

Sommaire

	<u>Pages</u>
Introduction générale.....	1
Première partie : Cadre géographique et géologie du secteur.....	2
Chapitre I : Cadre géographique et géologie du secteur.....	3
I – 1 Localisation géographique de la zone d'étude.....	3
I – 2 Contexte géologique régional.....	5
I – 3 Géologie du Crétacé au Nord Ouest du bassin.....	7
Deuxième partie : Données biostratigraphiques.....	15
Chapitre II : Les données biostratigraphiques du secteur.....	16
II – 1 Définition de la biostratigraphie.....	16
II – 2 Distribution stratigraphique des biozones dans 10 sondages du secteur.....	16
II – 3 Biostratigraphie de Gadiaga-1 (Gd-1).....	22
II – 4 Corrélations biostratigraphiques.....	24
Troisième partie : méthodes diagraphiques.....	25
Chapitre III : Méthodologie.	26
III – 1 Définition des diagraphies différées.....	26
III – 2 Principe.....	26
III – 3 Les diagraphies électriques.....	28
III – 4 Diagraphies nucléaires.....	29
III – 5 Conclusion.....	34
Chapitre IV : Application de méthode géophysique sur les réservoirs du Crétacé supérieur.....	35
IV – 1 Introduction.....	35
IV – 2 Techniques utilisées	35
IV – 3 Description lithologique des puits.....	37
IV – 4 Corrélations.....	48
Conclusion générale.....	56

Résumé

La présence d'hydrocarbures dans une couche profonde ne peut, jusqu'à présent, être prouvée qu'après le forage d'un puits. Les diagraphies dans ce sens constituent un outil indispensable pour l'évaluation des réservoirs et la connaissance géologique des formations traversées.

Dans ce présent mémoire nous traitons la biostratigraphie et la corrélation des réservoirs par l'application de méthodes diagraphiques au niveau des régions de Diam Niadio et de Gadiaga.

L'interprétation des événements paléontologiques disponibles dans le secteur en intégration avec la géologie et les données diagraphiques nous ont permis d'établir une corrélation stratigraphique des corps de sable du Crétacé dans les différents puits du secteur.

Le potentiel pétrolier des régions de Dakar et Thiès a été prouvé par d'innombrables études faites lors des travaux d'exploration. Ainsi, plusieurs réservoirs à hydrocarbures ont été mis en évidence dans de nombreux forages.

Nous avons tenté de repérer les réservoirs potentiels et d'essayer de les corrélérer grâce à l'analyse et à l'interprétation des diagraphies différentes. En effet, la corrélation entre les diagraphies nous permet de suivre la continuité des réservoirs du secteur, mais aussi la variation de la lithologie. Ces réservoirs appartiennent au Crétacé Supérieur, il s'agit principalement de faciès sablo gréseux du Sénonien inférieur, du Campanien et surtout du Maastrichtien. Ces faciès sablo gréseux sont plus nombreux à l'Est et passent latéralement à des argiles vers l'Ouest du secteur.

Les corrélations faites à l'aide des diagraphies différentes, principalement le Gamma Ray (GR) de douze puits (Gd-1, Gd-2, Sa-1, Sa-3, Sa-4, Sa-5, Rd-2, WB-1, DN-4, DN-14, DN-15B et KA-2), ont montré que la qualité des roches réservoirs varie d'Est en Ouest et que la distribution de ces réservoirs dans le secteur se présente sous forme de lentilles, le plus souvent peu épais, intercalés avec des formations argileuses.

Mots clés : Crétacé, Diagraphie, Forage, Gamma Ray, Hydrocarbures, Maastrichtien, PETROSEN, Réservoir, Sénégal

Introduction générale

PETROSEN dans son souci de mettre en évidence et de promouvoir les ressources pétrolières du bassin sénégalais, procède depuis 2005 à une intense campagne de forages en collaboration avec FORTESA International Sénégal. C'est dans ce cadre que deux forages ont été réalisés entre fin 2005 et début 2006. Il s'agit des puits Sadiaratou-1 et Diam Niadio-15b (SA-1 et DN-15b), auxquels j'ai eu l'honneur de participer.

La présente étude entre dans le cadre de l'évaluation continue du potentiel pétrolier en utilisant de nouvelles techniques et en addition aux nouvelles données acquises. Les diagraphies différentes constituent sans aucun doute un outil incontournable pour la réalisation de ce travail et nous permettent d'avoir une connaissance géologique des formations traversées ainsi qu'une évaluation quantitative et qualitative des réservoirs.

Ce travail est le fruit d'une collaboration entre la Société des Pétroles du Sénégal (PETROSEN) et le département de Géologie de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, et comporte trois parties réparties en quatre chapitres :

- Le premier chapitre concerne la présentation géographique, géologique et tectonique du secteur ;
- Le deuxième chapitre présente la biostratigraphie du secteur ainsi que les essais de corrélation des étages à partir de cette technique ;
- Le troisième chapitre est consacré à la présentation des méthodes diagraphiques utilisées ;
- Enfin, le quatrième chapitre porte sur l'application de méthodes diagraphiques pour la corrélation des formations et des réservoirs du Crétacé supérieur.

**Première partie : Cadre
géographique et géologique et du
secteur**

Chapitre I : Cadre géographique et géologique du secteur

I – 1 Localisation géographique de la zone d'étude

La zone d'étude est localisée dans la partie occidentale du Sénégal au niveau des régions administratives de Thiénès et Dakar. Elle couvre une superficie de près de 5052 km² (Fig.1).

Le relief variable; est fait d'un modèle dunaire orienté globalement NE-SW le long du littoral et une zone plate de plus en plus accidentée vers l'Est dont le point culminant est le horst de N'diass avec une altitude de 90m.

Le couvert végétal est constitué par une savane arbustive clairsemée de baobabs. Cette savane est partiellement soumise à une culture intensive notamment dans la zone des Niayes où sont pratiquées des cultures maraîchères toute l'année.

Le climat est de type sahélien avec une influence littorale au niveau de la presqu'île de Dakar.

La température moyenne est de 25° C et la pluviométrie moyenne annuelle oscille entre 200mm et 700mm.

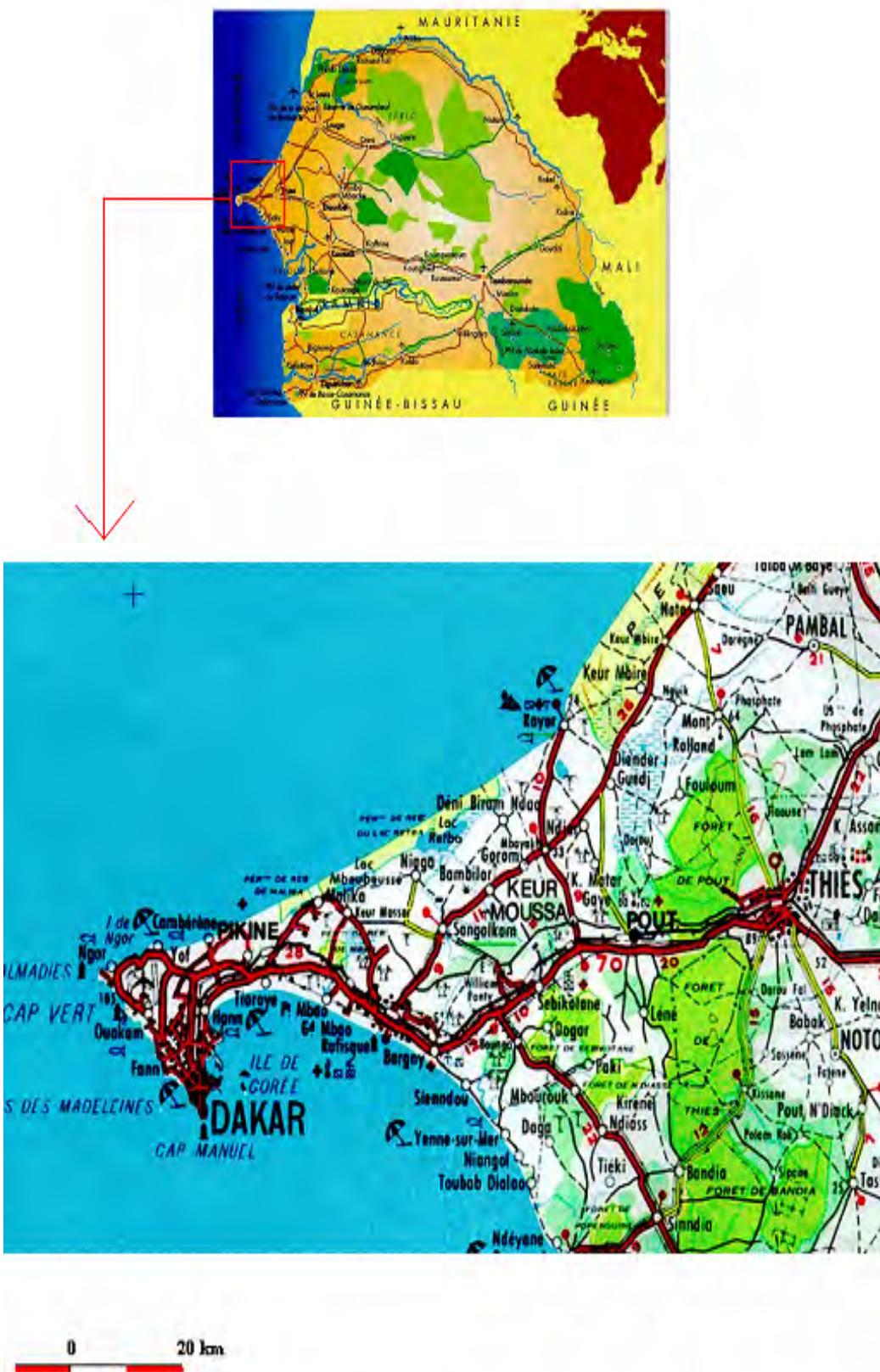


Fig. 1: Localisation géographique de la zone d'étude

I – 2 Contexte géologique régional

Le bassin du Sénégal fait partie du vaste bassin côtier qui s'étend de la Mauritanie au Nord à la république de Guinée au Sud, en passant par le Sénégal, la Gambie, et la Guinée Bissau (bassin MSGBC). C'est un bassin de type marge passive.

Il couvre une superficie de 350 000 km² et présente 1300 km de côte depuis le Cap Blanc au Nord de la Mauritanie jusqu'à la zone de fracture guinéenne au Sud (fig.2). Il présente une largeur de 560 km au niveau de Dakar, et la puissance des formations méso-cénozoïques atteint 12 000 m au large de la Casamance (Sud du Sénégal).

Ce bassin est formé d'assises sédimentaires mésozoïques et cénozoïques dont les plus anciennes reconnues par forage datent du Jurassique supérieur (Castelain et al., 1965 ; Bellion et Guiraud, 1982). Les formations de la couverture reposent sur un substratum constitué au Sud par le Siluro-Dévonien du bassin de Bowé, à l'Est par la chaîne panafricaine et hercynienne des Mauritanides et au Nord par le socle précambrien granitisé et métamorphisé de la dorsale de Reguibat (Dillon et Sougy 1974 ; Lecorché et al., 1985 ; Villeneuve et Da Rocha Araujo, 1984), et à l'Ouest il est ouvert sur l'océan atlantique.

Il présente globalement une structure simple, caractérisée par un socle s'abaissant d'Est en Ouest. Cependant, le fond est affecté par une tectonique en touches de piano marquée par la formation de nombreuses failles normales qui ont pu rejouer à différentes reprises (Bellion, 1987). L'épaisseur et l'âge des assises sédimentaires du bassin permettent de distinguer un domaine oriental à croûte continentale et un domaine occidental à croûte océanique, entre ces deux domaines s'intercale une zone de transition chevauchée par la zone d'étude.

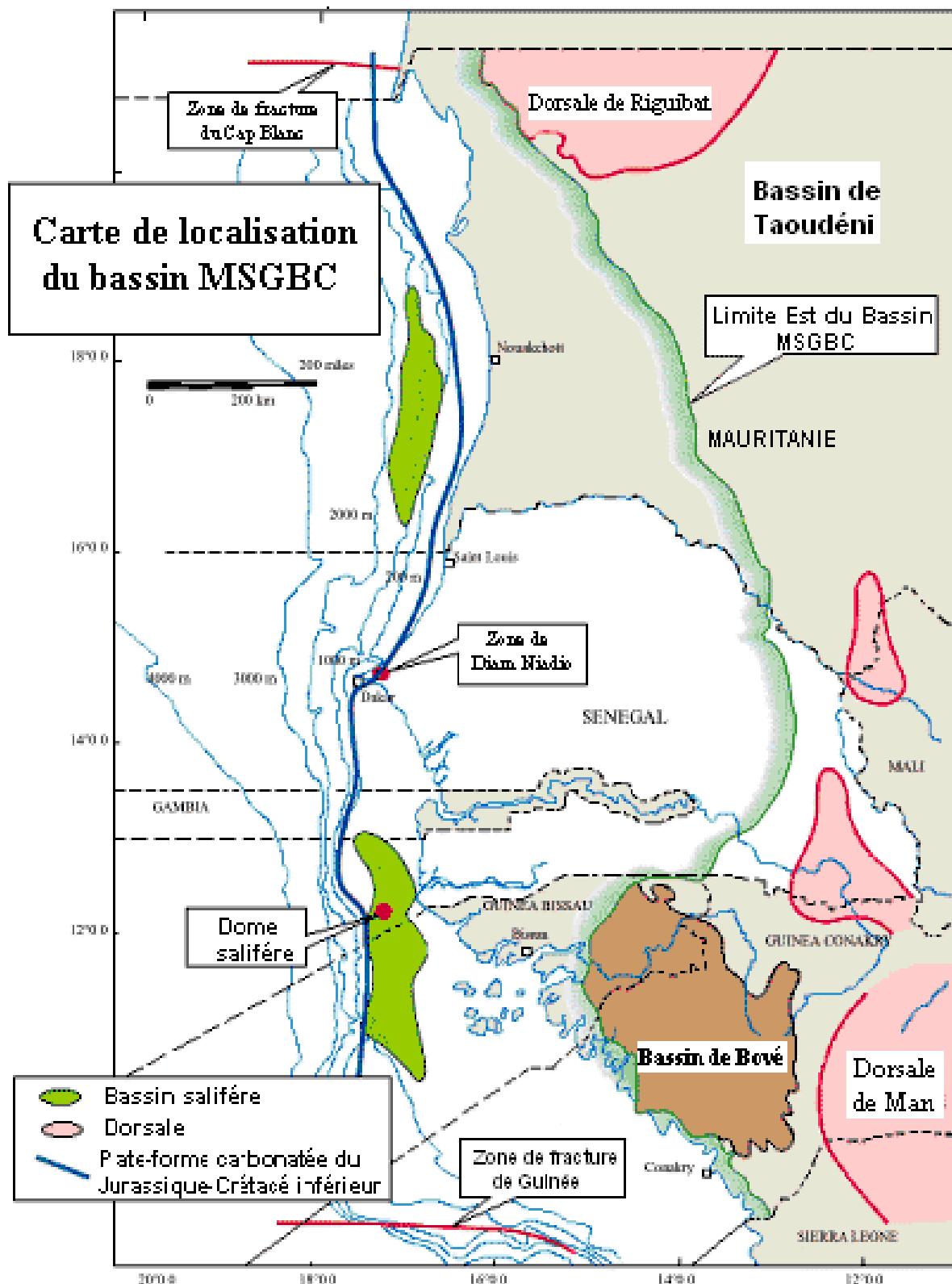


Fig.2: Carte de la localisation du bassin Mauritanie-Sénégal-Gambie-Guinée Bissau-Guinée Conakry (MSGBC) (PETROSEN)

I – 3 Géologie du Crétacé au nord ouest du bassin

Le bassin sénégalais occupe la partie centrale du large bassin côtier du nord Ouest africain. C'est un bas sin de type marge passive s'ouvrant vers l'ouest sur l'océan atlantique.

La phase de fracturation et les mouvements tectoniques associés au début du Trias, le morcellement du Gondwana ainsi que l'ouverture de l'Atlantique ont abouti à une subdivision du bas sin en sections sédimentaires, pré rift (Paléozoïque), syn rift (Permien-Jurassique moyen) et post rift (Jurassique moyen-actuel) (Fig. 3) (Arjuna Ressources Limited, 1989).

La colonne lithostratigraphique (fig. 3) montre que l'Ouest du bassin du Sénégal est essentiellement constitué de sédiments datant de l'Oxfordien à l'Actuel (Bellion et Guiraud, 1984) dépassant 8 000 m d'épaisseur dans la région Ouest à Dakar (Castelain, 1965 ; Spengler et al. 1966) et reposant sur un socle qui n'a jamais été atteint en forage.

Cette couverture est composée de roches déposées dans un environnement de plate-forme calcaires du Jurassique supérieur, argiles intercalées de grès fin et de calcaires au Crétacé, marnes, calcaires au Tertiaire (Atlantic Ressources Limited, 1986).

Le Crétacé montre l'existence de roches mères et de réservoirs d'hydrocarbures ce qui fera l'objet d'une étude à la troisième partie.

I – 3 – 1 Le Crétacé inférieur

Le Crétacé inférieur correspond au Néocomien, à l'Aptien et à l'Albien. Dans l'off shore, ces trois étages peuvent être différenciés parce qu'ils sont essentiellement marins et ont gardé leurs faunes et leurs flores caractéristiques. Sur la majeure partie de l'on shore, le Crétacé inférieur est représenté par des dépôts continentaux détritiques qu'on ne peut différencier en étages.

La série néocomienne est représentée par des calcaires micritiques légèrement argileux à intercalations de marnes, des calcaires dolomitiques, des dolomies et de rares passés de grès à grains fins.

Vers l'Est, l'influence continentale est évidente car les détritiques deviennent plus abondants et grossiers et les calcaires disparaissent pour céder la place à un ensemble argilo-sableux.

La série présente un caractère typique de plate-forme carbonatée peu profonde et à faible énergie avec des oolithes témoignant de rares périodes de haute énergie.

Les faciès sont détritiques grossiers le long du méridien 16°W et passent à l'Ouest à des grès très fins, pyriteux et à des argiles sombres à pyrite versicolores. Ces argiles diminuent dans la région de Dakar.

Les faciès calcaires sembleraient indiquer, depuis le Sud de Dakar dans la zone centrale de l'off shore, un milieu de dépôt très peu profond « intertidal » et, peut-être, « supratidal » (Atlantic Ressources Limited, 1986).

La phase tardive cimmérienne met fin au régime franchement marin et paisible précédent et amorce des apports détritiques ininterrompus durant toute la période du Crétacé.

L'étude des faciès néocomiens met en évidence l'importance de la transgression déjà débutée au Jurassique.

Il faut admettre à cette époque l'existence de hauts fonds dans la mer néocomienne, témoins d'une tectonique embryonnaire.

L'Aptien se compose d'un faciès détritique grossier, depuis l'Est jusqu'au méridien 16°W, passant vers l'Ouest à une alternance de grès très fins et d'argiles. Dans la partie centrale de l'off shore, il existe des marnes, des dolomies et, vers le toit, des anhydrites.

Le forage N'Diass-1 a rencontré entre 3310 et 4010 m de profondeur une série à dominante calcaire attribuée à l'Aptien. Cette série est constituée de calcaires, parfois graveleux et en général finement cristallisés, où à débris recristallisés et souvent pyritisés. A partir de 3450m, les calcaires sont plus généralement oolithiques. Les dolomies sont parfois présentes sous formes de débris ou d'oolithes dolomitiques.

Les lithologies rencontrées dans la partie nord de l'on shore du Sénégal indiquent un environnement de dépôt continental et confirment l'absence de faciès marins datés de l'Aptien dans ce secteur.

Durant l'Aptien, la transgression se poursuit et le fond de la mer reflète déjà les futures structures. En effet, seul l'existence d'une pré-structuration peut justifier l'amincissement des sédiments aptiens sur le horst de N'diass.

L'Albien est représenté à l'Est par une série très sableuse à intercalations de faciès sub-continentaux à argiles bariolées rougeâtres.

Il montre également quelques dépôts lagunaires de gypse. Vers l'Ouest, les sables et les argiles à couleur continentale disparaissent progressivement pour être remplacés par une alternance d'argiles grises micacées et de grès à grains fins à ciment plus ou moins abondant, de calcaire et parfois de calcaire dolomitique. Vers la base, existent sporadiquement quelques passées de microconglomérats. A l'Ouest se développe une puissante série argileuse marquée par de rares intercalations de siltstones et de grès à grain fin.

Cette série se serait déposée sur une plate-forme continentale interne, soumise par périodes aux influences d'une mer ouverte.

Sur les structures de N'diass et de M'bour, l'Albien est représenté par un ensemble de calcaires et de marnes avec des passées dolomitiques et des bancs de grès mal classés. Une présence importante de grès calcaires indique un milieu de dépôt avec une profondeur d'eau réduite.

L'Albien correspondrait à une période transgressive de type plate-forme en eau peu profonde et présente un caractère plus marin que l'Aptien.

A N'diass, existent des sables dont le transport paraît être assez court (Atlantic Ressources Limited, 1986).

I – 3 – 2 Le Crétacé supérieur

Le Crétacé supérieur est constitué du Cénomanien, du Turonien, du Sénonien inférieur, du Campanien et du Maastrichtien.

Dans le bassin du Sénégal, le Cénomanien et le Turonien sont regroupés ensemble car ils représentent, en général, une époque de transgression.

Le Sénonien inférieur et le Maastrichtien sont régressifs et se différencient difficilement dans l'on shore.

Le Cénomanien présente dans la plus grande partie de la zone vers l'Est, des grès à grains fins à très fins, micacés, avec des niveaux sableux à grains grossiers à micro-conglomérats à ciment calcaire.

La distribution des faciès entre le Cénomanien et l'Albien présente une grande similitude avec une influence marine plus grande pour le Cénomanien.

Près du paléo-littoral et parallèlement à celui-ci, il y a une bande constituée en général de grès avec, parfois, des couches argileuses.

Au niveau du bas sin en allant vers la mer, on a des grès contenant parfois des lignites qui sont en intercalation avec des argiles représentant un environnement de dépôt de plate-forme nérétique.

Plus à l'Ouest, nous avons des faciès marins d'eau profonde représentés par des argiles noirâtres, uniformes et épaisses ; ces argiles sont par endroit calcaires avec des passées de grès et de siltstones.

Durant le Cénomanien, la transgression se poursuit et les apports détritiques se produisent dans la partie on shore ainsi que dans les étages précédents. Dans la partie off shore, au Nord-Ouest de la zone, s'amorce une subsidence.

Dans le Nord existent, déjà, le horst de N'diass et le graben de Rufisque bien individualisées, où le Cénomanien érode l'Albien en s'appuyant directement sur l'Aptien (Rufisque-3).

Le Turonien assez uniforme dans tout le bassin est formé exclusivement d'argiles gris-noires, feuilletées, très riches en matières organiques. A l'Est, il présente des passés de sables à grains très fins marquant l'influence continentale avec la présence de tonalités rougeâtres.

Le caractère pélagique des faciès et leur uniformité suggèrent un milieu de dépôt profond.

Dans l'off shore, le Turonien est représenté par une mince unité argileuse déposée dans un environnement marin avec des conditions anoxiques.

Ainsi, cette unité peut être très riche en matière organique et constituée une source importante d'hydrocarbures liquides.

Dans l'on shore, les argiles du Turonien perdent progressivement leurs caractéristiques de bonnes roches mères d'Ouest vers l'Est. Ce changement est dû

à la proximité du pal éo-rivage entraînant une augmentation du silt et du sable contenus dans cette unité argileuse.

Au Turonien, la transgression débutée au Jurassique atteint son maximum. L'ensemble est caractérisé par une subsidence, une uniformité des faciès argileux et une tranche d'eau plus importante.

L'absence du Turonien sur les hauts fonds de Dakar Maritime-2 et probablement de Ndiass semble être due à des zones émergées ou à une érosion ultérieure. Cette dernière hypothèse paraît plus vraisemblable que la persistance d'îles dans une période marquée par une forte transgression généralisée.

Le Sénonien inférieur est représenté par une séquence essentiellement détritique, de sables et de grès à ciment calcaire, entrecoupée par de rares intercalations d'argiles silteuses. Cette période à tendance régressive est aussi marquée par une influence pélagique prédominante dans les argiles suggérant un milieu de dépôt sur une tranche d'eau supérieure à 200m.

Les faciès peuvent être subdivisés en deux grands ensembles :

- L'un à l'Est, occupe presque tout l'on shore actuel du Sénégal avec une séquence essentiellement détritique (la puissance varie entre 150 et 600m).
- L'autre à l'Ouest, formé d'un puissant ensemble d'argiles avec de sporadiques niveaux de sables (la puissance varie entre 300 et 1000m) qui peut refléter un milieu de dépôt de plate-forme extérieure au talus continental.

Au Sénonien inférieur, la mer se retire et une régression se généralise dans tout le bassin. Elle est accompagnée d'un mouvement du continent, provoquant dans la partie on shore une forte sédimentation détritique.

Dans la partie off shore au-delà du talus continental, le dépôt des argiles pélagiques se maintient avec des bancs de grès pouvant être assimilés à des turbidites.

Sous l'effet de forts courants et des réajustements de charge sur la pente se produit un profond remaniement sous-marin du paléotalus sédimentaire.

Le Campanien est composé d'un ensemble d'argiles sombres, plastiques et parfois feuilletées, riches par endroits en matières organiques. Au Campanien se manifeste à nouveau une poussée transgressive relativement faible.

Dans le paléotalus sédimentaire, le Campanien recouvre en discordance les couches inférieures. A sa base, on peut trouver des niveaux de sable qui ont pu être assimilés au Sénonien inférieur, car la limite inférieure du Campanien n'est pas bien définie.

Le caractère pélagique de cette série argileuse de la partie off shore indiquerait un milieu de dépôt de mer profonde.

Dans l'on shore, le continent traduit son influence par l'apport de quelques détritiques plus grossiers.

Au Campanien une poussée transgressive relativement faible se manifeste en repoussant la ligne de côte vers l'est et en installant dans la partie offshore un régime pélagique profond.

Sur la plate-forme de la partie on shore, se développe une influence du continent se traduit par des apports détritiques importants.

Sur le paléotalus, les dépôts du Campanien tapissent la surface d'érosion sénonienne.

Le Maastrichtien de la partie on shore du bassin est composé de dépôts de sables massifs, plus ou moins consolidés, à grains moyens à grossiers appelés « sables aquifères du Sénégal » et de grès calcaires à rares passées d'argiles noires à lignites abondants. Ce faciès sableux correspondrait à des dépôts côtiers où les passées argileuses indiquent des épisodes marins ou lagunaires de courte durée.

Dans la partie off shore, s'est formé un ensemble d'argiles gris clair et gris sombre, avec de fines intercalations de silts et de sables à grain moyen à fin.

Vers la base du Maastrichtien, on observe une alternance de lentilles de sable ou de grès fins avec des argiles ou argiles silteuses. Ces lentilles emmagasinent l'huile et le gaz de Diam Niadio (voir troisième partie).

Les foraminifères rencontrés dans l'ensemble argileux révèlent un milieu de dépôt bathyal (Atlantic Ressources Limited, 1986).

Au Maastrichtien une forte régression, semblable à celle du Sénonien inférieur comble la partie on shore d'apports détritiques très importants.

Les études montrent que le talus est représenté à l'ouest par des dépôts argileux bathyaux avec intercalations de sables attribuées à des turbidites. Plus à l'est, la plate-forme externe, profonde et pentée, donne lieu à des dépôts de sables de chenaux et de turbidites dans les argiles.

A la fin du Maastrichtien, un retour à des conditions d'eau moins profonde permet l'instauration d'une plaine d'épandage sur une plate-forme très peu immergée (Atlantic Ressources Limited, 1986).

Age		Log	Ep. (m)	Lithologie
CENOZOIQUE				
MESOZOIQUE	MAESTRICHEN		300-1000	CALCAIRE, GRES ET ARGILE
	CAMPANEN		200-1250	GRES, ARGILE ET SABLE
	LOWER CENONIAN		100-450	ARGILE ET SABLE
	TURONEN CENOMANEN		150-1000	GRES
	ALBIEN		50-150	ARGILES
	APTIEN		150-1400	CALCAIRE, GRES ARGILES ET SABLES
	NEOCOMIEN		300-1200	CALCAIRE ET ARGILE
JURASSIQUE	MALM & DOGGER		?-2000	CALCAIRE ET DOLOMIE
	LIAS		200-1500	SELS ET ANHYDRITES
	TRIAS			
	PERMIEN		200-1500	ARGILES ET GRES
PALEOZOIQUE	DEVONIEN		300	
	SILURIEN		300	ARGILES ET SABLES
	ORDOVICIEN		300-1000	CONGLOMERAT, GRES ET QUARTZITE
	CAMBRO- ORDOVICIEN		500-3000	CONGLOMERAT GRESEUX
	PROTEROZOIQUE		2000-4000	CONGLOMERAT, ARGILE, GRES, CALCAIRE ET DOLOMIE
Précambrien inf				SOCLE
ANTE-RIFT				

Ep. (m) = épaisseur en mètres

Fig.3 : Colonne lithostratigraphique du bassin sénégalo mauritanien (PETROSEN, 1995)

I – 3 – 3 Tectonique de la zone

La zone d'étude est marquée par une tectonique cassante, transformante induisant une évolution complexe du bassin entre le Mésozoïque et le Cénozoïque.

En effet, cette zone chevauche la zone de transition entre le domaine oriental à croûte continentale et le domaine occidental à croûte océanique. Un système de failles normales d'extension dominante NNE-SSW affecte les séries du Jurassique jusqu'à proximité de la surface avec des rejets de plusieurs centaines de mètres à l'Ouest de la plate-forme carbonatée.

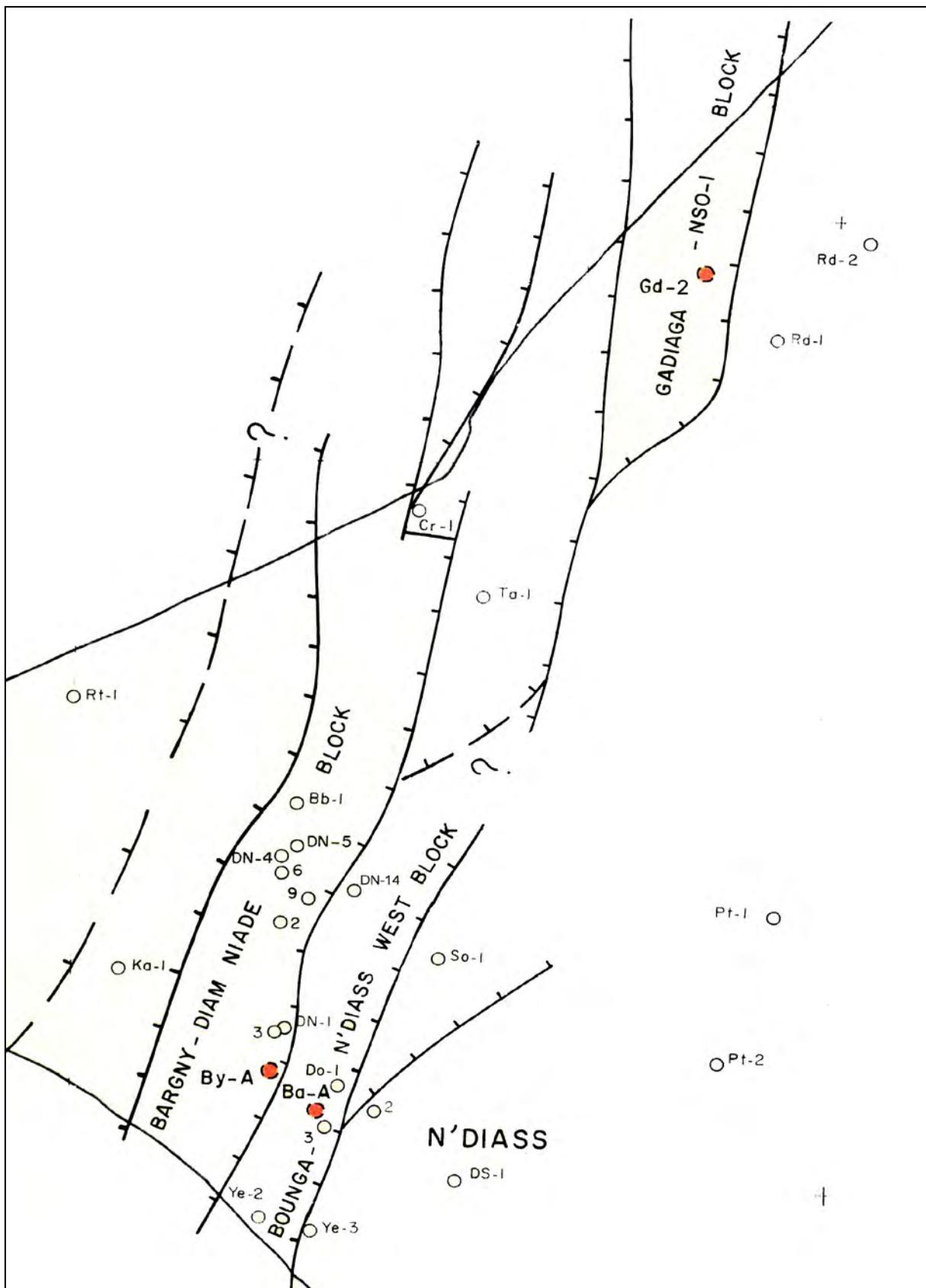
Les failles transverses au Nord et au Sud de la zone de Sébikhotane et celles qui leurs sont subsidiaires seraient entièrement responsables de la compression locale des sédiments observée à Diam Niadio. Le jeu des ces failles aurait probablement entraîné la surrection qui a marqué cette zone au cours du Crétacé terminal et le Tertiaire (Arjuna Ressources Limited, 1989).

Six principales failles sont reconnues dans la zone d'étude, d'Est en Ouest on a la faille de Mont Rolland, la faille de Gadiaga, la faille de Tamna, la faille de William Ponty, la faille de Kabor et la faille de Retba (Fig.4).

Il s'individualise, au Nord de la zone, les failles de Gadiaga et de Mont Rolland à regard Ouest et ayant un caractère listrique. Ces failles sont responsables du repliement en pli anticlinal des couches de l'Albien et du Turonien, ainsi qu'un plissement des sédiments du Sénonien et du Maastrichtien.

Les accumulations d'hydrocarbures dans le Crétacé supérieur de Diam Niadio sont rencontrées au niveau de structures de type anticlinal de compression (roll over) liées au réseau de failles listriques, le long du rebord de la plate-forme carbonatée crétacée.

Le horst de N'Diass est le point culminant de la zone d'étude (90 m d'altitude) et correspond à une anomalie gravimétrique positive (Arjuna Ressources Limited, 1989). Son origine est liée à la surrection d'un bloc de socle, et non à des phénomènes volcaniques. L'Albien s'amincit au dessus de cette structure ; montrant ainsi son antériorité à cette époque (Arjuna Ressources Limited, 1989).



Failles

Fig.4 : Tectonique des zones de Gadiaga et Diam Niadio (PETROSEN, 1995)

Deuxième partie : Données Biostratigraphiques

Chapitre II : Les données biostratigraphiques du secteur

II – 1 Définition de la biostratigraphie

La biostratigraphie est la subdivision des couches par leur contenu biologique (fossiles) ou plus exactement par la place que ce contenu fossile occupe dans la succession que donne l'évolution du monde animal ou végétal. L'unité fondamentale en biostratigraphie est la biozone et son établissement en particulier dépend de son contenu fossile.

Les espèces animales nous renseignent sur les climats et environnements passés. Elles sont souvent de bons repères chronologiques. Par contre, les espèces végétales servent essentiellement à la reconstitution des paléoenvironnements leur valeur chronologique étant plus limitée.

L'interprétation des événements paléontologiques, en ordre, établit une corrélation stratigraphique suivant la présentation des informations et leur intégration avec la géologie.

Le principal objectif de cette étude et de repérer les événements paléontologiques qui peuvent être utilisés pour établir des corrélations entre les corps de sables du Crétacé rencontrés dans les différents puits.

Les caractères paléontologiques utilisés pour reconnaître l'ordre d'intervention des événements géologiques successifs et pour établir l'échelle stratigraphique tiennent à l'évolution des êtres vivants et aux particularités de cette évolution. Les coupures établies à l'aide de ces critères sont dites coupures paléontologiques ou encore coupures biostratigraphiques (Boulin, 1977).

II – 2 Distribution stratigraphique des taxons dans 10 sondages

L'étude paléontologique des échantillons (déblais de forage) du Crétacé supérieur au Tertiaire de certains puits de la zone d'étude est représenté par les paléoévénements (Palynologie, micropaléontologie, nannofossiles calcaires) suivants :

Nannoplancton

Taxons	DN-5	DN-13	DN-14	Ka-2	Age
EN-1		180m	80m	230m	Eocène inférieur
PN-1		400m		440m	Paléocène inférieur
PN-2	252m	400m			
KN-1			580m	604m	Maastrichtien
KN-3	934m		595m		supérieur

Micropaléontologie

Taxons	DN-3	DN-5	DN-13	DN-14	Ka-2	BB-1	KK-1	RT-1	SO-1	Age
EF-3				280m						Eocène inférieur
EF-3					410m					
PF-8							340m			Paléocène supérieur
PF-3	360m	467m	460m	275m	490m					Paléocène inférieur
PF-10						454m	470m	904m		
PF-12						540m	900m	947m		
KF-1		804m		580m		888m	980m			
KF-3	830m	934m		720m	592m	946m	1160 m		146m	Maastrichtien inférieur
KF-4	900m	962m		720m	640m				156m	
KF-5	900m	962m		860m	640m	946m	1220 m		330m	
KF-7	900m	996m		920m	640m	1146 m	1240 m	1120 m	410m	
KF-9	954m	1054 m		920m	703m	1146 m	1280 m	1152 m	476m	
KF-10	1020 m	1085 m		920m	883m	1254 m		1252 m	610m	
KF-11	1120 m	1248 m		1040 m	841m		1490 m			
KF-13	1120 m	1324 m		1060 m	841m	1588 m	1455 m			
KF-15		1540 m		1100 m		1794 m	1430 m			
KF-16		1696 m								
KF-17		1890 m		1290 m		1960 m		1562 m	706m	Maastrichtien inférieur vers Campanien supérieur
KF-19		2070 m				1960 m		1830	763m	
KF-20		2098 m				1970 m	1490 m	2010 m	882m	
KF-21	1362 m								972m	

Palynologie

Taxons	DN-3	DN-5	DN-14	Ka-2	BB-1	KK-1	RT-1	SO-1	PT-1	Age
PP-10					540m	650m				Maastrichtien supérieur
PP-12		534m			758m	880m				
KP-0	662m	662m	550m		758m	880m				
KP-0.8		740m	595m		848m	940m				
KP-1	796m	870m	595m							
KP-2.8					946m	1100 m				
KP-3	864m	964,2 m	700m	820m	1004 m	1120 m		146m ?		
KP-4		964m			1146 m	1240 m	1120 m			
KP-5		1058 m	750m							
KP-6		1116 m	960m							Maastrichtien inférieur
KP-6.2		1150 m	960m		1254 m		1252 m	476m		
KP-7	988m	1240 m	1020 m	841m	1304 m		1384 m			
KP-8		1330 m	1160 m							
KP-9		1510 m		1003 m	1588 m	1310 m	1474 m	610m		
KP-11		1578 m	1080 m		1304 m					
KP-13	1070 m	1620 m	1220 m	1102 m						
KP-15	1178 m			1183 m						
KP-16		1840 m			1694 m	1390 m	1618 m	706m		
KP-17		1840 m	1290 m	1300 m						
KP-17.2					1794 m	1410 m	1748 m			
KP-18		1978 m	1290 m		1848 m	1470 m	1774	721m	66m	
KP-18.1		1978 m			1848 m	1470 m?	1798 m		66m	
KP-19		2044 m	1370 m	1362 m						

Les événements biostratigraphiques

EN-1 = Sommet de *Tribrachiatus orthostylus*

PN-1 = Sommet de *Placozygus sigmoides*

PN-2 = Sommet commun de *Prinsius dimorphosus*

KN-1 = Sommet des nannofossiles spp du Crétacé supérieur

KN-3 = Sommet de *Corollithion ? madagaskarensis*

PP-10 = Abondance de *Fibrocysta lappacea*

PP-12 = Sommet de *Spinizonocolpites ecchinatus*

KP-0 = Sommet de *Proteacidites longispinosus*

KP-0.8 = Acme de *Cyclapophysis*

KP-1 = Sommet commun de *Electrocysta druggii*

KP-2.8 = Sommet abondant de *Spiniferites* groupe « *ramosus* »

KP-3 = Influx de *Plaeocystodinium spp.*

KP-4 = Acme de *Palaeocystodinium australinum/gabonense*

KP-5 = Sommet commun de *Plaeocystodinium golzowense*

KP-6 = Influx abondant de kérogène sapropèle amorphe

KP-6.2 = Influx de *Spiniferites* groupe « *ramosus* »

KP-7 = Sommet commun d'*Alterbia spp.*

KP-8 = Sommet d'*Alterbia spp.* (Granulaire)

KP-9 = Sommet commun de *Palaeocystodinium lidiae*

KP-11 = Sommet de *Tricolpites giganteus*

KP-13 = Sommet commun de *Lejeunecysta spp.* (Granulaire)

KP-15 = Sommet de *Senegalinium sp. A* et de *Senegalinium sp. B*

KP-16 = Sommet commun de *Polykrikos « africaensis »*

KP-17 = Sommet commun de *Cyclonephelium compactum*

KP-17.2 = Sommet d'*AndalusIELLA cf. vozzhennikovae* et acme d'*Eocladopyxis sp.*

KP-18 = Influx de *Polysphaeridium spp.*

KP-18.1 = Sommet de *Xenascus ceratoides* et de *Retidiporites adegokei*, acme de *Dissilidinium sp.*

KP-19 = Influx de pollen monocolpate

KP-20 = Sommet de *Trichodinium castaneum*

EF-3 = Sommet d'*Acarinina soldadoensis*

EF-5 = Sommet de *Cenosphaera sp.*

PF-3 = Sommet des foraminifères planctoniques spp du Paléocène inférieur

PF-8 = Sommet de *Morozovella aequa* et de *Acarinina praecursoria*

PF-10 = Sommet d'*Eoglobigerina trivalis* et d'*Eoglobigerina spiralis*

PF-12 = Sommet d'*Eoglobigerina simplicissima*

KF-1 = Sommet de *Nonionella robusta*
KF-3 = Sommet de *Siphogenerinoides spp.*
KF-4 = Sommet de *Textularia sp.*
KF-5 = Sommet de *Praebulimina spp.*
KF-7 = Influx de *Praebulimina spp.*, *Siphogenerinoides spp.* et *Haplophragmoides cf. walteri*
KF-9 = Sommet de *Gavelinella cf. Supraretacea*
KF-10 = Sommet de *Reophax sp.*
KF-11 = Sommet de *Gabonela spp.*
KF-13 = Sommet de *Gaudryina pyramidata*
KF-15 = Sommet de *Reusella sp.* (Rouge)
KF-16 = Influx de *Reusella sp.*
KF-16.1 = Sommet d'*Ammobaculites cf. aubertae*
KF-17 = Sommet de *Bolivina (Afrobolivina) sp.*
KF-19 = Influx de *Bolivina (Afrobolivina) sp.* et de *?Stilostomella spinescens*
KF-21 = Influx de *Guembelitra spp.* Et d'*Heteohelix spp.*

E = Eocène

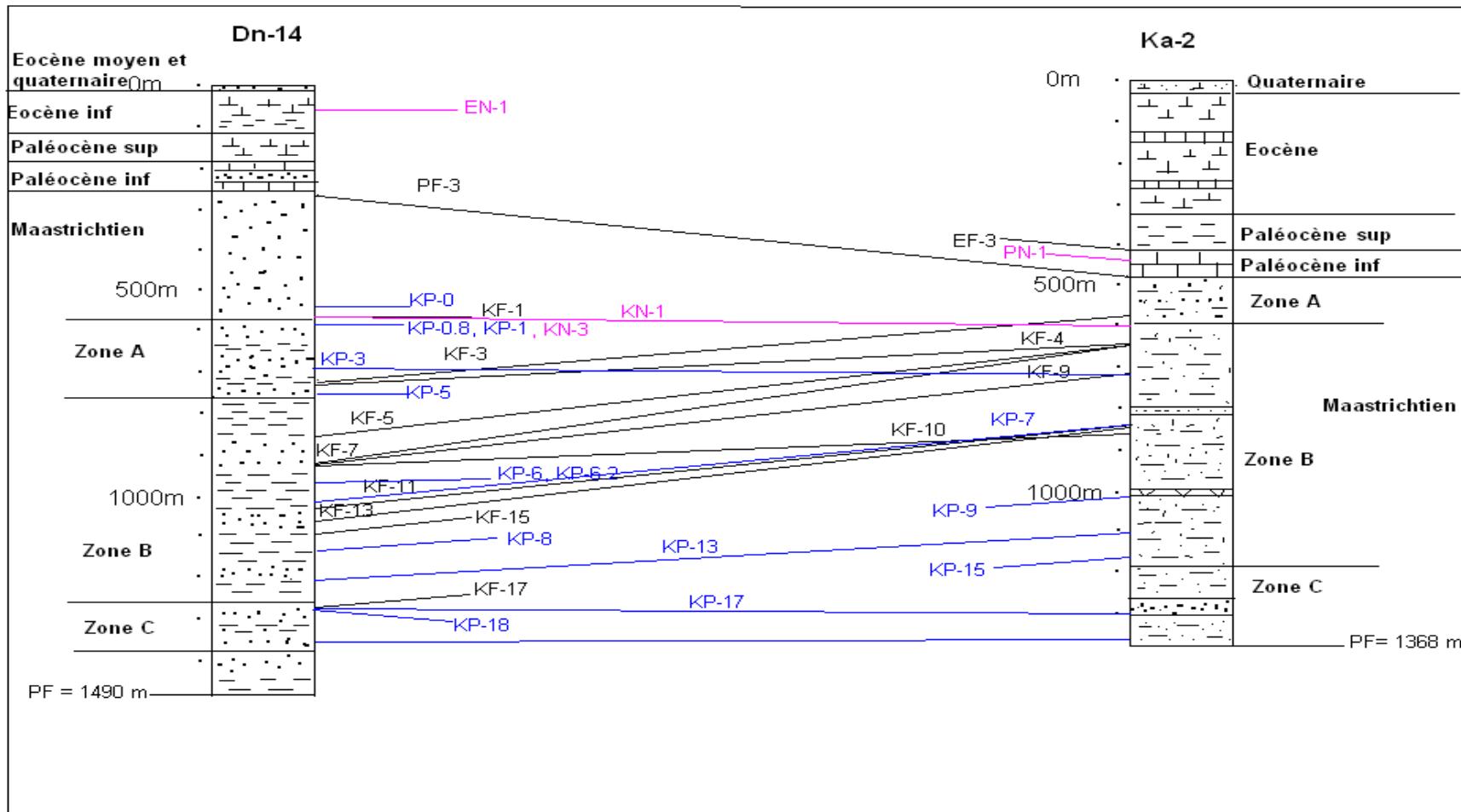
P = Paléocène

K = Crétacé

P = Palynologie

N = Nannoplancton

F = Foraminifère



— Micropaléontologie
— Palynologie
— Nannoplancton

Fig.5: Corrélation paléontologique entre Dn-14 et Ka-2

II – 3 Biostratigraphie de Gadiaga 1 (Gd-1)

Les données biostratigraphiques de Gadiaga -1 permettent une représentation plus détaillée de la biostratigraphie car on dispose des sommets et des bases des espèces ce qui nous permet de déterminer les biozones de chaque espèce (Fig.6).

Le Maastrichtien inférieur

Le Maastrichtien inférieur est marqué par l'apparition *d'Aquilapollenites senegalensis*, *Tricolpites sp.*, *Monoporites annulatus*, *Polycolpites sp.*, *Proteacidites longispinosus* qui est légèrement plus abondant que *Proteacidites sp.*

Vers la base du Maastrichtien inférieur on a la présence *d'Auriculidites aff. Reticulatus*, *Multiporo-pollenites aff. Maculosus*, *Buttinia andreevi* et de *Spinizonocolpites baculatus*

Le Campanien

Il est marqué par l'augmentation du pourcentage de *Proteacidites tienabaensis*, la présence *d'Auriculidites aff. Reticulatus* et *A. aff. Ret.* Ensuite on a une augmentation du pourcentage de *Multiporopollenites aff. Maculosus* et la présence de *Syncolporites sp.*, *Auriculidites aff. Reticulatus*, *Tricolpites synstriatus* et de *T. aff. Synstriatus*.

Le Coniacien – Santonien

Il est basé sur l'apparition "*Pollen pseudoaperturé*", *Droseridites senonicus* et l'abondance de *Proteacites sp.* On note aussi l'augmentation du pourcentage de *Monocolpopollenites sphaeroidites* et *Droseridites senonicus* et l'apparition de *Tricolpites giganteus* vers 1842m.

Vers 2085m on a la présence de *Proteacidites cf. terrazus*, *tricolpites giganteus*, *Droseridites senonicus*, *Dinogymnium*, *Classopollis* et *Triorites sp.* Combiné avec l'absence de *Proteacites sp.* et l'abondance relative de "*Pollen pseudoaperturé*"

Cénomanien

Le Cénomanien supérieur est marqué par l'apparition de *Reticulatasporites jardinius*, *Elaterocolpites castelaini*, *Tricolporopollenites sp.* et l'abondance relative de *Triorites africaensis* et *Senegalosporites costatus*.

Vers 2619m on a l'apparition de *Elaterosporites klaszi* associé à l'augmentation du pourcentage de *Tricolporopollenites sp.* et la diminution du pourcentage de *Triorites africaensis* et l'absence de *Classopollis classoides*.

Le Cénomanien inférieur se caractérise par la présence de *Corrugatisporites ivoirensis*, *Liliacidites sp.* et la présence continue de *Tricolporopollenites* et *Triorites africaensis*. On a aussi l'apparition de *Sofrepites legouxae* et *Veryhachium reductum*.

Aptien - Albien

La bonne indication de l'aptien est fournie par la présence de *cf. Spheripollenites scabrus*, *cf. Plicatella tricornitatus*, *Ephedripites sp.* et *Elateropollenites jardinei*. On note aussi la présence de *Reticulatasporites jardinius*, *Classopollis classoides* "*Classopollis*" *sp.* et *Multiporopollenites polygonalis*.

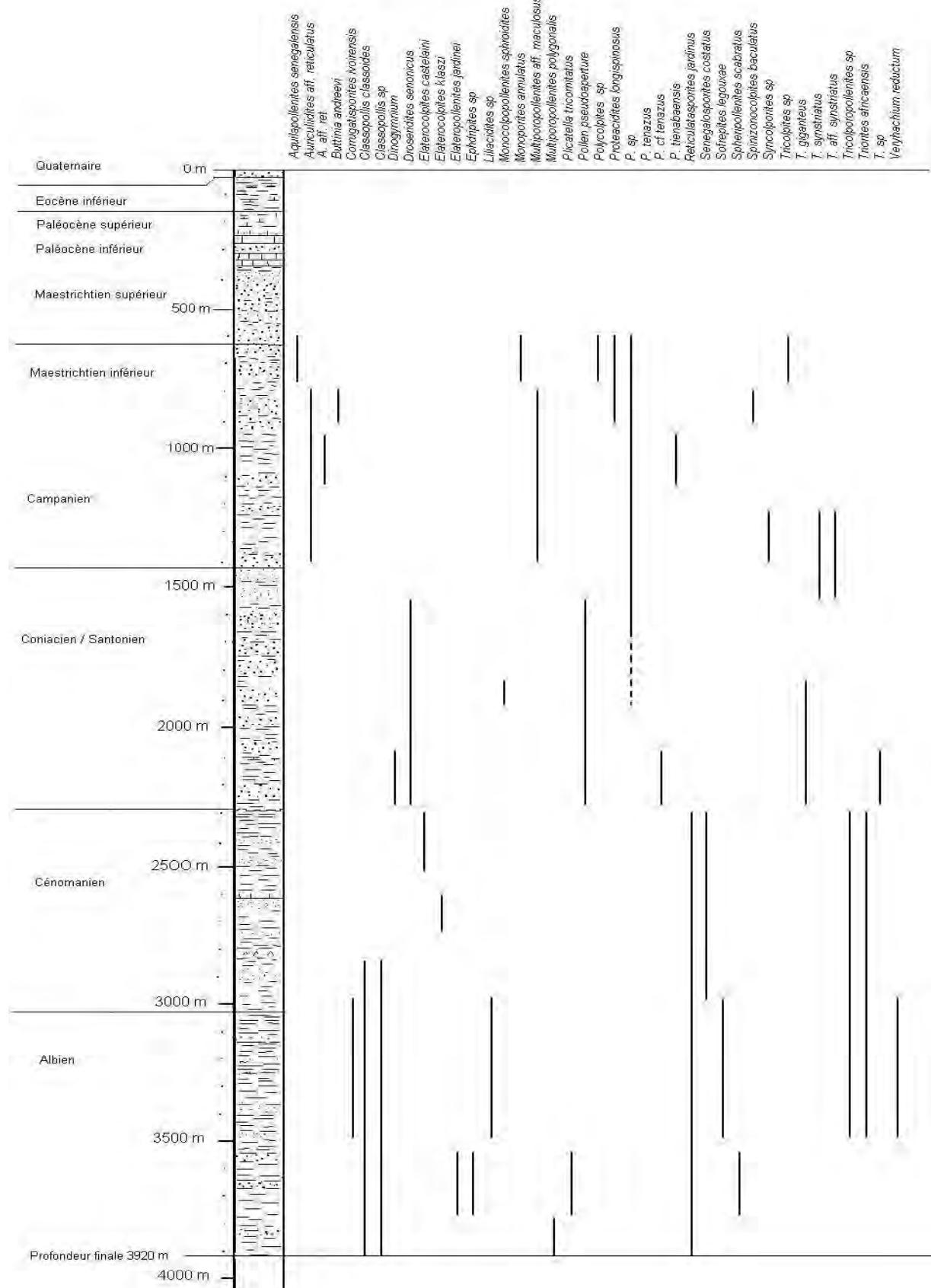


Fig.6 : Répartition des taxons au niveau de Gd-1 (Palynologie)

II – 4 Corrélations biostratigraphiques

La corrélation paléontologique permet de déterminer l'extension horizontale des diverses unités biostratigraphiques de la région étudiée. Pour établir des corrélations à partir des repères paléontologiques, on ne peut que jouer sur l'identité et/ou la ressemblance qui peut exister entre les formes fossiles à cause de la discontinuité de la répartition des espèces.

Quelquesunes des corrélations paléontologiques (Fig. 5) dans ces divers sondages peuvent indiquer des lignes utiles, c'est le cas de KP-0 qui marque le sommet du Crétacé (P), mais d'autres ne le peuvent pas à cause de leur faible répartition.

Les nannoplanctons ne se rencontrent que dans quatre sondages sur les dix et ne permettent pas d'avoir des repères utiles à cause de leur faible extension horizontale. Ils ne permettent de faire des corrélations que dans le Paléogène.

Les microfossiles eux sont présents en grand nombre dans les couches où ils existent et sont essentiellement représentés par les Foraminifères. Du fait de leur petite taille ils se retrouvent intacts et déterminables jusque dans la boue de forage. Leur extension horizontale et par conséquent leur portée, sont souvent très larges.

Les pollens présentent l'originalité d'avoir été transportés et déposés souvent très loin par les insectes, par l'eau ou par le vent dans les milieux les plus divers, aussi bien dans les milieux marins que dans les milieux continentaux d'où ils proviennent. La répartition très vaste des pollens montre leur incontestable intérêt en biostratigraphie. Leurs corrélations offrent donc des lignes utiles qui peuvent constituer de bons repères paléontologiques.

Les lignes de corrélations montrent que la répartition des pollens est beaucoup plus importante au Maastrichtien inférieur.

Les lignes de corrélation n'interprètent pas les horizons stratigraphiques. L'interprétation des événements paléontologiques, en ordre, établit une corrélation stratigraphique suivant la présentation de ces informations et leur intégration avec la géologie et les informations fournies par les diagraphies. Ces deux dernières sont alors indispensables pour une bonne interprétation des corrélations paléontologiques.

Troisième partie : Méthodes diagraphiques

Chapitre III : Méthodologie

III – 1 Définition des diagraphies différées

Une diagraphie est un enregistrement continu des variations d'un paramètre donné en fonction de la profondeur. Les diagraphies différées sont enregistrées lors d'un arrêt ou en fin de forage. Les paramètres mesurés ne sont accessibles qu'en trou ouvert, parfois tubé mais après retrait des tiges de forage.

III – 2 Principe

Des outils ou sondes (Fig.7), conçus dans ce but, sont descendus dans le trou de forage à l'extrémité d'un câble qui assure la liaison avec les instruments de surface regroupés soit dans un camion, soit dans une cabine fixe.

Ces instruments, simples dans le passé, sont devenus étonnamment complexes. Les uns effectuent des mesures globales tout autour du sondage, dans ce cas le volume intéressé est de l'ordre de quelques mètres cubes. Les autres sont des sondes qui glissent, pressées contre la paroi du puits. Dans ce cas, le volume intéressé par la mesure est de l'ordre de quelques décimètres cubes.

Plusieurs sondes peuvent être descendues en même temps et dans ce cas elles transmettent simultanément leurs informations qui sont dirigées vers des pupitres de contrôle avant enregistrement sur film, papier ou bande magnétique.



Fig.7 : Sonde latérolog (cours de géophysique online de l'Université de Lausanne)

L'ensemble des équipements utilisés pour l'enregistrement des diagraphies comprend aussi un **treuil** (Fig.8) plus ou moins volumineux selon le type de diagraphie, sur le tambour duquel sont enroulés quelques centaines à plusieurs milliers de mètres de câble. Le câble est un organe essentiel dont le rôle est à la fois mécanique et électrique. Fixé à une extrémité du tambour, il se termine à l'autre extrémité par un raccord qui permet la connexion mécanique et électrique avec la sonde descendue dans le trou de forage. Le câble assure la transmission, vers la sonde, de l'énergie électrique assurant son fonctionnement, et permet le retour en surface des signaux émis par la sonde. C'est le défilement du câble qui permet la mesure des profondeurs.



Fig.8 : Treuil (cours de géophysique online de l'Université de Lausanne)

Les camions – laboratoires (Fig.9) modernes sont équipés d'un ordinateur qui contrôle toutes les opérations de mesures des diagraphies.



Fig.9 : Camions d'acquisition des diagraphies à gauche en 1927, à droite actuellement (document Schlumberger)

Les méthodes d'évaluation ont évolué rapidement au cours des dernières années, grâce à des outils de plus en plus nombreux et performants mais également, grâce à la puissance de calcul des ordinateurs et mini ordinateurs qui sont utilisés maintenant pendant les opérations sur les puits. Dans la plupart des cas, on peut obtenir un diagramme qui donne la porosité des couches, la lithologie de la roche, la répartition des fluides, les volumes d'hydrocarbures en place et ceux déplaçables, la porosité secondaire et la perméabilité.

III – 3 Les diagraphies électriques

III – 3 – 1 La polarisation spontanée

La polarisation spontanée est une différence de potentiel qui apparaît naturellement dans les sondages au droit des couches poreuses et perméables.

L'apparition de ce potentiel spontanée tient à la différence de salinité entre l'eau interstitielle et le filtrat de boue. Ce potentiel est mesuré à l'aide d'une électrode descendue dans le sondage.

Le log P.S. permet :

- de mettre en évidence les bancs poreux et perméables ;
- de localiser certains niveaux imperméables ;
- de calculer le pourcentage d'argile contenu dans la roche réservoir ;
- de calculer la résistivité de l'eau d'imbibition R_w , ce qui permet d'obtenir la salinité et donc la qualité chimique de cette eau (Desbranades, 1982).

$$PS = -K \log \frac{R_{mfe}}{R_{we}}$$

K = coefficient dépendant de la température

R_{mfe} = résistivité équivalente du filtrat

R_{we} = résistivité équivalente de l'eau interstitielle

III – 3 – 2 La résistivité

La résistivité est le premier paramètre qui a été mesuré en diagraphie. Par suite de l'invasion des couches lorsqu'on fore avec de la boue, la résistivité de la zone envahie au voisinage du sondage est différente de la résistivité de la zone vierge au-delà (Fig.10). C'est pour cela que l'on effectue plusieurs mesures. Les unes sont influencées essentiellement par la zone envahie, les autres par la zone vierge.

La nécessité pour des mesures de la résistivité indépendante de la résistivité de la boue, du diamètre du sondage et de l'épaisseur des couches a été ressentie très tôt (Desbranades R. 1982). Ainsi, on distingue différentes mesures focalisées commercialisées sous le nom de Laterologs :

- Laterologs LL3 de la première génération ;
- Laterologs LL7 avec sept électrodes ;
- Laterologs LL8 ;
- Double Laterologs constitué de neuf électrodes ;
- Diagraphie à focalisation sphérique SFL qui est utilisée pour faire des mesures de résistivité correctes dans tous les types de formation même avec des boues très conductrices.

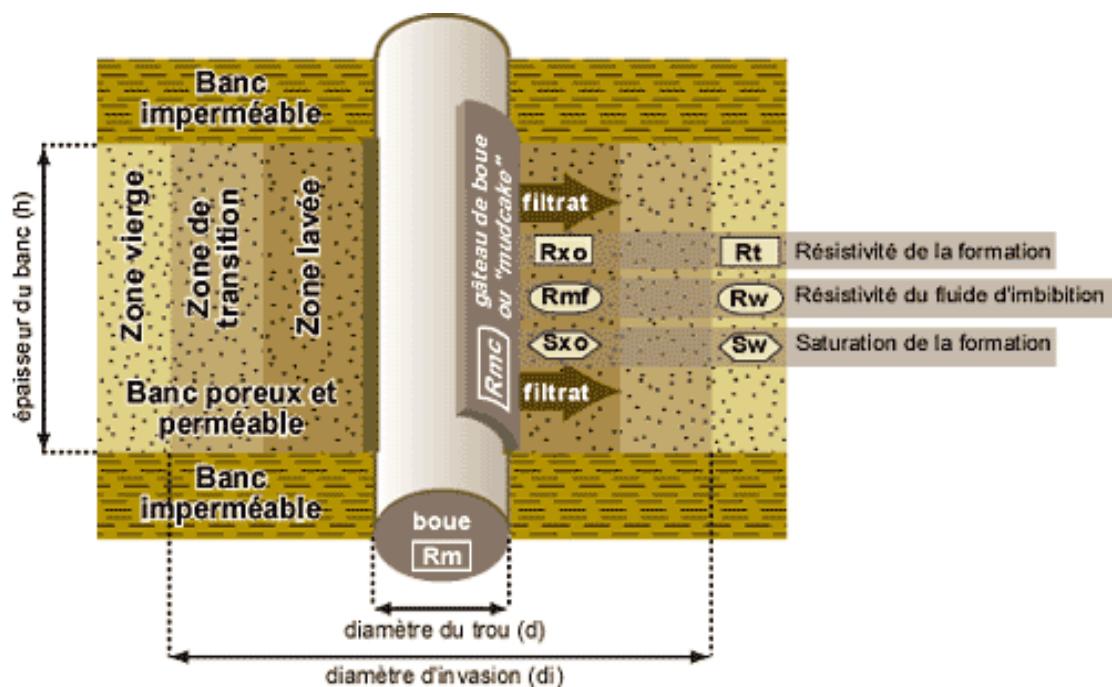


Fig.10 : Représentation schématique de l'invasion (cours de géophysique online de l'Université de Lausanne)

III – 4 Diagraphies nucléaires

Les premières diagraphies utilisant le rayonnement d'origine nucléaire ont été effectuées vers 1940. On enregistrait alors le rayonnement gamma naturel émis par les terrains traversés par les sondages. Maintenant, de nom breuses diagraphies basées sur le rayonnement nucléaire, naturel ou provoqué, sont utilisées pour l'évaluation des formations (Desbrandes, 1982).

III – 4 – 1 Diagraphie de rayons gamma naturels

➤ Diagraphies globales de rayons gamma

Un compteur détecte indifféremment tous les rayons gamma en provenance du terrain. En résumé, on peut dire que la diagraphie de rayon gamma est utile quand la polarisation spontanée est défaillante, boue salée, boue non conductrice. Elle permet :

- de déterminer la teneur en argile ;
- de localiser les dépôts de matériaux radioactifs ;
- de délimiter les couches non radioactives ;
- de perforez les tubages avec une grande précision de profondeur ;
- de mettre en œuvre les traceurs radioactifs ;

- de localiser certains dépôts radioactifs dans les vieux puits producteurs d'eau ou dans les fractures qui ont été le siège de circulation d'eau porteuse de potassium ou de sels radioactifs.

➤ **Diagraphies spectrales de rayon gamma**

Cette diagraphie est basée sur un outil très performant qui enregistre la réponse individuelle aux différents minéraux radioactifs. Elle permet :

- d'identifier les intervalles où les propriétés de l'argile sont invariables ;
- de déterminer la teneur en argile en présence de matériaux radioactifs non liés aux argiles ;
- d'estimer la quantité de minéraux radioactifs non liés aux argiles avec l'aide d'autres diagraphies.

II – 4 – 2 Diagraphies de neutrons

Lorsque l'on soumet une formation à un bombardement de neutrons rapides (Fig.11), plusieurs types d'interactions entre neutrons émis et noyaux des atomes peuvent prendre naissance.

L'évaluation qualitative de ces phénomènes peut renseigner sur le contenu atomique de la formation.

La diagraphie neutron mesure la concentration en ions hydrogène dans une formation géologique. Le principe consiste à émettre des neutrons, qui sont des particules électriquement neutres dont la masse est presque identique à celle des noyaux d'hydrogènes, soit par une source spéciale soit par un accélérateur de particules. Ces neutrons doués à l'origine d'une grande vitesse entrent en collision avec les noyaux atomiques de la formation, dont les plus efficaces sont les noyaux d'hydrogène perdant une partie de leur énergie. À une certaine distance, ils deviennent lents et atteignent un niveau d'énergie thermique bas jusqu'au moment où ils sont capturés par un noyau de la formation avec émission d'un rayonnement gamma de capture. Cette distance varie avec la quantité d'hydrogène présente, c'est à dire la porosité du milieu et la nature des fluides interstitielles. Lorsque le milieu est très poreux et remplie d'eau ou d'huiles cette distance est faible, elle est grande avec une faible porosité dans un sable à gaz.

Le neutron lit chacun des éléments proportionnellement à leur quantité. Si l'on veut obtenir des valeurs réelles de porosité, il faut pouvoir séparer les différents facteurs que sont la lithologie, la teneur en argiles, la quantité et le type d'hydrocarbure en présence.

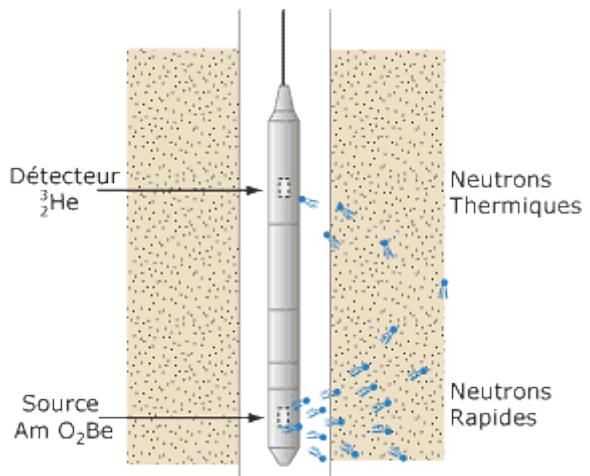


Fig.11 : Schéma de principe de la sonde neutron (cours de géophysique online de l'Université de Lausanne)

III – 4 – 3 Diagraphie de densité

La diagraphie de densité ou log gamma – gamma mesure la densité électronique d'une formation. Le principe consiste à irradier la paroi du trou de sonde avec une source de rayons gamma. Un compteur placé à une distance de la source mesure l'intensité du rayonnement gamma diffusé par la formation vers le trou de sonde. Cette intensité est proportionnelle à la densité électronique de la formation, elle-même proportionnelle à la masse volumique globale.

La densité électronique est une fonction linéaire du logarithme de l'intensité du rayonnement gamma détecté. La source étant statistiquement constante (Césium 137), la réponse de l'outil est donc déterminée par la densité électronique spatiale (nombre d'électrons par cm^3) de la formation. La densité électronique est pratiquement proportionnelle à la masse atomique

La diagraphie de densité est devenue très importante car elle permet :

- de déterminer une porosité densité très utile pour une interprétation ;
- de préciser la lithologie et de trouver une valeur précise de la porosité totale ;
- de détecter la présence de gaz dans la zone envahie car elle provoque une forte baisse de la densité donc une porosité à densité anormalement élevée.

III – 4 – 4 Diographies acoustiques

Les diographies acoustiques sont basées sur la propagation de vibrations élastiques dans les formations, le dépôt de boue et la boue. Il existe deux types d'ondes élastiques : les vibrations dites longitudinales ou de compression (onde P), les vibrations dites transversales ou de cisaillement (onde S). La valeur de ces vitesses dépend des paramètres élastiques du milieu et de sa densité. La vitesse des ondes transversales est environ la moitié de celle des ondes longitudinales dans un milieu solide donné. Les ondes transversales n'existent pas dans les liquides ou les gaz.

Diagraphies soniques

Il existe deux types de diagraphies soniques, selon la distance entre les sondes émetteur-récepteur ou récepteur-récepteur. Récemment (1977), les progrès dans le domaine de l'émission et de la réception acoustiques ont permis la réalisation de sondes à grands espacements émetteurs – récepteurs (Desbrandes, 1982).

➤ Sondes à faible espacement émetteur-récepteur (ordre du mètre)

Les premières sondes soniques ont été construites à l'origine pour effectuer une mesure continue de la vitesse du son tout au long du sondage pour aider l'interprétation sismique. Depuis, cette mesure est surtout utilisée pour la détermination de la porosité et de la lithologie. La mesure de la vitesse du son ou de temps de parcours le long des parois du sondage est obtenue en propagant un ébranlement acoustique d'un émetteur vers un ou des récepteurs.

La diagraphie sonique a maintenant de multiples applications. Elle est utilisée pour :

- trouver la porosité dans les sondages remplis de liquide;
- déterminer la porosité, la lithologie et la teneur en argile en conjonction avec les diagraphies de densité et de neutron ;
- fournir la vitesse des formations pour les interprétations sismiques ;
- détecter les zones fracturées à l'aide de la représentation en densité variable ;
- localiser les intervalles à pression anormale dans certaines régions.

➤ Sonde à grand espacement émetteur – récepteur

Le rayon d'investigation des sondes du type BHC est faible. En effet, l'onde circule au voisinage du sondage dans la zone envahie par le filtrat si les couches sont poreuses, ou dans la zone altérée si les formations sont argileuses. L'allongement de la distance parcourue par l'onde, c'est-à-dire le temps de parcours entre émetteurs et récepteurs, permet en outre une meilleure séparation des ondes longitudinales transversales et de sondage. On peut donc en conclure que dans les intervalles poreux et perméables, la sonde à grand espacement donne les mêmes résultats que la sonde BHC dans les intervalles d'argile altérée ou fortement cavée. Le LSS fournit des données beaucoup plus précises pour l'utilisation en interprétation géophysique sismique (Desbrandes, 1982).

Les outils monopôles (Fig.12) sont les plus utilisés. Les émetteurs et récepteurs sont multidirectionnels.

L'émetteur génère dans le fluide une onde de compression qui donne naissance dans la formation à une onde de compression (onde P) et une onde de cisaillement (onde S) aux angles limites des réfractions.

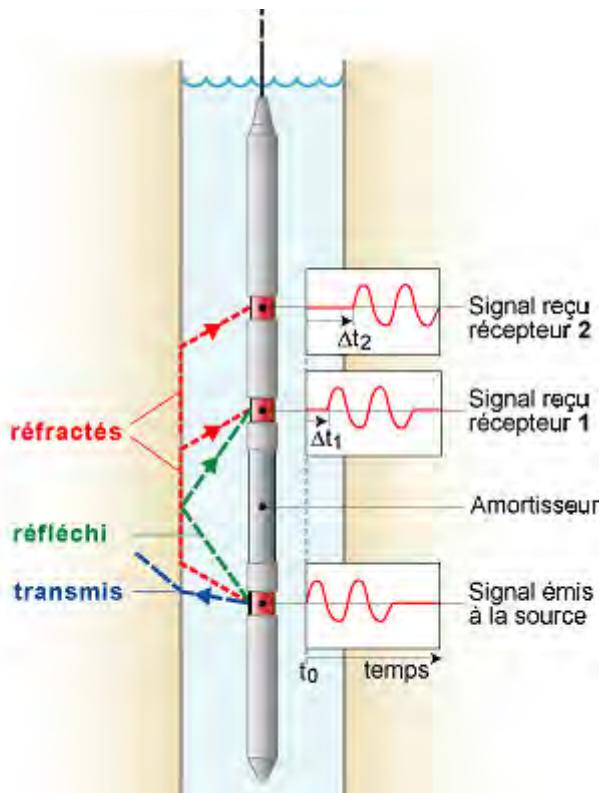


Fig.12 : Principe de fonctionnement de la sonde sonique monopôle (cours de géophysique online de l'Université de Lausanne).

III – 5 Conclusion

Le grand intérêt des diagraphies est qu'elles enregistrent sans aucune discontinuité les changements des paramètres physiques étroitement dépendants des facteurs géologiques.

Les diagraphies différées enregistrent les paramètres physiques qui traduisent les propriétés atomiques, chimiques, minéralogiques, texturales, pétrophysiques, et mécanique des roches.

Elles sont donc très utiles pour faire des corrélations de puits à puits et donnent des indications très précieuses sur les variations lithologiques.

Leur interprétation se fait en appliquant une chaîne de raisonnement les rattachant aux facteurs géologiques.

Chapitre IV : Application de la méthode géophysique aux réservoirs du Crétacé supérieur

IV – 1 Introduction

L'étude portera essentiellement sur les secteurs de Gadiaga et de Diam Niadio où nous avons une forte concentration des réservoirs d'hydrocarbures mis en production.

Les puits utilisés pour cette étude sont : Gadiaga – 1 (Gd-1) ; Gadiaga – 2 (Gd-2) ; Sadiaratou – 1 (Sa-1) ; Sadiaratou-3 (Sa-3), Sadiaratou-4 (Sa-4) ; Kabor – 2 (Ka-2) ; Diam Niadio – 4 (DN-4) ; Diam Niadio – 14 (DN-14) ; Diam Niadio – 15B (DN-15b) Ndoyéne-1 (Nd-1) et Wayambam – 1 (Wy-1).

IV – 2 Techniques utilisées

Pour les besoins de cette étude, nous avons utilisé le système d'interprétation intégrée de géologie et de géophysique de la société Landmark, appelé « Geographix Discovery ». Ce système comprend plusieurs modules pour l'analyse des diagrphies, l'interprétation sismique, les corrélations géologiques, la cartographie etc.

Deux modules ont été utilisés pour les besoins de cette étude :

- « PRIZM » pour l'analyse des diagrphies et la description et calage lithostratigraphique ;
- « XSection » pour les corrélations entre puits.

La carte des puits (Fig.13) a été faite en utilisant le module de cartographie « Geo-Atlas ».

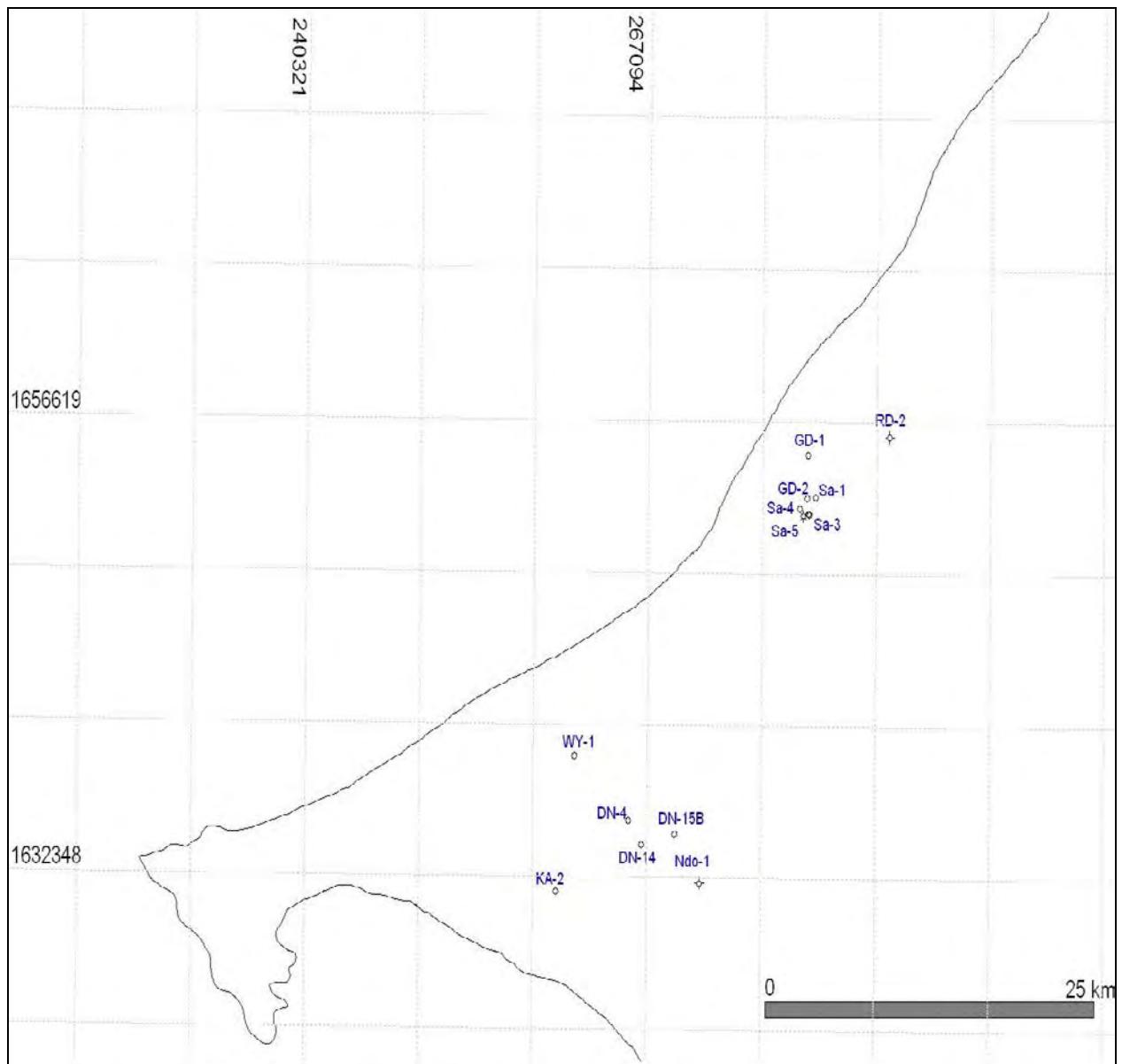


Fig.13 : Carte de la localisation des différents puits utilisés

IV – 3 Description lithologique des puits

En nous basant sur les courbes Gamma Ray, nous avons dressé les colonnes lithologiques des puits de notre secteur à l'aide du logiciel GEOGRAPHIX.

IV – 3 – 1 Gadiaga – 1 (Gd-1)

Le Quaternaire (Fig.14) s'étant de 0 à 21 m de profondeur et est essentiellement constitué de sables continentaux.

Ensuite vient **le Tertiaire** dont le mur est fixé à 366m de profondeur. Il est constitué au sommet par des argiles calcaires passant localement à des marnes jusqu'à 216 m de profondeur. Le reste est constitué d'une alternance de calcaires détritiques et de grés fins à grossiers, mal assortis, irrégulièrement cimentés par du calcaire.

Le Maastrichtien supérieur (366 – 621 m)

Il est constitué par les « Sables aquifères du Sénégal » essentiellement formés de grés massifs consistant en une alternance de sables fins à grossiers et de grés calcaires très fins à fins avec des passées d'argiles. Cette formation contient de l'eau douce.

Le Maastrichtien inférieur (621 – 966 m)

Il est constitué d'une alternance de sables et de grés avec des intercalations d'argiles grises faiblement indurées vers le bas.

Le Campanien (966 – 143 8 m)

Le Campanien est constitué d'unités d'argile et de grés apparaissant sous forme de cycles régressifs débutant par des argiles et s'achevant par des grés. Les deux lithologies sont mélangées et les carottes latérales montrent de nom breuses microlentilles de sable dans les argiles.

Le Sénonien inférieur va jusqu'à 2288 m de profondeur et est constitué vers le haut de grés très fins avec des intercalations d'argiles et de siltstones, et vers le bas par des argiles plus ou moins indurées à passées de siltstones faiblement calcaire et de grés très fins.

Nous avons une lacune stratigraphique à 2288 m avec l'absence du Cénomanien terminal, du Turonien et du Coniacien inférieur.

Le mur du **Cénomanien** a été fixé à 3 020 m. Au niveau de cet étage, nous avons des argiles plus ou moins indurées avec quelques passées de siltstones, des grés très fins et des nodules de dolomie. Des intrusions de roches volcaniques sont aussi présentes.

L'Albien constitue le fond du puits à 3920 m. Il est composé d'une série monotone d'argiles plus ou moins indurées interlaminées de siltstones avec quelques bancs de grés très grossiers probablement d'origine éolienne.

Indices d'hydrocarbures

Neuf niveaux à gaz d'une épaisseur cumulée de 11,9 m sont rencontrés avec une porosité moyenne calculée à 16% et une perméabilité moyenne inférieure à 1mD. Il n'y a pas eu d'indices d'hydrocarbures liquides. Le puits a été abandonné après la pose du bouchon de ciment.

Les enregistrements du détecteur de gaz continu montrent des pics de gaz peu importants de 500 à 850 m, de 1 400 à 1 550 m, de 1 660 à 1 750 m et de 1 885 à 1 910 m.

A 2 142 m, 3 514 m et 3 764 m le pourcentage de méthane dans la boue avait atteint respectivement 20, 10 et 40%. Des fluorescences faibles à très faibles ont été observées à différents niveaux de 1 440 à 3 759 m, mais il n'y a aucun indice de pétrole.

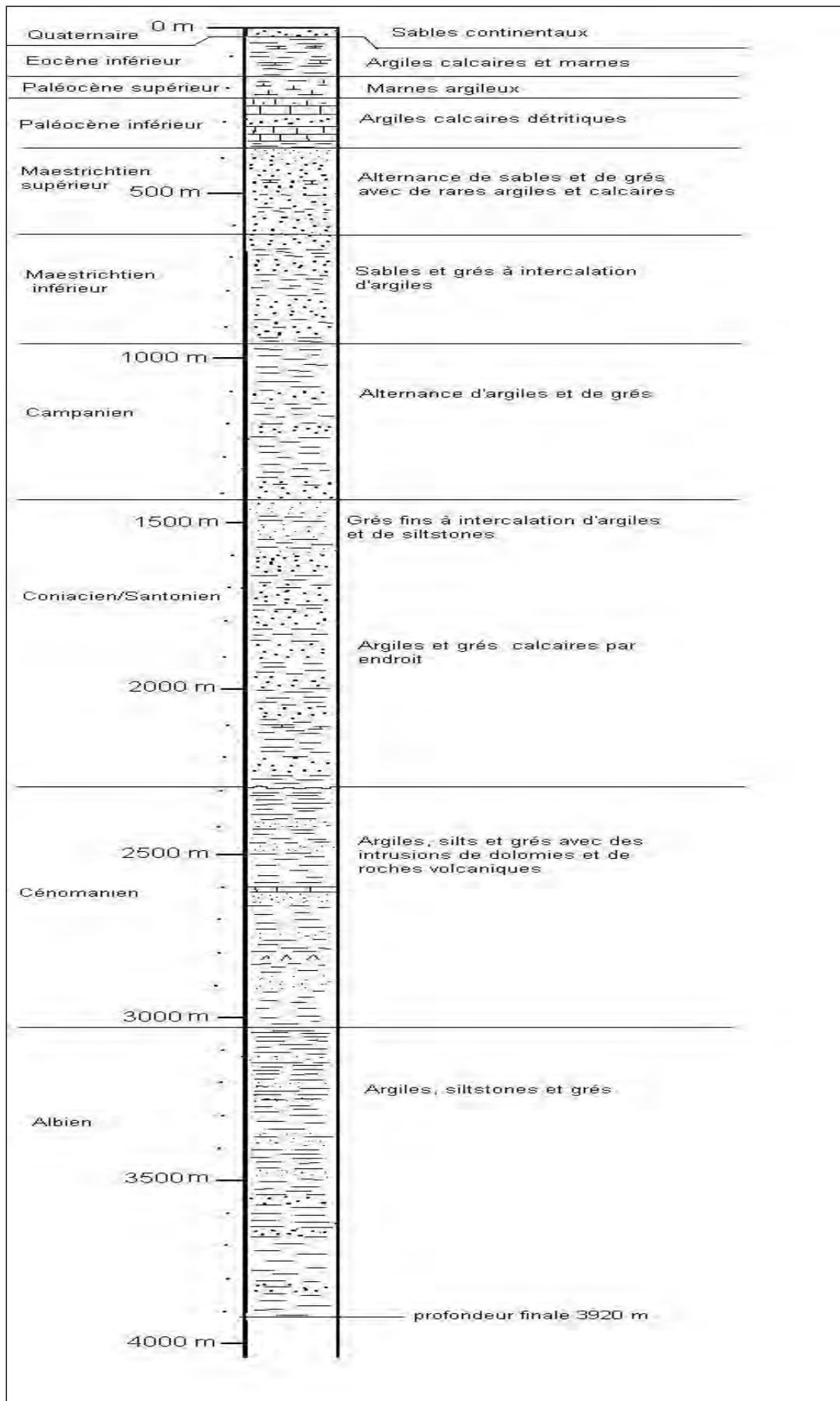


Fig.14 : Colonne lithostratigraphique de Gd-1

IV – 3 – 2 Gadiaga – 2 (Gd-2)

Le **Quaternaire** (Fig.15) s'étend de 10 à 22 m et se compose en majorité d'argiles ferrugineuses tachetées de calcaires et de sables.

Le **Tertiaire** va de 22 à 305 m , avec l'Eocène compris entre 22 et 129,5 m essentiellement composé d'argiles calcaires avec des passées de grés. Ces grés présentent des teintes ferrugineuses et de rares grains de phosphate.

Le Paléocène supérieur s'étend de 129,5 à 187,4 m de profondeur et est constitué en majorité de calcaires microcristallines silteux par endroit. Nous notons la présence de pyrite disséminée.

Ensuite, vient le Paléocène inférieur (187,5 à 305 m de profondeur) qui est composé essentiellement de grés et de calcaires avec quelques passées de dolomies.

Le **Crétacé supérieur** s'étend de 305 m à 2 180 m de profondeur c'est à dire le fond du puits.

Le **Maastrichtien supérieur** (305 à 6 20 m de profondeur) est constitué essentiellement de schistes et de grés.

Le **Maastrichtien inférieur** (620 à 964,2 m de profondeur) comprend des niveaux de grés avec quelques passées d'argiles et de siltstones. La séquence supérieure de grés est bien consolidée avec de la calcite et occasionnellement avec de la pyrite ; tandis que la séquence inférieure présente un classement moyen désagrégé.

Le **Campanien** (964,2 à 1 409, 4 m de profondeur) est composé vers le haut de schistes avec des passées de grés, de siltstones et de calcaires et vers le bas les schistes en majoritaire sont en intercalation avec des grés et des siltstones.

Le **Santonien** (1 409,4 à 1 773, 4 m) est constitué d'intercalations de schistes et de grés avec quelques passées de siltstones.

Le **Coniacien** (1 773,4 à 2 180 m) est composé d'argiles avec des intercalations de grés en proportion élevée jusqu'à 1 875 m de profondeur et des siltstones dans des proportions moins importantes dans le reste de la séquence.

Indices d'hydrocarbures

A Gadiaga – 2 les zones mises en production se trouvent dans le Campanien inférieur avec LC-1 de 1266,7 à 1279,5m et LC-2 de 1350 à 1360,1m de profondeur.

Plusieurs autres réservoirs gréseux ont été traversés au niveau du Maastrichtien et du Sénonien inférieur.

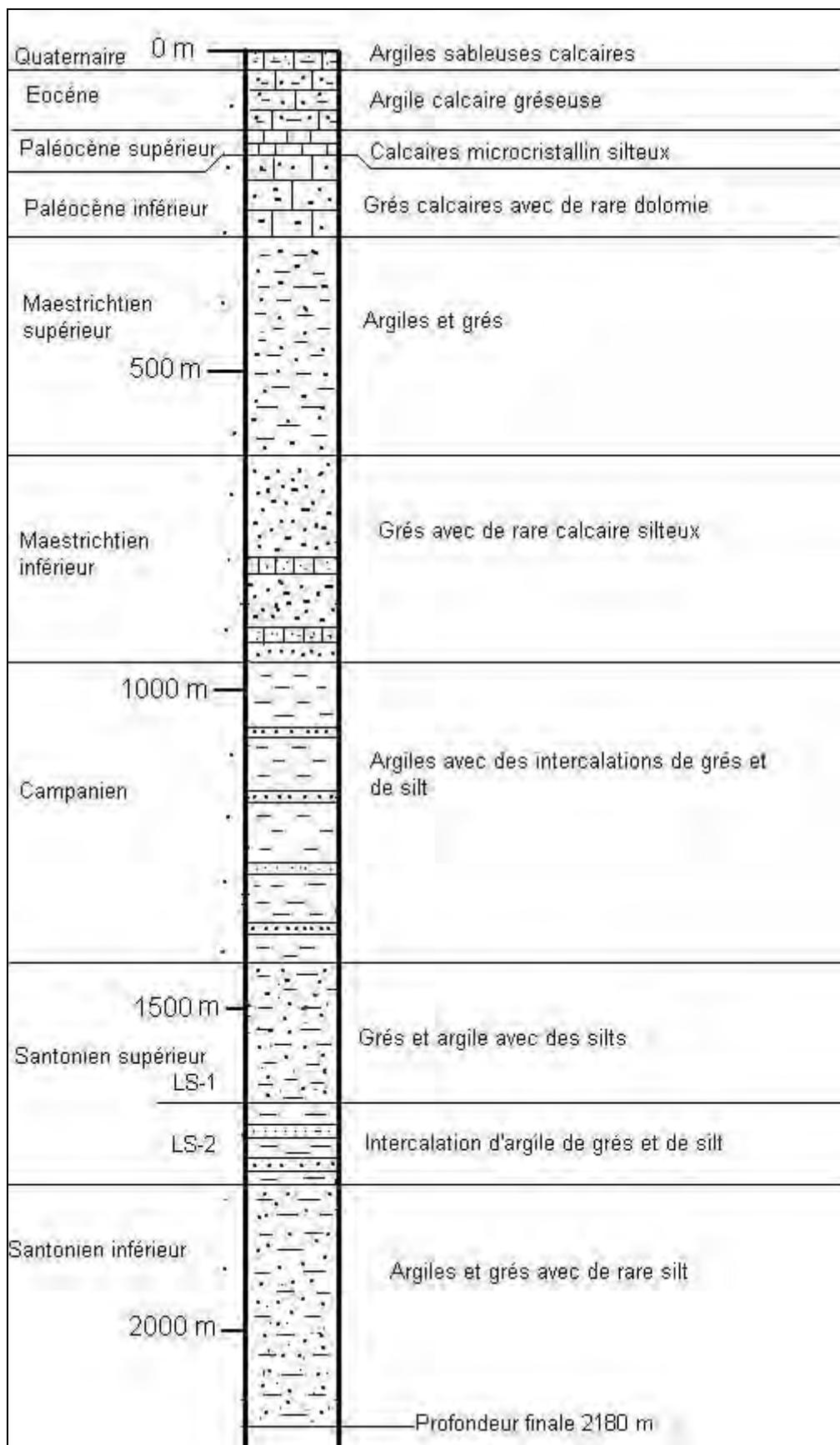


Fig.15 : Colonne lithostratigraphique de Gd-2

IV.2.3 Sadiaratou –1

Les échantillons ne sont prélevés qu'à partir du Crétacé supérieur raison pour laquelle la lithologie n'est pas disponible jusqu'à 314 m.

Le Quaternaire de 24 à 32 m de profondeur (Fig.16).

L'Eocène de 32 à 140 m de profondeur.

Le Paléocène supérieur de 140 à 199 m de profondeur.

Le Paléocène inférieur de 199 à 314 m de profondeur.

Le Crétacé supérieur avec les schistes du **Maastrichtien supérieur** de 314 à 330 m de profondeur qui présentent des traces de grés à l'intérieur pouvant aller jusqu'à 50%.

Ensuite on a les sables du Maestrichtien supérieur de 330 à 615 m avec une prédominance des grés et des intercalations de lits de schiste et d'argile avec de rares lits calcaires.

Le Maastrichtien inférieur de 615 à 950 m de profondeur est constitué d'une prédominance de grés avec des intercalations de schiste et occasionnellement des argiles et de rares calcaire, à 805 m on a les schistes qui dominent dans les intercalations de grés.

Le Campanien schisteux fait suite de 950 à 1353 m de profondeur avec une dominance des schistes et un faible pourcentage de grés et d'argile.

Le Campanien inférieur sableux de 1353 à 1394 m de profondeur avec une prédominance des schistes et des grés et rares lits d'argile.

Le Santonien qui s'étend de 1 394 à 1402 m de profondeur est essentiellement constitué d'une alternance de schiste et de grés calcaire.

Le Santonien LS-1 de 1402 à 1517 m de profondeur c'est à dire le fond du puits se constitue d'une intercalation de grés et de schistes silteux avec de rares lits d'argile et de calcaire.

Indices d'hydrocarbures

L'analyse des gaz indique que les bons indices sont rencontrés de 1246 à 1265 m de profondeur. Des tests positifs ont été réalisé dans le Campanien schisteux entre 1242,9 et 1247,4 m ensuite dans les sables du Campanien inférieur de 1382,9 à 1384,2 m et de 1390,3 à 1391,4 m de profondeur.

Quaternaire	0 m	Grés
Eocène		Calcaire avec intercalation de marne sableux
Paléocène supérieur		Sable argileux avec intercalation de calcaire
Paléocène inférieur		Intercalation de calcaire et de grés
	500 m	Argile gréuse
Maestrichtien supérieur		Sable avec des argiles et de rare calcaires
	1000 m	Sable avec des intercalations d'argile et de rare calcaire
Maestrichtien inférieur		Argile dominant et grés
	1500 m	Argile avec de rares intercalations de grés
Campanien		Argiles avec des intercalations de grés calcaire
Santonien		Grés à argile silteuse
		Profondeur finale 1517 m

Fig.16 : Colonne lithostratigraphique de Sa-1

Diam Niadio – 14

Le Maestrichtien couvre tout le sondage (Fig.17) et va jusqu'au fond du puits c'est à dire à 1490 m de profondeur et se subdivise en zone A, B et C.

De 270m à 547 m on a principalement des grés bien triés avec une bonne porosité.

A partir de 550 m de profondeur on a la zone aquifère qui va jusqu'à 585 m de profondeur et se compose de grés clair avec de rare ciment calcaire, bien triée avec des traces de schiste.

De 585 à 595 m de profondeur on a des grés avec une faible porosité et des traces de schiste.

A partir de 595 m commence la zone A et va jusqu'à 777,5 m de profondeur et se compose essentiellement de grés avec des intercalations de lits de schiste et de silt. De 680 à 777,5 m, la zone A consiste en prédominance à des schistes avec des intercalations de grés et de silt. On a les unités de sable suivantes :

- ✓ Sable A-1 de 613,5 à 621 m de profondeur
- ✓ Sable A-2A de 630 à 641 m de profondeur
- ✓ Sable A-2B de 671,5 à 676 m de profondeur

La zone B s'étend de 777,5 à 1254 m de profondeur et consiste en prédominance à des schistes avec des intercalations de grés et de silt. On a les unités de sable suivantes et qui sont des réservoirs potentiels :

- ✓ Sable B-3 de 968,5 à 974,5 m de profondeur
- ✓ Sable B-6 de 1063,5 à 1068,5 m de profondeur

La zone C s'étend de 1254 à 1370 m de profondeur et consiste en une alternance de grés et de schiste, les grés sont prédominants après 1294 m de profondeur. On a les unités de sable suivantes qui sont aussi des réservoirs potentiels :

- ✓ Sable C-1A de 1258 à 1269 m de profondeur
- ✓ Sable C-1B de 1270 à 1273 m de profondeur

Indices d'hydrocarbures

Des tests positifs ont été réalisés de 1259 à 1270 m et de 1262,5 à 1263,5 m avec production de gaz et de condensat.

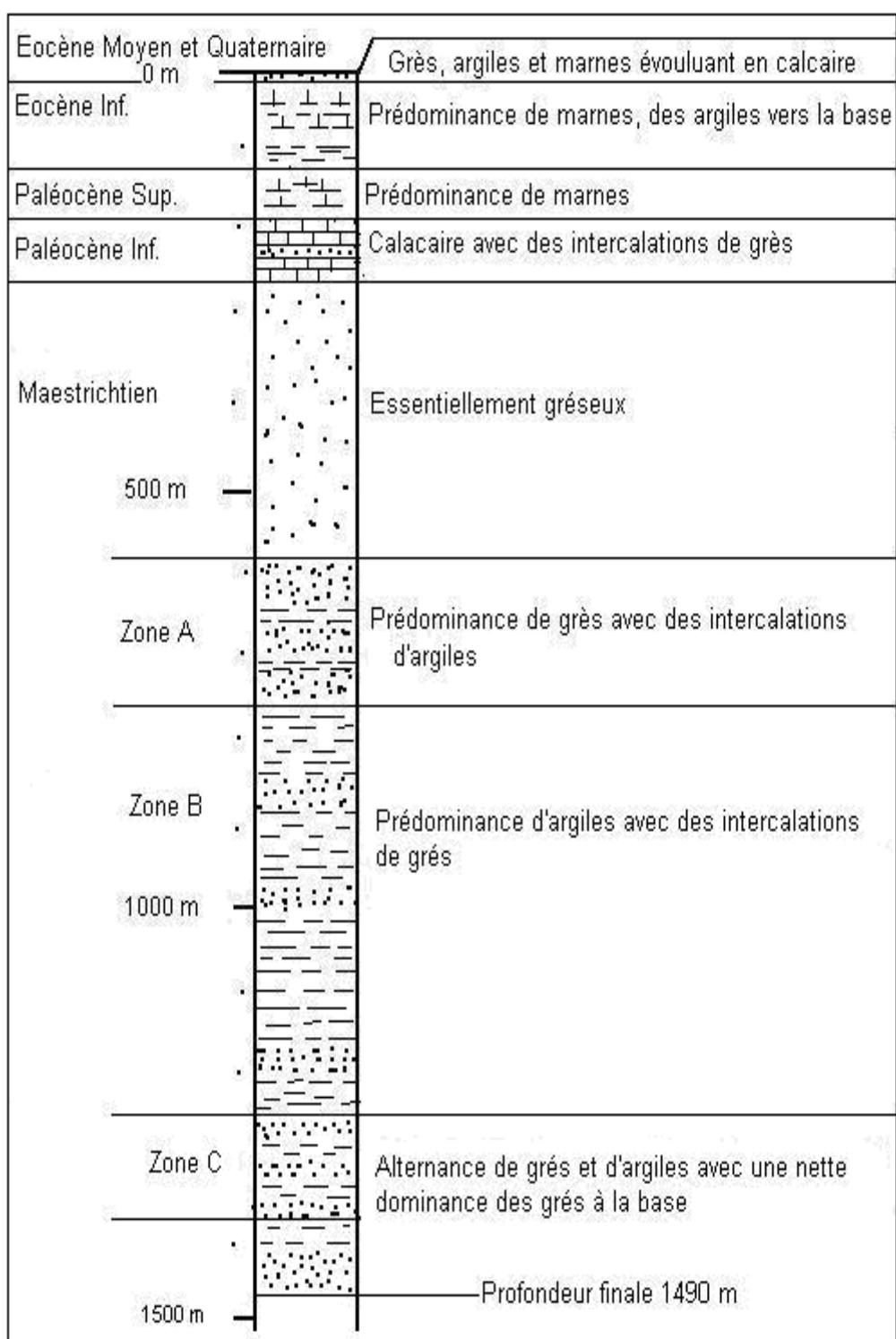


Fig.17 : Colonne lithostratigraphique de DN-14

Diam Niadio – 15B

Le Quaternaire de 3 à 5 m se compose essentiellement de calcaire (Fig.18).

L'Eocène moyen s'étend de 5 à 12 m et est composé par les marnes de Bargny.

L'Eocène inférieur de 12 à 140 m de profondeur et se compose essentiellement d'argile marneux avec des intercalations de lit de schiste.

Le Paléocène supérieur s'étend de 140 à 200 m de profondeur et se compose principalement de calcaire marneux avec des dolomies calcaires et occasionnellement des intercalations de schiste.

Le Paléocène inférieur de 200 à 270 m et consiste à des calcaires fossilifères bien cimentés avec des intercalations de grés.

Le Maastrichtien débute par la zone cristalline qui s'étend de 270 à 479 m de profondeur, les échantillons ne sont pas disponibles à cause des pertes qui surviennent à partir de 221 m et vont jusqu'à 600 m de profondeur à cause de la faille qui se trouve à ce niveau. On espère que cette section se compose de calcaire sableux et de marne.

Les sables aquifères s'étendent de 479 à 604,5 m de profondeur.

La zone A de 604,5 à 830 m de profondeur et se compose de grés bien cimentés avec des intercalations de schiste et de faible silt entre 607 et 830 m. En général les grés deviennent plus silteux en profondeur.

La zone B de 830 à 1249 m de profondeur et se compose de schiste avec des intercalations faibles de grés devenant plus importantes en profondeur. Des grains de phosphate sont rencontrés à partir de 830 m de profondeur.

La zone C s'étend de 1249 à 1483 m de profondeur et se constitue de grés bien cimentés avec la calcite et occasionnellement la silice avec des intercalations de schiste. Les grés sont moyennement ou très bien triés dans la partie supérieure du réservoir et deviennent ensuite très bien triés.

Les sables inférieurs s'étendent de 1493 à 1600 m de profondeur et se compose initialement de grés très fin à fin et ensuite devenant moyen à fin très bien cimenté avec la calcite et occasionnellement du silice en intercalation avec la pyrite et aussi des schistes.

Indices d'hydrocarbures

Des tests positifs ont été réalisés dans la zone C entre 1250 et 1260 m et montrent un pourcentage très élevé d'eau dans le réservoir. La fluorescence visible à travers la formation est attribuée à la fluorescence des minéraux argileux dans un matrix argileux.

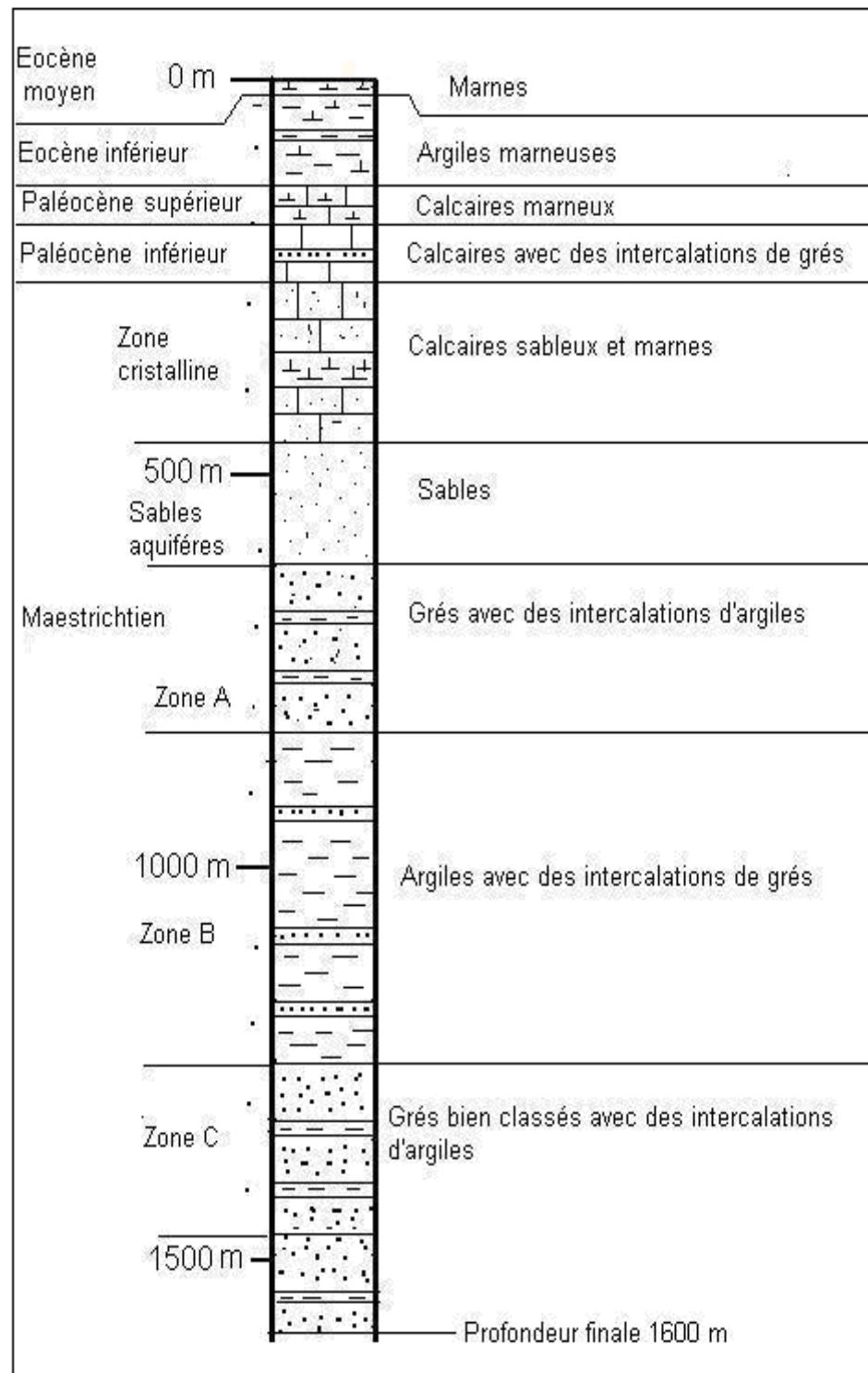


Fig.18 : Colonne lithostratigraphique de DN-15b

IV – 4 Corrélations

Bien que toutes les diagraphies donnent des indications lithologiques sur les formations traversées, les plus utilisées pour l'identification et la corrélation sont les diagraphies PS et GR.

IV – 4 – 1 Zone de Gadiaga

A / Corrélation du toit des étages entre Gd-1, Gd-2, Sa-4, Sa-5, Sa-3

Eocène inférieur

Le toit de l'Eocène inférieur (Fig. 19a et 19b) se caractérise par un pic très marqué des diagraphies GR dans les puits (Gd-1, Gd-2 et Sa-3) et marque le passage des sables continentaux aux argiles calcaires gréseuses qui couvrent l'Eocène inférieur.

Paléocène supérieur

Le toit du paléocène supérieur qui correspond aussi à la base de l'Eocène inférieur se caractérise par un pic du GR corrélable dans les trois puits (Gd-1, Gd-2 et Sa-3) et marque le passage des argiles calcaires gréseuses de l'Eocène inférieur qui laissent place aux calcaires microcristallins silteux caractéristique du Paléocène supérieur dans ce secteur.

Paléocène inférieur

Le toit se marque par un pic très bien représenté dans les trois puits (Gd-1, Gd-2 et Sa-3) et marque le passage des calcaires microcristallins aux grés calcaires dolomitiques du Paléocène inférieur.

Maastrichtien supérieur

La corrélation du toit du Maastrichtien dans les cinq puits (Gd-1, Gd-2, Sa-4, Sa-5 et Sa-3) n'est pas évidente car le pic qui marque le passage des grés calcaires dolomitiques aux grés à intercalations d'argiles du Maastrichtien supérieur dans le secteur de Gadiaga et moins évidente vers Sadiaratou ceci s'explique par l'augmentation des argiles dans ce secteur. Les diagraphies GR montre donc une légère différence.

Maastrichtien inférieur

Le pic qui marque le toit du Maastrichtien est bien corrélable dans les cinq puits et marque le passage des grés à intercalations d'argiles aux argiles à intercalations de grés du Maastrichtien inférieur.

Campanien

Le pic qui marque le toit du Campanien se retrouve dans les cinq puits et marque le passage des argiles à intercalations de grés vers un milieu plus calcaires caractéristique du Campanien.

Le Santonien

Le toit du Santonien est bien marqué par un pic corrélable dans les cinq puits et souligne le passage des argiles à intercalations de grés calcaires aux argiles avec des passées de grés caractéristiques du Santonien dans le secteur.

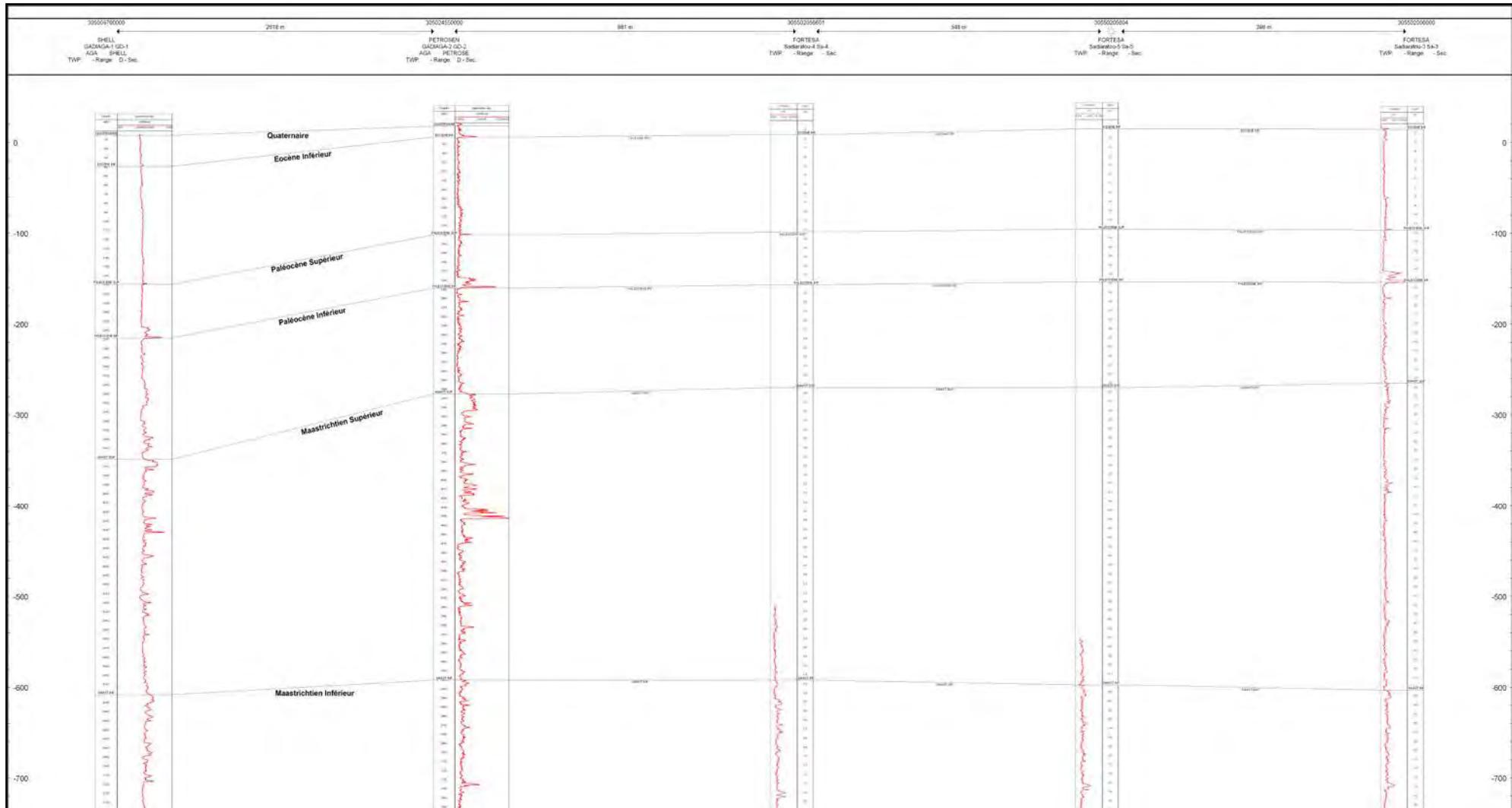


Fig.19a : Corrélation du toit des étages entre les puits Gd-1, Gd-2, Sa-4, Sa-5 et Sa-3 (On note leurs signatures diagraphiques du toit de l'Eocène Inférieur au toit du Maastrichtien Inférieur) (Courbes : En rouge : Gamma Ray)

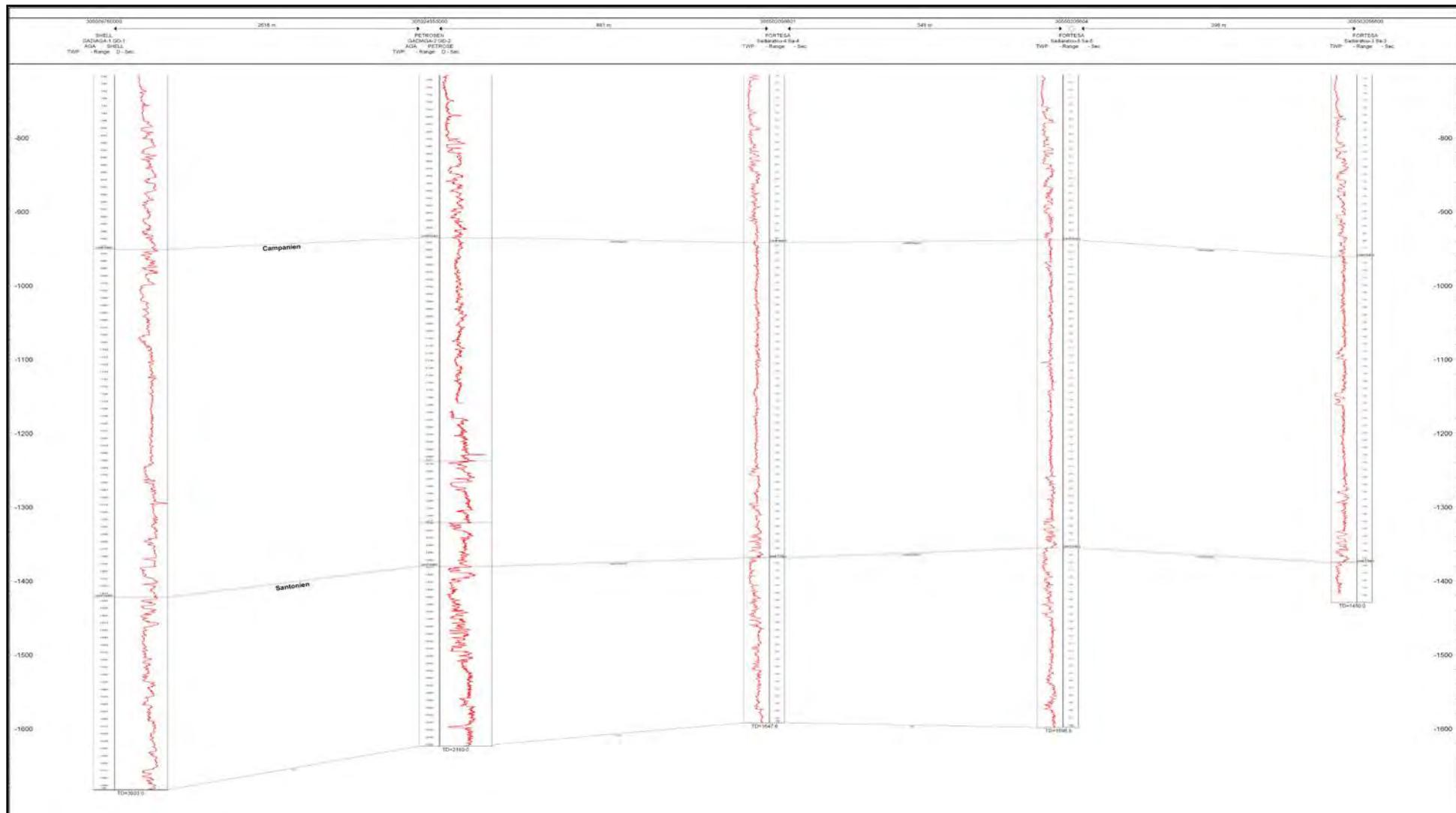


Fig.19b : Corrélation du toit des étages entre les puits Gd-1, Gd-2, Sa-4, Sa-5 et Sa-3 (On note leurs signatures diagrammiques du Campanien et du Coniacien)
 (Courbes : En rouge : Gamma Ray)

B / Corrélation des réservoirs

A Gadiaga, il s'agira de voir les relations entre les réservoirs gréseux du Maastrichtien en utilisant la technique d'interpolation à partir des diagraphies Gama Ray.

1 - Corrélation entre Gd-1 et Gd-2

La corrélation entre ces deux puits (Fig. 20) montre dans l'ensemble une continuité des couches avec des intercalations de quelques lentilles de sables principalement au niveau du Campanien.

Par exemple le réservoir rencontré à 1393 m de profondeur dans Gd-1 (Fig. 21) se situe plus haut à Gd-2 (1349 m de profondeur). A ce niveau on note que les réservoirs sont lenticulaires.

Le niveau LS-1 de Gd-2 avec un épais banc de sable et qui constitue un bon réservoir entre 1422 et 1550 m se retrouve à Gd-1 un peu plus en profondeur entre 1460 et 1600 m.

Le décalage des couches entre Gd-1 et Gd-2 qui est moins profond peut s'expliquer par le jeu de faille qui existe dans cette région, mais dans l'ensemble on rencontre les mêmes niveaux. On note aussi de nombreux petits réservoirs qui sont sous forme de lentilles dans tout Crétacé supérieur.

2 - Corrélation entre Gd-1, Gd-2, Sa-4, Sa-5 et Sa-3

Le campanien de Gd-1 (Fig. 22) est beaucoup plus argileux que celui de Gd-2. Les réservoirs gréseux du Campanien de Gd-2 LC1 (1265 m) et LC2 (1350 m) ne se rencontrent pas à Gd-1 et laissent place à des argiles franches.

Le campanien de Sadiaratou paraît beaucoup plus argileux qu'à Gd-2. Au niveau de Sadiaratou-3 l'épaisseur des réservoirs LC1 (1265 m) et LC2 (1350 m) diminuent à Sa-4 et disparaissent à Sa-5 et Sa-3 laissant place à un milieu beaucoup plus argileux. Les réservoirs LC1 et LC2 biseautent après Sa-4.

On peut donc dire que les réservoirs dans ce secteur se présentent sous forme de lentilles et que le milieu devient moins argileux en passant de Gadiaga à Sadiaratou.

3 - Corrélation entre GD-2, SA-1 et Rd-2

La corrélation entre les puits Gd-2 et Sa-1 (Fig. 23 et 24) montre les mêmes niveaux, on a une continuité des couches. Le réservoir LS-1 de Gd-2 se rencontre légèrement plus haut à Sa-1 et constitue le même réservoir, ceci peut s'expliquer par la faible distance existant entre les deux sondages (643 m). Cependant, on note que le milieu

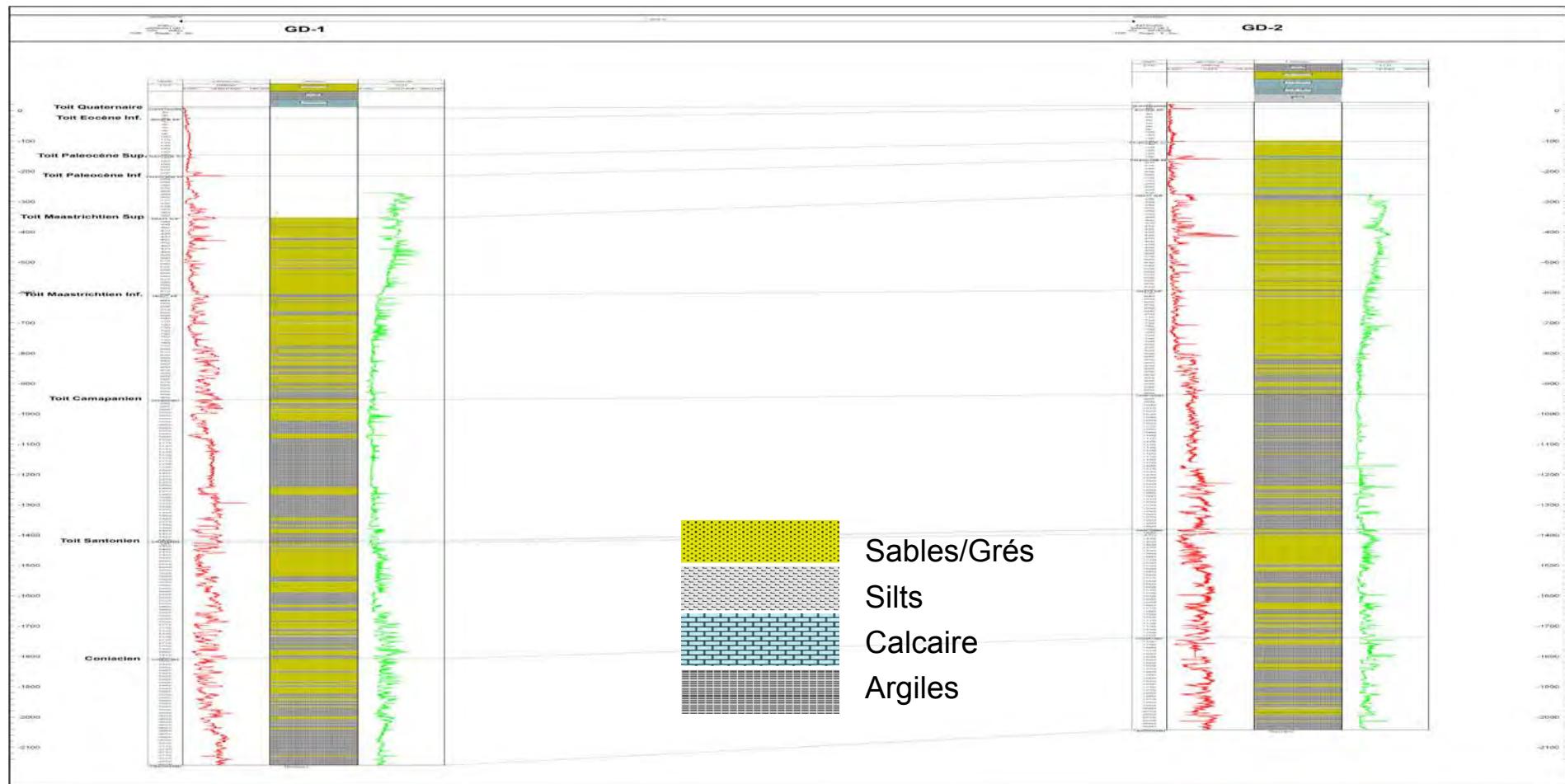


Figure 20 : Corrélation du toit des étages entre les puits Gd-1 et Gd-2
 (Courbes : En Rouge : Gamma Ray et en Vert : le sonique DT)

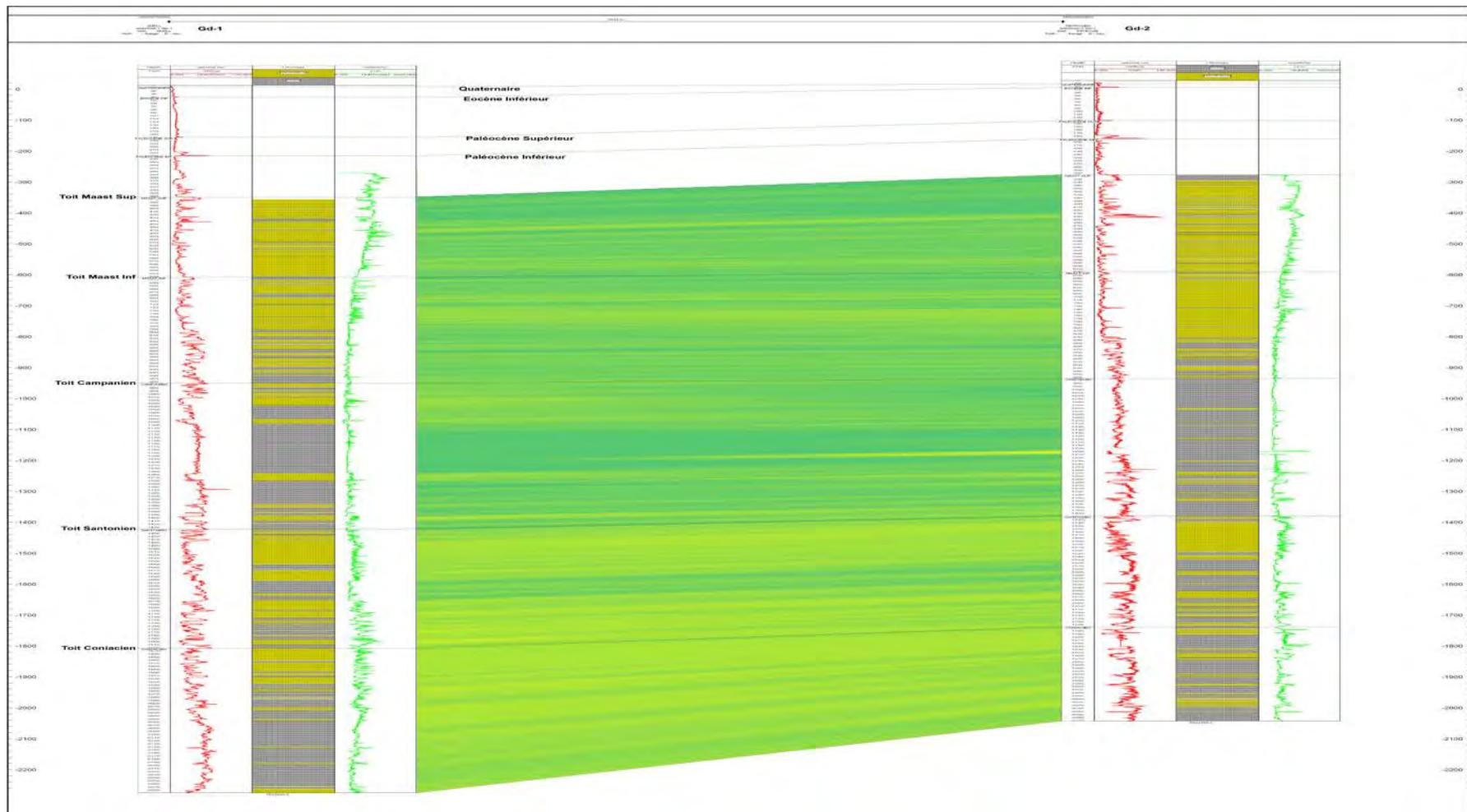


Figure 21 : Corrélation par interpolation du GR entre Gd-1 et Gd-2
 (la couleur verte représente les argiles, la jaune les sables)
 (Courbes : En Rouge : Gamma Ray et en Vert : le sonique DT)

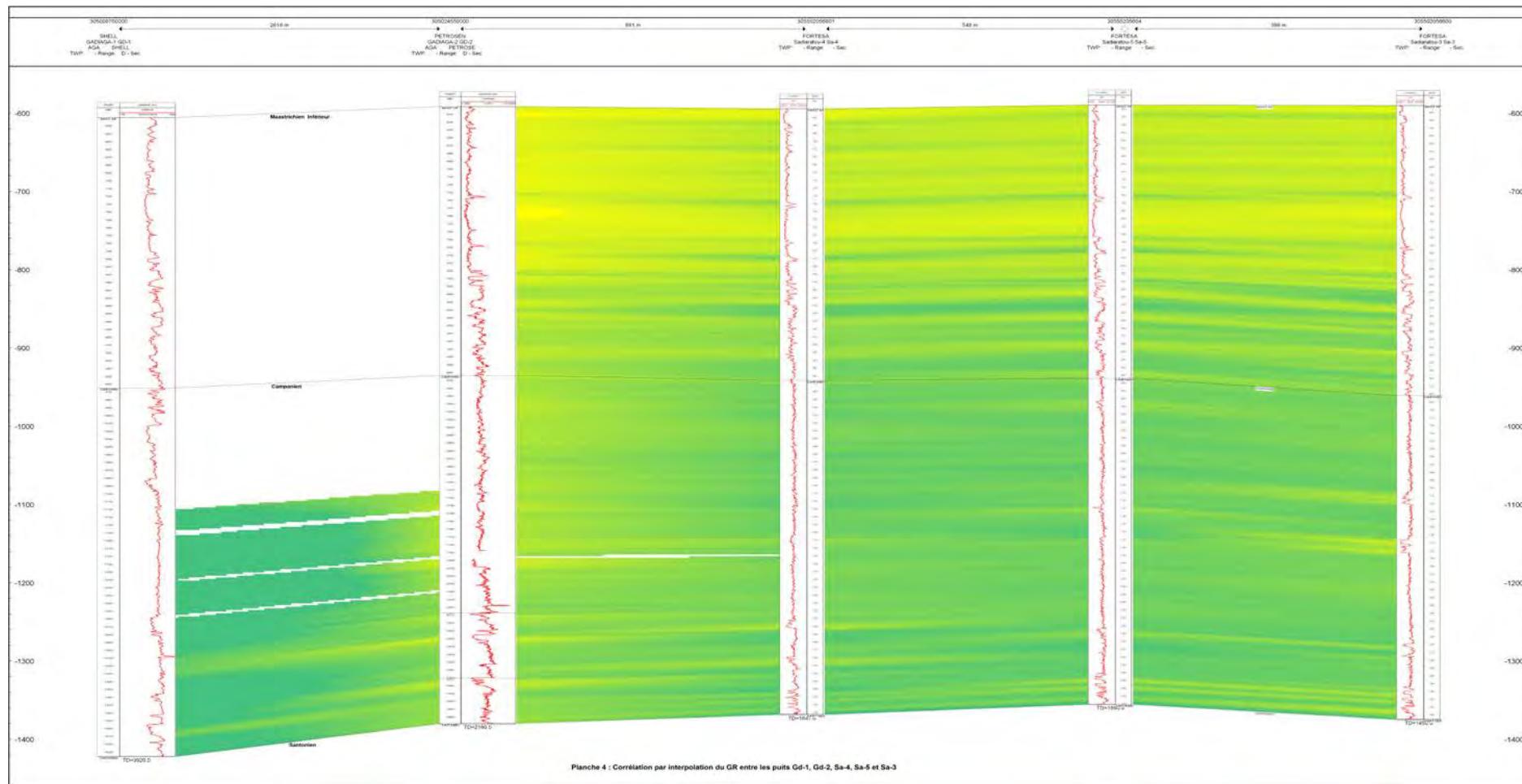


Fig.22 : Corrélation par interpolation du GR entre les puits Gd-1, Gd-2, Sa-4, Sa-5 et Sa-3 (la couleur verte représente les argiles et la jaune les sables)
 (Courbes : En rouge : Gamma Ray)

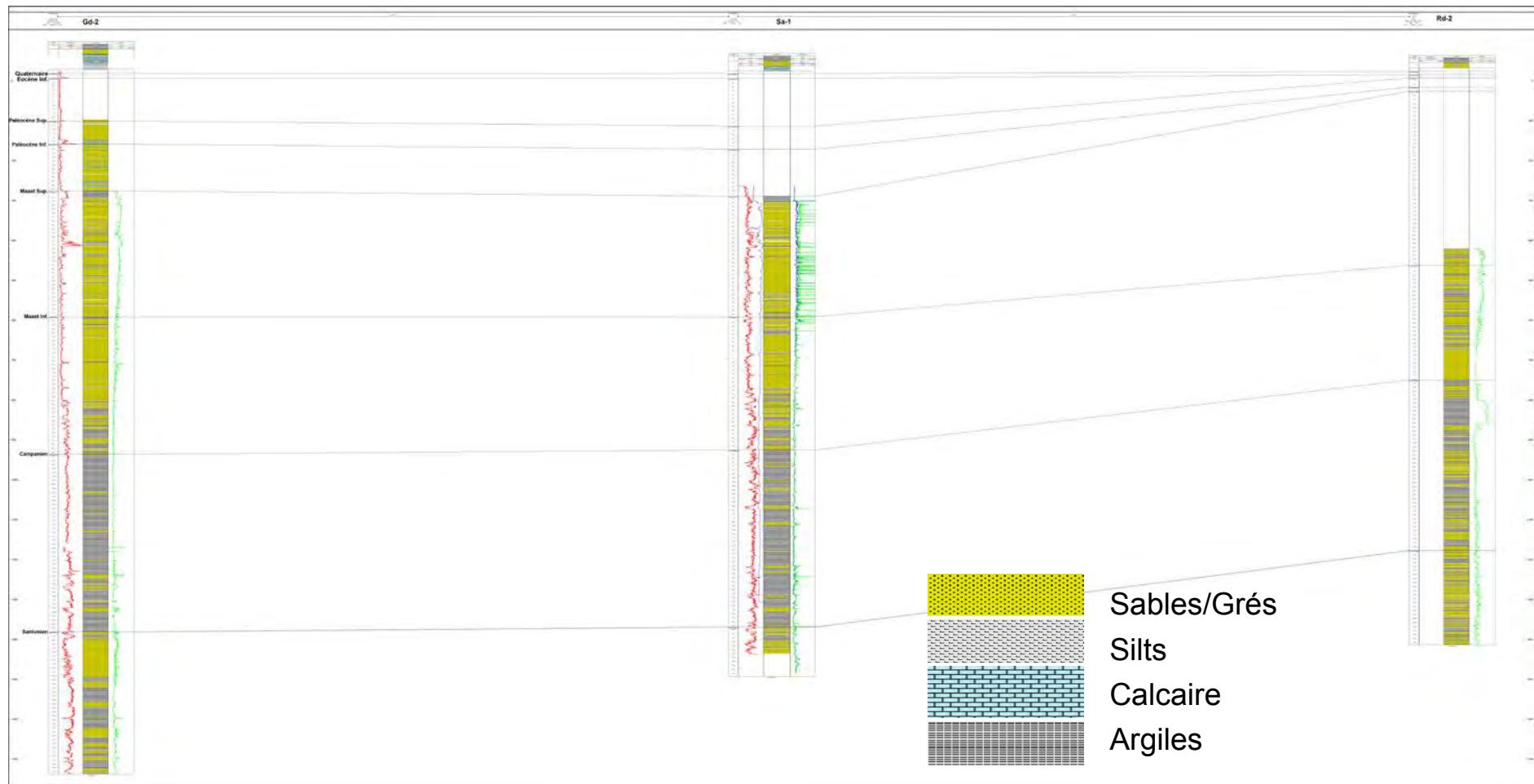


Fig.23 : Corrélation du toit des étages entre les puits Gd-2, Sa-1 et Rd-2
 (Courbes : En Rouge : Gamma Ray et en Vert : le sonique DT)

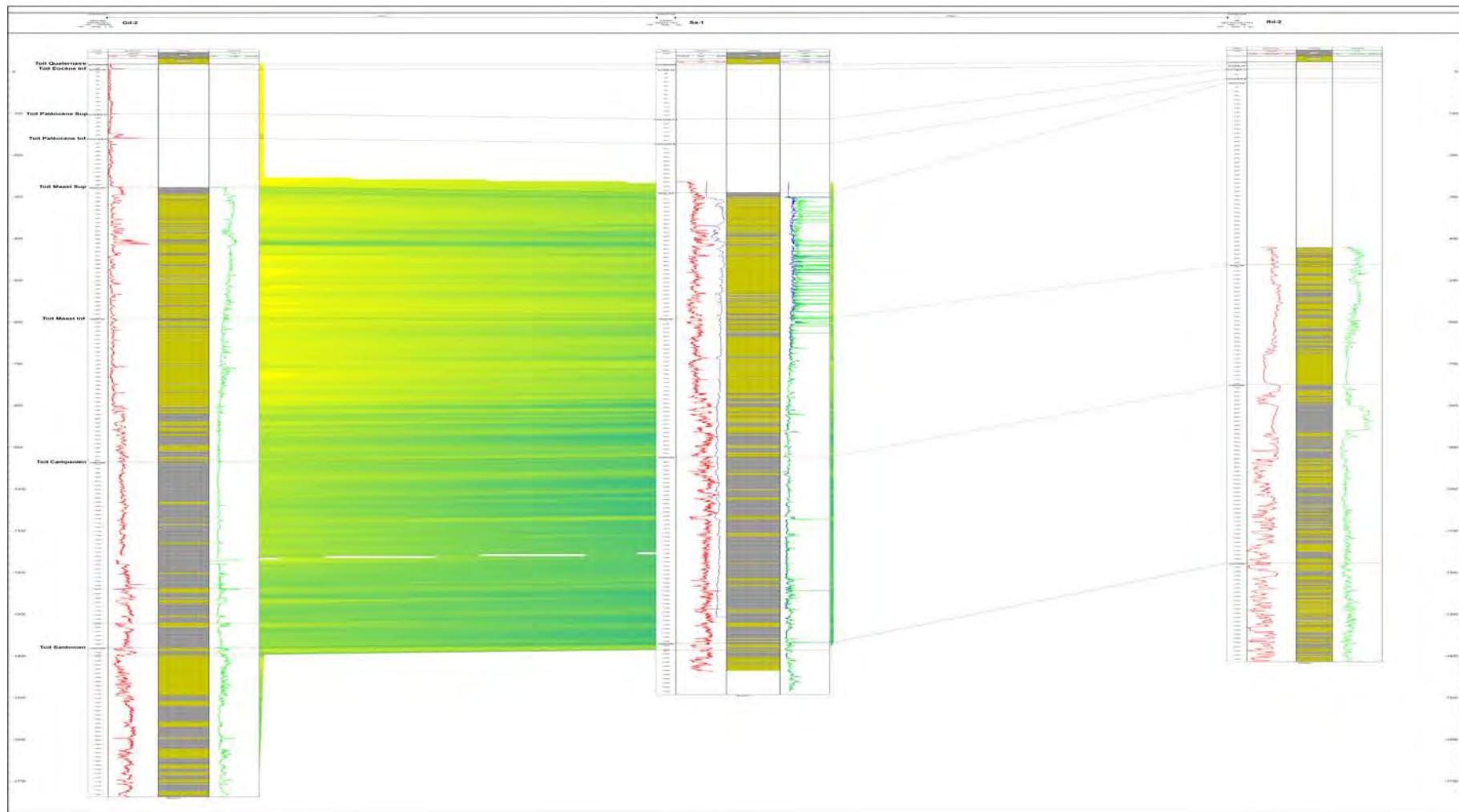


Fig.24 : Corrélation par interpolation par GR entre les puits Gd-2, Sa-1 et Rd-2 (la couleur verte représente les argiles et le jaune les sables)
 (Courbes : En Rouge : Gamma Ray et en Vert : le sonique DT)

est légèrement plus argileux à Sa-1 surtout en profondeur donc on a des conditions hydrodynamiques plus calmes, favorables à une sédimentation fine.

La corrélation vers Mont Rolland montre que les couches de Rd-2 sont plus élevées et moins épaisses que celles de S A-1 ceci peut s'expliquer par le jeu de faille existant dans ce secteur. Néanmoins on note une continuité des couches avec une tendance légèrement plus gréseuse vers Rd-2 qui s'explique par un apport détritique plus important.

4 - Synthèse des résultats dans la zone de Gadiaga

La corrélation entre les différents puits du secteur de Gadiaga permet de dire que la distribution des réservoirs dans ce secteur est très nombreuse surtout au sommet du Maastrichtien juste en dessous des sables aquifères et diminuent vers la base du Maastrichtien où dominent des argiles.

Au Campanien la distribution horizontale des réservoirs montre qu'on a des lentilles de sables et que les réservoirs ne forment pas de couches continues et sont peu épais intercalés dans des formations argileuses.

De manière générale, on observe un amincissement des couches à l'Est du secteur, au niveau de Rd-2. Ceci s'explique par position en hauteur Mont Rolland responsable d'un bombement local qui a entraîné la diminution de l'épaisseur des différentes formations dans ce puits.

IV – 4 – 2 Zone de Diam Niadio

A / Corrélation du toit des étages

Les courbes de GR au niveau de Diam Niadio commencent après le Maastrichtien supérieur au niveau de la zone A sauf pour Wayabam (Wb-1).

Le Paléocène supérieur

Le pic du Paléocène (Fig.25) supérieur que l'on retrouve dans tous les puits de la zone de Gadiaga et qui marque le passage des argiles et marnes de l'Eocène à une alternance d'argiles de marnes et de calcaires est très bien marqué à Wayabam-1.

Le Paléocène inférieur

Le pic qui montre le toit du Paléocène inférieur se retrouve aussi à Wayabam-1 et marque le passage d'une alternance d'argiles de marnes et de calcaires vers un milieu plus silteux.

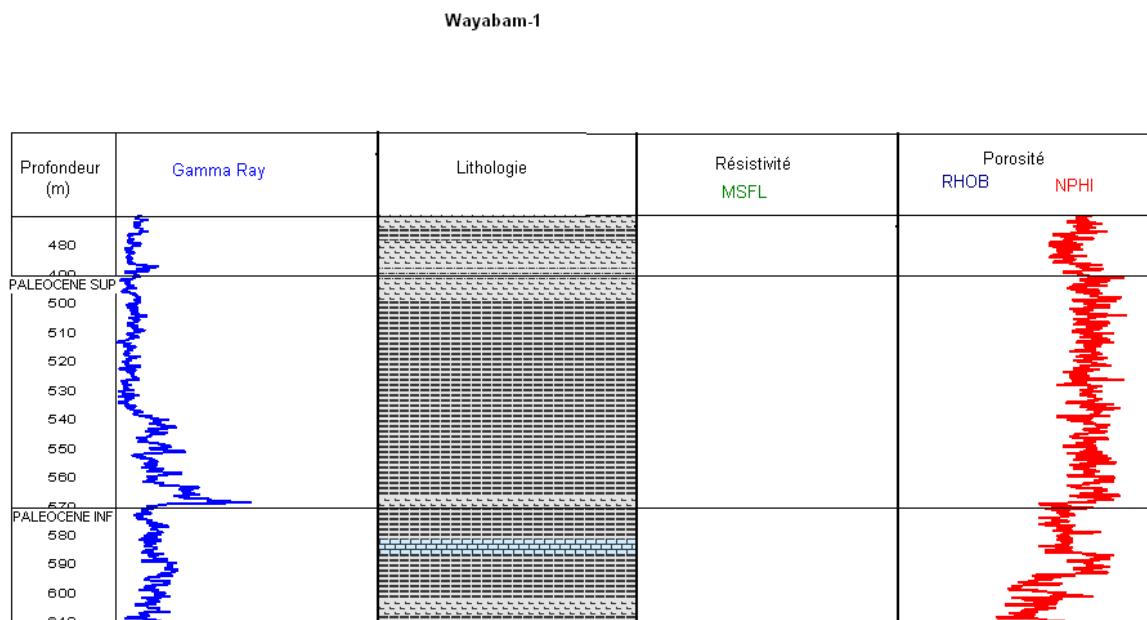


Fig.25 : Délimitation du Paléocène supérieur par le GR à Wayabam-1

Le Maastrichtien

Les pics qui marquent le Maastrichtien se retrouvent aussi à Wayambam (Fig. 26) mais de façon moins marqué à cause du changement de milieu qui devient beaucoup plus argileux qu'au niveau de la zone de Gadiaga

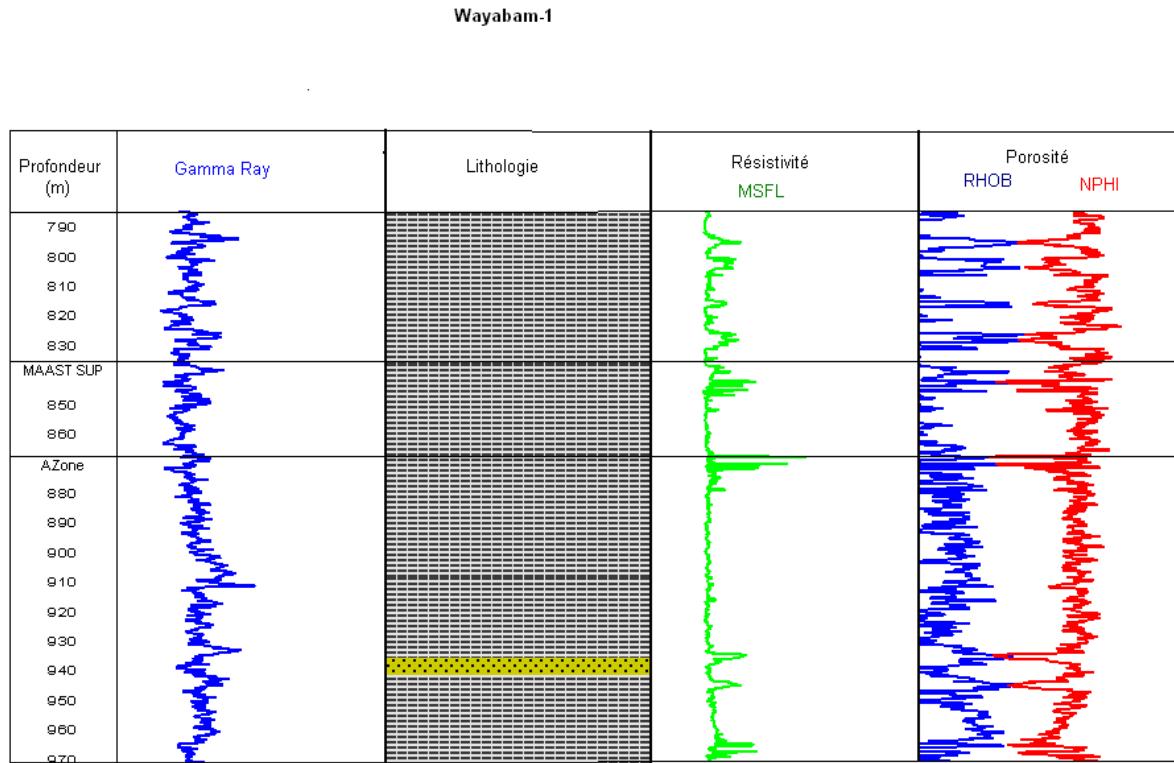


Fig.26 : Pic du Maastrichtien supérieur par le GR à Wayabam-1

B / Corrélation des réservoirs

A Diam Niadio, il s'agira de voir les relations entre les réservoirs gréseux du Maastrichtien au niveau des zones A, B et C en utilisant la technique d'interpolation à partir des diagraphies Gama Ray.

1 – Corrélation entre DN-14, DN-15b et Ndo-1

On note que l'épaisseur de la zone A (Fig. 27) diminue en direction du puits Ndo-1. Cette zone est constituée d'une alternance de grès et d'argiles.

La zone B présente une épaisseur homogène entre les trois puits et est constituée aussi par une alternance de grès et d'argiles ; avec cependant des bancs de grès beaucoup plus épais que ceux de la zone A.

Pour les zones A et B (Fig. 28), on note que les puits DN-15b et Ndo-1 à l'est se situent dans un environnement plus argileux que celui du DN-14.

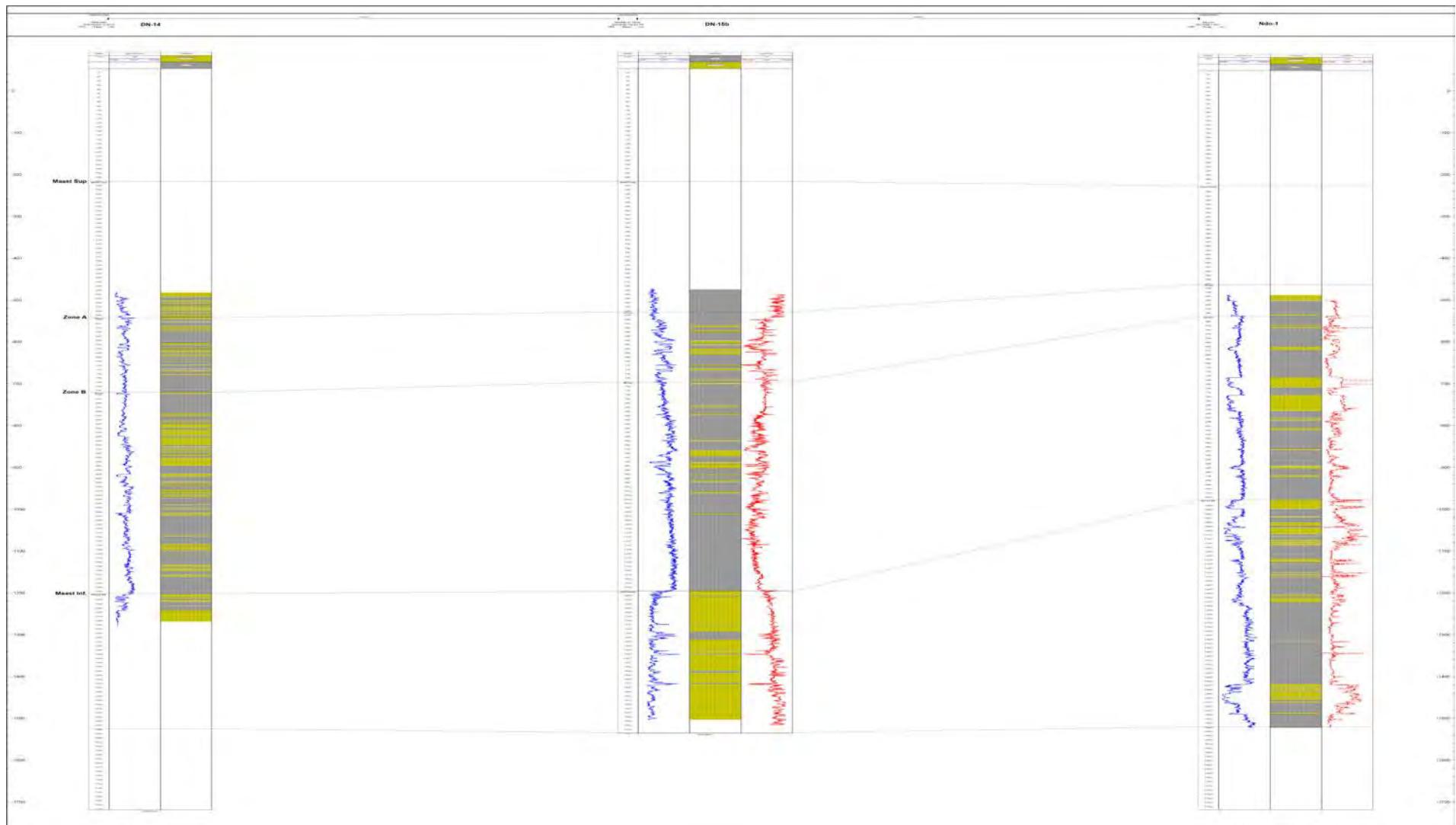


Fig.27 : Corrélation du toit des étages entre les puits de DN-14, DN-15b et Ndo-1
 (Courbes : En Bleu : Gamma Ray et en Rouge : le sonique DT)

La zone B présente plusieurs réservoirs dont certains renferment du gaz et/ou du pétrole au niveau des puits DN-4 et DN-6. Ces réservoirs se présentent le plus souvent, comme on peut le constater sur le graphe d'interpolation (Fig. 28) entre les puits DN-14, DN-15b et Ndo-1, sous forme de lentilles.

Dans la zone C, les données diagraphiques ne permettent pas de couvrir la série entière. Cependant, Le réservoir gréseux observé à DN-14 juste au sommet du Maastrichtien Inférieur (1254 – 1275 m) est le même que celui rencontré à Ndo-1 vers 1025 m où il devient plus riche en sable. A DN-15b par contre, ce même réservoir s'amincit et devient plus argileux.

2 – Corrélation entre Ka-2, DN-14 et DN-15b

La corrélation entre les trois puits (Fig. 29) montre un approfondissement des formations à Kabor-2 par rapport à DN-14 et DN-15b.

Dans l'ensemble, on a une continuité des couches (Fig. 30) avec un milieu qui devient plus argileux au nord-est vers DN-15b.

L'épaisseur de la zone B diminue en direction de puits Ka-2.

Le réservoir gréseux traversé à DN-14 entre 830 et 880 m, a été rencontré au niveau du puits Ka-2 entre 1020 et 1080 m. Cependant, il est beaucoup plus argileux à Kabor-2.

Dans l'ensemble, les zones A et B présentent plusieurs niveaux gréseux ayant un potentiel de réservoirs. Ces réservoirs ont de faibles épaisseurs (entre 4 et 10 m) et se présentent le plus souvent sous forme de lentilles. Leur extension horizontale est faible par ailleurs.

3 – Corrélation entre Wy-1, DN-4 et DN-14

La corrélation montre (Fig. 31) un approfondissement progressif des formations vers l'ouest c'est-à-dire vers le puits Wy-1. Ceci s'explique par les failles (un maxi de trois failles majeures) entre le puits DN-14 et Wy-1.

Le puits DN-4 semble être localisé dans un bas fond, ce qui explique peut-être la puissance du Maastrichtien Supérieur à cet endroit.

L'épaisseur de la zone A diminue fortement vers Wy-1. Cela est dû au biseautage des sables aquifère qui ne se déposent pas au niveau de ce secteur occidental.

Globalement, on note une prédominance des formations argileuses au niveau du secteur de Walyambam, tandis que vers l'est c'est-à-dire vers DN-14 les séries deviennent de plus en plus gréseuses. Ceci explique l'augmentation des réservoirs dans ce secteur, réservoirs qui se présentent sous une forme lenticulaire surtout au niveau de la zone B.

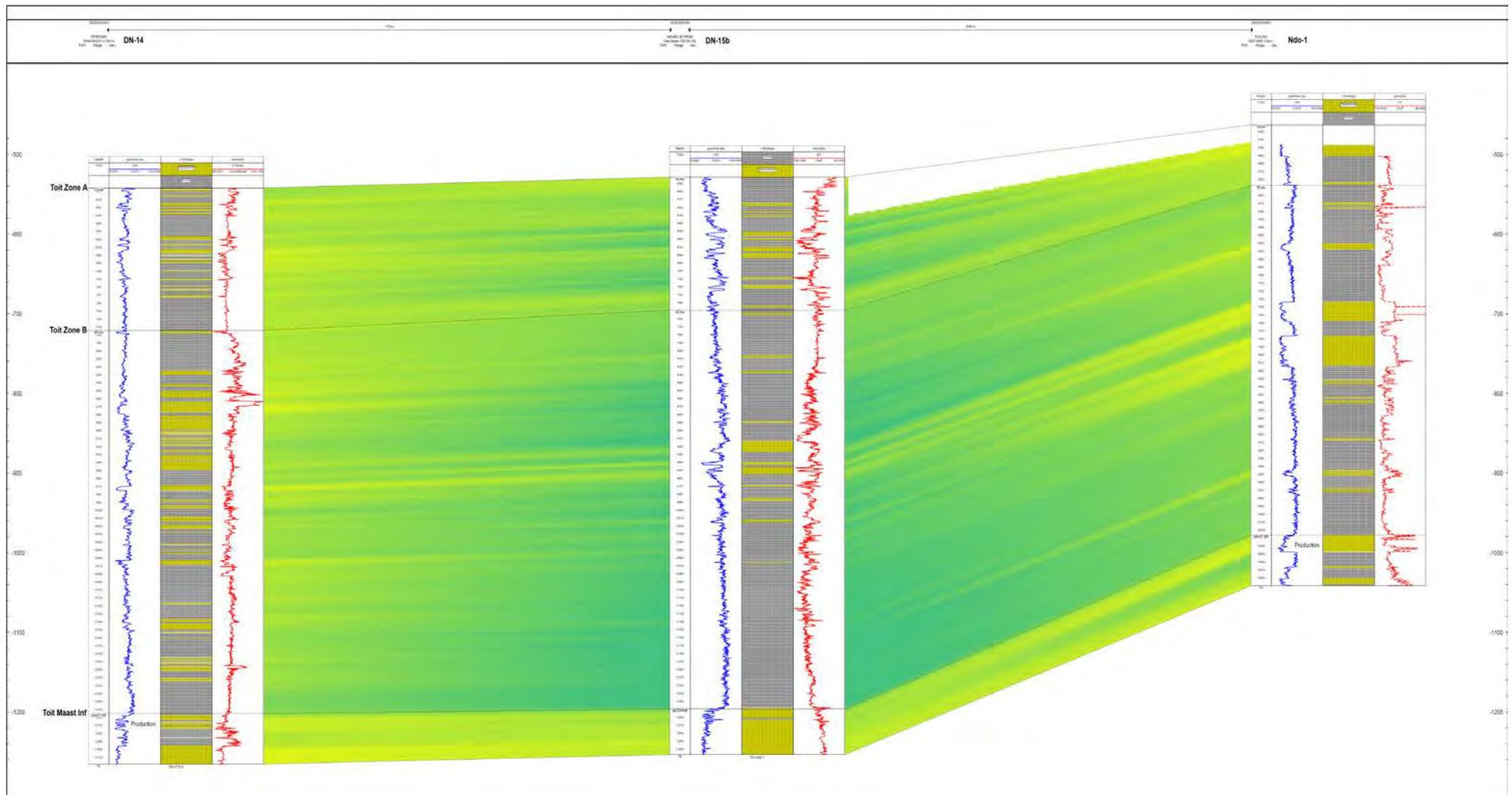


Fig.28 : Corrélation par interpolation du GR entre les puits DN-14, DN-15b et Ndo-1 (la couleur verte représente les argiles et la jaune les sables)
 (Courbes : En Bleu : Gamma Ray et en Rouge : le sonique DT)

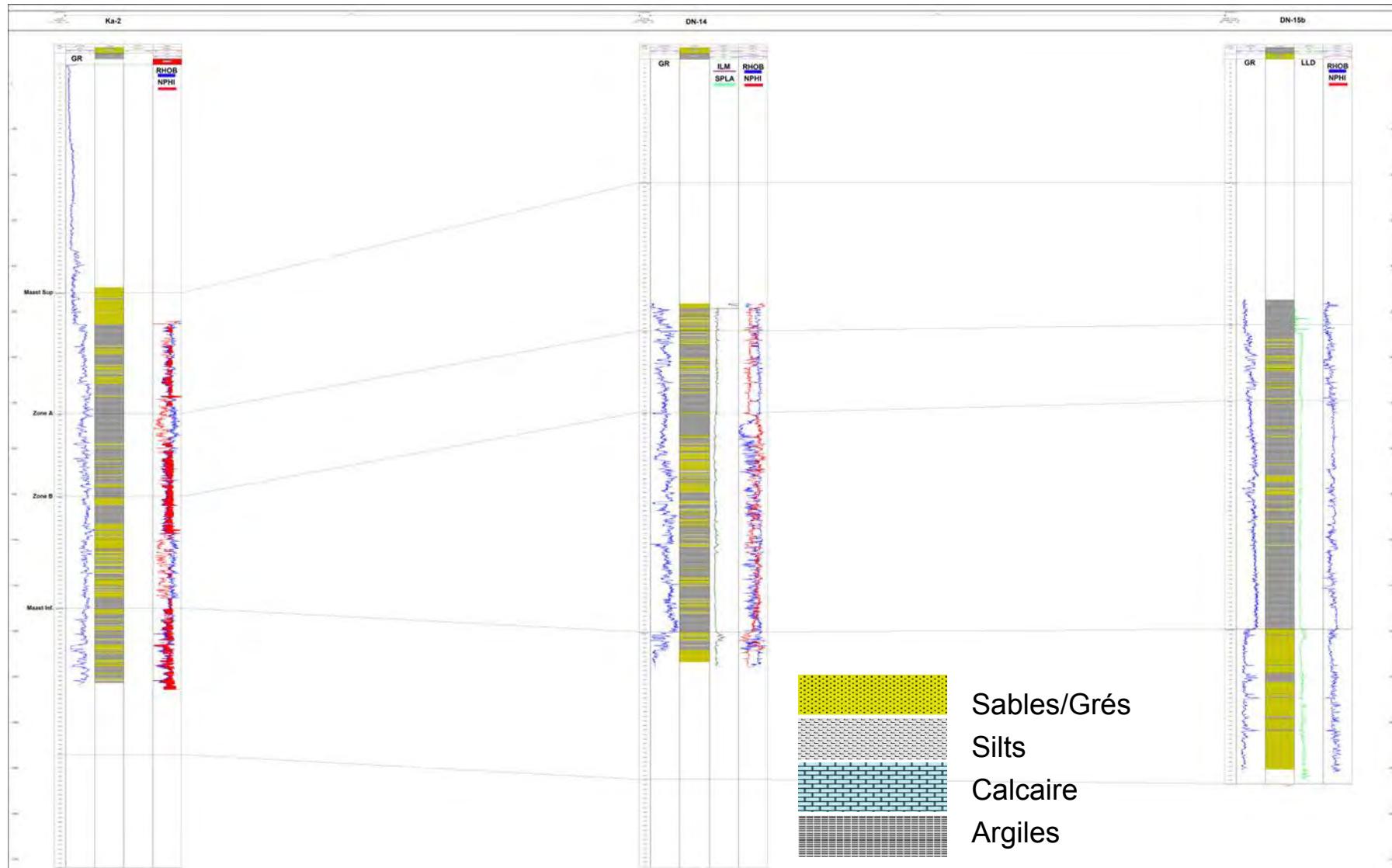


Fig.29 : Corrélation du toit des étages entre les puits Ka-2, DN-14 et DN-15b

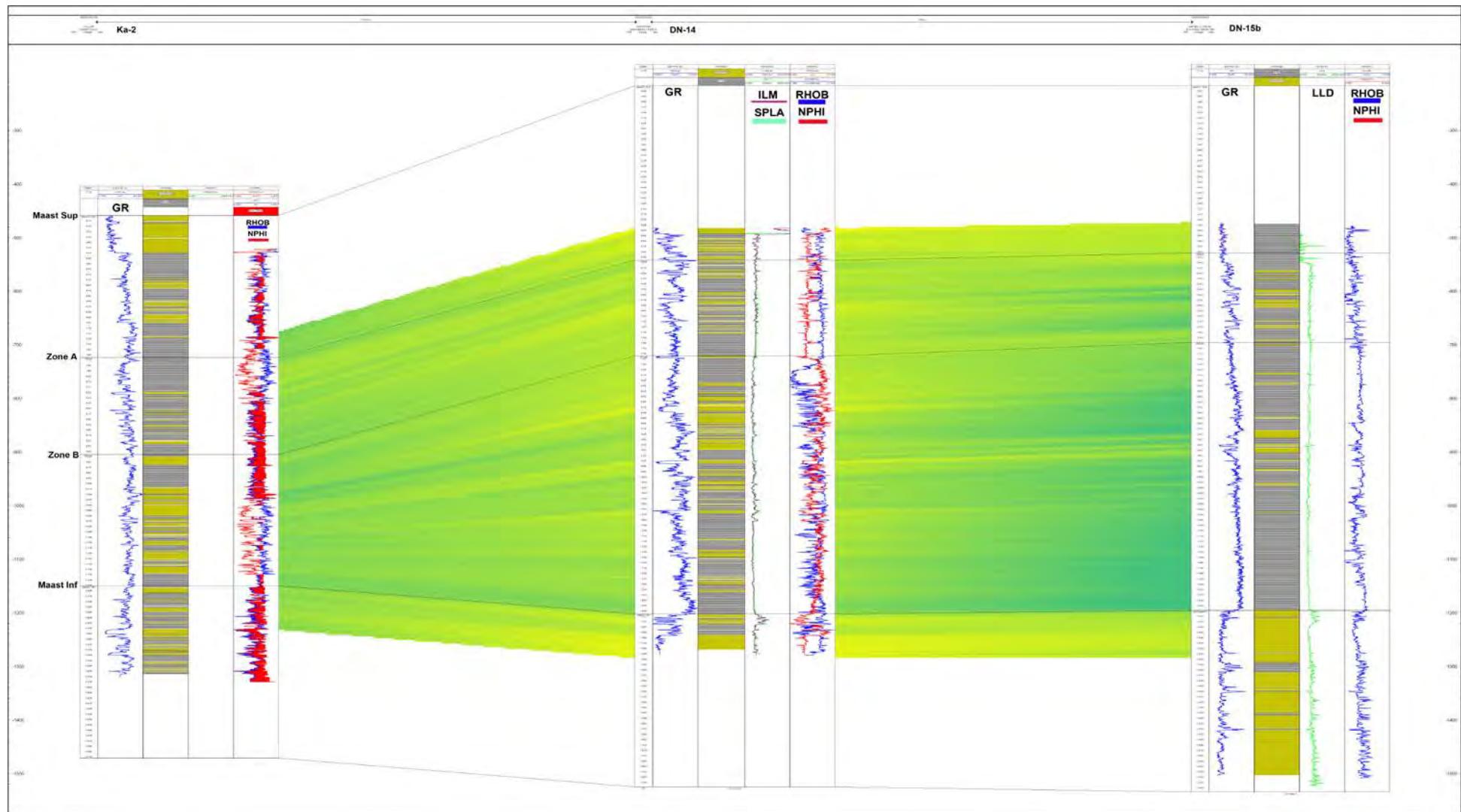


Fig.30 : Corrélation par interpolation du GR entre les puits Ka-2, DN-14 et DN-15b (la couleur verte représente les argiles et la jaune les sables)

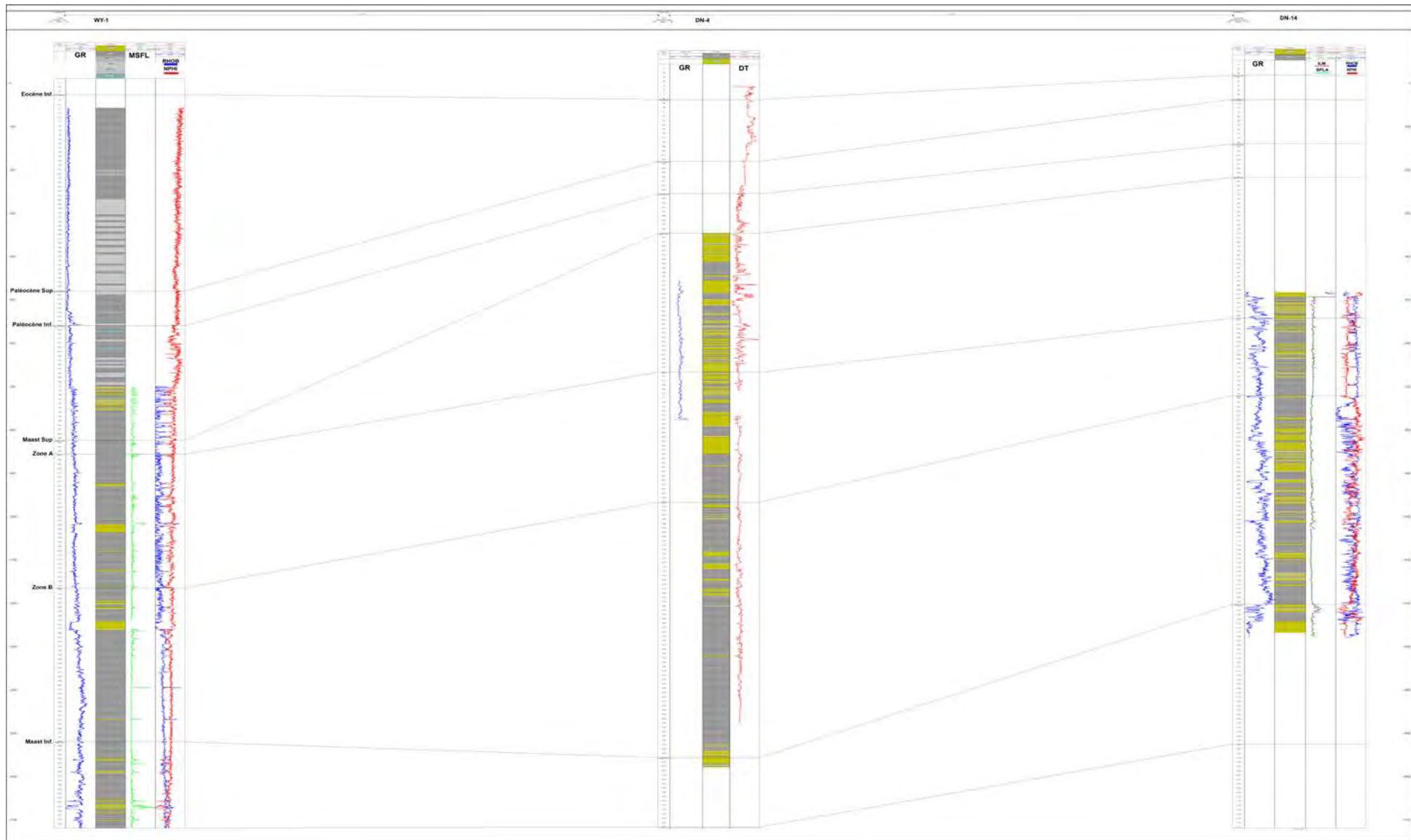


Fig.31 : Corrélation du toit des étages entre les puits de Wy-1, DN-4 et DN-14

4 - Synthèse des résultats à Diam Niadio

Les corrélations entre (Wy-1, DN-4 et DN-14), (DN-14, DN-15b et Ndo-1) et celle entre (Ka-2, DN-14 et DN-15b) permettent de déceler la présence de nombreux réservoirs gréseux dans le Crétacé Supérieur. Ces réservoirs sont lenticulaires et de faible extension latérale. D'où les quantités moyennes de pétrole et gaz produites par les gisements mis en évidence jusqu'à présent dans ce secteur.

L'Est de Diam Niadio apparaît beaucoup plus riche en dépôt sableux qui diminue progressivement vers l'Ouest, où les dépôt argileux dominent.

IV – Conclusion

En principe, toute variation verticale de la lithologie se traduit par une variation des paramètres physiques, chaque passage d'un corps sédimentaire à un autre se trouve enregistré par les courbes de diaglyphies. Cependant, la netteté de l'enregistrement d'une limite de corps sédimentaire dépend de l'épaisseur relative et absolue des formations en présence.

Les diaglyphies différenciées sont donc très utiles pour faire des corrélations de puits à puits et donnent des indications très précieuses sur les variations lithologiques. Leur association avec les données biostratigraphiques donne des indications plus précises sur la subdivision des couches.

Des réservoirs de très bonne qualité sont développées à travers le Crétacé supérieur aussi bien à Diam Niadio qu'à Gadiaga. De nombreux indices d'hydrocarbures provenant des tests des puits attestent que la zone d'étude présente un potentiel pétrolier relativement accessible et superficiel.

Cependant la présence des réseaux de failles listriques et la forme lenticulaire des réservoirs dans la plus part des cas, rendent la mise en évidence des gisements et leur exploitation difficile.

Conclusion générale

Il résulte de ce que nous venons de voir que les zones de Dakar et Thiés de par leurs situations géographiques, au centre du bassin MSGBC, renferment de nombreux réservoirs de très bonne qualité. Leur exploitation nécessite une bonne connaissance des différentes unités lithostratigraphiques.

Les données biostratigraphiques associées aux diagraphies différenciées sont indispensables pour une bonne délimitation des différentes unités lithostratigraphiques et la connaissance de l'âge exact des formations traversées lors du forage.

Les diagraphies différenciées représentent comme le montre cette étude un outil incontournable pour caractériser les réservoirs et fournissent l'essentiel des informations pour une bonne corrélation de puits à puits. Elles donnent par ailleurs des indications très précieuses sur les variations lithologiques.

Les corrélations basées essentiellement sur la polarisation spontanée et le gamma ray permettent de suivre la continuité des réservoirs dans le secteur.

Ainsi on note la présence de réservoirs gréseux à travers le Crétacé supérieur, plus particulièrement au Maastrichtien et au Campanien, dans tout le secteur.

La plupart de ces réservoirs ont montré des indices d'hydrocarbures et certains d'entre eux ont été complétés pour la production de gaz, ceci atteste que la zone d'étude présente un potentiel pétrolier relativement accessible et superficiel.

Les graphes d'interpolation par le GR au niveau des réservoirs montrent un changement de faciès au niveau des réservoirs avec un milieu qui devient plus argileux en allant de l'Est vers l'Ouest.

L'interprétation des résultats nous permet de dire que la zone d'étude renferme de nombreux réservoirs mais de faible extension horizontale et ne sont pas continus pour la plus part des puits étudiés. Ce qui nous fait dire que les réservoirs sont sous forme de lentilles sableux intercalés dans des formations argileuses (Maastrichtien inférieur, Campanien et Santonien).

En conséquence, il faut un nombre de forage plus élevé dans le secteur pour maximiser la production d'hydrocarbures.

Certains puits profonds du secteur ayant montré des indices d'hydrocarbures vers le Crétacé inférieur il serait très intéressant d'y étendre les recherches pour voir s'il y existe des réservoirs plus grands.

Références bibliographiques

Alconsult International Ltd (July 1993) : Synthèse sur l'évaluation du potentiel pétrolier du bassin MGBS (Bassin Sénégal Mauritanie Guinée Gambie).

Ardjuna Ressources Ltd and Provident Projects International Inc. (July 1989): " Hydrocarbon Potential of the Sebikhotane Permit Senegal".

Alconsult International Ltd (Janvier 1994): Hydrocarbon Prospective report; Thiés Block, Sebikhotane Area, Senegal.

Atlantic Ressources Limited (1986) : Potentiel pétrolier du Sénégal

Bellion, Y. (1987) : Histoire géodynamique post-paléozoïque de l'Afrique de l'Ouest d'après l'étude de quelques bassins sédimentaires (Sénégal, Taoudéni, Iullemneden, Tchad). Thèse univ. Avignon et des pays de Vaucluse, 292 pages

Bellion, Y. & Guiraud R. (1982) : Les coupures (lacunes, discordances) dans la série sédimentaire post-paléozoïque du bassin Sénégalais – In : 10ième Réunion annuelle Science de la Terre (Paris), P. 40

Boulin, J. (1977) : Méthodes de la stratigraphie et géologie historique P.28 – 39 ; P.49 – 53.

Castelain, J. (1965) : Aperçu stratigraphique et micropaléontologique du bassin du Sénégal. Historique de la découverte paléontologique. Mém. Bur. Rech. Géol. Min., 32 : 135-156.

Chapellier, D. (1987) : Diographies appliquées à l'hydrologie.

Debranche, R. (Mai 1982) : Diographies dans les sondages. Publication de l'Institut Français du Pétrole Editions Technip ; P.115 – 198.

De Spengler, A. ; Castelain, J. ; Gauvin, J. & Leroy, M. (1966) : Le bassin secondaire – tertiaire du Sénégal. In : Reyre D. (ed.) : Bassins sédimentaires du littoral atlantique, 1ère partie : Littoral atlantique.

Dillon, W. P. & Sougy, J. (1974): Géology of West Africa and Canary and Cape Verde Islands. In: Nairn A. E. M. & Stehli F. G. (ed.): The Ocean Basins and Margins, 2, P. 315 – 390. Plenum Publ. Corp., New York

Fortesa International Senegal LDC (Février 2007) : Rapport de fin de sondage du puits de Sadiaratou-3.

Fortesa International Senegal LDC (Mai 2007) : Rapport de fin de sondage du puits de Sadiaratou-4.

Fortesa International Senegal LDC (Février 2008) : Rapport de fin de sondage du puits de Sadiaratou-5.

Fortesa International Senegal LDC (Octobre 2005) : Rapport de fin de sondage du puits de Sadiaratou-1.

Fortesa International Senegal LDC (Janvier 2006) : Rapport de fin de sondage du puits de Diam Niadio-15B.

Internet : "cours de géophysique online de l'Université de Lausanne"

Lecorche, J. P.; Roussel J.; Sougy J. & Guetat L. (1985): An interpretation of the geology of the orogenic belt (West Africa) in the light of geophysical data
Mem. Geol. Soc. America, 15B P. 131 – 147

Shell Senrex, Société Sénégalaise de Recherches et d'Exploration (Juin 1977) : Rapport de fin de sondage du puits de Gadiaga-1.

Société Africaine des Pétroles (SAP), (Novembre 1960) : Rapport de fin de sondage du puits de Diam Niadio-4.

Société Africaine des Pétroles (SAP), (Décembre 1959) : Rapport de fin de sondage du puits de Mont Rolland-2.

Société des Pétroles du Sénégal (PETROSEN) (Mars 1993) : Rapport de fin de sondage du puits de Diam Niadio-14.

Société des Pétroles du Sénégal (PETROSEN) (Novembre 1996) : Rapport de fin de sondage du puits de Gadiaga-2.

Tullow Oil Plc (Février 1989) : Rapport de fin de sondage du puits de Kabor-2.

Tullow Oil Plc (Janvier 1998) : Rapport de fin de sondage du puits de Ndoyenne-1.

Tullow Oil Plc (Mars 1998) : Rapport de fin de sondage du puits de Wayambam-1.

Tullow Oil Plc (April 1995): Paleontological correlation of wells DN-3, DN-5, DN-13, DN-14 & KA-2; Phase I Senegal.

Tullow Oil Plc (October 1996): Paleontological correlation of wells BB-1, DN-5, DN-14, KK-1, PT-1, RT-1 & SO-1; Phase II Senegal.

Tullow Oil Plc Exploration Departement (Août 1989): Sebikhotane Permit "Geological Exploration Study".

Villeneuve M. & Da Rocha Araujo P. R. (1984) : La stratigraphie du bassin paléozoïque de Guinée (Afrique de l'Ouest). Bull. Soc. Géol. Min. P. 29, 32 – 40

Glossaire

BHC : Effet du trou de sondage compensé (Borehole compensated)
CNL : Diagraphie Compensée Neutron (Compensed Neutron Log)
GR : Gamma Ray
IId : Induction profonde (Deep Induction)
IIm : Induction moyenne (Medium Induction)
LLd : Latérolog profond (Deep Laterolog)
LLs : Latérolog peu profond (Shallow Laterolog)
MSFL : Diagraphie à Focalisation Microsphérique
NPHI : porosité calculée avec la diagraphie neutron
PS : Polarisation Spontanée
RHOB : Masse volumique moyenne du milieu poreux
Rm : Résistivité de la boue
Rmf : Résistivité du filtrat de boue
Ro : Résistivité de la formation saturée d'eau
Rt : Résistivité de la zone vierge
Rw : Résistivité de l'eau de formation
Rxo : Résistivité de la zone lessivée
SFL : Log à Focalisation Sphérique
Sh : Saturation en hydrocarbure
Sw : Saturation en eau
GD-1 : Gadiaga-1
GD-2 : Gadiaga-2
Sa-1 : Sadiaratou-1
Sa-3 : Sadiaratou-3
Sa-4 : Sadiaratou-4
Sa-5 : Sadiaratou-5
Rd-2 : Mont Rolland-2
NDo-1 : Ndoyéne-1
Ka-2 : Kabor-2
DN-14 : Diam Niadio-14
DN-15b : Diam Niadio-15b
DN-4 : Diam Niadio-4
Wy-1 : Wayambam-1
LS : Lower Santonien (Santonien inférieur)
LC : Lower Campanien (Campanien inférieur)

Liste des figures

- Fig. 1:** Localisation géographique de la zone d'étude.
- Fig.2 :** Carte de la localisation du bassin Mauritanie-Sénégal-Gambie-Guinée Bissau-Guinée Conakry.
- Fig.3 :** Colonne lithostratigraphique du bassin Sénégal-Mauritanien.
- Fig.4 :** Tectonique des zones de Gadiaga et Diam Niadio.
- Fig.5 :** Corrélation paléontologique entre Dn-14 et Ka-2.
- Fig.6 :** Répartition des taxons au niveau de Gd-1 (Palynologie).
- Fig.7:** Sonde latérolog.
- Fig.8:** Treuil.
- Fig.9:** Camions d'acquisition des diagraphies à gauche en 1927 à droite actuellement.
- Fig.10:** Représentation schématique de l'invasion.
- Fig.11:** Schéma de principe de la sonde neutron.
- Fig.12:** Principe de fonctionnement de la sonde sonique monopôle.
- Fig.13:** Carte de la Localisation des différents puits utilisés.
- Fig.14:** Colonne lithostratigraphique de Gd-1.
- Fig.15:** Colonne lithostratigraphique de Gd-2.
- Fig.16:** Colonne lithostratigraphique de Sa-1.
- Fig.17:** Colonne lithostratigraphique de Dn-14.
- Fig.18:** Colonne lithostratigraphique de Dn-15b.
- Fig.19a:** Corrélation du toit des étages entre les puits Gd-1, Gd-2, Sa-4, Sa-5 et Sa-3
- Fig.19b:** Corrélation du toit des étages entre les puits Gd-1, Gd-2, Sa-4, Sa-5 et Sa-3
- Fig.20:** Corrélation du toit des étages entre les puits Gd-1 et Gd-2
- Fig.21:** Corrélation par interpolation du GR entre Gd-1 et Gd-2
- Fig.22:** Corrélation par interpolation du GR entre les puits Gd-1, Gd-2, Sa-4, Sa-5 et Sa-3
- Fig.23:** Corrélation du toit des étages entre les puits Gd-2, Sa-1 et Rd-2
- Fig.24:** Corrélation par interpolation du GR entre les puits Gd-2, Sa-1 et Rd-2
- Fig.25:** Délimitation du Paléocène supérieur par le GR à Wayambam-1
- Fig.26:** Pic du Maastrichtien supérieur par le GR à Wayambam-1
- Fig.27:** Corrélation du toit des étages entre les puits DN-14, DN-15b et Ndo-1
- Fig.28:** Corrélation par interpolation du GR entre les puits DN-14, DN-15b et Ndo-1
- Fig.29:** Corrélation du toit des étages entre les puits Ka-2, DN-14 et DN-15b
- Fig.30:** Corrélation par interpolation du GR entre les puits Ka-2, DN-14 et DN-15b
- Fig.31:** Corrélation du toit des étages entre les puits Wy-1, DN-4 et DN-14

Annexe 1

Formations	DN-4 Profondeur (m)	Nd-1 Profondeur (m)	Ka-2 Profondeur (m)	Wy-1 Profondeur (m)
Quaternaire	00	05,6	05	8
Eocène	11	11	07	37
Paléocène supérieur	223	88	351	490
Paléocène inférieur		99	427,5	738
Maastrichtien supérieur	390	168	500	835
Sommet des sables aquifères		383		
Base des sables aquifères		511		
Maastrichtien inférieur	1600	1026		1519
Campanien				2089
Profondeur finale	1623	1585	1368	2189

Annexe 2

Formations	Sa-3 Profondeur (m)	Sa-4 Profondeur (m)	Sa-5 Profondeur (m)	Rd-2 Profondeur (m)
Quaternaire	00	00		00
Eocène	18,3	19,3		16
Paléocène supérieur	116,3	117,3	158	25
Paléocène inférieur	174,7	177,3	204	48
Maastrichtien supérieur	286	293	318	54
Sommet des sables aquifères	308	317		
Base des sables aquifères	624	637,1		
Maastrichtien inférieur	626	615	622	
Campanien supérieur	980,9	969,7	950	782
Campanien inférieur Channel zone	1250,7		1245	
Campanien inférieur LC-1		1267,5		
Campanien inférieur LC-2	1290,1	1302,7	1289	
Campanien inférieur Argileux	1318,9	1329,3		
Santonien LS-1	1392	1389,9	1371	1210
Santonien LS-2		1647,5	1598	
Coniacien			1637	
Profondeur finale	1452	1792	1660	3500

Table des matières

	<u>Pages</u>
Introduction générale.....	1
Première partie : Cadre géographique et géologie du secteur.....	2
Chapitre I : Cadre géographique et géologie du secteur.....	3
I – 1 Localisation géographique de la zone d'étude.....	3
I – 2 Contexte géologique régional.....	5
I – 3 Géologie du Crétacé au Nord Ouest du bassin.....	7
I – 3 – 1 Le Crétacé inférieur.....	7
I – 3 – 2 Le Crétacé supérieur.....	9
I – 3 – 3 Tectonique de la zone.....	13
Deuxième partie : Données biostratigraphiques.....	15
Chapitre II : Les données biostratigraphiques du secteur.....	16
II – 1 Définition de la biostratigraphie.....	16
II – 2 Distribution stratigraphique des biozones dans 10 sondages du secteur.....	16
II – 3 Biostratigraphie de Gadiaga-1 (Gd-1).....	22
II – 4 Corrélations biostratigraphiques.....	24
Troisième partie : méthodes diagraphiques.....	25
Chapitre III : Méthodologie.	26
III – 1 Définition des diagraphies différencées.....	26
III – 2 Principe.....	26
III – 3 Les diagraphies électriques.....	28
III – 3 – 1 La polarisation spontanée.....	28
III – 3 – 2 La résistivité.....	28
III – 4 Diagraphies nucléaires.....	29
III – 4 – 1 Diagraphie de rayon gamma naturels.....	29
III – 4 – 2 Diagraphies neutrons.....	30

	<u>Pages</u>
III – 4 – 3 Diagraphie de densité.....	31
III – 4 – 4 Diagraphies acoustiques.....	31
III – 5 Conclusion.....	34
Chapitre IV : Application de méthode géophysique sur les réservoirs du Crétacé supérieur.....	35
IV – 1 Introduction.....	35
IV – 2 Techniques utilisées	35
IV – 3 Description lithologique des puits.....	37
IV – 3 – 1 Gadiaga-1.....	37
IV – 3 – 2 Gadiaga-2.....	40
IV – 3 – 3 Sadiaratou-1.....	42
IV – 3 – 4 Diam Niadio-14.....	44
IV - 3 - 5 Diam Niadio-15B.....	46
IV - 4 Corrélations.....	48
IV – 4 – 1 Zone de Gadiaga.....	48
A / Corrélation du toit des étages	48
B / Corrélation des réservoirs.....	49
1 – Corrélation entre Gd-1 et Gd-2.....	49
2 – Corrélation entre Gd-1, Gd-2, Sa-4, Sa-5 et Sa-3.....	49
3 – Corrélation entre Gd-2, Sa-1 et Rd-2.....	49
4 – Synthèse des résultats dans la zone de Gadiaga.....	50
IV – 4 – 2 Zone de Diam Niadio.....	51
A / Corrélation du toit des étages.....	51
B / Corrélation des réservoirs.....	52
1 – Corrélation entre DN-14, DN15b et Ndo-1.....	52
2 – Corrélation entre Ka-2, DN-14 et DN-15b.....	53
3 – Corrélation entre Wy-1, DN-4 et DN14.....	53
4 – Synthèse des résultats dans la zone de Diam Niadio.....	54
IV – 4 – 3 Conclusion.....	55
Conclusion générale.....	56
Références bibliographiques.....	57
Glossaire.....	59
Liste des figures.....	60
Annexes.....	61
Table des matières.....	65

