



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE MOULOU D MAMMERE DE TIZI OUZOU

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques

Département des Sciences Géologiques

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GEOLOGIE

Option : Bassins Sédimentaires

Thème :

**Etude des Unités du Silurien Argileux Gréseux du Ouest du Bassin de Berkine
(Sédimentologie et Biostratigraphie)**

Proposé par M^r KHODJAOUI Abdenour

Réalisé par M^{elle} SEDIRI Fairouz

Soutenu le 18 Décembre 2017

Devant le jury :

M^r ACHOUI Mhend	Maître Assistant FSBSA/UMMTO	Président
M^r AMROUCHE Farid	Maître Assistant FSBSA/UMMTO	Promoteur
M^r MADOUNI Fayçal	Ingénieur Géologue DTD	Co-Promoteur
M^{elle} OUIKENE Karima	Maître Assistant FSBSA/UMMTO	Examinatrice
M^r KHODJAOUI Abdenour	Chef de Département Stratigraphie DTD	Invité

Promotion 2016 /2017

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicaces

Liste des figures et des planches

Liste des tableaux

Résumé.....	1
Abstract.....	1
INTRODUCTION GENERALE.....	2
Méthodologie.....	4
CHAPITRE I GENERALITES SUR LE BASSIN DE BERKINE	
I.1. Situation géographique	5
I.2. Situation géologique	6
I.3. Stratigraphie	7
I.3.a. Le socle	7
I.3.b. Le Paléozoïque	7
I.3.c. Le Mésozoïque	9
I.3.b. Le Cénozoïque	10
I.4. Contexte tectonique et structural	12
I.5. Aspect pétrolier	14
I.5.a. Roche mère.....	14
I.5.b. Roche réservoir	14
I.5.c. Roche couverture	15
I.5.d. Les pièges	16

CHAPITRE II ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE

II.1. Introduction	17
II.2. Généralités sur la sédimentologie	18
II.2.a. Identification des structures sédimentaires	18
II.2.a.1. D'origine mécanique	18
II.2.a.2. D'origine biologique (les traces fossiles.....)	19
II.3. Analyse sédimentologique des carottes.....	22
II.3.a. Sondage A.....	22
II.3.b. Sondage B	26
II.3.c. Sondage C	29
II.3.d. Les environnements de dépôt rencontrés dans ce travail	31
II.4. Conclusion.....	34

CHAPITRE III BIOSTRATIGRAPHIE

III.1. Introduction	35
III.2. GENERALITES SUR LA PALYNOLOGIE.....	35
III.2.a. La palynologie.....	35
III.2.b. Echantillonnage et méthode de préparation	35
III.2.c. Description des palynomorphes	39
III.2.d. La notion de biozone	44
III.3. RESULTATS BIOSTRATIGRAPHIQUE	48
III.3.a. SONDAGE A.....	48
III.3.b. SONDAGE B.....	58
III.3.c. SONDAGE C.....	67
III.4. Conclusion	73

CHAPITRE VI CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE.....74

Références bibliographiques.....75

Annex

Remerciements

Je remercie profondément M^r AMROUCHE Farid de m'avoir encouragé à chercher un thème externe, d'avoir cru en moi et d'avoir accepté de corriger ce travail.

J'exprime ma profonde gratitude à M^r KHODJAOUI Abednour de la confiance qu'il m'a témoigné en me proposant un thème si intéressant, et en suivant et corrigeant mon travail, je lui suis très reconnaissante.

Je tiens à remercier infiniment M^r MADOUNI Fayçal d'avoir accepté de suivre le déroulement de ce travail, il a mis à ma disposition toute chose qui pouvait m'être utile afin de réaliser ce mémoire.

Je remercie aussi M^r TABET Salim et M^{me} SERBAH Samira qui ont mis à ma disposition les photos et descriptions des carottes réalisées par eux-mêmes ; M^r BENAZIZA Abdelhadi qui m'a bien orienté sur la procédure de la description des carottes ; M^r MERABET Arezki qui m'a montré la méthode de la préparation palynologique, ainsi que tous les ingénieurs de la DTD et tous son personnel, sans leur aide ce travail ne serait jamais accompli dans de bonnes conditions.

Je remercie M^r ACHOUI Mhend d'avoir répondu favorablement à l'invitation pour présider ce jury.

Je tiens à remercier également M^{elle} OUIKENE Karima qui a bien voulu examiner ce travail, je suis très honorée qu'elle juge ce modeste mémoire.

Je voudrais remercier tous les enseignants du département de Géologie de l'UMMTO qui m'ont suivie durant mon parcours à l'université.

Dédicaces

A la meilleure femme au monde ma mère, à mon cher père, qui m'ont soutenu durant tout mon parcours, qui ont donné exemple de courage et de patience.

A grand-mère et grand père qui attendait ce jour depuis longtemps, je vous remercie infiniment pour tout votre aide que ce soit pour moi ou pour ma famille.

A mon cher frère Idir, à mes adorables sœurs Hassiba, Dounia et Fadoua, à ma chère tante Soussa, à tous les membres de ma famille loin ou proches.

A tous mes camarades de la promotion. Et à tous mes ami(e)s sans exception.

Je vous dédis ce modeste travail.

*Liste des figures et des
tableaux*

Liste des figures

Fig.01 : Nomenclature et biozonation détaillée de la série siluro-dévonienne du bassin.....3

CHAPITRE I

Fig.I.01 : Carte de situation géographique du bassin de Berkine.....5

Fig.I.02 : Carte de situation géologique du bassin de Berkine.....6

Fig.I.03 : Coupe NW-SE montrant, les ensembles géologiques de l'Algérie, passant par le Bassin de Berkine.....7

Fig.I.04 : Coupe géologique type du Sahara et du bassin d'Illizi et de Berkine.....11

Fig.I.05 : Coupe synthétique du Bassin de Berkine montrant les différentes phases tectoniques.....13

Fig.I.06 : Pièges et migration dans le bassin de BERKINE.....16

CHAPITRE II

Fig.II.01 : carte de situation des sondages étudiés (A, B, C).....17

Fig.II.02: CRUZIANA ICHNOFACIES21

Fig.II.03 : SKOLITHOS ICHNOFACIES.....21

Fig.II.04 : fiche de description du puits A, carotte 6 et 5.....23

Fig.II.05 : fiche de description du puits A, carotte 4 et 3.....25

Fig.II.06 : fiche de description du puits B, carotte 3, 2 et 1.....28

Fig.II.07 : fiche de description du puits C, carotte 6, 5 et 4.....30

Fig.II.08 : Représentant le foreshore du puits A (carotte 06, intervalle 4034m – 4032).....31

Fig.II.09 : Représentant le lower shoreface du puits C (Carotte 05, intervalle 4236m – 4232m)31

Fig.II.10 : Représentant le middle shoreface du puits B (Carotte 02, intervalle 3809m – 3805m)32

Fig.II.11 : Représentant l'upper shoreface du puits A (Carotte 06, intervalle 4050m – 4046m)32

Fig.II.12 : Représentant l'offshore du puits B (Carotte 03, intervalle 3978m – 3974m)33

Fig. II.13 : Section transversale depuis la plaine côtière jusqu'à l'Offshore, avec la position des puits étudiés.....33

CHAPITRE III

Fig.III.01 : Technique standard de préparation palynologique des échantillons.....38

Fig.III.02 : morphologie des spores et des grains de pollen.....39

Fig.III.03 : Diagramme illustrant les morphologies basiques de classification des acritarches40

Fig.III.04 : morphologie générale d'un chitinozoaires.....41

Fig.III.05 : Principaux caractères morphologiques d'un dinoflagellé.....42

Fig.III.06 : Morphologie générale des Scolécodontes42

Fig.III.07 : photos représentant une Tasmanite.....43

Fig.III.08 : photos représentant une leiosphère.....43

Fig.III.09 : photos représentant les poils de Gigantotraccés.....43

Fig.III.10 : schémas représentant les différentes biozones.....45

Fig.IV.01 : essai de corrélation entre les sondages étudiés.....74

Liste des planches

CHAPITRE III

Planche I du sondage A.....	53
Planche II du sondage A.....	55
Planche III du sondage A.....	57
Planche I du sondage B.....	62
Planche II du sondage B.....	64
Planche III du sondage B.....	66
Planche I du sondage C.....	70
Planche II du sondage C.....	72

Liste des tableaux

Tab.III.01 : Biozones de Chitinozoaires du Silurien supérieur –Dévonien inférieur reconnues dans le Sahara Algérien.....	46
Tab.III.02 : Tableau des biozones locales de Chitinozoaires du Silurien des Bassins de Berkine-Illizi.....	47
Tab.III.03 : tableau de répartition des échantillons du sondage A	49
Tab.III.04 : tableau de répartition des palynomorphes dans le sondage A	50
Tab.III.05 : tableau de répartition des échantillons du sondage B	58
Tab.III.06 : tableau de répartition des palynomorphes dans le sondage B.....	60
Tab.III.07 : tableau de répartition des échantillons dans le sondage C.....	67
Tab.III.08 : tableau de répartition des palynomorphes dans le sondage C.....	68

Résumé

Le bassin de Berkine est une vaste dépression située au Nord-Est de la plate forme saharienne.

Trois sondages implantés à l'Ouest du bassin de Berkine ont fait l'objet de cette étude.

L'étude sédimentologique a permis de reconnaître des faciès hétérolithique à alternances de grès et d'argile, et de définir les environnements de dépôt qui varient de l'avant plage (shoreface) vers le marin ouvert (offshore).

Les résultats de l'analyse biostratigraphique ont mis en évidence la répartition de deux biozones de chitinozoaires. La biozone à *Cingulochitina convexa* – *Cingulochitina serrata* d'âge Ludfordien supérieur - Pridoli inférieur, qui définit l'unité A du réservoir F6. Et la biozone à *Margachitina elegans* datée Pridoli moyen définissant ainsi l'unité B1 du réservoir F6.

Mots clé : bassin de Berkine, sédimentologie, environnement de dépôt, Silurien supérieur, palynologie, biozone, chitinozoaires.

Abstract :

The Berkine basin is a vast depression located North Est of the Saharian platform.

Three holes located in the Western part of the basin are the subject of this study.

The sedimentological study has made it possible to recognize the heterolic facies of alternance between sandstone and clay, and to define the environments of their deposit which varies from the shoreface to the offshore.

The results of the biostratigraphic analysis revealed the distribution of two biozones of chitinozoans. The *Cingulochitina convexa* – *Cingulochitina serrata* biozone of upper Ludfordian – lower Pridoli age, which defines the unit A of the F6 resevoir. And the *Margachitina elegans* biozone dated middle Pridoli thus defining the unit B of the reservoir F6.

Key words : Berkine basin, sédimentology, environment of deposit, upper Silurien, palynology, biozone, chitinozoans.

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les séries du Siluro-Dévonien du bassin d'Illizi – Berkinne ont été décrites selon plusieurs nomenclatures stratigraphiques, citons la zonation palynologique de Boumendjel (1987), zonation de Paris *et al.*, (2000), zonation en unités réservoir de la CEP (Jardiné & Yapaudjian., 1968) et CREPS (Calarq *et al.*, 1963), zonation en séquences de dépôts d'Eschard *et al.*, (2000) et la zonation mixte litho-stratigraphique et palynologique de Jardiné & Yapaudjian (1968). Cette dernière étant la plus utilisée, réalisée à partir d'une biozonation basée sur l'étude des palynomorphes (spores, acritarches et chitinozoaires) établies sur deux sondages du bassin d'Illizi par Jardiné & Yapaudjian (1968). On distingue dans le Silurien supérieur (partie inférieure du réservoir F6) du bas vers le haut deux formations (Fig.01) :

- **Formation argilo-gréseuse de Méderba ou « Zone de passage » (M1, M2)**

Cette formation qui surplombe la Formation Argiles à Graptolithes est formée d'un membre gréseux inférieur et d'un membre argileux supérieur.

- **Le membre inférieur des « Grès micacés » (M1)** correspond à la zone palynologique (IIa), il est constitué de grès massifs, homogènes, gris, fins et micacés, à stratification décimétrique subhorizontale.

- **Le membre supérieur des « Argiles litées » (M2)** correspond à la partie inférieure de la zone palynologique (IIIa), il est formé par des argilites brunes ou noires comportant de nombreuses intercalations quartzitiques à litage subhorizontal, millimétrique.

- **Formation grésio-argileuse d'Oued-Tifist (A, B1, B2)**

Cette formation comporte un membre inférieur et un membre supérieur à dominance gréseuse et un membre intermédiaire argileux.

- **Le membre inférieur des « Grès verts » (A)** correspond à la partie supérieure de la zone palynologique IIIa et la zone palynologique (IIIb, IIIc), il est constitué de grès moyens à grossiers, friables, verdâtre, à quartz enrobés d'argile (chlorite essentiellement).

- **Le membre moyen de « Argilo-gréseux à hématite » (B1)** (zone palynologique IVa) est composé d'alternances rythmiques de grès argileux à chlorite, fins à moyens, bioturbés et d'argilites vertes, comportant un horizon d'hématite dans la partie médiane.

- **Le membre supérieur (B2)** zone palynologique (IVb, Va-b-c), est constitué d'argilites intercalées de bancs de grès grossier.

Mon travail porte sur la description de carottes afin de réaliser une étude sédimentologique d'une part, et une étude biostratigraphique d'une autre part, afin de pouvoir corréliser entre les différentes unités du Silurien Argileux Gréseux (SAG), et suivre leurs extensions dans

l'espace, sachant que nous avons affaire à des changements d'environnements d'environnement de dépôt.

Pour cela nous proposons d'utiliser la palynologie qui est un outil clé des pétroliers qui travaillent sur les carottes et les cuttings ou la faune n'est pas préservée, elle est souvent broyée par le forage, ainsi que dans le domaine de la stratigraphie.

ZONATIONS (CEP)	GAMMA-RAY	Lithologie	RESERVOIRS (CREPS)	EPAISSEURS APPROXIMATIVES	TERMINOLOGIE PROPOSEE	ETAGES	ZONATION PALYNOLOGIQUE
		Avg Slt T/Fn Fln Moyen Grossier T. Grossier					
E					Dévonien Argileux		
D3			F3	40 m	Grès massifs	Givétien Frasnien(?)	IX D
D2			F4	70 m	Grésno-Argileux Hétérogène	Givétien Frasnien(?)	IXa-b
D1			F5	50 m	Argile-Gris-noir	Emsien	VIIIc
C3				50-80 m	Grès Quartzitiques		VIIIa-b
C2				25-30 m	Argilo-Grésno Bréchoïdes	Formation Grésno-Argileuse de Hassi Tabankort	VII
C1				50-80 m	Grès Granoclassés		VI
B2			F6	100 m	Argiles et Grès Grossiers	Formation Grésno-Argileuse de Oued Tifist	Vd
B1				50 m	Argilo-Grésno à Hématite		Va-b-c
A				50-100 m	Grès Verts		IVb
M2				50 m	Argiles litées	IVa	
M1				50-80 m	Grès Micacés	IIIc	
						IIIb	
					Formation Argilo-Grésno de Médérba	IIIa	
					Ladlow (mf?)	IIIa	
					Argiles à Graptolites	Ladlow (mf?)	IIa
							I

Fig.01 : Nomenclature et biozonation détaillée de la série siluro-dévonienne du bassin d'Illizi-Berkine (modifiée d'après Jardiné & Yapaudjian, 1968).

Méthodologie

Afin d'atteindre l'objectif de ce mémoire nous avons opté pour la méthodologie suivante :

Une étude bibliographique a été réalisée afin de récolter des informations sur le bassin de Berkine, et de réunir les données principales (sédimentologie et palynologie) pour la réalisation de ce travail.

L'étude sédimentologique a concerné la description des carottes de trois puits, dans le but de déterminer les environnements de dépôt et de mettre en évidence les unités du silurien argileux gréseux.

La partie biostratigraphie a été réalisée par l'analyse de quarante-neuf échantillons prélevés dans trois sondages, sous le microscope optique, à l lumière transmise dans le but de leur attribuer un âge précis.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LE
BASSIN DE BERKINE

I.1. Situation géographique :

Le bassin de Berkine se situe dans la partie nord-est de la plate-forme saharienne (fig.I.01), entre les latitudes 29° et 34° Nord et les longitudes 5° et 10° Est. C'est la partie algérienne du bassin de Ghadamès situé à cheval entre l'Algérie, la Libye et la Tunisie.

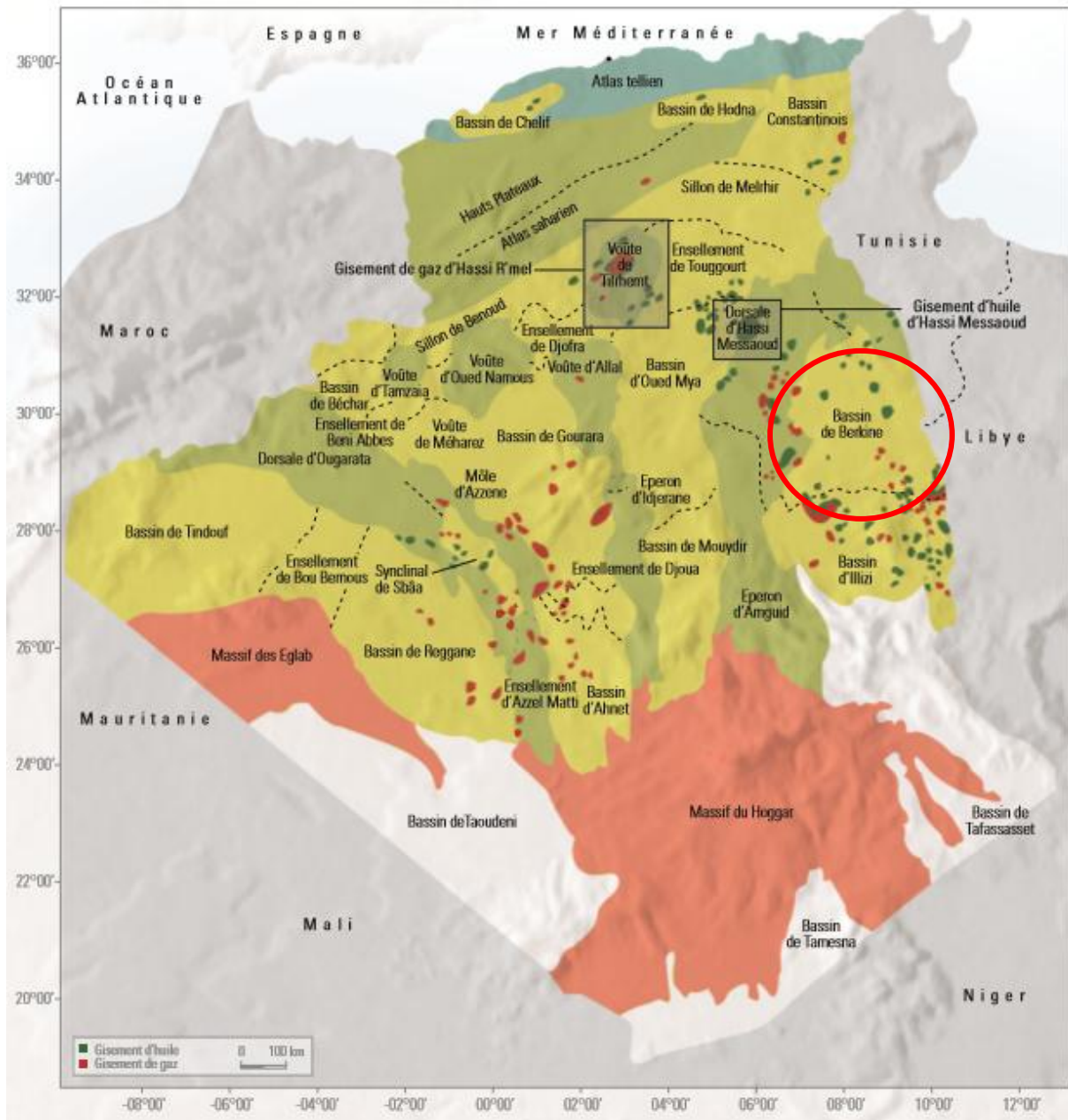


Fig.I.01 : Carte de situation géographique du bassin de Berkine (WEC, 2007, modifiée)

I.2. Situation géologique :

Le bassin de Berkine est un bassin intracratonique, il s'étend sur une superficie de 102 395 Km² (WEC 2007). Il forme une dépression de forme approximativement ovale. Il est limité à l'Est par les frontières libyennes et tunisiennes, au Sud par le môle d'Ahara qui le sépare du bassin d'Illizi, au Nord par môle de Dahar et à l'Ouest par le môle Amguid El Biod et Hassi Messaoud (fig.I.02).

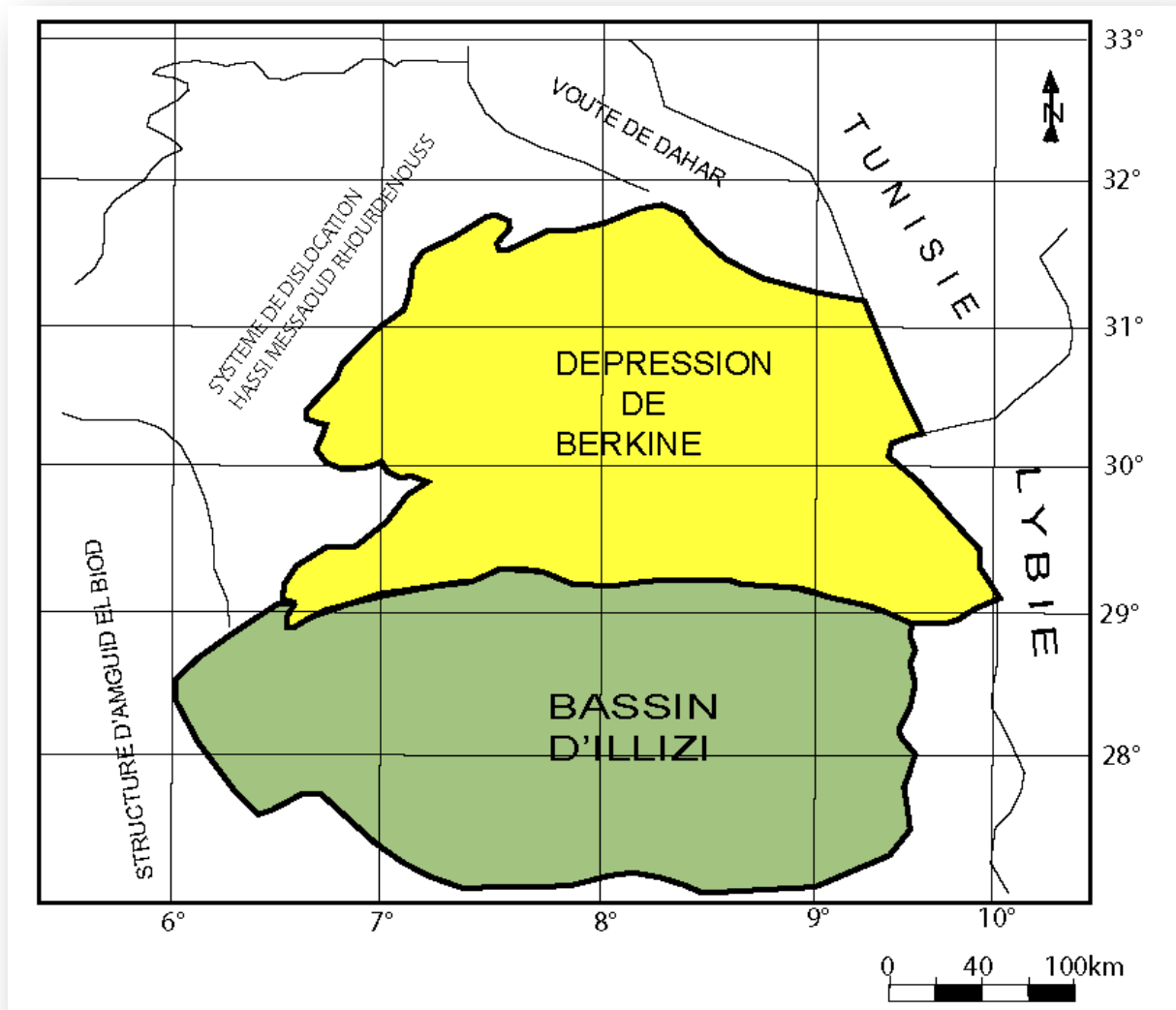


Fig.I.02 : Carte de situation géologique du bassin de Berkine (D'après WEC, 2005, modifiée)

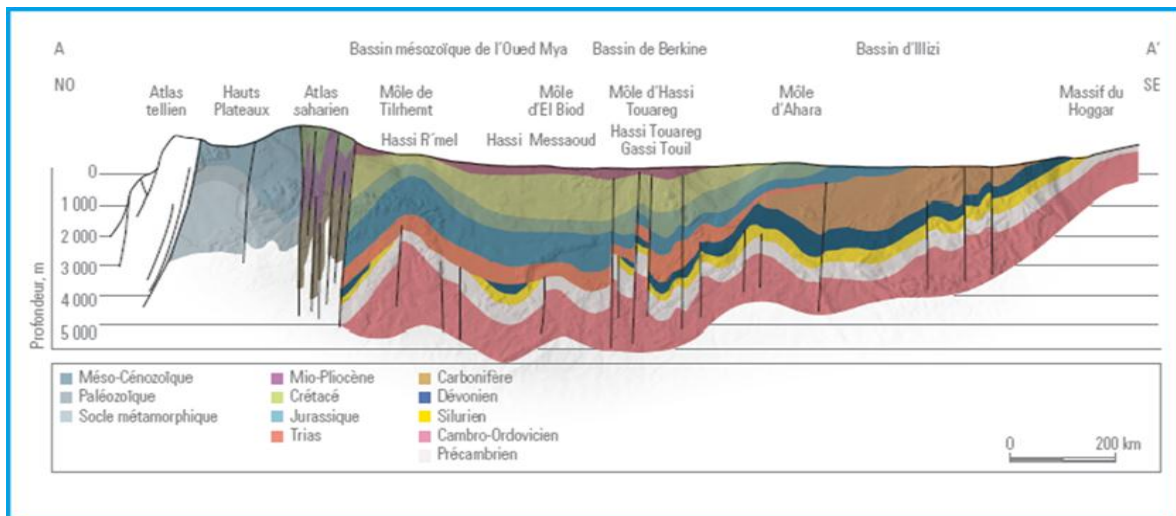


Fig.I.03 : Coupe NW-SE montrant, les ensembles géologiques de l'Algérie, passant par le Bassin de Berkine, (WEC, 2007).

I.3. Stratigraphie :

Le bassin de Berkine a conservé un remplissage sédimentaire de plus de 6000m, allant du Paléozoïque à l'Actuel (fig.I.04). Il se repose sur une discordance majeure appelée discordance infra-Tassilienne.

I.3.a. Le socle :

Le socle est composé de roches précambriennes sur lesquelles reposent en discordance les formations paléozoïques.

I.3.b. Le Paléozoïque :

- **Le Cambrien :**

Il comprend des grès grossiers à stratification oblique avec conglomérats et microconglomérats à la base (Lithozone R3) suivis par des grès moyens à grossiers, très argileux à passées d'argiles (Lithozone R2), par des grès fins à grossiers à intercalations d'argilites (Lithozone Ra), par des quartzites et des grès fins à moyens avec des passées d'argiles et de silts contenant des grains de glauconites et des tigillites (Lithozone RI). L'ensemble se termine par une alternance d'argiles, de silts et de grès fins à glauconies.

- **L'Ordovicien :**

Représenté par 250 m d'épaisseurs, l'Ordovicien est essentiellement détritique. Il est constitué de bas en haut par :

- Des argiles noires bitumineuses (Argiles d'EL Gassi) surmontées
- Des grès ou parfois par des conglomérats et des passées de silts et d'argiles noires (Grès d'El Atchane)
- Des quartzites compacts (Quartzites de Hamra)
- Des grès fins à moyens quartziques (Grès d'Ouargla)
- Des argiles noires, silteuses et micacées à minces passées de silts argileux et de grès oolithiques (Argiles d'Azzel)
- Des grès fins à moyens argileux et quartzitiques, dolomitiques et micacés à intercalations d'argiles silteuses faiblement carbonatées à oolithes (Grès d'Oued Saret)
- Des Argiles microconglomératiques

Et enfin, la série ordovicienne se termine par les grès de Ramade dont la base est constituée de grès quartzitiques et fines passées d'argiles auxquels font suite des grès quartzitiques de la dalle M'Kratta.

- **Le Silurien :**

Il comprend des faciès essentiellement argileux, il débute par les argiles à graptolithes constituées d'argiles grises à noires riches en graptolithes avec des grains de quartz fins et quelques passées de grès blancs à gris sombres fins avec présence de pyrite. Ces argiles sont surmontées par des faciès qualifiés d'argilo-gréseux (alternance d'argiles grises silteuses à siltosableuses tendres, rarement carbonatées et de grès gris à clairs, fins à moyens subarrondis généralement bien classés en silico-argileux et moyennement durs).

- **Le Dévonien :**

Il comprend de bas en haut, la succession lithostratigraphique suivante :

- Des argiles gréseuses à faciès très variables (Dévonien inférieur)
- Des argiles gréseuses moins développées et présentant quelques variations par rapport aux faciès sous-jacents (Dévonien moyen)
- Des argiles gris noires à brunes foncées avec des intercalations de calcaires argileux et gréseux (Dévonien supérieur).

- **Le Carbonifère :**

Il est formé essentiellement de calcaires admettant vers le sommet des passées gypseuses.

I.3.c. Le Mésozoïque :

- **Le Trias :**

Il est subdivisé en quatre membres lithologiques :

- Trias Argilo-Gréseux Inférieur (TAGI) : constitué de grés gris blanc à blanc et gris vert, fins à moyen parfois grossier subarrondi à subanguleux, siliceux à silico-argileux, localement pyriteux, friables à moyennement consolidés avec intercalations d'argile brun rouge parfois gris vert tendre à indurées silteuses.
- Trias Argilo-Carbonaté (TAC) : Bien que son nom fait allusion aux carbonates, il est constitué essentiellement d'argiles de couleur brunes rouges, rarement gris-vertes à éléments fins à moyens devenant grossiers vers la base avec intercalations d'argiles grisâtres à gris vertes et brunâtres indurées, siliceuses et feuilletées.
- Trias Argilo-Gréseux Supérieur (TAGS) : Il est formé essentiellement d'argiles rouges à gris-vertes tendres à indurées siliceuses à tendre feuilletées passant souvent à des argiles siliceuses gris-vertes, moyennement dures
- Trias S4 : Il s'agit d'une alternance des sels blancs translucides, parfois jaunes, rosâtres massifs et d'argiles grises à gris vertes, parfois brunes, siliceuses, tendres à indurées.

- **Le Jurassique :**

Les formations jurassiques ont une épaisseur de 770 m ils sont composés de sédiments lagunaires, marins et continentaux qui débutent avec des argiles sous compactées. Le Jurassique moyen et supérieur se caractérisent par des alternances argilo-carbonatées avec un enrichissement progressif en éléments détritiques, annonçant la sédimentation gréseuse du Crétacé inférieur.

- **Le Crétacé :**

Lithostratigraphiquement, nous distinguons de bas en haut la succession suivante :

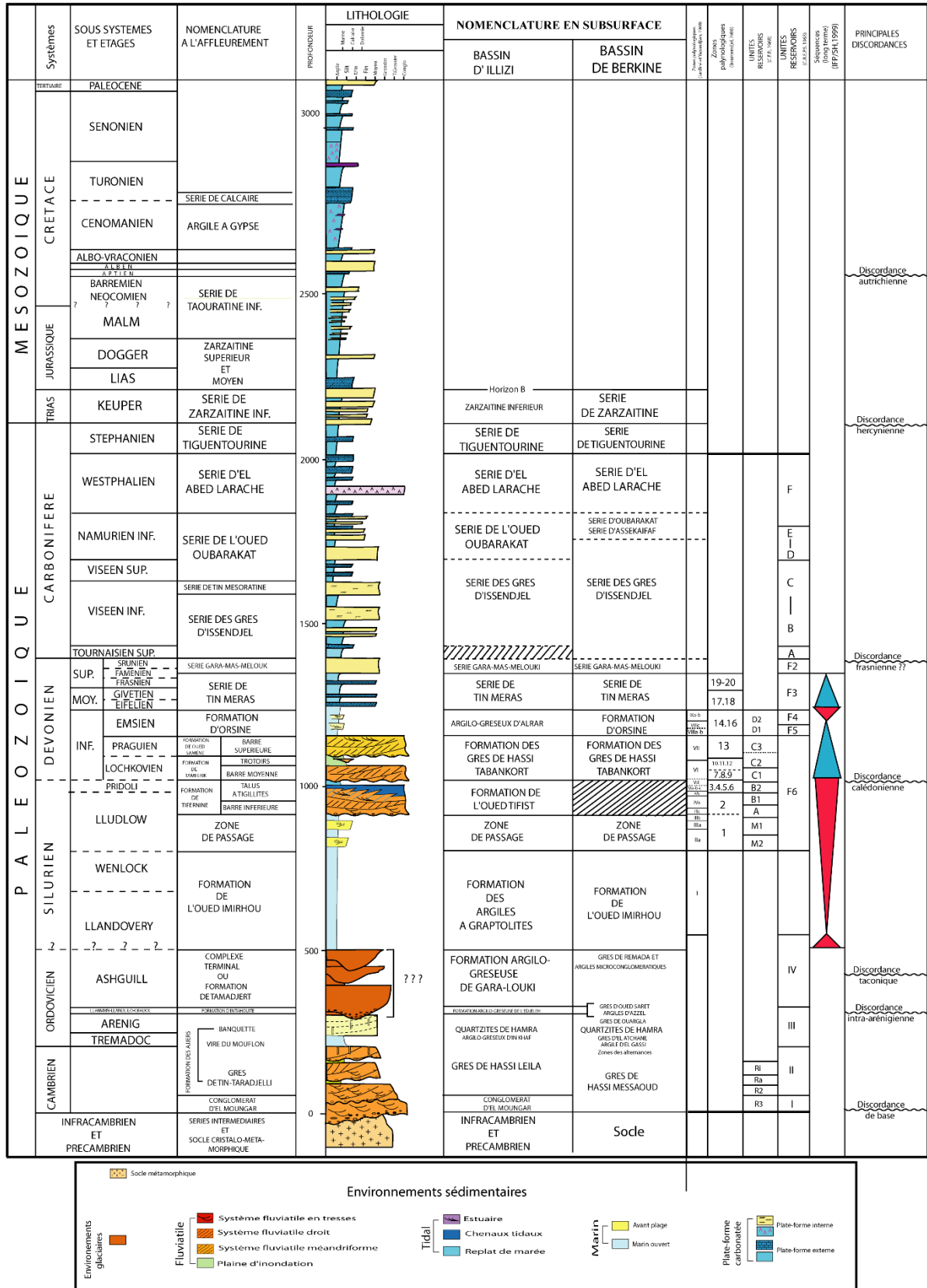
-Crétacé inférieur : Il constitue un ensemble à prédominance gréseuse qui témoigne de l'installation d'une sédimentation détritique généralisée à l'échelle de tous les bassins mésozoïques sahariens

-Crétacé supérieur : Il comprend une suite lithologique composée d'abord d'une alternance d'argiles gris-vertes, de sels blancs et de calcaires blancs d'âge Cénomaniens, suivi de calcaires blancs, gris, argileux à intercalations de marnes du Turonien, et des sels à intercalations d'argiles et d'alternances de calcaires parfois dolomitiques, blancs à beiges, de dolomies gris-claires à beiges et d'anhydrites blanches du Sénonien.

I.3.d. Le Cénozoïque

- **Le Mio-Pliocène** : Il est constitué de sables roux et blancs, à grains moyens à grossiers, arrondis, bien classés avec des passées de grès beiges et blancs, à grains fins, arrondis, à ciment carbonaté. Notons également la présence d'argiles rouges briques sableuses.

Le Quaternaire : est représenté généralement par des sables dunaires.



I.4. Contexte tectonique et structural :

Le bassin de Berkine est caractérisé par un domaine ouest fortement structuré souligné par des accidents à rejets importants. Cette structuration est beaucoup plus faible dans la partie centrale du bassin, avec une remontée monoclinale prononcée dans la partie méridionale.

L'architecture actuelle du bassin de Berkine est le résultat de l'effet des différentes phases tectoniques (fig.I.05).

La phase panafricaine : est à l'origine d'un réseau de fracturations caractérisé par de grands accidents subméridiens dont le régime de contrainte correspond à une compression.

Phase extensive Cambro-Ordovicienne : c'est une phase extensive importante liée à l'ouverture océanique et qui a pour résultat le basculement de la plateforme Saharienne vers le Nord-Ouest (Beuf et al., 1971). Au Cambro-Ordovicien un volume important de sédiment a alimenté les bassins par l'érosion panafricaine.

Phase compressive Taconique (Caradoc-Ashgill) : la phase compressive de l'Ordovicien terminale a engendrée de larges axes de plis orientés Nord-Sud le long des failles d'orientation Nord-sud du socle. Un changement climatique important est marqué par l'installation d'une calotte glaciaire polaire (polar ice cap) a recouvert tout le Sahara Centrale.

Phase Calédonienne (Silurien terminal-début Dévonien) : durant cette phase orogénique les moles (Tihemboka, El biod et Ahara) ont été réactivés. Une sédimentation importante est installée. Des dépôts clastiques (Réservoir F6) se sont déposés sur les argiles marines du Silurien (argiles à graptolites) sur toute la plateforme Saharienne.

Les déformations antéhercyniennes sont de faibles en intensité et rarement observables sur les profils sismiques.

La phase hercynienne : Cette phase est par contre plus remarquable, elle est plus érosive que déformatrice, cependant l'érosion progressive des séries paléozoïques qui s'est effectuée d'Est en Ouest, a épargné les dépôts carbonifères situés au centre du bassin.

Au Mésozoïque et précisément au **Trias-Lias**, cette phase cède la place à une phase distensive soulignée essentiellement par des dépôts continentaux qui s'installent à cette époque.

Cette phase est suivie par **la phase autrichienne (Crétacé Inférieur)** qui est apparue comme phase de serrage, elle est le résultat des mouvements différentiels des plaques africaines et européennes.

La phase alpine : Elle débute à l'Eocène, elle résulte de la convergence et la collision entre l'Afrique et l'Eurasie. Elle génère une compression orientée Nord-Sud à N 160°. Cette phase est présente surtout dans le domaine Atlasique.

La succession de tous ces événements tectoniques a modelé le bassin de Berkine.

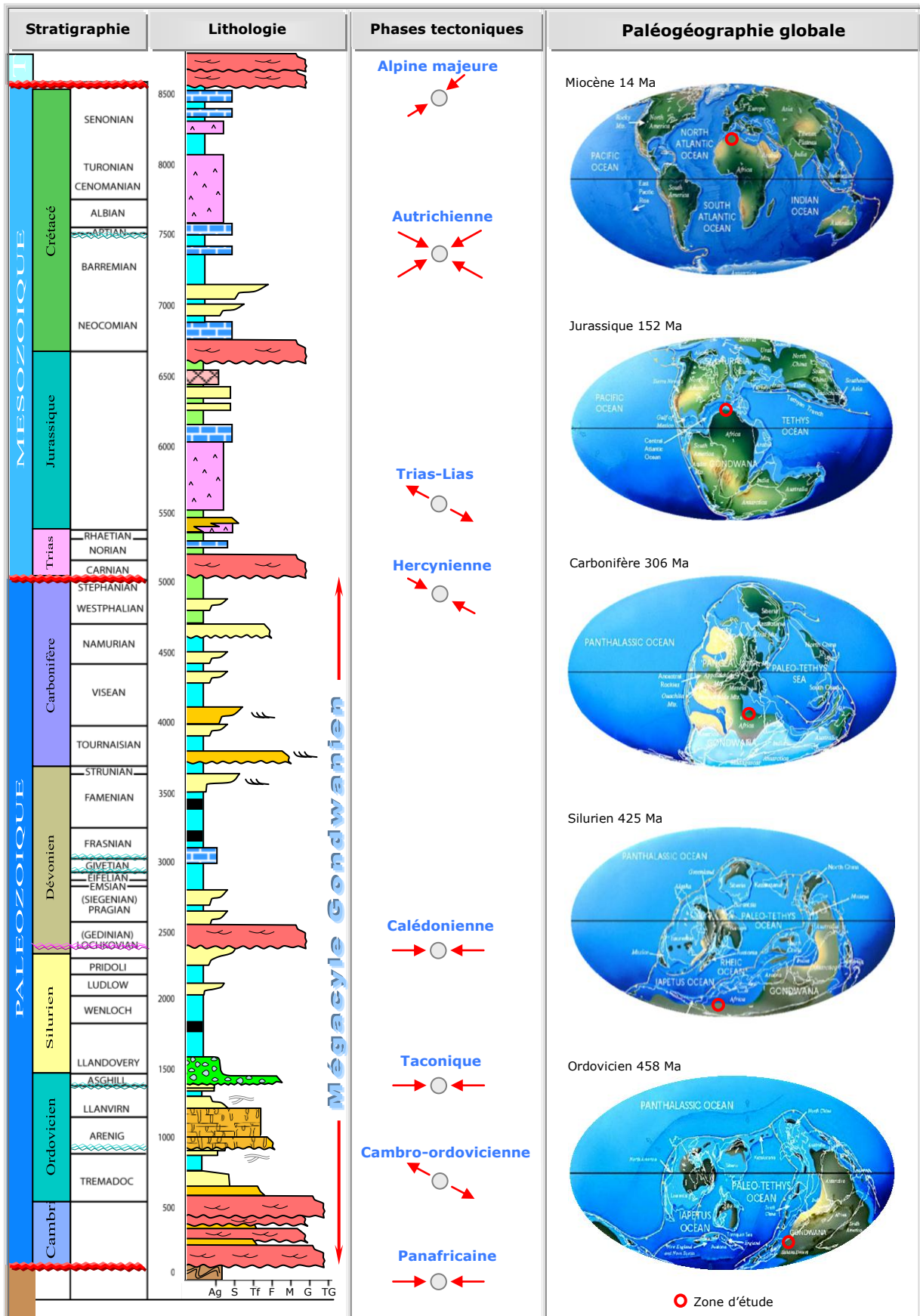


Fig.I.05 : Coupe synthétique du Bassin de Berkine montrant les différentes phases tectoniques (Eschard et al ; 2006 – modifié)

I.5. Aspect pétrolier :

I.5.a. Roche mère :

L'existence d'une roche mère est un élément essentiel dans le système pétrolier, cette roche doit contenir de la matière organique. Deux roches mères principales ont été reconnues sur l'ensemble du bassin (WEC 2007), elles correspondent à :

La roche mère silurienne : elle a une composition argileuse contenant de la matière organique d'origine marine, riche en graptolites. Elle a subi un enfouissement au Carbonifère qui l'a portée dans les conditions de fenêtre à l'huile. Elle a connu une deuxième phase de maturation au Crétacé qui a généré du gaz.

La roche mère dévonienne : elle est d'origine marine, elle a commencé à générer de l'huile à partir du Crétacé Supérieur. Cette roche a expulsé des hydrocarbures vers les réservoirs du Strunien, Carbonifère et Trias.

En plus ces deux roches il existe deux autres roches mères secondaires, comptant la roche mère ordovicienne et la roche mère carbonifère.

I.5.b. Roche réservoir :

Le réservoir Cambrien : il a été atteint par les forages sur la bordure Nord et Sud-ouest du bassin où sa profondeur est faible, son épaisseur varie de 500 à 600m, son épaisseur est réduite sur le côté de Dahar, ainsi que vers la partie Sud-ouest du bassin en raison de son érosion partielle. Le Cambrien produit avec une porosité variant de 4 à 11%. Ce réservoir est formé par les niveaux Ri et Ra sa couverture est assurée par les argiles d'El Gassi de l'Ordovicien (WEC 2007).

Le réservoir ordovicien : représenté par les quartzites de Hamra dont l'épaisseur maximale est de 325m (GassiTouil-Nezla).

Le réservoir silurien-argilo-gréseux : cette formation correspond à la partie supérieure du Silurien, elle est subdivisée en unités M1, M2, A, B1 et B2. Les grès de ce réservoir sont fins à moyens avec une porosité variant de 8 à 12% et une perméabilité de 100mD.

Le réservoir du Dévonien inférieur : est représentés par deux séquences essentielles, celle du Gédinnien, où prédomine les grès massifs de type fluviatile (post-calédonien) d'une épaisseur moyenne de l'ordre de 200 m, et celle du Siégénien qui est transgressif et qui présente des passages gréseux, correspondant à des réservoirs de type cordon littoral et deltaïque. Ces grès à bonnes caractéristiques pétro physiques sont reconnus à gaz à condensat et huile légère dans la zone de MLSE et MLE.

Le réservoir carbonifère : Il constitue un nouvel objectif pétrolier, il a d'excellentes caractéristiques pétro physiques, sa porosité varie entre 8 à 17%, il produit à Rhourd El Khrouf et Berkine.

Le Trias argileux gréseux inférieur (TAGI) : Il repose sur une surface hercynienne, il est présent dans tout le bassin sauf à la bordure Sud-ouest ou il présente une lacune de dépôt, son épaisseur est de 100m dans la partie centrale et Ouest. Au Nord son épaisseur varie de 10 à 200m, avec un développement des roches éruptives dans la partie Nord-ouest. De nombreuses découvertes d'huile et de gaz ont été réalisées dans ce niveau.

Le Trias carbonaté : il représente la partie médiane du Trias, d'origine lacustre, il est constitué d'argile brun-rouge dolomitique et silteuse à passées de dolomie microcristalline et de grès fins siliceux à silico-argileux, il est aussi caractérisé par la présence de roches éruptives dans la région de Nezla.

Le Trias argileux gréseux supérieur (TAGS) : il constitue la partie supérieure du Trias, il est d'origine fluviatile formé de grès blancs, silico-argileux, localement anhydritique, fins à moyens, son épaisseur est de 200m. Sur le plan pétrolier le TAGS constitue l'un des principaux réservoirs du bassin de Berkine.

I.5.c. Roche couverture :

Dans le Carbonifère et le Dévonien, les roches couvertures sont représentées par les argiles intraformationnelles. Sur les bordures du bassin, la couverture du réservoir TAGI est formée par des argiles et des évaporites du Trias carbonaté, Trias S4 ainsi que du Lias S3. Les réservoirs du Dévonien sont couverts par des argiles de même âge.

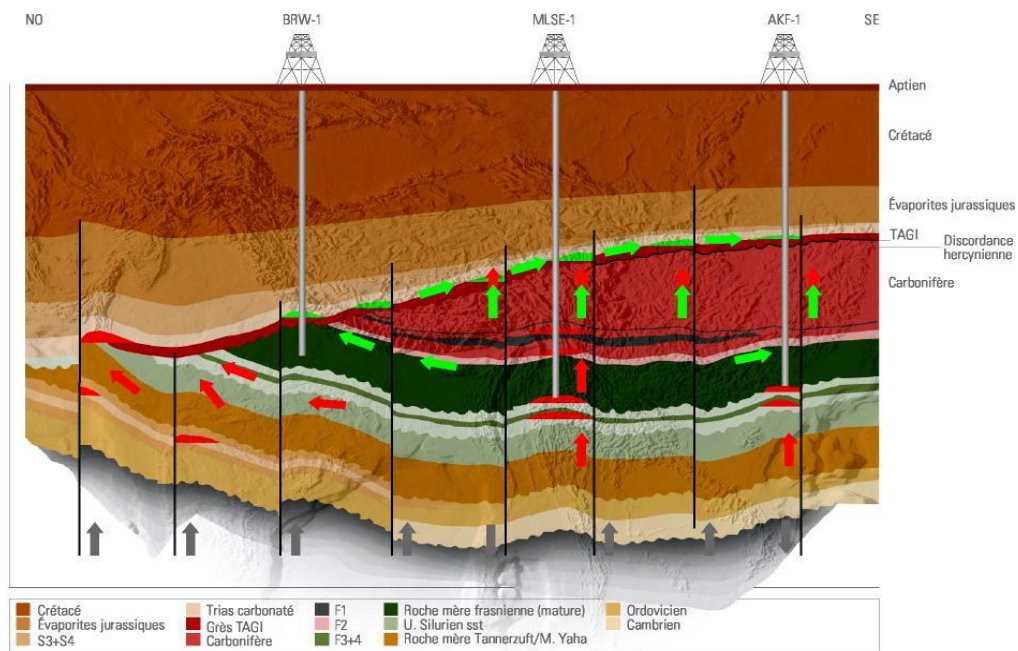
Les passages du TAGI basal avec de mauvaises caractéristiques peuvent représenter localement une couverture. La couverture des réservoirs de l'Ordovicien et du Cambrien est assurée respectivement par des argiles d'El Gassi.

Latéralement, les rejets verticaux des failles associées aux axes structuraux assurent les fermetures.

I.5.d. Les pièges :

Il existe deux types de piège dans le bassin de Berkine, les pièges structuraux et les pièges stratigraphiques

- Les pièges structuraux sont des pièges liés aux phases compressives hercyniennes et autrichiennes. Ce sont les anticlinaux simples, l'exemple le plus marquant est la structure de RKF, structure polyphasée non faillée. Les anticlinaux faillés sont des structures contre faille du type d'Ourhoud et Rhourde Nous.
- Les pièges stratigraphiques sont des biseaux sous discordance, contre faille, ou des lentilles gréseuses associées aux extensions des faciès du Trias et du Carbonifère. Ces pièges sont principalement mésozoïques (Trias) et localement paléozoïques (Dévonien inférieur et Carbonifère). Les pièges sous discordance se trouvent dans la partie nord-ouest du bassin où le Dévonien inférieur est biseauté sous les roches éruptives ou sous le Trias. Les lentilles gréseuses du Trias carbonaté peuvent former des pièges stratigraphiques locaux si elles se trouvent sur le chemin de migration des hydrocarbures. Les objectifs pétroliers dans le bassin de Berkine sont au nombre de quatre : Trias, Carbonifère, Siluro-Dévonien et Cambro-Ordovicien



Gaz :



Huile :



La direction de migration des hydrocarbures



Fig.I.06 : Pièges et migration dans le bassin de BERKINE (WEC.2007)

CHAPITRE II

ETUDE

SEDIMENTOLOGIQUE

II.1. Introduction

Cette partie est réalisée pour caractériser et évaluer les unités du SAG et à apprécier leur intérêt pétrolier. Ceci va permettre de suivre leurs évolutions dans l'espace et arriver à trouver l'environnement de leur dépôt. Dans ce travail on a utilisé les photos et description de carottes de trois sondages du Ouest du bassin de Berkine (sondage A, B et C), (fig.II.01) mises à notre disposition par la DTD. La description des carottes est basée sur la lithologie, la granulométrie, les structures sédimentaires, la présence de la bioturbation ainsi que son intensité...

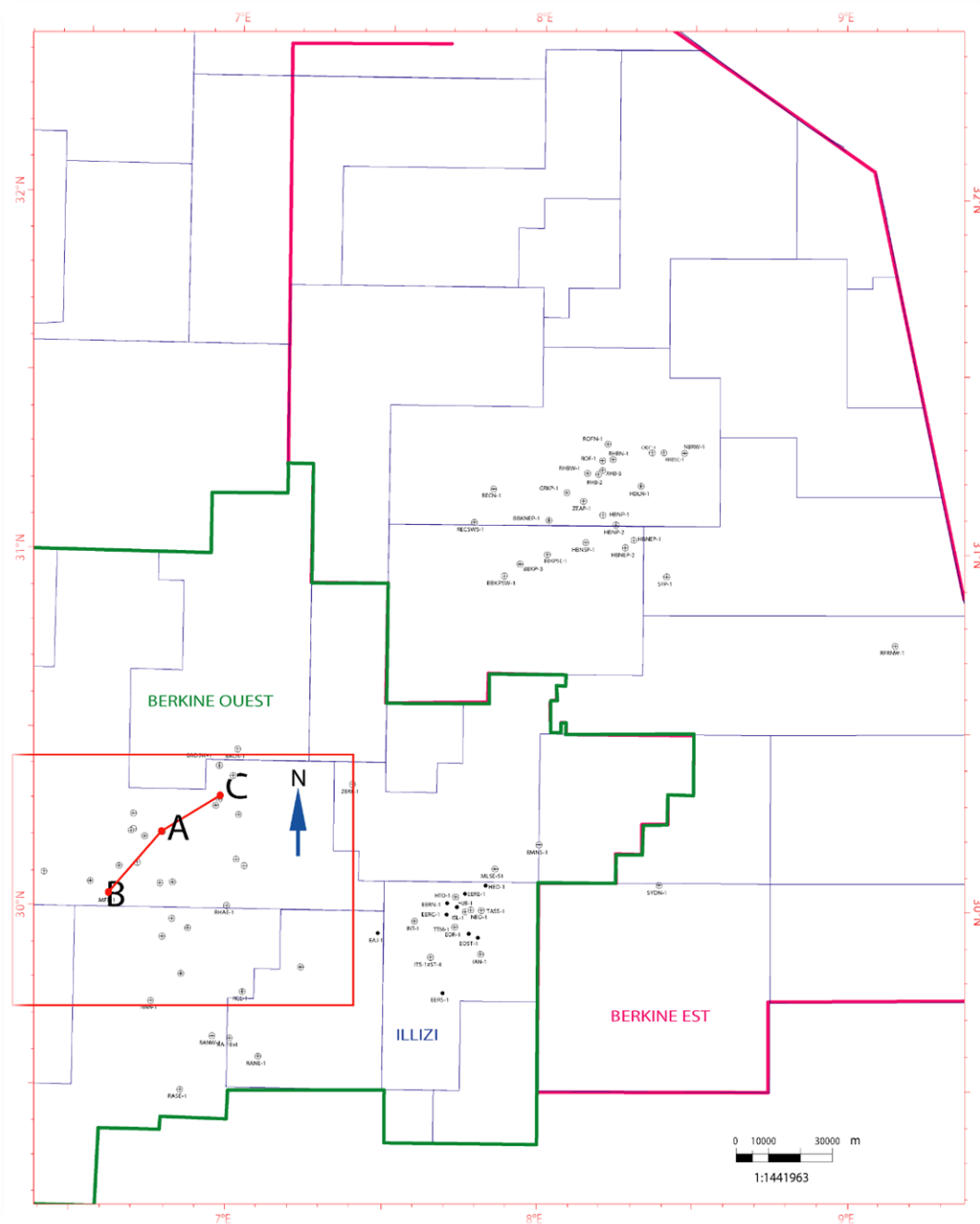


Fig.II.01 : carte de situation des sondages étudiés (A, B, C), (Doc. SONATRACH, modifiée).

II.2. Généralités sur la sédimentologie :

II.2.a. Identification des structures sédimentaires : Les structures ou figures sédimentaires constituent un important indicateur des conditions de transport et de dépôt des sédiments. Leur interprétation est facilitée d'une part par l'étude de la nature actuelle et d'autre part par l'expérimentation en laboratoire. Certaines structures sédimentaires sont caractéristiques d'un environnement bien particulier (glaciaire, désertique, ...) mais la plupart sont communes à plusieurs milieux de dépôt et nécessitent l'utilisation de critères complémentaires pour l'interprétation des paléoenvironnements (autres figures sédimentaires, fossiles, contexte général).

Les figures sédimentaires identifiées dans ce travail sont soit :

II.2.a.1. D'origine mécanique : elles sont liées à l'action des courants et sont :

- **Les stratifications planes (planer bedding) :** sont constitués de lamines pratiquement horizontales, ce type de structure caractérise généralement un milieu de sédimentation de faible, à moyenne énergie et concerne la fraction fine.
- **Les stratifications en mamelons (Hummocky Cross Stratification ou HCS) :** la surface limite de dépôt est ondulée et érosive avec un pendage faible et fluctuant. Les lamines sont concordantes et parallèles à cette surface mais s'épaississent ou s'amincissent latéralement au sein d'un faisceau de lamines. Ces structures indiquent un environnement profond atteint seulement par l'action des tempêtes ou lower shoreface.
- **Les stratifications entrecroisées (wave ripple stratification) :** Ces stratifications de taille centimétrique sont formées par les vagues.
- **Rides de vague (Wave Ripple) :** sont formées par l'action des vagues, sur un sédiment non cohérent, en général, dans la gamme des sables fins.
- **Rides de courant (Current Ripple) :** sont formés, par l'action des courants unidirectionnels. L'asymétrie qui les caractérise permet, de déduire le sens du courant, pente forte en aval, pente faible en amont.
- **Les flaser, lenticular et wavy bedding :** Ces structures sont engendrées par l'alternance de sédiments fins (argile) et plus grossiers (sable, silt). Les niveaux à flaser peuvent être décrits comme des rides sableuses ou silteuses entre lesquelles se

déposent des sédiments fins : les drapages argileux sont préservés dans les creux et en partie sur les crêtes. Les lenticular bedding sont des dépôts essentiellement argileux dans lesquelles sont conservées des lentilles sableuses. Les wavy bedding sont des alternances de niveaux continus de boue et de sable à structures sédimentaires laissées par l'action des vagues ou rides de courant.

Toutes ces structures sédimentaires se forment dans un environnement tidal où des périodes de calme alternent avec des périodes où l'action des vagues ou des courants se manifeste.

- **Load casts (les figures de charge) :** sont généralement, préservées à la surface inférieure des couches sableuses, lorsqu'elles sont superposées à des matériaux argileux hydroplastiques. Rééquilibrage des pressions dans le sédiment, avec développement de déformations, à l'interface sable/boue.
- **Les slumps (les glissements en masse) :** Le terme général slump désigne des masses de sédiment qui ont glissé, sous l'action de la gravité, le long des pentes en préservant en partie leur structure interne. Un matériau déjà cohérent sera fragmenté et le transport générera des structures chaotiques, voire bréchiques, un matériel plus plastique donnera naissance à des plis et replis. Les slumps peuvent s'observer à différentes échelles et atteindre des dimensions hectométriques. Ils sont habituellement limités à leur base et à leur sommet par des couches non dérangées, ce qui permet leur distinction des structures d'origine tectonique. La genèse des slumps est à rechercher dans des instabilités (pente forte, chocs) affectant des sédiments déposés rapidement, à forte pression hydrostatique interarticulaire.

II.2.a.2. D'origine biologique (les traces fossiles) :

L'étude des traces fossiles correspond à la compréhension des déformations des sédiments liées à l'activité de la faune et aux structures sédimentaires biologiques préservées. Les traces fossiles sont l'enregistrement de processus et d'événements qui se produisent au cours ou juste après le dépôt du sédiment. Aucun organisme n'est préservé, ce sont des organismes au corps mou. L'étude qui s'intéresse à ces traces fossiles c'est l'Ichnologie.

- ❖ **Ichnofaciès :** Ce sont les traces de vie, comme les empreintes de déplacement laissées par les organismes dans les sédiments, ils fournissent des indications sur le milieu où

ils ont habité. Les ichnofaciès peuvent fournir des informations sur la profondeur de l'eau, la salinité, la turbidité et l'énergie.

- **Diplocraterion (Torell, 1870)** : terrier en forme de U ; en forme de U avec spreite, avec des bras parallèle ou divergents. Le dessus du terrier forme un bulbe semi-sphérique relativement large ou une forme d'haltère le tube peut indiquer des mouvements protrusifs ou rétrusifs, par rapport à la position du spreite (fig.II.03). Ils se trouvent dans le middle shoreface et les grés de tidal flat.
- **Palaeophycus (Hall, 1847)** : terriers non ramifiés et cylindrique qui sont bordés, principalement horizontaux, droits à sinueux, à parois lisses, typiquement sans structures semblables à la roche hôte. Ils se trouve dans le middle shoreface et l'offshore.
- **Planolites (Nicholson, 1873)** : terriers simples sans doublure non ramifiés, cylindriques ou subcylindrique, plans droits à légèrement incurvés, horizontaux à obliques. Les terriers peuvent se croiser. La lithologie du remplissage diffère de celle de la roche hôte (fig.II.02). Ils se trouvent dans tous les environnements d'eau douce jusqu'au marin profond.
- **Rosselia (Dahmer, 1937)** : est un terrier à orientation verticale qui présente une structure conique concentrique à l'intérieur du terrier, le terrier se rétrécit nettement dans une direction vers le bas (fig.II.02). Ils sont répondus dans le middle et lower shoreface.
- **Skolithos (Haldmenn, 1840)** : bourrelets cylindriques verticaux à légèrement inclinés. Les terriers sont parallèles, ne se ramifient pas ne se croisent pas et ne s'interpénètrent pas. Les murs du terrier sont lisses avec un remplissage sans structure (fig.II.03). Ils se trouvent dans des environnements marins à forte énergie.
- **Teichichnus (Seilacher, 1955)** : une trace d'alimentation verticale non ramifiée, caractérisées par des tôles concaves vers le haut appelé avec spreite (lamelles tabulaires incurvées qui se forment lorsqu'un organisme traverse les sédiments à la recherche de la nourriture), (fig.II.02). Ils sont répondus dans les faciès du lagon et d'eau saumâtre et jamais dans les eaux douces.

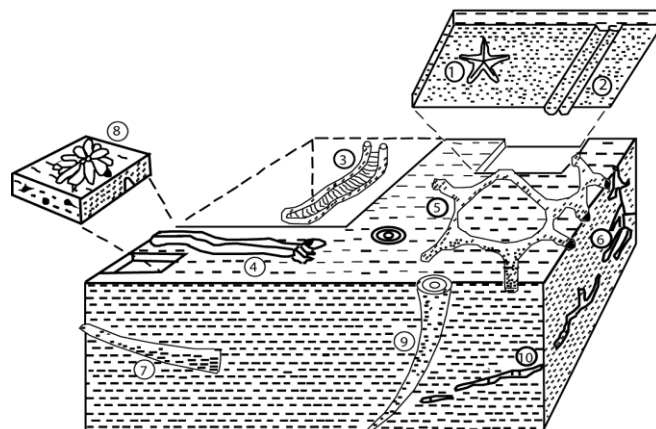


Fig.II.02: CRUZIANA ICHNOFACIES

- 1-Asteriacites, 2-Cruziana, 3-Rhizocorallium, 4-Aulichnites 5-Thalassinoides,
6-Chondrites, 7-Teichichnus, 8-Astrosoma, 9-Rosselia, 10-Planolites.

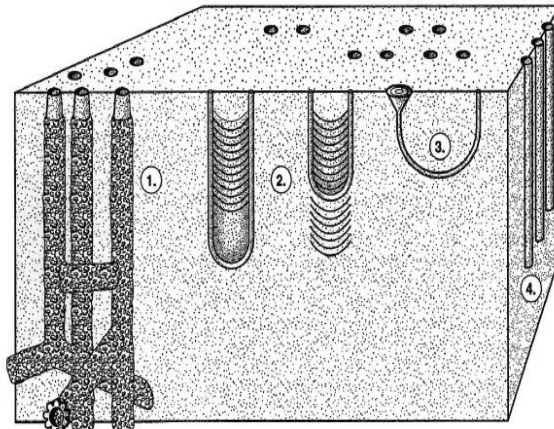


Fig.II.03 : SKOLITHOS ICHNOFACIES

- 1- Ophiomorpha, 2- Diplocraterion,
3- Arenicolites ; 4- Skolithos

(S.George Pemberton, 1992)

II.3. Analyse sédimentologique des carottes :

II.3.a. Sondage A :

- **Carotte 6 : (4051m- 4032m)**

La carotte s'étale sur 18 mètre d'épaisseur (Fig.II.4), débute par un grès fin à moyen de couleur brun à gris clair, à rares bioturbations (Planolites). Les structures sédimentaires sont de type wavy bedding, lenticular bedding, flaser bedding et des swaley cross bedding. Suit par un faciès hétérolithique constitué d'une argile silteuse noire sombre et de grès très fin à fin, à faible bioturbation (Teichichnus). Les structures sédimentaires sont représentées par des HCS, lenticular bedding, curen ripple et les wave ripple bedding. Ce faciès est surmonté d'un grès fin à moyen compact de couleur gris clair, dépourvu de bioturbation, à swaley cross bedding. Suit d'un grès très fin à fin à base érosive avec un niveau à coquille et quelques orthocères.

L'environnement de dépôt : varie entre le foreshore et le shoreface. (Fig.II.4)

- **Carotte 5 : (3886m – 3868m)**

L'épaisseur de la carotte est de 18 mètre (Fig.II.4), elle commence par une alternance d'argile noir sombre et silt gris, moyennement bioturbé (Teichichnus, Planolites et Rosselia). Les structures sédimentaires sont des wavy bedding, lenticular bedding et des wavy ripple bedding. Surmonté par un ensemble gréseux très fin à moyen gris beige, compact, intercepté par des niveaux à faciès hétérolithique à faible bioturbation (Planolites et Palaeophycus). Les structures sédimentaires sont de types wavy bedding, rides de courants et drapages argileux.

L'environnement de dépôt : varie entre l'upper shoreface vers le lower shoreface (Fig.II.4).

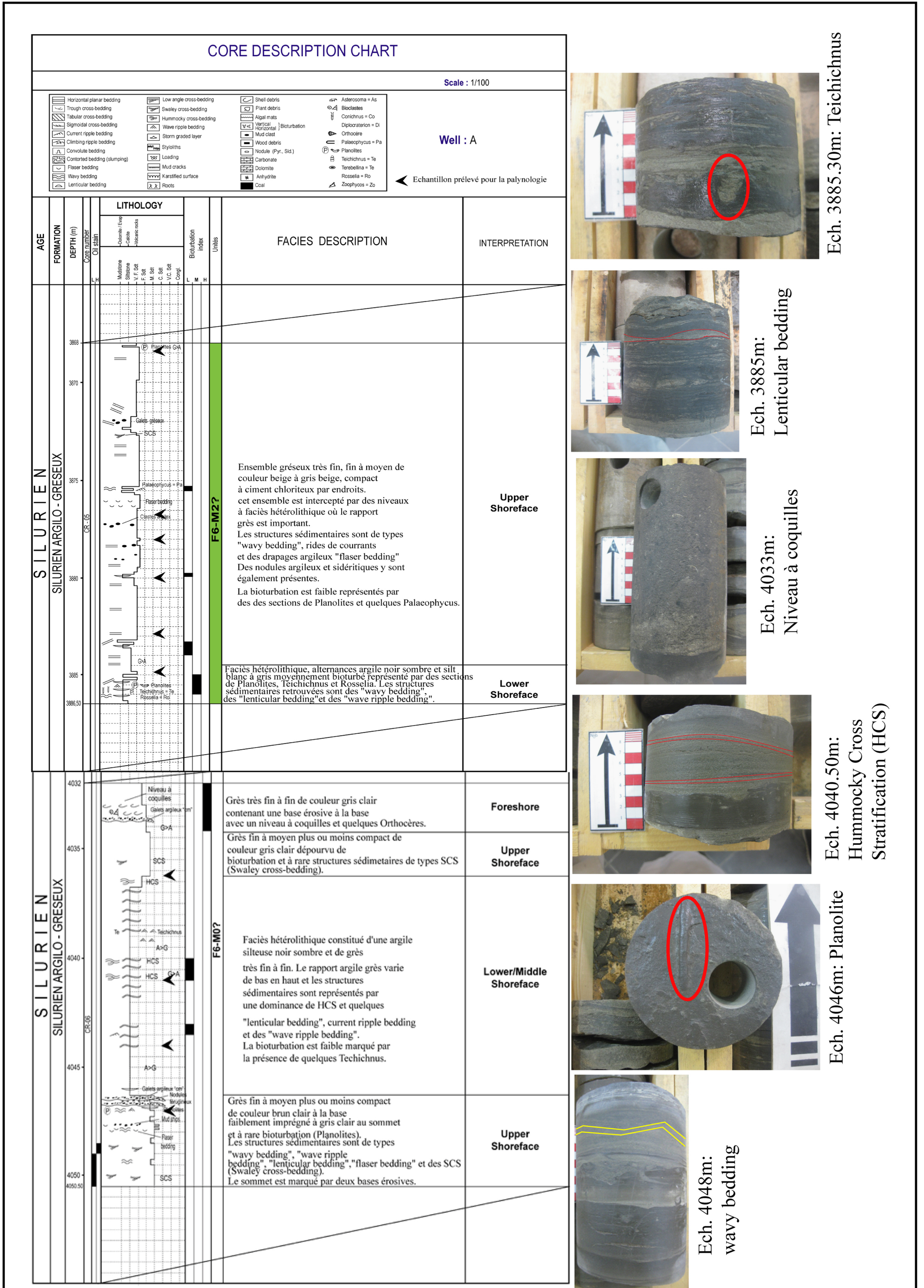


Fig.II.4: fiche de discription du puits A, carotte 6 et 5

- **Carotte 04 : (3831m – 3813m)**

Cette carotte s'étale sur 18 mètre d'épaisseur (Fig.II.5), débute par un faciès hétérolithique constitué de grès blanc, compact et d'argile noir sombre. A faible bioturbation (Planolites et Diplocraterion) Les structures sédimentaires rencontrées sont des "planar cross bedding" et des HCS. Suit d'un faciès hétérolithique constitué de silt argileux alternant de niveaux gréseux moyennement bioturbé formés par des sections de Planolites, Skolithos. Les structures sédimentaires sont les "lenticular bedding" et quelques obliques, planes et des load cast.

L'environnement de dépôt : vari entre le middle shoreface vers l'offshore (Fig.II.5).

Carotte 3 : (3709m – 3691m)

La carotte s'étale sur 18 mètre d'épaisseur (Fig.II.5), commence par une argile silteuse gris sombre, non bioturbée, à structure finement laminaire contenant quelques structures sédimentaires "Lenticular bedding" et des Orthocères. Suit d'un faciès hétérolithique constitué de grès très fin à fin de couleur gris clair et de silt argileux noir sombre. Les structures sédimentaires rencontrées sont des "lenticular bedding", des "wavy bedding", des HCS et quelques slump à la base. Une bioturbation moyenne (Planolites et de Teichichnus). Passant vers un faciès hétérolithique où le rapport grès et supérieur à celui d'argile, à structures sédimentaires HCS. Puis à une argile silteuse gris sombre, non bioturbée, à structure finement laminaire contenant quelques structures sédimentaires "Lenticular bedding". Terminant par un faciès hétérolithique à dominance plus ou moins gréseuse, moyennement bioturbé (Planolites et Teichichnus) et à structures sédimentaires HCS.

L'environnement de dépôt : varie entre le middle/lower shoreface vers l'offshore (Fig.II.5).

CORE DESCRIPTION CHART

Scale : 1/100 Sheet : 03

Horizontal planar bedding	Low angle cross-bedding	Shell debris	Asterosoma = As
Trough cross-bedding	Swealey cross-bedding	Plant debris	Bioclastes
Tabular cross-bedding	Hummocky cross-bedding	Algal mats	Conichnus = Co
Sigmoidal cross-bedding	Wave ripple bedding	Vertical Bioturbation	Diplocraterion = Di
Current ripple bedding	Storm graded layer	Horizontal Bioturbation	Orthocère
Climbing ripple bedding	Stylolites	Mud clast	Paleophycus = Pa
Convolute bedding	Loading	Wood debris	Planolites
Contorted bedding (slumping)	Mud cracks	Nodule (Pyr., Sid.)	Teichichnus = Te
Finger bedding	Karstified surface	Carbonate	Terebellina = Te
Wavy bedding	Roots	Dolomite	Rosselia = Ro
Lenticular bedding		Anhydrite	Zoophycos = Zo
		Coal	

Well : A

← Echantillon prélevé pour la palynologie

AGE	FORMATION	DEPTH (m)	LITHOLOGY		Bioburbation index	Units	FACIES DESCRIPTION	INTERPRETATION
			Core number	Oil stain				
SILURIEN SILURIEN ARGILO - GRESEUX		3690						
		3691					Faciès hétérolithique à dominance plus ou moins gréseuse, moyennement bioturbé (Planolites et Teichichnus) et à structures sédimentaires HCS.	Middle Shoreface
		3695					Argile silteuse gris sombre, non bioturbée, silteuse à structure finement laminaire contenant quelques structures sédimentaires "Lenticular bedding".	Offshore
		3700					Faciès hétérolithique G=A à structures sédimentaires HCS.	Middle Shoreface
		3705					Argile silteuse gris sombre, non bioturbée, silteuse à structure finement laminaire contenant quelques structures sédimentaires "Lenticular bedding".	Offshore
		3709					Faciès hétérolithique constitué de grès très fin à fin de couleur gris clair et de silt argileux noir sombre. Les structures sédimentaires rencontrées sont des "lenticular bedding", des "wavy bedding", des HCS et quelques slump à la base. L'intensité de la bioturbation est moyenne par endroits avec notamment des sections de Planolites et de Techichnus.	Lower/Middle Shoreface
		3813					Argile silteuse gris sombre, non bioturbée, silteuse à structure finement laminaire contenant quelques structure sédimentaires "Lenticular bedding" des Orthocères.	Offshore
		3815					Ensemble constitué à la base par un faciès hétérolithique constitué d'alternances de grès et d'argile à structures sédimentaires de types "lenticular bedding" et des HCS. La bioturbation est moyenne avec des Skolithos et des sections de Planolites. Vers le sommet, on a des grès très fin à fin de couleur gris clair à blanc plus ou moins dur et parfois friable. Les structures sédimentaires sont rares avec des horizontal planar bedding et la bioturbation est faible à moyenne avec présence de Rosselia, Diplocraterion et un niveau complètement diagenésisé à Orthocères à la côte 3816,50m.	Lower/Middle Shoreface
		3820					Argile silteuse gris sombre, non bioturbée, silteuse à structure finement laminaire.	Offshore
		3825					Faciès hétérolithique constitué de silt argileux alternant avec des niveaux gréseux centimétrique moyennement bioturbé formés par des sections de Planolites, Skolithos, etc ces irrégulières de grès fin à moyen de couleur gris blanc et parfois gris brun à ciment argileux chloriteux plus moins. Les structures sédimentaires sont les "lenticular bedding" et quelques obliques planes et des load cast.	Lower Shoreface
3830					Faciès hétérolithique constitué de grès blanc, compact et d'argile noir sombre. Les structures sédimentaires rencontrées sont des "planar cross bedding" et des structures de tempêtes de types HCS. Des nodules ferrugineux y sont également présentes. La bioturbation est faible représentés par des sections de Planolites et quelques Diplocraterion.	Middle Shoreface		



Ech. 3814m: Rosselia



Ech. 381650m: Orthocère



Ech. 3818.70m: Scolithos



Ech. 3830m: Diplocraterion

Fig.II.5: fiche de discription du puits A, carotte 4 et 3

II.3.b. Sondage B :**• Carotte 3 : (3991m – 3973m)**

La carotte s'étale sur 18 mètre d'épaisseur (Fig.II.6), à la base un passage gréseux fin non bioturbé, de couleur beige présentant des structures planes. Suit de grès très fin grisâtre à siltstone à structures planes rarement bioturbé. Puis un faciès hétérolithique de grès très fins à litage lenticulaire à structures ondulées à la base des argiles à litage plane et une bioturbation de type Planolites. Puis une barre métrique gréseuse de couleur gris clair à beige, sans structures sédimentaires apparentes, à galets d'argile, non bioturbée. Passant à un grès très fin non bioturbé, à structures de type HCS, et grès fins à très fins à la base, de couleur gris clair, à structures sédimentaires horizontales et structures de type HCS, fortement bioturbé à certains niveaux. Suit d'argiles noires laminées et indurées. Puis un ensemble de grès à structures de type HCS, de couleur grisâtre, à bioturbation moyenne de type Planolites et Teichichnus, intercalés par des films argileux. Cet ensemble est surmonté par une argile noire à litage plane faiblement bioturbé. Se terminant par une barre de grès de couleur gris clair à granulométrie fine, à structures planes faiblement inclinée

L'environnement de dépôt : varie de shoreface vers l'offshore (Fig.II.6)

• Carotte 2 : (3810m – 3792m)

La carotte s'étale sur 18 mètre d'épaisseur (Fig.II.6), commence par une alternance entre un faciès hétérolithique bioturbé (Planolites, Skolithos, Teichichnus et Palaeophycus), et un grès fin micacé. Le faciès gréseux est compact, de couleur gris clair à blanchâtre à structures obliques planes à faible angle et HCS. Suit de grès fin micacé compact de couleur gris claire à quelques intercalations d'argile, les structures sédimentaires sont parfois de types stratifications horizontales et obliques. Puis une argile silteuse micacée, surmontée par un faciès hétérolithique à dominance argileuse. Coffrée d'argile silteuse de couleur gris sombre micacée à intercalations de bancs gréseux compacts de couleur gris claire présentant des structures en HCS, à bioturbation faible.

L'environnement de dépôt : varie entre l'upper shoreface vers le middle shoreface (Fig.II.6)

- **Carotte 1 : (3663m – 3645m)**

La carotte est de 18 mètre d'épaisseur (Fig.II.6), débute par un faciès hétérolithique bioturbé (Planolites et bioturbation verticale), intercalé par des niveaux gréseux de granulométrie fine et à structures planes obliques, à HCS. Les niveaux à proportion élevée d'argile présentent quelques lentilles gréseuses. Suit d'une argile silteuse noire, à lenticular bedding au sommet. Suit d'un niveau gréseux à HCS et à wavy bedding moyennement bioturbé. Puis un niveau gréseux sans aucune structure apparente. Surmonté par une argile silteuse noire à la base et devient presque pure vers le sommet. Ces argiles présentent des lentilles silteuses ou gréseuses fines à rares HCS. Terminant par une alternance entre des bancs décimétriques de grés beige à stratifications obliques planes des argiles à lentilles gréseuses et des niveaux à faciès hétérolithique faiblement à moyennement bioturbé.

L'environnement de dépôt : varie entre shoreface et l'offshore (Fig.II.6).

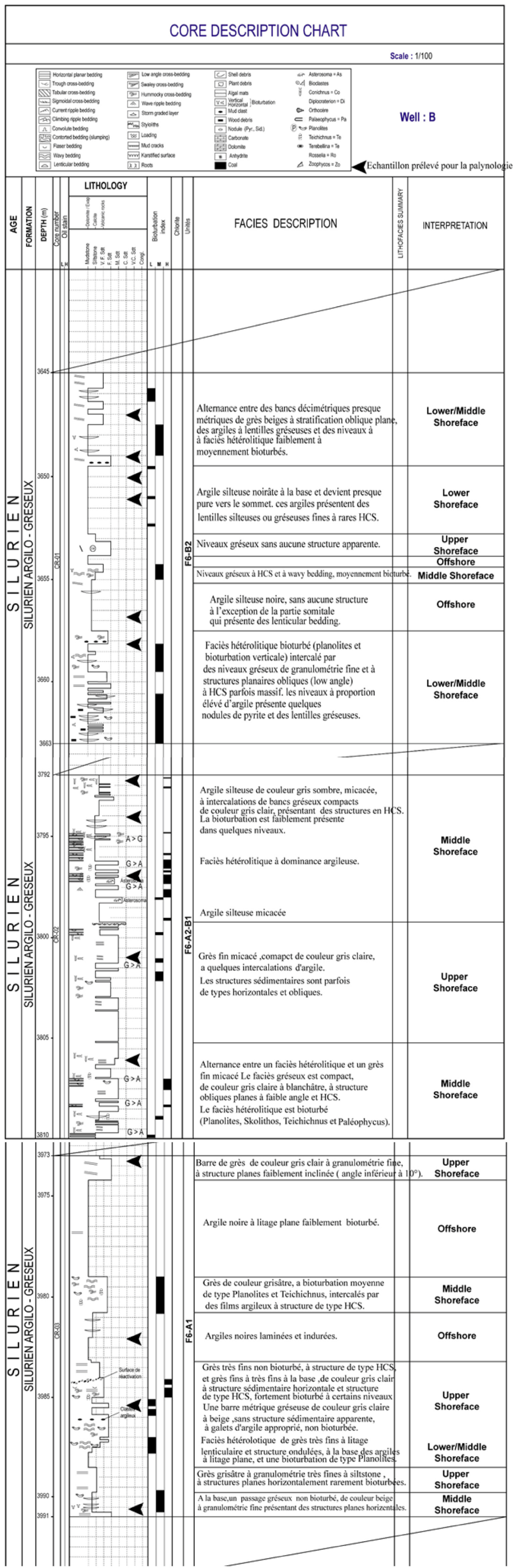


Fig.II.6: fiche de discription du puits B, carotte 3, 2 et 1

II.3.c. Sondage C :

- **Carotte 06 : (4533m – 4515m)**

La carotte s'étale sur 18 mètre d'épaisseur (Fig.II.7), débute par un faciès hétérolithique faiblement bioturbé avec des lentilles gréseuses et se termine par une surface de réactivation. Suit d'une argile légèrement silteuse noirâtre se débitant en feuillets et légèrement micacées. Puis un faciès hétérolithique à litage lenticulaire et wavy bedding. Suit d'une argile légèrement silteuse noirâtre. Surmonté par un grès fin de couleur beige à structures horizontales et obliques, parfois massif limité par des surfaces érosives à galets d'argiles et des niveaux hétérolithique à wavy et lenticular bedding. Suit d'un faciès hétérolithique fortement bioturbé.

L'environnement de dépôt : varie de shoreface vers l'offshore (Fig.II.7).

Carotte 05 : (4462m – 4453m)

Cette carotte s'étale sur 9 mètre d'épaisseur (Fig.II.7), constituée d'une argile noire laminée, surmontée de grès de couleur beige à structures sédimentaires horizontales. Suit d'un faciès hétérolithique à dominance gréseuse avec des drapages argileux fins à HCS. Et un grès fin gris avec des structures sédimentaires horizontales et des drapages argileux avec quelques Skolithos à la base du banc.

L'environnement de dépôt : vari de l'upper shoreface vers l'offshore (Fig.II.7).

- **Carotte 04 : (4246m – 4230m)**

La carotte s'étale sur 17 mètre d'épaisseur (Fig.II.7), débute par un silt à grès fin à contorted bedding. Suit d'argile noire indurée avec quelques passages de niveaux silteux. Puis un ensemble d'argile noire indurée silteuse admettant quelques passages de niveaux gréseux. Surmonté d'argile noire indurée avec des lentilles gréseuses. Suit d'un faciès hétérolithique moyennement bioturbé surmonté par des niveaux de quelques centimètres de grès à HCS.

L'environnement de dépôt : vari du middle shoreface vers le lower shoreface (Fig.II.7).

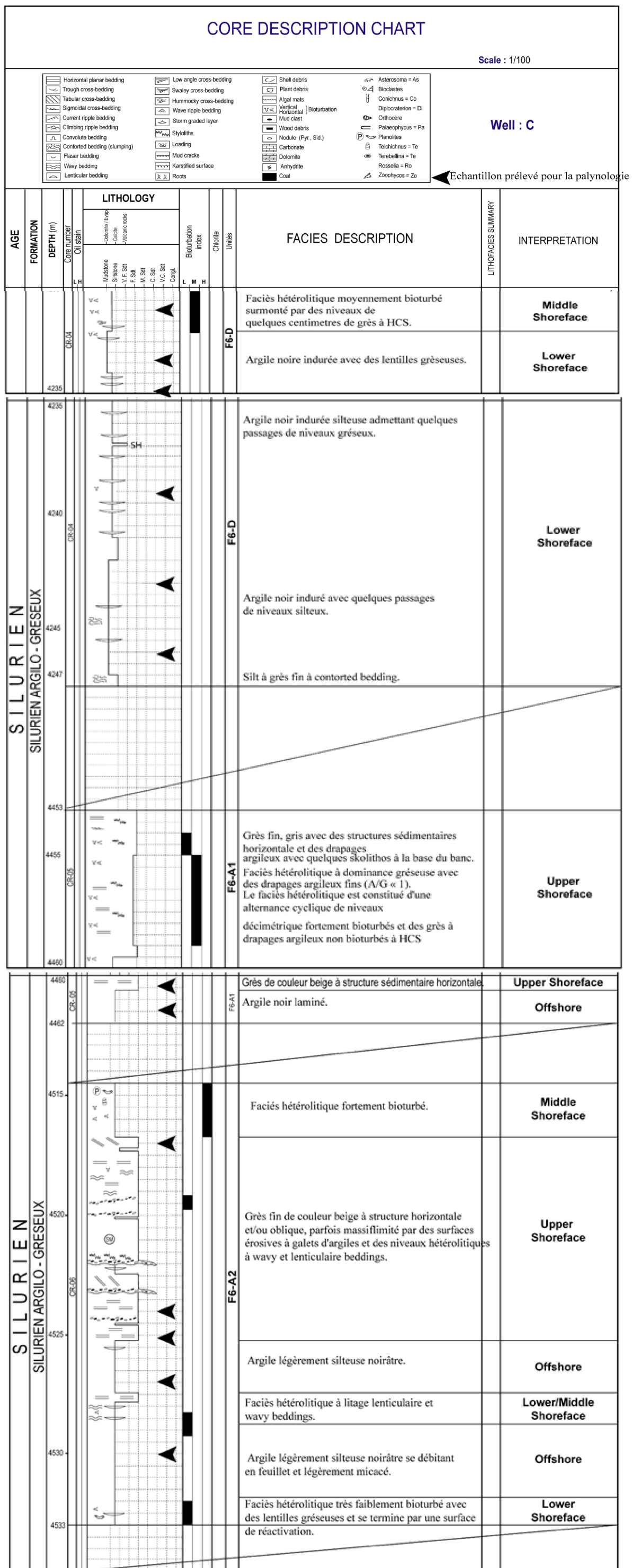


Fig.II.7: fiche de discription du puits C, carotte 6, 5 et 4

II.3.d. Les environnements de dépôt rencontrés dans ce travail :

- **Foreshore (Association de faciès du domaine de plage)**
(identifié dans le puits A) :

Correspond à la zone intertidale, située entre le niveau de la marée haute et celui de la marée basse.

Cette association de faciès de plage correspond à des grès fins grisâtres, compacts, non bioturbés montrant des niveaux à Orthocères. Les structures sédimentaires associées sont représentées par les laminations planes à obliques, les galets et les drapages d'argiles.



Fig.II.08 : Représentant le foreshore du puits A

(carotte 06, intervalle 4034m – 4032m)

- **Shoreface** (identifié dans le puits A, B et C) : ou zone pré littorale, correspond à la zone s'étendant depuis le niveau de la marée basse jusqu'à la zone de base d'action des vagues, il est subdivisé en :

➤ **Lower shoreface (Avant plage inférieur) :**

Cet environnement comprend un faciès hétérolithique, avec un rapport grès/argile d'environ 30%, formé par une alternance d'argiles noires et de grès fins ou parfois encore d'une alternance de silts et d'argiles avec présence de micas et de pyrite. La bioturbation y est représentée par des Planolites et des Thalassinoides, les structures observées sont de type les litages en mamelons HCS (Hummocky Cross-Stratifications).



Fig.II.09 : Représentant le lower shoreface du puits C

(Carotte 05, intervalle 4236m – 4232m)

Middle shoreface (Avant plage moyen)

Les sédiments observés sont intermédiaires entre les faciès fins de lower shoreface et les faciès gréseux propres de l'upper shoreface (rapport grés/argile > 60%). La bioturbation est intense à modérée du genre Skolithos, Conichnus, etc. Les structures observées sont les rides de vague, les HCS (Hummocky Cross-Stratifications) et les stratifications entrecroisées à faible angle.



Fig.II.10 : Représentant le middle shoreface du puits B

(Carotte 02, intervalle 3809m – 3805m)

➤ Upper shoreface (Avant plage supérieur)

Le taux de grés de ce sous environnement est nettement supérieur à celui des sous environnements décrits ci-dessus. Celui-ci d'environ 90% est constitué de grès gris fin à moyen, gris clair à beige, quartzitique à friable, avec de rares fines passées d'argiles et de nodules d'argiles ferrugineux.

Les structures sédimentaires rencontrées sont des SCS (Swaley Cross-Stratifications) amalgamées et des « wavy bedding ». Les bioturbations fréquentes sont les Skolithos, les Palaeophycus et les Diplocraterion.



Fig.II.11 : Représentant l'upper shoreface du puits A

(Carotte 06, intervalle 4050m – 4046m)

Offshore : (Association de faciès du domaine marin ouvert), (identifié dans le puits A, B et C) :

Le domaine Offshore est une zone de faible énergie caractérisée par des sédiments fins constitués d'argiles gris noires, micacées et riches en pyrite et d'argiles silteuses à stratifications planes. Il représente une sédimentation en mer ouverte et sous le niveau d'influence des vagues. La bioturbation à ce niveau est généralement faible à inexistant



Fig.II.12 : Représentant l'offshore du puits B

(Carotte 03, intervalle 3978m – 3974m)

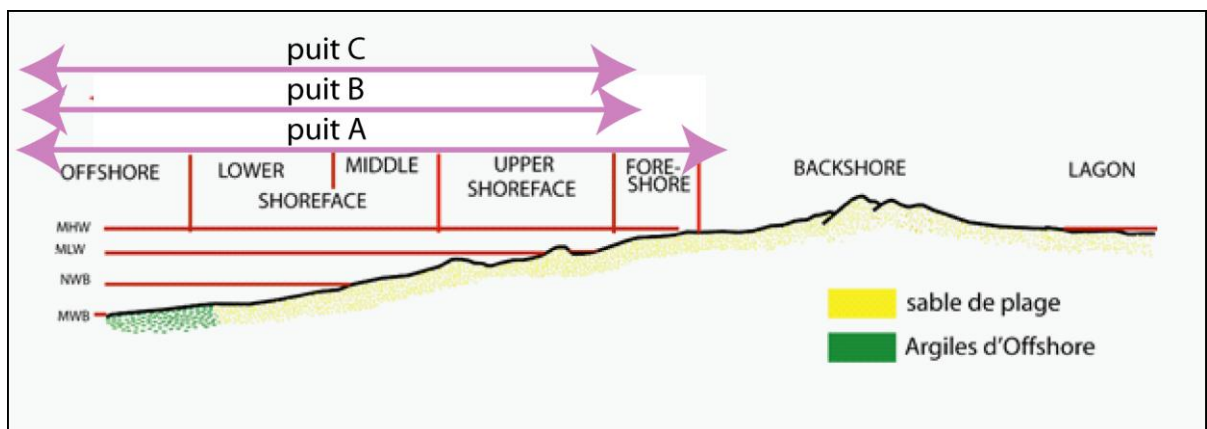


Fig. II.13 : Section transversale depuis la plaine côtière jusqu'à l'Offshore, avec la position des puits étudiés.

II.4. Conclusion :

L'étude sédimentologique a permis de caractériser les unités réservoirs du silurien argileux gréseux sur le plan lithologique, dont on a pu définir des faciès de grès et d'argile, d'environnement de dépôt variant de l'avant plage (shoreface) vers le marin ouvert (offshore).

Cette étude a mis en évidence les unités de la partie basale du réservoir F6 du bassin de Berkine.

Pour pouvoir suivre ces unités et les explorer il faut les dater, sachant que les faciès changent non seulement verticalement mais aussi latéralement, et cela dépend de leur environnement de dépôt.

CHAPITRE III

BIOSTRATIGRAPHIE

III.1. Introduction :

La datation des échantillons prélevés des carottes des sondages A, B et C, servira à définir un cadre chronostratigraphique pour corréliser les unités du silurien argileux gréseux. Pour cela nous avons fait appel à la palynologie.

III.2. GENERALITES SUR LA PALYNOLOGIE

II.1.a. La palynologie : (palynos=poussière)

Le terme palynologie a été défini en 1944 par deux botanistes anglais HYDE et WILLIAMS. La palynologie est l'une des plus importantes disciplines de la micropaléontologie, à l'origine elle s'appliquait surtout à l'étude du pollen, maintenant elle traite de tous les microfossiles à membrane organique. Elle permet l'étude de tous types de dépôts fins allant du Précambrien jusqu'à l'Actuel.

La palynologie est un outil clé pour les datations des séries sédimentaires, aussi pour la reconstitution des paléoenvironnements et les paléoclimats.

II.2.b. Echantillonnage et méthode de préparation :

- **Choix des échantillons :**

Les échantillons pour une étude palynologique sont prélevés dans les sédiments fins, En général, les Mudstones, les Siltstones et les calcaires gris à noirs sont les plus riches en matière organique et peuvent livrer plusieurs centaines d'individus par gramme de roche.

- **Techniques de préparation :**

La procédure commence d'abord par un pesage de l'échantillon, 10g pour les roches argileuses riches en matière organique et 40g et plus pour les roches carbonatées. La quantité dépend de la nature de la roche.

- **Broyage de l'échantillon :**

Cette opération facilite l'attaque chimique sans affecter le matériel palynologique.

Le broyage s'effectue manuellement avec un marteau de géologue et dans du papier d'aluminium pour éliminer les risques de contaminations. L'échantillon est concassé en petits fragments de 1-2 mm de diamètre.

Une fois l'échantillon pesé et broyé, il est mis dans un bécher en téflon pour traitement chimique.

- **Traitement chimiques :**

Cette étape a pour but d'éliminer la fraction minérale, et de garder la fraction organique, la procédure se fait comme suit :

Pour les carbonates et les phosphates : l'échantillon pesé et broyé est mis dans un bécher en téflon numéroté, puis placé sous hotte pour une attaque à l'acide chlorhydrique de concentration 37% ; cette attaque peut durer de 12 à 24 heures suivant la composition de la roche. A l'issue de cette opération, nous procédons au lavage à l'eau de la solution, nous la laissons décanter une à deux heures, puis nous jetons l'eau. Un lavage-décantation est opéré une seconde fois afin d'éliminer totalement toute trace d'acide. Nous procédons ensuite à une deuxième attaque à l'acide fluorhydrique de concentration 48% pour éliminer les éléments siliceux.

Pour les roches argileuses : l'échantillon pesé et broyé subit une attaque sous hotte avec de l'acide fluorhydrique de concentration 48%, cette opération dure entre 12 à 24 heures.

A l'issue de l'attaque chimique nous effectuons un lavage à l'eau et nous laissons décanter.

Afin d'éliminer les particules minérales dont la densité est supérieure à celle des éléments organiques, les résidus d'attaque sont mis d'abord dans des tubes à essai (contenance 15 ml), puis soumis à une centrifugation de 2500 tr/mn dans un mélange bromoforme et éthanol de densité 2,1.

Le bromoforme n'étant pas miscible à l'eau, les opérations suivantes sont nécessaires :

- Lavage à l'alcool à 50° puis centrifugation pendant 1 minute ;
- Lavage à l'alcool à 90° puis centrifugation pendant 1 minute ;
- Egouttage du culot de centrifugation pour ne pas modifier la densité de la liqueur dense.

- Lavage à la liqueur dense (bromoforme) puis centrifugation pendant 5 minutes ;
- Lavage à l'alcool à 90° puis centrifugation pendant 1 minute ;
- Lavage à l'alcool à 50° puis centrifugation pendant 1 minute ;
- Lavage à l'eau puis centrifugation pendant 1 minute.

La séparation des résidus organiques peut se faire par le bromoforme et aussi par tamisage.

- **Montage des lames :**

Prendre une lame (porte objet 76x26 mm) lavée portant toutes les informations de l'échantillon sur une étiquette adhésive et mettre dessus une goutte de gélatine.

Une goutte de résidu est placée sur la gélatine, la lame est posée sur une plaque chauffante réglée à une température de 150°C, le résidu et gélatine, ainsi fondu, sont mélangés délicatement et couvert avec une lamelle (couvre objet 24x30 mm), nous laissons ce mélange s'étaler sur la lame qui est posé sur une plaque chauffante, pour couvrir toute la surface de la lamelle

Retirer de la plaque chauffante, la lame et laisser durcir à l'air libre.

La lame ainsi préparée est prête pour l'analyse palynologique au microscope optique.

Après le montage de la lame, la glycérine est ajoutée au résidu restant dans le tube pour le conserver.

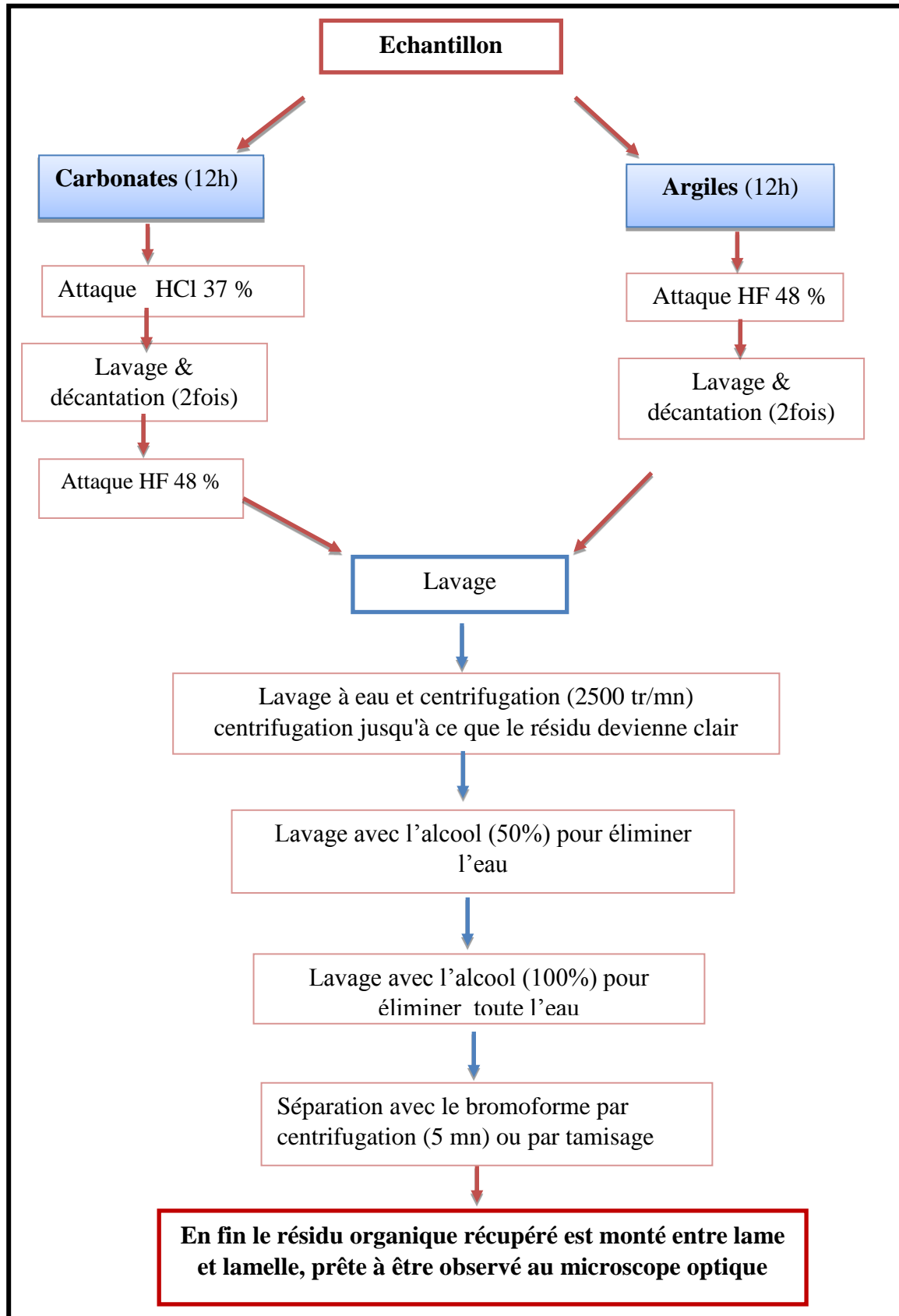


Fig.III.01 : Technique standard de préparation palynologique des échantillons. (SH-DTD)

II.2.c. Description des palynomorphes

On compte parmi les palynomorphes, les spores et les grains de pollen, les Acritarches, les sphaeromorphes, les Chitinozoaires, les Euryptérides (Gigantotraccés), Les dinoflagellés, les Scolécodontes

• **Les spores et les grains de pollen**

Les spores sont des organes unicellulaires, elles assurent la reproduction et la dissémination des : Bactéries, Champignons, Bryophytes, certaines Algues et des Ptéridophytes.

Les spores sont toutes identiques, on retrouve des microspores mâles et mégaspores femelles

Les grains de pollen des phanérogames (Gymnospermes et Angiospermes) sont des organes de reproduction, la dissémination est assurée par la graine.

Représentant les organes reproducteurs des végétaux. Ils sont exclusivement continentaux leur répartition stratigraphique va de l'Ordovicien à l'Actuel pour les spores et du Carbonifère à l'Actuel pour les grains de pollen.

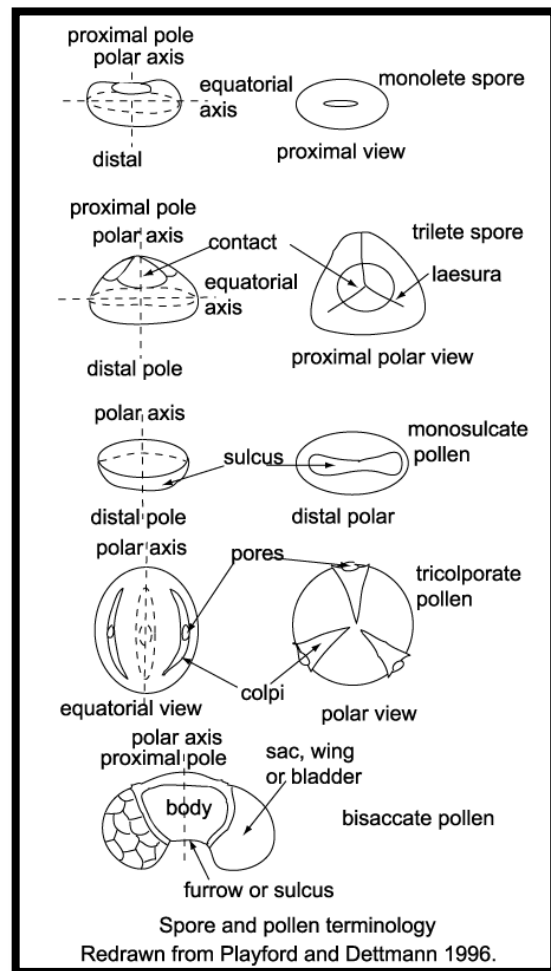


Fig.III.02 : morphologie des spores et des grains de pollen

• **Les acritarches**

Ils sont définis en 1963 par EVITT, ce sont des microfossiles de petite taille dont l'affinité biologique est incertaine (protiste, ponte d'animaux ou spores de végétaux supérieur), d'origine marine très abondants dans les sédiments marins et pélagiques traduisant généralement un milieu de dépôt calme. Leur répartition stratigraphique va du Précambrien à l'Actuel. La classification se fait selon les caractères de leur test qui possède une cavité centrale, une paroi composée d'une à deux couches, des expansions et une ornementation portée par la paroi ainsi que les expansions.

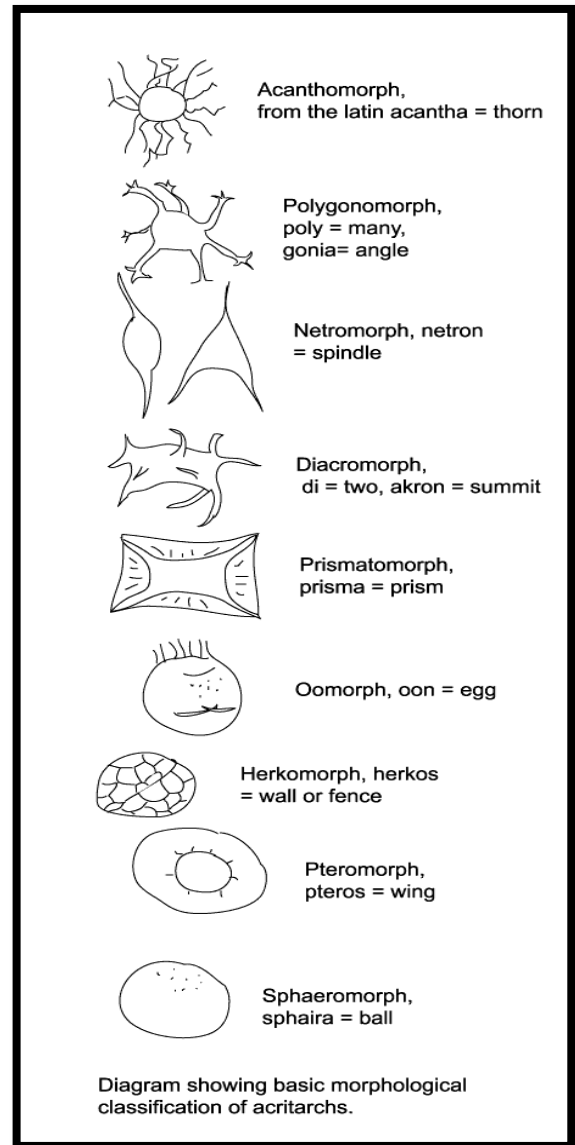


Fig.III.03 : Diagramme illustrant les morphologies basiques de classification des acritarches. (Downie, Evitt & Serjeant in UCL doc.2014)

- Les chitinozoaires

Ils ont été défini pour la première fois en 1931 par EISENACK, ce sont des microorganismes chitineux, d'origine incertaine, exclusivement marins, abondant dans les sédiments fins, on les trouve aussi bien au niveau de la plate-forme continentale que dans les niveaux plus profonds sur la pente continentale. Ce sont d'excellents marqueurs stratigraphiques du Paléozoïque inférieur d'une part pour leur étroite répartition verticale, d'une autre part pour et large extension géographique. Ils sont classés en 2 ordres, 3 familles, 14 sous familles et en 50 genres. (PARIS1990)

L'ordre est défini par la présence soit d'un opercule soit d'un prosome.

A famille est distinguée par la différenciation du col (col bien individualisé, col mal différencié et absence du col).

La sous famille est définie par le caractère des structures externes (ornementation du test, présence ou absence d'une carène, d'un pédoncule, d'un manchon ou d'appendices).

Le genre est défini à son tour par la forme de l'ornementation, des appendices ou de la carène et le lieu de leur implantation sur le test du chitinozoaires.

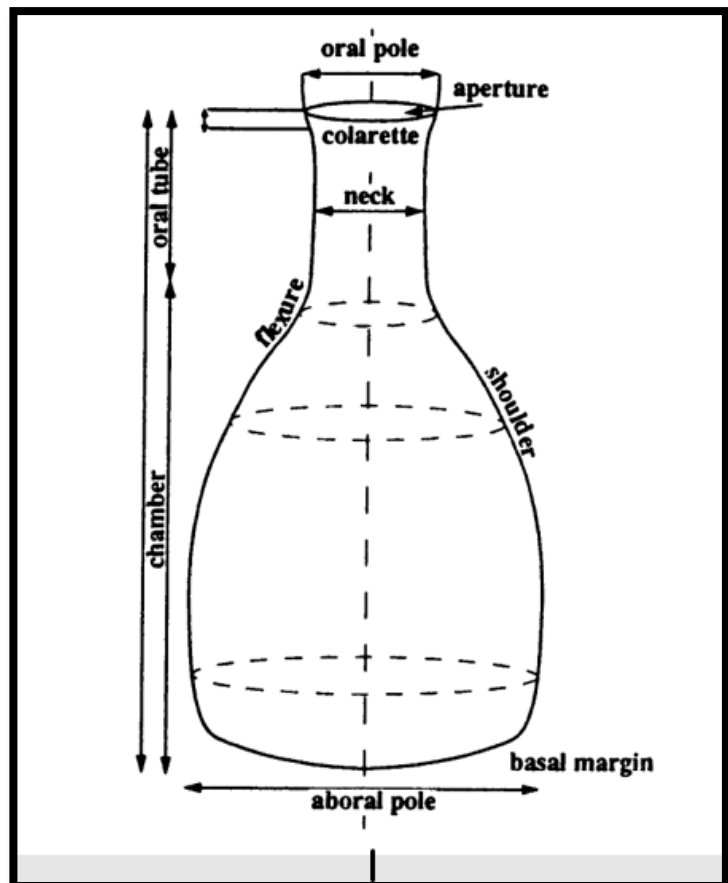


Fig.III.04 : morphologie générale d'un chitinozoaires

• Les dinoflagellés

Découvert en 1838 par EHRENBURG dans le Crétacé de l'Allemagne, il s'agit essentiellement de groupe d'organismes unicellulaires, possédant deux flagelles entourés d'une coque organique. Les formes fossiles (généralement c'est des kystes dormant) rencontrées exclusivement dans le milieu marin, sont de bons indicateurs stratigraphiques pour l'intervalle allant du Jurassique à l'Actuel.

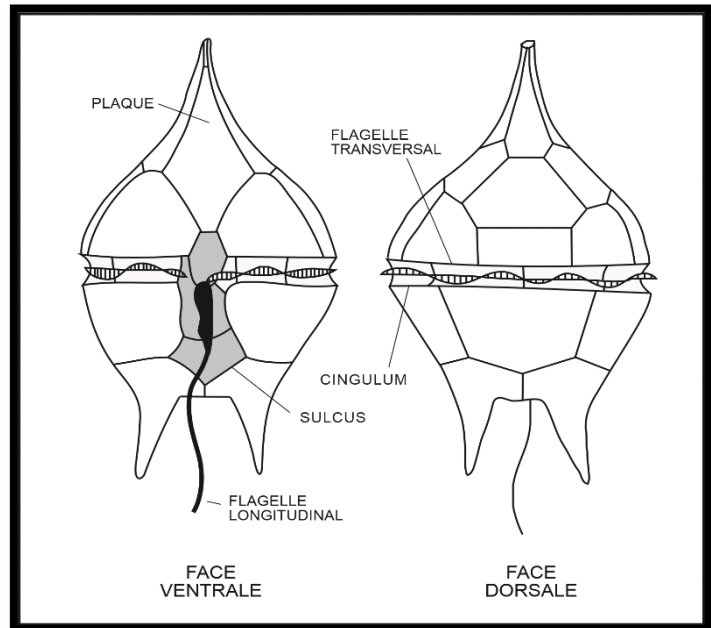


Fig.III.05 : Principaux caractères morphologiques d'un dinoflagellé. (R.A. Fensome, R.A. MacRae et G.L. Williams)

• Les scolécodontes

Ce sont des pièces masticatrices des annélides, sont d'origine marine, leur morphologie s'apparente de certains conodontes. Leur répartition stratigraphique va de l'Ordovicien à l'Actuel.

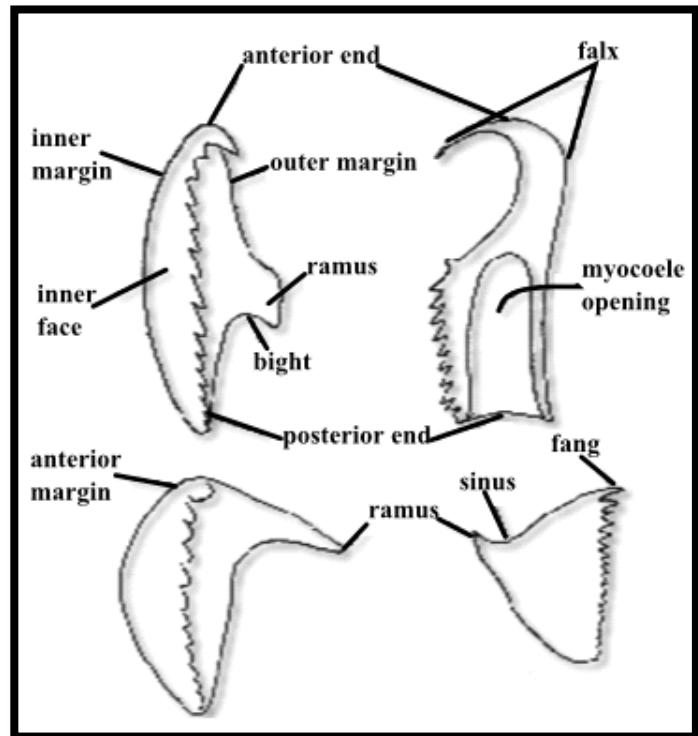


Fig.III.06 : Morphologie générale des Scolécodontes (Rich Funchs)

- **Les sphaeromorphes**

Ce sont des sphères plus ou moins épaisses à faiblement ornementé regroupent les Tasmanites d'origine marine et les leosphaeridia d'origine continentale

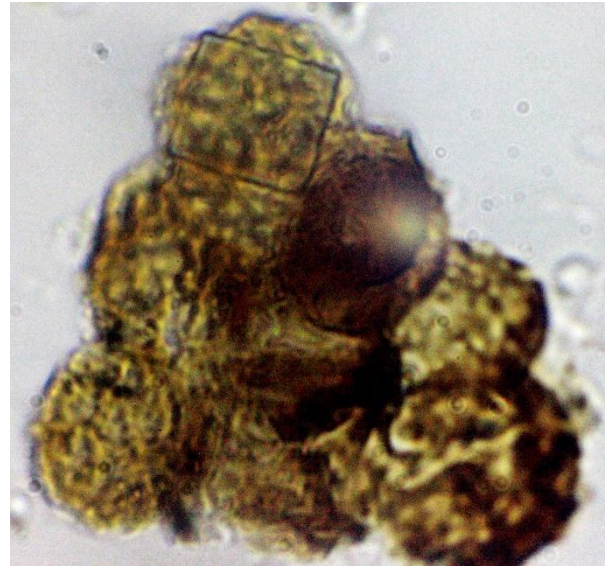
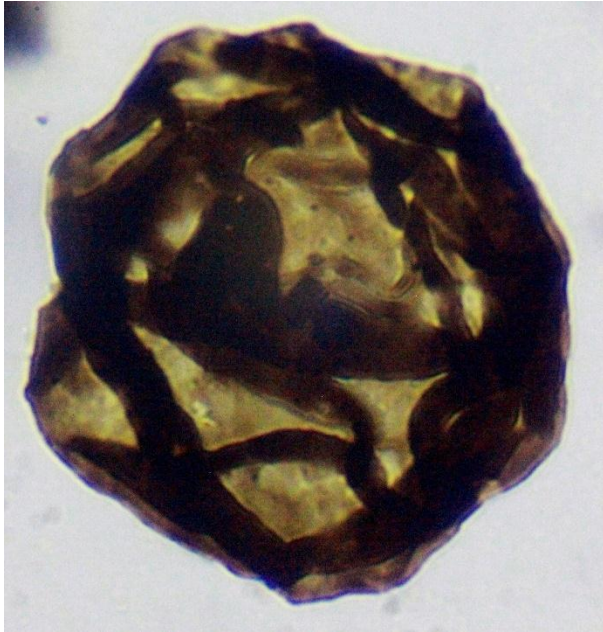


Fig.III.07 : photos représentant une Tasmanite **Fig.III.08** : photos représentant une leiosphère

- **Les Euryptérides (ou Gigantotraccés)**

C'est un groupe d'arthropodes marins, appelé aussi scorpion des mers (scorpions géants), en raison de leur ressemblance avec les scorpions. Ils étaient la terreur des mers dans le Paléozoïque. Ils sont apparus il y a un peu plus de 400 Ma (Ordovicien), ils ont disparu il y a 250 Ma (au Permien) et dont on ne connaît que des fossiles. Ils sont proche des parents des limules (ils font partie du groupe des mérostomes).

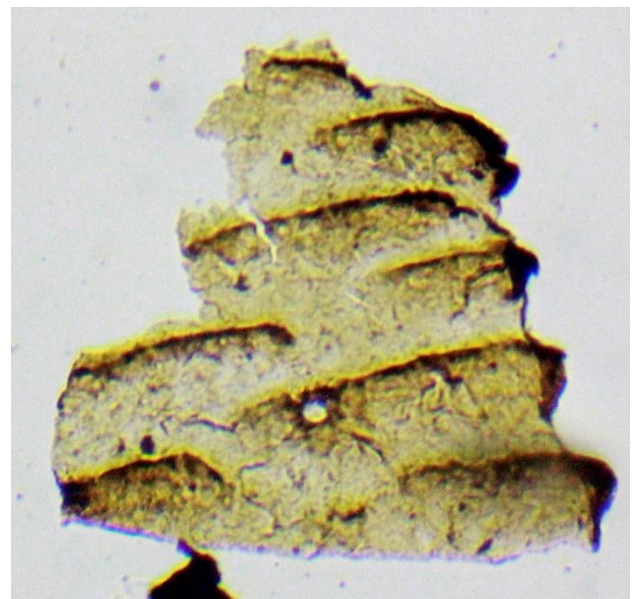


Fig.III.09 : photos représentant les poils de Gigantotraccés

III.1.d. La notion de biozone :

Une biozone est une unité stratigraphique définie par le contenu biologique des sédiments (ou biostratigraphie). C'est un terme général pour toute catégorie d'unité biostratigraphique.

Les biozones sont notamment fondées sur des apparitions ou des disparitions de taxons, parfois selon leur abondance particulière. Dès lors il est possible de distinguer quatre biozones (Fig.III.10) :

- **Biozone de coexistence** : zone fondé sur l'association ou la coexistence d'au moins deux (ou plus) taxons fossiles « chevauchants » (zone de rencontre).
- **Biozone d'extension** : couche définie par l'apparition et la disparition d'une même espèce.
- **Biozone d'acmé (d'abondance maximale ou zone d'apogée)** : couche ou ensemble de couches dans la(les)quelle(s) l'abondance d'un taxon donné est significativement supérieur à ce qu'elle est dans les parties adjacentes de la section, en dehors de toute idée d'association ou de distribution.
- **Biozone d'intervalle** : ensemble de couches fossilifères limités par des apparitions ou des disparitions de taxons. La base d'une telle zone est marquée par la première apparition ou disparition et le sommet par la première apparition ou la disparition d'un autre taxon caractéristique.

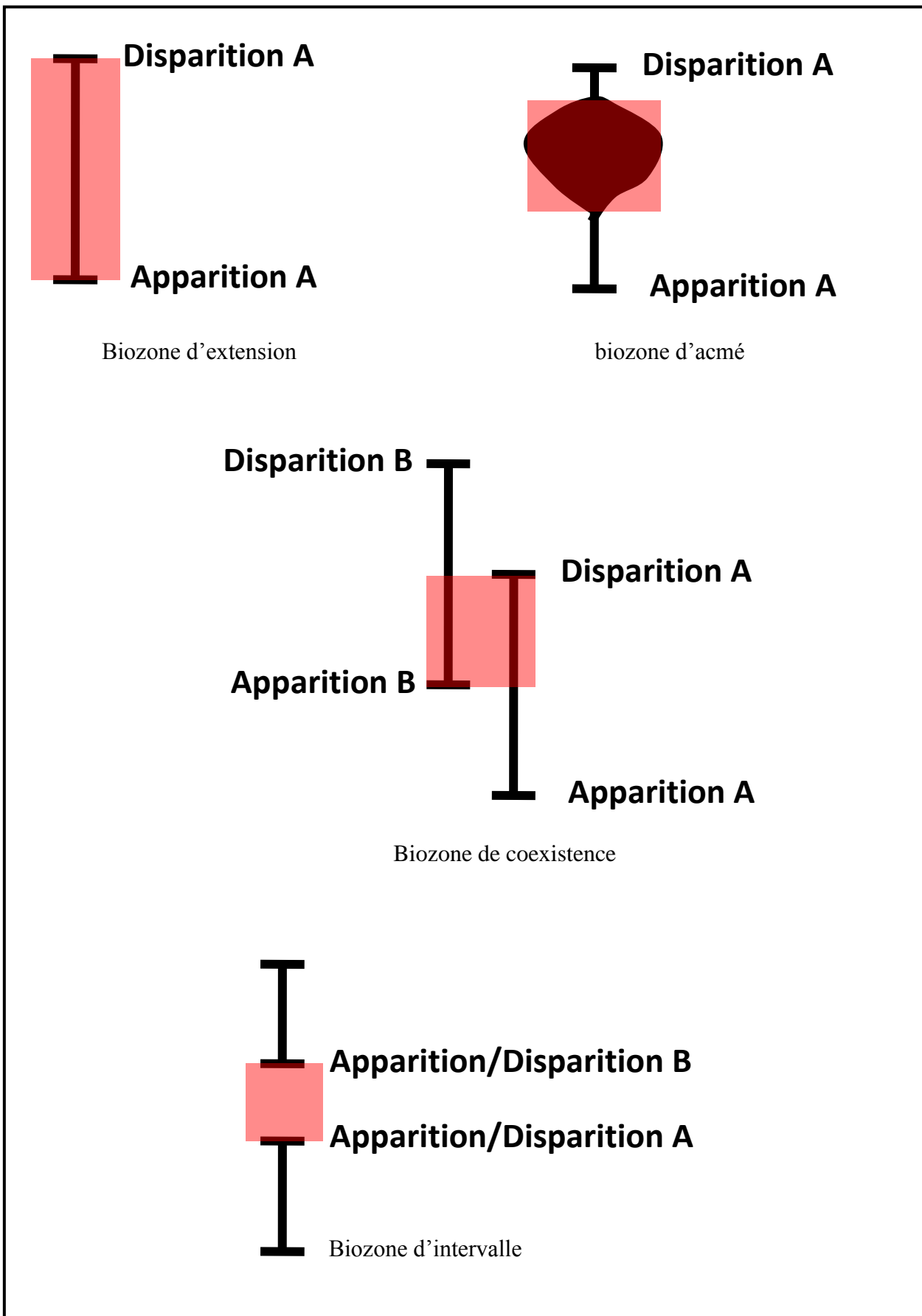


Fig.III.10 : schémas représentant les différentes biozones.

Douze biozones de chitinozoaires ont été définies dans le Silurien supérieur-Dévonien inférieur dans le Sahara algérien. Elles sont représentées dans le tableau suivant (01)

		AGES	BIOZONES	
DEVONIEN	LOCHKOVIEN		Biozone d'extension de <i>U. simplex</i>	12
			Biozone d'intervalle de <i>U. simplex</i> et <i>F. pistilliformis lata</i>	11
			Biozone d'extension de <i>E. bohémica</i>	10
			Biozone d'intervalle entre <i>M. samiri</i> et <i>E. bohémica</i>	9
			Biozone d'extension de <i>M. samiri</i>	8
			Biozone d'intervalle entre <i>P. carmenchui</i> et <i>A. asterigis</i>	7
SILURIEN	PRIDOLI		Biozone d'extension de <i>A. superba</i>	6
			Biozone de coexistence de <i>U. urna</i> et <i>P. carmenchui</i>	5
			// // // // //	
			Biozone de coexistence de <i>M. elegans</i> et <i>U. gr. urna</i>	4
		Biozone d'acmé de <i>S. patula</i>	3	
	LUDLOW		// // // // //	
			Biozone de coexistence de <i>L. klonkensis</i> et <i>A. sp. aff. fragilis</i>	2
		// // // // //		
		Biozone d'acmé de <i>G. illiziensis</i>	1	

Tab.III.01 : Biozones de Chitinozoaires du Silurien supérieur –Dévonien inférieur reconnues dans le Sahara Algérien (Boumendjel 1987)

Sept biozones locales ont été aussi définie dans le Silurien supérieur du bassin de Berkine et d'Ilizi :

Chronostratigraphy		Chitinozoan Biozones	Local chitinozoan biozones	
SILURIAN	PRIDOLI	At. superba	superba	
		M. elegans	elegans	
		F. kosovensis		
	LUDLOW	Ludfordian	E. barrandei	convexa/serrata
			E. philipi	illiziensis
		Gorsian	A. elongata	
				Pogonochitina sp. B
				Pogonochitina sp. A
	WENLOCK	Homerien	S. lycoperdoides	jawfensis
			C. pachycephala	not investigated during the project ↓
		Sheinwoodian	C. cingulata	
			M. margaritana	
	LLANDOVREY	Telychian	A. longicollis	
E. dolioliformis				
Aeronian		C. alargada		
		Sp. maennili		
Rhuddanian		C. electa		
	B. postrobusta			
	Sp. fragilis			

Tab.III.02 : Tableau des biozones locales de Chitinozoaires du Silurien des Bassins de Berkine-Illizi. (Ilizi-Berkine Devonian Reservoir Consortium, 2000)

III.3. RESULTATS BIOSTRATIGRAPHIQUE :

Cette étude se base sur l'analyse palynologique de 49 échantillons (lames minces) de carottes prélevés du Silurien argileux gréseux (SAG) de trois (03) sondages A, B et C situés dans la partie Ouest du bassin de Berkine (Fig.II.1). Le but est d'attribuer à ces échantillons un âge qui va servir de guide pour la corrélation entre les différentes unités lithologiques du Silurien argileux gréseux de ces sondages. Cette étude biostratigraphique a été réalisée en se basant sur les biozones de chitinozoaires reconnues dans ce travail, cela n'a pas empêché l'identification de toutes les formes palynologiques observées dans la lame. Les échantillons ont été observés sous le microscope optique sous lumière transmise.

III.3.a. SONDAGE A, intervalle de 34047.15m à 3691.55m :

L'étude biostratigraphique du sondage A, a concerné vingt et un (21) échantillons (tabIII.03) de carottes 6, 5, 4 et (34047.15m - 3691.55m), elle a mis en évidence une association composée de microfossiles marins, Chitinozoaires, Acritarches, de Tasmanites (Algues marines), de Scolécodontes (mâchoires d'Annélides), de Leiosphères (souvent en amas), et de poils de Gigantotrécés (Euryptérides). Ces microfossiles sont accompagnés par des spores continentales ainsi que du tissu végétal. La matière organique amorphe y est aussi présente.

Les échantillons sont répartis comme suit :

Sondage	Carottes	Unités	Profondeurs (m)	Total
A	Cr-3	A2 ?	3691.55	21
			3693.85	
			3695.57	
			3700.90	
			3701.80	
			3702.35	
	Cr-4	A1 ?	3706.45	
			3817.80	
			3818.40	
			3826.20	
	Cr-5	M2 ?	3828.67	
			3868.25	
			3875.95	
			3878.00	
			3880.28	
	Cr-6	M0 ?	3883.65	
3885.07				
4033.95				
4039.10				
			4044.05	
			4047.15	

Tab.III.03 : tableau de répartition des échantillons du sondage A

Remarque : les unités indiquées dans le tableau si dessus sont à préciser puisqu'elles sont définies sur la base de la lithologique.

- **Biozone à *Cingulochitina serrata* et *Cingulochitina convexa***

Cette biozone est caractérisée par la coexistence des deux espèces *Cingulochitina serrata* et *Cingulochitina convexa* qui marque le **Ludfordien supérieur-Pridoli inférieur**. Ces deux espèces sont en association avec d'autres Chitinozoaires tel que : *Pterochitina perivelata*, *Ancyrochitina* sp., *Ancyrochitina regularis*, *Ramochitina* sp., *Fungochitina* sp., et *Calpichitina corinnae*.

Et du phytoplancton (Acritarches) qui est composé des espèces suivantes : *Leiofusa striatifera*, *Leiofusa estrecha*, *Leiofusa cantabrica*, *Leiofusa filifera*, *Cymatiogalea* sp., *Triangulina alargada*, *Diexallophasis denticulata*, *Multiplicisphaeridium dentiulatum*, *Cymbosphaeridium pilaris*, *Visbysphaera tinrhertense*, *Visbysphaera dilatispinosum*, *Leionella carminae*, *Veryhachium scabratum*, *Polgonium spinosum*.

On note aussi une abondance de spores surtout dans la carotte 6 et 5 tels que : *Ambitisporite* sp., *Archaeozonotriletes chulus*, *Brochotriletes* sp., *Tetraletes variabilis*.

Ces palynomorphes sont aussi accompagnés de Scolécodontes, d'algues (Tasmanites), de Leiosphères (souvent en amas), de poils de Gigantotraccés (Euryptérides), du tissu végétal ainsi que de la matière organique amorphe.

La biozone couvre le Carotte 6 (4047.15m à 4033.9m), la carotte 5 (3885.07m à 3868.25m) et la carotte 4 (3828.67m à 3817.80m).

Environnement de dépôt : la présence de chitinozoaires et d'acritarches indique un milieu marin franc tandis que la présence de spores indique un milieu plutôt continental, ce qui dit que le milieu de dépôt est marin à grande influence continentale (abondance de spores dans la carotte 6 et 5).

- **Biozone à *Urnochitina urna* et *Pseudoclatrochitina carmenchui***

La biozone est une biozone de coexistence de l'espèce *Urnochitina urna* et de *Pseudoclatrochitina carmenchui*, elle date le **Pridoli moyen** (BOUMENDJEL1987).

Les Chitinozoaires ainsi présents sont : *Pterochitina perivelata*, *Cingulochitina serrata*, *Cingulochitina convexa*, *Ancyrochitina* sp., *Fungochitina* sp., et *Calpichitina corinnae*.

Les Acritarches présents dans cet intervalle sont presque les mêmes que ceux des carottes 6, 5 et 4, on note en plus la présence de *Leiofusa striatifera* var. *crescentis*, *Horologinella quadrispina*, *Deflandrastum millepedi* et *Balticisphaeridium* sp.

La flore continentale est très rare, on remarque la présence de *Ambitisporite* sp., *Archaeozonotriletes chulus*.

Ces palynomorphes sont accompagnés par des Scolécodontes, des Tasmanites, des Euryptérides (poils de Gigantotraccés) et de la matière organique amorphe.

Carottes	Lithologie	Echantillon	Chitinozoaires		Acritarches		Spores	Microfossile à paroi organique		Biozones	Age	Environnement de dépôts
								Marin	Continental			
3		3691.55	●	●	●	●	●	●	●	<i>U.urna / P.carmenchui</i>	Pridoli moyen	marin à influence continentale
		3693.83	●	●	●	●	●	●	●			
4		3695.57	●	●	●	●	●	●	●	<i>convexa / serrata</i>	Ludfordien sup - Pridoli inf	marin à grande influence continentale
		3700.90	●	●	●	●	●	●	●			
5		3701.80	●	●	●	●	●	●	●	<i>convexa / serrata</i>	Ludfordien sup - Pridoli inf	marin à grande influence continentale
		3702.35	●	●	●	●	●	●	●			
6		3706.45	●	●	●	●	●	●	●	<i>convexa / serrata</i>	Ludfordien sup - Pridoli inf	marin à grande influence continentale
		3817.80	●	●	●	●	●	●	●			
		3818.40	●	●	●	●	●	●	●			
		3826.20	●	●	●	●	●	●	●			
		3828.67	●	●	●	●	●	●	●			
		3868.25	●	●	●	●	●	●	●			
		3875.95	●	●	●	●	●	●	●			
		3878	●	●	●	●	●	●	●			
		3880.28	●	●	●	●	●	●	●			
		3883.65	●	●	●	●	●	●	●			
		3885.07	●	●	●	●	●	●	●			
		4033.95	●	●	●	●	●	●	●			
		4039.10	●	●	●	●	●	●	●			
		4044.05	●	●	●	●	●	●	●			
		4047.15	●	●	●	●	●	●	●			

Tab.III.04: Tableau de répartition des palynomorphes dans le sondage A

La biozone définie si dessus couvre la carotte 3 (3706.45m à 3691.55m).

Environnement de dépôt : la présence de chitinozoaires, d'acritarches et de spores indique un milieu marin à influence continentale.

SONDAGE A

PLANCHE I

Grossissement x500 sauf indication

Fig.1 : *Pseudoclathrochitina carmenchui*, (CRAMER), deux specimens, Cr-3, Ech. 3695.57m

Fig.2 : *Pterochitina perivelata*, (EISENACK), Cr-4, Ech. 3817.80m

Fig.3 : *Calpichitina corinnae*, (JAGLIN), Cr-3, Ech.3701.80m

Fig.4 : *Cingulochitina serrata*, (TAUGOURDEAU et JEKHOWSKY), Cr-4, Ech. 3817.80m

Fig.5 : *Ancyrochitina* sp, Cr-4, Ech. 3817.80m

Fig.6 : *Cingulochitina serrata*, (TAUGOURDEAU et JEKHOWSKY), Cr-3, Ech. 3695.57m

Fig.7 : *Acyrochitina regularis*, (TAUGOURDEAU et JEKHOWSKY), Cr-3, Ech. 3693.83m

Fig.8 : *Urnochitina urna*, (EISENACK), Cr-3, Ech. 3701.80m

Fig.9 : *Calpichitina corinnae*, (JAGLIN), Cr-3, Ech.3701.80m

Fig.10 : *Cingulochitina convexa*, (LAUFELD), Cr-3, Ech.3701.80m

Fig.11: *Pseudoclathrochitina carmenchui*, (CRAMER), Cr-3, Ech. 3695.57m

Fig.12 : *Fungochitina* sp, Cr-4, Ech. 3818.40m

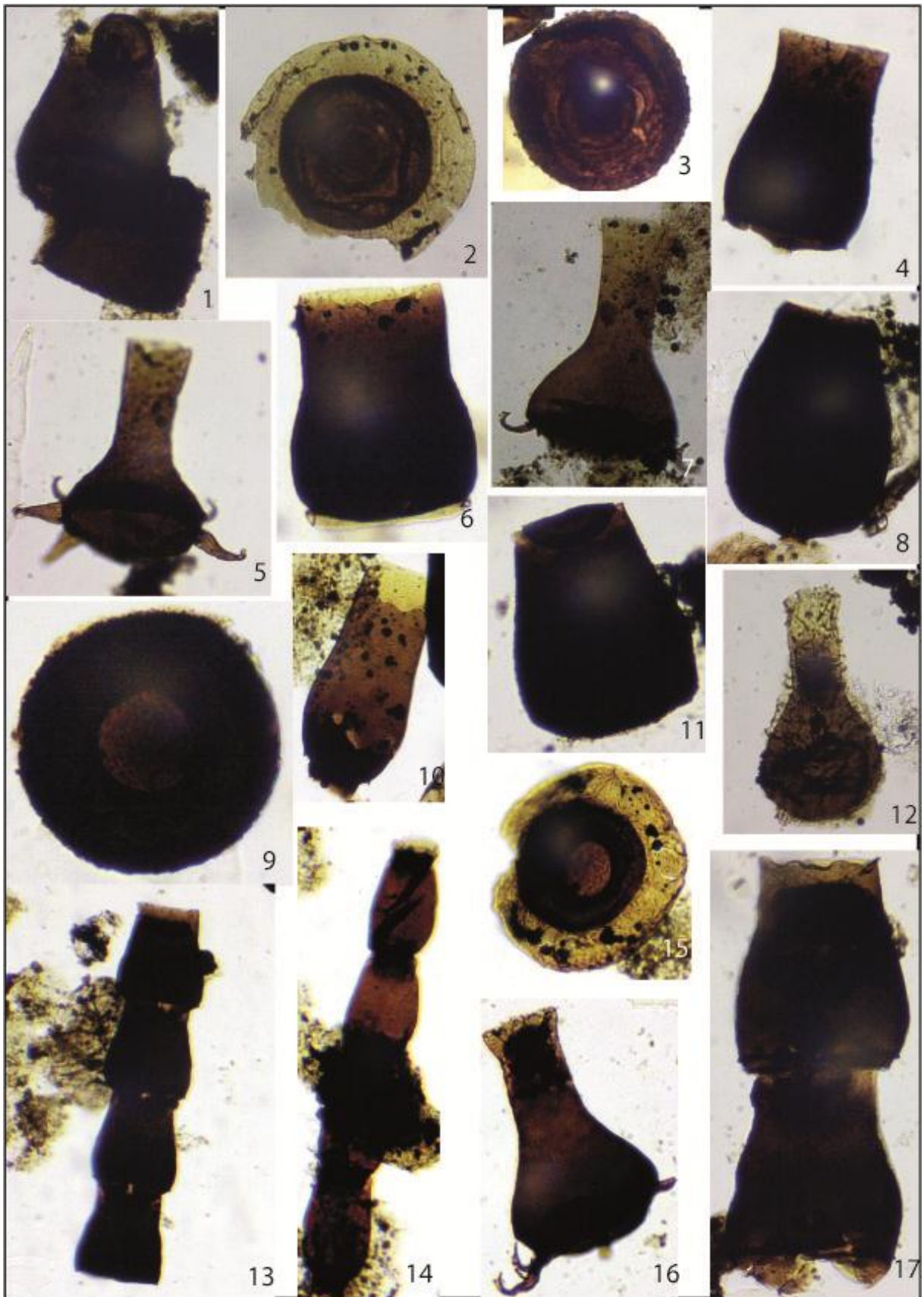
Fig.13 : *Cingulochitina serrata*, (TAUGOURDEAU et JEKHOWSKY), Chaîne de quatre individus, Gr x 200, Cr-4, Ech. 3817.80m

Fig.14 : *Cingulochitina convexa*, (LAUFELD), Gr x 200, Cr-3, Ech.3701.80m

Fig.15 : *Pterochitina perivelata*, (EISENACK), Cr-3, Ech. 3701.80m

Fig.16 : *Ancyrochitina* sp, Cr-4, Ech. 3826.20m

Fig.17 : *Cingulochitina serrata*, (TAUGOURDEAU et JEKHOWSKY), Cr-4, Ech. 3826.20m



SONDAGE A

PLANCHE II

Grossissement x1000 sauf indication

Fig.1: Palynofaciès représentant une association de chitinozoaires, d'acritarches et matière organique amorphe. Gr x200, Cr-4, Ech. 3817.80m.

Fig.2: *Deflandrastrum millepedi* (CAMBAZ), Gr x 500, Cr-3, Ech. 3702.35m

Fig.3 : *Horologinella quadrispina*, Cr-3, Ech. 3695.57m

Fig.4 : Amas de *Multiplicispaeridium ramusculosum*, (DEFLANDRE) LISTER, Gr x 500, Cr-4, Ech. 3817.80m

Fig.5 : Amas de leiosphères, Cr-4, Ech. 3817.80m

Fig.6: *Diexallophasis denticulata*, (STOCKMANS & WILLIERE) LOEBLICH, Cr-3, Ech. 3701.80m

Fig.7 : Poils de Gigantotraccés (*Euryptérides*), Gr x 200, Cr-6, Ech. 4033.95m

Fig.8: *Triangulina alargada* (CRAMER), Cr-3, Ech. 3706.45m

Fig.9: *Leiofusa filifera*, (DOWNIE), Gr x 500, Cr-3, Ech. 3706.45m

Fig.10: *Polygonium spinosum*, Cr-3, Ech. 3691.55m

Fig.11: *Leiofusa stritifera* (CRAMER) var. *crescentis*, Gr x500, Cr-3, Ech. 3695.57m

Fig.12: *Algue Tasmanite*, Cr-3, Ech. 3693.83m

Fig.13: *Multiplicispaeridium ramusculosum*, (DEFLANDRE) LISTER, Cr-3, Ech. 3701.80m

Fig.14: *Baltisphaeridium sp*, Cr-3, Ech. 3691.55m

Fig.15: *Leifusa estrecha*, (CRAMER), Gr x 500, Cr-4, Ech. 3817.80m

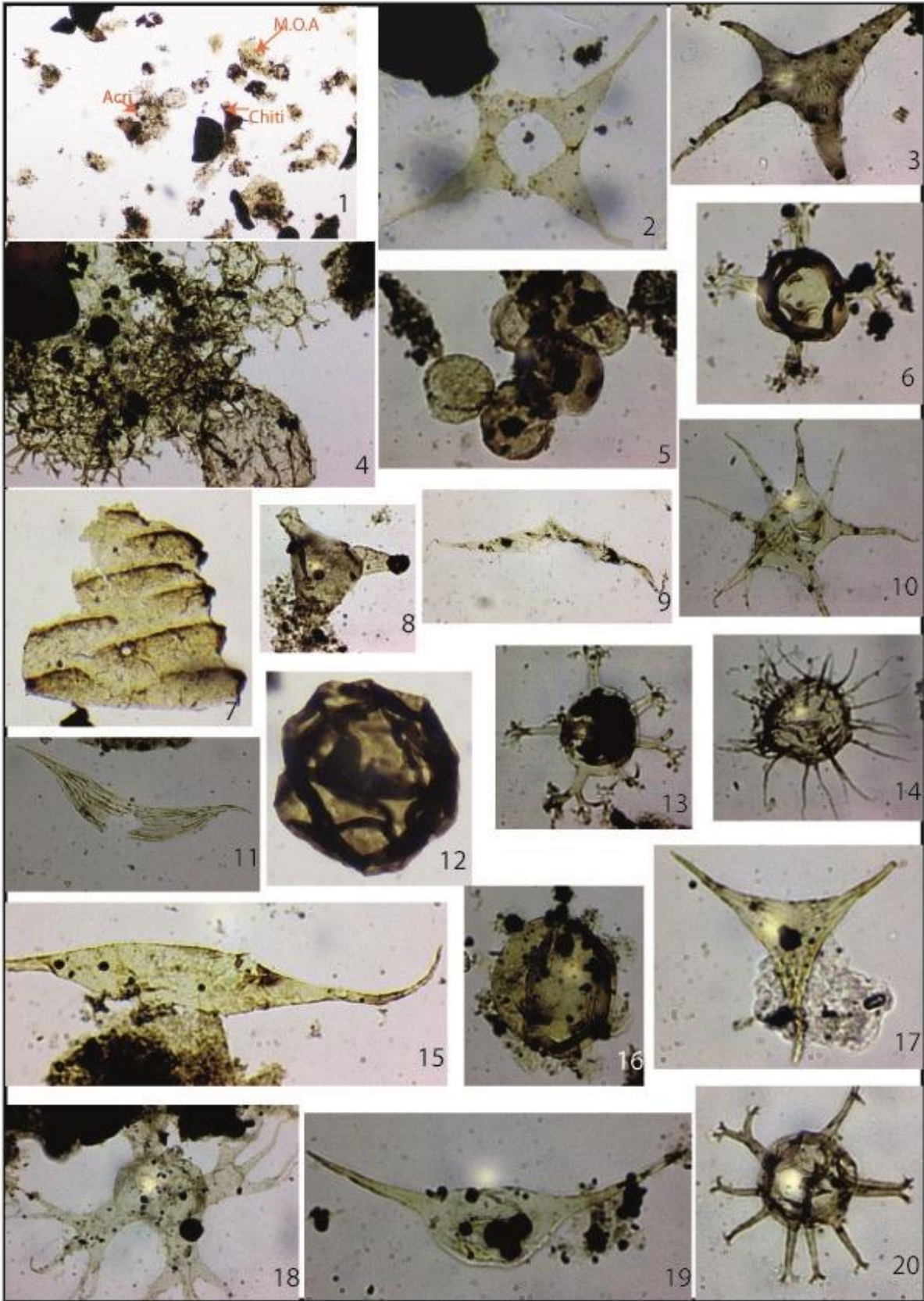
Fig.16: *Visbysphaera tinrhertense*, Cr-3, Ech.3691.55m

Fig.17: *Veryhachium scabratum*, (CRAMER), Cr-4, Ech. 3818.40m

Fig.18: *Leoniella carminae* (CRAMER), Cr-4, Ech. 3818.40m

Fig.19: *Leiofusa cantabrica*, (CRAMER), Gr x 500, Cr-3, Ech. 3695.57m

Fig.20 : *Multiplicispaeridium ramusculosum*, (DEFLANDRE) LISTER, Cr-3, Ech. 3701.80m



SONDAGE A

PLANCHE III

Grossissement x1000 sauf indication

Fig.1 : *Polygonium spinosum*, Cr-6, Ech. 4039.10m

Fig.2 : Tissu végétal, Gr x 500, Cr-6, Ech. 4044.05m

Fig.3 : *Leiofusa striatifera*, (CRAMER), Gr x 500, Cr-6, Ech. 4047.15m

Fig.4 : *Cymatiogalea* sp, Cr-6, Ech. 4039.10m

Fig.5 : *Cymbosphaeridium pilaris*, (CRAMER) LISTER, forme B, Cr-6, Ech. 4039.10m

Fig.6 : *Archaeozonotriletes chulus*, (CRAMER) Richardson & LISTER, Cr-6, Ech. 4039.10m

Fig.7 : *Diexallophasis denticulata*, (STOCKMANS & WILLIERE) LOEBLICH, Cr-5, Ech. 3868.25m

Fig.8 : Scolécodonte (mâchoire d'Annélides), Gr x 200, Cr-3, Ech. 3691.55m

Fig.9 : *Tetraletes variabilis*, (CRAMER), Cr-3, Ech. 3695.57m

Fig.10 : *Tetraletes variabilis*, (CRAMER), Cr-3, Ech. 3695.57m

Fig.11: *Leiofusa cantabrica*, (CRAMER), Gr x 500, Cr-6, Ech. 4047.

Fig.12 : *Ambitisporites* sp, Cr-4, Ech. 3818.40m

Fig.13 : Palynofaciès riche en spores, et composé aussi d'Acritarches, Gr x 500, Cr-6, Ech. 4047.15m

Fig.14 : *Leifusa estrecha*, (CRAMER), Gr x 500, Cr-4, Ech. 3817.80m

Fig.15 : *Multiplicispaeridium ramusculosum*, (DEFLANDRE) LISTER, Cr-5, Ech. 3868.25

Fig.16 : *Visbysphaera dilatispinosum*, (LISTER), Cr-5, Ech. 3875.95

Fig.17 : *Brochotriletes* sp, Cr-6, Ech. 4033.95m

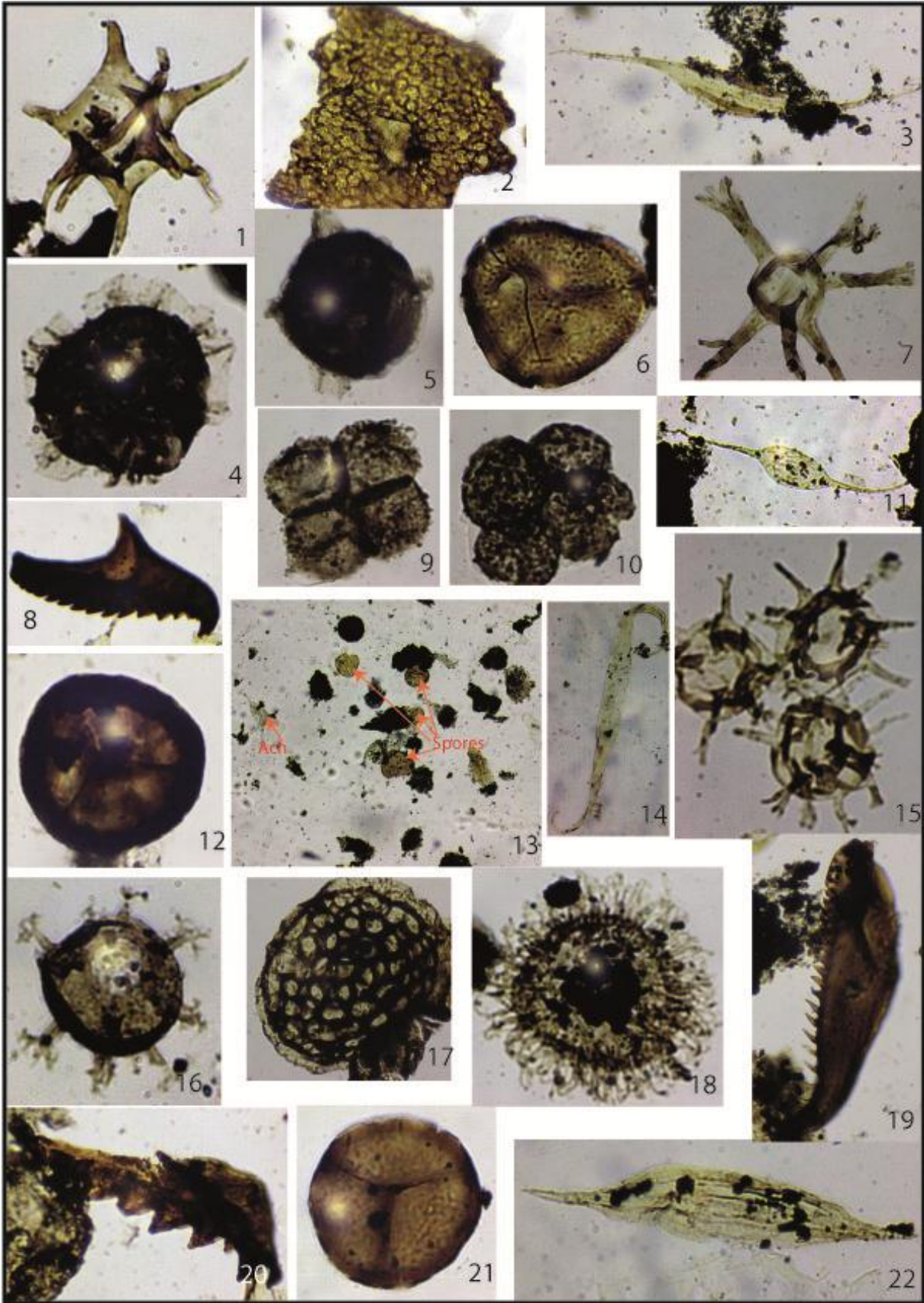
Fig.18 : Acritarche, Cr-3, Ech. 3701.80m

Fig.19: Scolécodonte (mâchoire d'Annélides), Gr x 500, Cr-3, Ech. 3693.83m

Fig.20 : Scolécodonte (mâchoire d'Annélides), Gr x 500, Cr-3, Ech. 3826.20m

Fig.21 : *Ambitisporites* sp, Cr-4, Ech. 3883.65m

Fig.22: *Leiofusa striatifera*, (CRAMER), Gr x 500, Cr-5, Ech. 3875.95m



III.2.b. SONDAGE B, intervalle de 3990.73m à 3650.49m :

L'analyse palynologique du sondage B est portée sur 15 échantillons des carottes 3, 2 et 1, allant de la profondeur 3990.73m à 3650.49m. Cette analyse a révélé une diversité de microfossiles marins tels que les Chitinozoaires et les Acritarches, qui sont très abondants et bien conservés. Ils sont associés à des algues marines (Tasmanites), des Leiosphères (souvent en amas), des poils de Gigantotraccés, du Tissu végétal, des Scolécodontes (Mâchoires d'Annélides) et de la matière organique amorphe.

Les échantillons sont répartis comme suit :

Sondage	Carottes	Unités	Profondeurs (m)	Total
B	Cr-1	B2 ?	3647.84	15
			3649.82	
			3650.49	
			3652.26	
			3657.60	
			3658.92	
	Cr-2	B1- A2 ?	3792.18	
			3794.56	
			3797.41	
			3801.42	
			3806.85	
	Cr-3	A1 ?	3973.45	
			3982.47	
			3985.89	
			3990.73	

Tab.III.05 : tableau de répartition des échantillons du sondage B

Remarque : les unités indiquées dans le tableau si dessus sont à préciser puisqu'elles sont définies sur la base de la lithologique.

- **Biozone à *Cingulochitina serrata* et *Cingulochitina convexa***

Cette biozone est caractérisée par la coexistence de l'espèce *Cingulochitina serrata* et *Cingulochitina convexa* qui date le **Ludfordien supérieur-Pridoli inférieur**

Les Chitinozoaires observés en association aux deux espèces sont : *Pterochitina perivelata*, *Ancyrochitina* sp., *Fungochitina* sp., *Urnochitina urna*, *Calpichitina corinnae*, *Pseudoclatrochitina carmenchui*,

Le phytoplancton est formé par les espèces suivantes : *Diexallophasis denticulata*, *Multiplicisphaeridium ramusculosum*, *Leiofusa estrecha*, *Leiofusa filifera*, *Leiofusa striatifera*, *Triangulina alargada*, *Leionella carminae*, *Visbysphaera*, *Cymbosphaeridium pilaris*, *Cymatiogalea* sp., *Visbysphaera tinrhertense*.

La microflore continentale est rare, on note la présence de : *Ambitisporite* sp. et *Archaeozonotriletes chulus*.

Du tissu végétal, des Tasmanites, des Scolécodontes et des Euryptérides (poils de Gigantotraccés) sont aussi présents.

La biozone couvre la carotte 3 (3990.73m à 3973.45m) et une partie de la carotte 2 (3806.85m à 3801.42m).

Environnement de dépôt : la présence de chitinozoaires, d'acritarches et de spores indique un milieu marin à influence continentale.

- **Biozone à *Margachitina elegans***

C'est une biozone d'acmé (abondance maximale) de l'espèce *Margachitina elegans*, elle est observée en chaîne ou en individu isolé, elle caractérise le Pridoli moyen.

Elle coexiste avec *Urnochitina urna*, *Pseudoclatrochitina carmenchui*, *Margachitina corta*, *Cingulochitina serrata*, *Cingulochitina convexa*, (ces espèces sont toutes observées en chaîne et en spécimens isolés), *Pterochitina perivelata*, *Ancyrochitina* sp., *Ancyrochitina brevis*, *Ancyrochitina regularis*, *Calpichitina corinnae* et *Plectochitina* sp.

Les Acritarches sont bien diversifiés, on note la présence de : *Diexallophasis denticulata*, *Leiofusa estrecha*, *Leiofusa striatifera*, *Leiofusa striatifera var. crescentis*, *Multipliscisphaeridium ramusculosum*, *Triangulina alargada*, *Visbysphaera tinrhertense*, *Visbysphaera dilatispinosum*, *Veryhachium sp.*, *Polygonium sp.*, *Leionella carminae*, *Cymatiogalea sp.* Ces Acritarches sont caractéristiques du Pridoli.

On note aussi la présence de spores telle que : *Ambitisporites sp.*, *Archaeozonotriletes chulus*, *Brochotriletes sp.* et *Dictyotriletes sp.*

Des Scolécodontes, des poils de Gigantotraccés (Euryptérides), des Tasmanites (algues marines), des Leiosphères, du tissu végétal ainsi que de la matière organique amorphe, sont aussi présents.

Cette biozone couvre l'autre partie de la Carotte 2 (3797.41m à 3792.18m) et la carotte 1 (3658.92m à 3650.49m)

Environnement de dépôt : la présence de chitinozoaires, d'acritarches et de spores indique un milieu marin à influence continentale.

SONDAGE B

PLANCHE I

Grossissement x500 sauf indication

Fig.1 : *Cingulochitina serrata*, (TAUGOURDEAU et JEKHOWSKY), chaine de deux spécimens, Cr-2, Ech. 3797.41m

Fig.2 : *Pseudoclathrochitina carmenchui?*, (CRAMER), Cr-2, Ech. 3797.41m

Fig.3 : *Urnochitina urna*, (EISENACK), Cr-2, Ech. 3797.41m

Fig.4 : *Calpichitina corinnae*, (JAGLIN), Cr-2, Ech. 3806.85m

Fig.5 : *Pterochitina perivelata*, (EISENACK), Cr-3, Ech.3985.89m

Fig.6 : *Margachitina elegens*, (TAUGOURDEAU et JEKHOWSKY), chaine de dix individus, Gr x 200, Cr-2, Ech. 3792.18m

Fig.7 : *Cingulochitina serrata*, (TAUGOURDEAU et JEKHOWSKY), chaine de trois individus, Gr x 200, Cr-3, Ech.3982.47m

Fig.8 : *Acyrochitina brevis*, (TAUGOURDEAU et JEKHOWSKY), Cr-2, Ech. 3794.56m

Fig.9 : *Cingulochitina convexa*, (LAUFELD), chaine deux spécimens, Cr-2, Ech. 3797.41m

Fig.10 : *Acyrochitina brevis*, (TAUGOURDEAU et JEKHOWSKY), Cr-1, Ech. 3657.60

Fig.11 : *Pseudoclathrochitina carmenchui*, (CRAMER), deux spécimens, Cr-2, Ech. 3797.41m

Fig.12 : *Archaeozonotriletes chulus*, (CRAMER) Richardson & LISTER, Gr x 1000, Cr-1, Ech. 3650.49m

Fig.13 : *Plectochitina* sp, Cr-2, Ech. 3797.41m

Fig.14 : *Pterochitina perivelata*, (EISENACK), Cr-2, Ech. 3797.41m

Fig.15 : *Pseudoclathrochitina carmenchui*, (CRAMER), chaine de deux individus, Cr-2, Ech. 3797.41m

Fig.16 : *Visbysphaera tinrhertense*, Gr x 1000, Cr-3, Ech.3985.89m

Fig.17 : *Cingulochitina serrata*, (TAUGOURDEAU et JEKHOWSKY), Cr-3, Ech. 3973.45m

Fig.18 : *Margachitina corta*, (CRAMER), Cr-2, Ech. 3794.56m

Fig.19 : *Acyrochitina regularis*, (TAUGOURDEAU et JEKHOWSKY), Cr-1, Ech. 3657.60

Fig.20 : *Margachitina corta*, chaine de deux individus, (CRAMER), Cr-2, Ech. 3797.41m

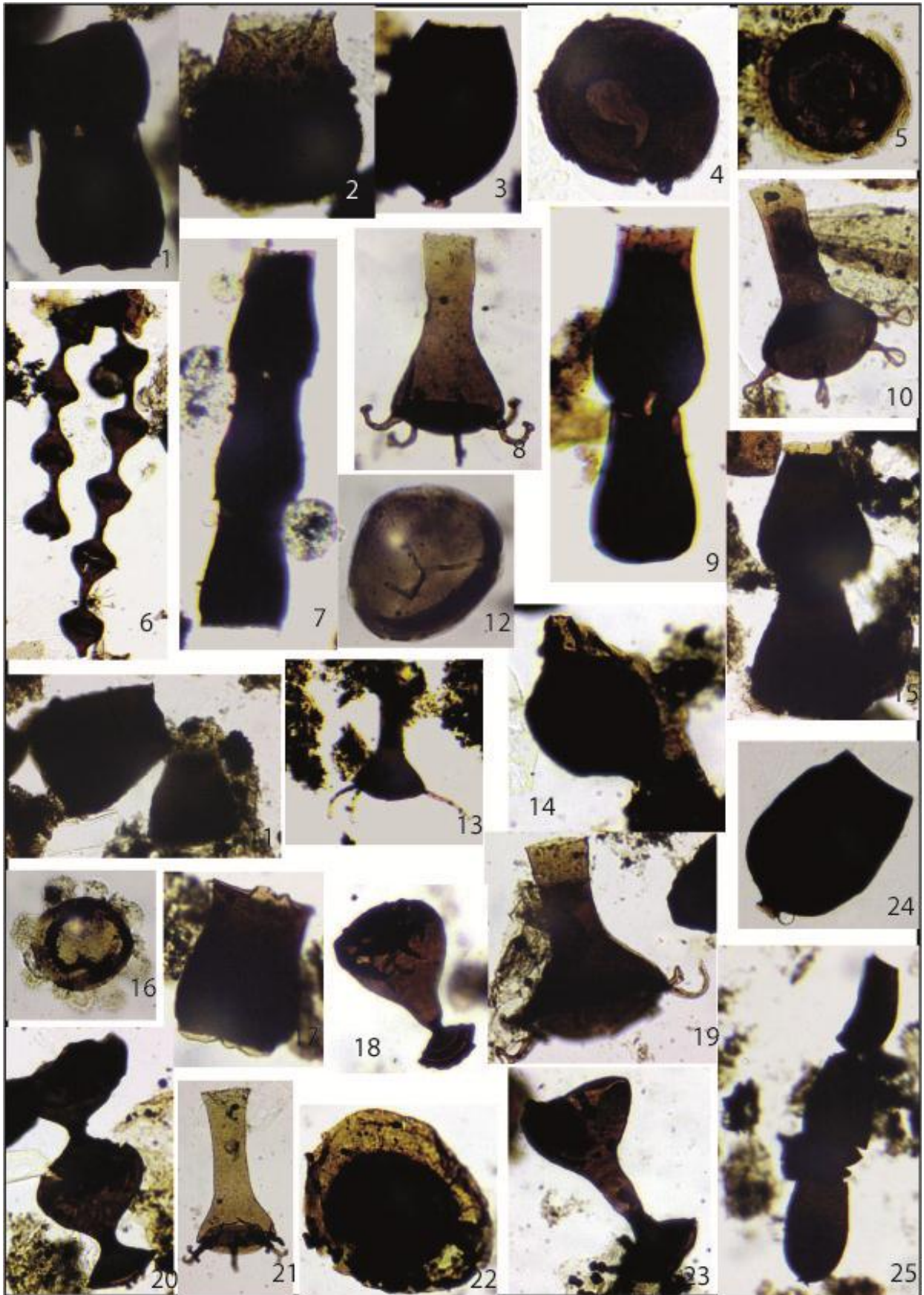
Fig.21 : *Acyrochitina* sp, Cr-2, Ech. 3794.56m

Fig.22 : *Pterochitina perivelata*, (EISENACK), Cr-2, Ech. 3797.41m

Fig.23 : *Margachitina elegens*, (TAUGOURDEAU et JEKHOWSKY), Cr-2, Ech. 3794.56m

Fig.24 : *Urnochitina urna*, (EISENACK), Cr-2, Ech. 3806.85m

Fig.25 : *Urnochitina urna*, (EISENACK), chaine de trois individus, Cr-2, Ech. 3797.41m

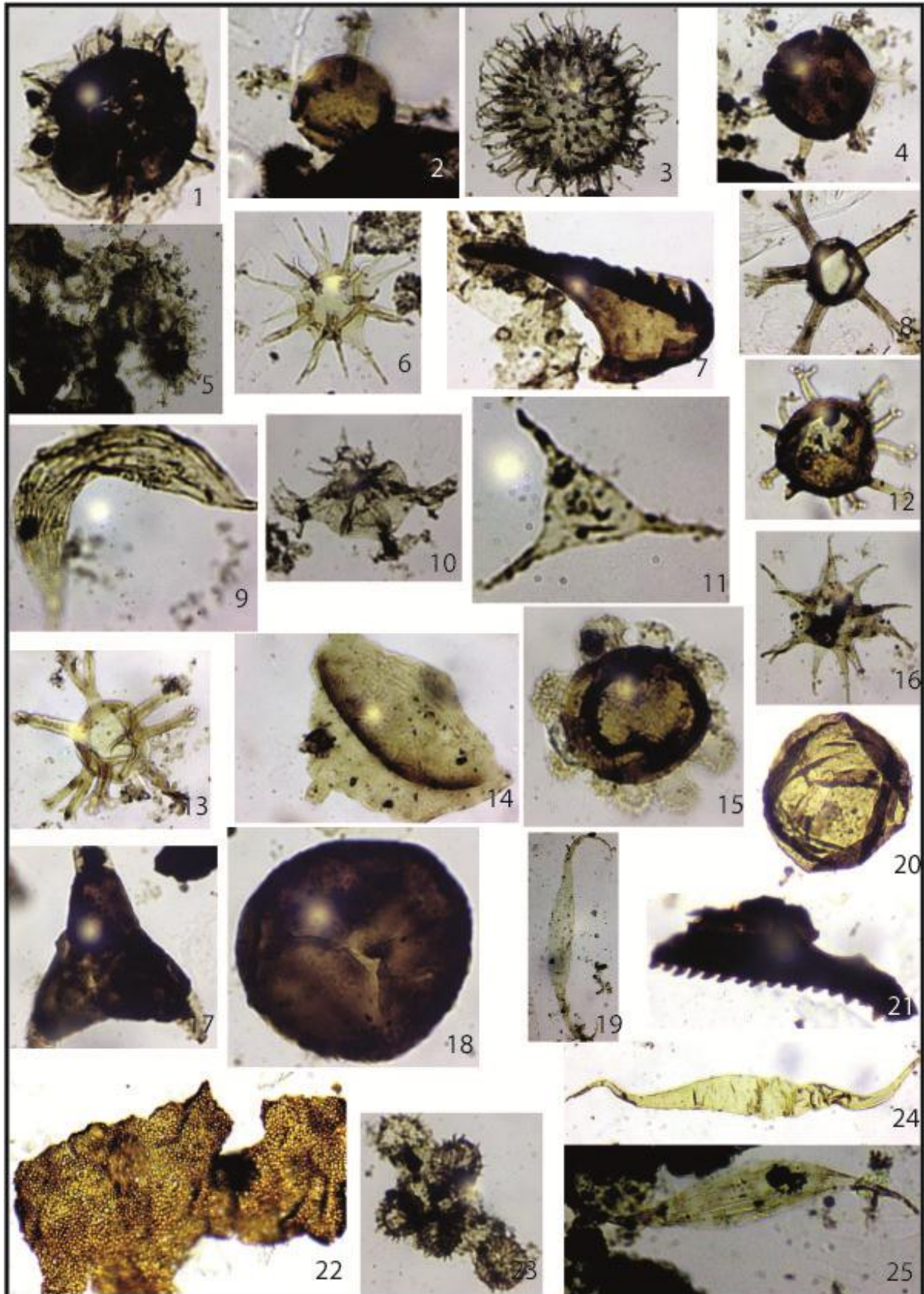


SONDAGE B

PLANCHE II

Grossissement x1000 sauf indication

- Fig.1 : *Cymatiogalea* sp, Cr-1, Ech. 3647.84m
- Fig.2 : *Cymbosphaeridium pilaris*, (CRAMER) LISTER, forme A, Cr-2, Ech. 3792.18m
- Fig.3 : Acritarche, Cr-1, Ech. 3649.82
- Fig.4 : *Cymbosphaeridium pilaris* (LISTER), Cr-2, Ech. 3806.85m
- Fig.5 : Amas de *Multiplicispaeridium ramusculosum*, (DEFLANDRE) LISTER), Cr-2, Ech. 3792.18m
- Fig.6: *Polygonium* sp., Cr-1, Ech. 3650.49m
- Fig.7 : Scolécodonte (mâchoire d'Annélides), Gr x 500, Cr-2, Ech. 3792.18m
- Fig.8: *Diexallophasis denticulata*, (STOCKMANS & WILLIERE), Cr-3, Ech.3985.89m
- Fig.9: *Leiofusa striatifera* (CRAMER) var. *crescentis*, Gr x 500, Cr-1, Ech. 3650.49m
- Fig.10: *Leoniella carminae* (CRAMER), Cr-2, Ech. 3794.56m
- Fig.11: *Veryhachium* sp, Cr-2, Ech. 3792.18m
- Fig.12: *Cymbosphaeridium pilaris* (LISTER), Cr-1, Ech. 3649.82
- Fig.13: *Diexallophasis denticulata*, (STOCKMANS & WILLIERE), Cr-1, Ech. 3650.49m
- Fig.14 : Poils de *Gigantotrachés* (*Euryptérides*), Gr x 500, Cr-2, Ech. 3794.56m
- Fig.15 : *Visbysphaera tinrhertense*, Cr-1, Ech. 3650.49m
- Fig.16 : *Polygonium* sp., Cr-2, Ech. 3794.56m
- Fig.17 : *Triangulina alargada* (CRAMER), Cr-1, Ech. 3657.60
- Fig.18 : *Ambitisporites* sp., Cr-1, Ech. 3650.49m
- Fig.19 : *Leifusa estrecha*, (CRAMER), Cr-2, Ech. 3794.56m
- Fig.20 : Algue Tasmanite, Gr x 500, Cr-1, Ech. 3650.49m
- Fig.21 : Scolécodonte (mâchoire d'Annélides), Gr x 500, Cr-2, Ech 3806.85m
- Fig.22 : tissus végétal, Gr x 500, Cr-2, Ech 3806.85m
- Fig.23 : Amas d'Achritarches, Gr x 500, Cr-2, Ech. 3794.56m
- Fig.24 : *Leifusa estrecha*, (CRAMER), Gr x 500, Cr-1, Ech. 3650.49m
- Fig.25 : *Leiofusa striatifera*, (CRAMER), Gr x 500, Cr-2, Ech. 3797.41m



SONDAGE B

PLANCHE III

Grossissement x200 sauf indication

Fig.1 : Chaîne de trois spécimens de *Margachitina elegans*, associée à de la matière organique amorphe. Cr-2, Ech. 3797.41m

Fig.2 : Palynofaciès représentant la *Margachitina elegans* en chaîne de dix individus, associée à *Pterochitina perivelata* et à de la matière organique amorphe. Cr-2, Ech. 3797.41m

Fig.3 : Palynofaciès composé d'Acritarches, de Chitinozoaires et de la matière organique amorphe. Cr-3, Ech.3985.89m

Fig.4 : Palynofaciès contenant des Leiosphères, scolécodonte, Chitinozoaires, Acritarches et de la matière organique amorphe. Cr-3, Ech.3985.89m

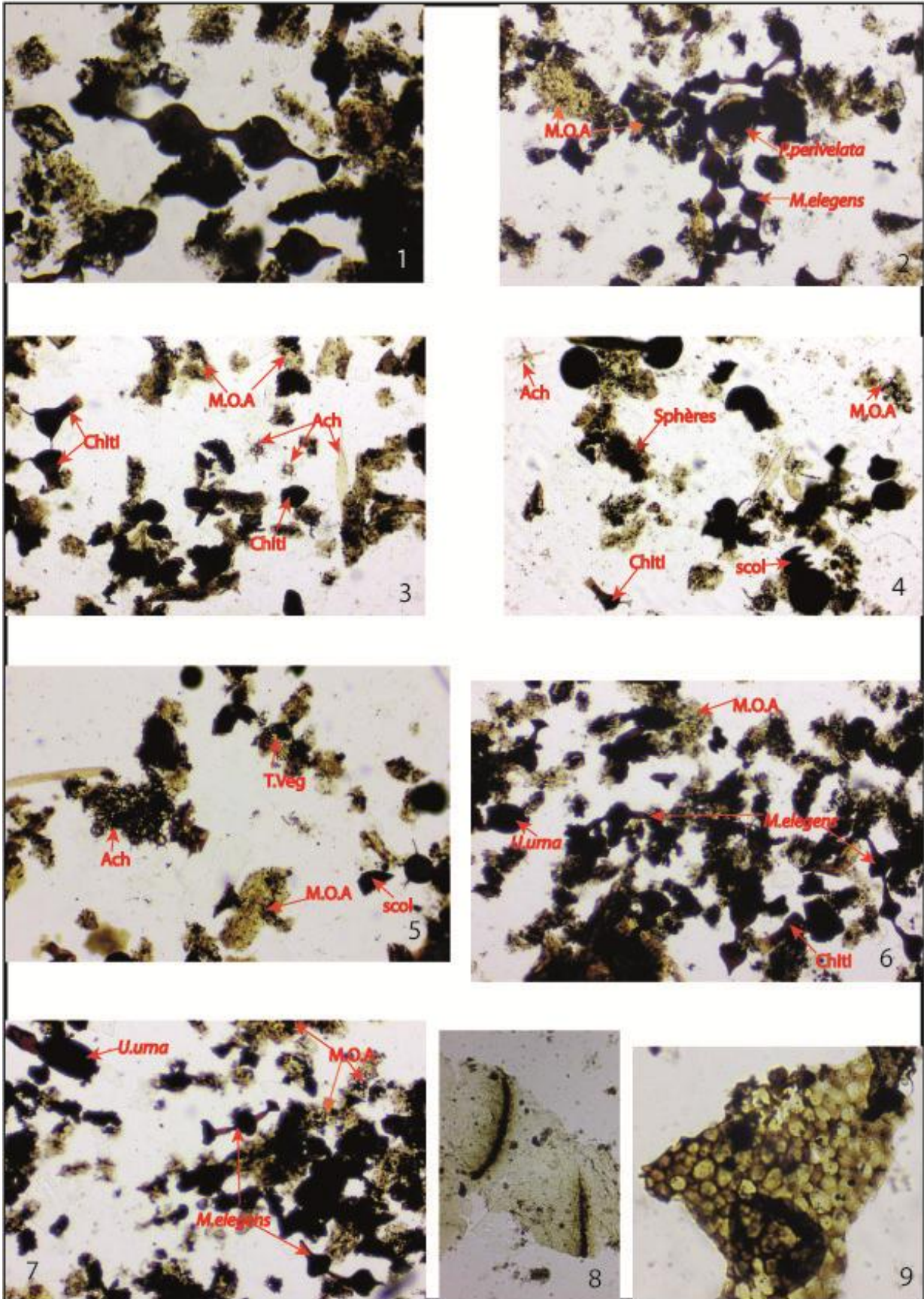
Fig.5 : Palynofaciès composé d'amas d'Acritarches, de Chitinozoaire, de Scolécodonte, de la matière organique amorphe et de tissus végétal. Cr-3, Ech.3985.89m

Fig.6 : Palynofaciès représentant la richesse de l'échantillon en *Margachitina elegans*, associée à *Urnochitina urna*. Cr-2, Ech. 3797.41m

Fig.7 : Palynofaciès représentant l'association de *Margachitina elegans* à *Urnochitina urna*, Cr-2, Ech. 3797.41m

Fig.8 : Poils de *Gigantotraccés (Euryptérides)*, Gr x 500, Cr-2, Ech. 3792.18m

Fig.9 : tissus végétal, Gr x 500, Cr-2, Ech. 3794.56m



III.3.c. SONDAGE C intervalle de 4530.75m à 4231.27m :

L'analyse palynologique du sondage C a porté sur treize (13) échantillons des carottes 6, 5 et 4 (4530.75m - 4231.27m)

Le matériel palynologique recueillis présente une abondance de Chitinozoaires, la présence de quelque Acritarches, des Scolécodontes (mâchoires d'Annélides), des Tasmanites (algues marines), des Euryptérides (poils de Gigantotraccés), des Leiosphères, on note aussi la présence d'une rare microflore (spores), du tissu végétal y est présent aussi.

Les échantillons analysés sont répartis comme suit :

Sondage	Carottes	Unités	Profondeurs (m)	Total
C	Cr-4		4231.27	13
			4233.55	
			4235.76	
			4239.42	
			4243.36	
			4246.27	
	Cr-5	A1 ?	4460.68	
			4461.73	
	Cr-6	M2 ?	4517.69	
			4524.17	
			4525.95	
			4527.10	
			4530.75	

Tab.III.07 : tableau de répartition des échantillons du sondage C.

Remarque : les unités indiquées dans le tableau si dessus sont à préciser puisqu'elles sont définies sur la base de la lithologique.

- **Carotte 6 intervalle de 4530.75m à 4524.17m :**

Les échantillons de cette carotte se sont révélés azoïques, on note la présence de matière organique amorphe carbonisée.

Age : indatable

- **Biozone à *Cingulochitina serrata* et *Cingulochitina convexa***

Cette biozone est la biozone de coexistence de l'espèce *Cingulochitina serrata* et *Cingulochitina convexa* qui date le **Ludfordien supérieur-Pridoli inférieur**

Ces deux espèces sont en association avec : *Pterochitina perivelata*, *Calpichitina corinnae*, *Angochitina* cf. *filosa*, *Ancyrochitina* sp., *Ramochitina* sp.

On note aussi la présence de Scolécodontes. Cet intervalle a révélé de rares palynomorphes

Environnement de dépôt : la présence de chitinozoaires et l'absence des spores indique un milieu marin franc.

Cette biozone couvre la partie sommitale de la Carotte 6 (4517.69m) et la Carotte 5 (4461.73m à 4460.68m)

- **Biozone à *Margachitina elegans***

C'est une biozone d'acmé (abondance maximale) de l'espèce *Margachitina elegans*, elle est observée en chaîne ou en individu isolé, elle caractérise le **Pridoli moyen**.

Cet espèce est présente en association avec : *Urnochitina urna*, *Pseudoclatrochitina carmenchui*, *Margachitina corta*, *Urnochitina kameli*, *Ancyrochitina regularis*, *Cingulochitina serrata*, *Cingulochitina convexa*, *Cingulochitina cylindrica*, *Ancyrochitina brevis*, *Ancyrochitina fragelis*, *Ancyrochitina* sp., *Fungochitina* cf. *filosa*.

Les Acritarches présents sont : *Diexallophasis denticulata*, *Diexallophasis denticulata*, *Triangulina alargada*, *Leoniella carminnae*, *Leiofusa estrcha*, *Visbysphaera dilatispinosa*, *Veryhachium trispinosum*, *Multiplicisphaeridium ramusculosum*, ils sont caractéristiques du Pridoli.

On note aussi l'existence de spores tel que : *Ambitisorite* sp., *Archeozonotriletes chulus*, ainsi que du tissu végétal, des Scolécodontes (mâchoires d'Annélides), des Tasmanites (algues marines), des Euryptérides (poils de Gigantotraccés) et des Leiosphères.

La biozone citée si dessus couvre la carotte 4 (4246.27m à 4231.27m)

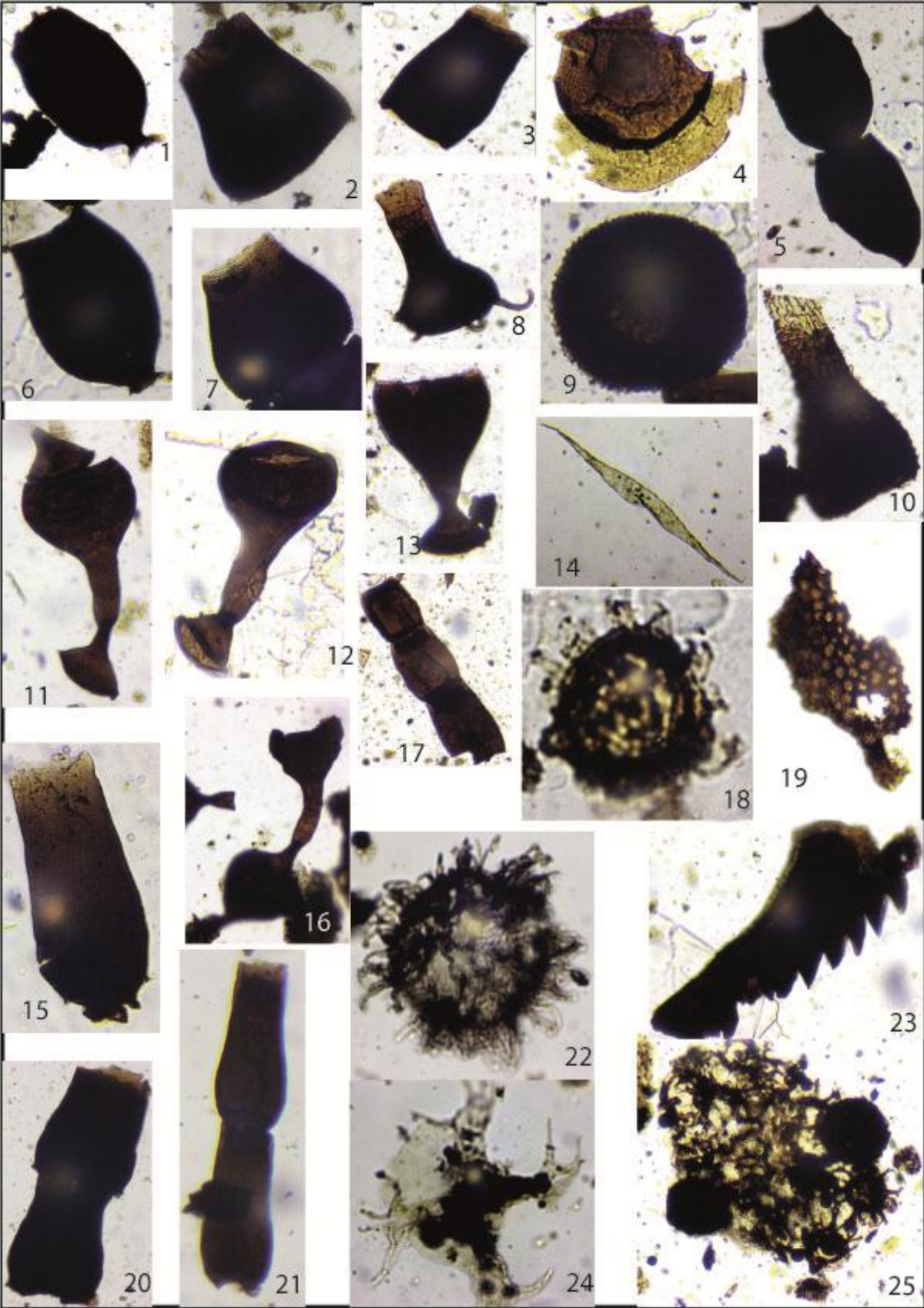
Environnement de dépôt : la présence de chitinozoaires, d'acritarches et de spores indique un milieu marin à influence continentale.

SONDAGE C

PLANCHE I

Grossissement x500 sauf indication

- Fig.1 : *Urnochitina kameli*, n. sp (EISENACK), Cr-4, Ech. 4246.27m
- Fig.2 : *Pseudoclathrochitina carmenchui*, (CRAMER), Cr-4, Ech. 4243.36m
- Fig.3 : *Cingulochitina serrata*, (TAUGOURDEAU et JEKHOWSKY), Cr-4, Ech. 4246.27m
- Fig.4 : *Pterochitina perivelata*, (EISENACK), Cr-6, Ech 4517.69m
- Fig.5 : *Urnochitina urna*, (EISENACK), chaine de deux spécimens, Cr-4, Ech. 4246.27m
- Fig.6 : *Urnochitina urna*, (EISENACK), Cr-4, Ech. 4243.36m
- Fig.7 : *Pseudoclathrochitina carmenchui*, (CRAMER), Cr-4, Ech.4231.27m
- Fig.8 : *Ancyrochitina regularis*, (TAUGOURDEAU et JEKHOWSKY), Cr-4, Ech. 4239.42m
- Fig.9 : *Calpichitina corinnae*, (JAGLIN), Cr-5, Ech.4460.68m
- Fig.10 : *Angochitina cf. filosa*, (EISENACK), Cr-5, Ech. 4461.73m
- Fig.11 : *Margachitina elegens*, (TAUGOURDEAU et JEKHOWSKY), Cr-4, Ech.4243.36m
- Fig.12 : *Margachitina elegens*, (TAUGOURDEAU et JEKHOWSKY), Cr-4, Ech. 4233.55m
- Fig.13 : *Margachitina corta*, (CRAMER), Cr-4, Ech. 4239.42m
- Fig.14 : *Leifusa estrecha*, (CRAMER), Cr-4, Ech.4231.27m
- Fig.15: *Cingulochitina convexa*, (LAUFELD), Cr-4, Ech.4231.27m
- Fig.16 : *Margachitina elegens*, (TAUGOURDEAU et JEKHOWSKY), chaine de deux individus, Cr-4, Ech.4243.36m
- Fig.17 : *Cingulochitina cylindrica*, (TAUGOURDEAU et JEKHOWSKY), Cr-4, Ech. 4239.42m
- Fig.18 : *Visbysphaera sp.*, Gr x 1000, Cr-4, Ech. 4233.55m
- Fig.19 : Tissu végétal, Cr-4, Ech.4231.27m
- Fig.20 : *Cingulochitina serrata*, chaine de deux individus (TAUGOURDEAU et JEKHOWSKY), Cr-5, Ech. 4461.73m
- Fig.21 : *Cingulochitina convexa*, (LAUFELD), Cr-4, Ech.4231.27m
- Fig.22 : Acritarce, Gr x 1000, Cr-4, Ech. 4239.42m
- Fig.23 : Scolécodonte (mâchoire d'Annélides), Cr-4, Ech. 4233.55m
- Fig.24 : *Leionella carminae* (CRAMER), Gr x 1000, Cr-4, Ech.4231.27m
- Fig.25 : Amas de *Multiplicisphaeridium ramusculosum*, (DEFLANDRE) LISTER, Cr-4, Ech. 4239.42m



SONDAGE C**PLANCHE II**

Fig.1: Palynofaciès représentant l'association de *Margachitina elegans* et *Urnochitina urna*, Gr x 100, Cr-4, Ech.4243.36m

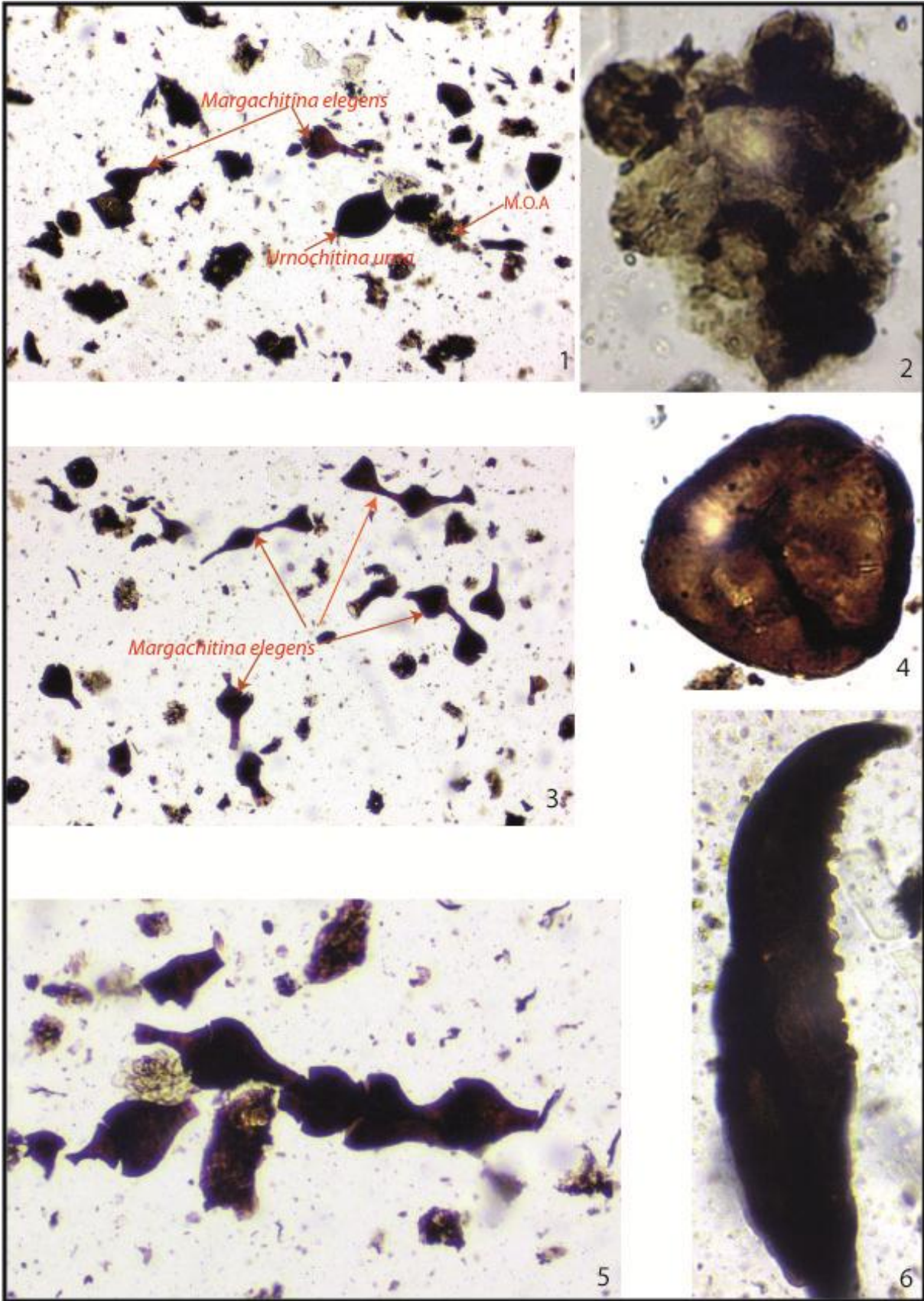
Fig.2 : Amas de leiosphères, Gr x 500, Cr-4, Ech. 4239.42m

Fig.3 : Palynofaciès illustrant la richesse de l'échantillon en *Margachitina elegans*, Gr x 100, Cr-4, Ech.4243.36m

Fig.4 : *Archaeozonotriletes chulus*, (CRAMER), Gr x 500, Cr-4, Ech. 4239.42m

Fig.5 : *Margachitina elegans*, (TAUGOURDEAU et JEKHOWSKY), chaîne de quatre individus, Gr x 200, Cr-4, Ech.4243.36m

Fig.6 : Scolécodonte (machoire d'Annélides), Gr x 500, Cr-4, Ech. 4239.42m



III.4. Conclusion :

Les résultats obtenus au cours de ce travail montrent la répartition spatiale de la biozone à *Cingulochitina convexa* – *Cingulochitina serrata* d'âge Ludfordien terminal- Pridoli inférieur et la biozone à *Margachitina elegans* (la biozone à *Urnochitina urna* - *Pseudoclatrochitina carmenchui* pour le puit A) d'âge Pridoli moyen, correspondant respectivement aux unités lithologiques A et B1.

Les unités lithostratigraphiques, identifiées sur les carottes, ne correspondent pas souvent aux résultats biostratigraphiques. Les résultats obtenus par cette étude biostratigraphique montre une concordance entre les âges obtenus et les unités lithologiques en se basant sur le travail de référence de Jardiné Yapaudjian, 1968.

L'intervalle du sondage C (Carotte 06, intervalle 4530.75m – 4524.17m) n'a pu être daté par manque de marqueurs biostratigraphiques, ce qui n'a pas permis de préciser l'unité lithostratigraphique correspondante.

Sur la base de ce travail on peut attribuer globalement un âge aux différentes unités lithostratigraphiques :

- Unités "A" : Ludfordien supérieur-Pridoli inférieur.
- Unités "B" : Pridoli moyen.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci dessous (Tab.III.09) :

Puit A			Puit B			Puit C		
Cote	Age	unités	Cote	Age	unités	Cote	Age	Unités
Cr 03 (3706.45m –	Pridoli moyen	B1	Cr 02 et 01 (3797.41m – 3650.49m)	Pridoli moyen	B1	Cr 04 (4246m – 4231.27m)	Pridoli moyen	B1
Cr 06, 05 et 04 (4047.15m – 3817.80m)	Ludfordien supérieur – Pridoli inférieur	A	Cr 03 et 02 (3990.73m – 3801.42m)	Ludfordien supérieur – Pridoli inférieur	A	Cr 06 et 05 (4517.69m – 4460.68m)	Ludfordien supérieur – Pridoli inférieur	A
						Cr 06 (4530.75– 4524.17m)	Indatable	

Tab.III.09 : tableaux récapitulatif des résultats obtenus par l'étude biostratigraphique.

CONCLUSION GENERALE

Le travail de sédimentologie a fait ressortir les caractéristiques lithologiques et sédimentologiques des unités du silurien argileux gréseux étudiées. L'environnement de dépôt est celui d'avant plage (shoreface) à marin ouvert (offshore).

L'étude palynologique a permis de donner un âge à ces échantillons grâce aux biozones identifiées, et les placer dans leurs unités correspondantes.

L'unité B1 et A du silurien argileux gréseux (SAG) ont été en effet identifiées.

Les résultats obtenus nous ont permis de faire un essai de corrélation entre les trois sondages étudiés (fig.IV.01)

L'analyse de cette corrélation fait ressortir que l'unité A d'âge Ludfordien supérieur – Pridoli inférieur se retrouve dans les trois sondages, son environnement de dépôt n'a pas changé dans ces derniers, il varie en général entre l'avant plage moyen (middle shoreface) et le marin ouvert (offshore). Cette unité est plus argileuse que gréseuse.

L'unité B1 d'âge Pridoli moyen se retrouve également dans les trois sondages étudiés, son environnement de dépôt n'a pas aussi changé dans ces puits, il varie entre l'avant plage (shoreface) et le marin ouvert (offshore). L'unité A est plus gréseuse qu'argileuse, elle peut constituer un bon réservoir.

Toute étude sédimentologique doit être menée d'une étude biostratigraphique, afin de situer ses unités dans leur contexte chronologique et de suivre leur extension latérale, car les lignes de faciès peuvent changer ou disparaître à la faveur du changement de l'environnement de dépôt ou d'une érosion.

PUIT B

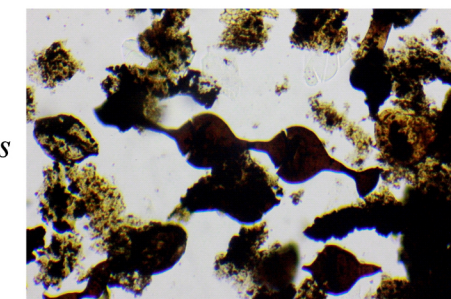
Carotte	Profondeur	Lithologie	Environnement de depot	Age	Unites	Biozone
01	3645	[Lithologie]	Lower shoreface	Pridoli moyen	B1	<i>Margahitina elegans</i>
	3648		Upper shoreface			
	3651	[Lithologie]	Offshore			
	3654		Middle shoreface			
	3657					
3660	[Lithologie]	Middle shoreface				
3663						
02	3892	[Lithologie]	Middle shoreface	Ludfordien superieur - Pridoli inferieur	A	<i>convexa/serrata</i>
	3795					
	3798	[Lithologie]	Upper shoreface			
	3804		Middle shoreface			
3810						
03	3973	[Lithologie]	Middle shoreface			
	3976		Offshore			
	3979	[Lithologie]	Upper shoreface			
	3982		Middle shoreface			
	3985					
	3988	[Lithologie]	Middle shoreface			
	3991					

PUIT A

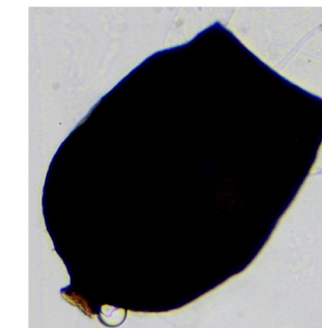
Carotte	Profondeur	Lithologie	Environnement de depot	Age	Unites	Biozone
03	3691	[Lithologie]	Middle shoreface	Pridoli moyen	B1	<i>U.urna / P.carmenchi</i>
	3694		Offshore			
	3697	[Lithologie]	Lower shoreface			
	3700		Middle shoreface			
	3703					
	3706	[Lithologie]	Offshore			
	3709					
04	3813	[Lithologie]	Lower shoreface	Ludfordien superieur - Pridoli inferieur	A	<i>convexa/serrata</i>
	3816		Offshore			
	3819	[Lithologie]	Upper shoreface			
	3822		Lower shoreface			
	3825					
	3828	[Lithologie]	Middle shoreface			
	3831					
05	3868	[Lithologie]	Upper shoreface	Ludfordien superieur - Pridoli inferieur	A	<i>convexa/serrata</i>
	3871					
	3874	[Lithologie]	Lower shoreface			
	3877		Middle shoreface			
	3880					
	3883	[Lithologie]	Lower shoreface			
	3886					
06	4032	[Lithologie]	Foreshore	Ludfordien superieur - Pridoli inferieur	A	<i>convexa/serrata</i>
	4035		Upper shoreface			
	4038	[Lithologie]	Lower shoreface			
	4041		Middle shoreface			
	4044					
	4047	[Lithologie]	Upper shoreface			
	4050					

PUIT C

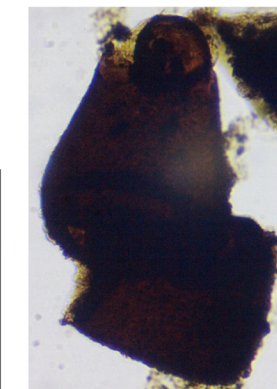
Carotte	Profondeur	Lithologie	Environnement de depot	Age	Unites	Biozone
04	4229	[Lithologie]	Middle shoreface	Pridoli moyen	B1	<i>Margahitina elegans</i>
	4232		Offshore			
	4235	[Lithologie]	Lower shoreface			
	4238					
	4241					
	4244	[Lithologie]	Offshore			
	4247					
05	4453	[Lithologie]	Upper shoreface	Ludfordien superieur - Pridoli inferieur	A	<i>convexa/serrata</i>
	4456					
	4459	[Lithologie]	Offshore			
	4462					
	4462					
	06	4515	[Lithologie]			
4518		Upper shoreface				
4521		[Lithologie]	Offshore			
4524			Lower shoreface			
4527						
4530		[Lithologie]	Offshore			
4533						



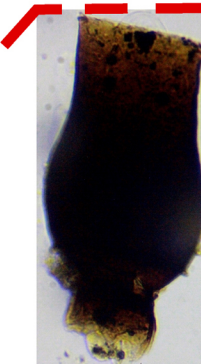
M.elegans



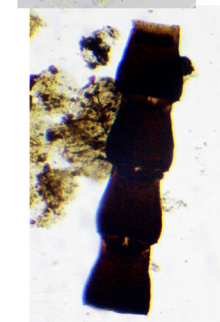
U.urna



P.carmenchi



C.convexa



C.serrata

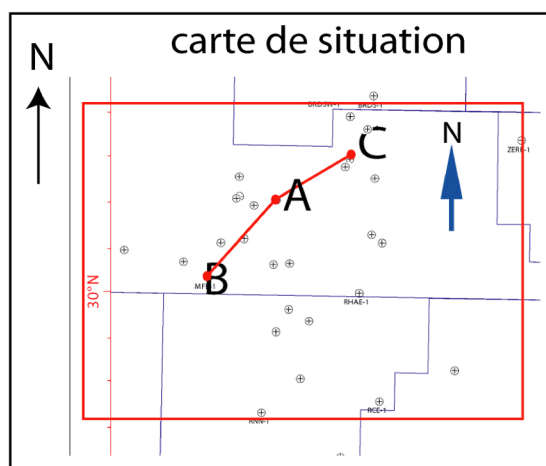


Fig.IV.01. Essai de corrélation entre les sondages étudiés

*Références
bibliographiques*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

BEICIP- FRANLAB, (2014). Etude de la fracturation des Quartzites de Hamra et évaluation du potentiel pétrolier des Réservoirs des unités A2 et M2 du Silurien Argilo-gréseux (SAG) dans la région de Rhourde Nouss-Brides.

BEICIP- FRANLAB- HEADQUART, (2015). Sedimentological core description workshop, sonatrach

BEKKOUCHE D., (1992). Le Silurien supérieur - Dévonien inférieur du bassin de Ghadamès (Sahara oriental Algérien) : lithostratigraphie, sédimentologie et diagenèse des réservoirs gréseux.

BEUF S., BIJU-DUVAL B., DE CHARPAL O., ROGNON D., GARIEL O., BENNACEF A., (1971). Les grès de Paléozoïque inférieur au Sahara (sédimentation et discontinuité évolution structurale d'un Craton), *Publ. : C.F.P. Coll.* « sciences et technique du pétrole ».

BOOTE, D.R.D., CLARK-LOWES, D.D., TRAUT, M.W., (1998). Palaeozoic petroleum systems of North Africa. In: Macgregor, D.S., Moody, R.T.J., Clark-Lowes, D.D. (Eds.), *Petroleum Geology of North Africa*, vol. 132. Geological Society of London, SpecialPublication.

BOUDJEMA A., (1987). Evolution structural du bassin pétrolier "triasique" du Sahara Nord oriental (Algérie). *Thèse Doct.d'Etat*, Univ. P et M. Curie – Paris (France).

BOUMENDJEL K., (1987). Les chitinozoaire du Silurien supérieur et Dévonien du Sahara algérien. *Thèse doct.,Univ. Rennes.*

BOUMENDJEL K. et al. (1988). Biostratigraphie des miospores et des Chitinozoaires du Silurien supérieur et du Dévonien dans le Bassin d'Illizi (SE du Sahara Algérien) *Géobios*, n°21, fasc.3.

BURKE, K., MACGREGOR, D.S., CAMERON, N.R., (2003). Africa's petroleum systems: four tectonic Aces in the past 600 million years. In: Arthur, T.J., Macgregor, D.S., Cameron, N.R. (Eds.), *Petroleum Geology of Africa: New Themes and Developing Technologies*, vol. 207.

BUSSON G., (1970). Le mésozoïque saharien. Deuxième partie : essai de synthèse des données de sondages algéro-tunisiens.

CHATEAUNEF JJ et REYRE Y., (1974). Eléments de palynologie. Applications géologiques.

DEBAILI A et DJAZAIRI S (2010). Pétrographie, Sédimentologie et Stratigraphie Séquentielle du Dévonien inférieur de la partie Nord Oriental du bassin de l'Ahnet, Mémoire de Master.

DOWNIE C., (1984). Acritarchs in british Stratigraphy. *Geol.Soc.London*, Special Report, N°17, pp.1-26

FABRE J., (1976). Introduction à la géologie du Sahara Algérien et des régions voisines. Soc. Nat. Ed. SNED.

FENSOME R.A, MACRAE R.A ET WILLIAMS G.L (1994). Evolution des dinoflagellés et variation de leur diversité dans le temps.

GALEAZZI S. O. POINT, N. HADDADI, J. MATHER, D. DRUESNE, (2010). Regional geology and petroleum systems of the Illizi–Berkine area of the Algerian Saharan Platform: An overview, *Marine and Petroleum Geology*, 27.

GRAHN Y. (2005). Silurian and lower Dévonian chitinozoan taxonomy and biostratigraphie of the Trambetas group, Amazonas basin, Northern Brazil.

HENNICHE M. (2002). Architecture et modèle de dépôts D'une série sédimentaire paléozoïque en contexte cratonique : le siluro-dévonien du bassin d'illizi (sahara oriental, algérie) Thèse Doct, univ de Renne.

IFP-SONATRACH, (1999). Illizi-Berkine Dévonian réservoir consortium.

JARDINE & al. (1974). Atlas des Acritarchs

JARDINE S. ET YAPAUDJIAN L. (1968). Lithostratigraphie et Palynologie du Dévonien–Gotlandien gréseux du Bassin de Polignac (Sahara) » *Revue de l'institut Français du pétrole*.

JARDINE S. ET al. (1974). Distribution stratigraphique des Acritarches dans le Paléozoïque du Sahara algérien » *Review of Palaeobotany and Palynology*

KADI B. (2013). Comparaison de l'histoire thermique des bassins de Timimoun et de Berkine impact sur l'évolution des argiles et de la matière organique. Thèse Doct, USTHB. Alger

KHODJAOUI A. (2008). Le Dévonien inférieur du bassin de Reggane (Sahara occidental algérien) Sédimentologie, Biostratigraphie et Stratigraphie séquentielle, Mémoire de Magister, UMBB, Boumerdes.

LAUFELD S., (1974). Silurian chitinozoan from Gotland: Fossils and Strata

LEGRAND P., (1985). Réflexions sur la transgression Silurien au Sahara algérien. 110^e Congr. Nat. des sociétés savantes, Montpellier, 1985, fasc. VI. géologie africain-colloque série. Paris C. T. H.S.

LE HERISSE A., ET al. (2000). Palynological characterization and dating of the Tiangua formation, serragrande group, Northern Brazil.

LE HÉRISSÉ A. (2002). Paleoecology, biostratigraphy and biogeography of late Silurian to early Devonian acritarches and prasinophycean phycomata in well A161, Western Libya, North Africa. Review of Palaeobotany and Palynology.

MEKAOUI I et RAMI H. (2014). Caractérisation des unités du réservoir du Silurien Argileux Gréseux F6 dans la région de Rhourde Hamra (Bassin de Berkine), Memoire de Master, USTHB, Alger.

MOREAU-BENOIT A., COQUEL R. & LATRECHE S. (1992). Etude palynologique du Dévonien du bassin d'Illizi (Sahara Oriental algérien). Approche biostratigraphique. Géobios, n°26, fasc.1.

MOREAU-BENOIT A., COQUEL R. & LATRECHE S., (1993). Etude palynologique du Devonien du bassin d'Illizi (Sahara Oriental Algérien), Approche biostratigraphique. in Geobios N°26, fasc.1. pp.3-31.

NESTOR V. (2011). Chitinozoan biostratigraphy of the Pridoli series of the East Baltic

PARIS F. (1981). Les chitinozoaires dans le Paléozoïque du Sud-Ouest de l'Europe (cadre géologique – étude systématique – biostratigraphie).

PARIS F., LE HÉRISSÉ A. et al. (2012). New data on the Silurian-Dévonian palaeontology and biostratigraphy of Bolivia.

RICHARDSON, J.B., AND MCGREGOR, D.C., (1986). Silurian and Devonian spore zones of the old red sandstone continent and adjacent regions.

SONATRACH, (1991). Bassin de Ghadamès - Evaluation pétrolière. (Rapport interne de Sonatrach).

STEMMANS P. et al. (2008). Biostratigraphie des liospores du siluro-dévonien dans la région de la rivière Urubu, Ouest du bassin Amazonien, Nord Brésil.

TAUGOURDEAU P et MAGLOIRE L. (1963). Mise au point sur la classification générique des chitinozoaires.

VERNIERS J. et al. (1995). A global chitinozoa biozonation for the Silurian.

WEC (Well Evaluation Conferences) (2005). (*Rapport inédit*).

WEC (Well Evaluation Conferences) (2007). (*Rapport inédit*).

WRONA, R. (1980). Upper Silurian-Lower Dévonian chitinozoa from the subsurface of southeastern Poland.

Xavier Devleeschouwer (2009). Cours de sédimentologie (GEOL-F-204) Structures Sédimentaires, Université Libre de Bruxelles (ULB).

Annexe



Carotte 06 du puit A



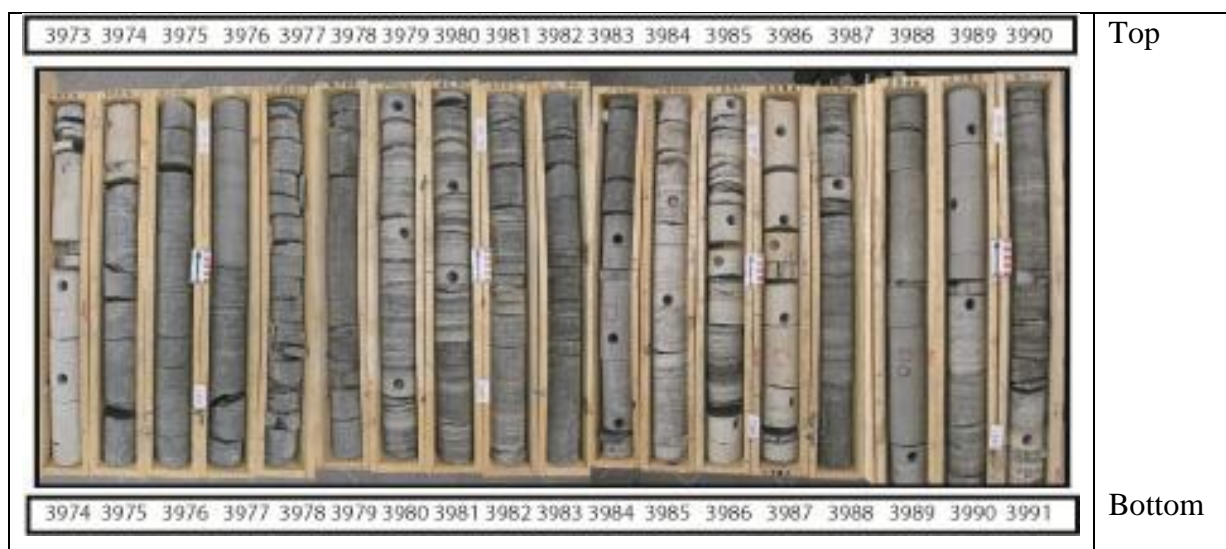
Carotte 05 du puit A



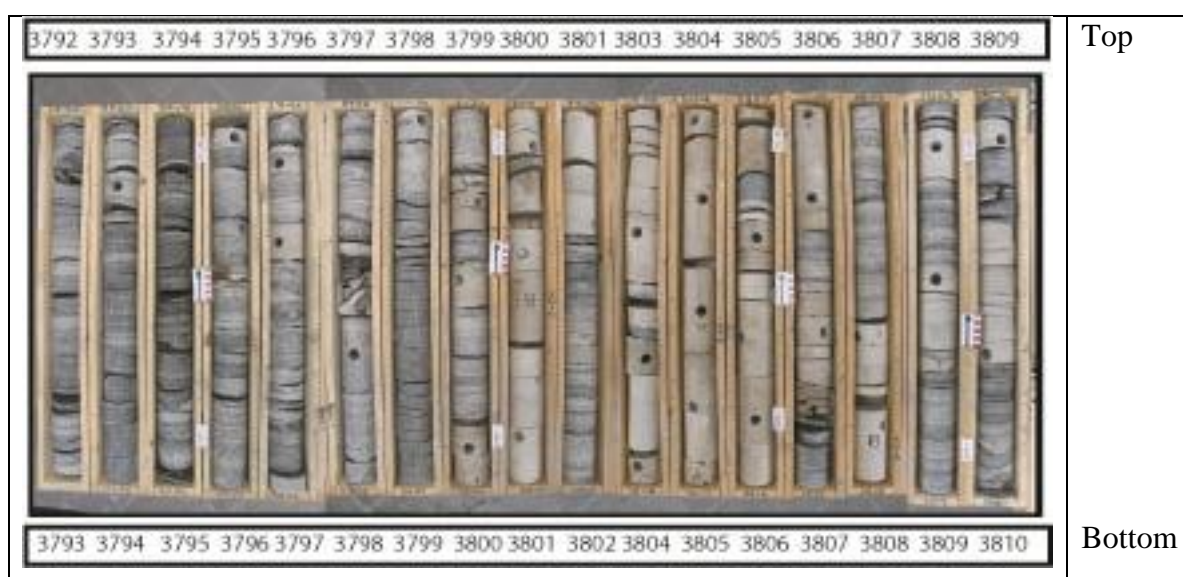
Carotte 04 du puit A



Carotte 03 du puit A



Carotte 03 du puit B



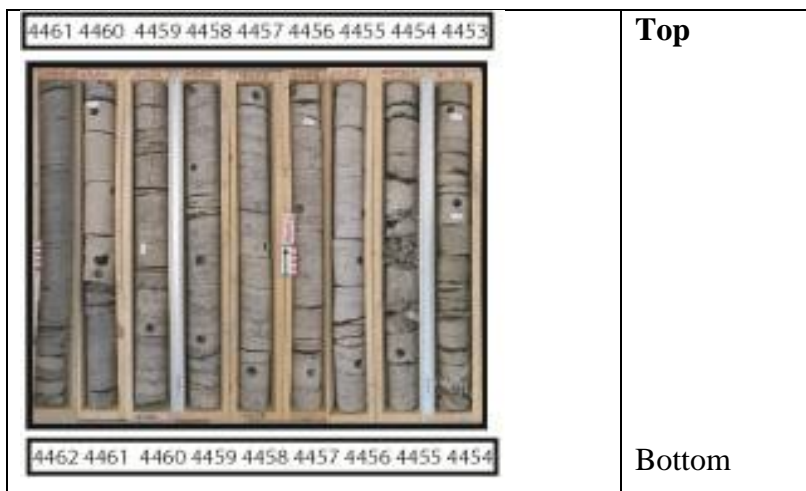
Carotte 02 du puit B



Carotte 01 du puit B



Carotte 06 du puit C



Carotte 05 du puit C



Carotte 04 du puit C