



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Reconstitution Paléoenvironnementale des Formations Maastrichtiennes, Cénomaniennes et Albiennes Basée sur les Données Sédimentologiques et Ichnologiques Issues des Carottes du Puits FIM-1X dans le Bassin Sédimentaire Offshore de la Cote d'Ivoire

Isaac Fea, PhD

Able Guiako Jonas, PhD

Kamagate Djodjo Maria, Msc

PETROCI, Centre d'Analyses et de Recherche (CAR),

Abidjan, Côte d'Ivoire

Assalé Fori Yao Paul, PhD

Université Félix Houphouët Boigny, UFR des Sciences de la Terre et des
Ressources Minières, Abidjan, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n21p292](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n21p292)

Submitted: 15 June 2021

Accepted: 08 June 2022

Published: 30 June 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Fea I., Jonas A.G., Maria K.D. & Yao Paul A.F. (2022). *Reconstitution Paléoenvironnementale des Formations Maastrichtiennes, Cénomaniennes et Albiennes Basée sur les Données Sédimentologiques et Ichnologiques Issues des Carottes du Puits FIM-1X dans le Bassin Sédimentaire Offshore de la Cote d'Ivoire*. European Scientific Journal, ESJ, 18 (21), 292. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n21p292>

Résumé

Les études sédimentologiques et ichnologiques détaillées du puits FIM-1X ont été effectuées. Les analyses physiques ont été réalisées sur les échantillons de carottes. L'objectif principal est de caractériser la diversité de faciès rencontrés dans les formations maastrichtiennes, cénomaniennes et albiennes afin de déterminer les différents paléoenvironnement rencontrés dans le puits FIM-1X du bassin offshore de Côte d'Ivoire. Les résultats sédimentologiques indiquent que les successions lithologiques des échantillons de carottes comprennent quatre grands groupes de lithofaciès : galets (PS), grès propre (S), sable argileux (SM) et argile (HM, ML, MJ & M). Ces groupes de lithofaciès ont ensuite été subdivisés en faciès constitutifs basés principalement sur des structures sédimentaires. Le groupe des galets comprend uniquement les granules. Le groupe de grès propre comprend trois

faciès : grès massif, grès laminé et grès à rides. Le groupe de sable argileux comprend deux faciès à savoir les sables argileux laminés et déformés. Le groupe d'argile comprend trois faciès principaux, à savoir les structures hétérolithiques à dominance argileuses, les argiles calcareuses, et les argiles pures. Une diversité d'ichnofossiles a été identifiée dans les carottes, notamment : *Ophiomorpha*, *Palaeophycus*, *Thalassinoides*, *Spyrophyton* et *Scolicia*. L'intégration des données sédimentaires (faciès de granules, grès, sable argileux et argile) et des ichnofossiles reconnues a permis de caractériser des environnements de chenaux du front deltaïque, de complexe chenaux – levées et de milieux marins côtiers (Shoreface) dans ces formations carottés d'âge Maastrichtien, Cénomaniens et Albien. Ces conditions d'environnements bien préservés pourraient constituer de possibles bons réservoirs d'hydrocarbures.

Mots-clés: Côte d'Ivoire, ichnofossiles, structures sédimentaires, paléoenvironnements, faciès

Paleo-Environmental Reconstitution Base on Sedimentological and Ichnological Data from Maastrichtian, Cenomanian and Albian Formations of FIM-1X Well, Offshore Sedimentary Basin of Cote d'Ivoire

Isaac Fea, PhD

Able Guiako Jonas, PhD

Kamagate Djodjo Maria, Msc

PETROCI, Centre d'Analyses et de Recherche (CAR),

Abidjan, Côte d'Ivoire

Assalé Fori Yao Paul, PhD

Université Félix Houphouët Boigny, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Abidjan, Côte d'Ivoire

Abstract

Detailed sedimentological and ichnological studies of FIM-1X well were performed. Physical analyses were carried out on the core samples. The main target is to characterize the diversity of facies encountered in the Maastrichtian, Cenomanian and Albian formations in order to determine the different paleoenvironments encountered in the FIM-1X well of the Côte d'Ivoire offshore basin. The sedimentological results indicate that the lithological successions of the core samples include four major groups of lithofacies: pebbles (PS), clean sandstone (S), muddy sandstone (SM) and

mudstone (HM, ML, MJ & M). These lithofacies groups were then subdivided into constituent facies based mainly on sedimentary structures. The group of pebbles includes only the granules. The clean sandstone group includes three facies: massive sandstone, laminated sandstone and ripple sandstone. The muddy sandstone group includes two facies namely the laminated and deformed muddy sandstone. The mudstone group includes three main facies, namely heterolithic structures predominantly mudstone, calcareous mudstone, and pure mudstone. A variety of ichnofossils have been identified in cores, including: *Ophiomorpha*, *Palaeophycus*, *Thalassinoides*, *Spyrophyton* and *Scolicia*. The integration of sedimentary data (granule, sandstone, muddy sandstone and mudstone facies) and recognized ichnofossils made it possible to characterize the environments of delta front channels, complex channels - levees and shallow marine environments (Shoreface) in these Maastrichtian, Cenomanian and Albian formations. These well preserved environments conditions could be a possible good hydrocarbon reservoirs.

Keywords: Côte d'Ivoire, ichnofossils, sedimentary structures, paleo environments, facies

1. Introduction

L'exploration pétrolière repose sur la nécessité d'identifier des zones propices à l'accumulation et au piégeage des hydrocarbures présents dans les bassins sédimentaires. En raison de la complexité des conditions de mise en place des bassins sédimentaires et de la genèse des hydrocarbures, nombreux sont des puits forés sans succès malgré l'amélioration et l'existence des techniques d'exploration de plus en plus performantes. Afin de limiter des pertes financières et de temps liées à cette situation, il importe de bien cerner l'histoire géologique du bassin sédimentaire à explorer. Disposer des informations précises sur les structures sédimentaires mises en place lors des phénomènes hydrodynamiques ou encore sur les ichnofaciès devient important.

En Côte d'Ivoire, l'exploration pétrolière remonte aux années 1950 (PETROCI & BEICIP, 1990). Même si le début de l'exploration pétrolière est ancien, il existe très peu d'informations obtenues de l'étude des carottes et sur les environnements de dépôt. Depuis quelques années, nombreux sont les scientifiques qui s'intéressent à l'étude des carottes prélevées offshore (Fea *et al.*, 2018 ; 2019 ; 2022). Les données du puits FIM-1X utilisées dans cette étude proviennent du bassin sédimentaire offshore de la Côte d'Ivoire (Figure 1). Le forage de ce puits d'une longueur de 17,85 m a permis d'obtenir les carottes utilisées dans la présente étude, qui vise la reconstitution des conditions environnementales ayant prévalu pendant le dépôt des traces fossiles et des lithofaciès.

L'objectif principal de cet article consiste à déterminer les paléo environnements de dépôt à partir des structures sédimentaires et des ichnofaciès des formations d'âge maastrichtien, cénonanien et albien du bassin offshore ivoirien. Il est assorti de trois objectifs spécifiques à savoir :

- déterminer la nature lithologique, l'épaisseur des couches, la variation verticale de la granulométrie et les différentes configurations structuro-stratigraphiques ;
- décrire avec précision la disposition des couches, repérer les différentes figures sédimentaires laissées par les agents de transport et les traces fossiles (habitation, alimentation, etc..) des organismes dans les sédiments ;
- déterminer des séquences de dépôts à partir des lithofaciès.

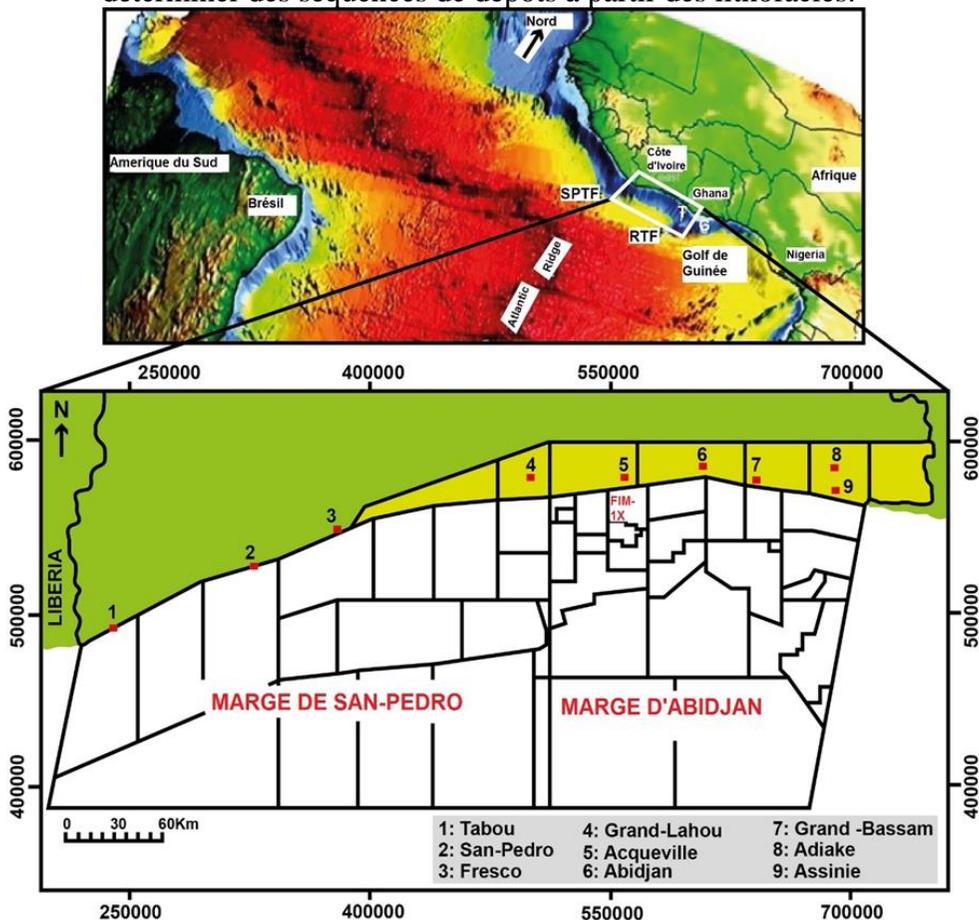


Figure 1 : Carte de localisation du puits FIM-1X sur le bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire, Afrique de l'Ouest

2. Matériel et Méthode

L'essentiel du matériel utilisé dans ce travail provient des carottes conventionnelles du puits FIM-1X foré dans le bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire. Au total, 17,85 m de carotte ont été décrits. Une description numérique détaillée des carottes a été réalisée à l'aide du logiciel WELLCAD à une échelle de 1m : 20 m. Les carottes ont été décrites selon les standards de l'industrie et comprennent la description lithologique, la granulométrie (Wentworth, 1922), les structures sédimentaires, le tri (sorte GEO Charte), la détermination du granoclassement et de la morphologie (CORELAB), la minéralogie du ciment (en utilisant 10% HCL), la couleur (MUNSELL Chart), la détermination des lithofaciès et ichnofossiles (Pemberton *et al.*, 2009). Les lithofaciès ont été identifiés par des codes (Reijers, 1995), basés sur la lithologie dominante et les structures sédimentaires. Toutes ces analyses ont été effectuées au Centre d'Analyses et de Recherche de la PETROCI (Société des Opérations Pétrolières de Côte d'Ivoire)

3. Résultats

3.1. Description macroscopique des carottes du puits FIM-1X

La description macroscopique des carottes a mis en évidence 4 grandes unités. L'évolution strato- et granocroissante ou décroissante dans les unités a permis d'identifier 5 séquences de dépôt. Les carottes ont été interprétées en détail dans la direction du forage. Les codes de lithofaciès correspondants sont indiqués entre parenthèses.

3.1.1. Unité 1: 2375 m - 2383.84 m

Cette unité est caractérisée par une épaisseur de 7,08 m (Fig. 2). Elle consiste à une succession d'épaisse couche de granules (PS), de grés (S) inter laminés avec de fines couches de sable argileux (SM) au sommet. Les grains de sable sont très grossiers à fins, sub-anguleux à sub – arrondis. Ils sont très mal à modérément triés et bien consolidés. Le granoclassement est normal et souvent inverse. Les structures sédimentaires observées se composent de claste d'argiles, de nodules de sidérites, de nodules de pyrites, de fragment de coquilles et d'injection de sable. Le ciment est généralement siliceux localement calcaire. Cette unité comporte une séquence de dépôt composée de:

- Couches de granules à matrice sableuse (PS), de couleur jaune brun à gris (Photo 1 A). Ces granules disposent de grains de sable dont la dimension va de moyen à très grossier. Ils sont très mal triés, modérément à très consolidés, avec un granoclassement normal. Leur matrice sableuse est marquée par des clastes d'argiles (plus de 6 cm de diamètre entre les cotes 2380,56 m – 2381,51 m), les nodules de sidérites (plus de 6 m de diamètre entre 2376,93 m – 2377,47 m), les

nodules de pyrite, les fragments de coquilles, les injections de sable, les débris carbonés et de local ciment calcaire (PS5- 3m, ic, fs, py, sid, calc).

- Grès massifs (Sm) localement laminé de couleur brun jaunâtre pâle, jaune grisâtre, rouge grisâtre à brun rougeâtre (Photo 1 B). Ils se composent de grains fins à très grossiers, subanguleux à sub-arrondis, mal à moyennement bien triés, souvent bien triés et moyennement bien consolidés. À l'intérieur des lits se trouvent des débris carbonés, des nodules de sidérite, des clastes d'argile et des micas. Le ciment est calcaire (Sm,sid,ic,calc).
- Sables argileux laminés (SMI) de couleur gris foncé moyen (Photo 1 C). Les structures sédimentaires observées se composent de clastes d'argile, de fragments et de laminations de débris carbonés (SMI,ic)

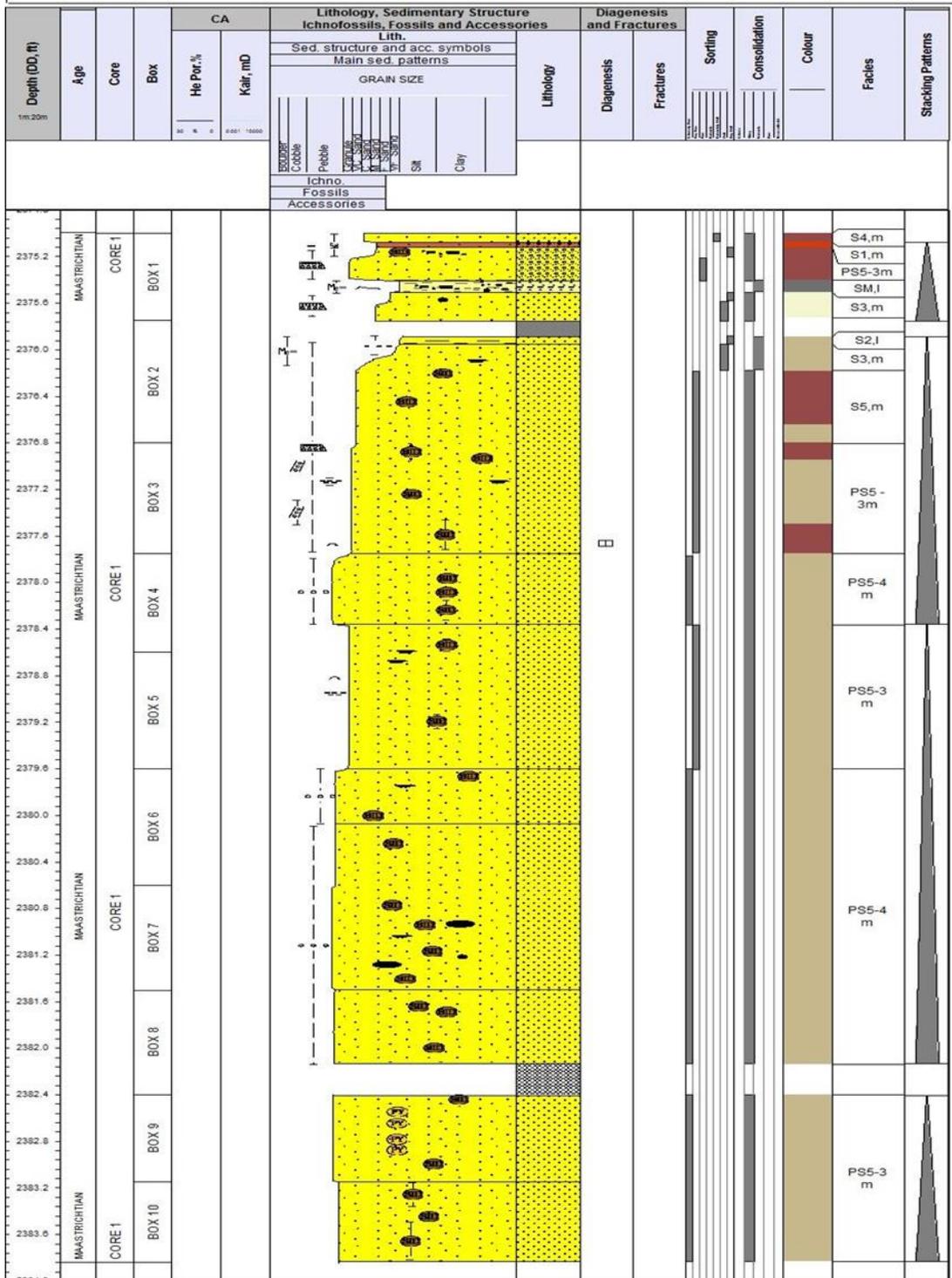


Figure 1: Nature lithologique des carottes de l'unité 1 du puits FIM-1X

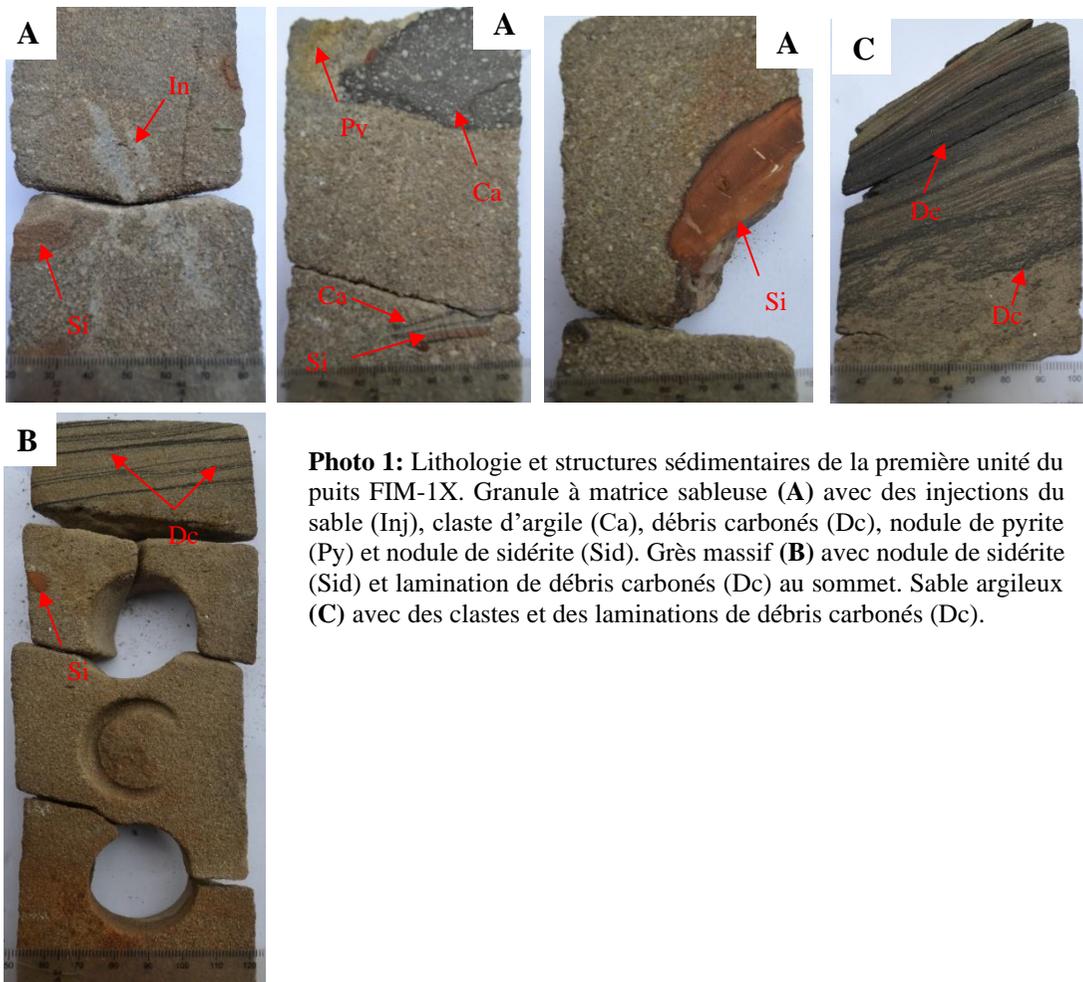


Photo 1: Lithologie et structures sédimentaires de la première unité du puits FIM-1X. Granule à matrice sableuse (A) avec des injections du sable (Inj), claste d'argile (Ca), débris carbonés (Dc), nodule de pyrite (Py) et nodule de sidérite (Sid). Grès massif (B) avec nodule de sidérite (Sid) et lamination de débris carbonés (Dc) au sommet. Sable argileux (C) avec des clastes et des laminations de débris carbonés (Dc).

3.1.2. Unité 2: 2559 m - 2565.3 m

L'unité 2 est caractérisée par une épaisseur d'environ 6,04 m, (Fig. 3). Elle est composée d'une épaisse couche d'argile (M) avec des couches d'argile calcaireuse (ML) à ses extrémités. Cette unité comprend une séquence dépôt composée de :

- Couches d'argiles calcaireuses (ML) (à la base 2563,54m – 2565,3m et au sommet 2559 m – 2559,34 m) de couleurs gris clair à gris sombre souvent orange. Elles sont caractérisées par les structures sédimentaires telles que les stylolites, les microfractures, les fragments de coquilles et les bioturbations. Les bioturbations sont issues des traces fossiles de *Ophiomorpha* et *Spirophyton* (Photo 2 A). Le ciment est calcaire (ML,sty,b,calc).
- Épaisse couche d'argile laminée (2559,34m – 2563,54m), de couleur gris sombre, brun noir, noir rougeâtre et gris clair (Photo 2 B). Les

structures sédimentaires sont marquées par les spectres de débris carbonés, les laminations de pyrite, les laminations de sidérites, les fragments de coquilles, les lentilles de sables locales, les laminations ondulés locales et les bioturbations issues des traces fossiles de *Thalassinoides* (Ml,py,sid,ic,w,b).

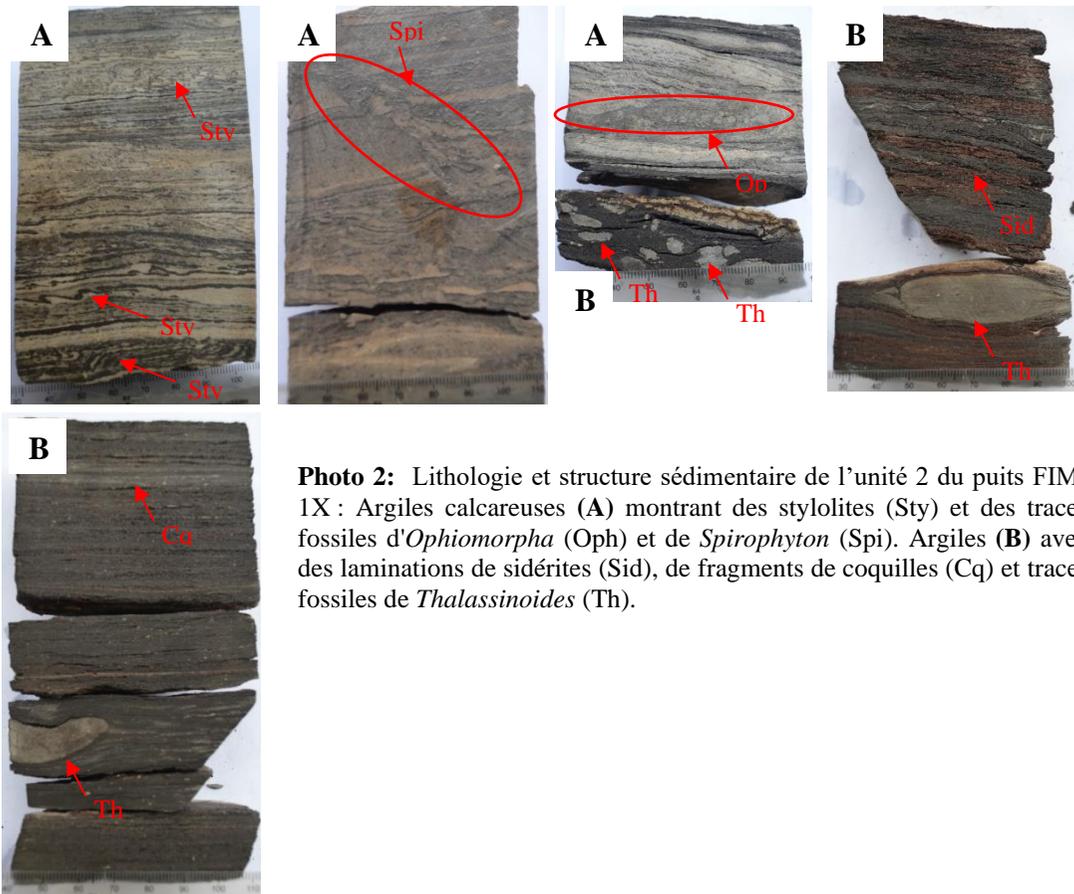


Photo 2: Lithologie et structure sédimentaire de l'unité 2 du puits FIM-1X : Argiles calcaireuses (A) montrant des stylolites (Sty) et des traces fossiles d'*Ophiomorpha* (Oph) et de *Spirophyton* (Spi). Argiles (B) avec des laminations de sidérites (Sid), de fragments de coquilles (Cq) et traces fossiles de *Thalassinoides* (Th).

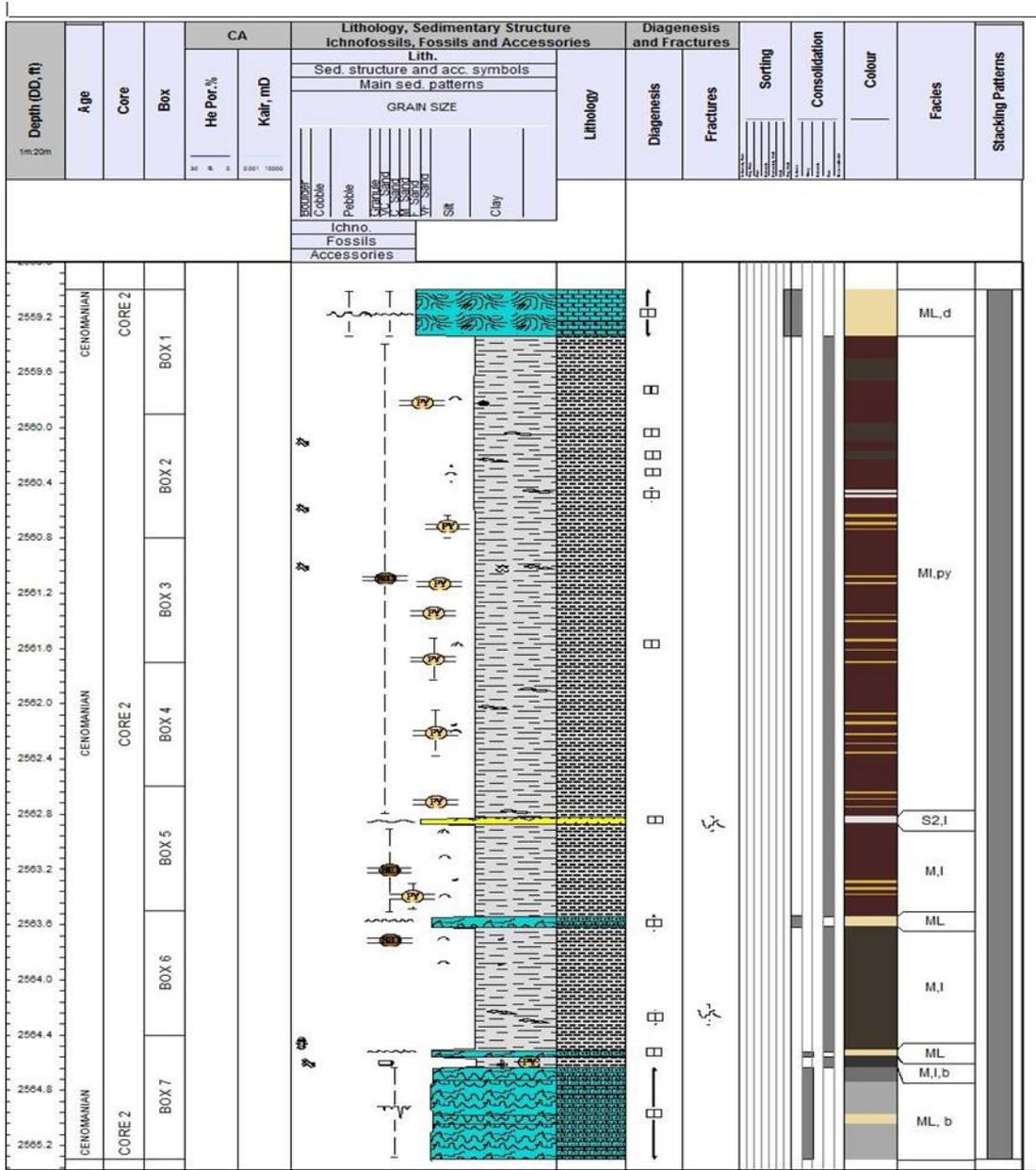


Figure 2: Nature lithologique des carottes de l'unité 2 du puits FIM-1X

3.1.3. Unité 3: 2608 m – 2608,5 m

L'unité 3 est caractérisée par une épaisseur de 0,44 m (Fig. 4). Elle est marquée par une succession de grès (S) de sable argileux (SM) et de structure hétérolithique à dominante argileuse (HM). Cette unité comprend une séquence de dépôt composée de :

- Grès massif de couleur gris sombre (Photo 3 A). Ils ont des grains de sable qui varient de très fins à fins et sont très bien classés. Les structures sédimentaires observées se composent de rides grimpantes, de fragments de débris carbonés et de micas. Le ciment est calcaire (Sm,r,ic,calc).
- Sables argileux de couleur gris clair (Photo 3 B). Ils sont déformés et très bioturbés. Les bioturbations sont issues des traces fossiles d'*Ophiomorpha* et *Palaeophycus* (SM,l,d,b).

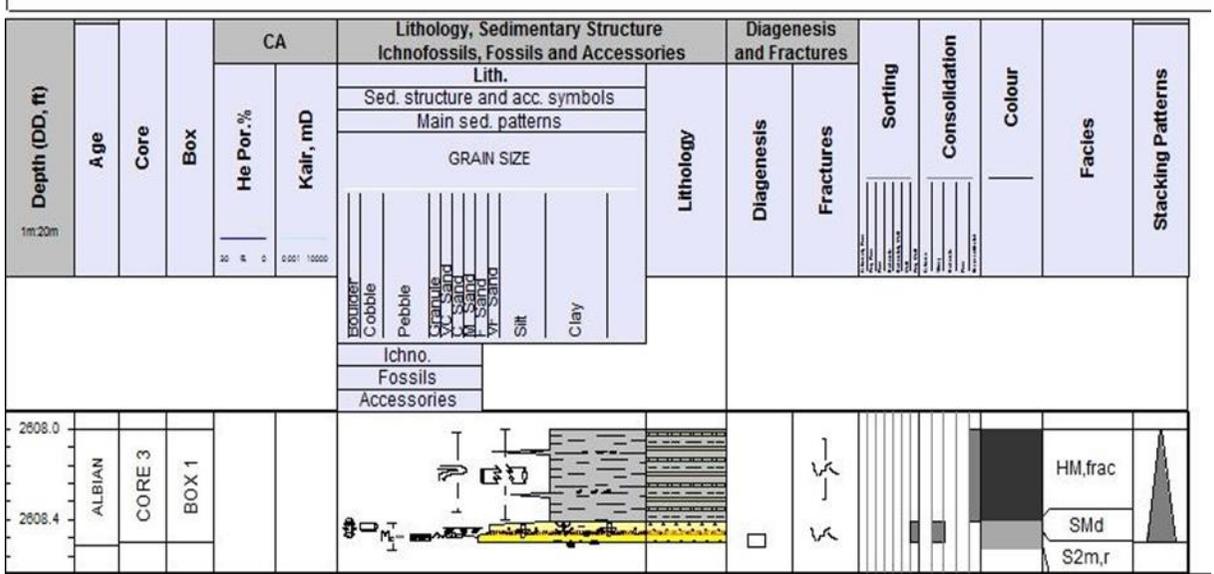


Figure 3: Nature lithologique des carottes de l'unité 3 du puits FIM-1X

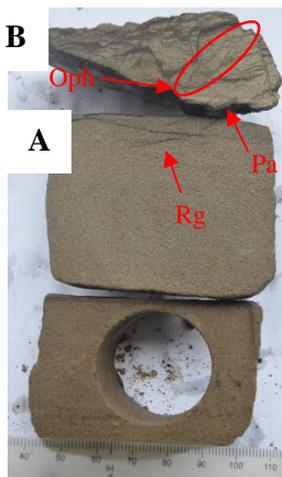


Photo 3: Lithologie, structures sédimentaires et ichnofossiles de l'unité 3 du puits FIM-1X : Grès massif (A) montrant une ride grimpante (Rg) au sommet. Sables argileux déformé (B) avec des traces fossiles d'*Ophiomorpha* (Oph) et de *Palaeophycus* (Pa).

3.1.4. Unité 4: 2626 m - 2631 m

Cette dernière unité a une épaisseur d'environ 4,29 m (Fig. 4). Elle est constituée essentiellement d'une épaisse couche de structure hétérolithique à dominance argileuse (HM) intercalée par des fines à moyennes couches de grès (S), de sable argileux (SM) et d'argile (M). Cette unité comprend également une séquence de dépôt composée de:

- Grès massifs (Sm), laminés (Sl) de couleur variant de gris sombre à gris clair (Photo 4 A). Ils ont des grains de sable qui varient de fins à grossiers et contiennent des structures sédimentaires telles que les imbrications de clastes d'argile, les débris carbonés, des rides grimpanes, des rides sinusoïdales, de micas, et des bioturbations. Les bioturbations sont issues des traces fossiles d'*Ophiomorpha* et de *Scolicia*. Le ciment est localement calcaire (Sm, l,r,ic,b,calc).
- Fines couches de sables argileux de couleur moyennement gris noir (Photo 4 B). Ces sables argileux se présentent sous forme de rides laminées, de rides grimpanes, de rides sinusoïdales et de lentilles de sable (SM,r,ln).
- Argiles laminées de couleur gris noir (Ml, Photo 4 C).
- Épaisses couches de structures hétérolithiques à dominante argileuse, laminées, de couleur gris noir (Photo 4 D). Elles montrent les structures sédimentaires telles que les lentilles de sable, les laminations ondulées, les rides grimpanes, les nodules de sidérites, les nodules de pyrites et les bioturbations issues des traces fossiles d'*Ophiomorpha* (HML,r,w,sid,py,b).

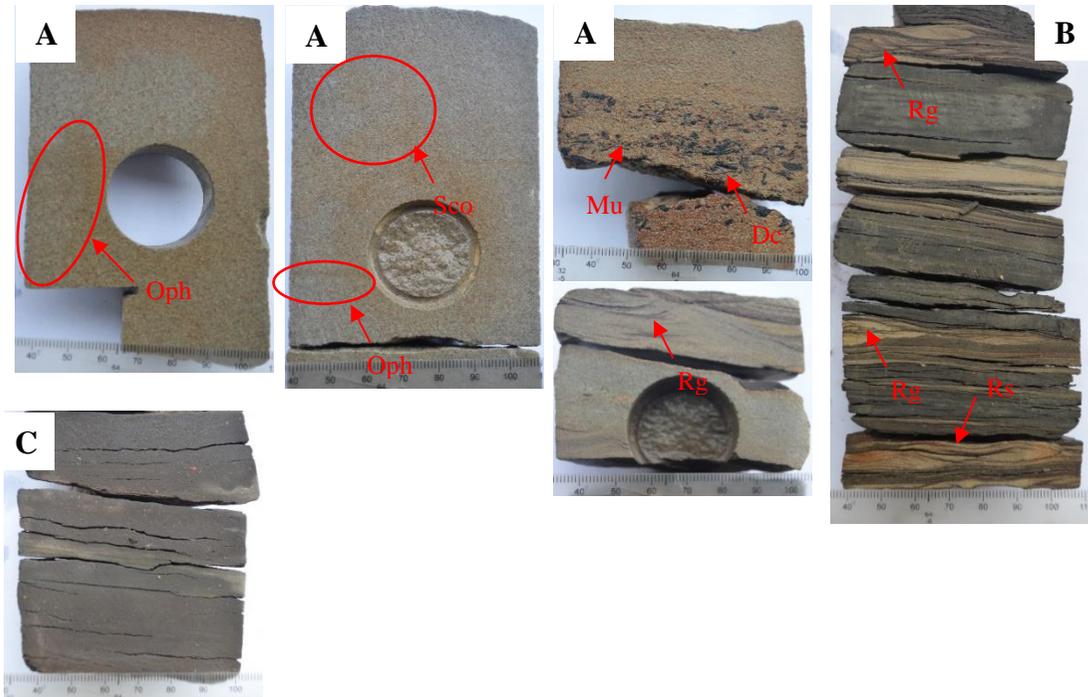


Photo 4: Lithologie, structures sédimentaires et ichnofossiles de l'unité 4 du puits FIM-1X :Grès massif (A) montrant une imbrication de clastes d'argile (Ca), une imbrication de débris carbonés (Dc), des rides grimpantes (Rg) et des traces fossiles d'*Ophiomorpha* (Oph) et de *Scolicia* (Sco). Structures hétérolithiques dominance argileuses (B) avec des rides grimpantes (Rg) et des rides sinusoïdales (Rs). Argile laminée (C).

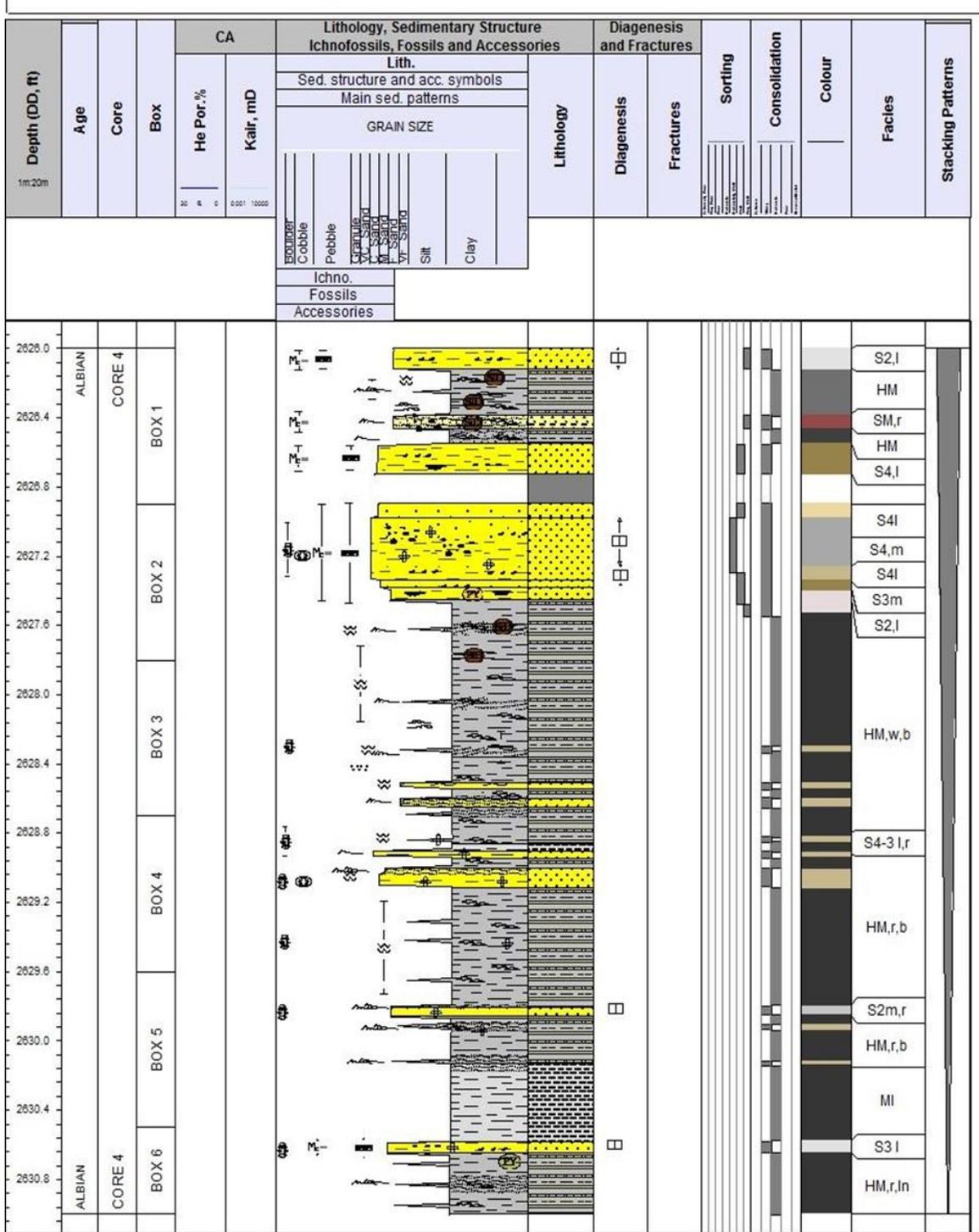


Figure 4: Nature lithologique des carottes de l'unité 4 du puits FIM-1X

Légende générale du puits FIM-1X

LITHOLOGIE

	Structure hétérolithique
	Sable/grès
	Sable silteux
	Sable argileux
	Argile
	Argile silteuse
	Calcaire argileux
	Carotte préservée
	Gap

DIAGENÈSE

	Ciment calcaire
-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------

FRACTURES

	Microfracture
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------

ICHTNOFOSSILES

	<i>Palaeophycus</i>
	<i>Ophiomorpha</i>
	<i>Thalassinoides</i>
	<i>Spirophyton</i>
	<i>Scolicia</i>

STRUCTURES SÉDIMENTAIRES ET ACCESSOIRES

	Lamination horizontale irrégulière		Fragment d'argile déformée		Lamination en pli couché
	Structure en traversin		Débris carbonés		Lentilles
	Granule		Fragments de charbon		Mica
	Fragment d'argile		Tâche ou grain de débris carbonés		Fragment de coquille
	Galet d'argile		Granoclassement normal		Galet libre
	Claste d'argile		Fragment de coquille (bivalve)		Lamination de silt
	Granoclassement normal		Nodule de pyrite		Lamination de stylolites
	Granoclassement inverse		Sidérite		
	Stylolites		Lamination de sidérites		

3.1.5. Synthèse des résultats de la description macroscopique

La description macroscopique a révélé que les carottes du puits FIM-1X sont essentiellement constituées de granule à matrice sableuse, de grès, de sables argileux, d'argile, d'argile calcareuse, et de structures hétérolithiques à dominante argileuse. Les galets à matrice sableuse sont marqués par des clastes d'argiles, les nodules de sidérites, les nodules de pyrite, les fragments de coquilles, les injections de sable, les débris carbonés et les micas. Les grès généralement massifs montrent par endroits des structures telles que les rides de courant asymétriques, les nodules de sidérites, les clastes d'argile, les fragments de coquilles, les débris carbonés et des micas. Les sables argileux

sont déformés et très bioturbés. Les argiles calcareuses sont caractérisées par les stylolites, les fragments de coquilles et les bioturbations. Les argiles sont laminées et les structures hétérolithiques à dominante argileuse présentent des rides grimpantes, des rides sinusoïdales des lentilles de sable, les nodules de pyrites, des nodules de sidérites et des bioturbations. Les bioturbations sont issues des traces fossiles de *Thalassinoides*, *Ophiomorpha*, *Scolicia*, *Palaeophycus* et *Spirophytons*.

3.2. Interprétation lithologique des faciès

3.2.1. Les faciès principaux

Le tableau I résume les principaux faciès mis en place par les flux de débris en milieu aqueux (flux de débris), les flux hyperpycnaux, les vagues et les actions des marées induites par les précipitations lors des tempêtes.

Tableau I : Principaux lithofaciès des formations maastrichtiennes, cénomaniennes et albiennes mise en évidence dans la zone d'étude et leur interprétation

Faciès Codes	Lithologie	Structures sédimentaires	Interprétations
PS	Dépôt de granule à matrice sableuse, mal trié ou un granoclassement normal et ou inverse.	Massifs, à matrice sableuse avec des nodules de sidérite, clastes d'argile, galets d'argiles, injections de sable, débris carbonés et micacés.	Dépôts hyperconcentrés des coulées de débris.
Sm	Grès massifs à grains fins à très grossiers, très mal à moyennement bien triés.	Pas de structure sédimentaire interne, à granoclassement normale, débris carbonés, nodules de sidérite, clastes d'argile, nodule de sidérite, micacé, bioturbations issues de <i>Ophiomorpha</i> et <i>Scolicia</i>	Écoulement hyperpycnal, Courant de tempêtes
Sl	Grès à laminations parallèles à grains fins à grossiers.	Débris carbonés, nodules de sidérite, clastes d'argile, micacé à ciment calcaire.	Courants de turbidité, Courants fluviatiles.
Sr	Grès à laminations des rides à grains très fins à fins, bien classés.	Rides grimpantes, rides sinusoïdales, des lentilles, et des fragments de coquilles, débris carbonés.	Courants fluviatiles, courants de turbidité.
SMI	Sable argileux laminés à grain très fin à fin, mal triés.	Clastes d'argile, des rides et micas .	Courants fluviatiles, courants de turbidité
SMd	Sable argileux déformé à grains très fin à fin, mal trié, en raison du mélange de bioturbation de	Affaissement, des fractures irrégulières, bioturbation, traces fossiles d' <i>Ophiomorpha</i> et de <i>Palaeophycus</i> .	Coulée de débris, courant turbiditique

M	composants très fins à fins. Argile avec pas plus de 15% de limon mélangé et grain de sable très fin à fin	Laminations parallèles, nodules de pyrite, nodules de sidérite, fragments de coquille et trace fossile de <i>Thalassinoïdes</i> .	Dépôts argileux par suspension ou sous forme de floculation,
HM	Structures hétérolithiques à dominante argileuse montrant des ondulations et lentilles bien développés. Argile > 50%	Lentilles, nodules de pyrite, nodules de sidérite, des rides grimpanes, des rides sinusoïdales, trace fossile d' <i>Ophiomorpha</i>	Actions des rivières et des vagues, courant de turbidité
ML	Argiles calcaires : argile avec un mélange de carbonate (généralement 30%).	Laminations parallèles, Stylolites, fractures irrégulières, microfractures, trace fossile d' <i>Ophiomorpha</i> et <i>Spirophyton</i> .	Courant fluvial induit par des précipitations qui accompagnent les tempêtes.

3.2.2. Description des faciès

En intégrant les données de la lithologie, des structures sédimentaires (Tableau I) et des ichnofossiles, on a identifié 4 grands lithofaciès successifs dans les formations du Maastrichtien à l'Albien.

3.2.2.1. Association de faciès 1 : Lithofaciès de Granule

L'association de faciès 1 ou lithofaciès de granule (PS) comprend les sédiments contenant plus de 20% d'un mélange de granules. Ils sont généralement massifs. Ils n'ont pas de structures sédimentaires internes. Le granoclassement est alternativement normale et inverse. Cette association présente des nodules de pyrite, de sidérites, des injections de sable, des fragments de coquille et des clastes d'argiles. Ce faciès est interprété comme étant déposé par des coulées de débris pseudoplastiques subaériens ou subaquatiques (Fea *et al.*, 2019). Les bases non érosives indiquent un flux laminaire mais le granoclassement normal et l'alignement horizontal des clastes suggèrent un écoulement turbulent occasionnel pendant le transport (Fea *et al.*, 2019). Par ailleurs la présence de fragments de coquille et de traces d'eau indique des dépôts subaquatiques (Horton et Schmitt 1996, Fea *et al.*, 2019).

3.2.2.2. Association de faciès 2 : Lithofaciès de Grès

Le faciès de grès se distingue par la présence d'un mélange ou d'une intercalation d'argile, de limon ou de galets inférieur à 20%. Les grès sont à grains très fins à très grossiers, les grains très fins à moyens sont plus fréquents. L'association du faciès 2 est interprétée comme étant un dépôt de front deltaïque (Nakajima 2006 ; Fea *et al.*, 2019), littoral (MacEachern *et al.*, 2007 ; Fea *et al.*, 2019) et milieu marin peu profond (Manzocchi *et al.*, 2008 ; Fea *et al.*, 2019).

3.2.2.2.1. Faciès de Grès massifs (Sm)

Les grains des grès massifs sont généralement très fins à très grossiers (S1m à S5m). Ils n'ont pas de structures sédimentaires internes très bien triées. Le granoclassement est normal ou inverse. Des débris carbonés, des nodules de sidérite des imbrications de clastes d'argile, des micas, et des microfractures sont présents. Le ciment est souvent calcaire. L'intensité des bioturbations est moyenne avec les traces fossiles d'*Ophiomorpha* et de *Scolicia*. Les grès massifs sont interprétés comme étant des dépôts rapides de sable par les courants hyperpicnaux des crues fluviales (Coleman & Gagliano, 1965) et des courants turbiditiques subaquatiques (Higgs, 1990). Par ailleurs le dépôt de sable à granoclassement normal ou inverse de haut ou faible courant de turbidité se produit dans une sédimentation grain par grain, rapide, par suspension. Alors que les imbrications de clastes d'argiles suggèrent un changement de régime (turbulent à laminaire) (Fea *et al.*, 2019). Les traces d'*Ophiomorpha* correspondent à des traces d'habitation et d'alimentation en suspension. Ces traces sont interprétées comme typique des dépôts de la face supérieure du rivage (shoreface supérieur) à l'estran inférieur (Pollard *et al.*, 1993), bien qu'il puisse également être présent dans d'autres environnements à haute énergie (Morris *et al.*, 2006, Pemberton *et al.*, 2009). Les traces de *Scolicia* sont des traces d'alimentation. Ces traces sont interprétées comme typique des dépôts de la face inférieure du rivage (Shoreface inférieure) (Pemberton & MacEachern, 1997).

3.2.2.2.2. Faciès de Grès laminé (SI)

Les grès à laminations parallèles ont des grains fins à grossier (S11 à S41) et sont très bien à mal triés. Ils contiennent également des laminations de débris carbonés, des nodules de sidérite et de micas. Le ciment est rarement calcaire. Ces faciès sont interprétés comme des dépôts de courants de turbidité de haute ou faible densité (Ghibaudo, 1992, Fea *et al.*, 2019). Ces faciès peuvent aussi être comparés à l'unité B de la séquence de Bouma (1962).

3.2.2.2.3. Faciès de Grès à ride (Sr)

Les grès à rides sont à grains très fins à fins (S1r à S2,r) avec des rides grimpantes, des rides sinusoïdales, des lentilles et des fragments de débris carbonés. Les rides sinusoïdales se transforment souvent en rides grimpantes. La variation des rides sinusoïdales aux rides grimpantes en passant par les rides asymétriques suggère une énergie élevée dans un milieu d'environnement de front deltaïque (Cojan et Renard, 2008). Spécialement, ces grès à rides sont interprétés comme étant les dépôts caractéristiques du complexe chenaux-levées dans un environnement du front deltaïque (Fea *et al.*, 2019).

3.2.2.3. Association de faciès 3 : Lithofaciès de sable argileux (SM)

Le sable argileux se caractérise par la présence de 20 à 50% d'argile mélangée ou intercalée. Les grains des sables sont très fins à moyens. Il est représenté par un faciès de sable argileux laminé (SMI) et un sable argileux déformé (SMd). Cette association de faciès 3 est interprétée comme des dépôts littoraux (MacEachern *et al.* 2007) et marins peu profonds (Stephen *et al.*, 2008, Fea *et al.*, 2019).

3.2.2.3.1. Faciès de sable argileux laminé (SMI)

Les sables argileux laminés sont à grains très fins à fins (S1MI à S2MI) avec des laminations de débris carbonés, des clastes d'argiles et une abondance de micas. Ces sables argileux laminés sont interprétés comme étant des dépôts de levée (Fea *et al.*, 2019).

3.2.2.3.2. Faciès de sable argileux déformé (SMd)

Les sables argileux déformés sont à grains très fins à fins (S1Md à S2Md) bien triés avec des contacts bioturbés. Les structures sédimentaires sont marquées par les convolutés et les fractures irrégulières. L'intensité de bioturbation est moyenne et issue des traces fossiles de *Ophiomorpha* et *Palaeophycus*. Les traces de *Palaeophycus* sont des traces d'habitation. Elles caractérisent des sables de tempêtes épisodiques et d'eau saumâtre (Pemberton *et al.*, 2009, Fea *et al.*, 2019). Ces faciès sont interprétés comme des dépôts continentaux ou marins (Hubbard *et al.*, 2004, Knaust 2013).

3.2.2.4. Association de faciès 4 : Lithofaciès d'argiles (HM, ML, M)

Trois faciès différents ont été identifiés dans ce groupe. Cette association de faciès 4 est interprétée comme étant des dépôts du front deltaïque (Nakajima, 2006 ; Fea *et al.*, 2019), littoral (MacEachern et Gingras, 2007) et les milieux marins peu profonds (Fea *et al.*, 2019).

3.2.2.4.1. Faciès des structures hétérolithiques à dominance argileuse (HM)

Les structures hétérolithiques à dominance argileuse sont des interlaminations d'argile et de sable à grains très fins à fins avec une proportion d'argile supérieure à 50 %. Les structures sédimentaires sont marquées par des laminations ondulées, des rides grimpantes, des rides sinusoïdales et des lentilles de sable. L'intensité de bioturbation est moyenne et issue des traces fossiles d'*Ophiomorpha*. Ces faciès résulteraient donc d'un dépôt de faible énergie dans un milieu de levée du front deltaïque (Cojan et Renard, 2008 ; Fea et al., 2019).

3.2.2.4.2. Faciès des argiles calcareuses (ML)

Les argiles calcareuses sont constituées d'environ 70% d'argiles et 30% de calcaire. Les structures sédimentaires sont marquées par des laminations de stylolites, des fractures irrégulières, des fissures de synérèse et de microfractures. L'intensité de bioturbation est forte et issue des traces fossiles d'*Ophiomorpha* et de *Spirophyton*. Les stylolites rencontrées dans les argiles calcareuses suggèrent un phénomène de dissolution (Fea et al., 2018). *Spirophyton* est une trace de broutage d'un organisme de dépôt et d'alimentation. Ces traces sont interprétées comme typique des dépôts d'environnements marin allant du plateau continental au talus distal (Pemberton et al., 2009).

3.2.2.4.3. Faciès d'argile pure (M)

Les argiles pures sont les épaisses couches d'argile interlaminées souvent par des grès à grains très fins à fins et des silts (argile 85%, sable/argile 15%). Les structures sédimentaires sont caractérisées par des laminations parallèles, des lentilles de sables et des laminations de sidérite. L'intensité de bioturbation est moyenne et issue des traces fossiles de *Thalassinoides*. Ces faciès suggèrent un dépôt par suspension ou floculation (Ghibaudo, 1992). Les traces de *Thalassinoides* sont des traces d'habitation et d'alimentation. Elles sont interprétées comme des dépôts de la partie inférieure de la côte et du milieu marin peu profond (Pemberton, 2011). Elles sont connues aussi dans les eaux saumâtres (Fea et al., 2019).

4. Discussion

Dans le bassin sédimentaire ivoirien, peu d'études portant sur la détermination des environnements de dépôts ont été réalisées à partir des structures sédimentaires et des traces fossiles des carottes des forages pétroliers.

Les travaux de Fea et al. (2019) à partir des structures sédimentaires et des traces fossiles ont montré de manière générale une évolution des faciès

d'Ouest en Est dans le bassin sédimentaire ivoirien. Ces travaux ont également montré l'existence de quatre types de faciès dans la marge de San-pédro et au centre de la marge d'Abidjan. Les travaux sur le puits FIM-1X au niveau du centre de la marge d'Abidjan ont effectivement mis en évidence l'existence de ces quatre types de faciès à savoir les faciès de granules, grès, sable argileux et argile.

Les formations albiennes sont dominées à la base par les faciès de petites tailles tels que les faciès de sable argileux et d'argile. Tandis qu'elles sont dominées aux sommets par les faciès de grès. Ceci s'explique par l'existence des phénomènes de horsts et graben lors de l'ouverture de l'océan atlantique tel que relaté par les travaux de Digbehi (1987), Gawthorpe & Leeder, (2000) et Fea *et al.* (2019). Ces faciès sont dominés par les structures sédimentaires telles que les rides sinusoïdales, les rides grimpantes, les laminations ondulées, les nodules de sidérites, les nodules de pyrites, les laminations de débris carbonés, les fractures irrégulières et les bioturbations issues des traces fossiles d'*Ophiomorpha*, *Scolicia*, *Palaeophycus*.

Les formations cénomaniennes sont dominées par les faciès d'argiles et d'argiles calcareuses. Ces argiles calcareuses sont dominées par les stylolites et les microfractures. Les argiles calcareuses sont déclenchées par les événements tectoniques tel que relatés par les travaux de Brownfield & Charpentier (2006). Les stylolites rencontrés suggèrent un phénomène de dissolution comme décrit dans les travaux de Wazir (2014) et de Fea *et al.* (2018).

Quant aux formations maastrichtiennes, elles sont dominées par les épaisses couches de faciès de granules et de grès massifs. Ces faciès sont marqués par des clastes d'argiles, les nodules de sidérites, les nodules de pyrite, les fragments de coquilles, les injections de sables, les débris carbonés, un granoclassement normal et les micas. Le granoclassement normal et l'alignement horizontal des clastes suggèrent un écoulement turbulent occasionnel pendant le transport comme souligné dans les travaux de Fea *et al.* (2019). La présence des fragments de coquilles des bioclastes montre aussi que les dépôts se sont mis en place en milieu sous-aqueux (Pivnik, 1990, Fea *et al.*, 2019). La présence des traces d'eau témoigne également d'un dépôt subaquatique (Horton et Schmitt 1996, Fea *et al.*, 2019).

Ces différents faciès provoquent de nombreux stress physiques et chimiques qui influencent le comportement des organismes fouisseurs. Dans l'ensemble, les assemblages des traces fossiles de cette association de faciès représentent les ichnofaciès de *Cruziana* et de *Skolithos* comme relevé par Seilacher (1967) et Pemberton *et al.* (2009, 2011), impliquant un environnement proche du rivage. En outre, ces assemblages de traces de fossiles indiquent une colonisation rapide des couches lithologique par des

organismes opportunistes (Bryant *et al.*, 1988; Pemberton, 2011, Morris *et al.*, 2006).

Généralement associées avec les ichnofaciès de *Skolithos*, les traces de *Ophiomorpha* prolifèrent dans les environnements marins côtier supérieur (Pollard *et al.*, 1993). Ces traces peuvent être également rencontrées dans les eaux saumâtres, les substrats sableux, les estuaires et les hauts-fonds de marée (Pemberton *et al.*, 2009, 2011). Selon Pemberton *et al.* (2009), les traces de *Scolicia* pourraient se trouver dans une large gamme d'environnement. Elles peuvent s'étendre de la face inférieure du rivage aux pentes des environnements offshore profondes. Elles peuvent également être trouvées dans les dépôts de flysch. Ces traces sont donc associées aux environnements de *Cruziana*, *Zoophycos* et *Néréites*. Quant aux traces de *Spirophyton*, elles sont caractéristiques des environnements marins allant du plateau continental au talus distal. Comme les *Scolicia*, les ichnofossiles de *Spirophyton* sont associées aux environnements de *Cruziana*, *Zoophycos* et *Néréites* (Pemberton *et al.*, 2009). Enfin les ichnofossiles de *Thalassinoides* sont associés aux environnements de *Cruziana* allant de la partie inférieure de la côte au milieu marin peu profond comme décrite par Pemberton, (2011) et Fea *et al.* (2019).

Conclusion

L'étude sédimentologique des carottes du puits FIM-1X a mis en évidence deux types de lithofaciès au Maastrichtien, à savoir : les lithofaciès de granules et les lithofaciès de grès. Au Cénomaniens, seule le lithofaciès d'argile a été mis en évidence tandis qu'à l'Albien, trois types de lithofaciès ont été observés : les lithofaciès de grès, de sables argileux et d'argile.

Au Maastrichtien les structures sédimentaires sont dominées par les structures massives, les injections de sables, les clastes d'argiles, les fragments de coquilles, les nodules de pyrite et de sidérites. Aucune trace fossile n'a été observée dans ces formations maastrichtiennes. Ces formations du Maastrichtien seraient caractéristiques des dépôts de chenaux du front deltaïque. Au Cénomaniens, par contre, les structures sédimentaires sont dominées par les laminations de stylolites, les microfractures, les laminations de pyrites et sidérites. Les traces fossiles observées dans ces formations cénomaniennes sont les *Ophiomorpha*, *Siprophyton*, *Thalassinoides* et *Palaeophycus*. Ces formations cénomaniennes seraient caractéristiques des dépôts du milieu marin côtier inférieur (ou shoreface inférieur). Quant à l'Albien, les structures sédimentaires sont dominées par les structures massives, les laminations parallèles, les laminations de débris carbonés, les clastes d'argiles, les rides grimpantes, les rides sinusoïdales, les lentilles de sable, les rides asymétriques, les nodules de pyrites et sidérites. Les traces fossiles caractéristiques sont représentées par *Ophiomorpha* et les *Scolicia*.

Ces formations albiennes seraient caractéristiques du complexe chenaux-levées et aussi du milieu marin côtier supérieur (Shoreface supérieur).

Les chenaux du front deltaïque, le complexe chenaux – levées et les milieux marins côtiers (Shoreface) observés, pourraient être de bons réservoirs d'hydrocarbures.

References:

1. Bouma A.H. (1962). *Sedimentology of some flysch deposits*. Elsevier, Amsterdam, 168 p.
2. Brownfield, M.E. and Charpentier, R.R., (2006). *Geology and Total Petroleum Systems of the Gulf of Guinea Province of West Africa*. US Geological Survey Bulletin, 2207-C, 32pp.
3. Bryant, I.D., Kantorowicz, J.D and Love, C.F. (1988). *The origin and recognition of laterally continuous carbonate-cemented horizons in the Upper Lias Sands of southern England*. Mar. Petrol. Geol., 5, 109–131.
4. Cojan, I., and Renard, M. (2008). *Sédimentologie*. Dunod, 444 p.
5. Coleman, J.M., and Gagliano, S.M. (1965). *Sedimentary structures: Mississippi deltaic plain*. In Middleton G.V. ed., *Primary sedimentary structures and their hydromorphic interpretation*. Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Pub., 12, p. 133-148.
6. Digbehi Z. B. (1987). *Etude comparée de la sédimentation de premiers stades d'ouverture Atlantique-Golfe de Guinée - Golfe de Gascogne*. *Sédimentologie, biostratigraphie*. Thèse de doctorat, Université Pau, 366 p.
7. Fea I., Abioui M., Nabawy B.S., Jain S., Digbehi Z. B., Kassem A.A., Benssaou M. (2022). Reservoir quality discrimination of the Albian-Cenomanian reservoir sequences in the Ivorian basin: A lithological and petrophysical Study. *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources* 8 (1):1. <https://doi.org/10.1007/s40948-021-00297-8>.
8. Fea I., Bakary F., Yao N.J.P., Kplohi Y.H., Goua T. E., Digbehi Z.B., Bamba K. (2018). *Diagenetic control on the petrophysical properties of Albian-Cenomanian sandstones in the ivorian basin, west Africa*. International journal of Innovation and Scientific Research ISSN 2351-8014 Vol. 39 No. 2 Nov. 2018, pp. 120-138.
9. Fea I., Mcafee A., Yao N.J.P., Digbehi Z.B., Kplohi Y.H., et Fofana, B. (2019). *Characterization of the salinity conditions of Cenomanian formations based on sedimentological and ichnological data of selected cores from Ivorian offshore basin (septentrional Gulf of Guinea)*. Journal of African Earth Sciences 149 (2019), 367-397.

10. Gawthorpe & Leeder, (2000). *Evolution tectono-sédimentaire des bassins d'extension actifs*. Basin Research 12 (3-4), 195-218.
11. Ghibaudo, G. (1992). *Subaqueous sediment gravity, Sedimentology flow deposits: practical criteria for their field description and classification*. 39, 423-454.
12. Higgs, R. (1990). *Sedimentology and tectonic implications of Cretaceous fan-delta conglomerates, Queen Charlotte Islands, Canada*. Sedimentology, 37, 83-103.
13. Horton, B.K., Schmitt, J.G. (1996). *Sedimentology of a Lacustrine Fan-delta System, Miocene Horse Camp Formation, Nevada, USA*. Department of Earth Sciences Montana State University, Bozeman, pp. 133–155 h4T 5971 7, USA. Sedimentology 43.
14. Hubbard, S.M., Gingras, M.K., and Pemberton, S.G. (2004). *Paleoenvironmental implications of trace fossils in estuarine deposits of the Cretaceous Bluesky Formation, Cadotte region, Alberta, Canada*. Fossils and Strata, No.51, pp. 00- 00.USA. ISSN 0300-9491. ISBN 82-00 37665-6.
15. Jenny E. M, Gary J. Hampson and Howard D. J. (2006). *A sequence stratigraphic model for an intensely bioturbated shallow-marine sandstone: the Bridport Sand Formation, Wessex Basin, UK*.
16. Knaust, D. (2013). *The ichnogenus Rhizocorallium: Classification, trace makers, palaeoenvironments and evolution*, Earth-Science Reviews, 126, (1).
17. MacEachern, J.A., and Gingras, M.K. (2007). *Recognition of brackish-water trace fossil suites in the Cretaceous Western Interior Seaway of Alberta, Canada; in Bromely, R.G., Buatois, L.a., Mangano, G., Genise, J.F., and Melchor, R.N. (eds), Sediment - Organism Interactions: A Multifaceted Ichnology*, SEPM, Spec. Publ. 88, p149-193.
18. Manzocchi, T., Carter, J.N., Skorstad, A. (2008). *Sensitivity of the impact of geological uncertainty on production from faulted and unfaulted shallow marine oil reservoirs: objectives and methods*. Petroleum Geoscience, 14, 3–15.
19. Nakajima, T. (2006). *Hyperpycnites deposited 700 km away from river mouths in the central Japan Sea*: Journal of Sedimentary Research, v. 76, p. 60– 73.
20. Pemberton, S. G. (2011). *Applied ichnology and sedimentology short course*. Unpublished, 123p.
21. Pemberton, G.S. and MacEachern, J.A. (1997). *The ichnological signature of storm deposits: the use of trace fossils in event stratigraphy*. In: *Palaeontological events; stratigraphic, ecological,*

- and evolutionary implications (Eds B.E. Carlton and B.C Gordon), pp. 73–109. Columbia University Press, New York.*
22. Pemberton, S. G., MacEachern, J. A., Gingras, M. K., and Bann, K. L. (2009). *Trace Fossil Atlas: The recognition of common trace fossils in cores*. Unpublished Atlas, 139 p.
 23. PETROCI & BEICIP (1990). *Côte d'Ivoire petroleum évaluation. Ministère des Mines, Abidjan (Côte d'Ivoire)*. Rapport promotionnel, 99 p.
 24. Pivnik D.A. (1990). *Thrust-generated fan-delta deposition: Little Muddy Creek Conglomerate, SW Wyoming*. J. sedim. Petrol., 60, 489-503.
 25. Pollard, J.E., Goldring, R. and Buck, S.G. (1993) *Ichnofabrics containing Ophiomorpha: significance in shallow water facies interpretation*. J. geol. SOC. Lond., **150**, 149-164.
 26. Reijers, H. A. (1995). *Lithofacies classification scheme*. Unpublished.
 27. Seilacher A. (1967). *Bathymetry of trace fossils*. Marine Geology, 5, 413-428.
 28. Stephen K.D., Yang C., Carter J.N., Howell J.A., Manzocchi T. & Skorstad A. (2008). *Upscaling uncertainty analysis in a shallow-marine environment*. Petroleum Geoscience, 14, 71–84.
 29. Wazir I. (2014). *Contrôles sédimentaires et diagénétiques sur les propriétés pétrophysiques des réservoirs gréseux à gaz des bassins de Sbaa, Algérie, et des Palmyrides-Sud, Syrie*. Sciences de la terre. Université Paris Sud-Paris XI. Thèse de Doctorat, 337p.
 30. Wentworth, C. K. (1922). *A scale of grade and class terms for clastic sediments*: Jour. Geology, v. 30, no, 5, p. 377-392.