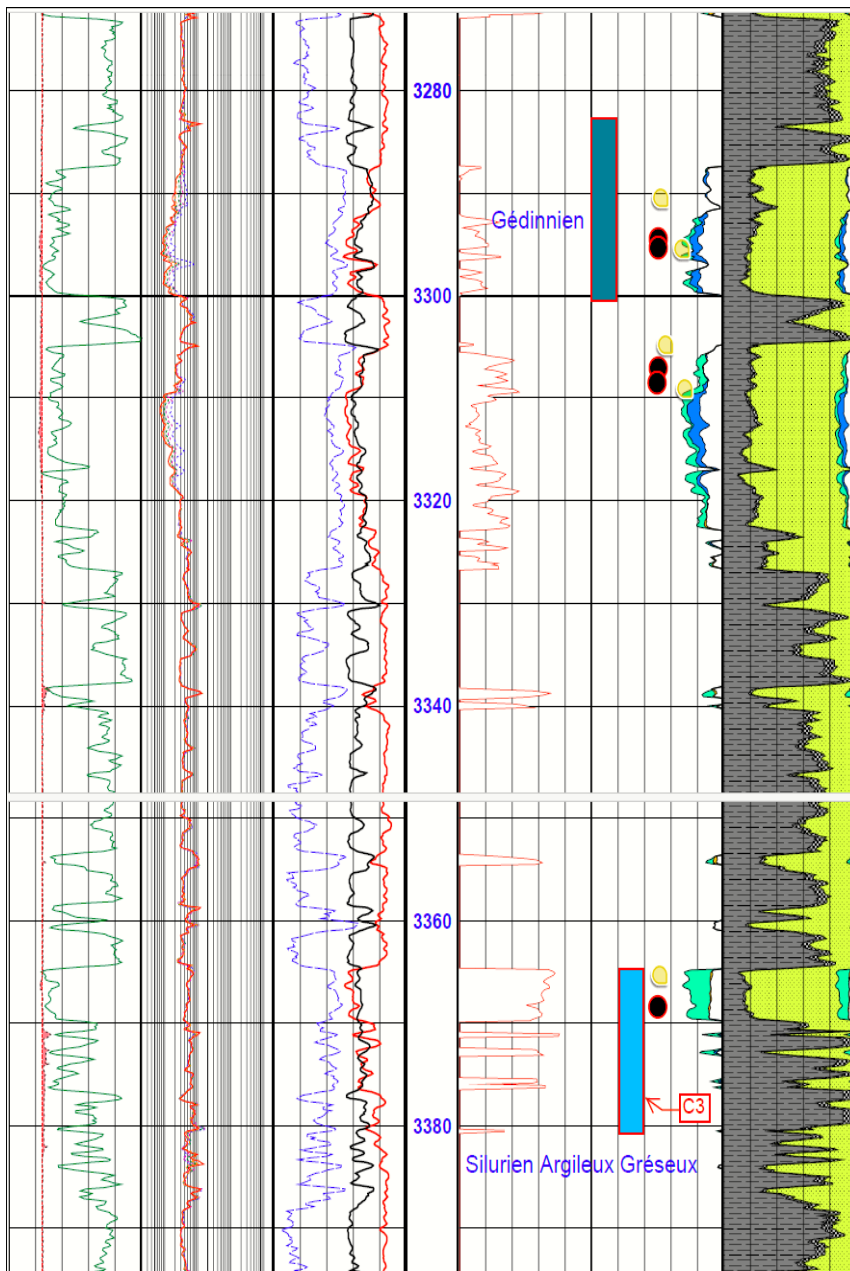
Lower Gédinien (3280-3312m) :

Ce réservoir présente des saturations en eau 45% $<S_w < 70\%$ et des porosités qui varient de 8% à 18%. La combinaison des courbes Neutron-Densité montre une légère séparation entre ces deux courbes, ce qui signifie la présence de Silt dans la matrice. De plus, les points de mesure de pression proposés (absence de perméabilité ; mobilités).

Cependant, un échantillon d'eau a été récupéré à la profondeur 3291.5m après plusieurs tentatives de prise d'échantillons en Single probe (absence de perméabilité), levant ainsi le doute sur la nature des fluides saturants les pores.

| | | | | | | |
|----------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------|
| | M2R2 0.2 (ohm.m) 2000 | | | | | Moved Water |
| | M2R1 0.2 (ohm.m) 2000 | | | | | Moved Hydrocarbon |
| | M2R3 0.2 (ohm.m) 2000 | | | | | Water |
| Wash_Out | M2R6 0.2 (ohm.m) 2000 | CNC 0.45 () -0.15 | | | | Oil |
| GR 0 (gAPI) 150 | M2R9 0.2 (ohm.m) 2000 | ZDEN 1.85 (g/cm3) 2.85 | | | Elan Fluid A 0.5 (V/V) 0 | Bound Water |
| GR 150 (gAPI) 300 | MPERM1 0.2 (mD) 2000 | PE 0 () 10 | MD 1 : 500 m | SWE_5789_3_2 | MPHE1 50 (m3/m3) 0 | Illite |
| CAL 6 () 16 | MPERM2 0.2 (mD) 2000 | DTCQI 140 (us/ft) 40 | TEN -3000 () | SUWI 1 (m3/m3) 0 | MPHE2 50 (m3/m3) 0 | ELAN_VOLUMES 1 (V/V) 0 |

WMAMI-1



Gédinien (3287-3383) :

Le Top de ce réservoir (3287-3322m) est aquifère, avec une saturation en eau moyenne $S_w = 75\%$ et une porosité moyenne $\emptyset = 13\%$.

Le banc (3365-3370m) est à hydrocarbures avec une saturation en eau moyenne $S_w = 35\%$ et une porosité moyenne $\emptyset = 13\%$ cumulant 5m.

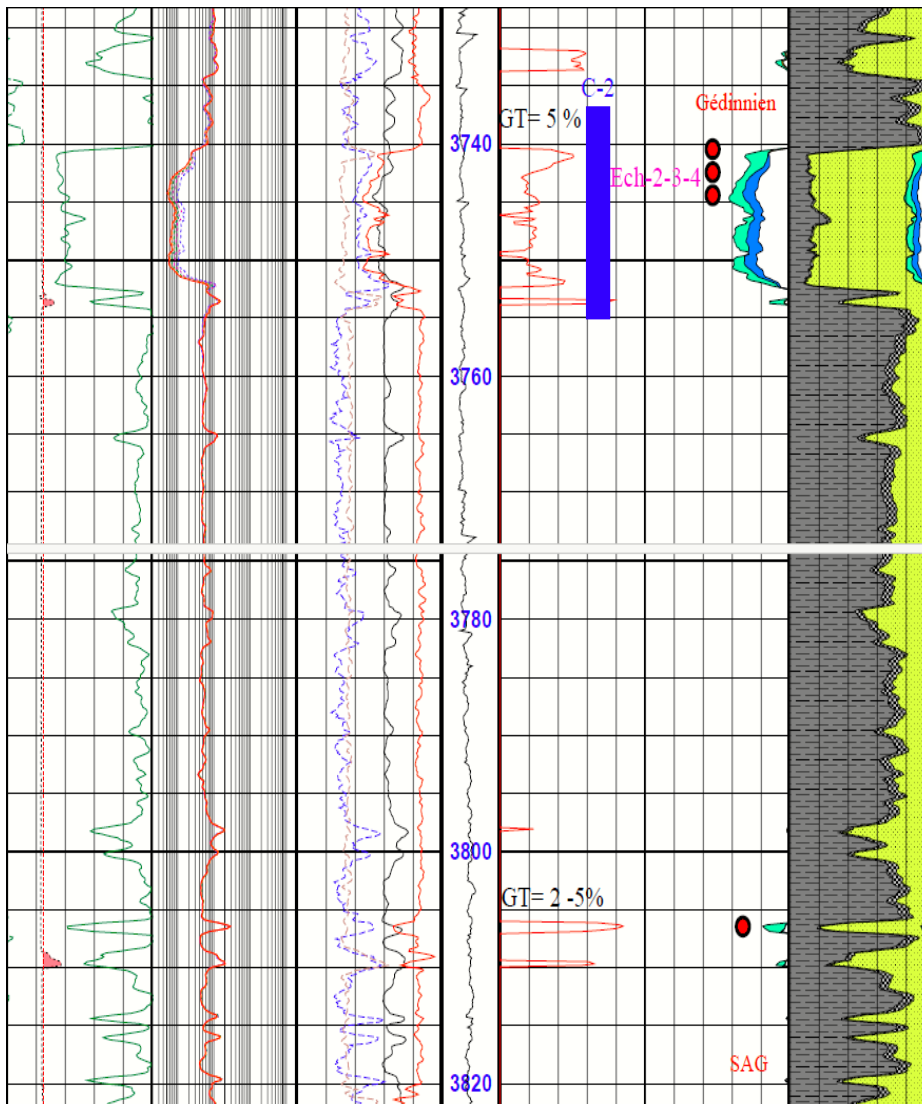
A noter que cinq tentatives d'échantillonnages aux côtes (3294,3294.5, 3307, 3308.5 et 3368 m) s'est tous révélées Tight.

Un test, DST N°01, derrière casing a été réalisé dans le Gédinien (3365-3370m), du 13 au 23 Février 2020. Ce test, techniquement réussi, a montré cheminement de gaz.

La partie Ouest : GEJ-2 / OSC-1 / MKM-1.

GEJ-2

| | | | | | | | |
|--------------------------|--|--------------------------|--|---------------------------|--|--------------------------|--|
| | | RT10 0.2 (ohm.m) 2000 | | | | Moved Water | |
| | | RT20 0.2 (ohm.m) 2000 | | NPHI 0.45 (m3/m3) 0.15 | | Moved Hydrocarbon | |
| Caves | | RT30 0.2 (ohm.m) 2000 | | MDT 140 (us/ft) 40 | | Water | |
| GR_300 150 (gAPI) 300 | | | | | | Oil | |
| | | | | | | Calcite | |
| | | | | | | Quartz | |
| | | | | | | Bound Water | |
| CALI 6 (in) 16 | | RT60 0.2 (ohm.m) 2000 | | RHOB 1.85 (g/cm3) 2.85 | | Oil | |
| GRTO 0 (gAPI) 150 | | RT90 0.2 (ohm.m) 2000 | | PE 0 () 10 | | Elan Fluid A | |
| | | | | TENS 24000 | | ELAN_VOLUMES 1 (VV) 0 | |
| | | | | SWE_4442_10_ | | Illite | |
| | | | | SUWI 1 (m3/m3) 0 | | | |



Gédinien (3358-3421m) :

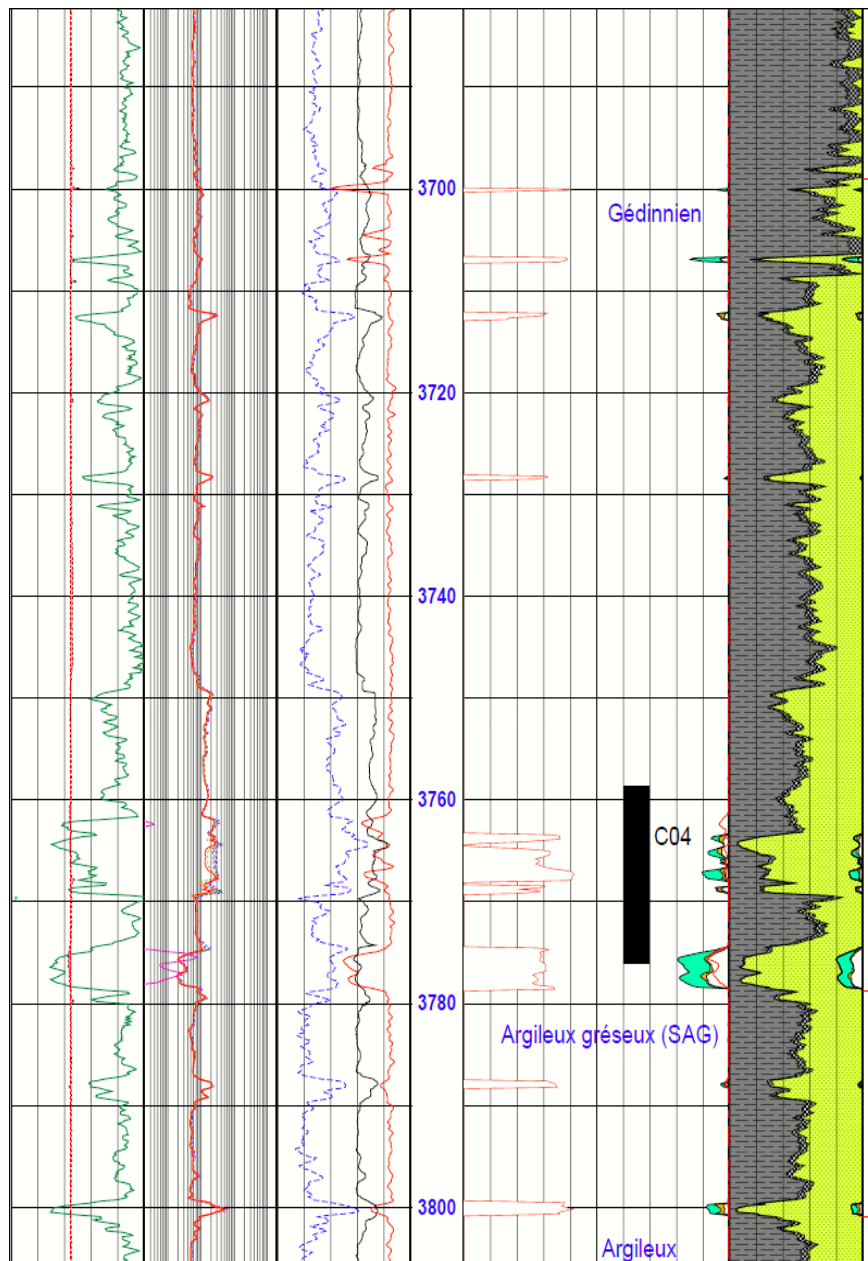
Le banc (3740-3752m) est un grès. Malgré, très poreux, $\emptyset = 18-20\%$, La saturation des de l'ordre de 80% (aquifère).

OSC-1

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|-------------------|-------------------|
| | | | | | | Moved Water |
| | | | | | | Moved Hydrocarbon |
| | | | | | | Water |
| | | | | | Moved Water | Oil |
| | | | | | Moved Hydrocarbon | Dolomite |
| | | | | | Water | Calcite |
| | | | | | Oil | Quartz |
| | | | | | | Bound Water |
| | | | | | | Illite |
| | | | | | | ELAN_VOLUMES |

| | | | | | | |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|--|-------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| | AT10 | | | | | |
| | 0.2 (ohm.m) ²⁰⁰⁰ | | | | | |
| Caves | AT20 | | | | | |
| | 0.2 (ohm.m) ²⁰⁰⁰ | | | | | |
| GR | AT30 | | | | | |
| 0 (gAPI) | 150 | 0.2 (ohm.m) ²⁰⁰⁰ | | | | |
| BS | AT60 | RHOZ | | | Elan Fluid A | |
| 4 (in) | 14 | 0.2 (ohm.m) ²⁰⁰⁰ | 1.85 (g/cm ³) | 2.85 | 0.5 (V/V) | 0 |
| HDAR | AT90 | TNPH | | | SWE_5324_10 | |
| 4 (in) | 14 | 0.2 (ohm.m) ²⁰⁰⁰ | 0.45 (m ³ /m ³) | -0.15 | 1 (m ³ /m ³) | 0 |
| GR_300 | K_TIM | DTCO | | | FFV | |
| 150 (gAPI) | 300 | 0.2 (mD) | 2000 | 140 (us/ft) | 40 | 0.5 (m ³ /m ³) |
| | | | | | | 0 |

| | | |
|---------------------------------------|---|--|
| SUWI | | |
| 1 (m ³ /m ³) | 0 | |
| SWE_5324_10_ | | |
| 1 (m ³ /m ³) | 0 | |
| MD | | |
| 1 : 500 | | |
| SWE_5324_10_ | | |
| 0.5 (m ³ /m ³) | 0 | |
| ELAN_VOLUMES | | |
| 1 (V/V) | 0 | |



Gédinien (3700-3780m) :

Le banc (3774.5-3778.5m) du Gédinien montre une saturation en eau $S_w = 40\%$ et une porosité moyenne $\emptyset = 18\%$ et une hauteur utile $NP=4m$; à noter que les porosités CMR (plus précises) montre une moyenne $\emptyset=8\%$ cela peut s'expliquer par la présence d'une fraction silteuses importante réduisant la porosité effective. Un MDT a été effectué dans ce réservoir ou il y a eu récolte d'un échantillon à huile 3775.7m avec une mobilité de (3.73mD/CP).

Un Test derrière Casing DST-2 a été réalisé du 13 au 21/02/2022 de 3774,5 à 3778,5m. Ce dernier a débité 0.613m³/h d'huile de densité 0.779@15°C et 441 m³/h de gaz.

Gédinien (3358-3421m) :

Le banc (3361-3371m) est un grès Silteux à Hydrocarbures. Malgré, qu'il soit poreux, $\emptyset = 14\%$, réalisé en face de ce banc n'a rien produit en surface : cheminement de gaz, après Kick off et récupération des échantillons d'huile ($d=0.79$) en circulation inverse.

Alors que, le banc (3410-3421m), bien qu'il présente aussi les mêmes caractéristiques pétro physiques que le banc supérieur avec des porosités de 11%, le DST N°1 bis, réalisé en face des intervalles [3449 – 3447m/ 3445.5–3443.5m/3438.5–3441m/3410 – 3417.5m] n'a rien produit en surface.

VII. Conclusion :

Le réservoir Gédinien, réparti sur plusieurs puits, présente une variabilité importante en termes de porosité, saturation en eau et productivité, selon les intervalles étudiés.

Porosité : elle varie généralement entre 8% et 20%, avec des valeurs plus élevées (jusqu'à 20%) indiquant un bon potentiel réservoir dans certains niveaux. Toutefois, la présence de silts identifiée par les courbes neutron-densité diminue la porosité effective et la perméabilité dans plusieurs zones.

Saturation en eau(SW) : elle varie entre 30% et 80%. Les niveaux aquifères sont dominants dans certaines sections, tandis que d'autres montrent une saturation plus faible (SW= 35-40%), suggérant une présence de fluides hydrocarbonés.

Productivité : montrent une productivité très hétérogène. Certains tests ont permis de récupérer de l'huile et du gaz, tandis que d'autres intervalles se sont révélés (peu ou pas productifs).malgré des caractéristiques pétro physiques favorables.

Effets des silts : la présence importante de silts dans la matrice est récurrente dans plusieurs sections et impacte négativement la perméabilité et la mobilité des fluides.

Présence d'hydrocarbures : plusieurs intervalles montrent des indices d'hydrocarbures, confirmés par des saturations en eau faibles, bien que certaines zones n'aient pas montré de production en surface.

CHAPITRE 04 :

CONCLUSION

GÉNÉRALE

CONCLUSION

L'Algérie dans sa globalité regroupe plusieurs ensembles géologiques, les plus importantes étant le domaine atlasique qui se situe au Nord qui est séparé du domaine méridional, au Sud avec entre eux se trouve la plateforme saharienne. Notre région d'étude, se situe dans une structure appelée sillon de Benoud entre cette plateforme saharienne et l'Atlas saharien. L'étude que nous avons menée se localise sur l'ensemble du sillon en partant de l'Ouest de Hassi R'mel jusqu'à Béchar, les recherches se sont basées sur une étude Sédimentologique et Diagraphique.

Ce travail permet de corréler les réservoirs du Dévonien inférieur de la zone Ouest et l'Est du champ Sillon de Benoud en Algérie. Cette étude s'appuie sur la description des carottes de 06 puits : (MAMI-1 ; MAMS-1 ; W MAMI) ; (OSC-1/OAT-1/MKM).

Les principales conclusions de cette étude sont les suivantes :

- La description des faciès et des carottes montre qu'il s'agit d'une sédimentation principalement détritico-argileuse gréseuse, l'environnement de dépôt a été interprété comme étant : Off-shore, Lower, Middle à Upper Shelf.

Le Gédinien est essentiellement gréseux avec deux barres sommitales, ces grès sont généralement fins à moyens, localement friable à ciment silico-argileux.

Le Siégenien par contre est généralement argileux, à quelques intercalations de grès, ces derniers sont généralement fins à très fins, à ciment argileux.

Le découpage séquentiel des séries du dévonien inférieur effectué à partir des méthodes de l'analyse séquentielle ainsi que l'analyse des diagraphies de gamma-ray nous a permis de :

- Le réservoir Gédinien montre des qualités variables selon les zones. Certaines couches sont bien poreuses (jusqu'à 20%) et peu saturées en eau, ce qui indique un bon potentiel pour contenir des hydrocarbures. D'autres zones, en revanche, sont plus riches en silts, ce qui diminue la perméabilité et limite la circulation des fluides.
- Des tests ont confirmé la présence d'huile et de gaz dans certaines intervalles mais plusieurs zones n'ont rien produit en surface malgré des caractéristiques favorables. Cela montre que le réservoir est hétérogène, avec un potentiel localement intéressant, mais qui nécessite une étude plus détaillée pour cibler les meilleures zones à exploiter.

BIBLIOGRAPHIQUE

- ❖ **Ben Sania. L ; ben tria. Y ; Tahar .a 2023/2024** : synthèse de données caractérisant le réservoir de dévonien inférieur du sillon de benoud.
- ❖ **Boudjema. A 1987** : évolution structural du bassin pétrolier triasique du Sahara nord (Algérie) thèse de doctorat en science, université de paris (XI) Orsay.
- ❖ **Document Sonatrach 2005**
- ❖ **Document Sonatrach 2011** : réévaluation du potentiel pétrolier du pourtour de Hassi R'mel.
- ❖ **Ittou.F ; Benseghir.B 2018** : Etude diagraphique du réservoir triasique de la série inferieure(TAG) de la zone de BENKAHLA (Bassin d'OUED-MYA), Ouargla.
- ❖ **Ighoumracene.m 2008** : étude Sédimentlogique et évaluation des réservoirs paléozoïques et triasique du sillon de benoud.
- ❖ **Jacques Élie Brochier (2002)**, Les sédiments anthropiques. Méthodes d'étude et perspectives. in Géologie de la Préhistoire : méthodes, techniques, applications, Paris, Miaskovsky J.-C. dir. GÉOPRÉ éditions. 453-477.
- ❖ **Selmi. F ; Idres. N 2021** : étude Sédimentlogique, et caractérisation des réservoirs du dévonien inférieur de sillon du benoud.
- ❖ **Seghir. H ; Salihi.r 2017** : étude Sédimentlogique et stratigraphie séquentielle du dévonien inférieur d'elouabed région de benoud.

Listes des figures

Figure 01 : cartes des grands ensembles structuraux de la plate-forme saharienne (document sonatrack exploitation).

Figure 02 : carte géologique de sillon de Benoud (document sonatrack 2021).

Figure 03 : La colonne stratigraphique de la région de Benoud.

Figure 04 : schéma structurale de la région de Benoud (Document sonatrack 2005).

Figure 05 : Faciès Tidal.

Figure 06 : Dépôts de Shorface.

Figure 07 : Dépôts de l'Offshore

Figure.08 : Carte de faciès du Dévonien inférieur.

Figure.09 : photos de lame minces au microscope dans le sondage HMK-1.

Figure.10 : plan de position des puits.

Figure.11 : Carotte 10 (barre inferieur) est la Carotte 09 (barre supérieur) qui prise dans le Puits MAMI-1

Figure.12 : Carotte 04 (barre inferieur) qui prise dans le Puits MAMS-1.

Figure.13 : Carotte 03 (barre supérieur) qui prise dans le Puits MAMS-1.

Figure.14 : Carotte 03 (barre inferieur) qui prise dans le Puits WMAMI.

Figure.15 : Carotte 02 (barre supérieur) qui prise dans le Puits WMAMI.

Figure.16 : Carotte 04 (barre inferieur) qui prise dans le Puits OSC-1.

Figure.17 : Carotte 06 (barre inferieur) qui prise dans le Puits MKM.

Figure.18 : Carotte 05 (barre supérieur) qui prise dans le Puits MKM.

Figure.19 : Carotte 04 (barre supérieur) qui prise dans le Puits ODB-1.

Figure.20 : Corrélation lithostratigraphique (orientation) entre les sondages (la partie Est et Ouest de sillon de Benoud).

Liste des tableaux

Tableau 01 : Zonation de Dévonien inférieur.