

## TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS .....	I
RESUME .....	III
TABLE DES MATIERES .....	IV
LISTE DES FIGURES.....	VI
LISTE DES TABLEAUX.....	VIII
LISTE DES PHOTOS.....	IX
LISTE DES ANNEXES.....	X
LISTE DES ABREVIATIONS et ACRONYMES .....	XI
INTRODUCTION .....	1
<b>Partie I : Généralités .....</b>	<b>3</b>
<b>I- Cadre de l'étude .....</b>	<b>3</b>
<i>I-1 Situation géographique de la zone d'étude .....</i>	<i>3</i>
<i>I-2 Contexte géologique régionale de Bemolanga .....</i>	<i>5</i>
<i>I-4 Présentation des faciès.....</i>	<i>17</i>
<i>I-5 Présentation des analyses de laboratoire effectuées.....</i>	<i>17</i>
<b>II- Objectifs des travaux.....</b>	<b>21</b>
<i>II-1 Objectifs principaux.....</i>	<i>21</i>
<i>II-2 Objectifs spécifiques.....</i>	<i>21</i>
<b>III- Les travaux antérieurs .....</b>	<b>22</b>
<i>III-1 Historique des explorations des grès de Bemolanga .....</i>	<i>22</i>
<i>III-2 Les acquis sur la granulométrie des grès de Bemolanga .....</i>	<i>23</i>
<b>IV- TEPMG.....</b>	<b>24</b>
<i>IV-1 Présentation de la société.....</i>	<i>24</i>
<i>IV-2 Historique de la TEPMG .....</i>	<i>24</i>
<i>IV-3 La situation actuelle de l'entreprise .....</i>	<i>24</i>
<i>IV-4 Description de l'organisation interne globale de la société.....</i>	<i>25</i>
<i>IV-5 Description du département de la géoscience.....</i>	<i>26</i>
<b>V- Matériels et Méthodes.....</b>	<b>27</b>
<i>V-1 Les moyens matériels.....</i>	<i>27</i>
<i>V-2 Les données mises à disposition .....</i>	<i>27</i>
<i>V-3 Méthodologie.....</i>	<i>28</i>
<b>Partie II : Les études entreprises.....</b>	<b>30</b>
<b>I- Relation entre les différents paramètres.....</b>	<b>30</b>
<i>I-1 Relation Granulométrie – Faciès .....</i>	<i>30</i>
<i>I-2 Relation MBI– Faciès.....</i>	<i>35</i>
<i>I-3 Regroupement de faciès .....</i>	<i>37</i>
<i>I-4 Détermination de la valeur de MBI limite séparant le groupe BR des MR.....</i>	<i>43</i>
<i>I-5 Application du regroupement de faciès à toutes les unités de formations et détermination de leurs ASPEC minimal, maximal et moyen .....</i>	<i>46</i>

I-6	<i>Étude des particules fines et sa relation avec l'imprégnation</i> .....	50
II-	<b>Étude de Porosité et de Perméabilité</b> .....	56
III-	<b>Étude de variation d'imprégnation dans l'Amboloando Inférieur</b> .....	59
III-1	<i>La variation stratigraphique d'imprégnation</i> .....	59
III-2	<i>La variation latérale d'imprégnation</i> .....	62
<b>Partie III :</b>	<b>Discussion et Synthèse des résultats</b> .....	67
I-	<b>Discussion des résultats</b> .....	67
I-1	<i>Explication des origines des « valeurs anormales »</i> .....	67
I-2	<i>Causes des différences d'imprégnation entre l'Amboloando Inférieur et l'Amboloando Supérieur</i> .....	77
I-3	<i>Causes géologiques des variations d'imprégnations dans LA</i> .....	79
II-	<b>Synthèse des résultats</b> .....	83
<b>CONCLUSION</b> .....		86
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....		87
<b>ANNEXES</b> .....		i

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1:</b> Carte de localisation du Bloc 3102 et des secteurs d'étude de Bemolanga.....	3
<b>Figure 2:</b> Carte de localisation du Bloc 3102 et de la zone d'intérêt de Bemolanga .....	4
<b>Figure 3:</b> Évolution géodynamique de Madagascar.....	11
<b>Figure 4:</b> Découpage strati-séquentiel utilisé par TOTAL pour la campagne 2009.....	14
<b>Figure 5:</b> Découpage strati-séquentiel utilisé par TOTAL pour la campagne 2010.....	16
<b>Figure 6:</b> Courbes des distributions granulométriques des Argiles de base noté BLS.....	30
<b>Figure 7:</b> Courbes des distributions granulométriques de l'Amboloando Inférieur noté LA .....	31
<b>Figure 8:</b> Courbes des distributions granulométriques de l'Amboloando Moyen noté MA .....	32
<b>Figure 9:</b> Courbes des distributions granulométriques de l'Amboloando Supérieur noté UA .....	33
<b>Figure 10:</b> Courbes des distributions granulométriques du Mokara noté MOK.....	34
<b>Figure 11:</b> Taux d'argilosité des échantillons des faciès UA-F1, UA-F2, UA-F5, UA-F9, UA-F6(a), UA-F6(b) UA-F7(a), UA-F7(b) .....	35
<b>Figure 12:</b> Taux d'argilosité des échantillons des faciès LA-F7, LA-F8(a), LA-F8(b), LA-F8(c) LA-F9(a), LA-F9(b), LA-F10.....	36
<b>Figure 13:</b> Délimitation et terminologie des séries par rapport au découpage séquentiel .....	38
<b>Figure 14:</b> Représentation des MBI et des ASPEC du Mokara.....	44
<b>Figure 15:</b> Représentation des MBI et des ASPEC de l'UA .....	44
<b>Figure 16:</b> Représentation des MBI et des ASPEC de MA.....	44
<b>Figure 17:</b> Représentation des MBI et des ASPEC de LA .....	44
<b>Figure 18:</b> Représentation du MBI et de l'ASPEC des échantillons des Argiles de base.....	45
<b>Figure 19:</b> Représentation du MBI et de l'ASPEC des échantillons de l'Isalo I.....	45
<b>Figure 20:</b> Représentation des ASPEC de SB5_MFS5 .....	47
<b>Figure 21:</b> Représentation des ASPEC de SB4_MFS4 .....	47
<b>Figure 22:</b> Représentation des ASPEC de UA4 .....	47
<b>Figure 23:</b> Représentation des ASPEC de UA3 .....	47
<b>Figure 24:</b> Représentation des ASPEC de UA2 .....	48
<b>Figure 25:</b> Représentation des ASPEC de UA1 .....	48
<b>Figure 26:</b> Représentation des ASPEC de UA0 .....	48
<b>Figure 27:</b> Représentation des ASPEC de SB2_TS1 .....	48
<b>Figure 28:</b> Représentation des ASPEC de SB1_SB2.....	49
<b>Figure 29:</b> Pourcentage d'Argiles pour chaque groupe et prédiction de leur limite .....	52
<b>Figure 30:</b> Pourcentage de Silts pour chaque groupe et prédiction de leur limite .....	52
<b>Figure 31:</b> Relation pourcentage d'Argiles-Imprégnation.....	53
<b>Figure 32:</b> Relation Pourcentage de Fines (Argiles+Silts)-Imprégnation .....	54
<b>Figure 33:</b> Relation MBI-ASPEC.....	55
<b>Figure 34:</b> Représentation des Porosités .....	56
<b>Figure 35:</b> Représentation des Perméabilités .....	56
<b>Figure 36:</b> Représentation des Porosités et Perméabilités des groupes de faciès .....	57
<b>Figure 37:</b> Représentation des Porosités et Perméabilités des faciès.....	58

<b>Figure 38:</b> Comparaison granulométrique de LA1 et LA2 .....	59
<b>Figure 39:</b> Comparaison des MBI et ASPEC de LA1 et LA2.....	60
<b>Figure 40:</b> Comparaison des Porosités et Perméabilités de LA1 et de LA2 .....	60
<b>Figure 41:</b> Carte d'imprégnation de LA1 montrant les zones de contraste .....	62
<b>Figure 42:</b> Carte d'imprégnation de LA2 montrant les zones de contraste .....	63
<b>Figure 43:</b> Comparaison des pourcentages d'Argiles et des ASPEC des deux zones au niveau de LA1 .....	64
<b>Figure 44:</b> Comparaison des pourcentages des (Argiles+Silts) et des ASPEC des deux zones au niveau de LA1.....	65
<b>Figure 45:</b> Comparaison des MBI et des ASPEC des deux zones au niveau de LA1.....	65
<b>Figure 46:</b> Comparaison des Porosités et Perméabilités des deux zones au niveau de LA1.....	66
<b>Figure 47:</b> Comparaison des Porosités et Perméabilités des deux zones au niveau de LA2.....	66
<b>Figure 48:</b> Comparaison des pourcentages des classes granulométriques de UA et de LA .....	77
<b>Figure 49:</b> Comparaison du pourcentage moyen des Argiles de UA et de LA.....	78
<b>Figure 50:</b> Comparaison du pourcentage moyen des Silts de UA et de LA.....	78
<b>Figure 51:</b> Comparaison du pourcentage moyen des Grès de UA et de LA.....	79
<b>Figure 52:</b> Log lithologique et stratigraphique synthétique de l'Amboloando Inférieur .....	80
<b>Figure 53:</b> Coupe géologique de Bemolanga .....	81

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1:</b> Classification des sols en fonction du taux d'argilosité .....	20
<b>Tableau 2:</b> Proposition de regroupement de faciès pour chaque séquence incluant tous les faciès ...	40
<b>Tableau 3:</b> Regroupement de faciès pour chaque série à partir du LPSA .....	41
<b>Tableau 4:</b> Regroupement de faciès pour chaque série à partir des MBI et ASPEC .....	42
<b>Tableau 5:</b> Classification granulométrique d'Udden-Wentworth.....	50
<b>Tableau 6:</b> Pourcentage moyen de chaque classe pour chacun des groupes.....	50
<b>Tableau 7:</b> Pourcentage limite des Argiles et Silts pour chaque groupe.....	51
<b>Tableau 8:</b> Valeur d'imprégnation maximum pour un pourcentage de Fines donné .....	54
<b>Tableau 9:</b> Valeur d'imprégnation maximale pour une valeur de MBI donnée.....	55
<b>Tableau 10:</b> Pourcentage moyen des différentes classes de grès de LA1 et LA2 .....	81
<b>Tableau 11:</b> Tableau comparatif des groupes Bon Réservoir et Mauvais Réservoir.....	83
<b>Tableau 12:</b> Tableau comparatif des de l'Amboloando Supérieur et de l'Amboloando Inférieur.....	84
<b>Tableau 13:</b> Tableau comparatif de LA1 et LA2 .....	84

## LISTE DES PHOTOS

<b>Photo 1:</b> Carottes montrant la présence de galets argileux .....	68
<b>Photo 2:</b> Carotte présentant de « debris flow » .....	69
<b>Photo 3:</b> Carottes à doublets et drapages argileux.....	70
<b>Photo 4:</b> Carotte à niveau d'argile sableuse .....	71
<b>Photo 5:</b> Carottes de grès à niveau blanchâtre cimenté par des éléments carbonatés .....	72
<b>Photo 6:</b> Carotte de grès à nodule carbonaté.....	73
<b>Photo 7:</b> Carotte d'hétérolithique sableux .....	74

## LISTE DES ANNEXES

<b>Annexe A:</b> Tableau des faciès.....	i
<b>Annexe B:</b> Mesure de Porosité et de Perméabilité.....	vi
<b>Annexe C:</b> Courbes granulométriques de chaque séquence pour le regroupement de faciès.....	viii
<b>Annexe D:</b> Représentation des MBI et ASPEC de chaque séquence pour le groupement de faciès.	xvi
<b>Annexe E:</b> Tableaux détaillant le calcul de la valeur limite de MBI entre Bon Réservoir et Mauvais Réservoir.....	xxiv
<b>Annexe F:</b> Détails des calculs des valeurs maximales d'Argiles et de Silts pour chaque groupe.....	xxv
<b>Annexe G:</b> Comparaison à l'échelle d'un puits des caractéristiques pétrophysiques de LA1 et LA2	xxvi
<b>Annexe H:</b> Comparaison des caractéristiques pétrophysiques des deux zones Est et Ouest au niveau de LA2.....	xxviii

Rapport-Gratuit.Com

## LISTE DES ABREVIATIONS et ACRONYMES

**ANK:** Ankaramenabe

**ASPEC:** Automatic Solid Phase Extraction Chromatography

**BLS:** Base Level Shales (Argiles de Base)

**BR:** Bon Réservoir

**E&P:** Exploration et Production

**HSE/DD:** Hygiène- Santé, Sécurité, Sociétal- Environnement/ Développement Durable

**ISA:** Isalo I

**IFP:** Institut Français du Pétrole

**LA:** Lower Amboloando (Amboloando Inférieur)

**LPSA:** Laser Particle Size Analysis

**MA:** Middle Amboloando (Amboloando Moyen)

**MBI:** (Taux d'argilosité obtenu par l'essai au bleu de méthylène)

**MFS:** Maximum Flooding Surface (Surface Maximale de transgression)

**MOK:** Mokara

**MR:** Mauvais Réservoir

**NR:** Non Réservoir

**PSD:** Particle Size Distribution (Distribution granulométrique)

**OMNIS :** Office des Mines Nationales et des Industries Stratégiques

**RM:** Raffinage et Marketing

**SB:** Sequence Boundary (limite de séquence)

**SPM :** Société des Pétroles de Madagascar

**TEPMG:** TOTAL EXPLORATION & PRODUCTION MADAGASCAR

**TS :** Transgressive Surface (Surface Transgressive)

**UA:** Upper Amboloando (Amboloando Supérieur)



# INTRODUCTION

Le pétrole est une ressource naturelle formée au cours des âges géologiques dans les profondeurs du sol. C'est une substance liquide hydrocarbonée d'origine organique. Par définition, le pétrole est l'ensemble d'hydrocarbures.

Durant ces cinquante dernières années, il est devenu un élément quasi indispensable de la vie quotidienne. Les besoins croissants des pays développés mais aussi des pays émergents engendrent une compétition toujours plus forte sur un marché déjà à flux tendus. Ainsi l'exploration et la mise en production de nouveaux gisements s'accélèrent un peu partout dans le monde. Ceci se fait sentir à Madagascar. En effet, Madagascar voit développer en elle, ces dernières décennies, une tendance à l'exploration pétrolière. C'est pourquoi TOTAL est entré ici à Madagascar en contrat avec l'Office des Mines Nationales et des Industries Stratégiques (OMNIS) dans cette optique. Il a choisi comme zone d'intérêt la région de Bemolanga, secteur très connu par ses sous sols abritant d'important gisement de grès bitumineux, le premier gisement de type huile « non conventionnelle / Bitume » en Afrique et potentiellement le 3<sup>ème</sup> gisement de ce type au monde. C'est dans ce cadre (exploration entreprise par TOTAL) que les travaux afférant à ce mémoire ont été engagés.

L'exploration apparaît comme un vaste plateau sur lequel s'entretiennent divers types d'études et de travaux. La géologie de par ses différents aspects, y est prédominante. Elle peut se présenter par une simple cartographie allant jusqu'à des grands travaux d'investigations comme les travaux de forages, les travaux sismiques, ....

Le présent mémoire offre un aperçu d'un aspect particulier du rôle de la géologie dans l'exploration du gisement bitumineux de Bemolanga à Madagascar. Il s'agit d'une **étude granulométrique**.

La genèse des hydrocarbures nécessite une accumulation de matière organique, planctonique pour l'essentiel et des conditions réductrices en empêchant la destruction par oxydation. Cela se produit dans des bassins où pourront ensuite se former des évaporites, mais aussi en mer ouverte si la sédimentation est argileuse. La transformation de cette matière organique qui donne tout d'abord des boues sapropéliques, se fait dès le début de la diagenèse sous l'influence des bactéries. Elle se poursuit par de complexes réactions physico-chimiques lorsque la température et la pression augmentent du fait de l'enfouissement. Les huiles formées peuvent restées dans la roche mère, ou la quitter et migrer du fait de leur faible densité. Elles ne seront conservées que si elles sont piégées dans une roche **réservoir** et surmontée par un toit imperméable dans des structures variées. Les roche réservoirs sont des roches ayant des attrait physiques, petrophysiques, géologiques spécifiques dont fait partie la granulométrie, la porosité, la perméabilité. Ces caractéristiques conditionnent en général la qualité de ces réservoirs d'hydrocarbures.

Ainsi les études menées dans ce mémoire sont focalisées sur **les analyses et l'évaluation des impacts qu'ont les caractères petrophysiques**, notamment la granulométrie, mais aussi la porosité et la perméabilité, **sur la qualité et le degré des imprégnations bitumineuses des grès de Bemolanga**.

Ces analyses granulométriques ont été également nécessaires pour la définition et la détermination du regroupement des faciès identifiés sur les carottes afin de réaliser une modélisation du gisement.

Avant d'entamer le vif du sujet qui est le développement des différentes études sur les analyses des caractères petrophysiques, nous donnerons d'abord dans la première partie des informations générales sur le cadre de l'étude et la société TOTAL EXPLORATION et PRODUCTION MADAGASCAR (TEPMG), la seconde partie abordera les méthodes utilisées pour l'étude. La dernière partie sera consacrée à la discussion et à la synthèse des résultats.

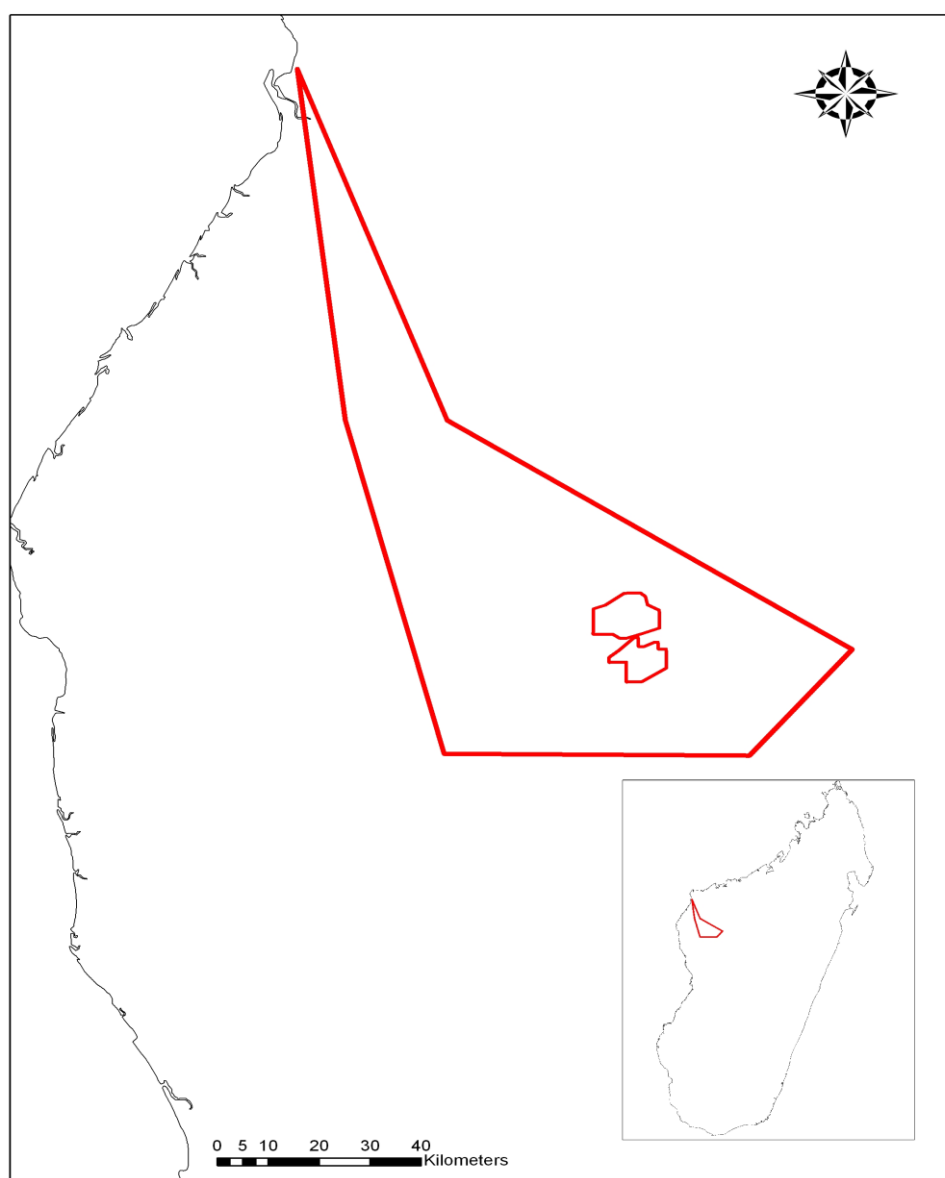
# PARTIE I : GENERALITES

## Partie I : Généralités

### **I- Cadre de l'étude**

#### **I-1 Situation géographique de la zone d'étude**

Le gisement de grès bitumineux de Bemolanga, à l'extrémité sud du bloc d'exploration 3102, se situe dans le district de Morafenobe, à 350 km environ à l'Ouest – Nord-Ouest d'Antananarivo et à 150 km de la côte occidentale de Madagascar (figures 1 et 2).



(Source : TOTAL E&P)

**Figure 1: Carte de localisation du Bloc 3102 et des secteurs d'étude de Bemolanga**



## I-2 Contexte géologique régionale de Bemolanga

Le gisement de grès bitumineux de Bemolanga se trouve à l'extrémité Nord du bassin sédimentaire de Morondava.

La zone d'étude est située dans le bassin versant du fleuve Manambaho. Elle est entourée par :

- Les massifs annulaires magmatiques de Berevo et Fonjay au Nord et à l'Ouest,
- Le plateau de Bongolava à l'Est,
- La partie septentrionale du graben (dépression permotriasique) de Morafenobe au Sud,
- Le plateau cristallin d'Andolobe au Sud-Est,
- Le Massif migmatitique et gneissique de Bekodoka au Nord.

### Contexte morpho-structural :

Au Nord et à l'Ouest, les intrusions de gabbros forment d'importants reliefs circulaires avec les massifs intrusifs gabbroïques de Fonjay, Ambereny et Berevo.

Le **Fonjay**, 756 m, est un plateau gabbroïque qui se prolonge au Sud-Est par des sills et dykes de microgranite : Tsimitaratra (618 m) et son escarpement Sud, le Besongomby (538 m) plus étroit et escarpé. Dans l'ensemble, ce plateau de 13 km de diamètre est dissymétrique, bien fermé au Sud, fortement ébréché au Nord, avec une dépression centrale et un pointement granitique décamétrique.

Le **Berevo** est plus complexe avec sa série de demi-enveloppes microgranitiques au Nord, gabbroïques au centre, et granitiques au Sud. Lui succède un alignement de petites intrusions émergeant des coulées volcaniques du Maningoza. On y reconnaît la mise en place d'une grosse masse de gabbros puis après son effondrement, la montée des couronnes granitiques.

Située sur la partie Ouest de Madagascar, la **chaîne du Bongolava** s'étire sur plus de 200 km et forme un véritable rempart naturel entre les Hautes Terres et les régions de l'Ouest. Le relief y est constitué par une succession de crêtes et talwegs, formant un ensemble de collines à fortes pentes. La chaîne de Bongolava présente une topographie escarpée. L'altitude y est élevée dépassant souvent les 900 m. Par contre, la partie Ouest de la zone s'inscrit dans un ensemble de plaines et de plateaux dont l'altitude oscille entre 200 et 400 m.

La dépression **permotriasique** (couloir Karoo) sépare le plateau de Bemaraha des Hautes-Terres centrales.

De 400 km de long, elle peut être subdivisée en trois bassins :

- le bassin de la basse Sakeny, au Sud,
- le bassin du Manambolo, au Centre, et
- le bassin du haut Manambao, au Nord, dans lequel se trouve la zone d'étude.

Le bassin du haut Manambao constitue la partie la plus élevée (300 m) et la plus large (50 km) de la dépression. Le relief y est accidenté avec des petits ressauts au pied du Bongolava. La zone

d'exploration est dans la partie entre le fleuve Manambao et la rivière Mitsiotaka, large expansion d'une haute terrasse à 320 m.

Dans la terminaison septentrionale du bassin de Morondava, le substratum précambrien affleure au sud de la rivière Manambao à la hauteur des plateaux d'Andolobe et d'Ambaravaranala où il est représenté, pour l'essentiel par des faciès de granite et granitoïdes et de roches métamorphiques archéennes (gneiss, amphibolites, cipolin) du Groupe d'Amborompotsy (Besairie, 1964).

Le **dôme de Bekodoka** émerge du sédimentaire, au Nord de la zone d'étude. Il s'étire sur près de 90 km pour une largeur moyenne d'une vingtaine de kilomètres. Le dôme possède une ossature de granites migmatitiques. L'unité est relativement plane, couvert par les sables roux, et dans laquelle émergent quelques reliefs résiduels en roches dures.

#### **Contexte structural :**

Le site de Bemolanga se situe sur le rebord méridional du horst du Cap St-André, aligné NNW-SSE, qui délimite le bassin de Morondava au Nord et le bassin de Majunga (Mahajanga) au Sud. Ce horst se traduit par la mise à l'affleurement du socle précambrien avec, du NNW au SSE, les massifs cristallins et métamorphiques d'Ambohipaky, de Bekodoka de Behazomaty et le plateau central de Madagascar.

Du point de vue structural, le site de Belomanga se situe sur la bordure nord-occidentale du bassin de Morondava, à l'Est du graben de Morafenobe, sur un point haut couvert par les dépôts de l'Isalo-I, et de l'Isalo-II reposant sur le substratum cristallin et métamorphique précambrien. Il se présente comme un anticlinal (sous forme de nez) contrôlé par un soulèvement du socle de direction NW-SE (données gravimétriques et de forages).

#### **Contexte sédimentologique du bassin de Morondava:**

Les séries sédimentaires pour la série Karoo du bassin de Morondava comprennent de bas en haut:

- Le **Groupe de la Sakoa** (Carbonifère supérieur à Permien Moyen), affleurant dans le Sud du bassin de Morondava, reflète une puissante sédimentation continentale (glaciaire, fluviale à lacustre) à lagunaire développée dans des grabens NNW-SSE, pouvant atteindre plus de 2000 m d'épaisseur. Le Groupe de la Sakoa comprend :
  - ✓ Dans sa partie basale, une *série glaciaire* caractérisée par une alternance de tillites, de schistes noirs et de grès généralement grossier et parfois de grès fin à moyen ou de calcaire noir.
  - ✓ Dans sa partie médiane, une *série houillère*, puissante de 100 à 150 m, dont l'étude des flores a donné un âge Permien inférieur. Elle est composée essentiellement de grès moyens à stratifications intercalées de bancs schisteux et de lits charbonneux. Il

y a aussi une *série rouge* dite complexe argilo-gréseuse marquée par l'alternance d'argile rouge et de grès feldspathique.

- ✓ Au sommet, des faciès *carbonatés marins* (Calcaires de Vohitolia) qui donnent un âge permien moyen. Les calcaires de Vohitolia correspondent à la première transgression marine.

Ces dépôts n'ont pas été reconnus dans la terminaison septentrionale du bassin de Morondava mais affleurent dans les secteurs d'Onilahy et Betaky, à l'extrémité sud du bassin de Morondava.

- Le **Groupe de la Sakamena** (Permien supérieur à Trias moyen), bien connu régionalement, mais n'est pas observé dans le secteur de Bemolanga, il affleure plus au Sud en bordure du socle dans le secteur de Beravina et au Nord-Ouest dans le secteur de Fonjay. Elle est par contre reconnue par forage dans le Graben de Morafenobe avec une puissance de l'ordre de 500 m. Ce groupe est subdivisé en trois unités :

- ✓ La *Sakamena Inférieure*, qui débute toujours par des conglomérats de base surmontés d'un épais complexe gréso-schisteux avec des débris végétaux et des Calcaires déposées dans la partie supérieure de l'unité par une transgression marine éphémère. Les associations de flores lui donnent un âge Permien supérieur
- ✓ La *Sakamena Moyenne*, porteuse des horizons de roche mère d'origine laguno-saumâtre, elle est reconnue par une dominance de faciès argilo-pélitiques qui renferment des Gypses, des plaquettes de calcaires à structure cône in cône, des nodules de septaria et de poissons. L'étude des flores confère un âge Trias inférieur pour la Sakamena moyenne.
- ✓ La *Sakamena Supérieure*, à dominance gréseuse elle est caractérisée par des grès psammitiques (riche en mica) à stratification oblique, et des argilites rouges. Elle est datée du Trias moyen.

- Le **Groupe de l'Isalo**, dans la zone médiane du bassin de Morondava, correspond à trois ensembles lithologiques dont l'Isalo-I, l'Isalo-II défini dans l'extrémité septentrional du bassin. Le groupe de l'Isalo est le terme final du système Karoo. Razafimbelo (1987) a défini ce Groupe de l'Isalo de Morondava comme étant le Groupe de la Makay.

- ✓ **L'Isalo-I** repose directement sur le socle précambrien d'Andolobe et d'Ambaravarana au Sud-Est de la zone d'étude. Dans le secteur de Bemolanga, des indices de bitume sont reconnus dans le secteur de la Bekolosa et l'Amposa correspondant à la partie supérieure de l'Isalo-I. Il est formé de grès grossiers avec des conglomérats de base et des bois silicifiés comme fossile.
- ✓ **L'Isalo-II** correspond à une succession de faisceaux gréseux massifs et d'intervalles argileux. Ce sont dans ces corps gréseux que sont reconnus les principaux indices de bitume. Classiquement il comprend 6 formations lithostratigraphiques de bas en haut:

- La Formation des argiles de Base ;



- La Formation de l'Amboloando comprenant 3 unités : l'Amboloando inférieur, l'Amboloando moyen et l'Amboloando supérieur ;
- La Formation des argiles de Mokara ;
- La Formation des grès d'Ankaramenabe ;
- La Formation des argiles du Camp CEA ;
- La Formation des grès de Folakara.

Dans la région de Bemolanga, il y a lacune des séries inférieures de la Sakoa et de la Sakamena, et l'Isalo I repose directement sur le socle.

#### **Contexte sédimentologique de Bemolanga :**

Les séries I et II de l'Isalo reconnues dans le secteur de Bemolanga comprend les termes lithostratigraphique suivants :

##### **• L'Isalo I :**

L'Isalo-I est caractérisé par une série continentale dont l'épaisseur est très variable (50 à 450m).

L'Isalo-I est caractérisé, au regard des principaux faciès, par une base grésos-conglomératique de type alluvial et des faciès plus hétérolithiques, grésos-silteux de type plaine d'inondation dans sa partie sommitale.

Les déterminations des flores donnent un âge Trias moyen pour l'ensemble de l'Isalo-I.

##### **• L'Isalo II :**

✓ **La Formation des Argiles de Base :** Les Argiles de Base sont caractérisées par une alternance d'argile grise, brune verdâtre, lie de vin où certains horizons sont particulièrement riches en matière organique (horizons à lignite) et montrent de fréquentes intercalations gréseuses lenticulaires parfois métriques. Plusieurs horizons de nodules carbonatés à septaria sont également rencontrés. Des traces de racines, des horizons bioturbés condensés, et des débris de plantes sont également reconnus.

Les Argiles de Base traduisent ainsi une incursion marine favorisant une sédimentation marine en milieu confiné voire lagunaire où les influences tidales semblent récurrentes ainsi que les périodes d'émersion favorisant l'implantation de paléosols.

Les données palynologiques dans les Argiles de Base donnent un âge Trias moyen à supérieur (Ladinien terminal à Carnien inférieur).

✓ **La Formation de l'Amboloando**: elle correspond au substratum sédimentaire couvrant la grande partie de la zone d'exploration. Trois unités lithostratigraphiques composent cette Formation:

- 2 unités gréseuses massives respectivement notés Amboloando inférieur et Amboloando supérieur.

- 1 intervalle plus hétérolithique noté Amboloando moyen.

**L'Amboloando inférieur.** Puissante de 20 à 50 m, cette unité repose en érosion sur les faciès argileux ou hétérolithiques du sommet des Argiles de Base. L'Amboloando inférieur est caractérisé par des grès hétérogranulaires à larges stratifications obliques, parfois massifs, à dominance fluviale.

**L'Amboloando moyen** montre une puissance variable comprise entre 10 et 25 m. Caractérisée par des dépôts hétérolithiques argilo-gréseux à faciès tidaux, puis de vagues, cette unité est souvent mal visible. Au sommet, ces dépôts montrent le développement d'un profil d'altération pénétratif de type paléosol, métrique à plurimétrique érodé par les grès très hétérogranulaires de l'Amboloando supérieur.

**L'Amboloando supérieur** est délimitée à la base par un paléosol repère du toit de l'Amboloando moyen. Puissant de 20 à 35 m, la surface inférieure de l'Amboloando supérieur est placée au niveau du paléosol repère plus ou moins développé, érodé par un chenal fluviale très hétérogranulaire sur lequel s'installe des argiles de plaine d'inondation verdâtres à lie de vin à paléosols. Plusieurs passées gréseuses de type crevasse-play viennent localement s'intercaler dans les argiles.

Aucune donnée biostratigraphique n'existe pour la Formation de l'Amboloando.

✓ **Les Grès de Mokara** sont caractérisés par des grès à stratifications obliques, fins à hétérogranulaires à bois silicifiés abondants d'une puissance importante comprise entre 30 et plus de 70 m. Ils affleurent dans la partie Sud du secteur de Bemolanga où ils forment les principaux reliefs de l'Andolobe et de Mandahita. Dans le secteur Nord, les Grès de Mokara constitue l'essentiel du substratum sédimentaire à l'exception des zones hautes (interfluves du réseau hydrographique actuel) où ils sont par les Argiles de Mokara surmontées localement par les Grès de l'Ankaramenabe. La surface de base des Grès de Mokara est une surface d'érosion sur laquelle s'installent des grès fins hétérogranulaires à galets mous et larges stratifications obliques. Plusieurs passées très grossières à nombreux bois silicifiés apparaissent.

✓ **La Formation des Argiles de Mokara** : traduit la récurrence de faciès silto-argileux puissants de quelques mètres à plus de 30 m. Cette variabilité résulte en partie du caractère très érosif des grès superposés de l'Ankaramenabe.

Les Argiles de Mokara montrent des dépôts essentiellement silto-argileux à 2 micas (biotite et muscovite) prenant vers la base un caractère hétérolithique avec l'intercalation de faisceaux grésomiacés parfois métriques à influences tidales.

Les données palynologiques obtenues dans les Argiles de Mokara donnent un âge Trias supérieur.

✓ **La Formation des grès d'Ankaramenabe** : Les Grès d'Ankaramenabe constituent une puissante série de grès très hétérogranulaires à cachet fluvatile franc, puissants de plusieurs dizaines de mètres, 40 m , ils atteignent près de 60 m sur le sommet d'Antsingaina.

Les Grès d'Ankaramenabe se caractérisent par des grès grossiers très hétérogranulaires à laminations obliques tangentielles et tabulaires présentant fréquemment un aspect chenalisant avec des géométries de type chenaux en tresses. De rares intervalles hétérolithiques de dépôts de débordement sont également reconnus.

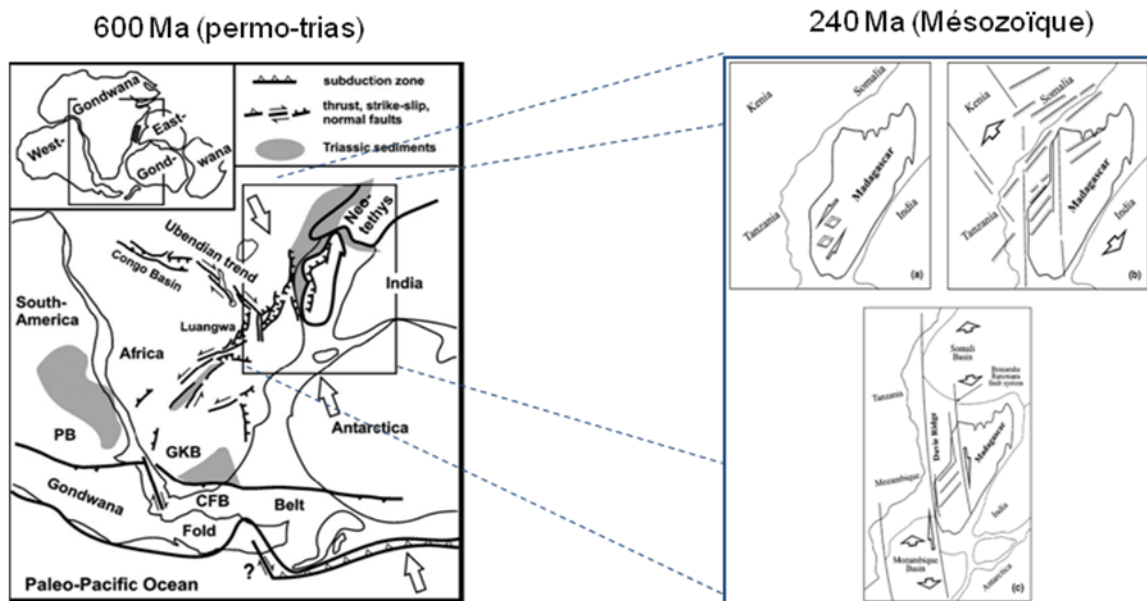
Aucune donnée biostratigraphique n'existe pour la Formation.

**Contexte géodynamique:** (Callec *et al.*, 2010)

L'évolution géodynamique du bassin de Morondava (Piqué *et al.*, 1999 ; Geiger *et al.*, 2004) montre une succession de phases d'ouvertures (riftings) et de vacuité tectonique (post-rift) dont les principaux épisodes sont :

- *Rifting avorté du « Karoo Corridor » au Permo-Trias*, qui se traduit par une extension WSW-ENE et l'ouverture de couloirs d'effondrement NNW-SSE de type *pull-apart*, délimités par des blocs basculés, sièges d'une puissante sédimentation continentale (fluvatile à lacustre) à lagunaire, représentée par le **Groupe de la Sakoa** développé dans le Sud du bassin de Morondava ; puis par le **Groupe de la Sakamena** au Trias inférieur sur l'ensemble du domaine occidental de Morondava et Mahajanga.
- *Post-Rifting avorté au Trias supérieur*. Mise en place de la **série Isalo-I et Isalo-II** qui ennoient les bordures des fossés d'effondrement traduisant une subsidence stable des aires de sédimentation. Ces dépôts montrent les premières incursions marines dans l'Isalo-II représenté par les formations lacustres à lagunaire des **Argiles de Base** et des **Argiles de Mokara**.
- *Rifting Afro-Malgache au Lias et Dogger*. Fragmentation du Gondwana et ouverture du canal du Mozambique et du bassin de Morondava favorisée par la réactivation des accidents Karoo en coulissage dextre. Du point de vue sédimentaire, cela se traduit par la mise en place des séries terrigènes de l'**Isalo II** et de l'**Isalo III**, puis de la série carbonatée des **Calcaires du Bemaraha**.
- *Post-Rifting au Jurassique supérieur/Crétacé inférieur*. Développement de la marge passive sur la bordure occidentale de Madagascar à la faveur de la subsidence thermique du bassin de Morondava. Au Crétacé inférieur, la séparation de l'Antarctique et de Madagascar induit un uplift généralisé et une érosion des bordures du bassin de Morondava.

- *Rifting indo-malgache au Crétacé supérieur* favorisant un **volcanisme effusif majeur** puis ouverture de l'Océan Indien à partir du Paléogène engendrant un uplift et le basculement des bordures des bassins de Mahajanga et Morondava avec une forte érosion à l'Eocène supérieur des séries Karoo.
- *Uplift Néogène à quaternaire* qui reflète une phase d'extension WSW-ENE à laquelle est associée des **épisodes volcaniques** discontinus s'étalant du Tortonien au Pléistocène.



(Source TOTAL E&P)

**Figure 3 : Évolution géodynamique de Madagascar**

Du point de vue des manifestations magmatiques, plusieurs épisodes magmatiques ont jalonné l'évolution du bassin de Morondava. On citera :

- Pendant le cycle Karoo, l'intrusion de dykes le long des principaux accidents du « Karoo Corridor » avec des orientations N20° et N70° (Callec *et al.*, 2010).
- Au Jurassique moyen (Aalénien) des dykes de dolérites compris entre 179 et 170 Ma reflètent la phase de rifting afro-malgache (Callec *et al.*, 2010).
- Au Jurassique supérieur (Kimméridgien) des intrusions magmatiques datées de 143 Ma à 137 Ma.
- Au Crétacé inférieur de nouvelles datation Rb/Sr sur le complexe d'Ambohiby (région de Tsiromandidy), ainsi que pour les complexes annulaires situés au NW de Bemolanga fournissent des âges Crétacé inférieur respectivement de 127±12 et 127±17 Ma.

- Concernant les manifestations du Crétacé supérieur et le volcanisme majeur associé, un âge 88 Ma (Rb/Sr) est fourni par Rasolofomanana (1998) et Rasamimanana *et al.* (1998) pour le massif de Ambohitsory, et un échantillon de dolérite, récolté près d'Ambararatabe a donné par méthode K-Ar sur roche totale 2 âges 87±4 Ma et 92±2 Ma. Deux épisodes distincts sont identifiés (Bardintzeff *et al.*, 2009 (Callec *et al.*, 2010).): le premier d'âge Cénomaniens à Campanien (93.5±2.2 Ma et 78.9±2.1 Ma) et le second d'âge Maastrichtien à Paléocène (69.5±1.6 Ma à 61.6±1.4 Ma).
- Au Néogène et Quaternaire, plusieurs manifestations volcaniques effusives sont reconnues, d'âge Miocène supérieur (Tortonien), datées à 9.4±0.25-8.9±0.25 Ma et également au Plio-Pléistocène dans le secteur de Nosy Be avec un âge de 1.88±0.55 Ma Rasamimanana *et al.*, 1998, Bardintzeff *et al.*, 2009 (Callec *et al.*, 2010).).

### I-3 Découpage stratigraphique et séquentiel adopté pour l'étude

Durant les deux campagnes de forages (2009 et 2010), différentes attributions stratigraphiques et séquentielles ont été adoptées par TOTAL.

Les différences résident dans la définition des limites entre formations, des caractéristiques et des subdivisions séquentielles des formations. En effet, les travaux d'interprétations des puits de la campagne 2009 ont mené à l'introduction de la subdivision des Grès de Mokara et de différents marqueurs (limites de séquences SB, surfaces de transgression TS et maximum d'inondation MFS) pour le découpage stratigraphique utilisé durant la campagne de 2010. Par ailleurs, certaines modifications ont été apportées sur les environnements de dépôts des différents cortèges ou séquences stratigraphiques.

Les formations sont de bas en haut :

- l'ISALO I,
- l'ISALO II :
  - les ARGILES DE BASES,
  - l'AMBOLOANDO INFÉRIEUR,
  - l'AMBOLOANDO MOYEN,
  - l'AMBOLOANDO SUPÉRIEUR,
  - les GRES et ARGILES de MOKARA,
  - les GRES d'ANKARAMENABE.

Pour 2009 (pas encore de marqueurs stratigraphiques, et de la dénomination Grès de Mokara), TOTAL a optée pour le découpage suivant :

- L'**Isalo I** est un dépôt proximal de Cônes alluviaux (conglomératique) à Chenaux en tresse ou de plaine d'inondation.

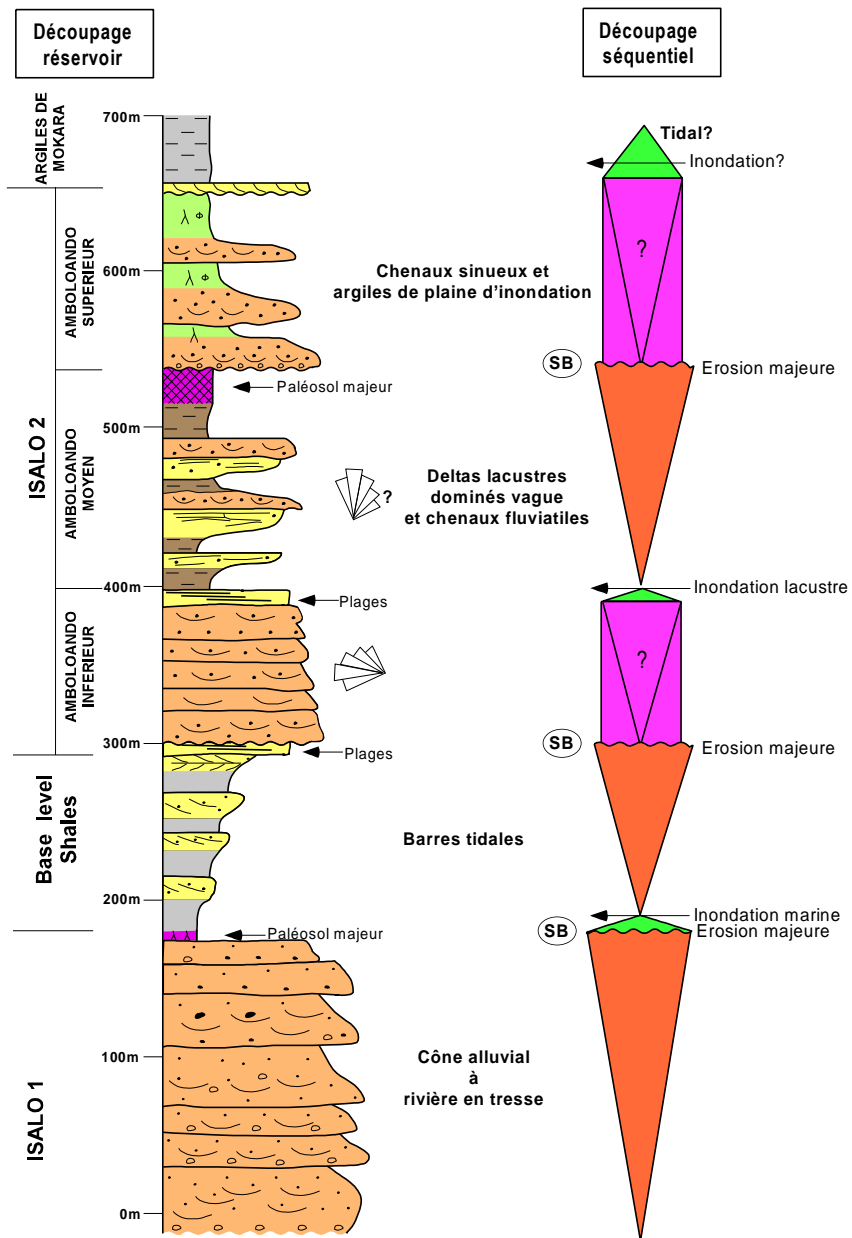
- Les **Argiles de base** correspondant à un ennoisement des dépôts de l'Isalo I. Ce sont des dépôts d'offshore à shoreface avec une séquence grano-croissante de barre tidale dans sa partie inférieure. Les Argiles de bases sont marquées par des dépôts de Carbonates en milieu lacustre et un toit à forte progradation.

- L'**Amboloando inférieur** est une séquence fluviatile de barre sableuse grano-décroissante. C'est une progradation d'un système estuarien avant la mise en place du système fluviatil.

- L'**Amboloando moyen** est un dépôt littoral plus précisément dépôt de shoreface vague dominée, avec beaucoup de faciès tidaux.

- L'**Amboloando supérieur** est une séquence fluviatile de type méandriforme. Ses dépôts sont caractéristiques des chenaux, des crevasses et de plaine d'inondation.

- Les **Argiles de Mokara** sont des dépôts à influence tidale.



(Source : TOTAL E&P)

**Figure 4 : Découpage strati-séquentiel utilisé par TOTAL pour la campagne 2009**

Légende :

SB : Séquence Boundary (limite de séquence)

Par rapport au découpage de 2009, des changements ont été apportés sur celui de 2010 (figure 5), donnant ainsi le découpage stratigraphique suivant :

✓ Les **Base Level Shales** (Argiles de Base), subdivisées en deux séquences de dépôts, d'extension régionale, elles mêmes subdivisées en deux par la mise en évidence des deux surfaces d'inondation maximale MFS-BLS1 et MFS-BLS2.

La limite de séquence inférieure correspond au top de l'Isalo 1, au dessus de laquelle la transgression débute par des faciès internes restreints et qu'une surface de ravinement SR2 peut être reconnue.

Les Base Level Shales conservent un caractère marin paraliq, toutefois une différenciation assez marquée semble exister entre les cortèges transgressifs purement à dominance tidal et qui pourraient être des complexes de dunes et les cortèges régressifs, à caractère deltaïque avec des barres et quelques chenaux.

✓ En ce qui concerne **l'Amboloando Inférieur**, dans lequel se trouve l'essentiel de l'accumulation, il est subdivisé en deux séquences de dépôts séparées par une surface d'érosion (Limite de séquence SB2) auquel nous pouvons parfois ajouter, lorsqu'elle est préservée, une surface d'inondation maximale (MFS Lower). La limite de séquence SB2, outre la présence fréquente d'un conglomérat à galets d'argiles, se caractérise par une différenciation de faciès assez marquée ; l'unité inférieure étant souvent à dominance tidale alors que l'unité supérieure apparaît plutôt avec une dominance fluviale.

Un troisième marqueur qualifié de surface de transgression TS1 a été identifié au sommet de l'Amboloando Inférieur. Cette surface correspond à une accélération de la rétrogradation et se caractérise soit par l'apparition de faciès plus fins à rides de vagues, soit par une brutale augmentation de l'influence de la marée.

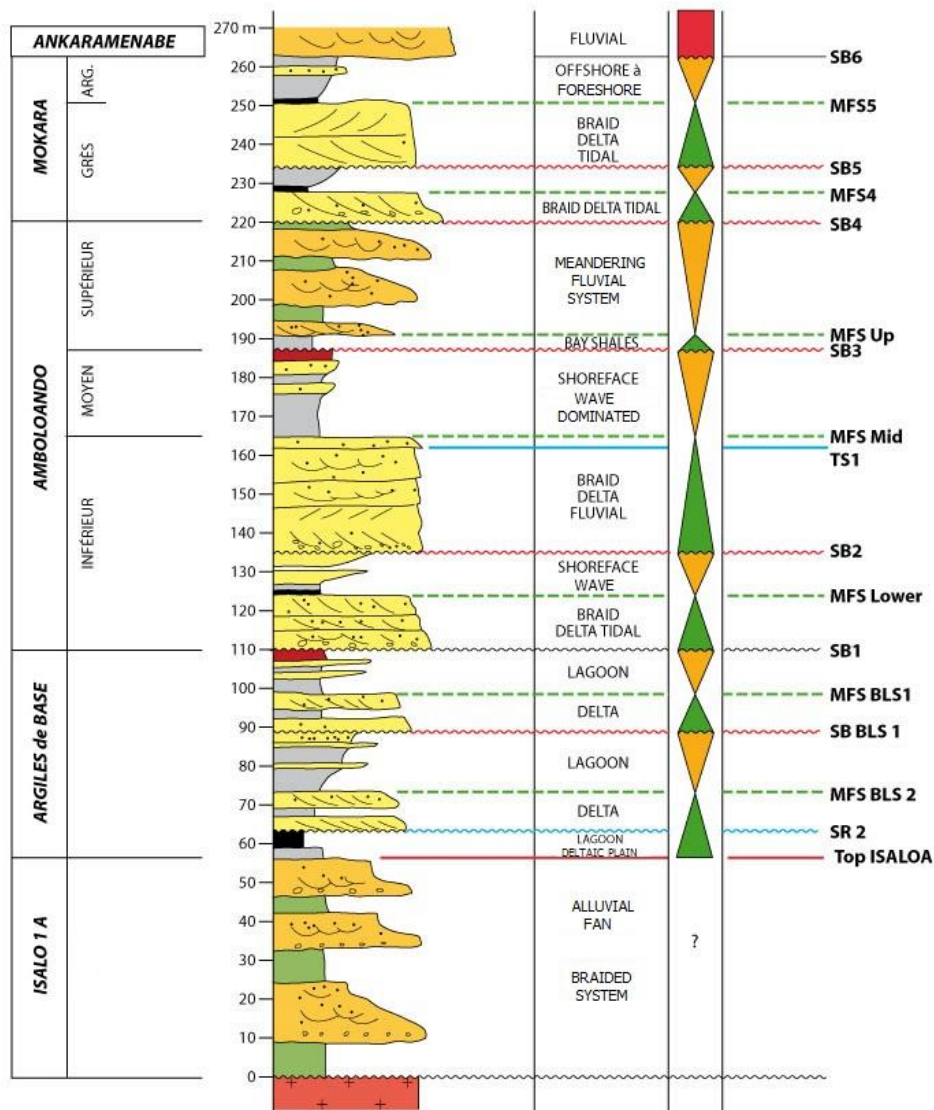
Le cortège transgressif de la première séquence est constitué par un « braided delta tidal ». Tandis que le cortège régressif, lorsqu'il est préservé, est un « shoreface wave dominated » pouvant passer à de la plage.

La seconde séquence, un cortège transgressif, est aussi un « braided delta », mais il est plus fortement à influence fluviale.

✓ Les dépôts littoraux de **l'Amboloando Moyen** demeurent une unité purement dominée vague sous la limite de séquence SB3.

✓ **L'Amboloando Supérieur** est un système fluvial à caractère méandrique, incluant chenaux sinueux, chenaux de crevasse, lobes de crevasse et plaine d'inondation argileuse qui scelle une surface de pédogénèse.





(Source : TOTAL E&P)

**Figure 5: Découpage strati-séquentiel utilisé par TOTAL pour la campagne 2010**

Légende :

SR : Surface de ravinement

MFS BLS : « Maximum Flooding Surface » ou surface d'inondation maximale dans les argiles de base

SB BLS : « Sequence Boundary » ou limite de séquence des argiles de base

SB1, SB2 : limite de séquence de l'Amboloando Inférieur

MFS Lower : Surface d'inondation maximale de l'Amboloando Inférieur

TS1 : « Transgressive Surface » ou Surface de transgression dans l'Amboloando Inférieur

MFS Mid : Surface d'inondation maximale de l'Amboloando Moyen

SB3 : limite de séquence de l'Amboloando Moyen

MFS Up : Surface d'inondation maximale de l'Amboloando Supérieur

SB4 : limite inférieure de séquence des grès de Mokara.

MFS4 : Surface d'inondation maximale dans le Mokara

SB5 : limite de séquence dans les grès de Mokara.

MFS5 : Surface d'inondation maximale de l'Amboloando Supérieur

SB6 : limite inférieure de séquence dans le Mokara

✓ Les **Grès de Mokara** sont constitués de deux séries sableuses, au-dessus des faciès strictement continentaux de l'Amboloando Supérieur, souvent massive et fréquemment influencée par la marée. Ces deux séries sont interprétées comme les cortèges transgressifs de la séquence du **Mokara**. Cette unité étant limitée à sa base par la limite de séquence SB4.

Le Mokara sableux est un « braided delta tidal », passant vers le SE en limite d'extension à des dépôts intertidaux. Ce « braided delta » s'épaissit fortement vers le NO.

On trouve préservé de l'érosion ou de la latérisation, entre les deux séries sableuses, un niveau argileux correspondant à la surface d'inondation maximale intra-Mokara nommée MFS4.

✓ Les **Argiles de Mokara** sont clairement la formation la plus marine de la série de Mokara, on trouve intercalées au-dessus de la MFS5 des black shales et des argiles à couches de tempêtes à HCS, ou incluant de minces niveaux granoclassés.

✓ Les grès fluviatiles de l'**Ankaramenabe**, comblant vraisemblablement un complexe de vallées incisées, sont limités à sa base par la limite de séquence SB6.

Il est à noter que durant la présente étude, nous avons utilisé le second découpage opté par TOTAL pour la campagne 2010.

#### I-4 Présentation des faciès

Les principaux faciès rencontrés et identifiés durant les descriptions sédimentologiques détaillées des carottes sont figurés dans le tableau mis en Annexe A.

Ce tableau montre la classification faciologique : les faciès sont classés d'abord par Formation, puis par milieu de dépôt et enfin par environnement de dépôt. Un faciès donné est illustré ou plutôt nommé par un symbole de faciès. Chaque faciès porte un code et est accompagné d'une description.

Exemple : le faciès « **Grès très fins à moyens massifs** » de la formation **Ankaramenabe** appartenant à un milieu de dépôt **Continental** dans un environnement **Fluvial** est symbolisé par **ANK-F3(a)** portant le code **2341**. Il est décrit comme suit : **Grès propres à grains très fins à moyens, massifs, dépôts de chenal fluvial (<10% d'argiles)**

En tout il y a 88 faciès.

Dans la suite des travaux, un faciès est désigné par son symbole.

#### I-5 Présentation des analyses de laboratoire effectuées

Pour l'acquisition de certaines données, des analyses chimiques ou pétrophysiques en laboratoire ont dû être menées. Ces analyses seront reprises et décrites dans les paragraphes suivants. Mais pour les mesures de porosité et de perméabilité, la description est mise en annexe (Annexe B).

#### II-5-1 ASPEC

C'est le nom générique donné à l'analyse mesurant la teneur en eau et en bitume des échantillons prélevés des carottes de Bemolanga avec l'automate ASPEC (*Automatic Solid Phase*

*Extraction Chromatography*). L'analyse consiste à extraire les bitumes des échantillons. Chaque échantillon pèse initialement 20g. L'analyse se fait en deux étapes :

### 1. La mesure de la teneur en eau

Le protocole de préparation des échantillons et de la mesure de la teneur en eau est le suivant :

- 1.1. Peser l'échantillon nécessaire à l'analyse (4g)
- 1.2. Passer à l'étuve l'échantillon à 40°C durant 12h (température et temps à régler en fonction des échantillons).
- 1.3. Repeser l'échantillon après passage à l'étuve.
- 1.4. Calculer la différence de poids entre la roche brute et la roche séchée.
- 1.5. Déterminer la teneur en eau (%poids) par rapport à la roche brute. (La différence de masse donnera la teneur en eau).

### 2. L'extraction ASPEC

Le protocole est le suivant :

- 2.1. Préparer une *cartouche* d'extraction en installant au fond de la cartouche un fritté téflon (ou polyéthylène).
- 2.2. Tarer la cartouche d'extractions avec son fritté sans oublier de tarer en même temps le deuxième fritté qui maintiendra la roche
- 2.3. Remplir la cartouche de 1g d'échantillon séché. Faire glisser à plat le deuxième fritté jusqu'au-dessus du lit de l'échantillon sans tasser ni trop compresser celui-ci.
- 2.4. Peser la cartouche remplie et calculer la prise d'essai d'échantillon (poids cartouche remplie – tare)
- 2.5. Placer le bouchon d'étanchéité au sommet de la cartouche.
- 2.6. Placer la cartouche bien identifiée sur le portoir à cartouches de l'ASPEC (DEC) dans la position 1.
- 2.7. Tarer un *tube de collecte* comportant la même identification que la cartouche
- 2.8. Placer le tube de collecte sur le portoir de tube de collecte de l'ASPEC dans la position 1 (un flacon de collecte par cartouche).
- 2.9. Lancer l'ASPEC. Cette analyse est toujours accompagnée d'une assistance informatique. Elle utilise comme solvant ce qu'on appelle Dichloromethane (DCM). Quatre seringues à aiguilles aspirent le solvant dans des bouteilles et l'injectent dans les cartouches. Le fritté placée à l'ouverture des cartouches permet la répartition équitable du DCM sur l'échantillon. À la fin, il ne reste plus dans les cartouches que les minéraux de l'échantillon plus DCM ; le tube de collecte contient le bitume et une partie du DCM.
- 2.10. A la fin de l'extraction, mettre le tube de collecte (contenant la solution organique) à évaporer dans de « dry bloc heater » puis passer à l'étuve pendant 8h.
- 2.11. Peser le tube contenant l'extrait et calculer le poids d'extrait (poids tube+extrait – tare tube)

- 2.12. Déterminer la teneur en bitume (en %poids) par rapport à la prise d'essai d'échantillon.
- 2.13. Mettre à sécher la cartouche contenant l'échantillon lavé après avoir préalablement enlevé le bouchon d'étanchéité (étuve 12h à 40°C).
- 2.14. Peser la cartouche contenant l'échantillon lavé et calculer le poids d'échantillon lavé (cartouche+ échantillon – tare)
- 2.15. Calculer la différence de poids par rapport à la prise d'essai d'échantillons avant extraction (voir 2.4)
- 2.16. Cette dernière mesure servira à faire un bilan masse de l'extraction et à corriger éventuellement la teneur en eau dans l'échantillon brut.

**Remarque :**

Le débit du solvant au cours de l'extraction peut être influencé par plusieurs facteurs :

- La teneur en bitume de l'échantillon.
- La finesse des grains constitutifs de l'échantillon (une granulométrie trop fine < 50 µm ne peut pas convenir sur ce système d'extraction).
- Le tassement de l'échantillon dans le tube (l'échantillon ne doit pas être tassé)

**II-5-2 MBI**

Le MBI désigne l'analyse à effectuer pour mesurer le taux d'argilosité d'un échantillon donné. L'essai utilise la propriété d'adsorption de la fraction argileuse de l'échantillon. En effet, il consiste à injecter successivement des doses bien déterminées d'une *solution de bleu de méthylène* dans une suspension formée d'eau et d'échantillon. Le bleu se fixe ainsi sur les particules d'argiles contenues dans l'échantillon. Lorsque les argiles sont saturées, le bleu passe en suspension dans l'eau : le test à la tache permet de détecter l'instant de cette saturation.

La réalisation de cette analyse se fait de la façon suivante :

- Peser 3g d'échantillons
- L'échantillon est introduit dans un récipient de 250mL, le mettre en suspension dans 50ml d'eau déminéralisée.
- Ajouter 1ml de solution de 6N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- L'ensemble est dispersé à l'aide d'un agitateur à ailettes au minimum durant 5 minutes et dans tous les cas jusqu'à disparition visuelle de tout agglomérat de particules d'échantillons dans la suspension ou de toute accumulation sur les bords du récipient.
- Pendant toute l'opération, l'agitation permanente doit être telle que toutes les particules en suspension soient mises en mouvement.
- A l'aide du dispositif de dosage, introduire dans la suspension successivement par pas de 0.5 ml jusqu'à ce qu'on ait 2ml de solution de bleu ; au bout de 1, 2 à 3 min, procéder à l'essai de la tache sur papier filtre de la manière suivante :
  - Poser le papier filtre sur un support adapté (généralement une plaque de verre légèrement concave) non absorbant ;

- Prélever à l'aide d'une baguette de verre une goutte de suspension et la déposer sur le papier filtre. La tache ainsi formée se compose d'un dépôt central de matériau coloré bleu sombre entouré d'une zone humide incolore ;
  - La goutte prélevée doit former un dépôt central compris entre 8 mm et 12 mm de diamètre
- Procéder à des injections successives de solution de bleu par pas de 1ml à 10ml (ensuite 2ml jusqu'à ce qu'on ait 20ml, 5ml jusqu'à ce qu'on ait 30ml enfin 10ml pour le reste, à la fin il faut reculer de la moitié de l'incrément et noter le volume obtenu.) jusqu'à ce qu'apparaisse une auréole périphérique bleu clair, de largeur millimétrique, dans la zone humide de la tache. L'essai est dit alors **positif**. A ce moment, laisser se poursuivre l'adsorption du bleu dans la solution et effectuer des taches, de minute en minute (durant 5minutes), sans ajout de solution de bleu.
- Noter le volume de bleu.

### **Calcul et expression des résultats**

Soit **V** le volume de bleu introduit et  $m_0$  la masse sèche de la prise d'essai :

$$MBI = \frac{V}{m_0} \quad [g \text{ de bleu pour } 100g \text{ de matériau sec}]$$

**Tableau 1: Classification des sols en fonction du taux d'argilosité**

MBI	Classification
0,1	sol insensible à l'eau
0,2	Apparition de la sensibilité à l'eau
1,5	seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques des sols sablo argileux
2,5	seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques des sols limoneux de plasticité moyenne
6	seuil distinguant les sols limoneux des sols argileux
8	seuil distinguant les sols argileux des sols très argileux

### **II-5-3 Analyse granulométrique par diffraction laser (Laser Particle Size**

#### **Analysis : LPSA)**

Cette méthode consiste à déterminer la répartition granulométrique de l'échantillon par la technique de diffraction de la lumière laser après mise en suspension de l'échantillon dans un dispersant.

La distribution granulométrique est déduite de l'interaction entre un ensemble de particules et le rayonnement incident.

Pour cet essai, il est nécessaire de disposer :

- d'un **granulomètre laser** fonctionnant selon le principe de diffraction de lumière laser et équipé d'un préparateur d'échantillons par voie liquide,
- d'un **désintégrateur à ultrasons** pour la dispersion des particules,
- de **dispersant** des produits à analyser,
- et d'**agent mouillant**.

Dans notre cas, les échantillons utilisés étaient les échantillons résiduels de l'analyse Dean Stark.

L'agent de dispersion sodium d'hexamétaphosphate a été ajouté et les échantillons ont été mouillés avec de l'éthanol. Les échantillons ont été alors analysés pour une minute sans dispersion ultrasonique pour une stabilisation et pour une minute avec la dispersion ultrasonique. Les résultats des deux procès ont été alors comparés, et la procédure a été répétée selon les besoins jusqu'à ce que les résultats se soient assortis et ainsi afin de s'assurer de la stabilité de la mesure. La série de mesures statistiques a été employée pour calculer les données (distribution granulométriques).

## **II- Objectifs des travaux**

### **II-1 Objectifs principaux**

Les travaux réalisés dans ce mémoire, ont pour principaux objectifs :

- a) Tout d'abord, de procéder à des regroupements des 88 faciès mis en évidence par la description des carottes (Voir § II de la Partie II). La modélisation géologique 3D a nécessité un regroupement de ces faciès en trois catégories (bon réservoir [BR], mauvais réservoir [MR] et non réservoir [NR]) venant préciser la géométrie de chaque unité stratigraphique ;
- b) Et ensuite, de trouver et de déterminer l'influence qu'exercerait la granulométrie sur le paramètre imprégnation et donc sur les qualités des réservoirs.

### **II-2 Objectifs spécifiques**

Les différentes études menées ont également pour but de :

- a) démontrer et d'établir de l'éventuelle relation qui existe entre le paramètre granulométrie et le faciès.
- b) démontrer et d'établir de l'éventuelle relation qui existe entre les paramètres taux d'argilosité (MBI) et de l'imprégnation (ASPEC) avec le faciès.
- c) préciser les caractéristiques des groupes (notamment les groupes Bon Réservoir BR et Mauvais Réservoir MR), en tenant compte du taux d'argilosité (MBI), c'est à dire la valeur seuil du taux d'argilosité MBI entre les Bon Réservoir BR et les Mauvais Réservoir MR.

- d) préciser les comportements de chaque groupe du point de vue imprégnation (ASPEC) dans chaque unité de formation.
- e) déterminer les particules fines qui ont une influence sur l'imprégnation et de définir ensuite leur relation.
- f) caractériser les groupes et ainsi que les formations en terme de porosité et de perméabilité.
- g) déceler les différences entre les deux unités de l'Amboloando Inférieur en termes d'imprégnation, de granulométrie, d'argilosité et même de porosité et de perméabilité.
- h) d'expliquer à partir des résultats d'analyses les causes du contraste d'imprégnation latérale au niveau de l'Amboloando Inférieur.

### **III- Les travaux antérieurs**

#### **III-1 Historique des explorations des grès de Bemolanga**

Le gisement de Bemolanga a été découvert au début du 20<sup>ème</sup> siècle. Entre 1903 et 1928, de nombreux travaux et études (cartographie, sondages) furent effectués par des services des mines en vue de l'exploitation. Ils n'aboutirent pas mais mirent en évidence un énorme tonnage (Essais de production abandonnés pour difficultés matérielles).

Il fut exploré par la compagnie English Madagascar Development en 1909.

En 1953, la Société des Pétroles de Madagascar (**S.P.M.**) fait, avec l'Institut Français du Pétrole (**I.F.P.**), une série de sondages superficiels (124 non carottés totalisent 1948 m de longueur) et un levé précis au 1/20 000<sup>ème</sup> des affleurements de grès bitumineux dans le Nord du gisement.

Puis en 1959 la Société des Pétroles de Madagascar (SPM) filiale de TOTAL CFP (Compagnie Française Pétrolière) ouvre une carrière sur la rive gauche de la Mitsiotaka.

C'est en 1961 qu'elle attaqua sérieusement la question avec des recherches détaillées par sondage: campagne de 153 forages carottés (20 à 40m de profondeur, totalisant une longueur de 4772m) après une étude de géologie de surface. Ouverture d'une carrière au lieu dit « **Camp Driez** » après la campagne de forage.

En 1962, elle entreprend des études en laboratoires et une exploitation pilote par lavage à l'eau chaude et flottation.

En 1966, l'**IFP** fait une campagne de 9 forages carottés.

Entre 1972 et 1974, la Compagnie Pétrolière Total Madagascar (COPETMA) entreprend des campagnes géologiques dans la région.

De 1976 à 2002, l'*Office des Mines Nationales et des Industries Stratégiques* (OMNIS) avec l'assistance technique des firmes étrangères (Chevron, Agip, ...) s'y sont succédés mais n'ont pas pu franchir le seuil de l'exploitation.

En 1977, l'**OMNIS** a foré 3 puits **CDB** 101, 103 et 111 plus 6 autres puits.

En 1979 à 1981, à la demande d'OMNIS, Klöckner effectua des recherches géologiques du gisement de Bemolanga. Il foras 160 puits de 100 m carottés sur deux secteurs.

Puis Hunt Oil, entre 1998 et 2002 procéda à des études de terrain, description de carottes, études des procédés de récupération et montent des dossiers de faisabilité du projet mais le coût de production s'avérait trop onéreux par rapport au prix du pétrole de l'époque.

A partir de 2004, le cours mondial de pétrole monte en flèche, les réserves mondiales commencent à décliner. Les activités d'explorations pétrolières sont relancées. Neuf grandes compagnies signent un contrat avec l'OMNIS dont l'exploitation effective a été prévue à partir de 2010. Le site de Bemolanga est attribué à la société Madagascar Oil S.A.

A la suite de différentes campagnes de forages (4 puits carottés jusqu'au socle par Madagascar Oil (350m) et la campagne Airmag par la société Xcalibur en 2006), Bemolanga s'avère contenir des accumulations de sables bitumineux développables par technologie minière et dont la rentabilité est alors évaluée à plus de 10 milliards de barils.

En 2006, des traces de gaz et de pétrole sont relevées dans deux puits sur trois. Parmi les 75 forages entrepris, ceux qui sont sur le site de Bemolanga présentent le plus d'intérêt. La réserve de Bemolanga est alors estimée à 3 milliards de tonnes de bitume dont 600 millions sont exploitables à ciel ouvert, ainsi que 15 millions de barils de gaz.

En 2007, 9 puits ont été carottés (290m en moyenne) par Madagascar Oil.

Total E&P est la dernière en date. En septembre 2008, il entre sur le permis de Bemolanga. En mai 2009, la compagnie Total E&P annonce le lancement de la première campagne de forages exploratoires sur ce gisement. 160 puits ont été creusés durant les deux campagnes de forages.

### III-2 Les acquis sur la granulométrie des grès de Bemolanga

Les résultats de laboratoire à l'issue des travaux de valorisation des grès bitumineux de Bemolanga entretenus par Klöckner révèlent les points suivants :

- Les grès de Bemolanga peuvent être classés, en général, en sable à grains fins et en sable à grains moyens.
- Parmi les conditions de base pour une bonne imprégnation on requiert un pourcentage bas des fractions argileuses et limoneuses et une teneur élevée en quartz
- Les imprégnations les plus riches se présentent dans les réservoirs gréseux à grains fins à moyens. Lorsque la granulométrie devient plus fine, ces réservoirs se sont montrés stériles.
- Dans les couches silteuses, le bitume n'apparaît que dans les parties à grosse granulométrie. (Klöckner Industrie - Anlagen, 1982).

D'autres études affirment l'inhomogénéité des teneurs en bitume dans les roches réservoirs. D'après Klöckner Lurgi (en 1981), la relation entre la répartition du bitume et de la granulométrie se manifeste de la façon suivante : les meilleurs teneurs en bitume se trouvent dans les grès propre à grains moyens.



## **IV-TEPMG**

### **IV-1 Présentation de la société**

TOTAL SA est un groupe énergétique international. Il exerce ses activités dans plus de 130 pays, et compte environ 100 000 collaborateurs.

TOTAL SA est formé de trois groupes : TOTAL EP (Exploration & Production), TOTAL RM (Raffinage&Marketing) et TOTAL Petrochemical dont le siège social est situé à La Défense, Paris.

TOTAL E&P, dont le bureau technique principal se situe à Pau France, est présent dans 40 pays y compris Madagascar.

Ainsi, TOTAL Exploration & Production Madagascar (TEPMG) est une société de droit français filiale du groupe pétrolier TOTAL SA.

### **IV-2 Historique de la TEMPG**

TOTAL E&P MADAGASCAR est devenu l'opérateur majoritaire, depuis le 17 septembre 2008, d'un permis d'exploitation de sables bitumineux à Madagascar, sur le bloc « onshore » 3102. En signant un accord avec la compagnie Madagascar Oil S.A, détenteur du permis depuis 2004, elle a racheté les 60% de la licence d'exploration de cette compagnie. Cette dernière détient encore les 40% restant à l'heure actuelle.

TOTAL E&P MADAGASCAR a prévu une première phase d'exploration de Bemolanga sur une durée de deux ans. Durant cette phase, deux campagnes de forages ont été entreprises pour confirmer le potentiel du permis. 157 puits ont été forés durant les deux années 2009 – 2010 pour prélever des carottes qui ont servi d'échantillons. Ces derniers ont été analysés, en partie, dans un laboratoire basé à Antananarivo et conçu spécialement à cet effet. Des corrélations entre puits ont permis d'obtenir des données précises sur les dimensions verticales et horizontales du réservoir, sur la teneur et la qualité des hydrocarbures. D'autres études se sont concentrées sur les modes d'exploitation et la rentabilité du projet.

### **IV -3 La situation actuelle de l'entreprise**

A l'heure actuelle, TOTAL E&P MADAGASCAR arrive au terme de cette première phase d'appréciation. Une décision sera incessamment prise quant à la poursuite ou la fin des travaux d'exploration.

Si les résultats de cette phase sont concluants, une deuxième campagne de forages démarrera pour une durée comprise entre deux à quatre ans. Cette deuxième campagne comprendra également un premier essai de production à petite échelle appelé « essai pilote ».

Le début de l'éventuelle exploitation est envisagé aux alentours de 2019 en fonction des résultats des deux premières phases. Elle commencera après une période de construction de 4 à 5 ans d'une unité de traitement et de production industrielle « grandeur nature ».

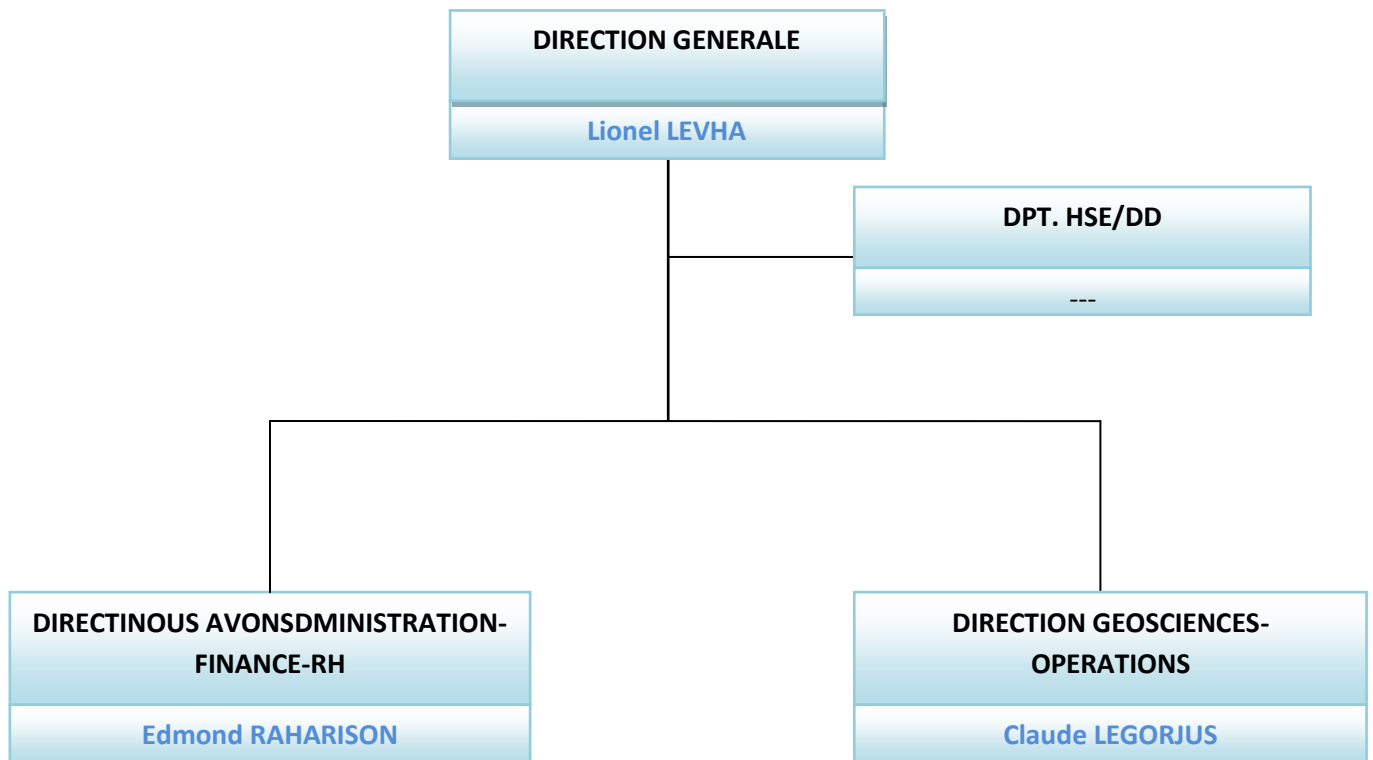
#### IV-4 Description de l'organisation interne globale de la société

TEPMG emploie directement aujourd'hui 31 salariés dont près de 85%, soit 25, est de nationalité malgache, le reste 06 sont des expatriés. Ces employés se répartissent au sein de deux (02) directions et un (01) département, tous sous la direction du Directeur Général:

- ✓ La **Direction Technique**: qui est composée de deux départements (**Opérations et Géosciences**). Ces deux départements s'occupent respectivement de toutes les opérations de forages, de la logistique, du génie civil, et de tous travaux géologiques relatifs au projet. A la tête de cette direction se trouve **Claude LEGORJUS**.
- ✓ La **Direction administration-Finances-Ressources Humaines** qui contrôle la gestion du personnel et détermine les besoins quotidiens de l'entreprise. Cette direction est dirigée par **Edmond RAHARISON**.
- ✓ Le **Département HSE/DD (Hygiène/ Santé, Sécurité, Sociétal/ Environnement/ Développement Durable)** dont la responsabilité est d'assurer la sécurité du personnel, de préserver la nature et l'environnement (surtout dans le cadre des activités d'exploration) et aussi de prendre part au développement durable des communautés locales.

La direction générale est assurée par **Lionel LEVHA**.

#### Organigramme Générale de la TEMPG



#### IV-5 Description du département de la géoscience

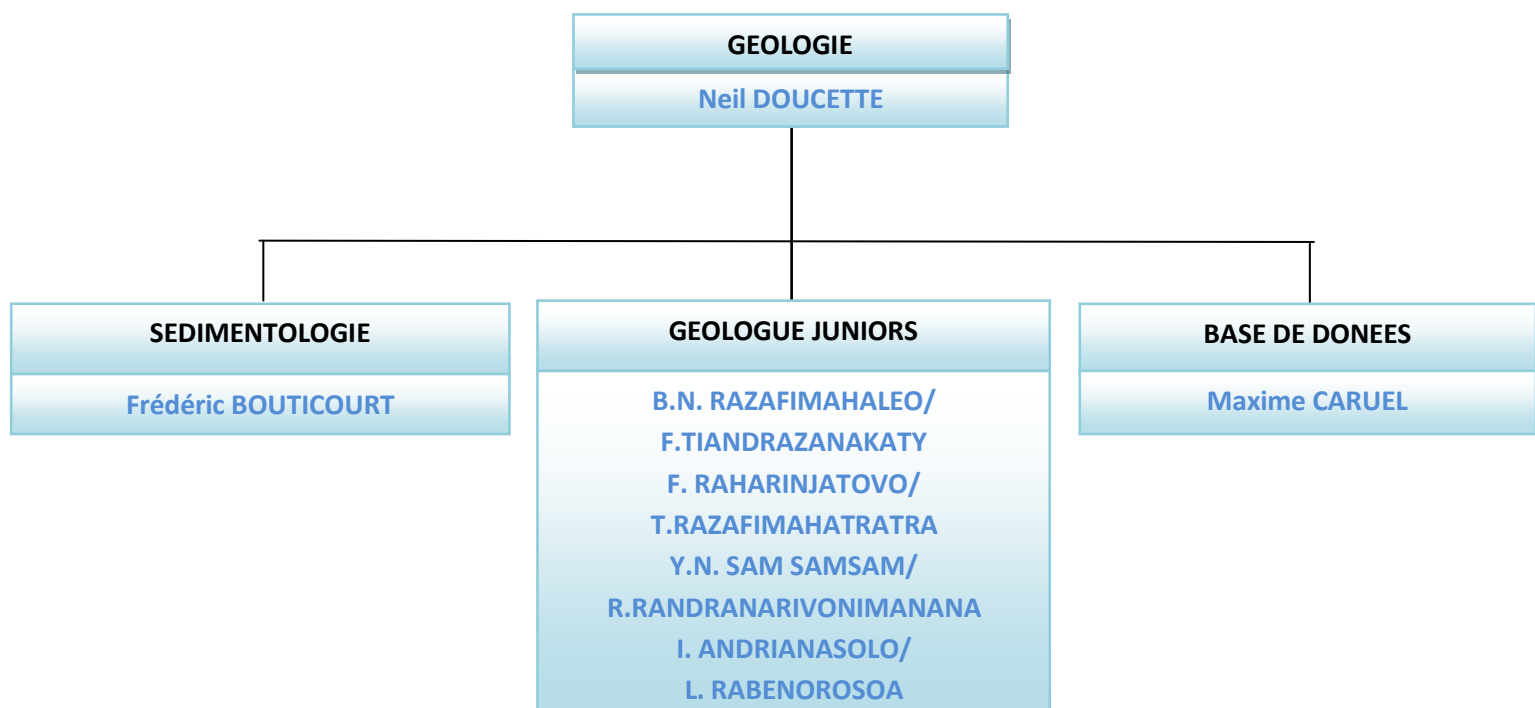
La Géoscience se charge de tous les travaux géologiques du projet Bemolanga : acquisition, levés et recueil des données nécessaires à la prospection, établissement de cartes, synthèse et interprétation géologique des données,.... Actuellement, l'ensemble de l'équipe est mobilisé sur les travaux de synthèses et interprétations géologiques.

Outre le Directeur de la direction, le département géoscience est composé de :

- huit (08) géologues juniors malgaches,
- un géologue VIE français, responsable de la gestion de la base de données
- un géologue consultant de nationalité français, responsable du volet Sédimentologie
- et un géologue canadien spécialisé en modélisation, Chef de service Géologie

Ce dernier supervise tous les travaux effectués au sein du département.

La structure au sein du département est illustrée par l'organigramme qui suit avec les tâches affectées à chacun des personnels du département:



## **V- Matériels et Méthodes**

### **V-1 Les moyens matériels**

Au cours de la réalisation des travaux, j'ai passé le plus clair de mon temps à étudier un bon nombre de données dont la plupart étaient sous forme de tableurs. De ce fait un ordinateur lap top a été mis à ma disposition. Cet ordinateur a été connecté sur le réseau de la société, sans lequel je ne pourrais avoir accès aux données.

Pour les traitements de ces données, j'ai essentiellement utilisé le tableur EXCEL pour les différents calculs, les analyses croisées et dynamiques, l'établissement de graphiques, etc. . En outre, un géologue a été chargé d'introduire sous Access toutes les données pouvant y être introduites. Ainsi, j'ai pu me servir du logiciel ACCESS surtout pour effectuer des tris ou fusion de données ou encore des requêtes relatives aux données. J'ai également utilisé le logiciel de présentation POWERPOINT, à l'occasion d'une présentation sur la progression de mes travaux tous les deux semaines au moins.

Un logiciel métier appelé WELLCAD, a été aussi mis à ma disposition. WellCad est un logiciel de description lithologique et sédimentologique des carottes. En réalité je n'ai pas utilisé le logiciel pour une description mais seulement en mode lecture des descriptions des puits préalablement effectuées au laboratoire.

### **V-2 Les données mises à disposition**

Comme je l'ai déjà mentionné ci-dessus, j'ai fait usage d'une quantité de données acquises pour la plupart des cas par les diverses analyses au laboratoire. Ces données sont les suivantes :

- Premièrement, la **Base de données KIRK** : c'est l'ensemble des données (compilées sur un tableau) résultant des analyses essentiellement de la *teneur en Bitume* (par la méthode ASPEC : *Automatic Solid Phase Extraction Chromatography* et DS : *Dean Stark*), du *taux d'argilosité* (par MBI : Essai au Bleu de Méthylène), de la *teneur en Carbonate* (par la méthode CALCIMETRIE). Seuls les ASPEC et les MBI ont été utilisés dans le cadre de cette étude.
- Deuxièmement, les **données d'analyses granulométriques** par la méthode LPSA (Laser Particle Size Analysis) et sieve.
- Les **données de mesure de porosité et de perméabilité**
- Les **données de description de carottes avec leurs photos** sur WellCad
- Les **données stratigraphiques** : découpage séquentiel et découpage réservoir avec les cotes de leur Top (Tête) et Bottom (Pied) pour chaque puits enregistrés sous un fichier EXCEL appelé TOP FORMATION
- Les différentes **cartes d'imprégnation** des unités stratigraphiques
- Et enfin les diverses **rapports d'études**.

N.B : En cours de stage, une grande partie de ces données a pu être stocké dans une seule Base de données Access.

### V-3 Méthodologie

#### V-3-1 Les étapes méthodologiques

Afin d'atteindre les objectifs fixés, nous avons entamé des études et analyses des données mis à dispositions en suivant des étapes successives.

D'abord, un travail consistant à établir les relations entre les différents paramètres, notamment la granulométrie et le taux d'argilosité, et le faciès a été engagé.

Une proposition de groupement de faciès, selon des critères fixés, a été ensuite appuyée par les résultats d'analyses de granulométrie, de taux d'argilosité et d'imprégnation en se basant sur les relations établies entre paramètres et faciès.

Une étude des particules fines supposées avoir une influence sur la teneur en bitume des roches a été effectuée afin de déterminer les classes de grains concernés et sa relation avec l'imprégnation.

L'analyse des données de Porosité et de Perméabilité a été aussi entreprise, étude mettant d'abord en évidence les caractéristiques des groupes de réservoirs et ensuite des formations sans considérer les groupes.

Enfin, nous avons utilisé les résultats des précédentes études, c'est-à-dire les relations entre paramètres, regroupement de faciès, influence de la granulométrie sur l'imprégnation, pour étudier les variations d'imprégnation dans l'Amboloando Inférieur et d'en déterminer les causes.

#### V-3-2 Les techniques et méthodes d'analyses et de traitement des données

Du fait que nous avons, dans les grandes parties des études, cherché à établir des relations entre deux paramètres, nous avons procédé à l'élaboration de différents types de graphes pour les interpréter ensuite.

Ces différents types de graphes sont :

- a) Graphe représentant la **distribution granulométrique** dit PSD (Particle Size Distribution) : La courbe de distribution granulométrique est une courbe où l'abscisse représente les tailles des grains et l'ordonnée le pourcentage d'une taille donnée. Cette courbe a généralement une forme en cloche. (Figures 6 – 10)
- b) Graphe **MBI** représentant les **taux d'argilosité** : les valeurs de MBI des échantillons sont présentées sous formes de barres horizontales groupées. (Voir §I-2 de la Partie II)
- c) Graphe **MBI vs ASPEC** : ce type de graphe met sur un seul graphe les taux d'argilosité (MBI) et d'imprégnation (ASPEC) des échantillons, avec MBI en abscisse et ASPEC en ordonnée. (Voir §I-4 de la Partie II et Annexe E)

- d) Graphe **Fines vs ASPEC** : il représente en abscisse les pourcentages des particules fines (Argiles seulement, ou l'ensemble des Argiles et des Silts) des échantillons et en ordonnée les ASPEC correspondant. (Voir §I-6 de la Partie II)
- e) Graphe **Porosité** ou **Perméabilité**: les porosités ou les perméabilités sont représentées suivant les groupes sur ce type de graphe. (Voir §II de la Partie II)
- f) Graphe **Porosité\_Perméabilité** : la porosité est représentée sur l'abscisse tandis que la perméabilité sur l'ordonnée. (Voir §II de la Partie II)
- g) Graphe **ASPEC** qui représente seulement l'imprégnation des échantillons. (Voir §III-1 de la Partie II)
- h) Graphe des **classes granulométriques** : ce type de graphe représente les pourcentages des classes granulométriques sous formes d'histogramme. Pour cela on met en abscisse les classes granulométriques et en ordonnée les pourcentages. (Voir §III-1 de la Partie II)

Certains de ces graphes servent à comparer un ou deux paramètres de deux ou plusieurs groupes ou unités ou autres (Graphe des **classes granulométriques**, Graphe **ASPEC**, Graphe **Porosité\_Perméabilité**,...). Mais certains sont utilisés pour monter la relation entre deux paramètres (**Fines vs ASPEC**, **MBI vs ASPEC**, ...)

Nous avons aussi utilisé certaines données, notamment la granulométrie et le MBI, pour effectuer des calculs (Voir §I-4 et §I-6 de la Partie II). Ces calculs sont détaillés en annexes.

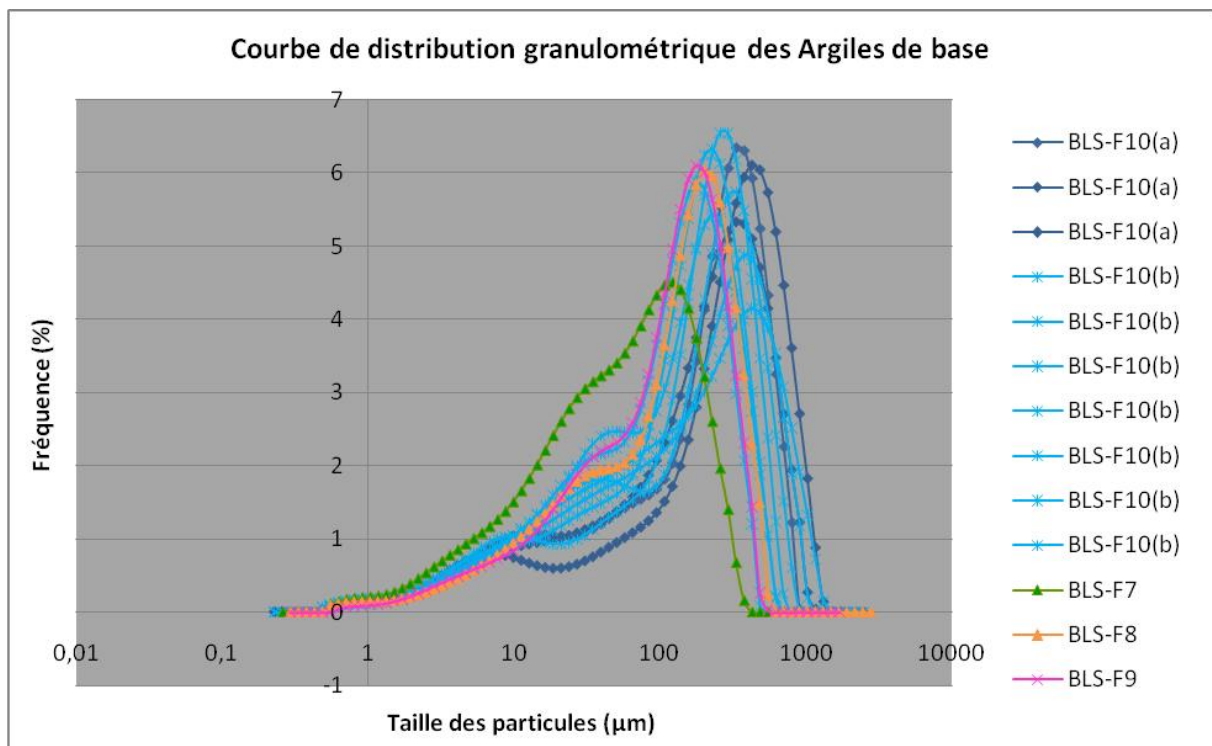
# PARTIE II : LES ETUDES ENTREPRISES

## Partie II : Les études entreprises

### I- Relation entre les différents paramètres

#### I-1 Relation Granulométrie – Faciès

Pour démontrer et établir l'éventuelle relation qui existe entre le paramètre granulométrie et le faciès, nous avons établi des courbes de distributions granulométriques PSD (Particle Size Distribution) des échantillons de chaque formation sur un seul graphe. Les courbes des échantillons ayant le même faciès ont été affectées de même couleur.



**Figure 6: Courbes des distributions granulométriques des Argiles de base noté BLS**

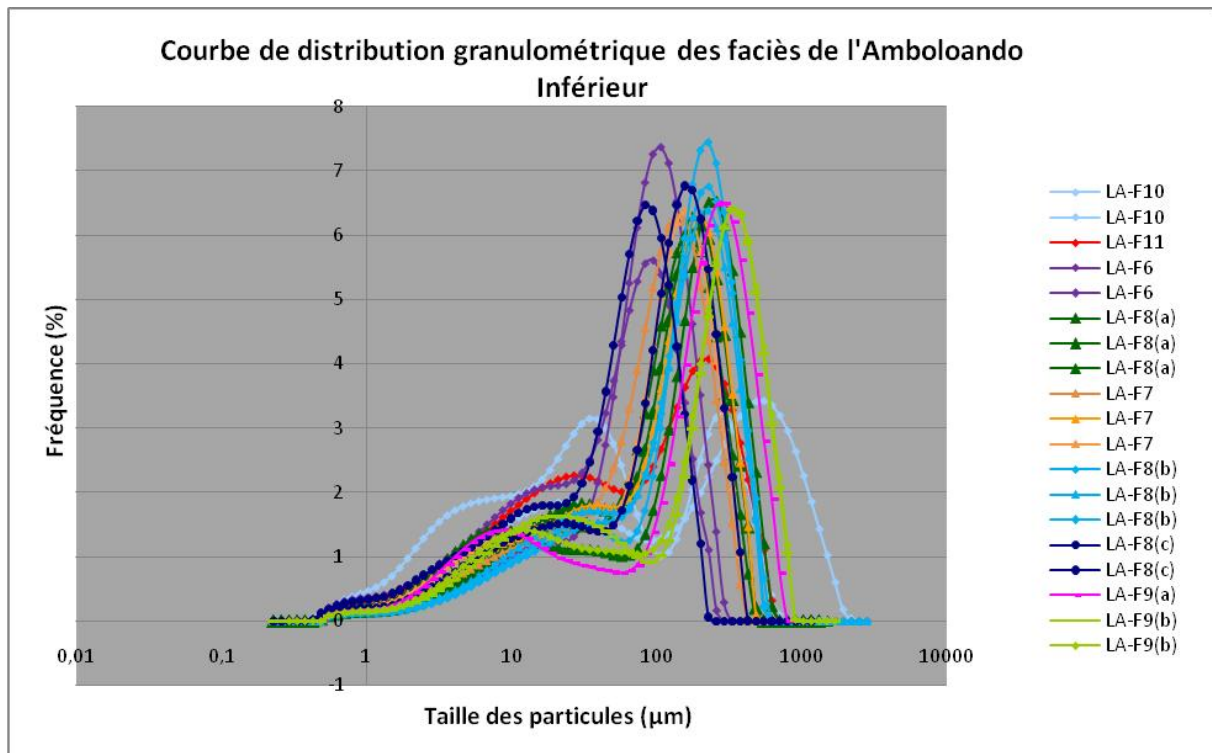
Pour les **Argiles de base** BLS (Figure 6), les courbes PSD (Particle Size Distribution) sont presque identiques pour les échantillons de même faciès et varie selon le faciès.

Les courbes, colorées en bleu et en bleu ciel, des faciès BLS-F10(a), BLS-F10(b) qui sont des faciès à dominance gréseuse (dépôt de barre tidale) présentent une forme de cloche avec un pic s'étalant de 80 à 1000µm.

Celles des faciès BLS-F8 et BLS-F9 (faciès à dominance gréseuse dépôt de chenal ou de barre tidale) colorées en orange et en rose montrent également un pic s'étalant entre 50 et 500µm.

Quant à la courbe de l'échantillon de BLS-F7 (un faciès hétérolithique) coloré en vert, elle montre une forme en cloche très étalées avec un pic à 100µm avec une fréquence de 4,5% environ et un autre maximum dans les 20µm mais qui est confus et pas très visible donnant un aspect bombé du tracé gauche de la courbe.





**Figure 7: Courbes des distributions granulométriques de l'Amboloando Inférieur noté LA**

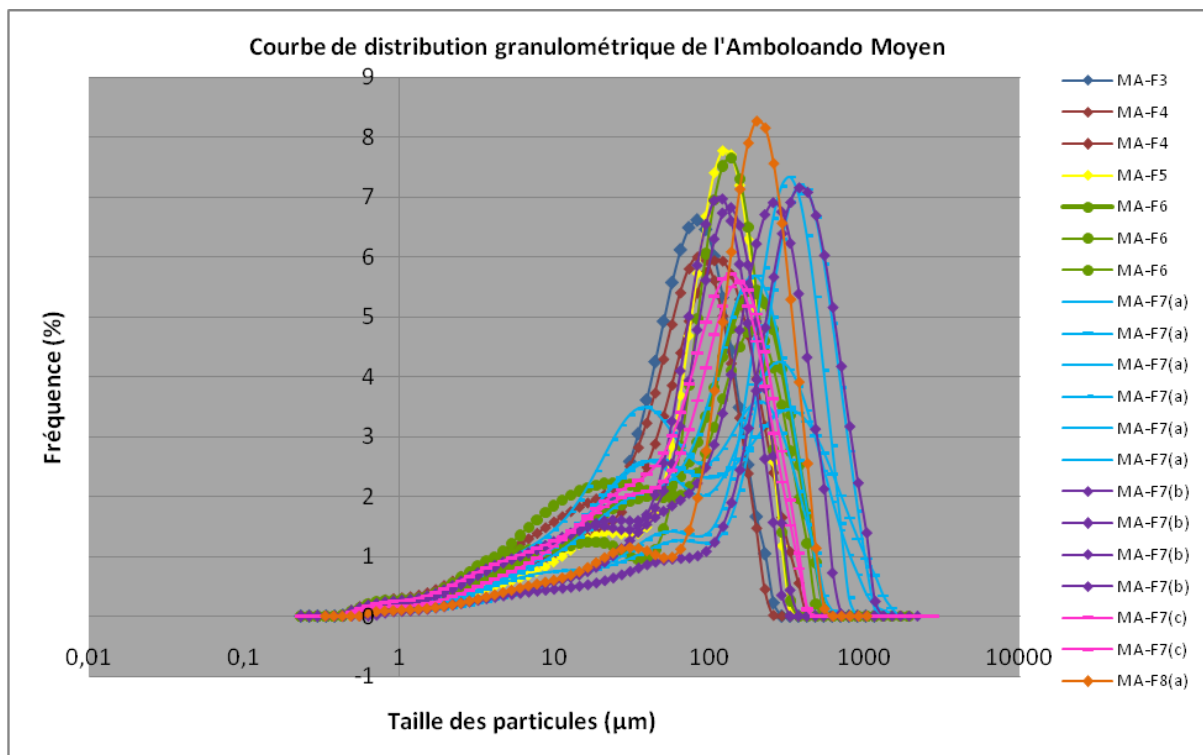
Pour le cas de la **formation Amboloando Inférieur LA** (Figure 7) les distributions des grains sont à peu près identiques pour les échantillons de même faciès, à l'exception de deux échantillons du faciès LA-F8(c).

La figure 7 montre une relation entre le faciès et la granulométrie. La granulométrie change et varie selon le faciès ; noter la différence de l'allure des courbes

- d'abord des échantillons de LA-F8(a) : faciès de grès fluviatile, coloré en vert foncé qui présente chacun un pic s'étalant de 50 à 600 µm,
- et celle des échantillons de LA-F10 : faciès de conglomérat à galets d'argiles, coloré sur la figure en bleu clair mais à deux pics, l'un à 30µm et l'autre à 600µm.

Pendant, les courbes de distribution granulométrique de certains faciès présentent également un pic mais s'étalant de 50 à 900 µm, c'est le cas des échantillons de LA-F7, LA-F8(a), LA-F8(b), LA-F9(a), LA-F9(b) qui sont des **faciès de grès fluviatil**, colorés en orange, vert foncé, bleu ciel accentué, rose, et vert citron.

Par ailleurs, LA-F8(c), **faciès de grès à doublets**, se rapproche plus de LA-F6 : leurs courbes montrent un pic légèrement décalé vers les granulométries plus fines (<100µm), colorées en bleu foncé et en violet.



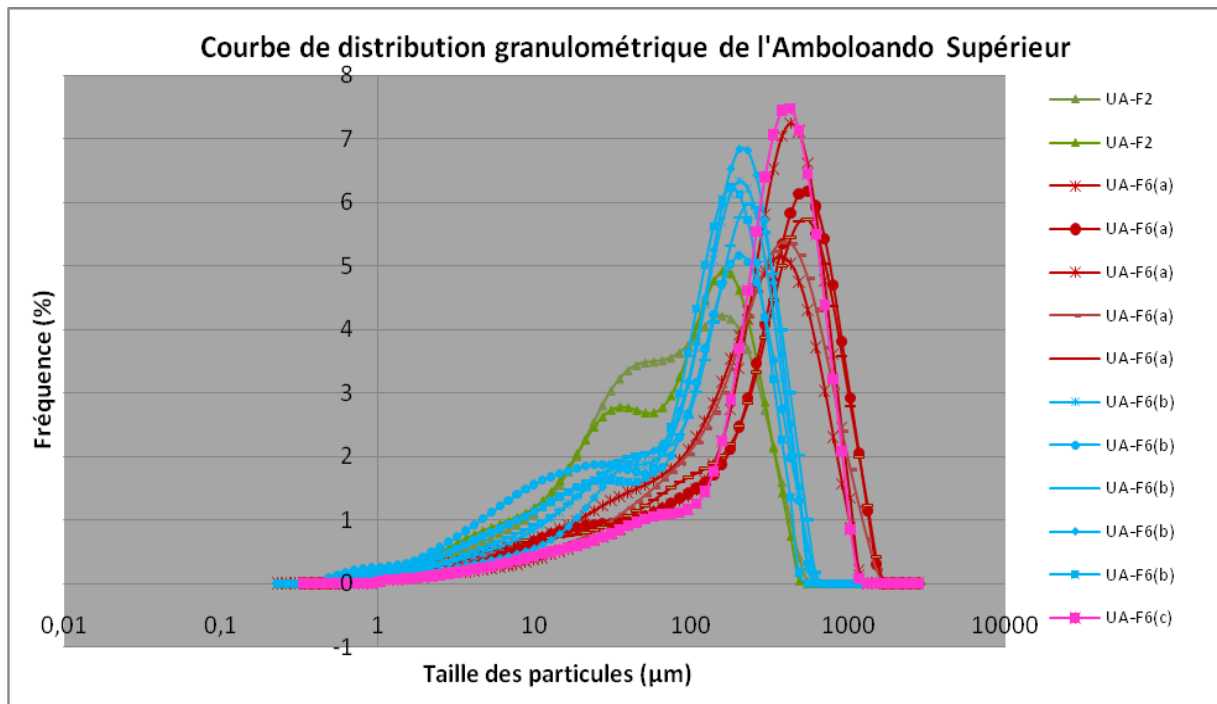
**Figure 8: Courbes des distributions granulométriques de l'Amboloando Moyen noté MA**

La figure 8 de l'**Amboloando Moyen** (MA), une formation constituée de dépôt de « Shoreface wave-dominated » essentiellement argileuse, présente pour un même faciès des distributions granulométriques différentes, les courbes ont des allures non identiques. C'est surtout le cas du faciès MA-F7(a) (grès très fins à moyen), coloré en bleu ciel : quatre des échantillons affichent des courbes à deux pics alors que deux ont des courbes avec un pic.

Pour certains faciès, les courbes ont une même forme, mais elles sont décalées : c'est le cas de MA-F6, grès très fins à moyens à laminations d'angle faible, et de MA-F7(b), grès très fins à moyens à stratifications obliques, coloré respectivement en vert et en violet. Pour MA-F7(b), deux échantillons ont un pic s'étalant de 40 à 400µm, un échantillon montre un pic étalé entre 80 à 600µm et un autre présente également un pic mais s'étalant de 80 à 1000µm.

Ceci remet en question ce que nous tentons de démontrer (relation entre faciès et granulométrie).

Toutefois, les deux échantillons du MA-F7(c) (Grès très fins à moyen laminés) coloré en rose ont des distributions granulométriques avoisinantes : leur courbe affiche un pic s'étalant de 45 à 430µm. C'est aussi le cas pour les échantillons de MA-F4 (Grès très fins à fins à rides) colorés en grenat.



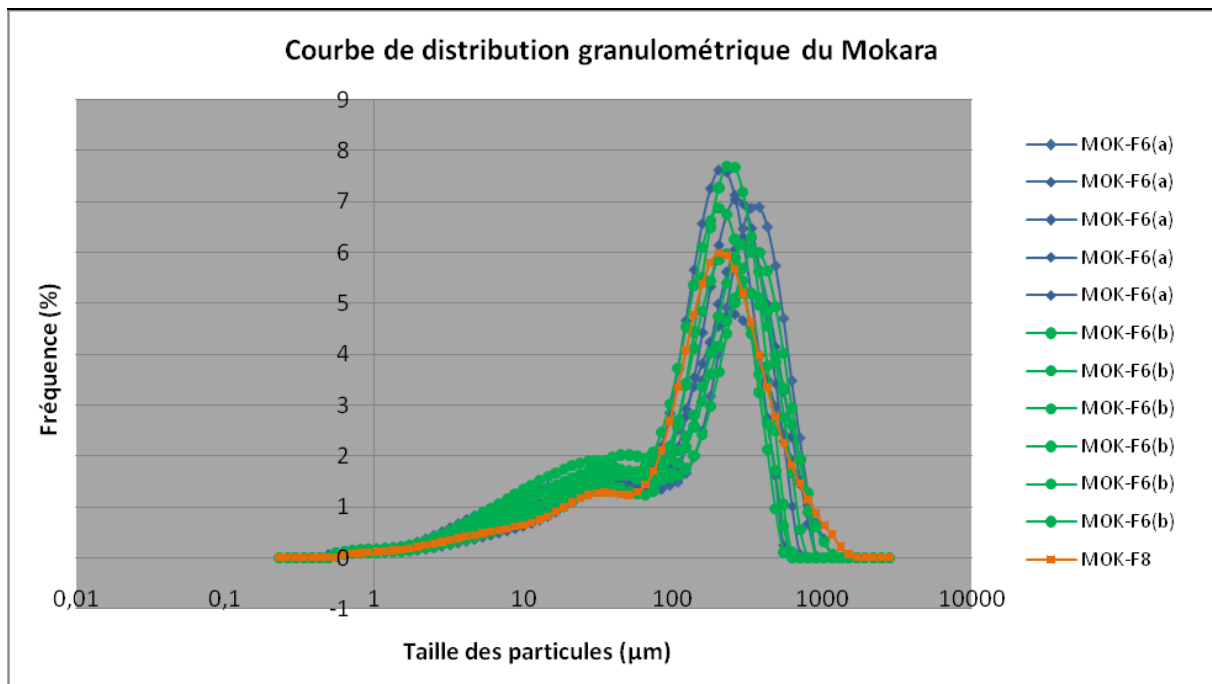
**Figure 9: Courbes des distributions granulométriques de l'Amboloando Supérieur noté UA**

Les courbes de distributions granulométriques de l'**Amboloando Supérieur** (UA) mettent vraiment en évidence que la granulométrie est pareille pour des échantillons ayant le même faciès.

Les échantillons de UA-F2, un faciès de grès très fins à moyens aussi mais argileux, dépôt de débordement, colorés en vert ont des courbes présentant deux pics l'un pas très marqué dans les 30 à 40µm, et l'autre net à 150µm.

Les courbes de UA-F6(b), faciès de grès fluviatil à grains très fins à moyens, colorées en bleu ciel montrent un pic s'étalant de 60 à 550µm.

Toutefois, les courbes des faciès UA-F6(a) et UA-F6(c) (tous deux des faciès de grès fluviatil à grains très fins à moyens, mais se différencient par la structure à stratification oblique ou laminée) présentent à peu près la même allure : les courbes, colorées en rouge et en rose, ont une forme de cloche à un pic décalé vers les granulométries plus grossières, de 100 à 1150µm.



**Figure 10: Courbes des distributions granulométriques du Mokara noté MOK**

Les granulométriques des échantillons du **Mokara** (MOK) présentent une distribution très proche pour un même faciès (Figure 10) :

- les échantillons, colorés en bleu et en vert, des faciès MOK-F6(a), MOK-F6(b), faciès de grès tidal très fins à moyens à stratifications obliques, affichent sur la figure 10 des courbes à un pic qui s'étalent de 85 à 700µm environ.
- La courbe du faciès MOK-F8 (faciès correspondant à des conglomérats à galets argileux hétérométriques, dépôt de lag de chenal tidal) colorée en orange présente également un pic mais s'étalant de 50 à 1500µm.

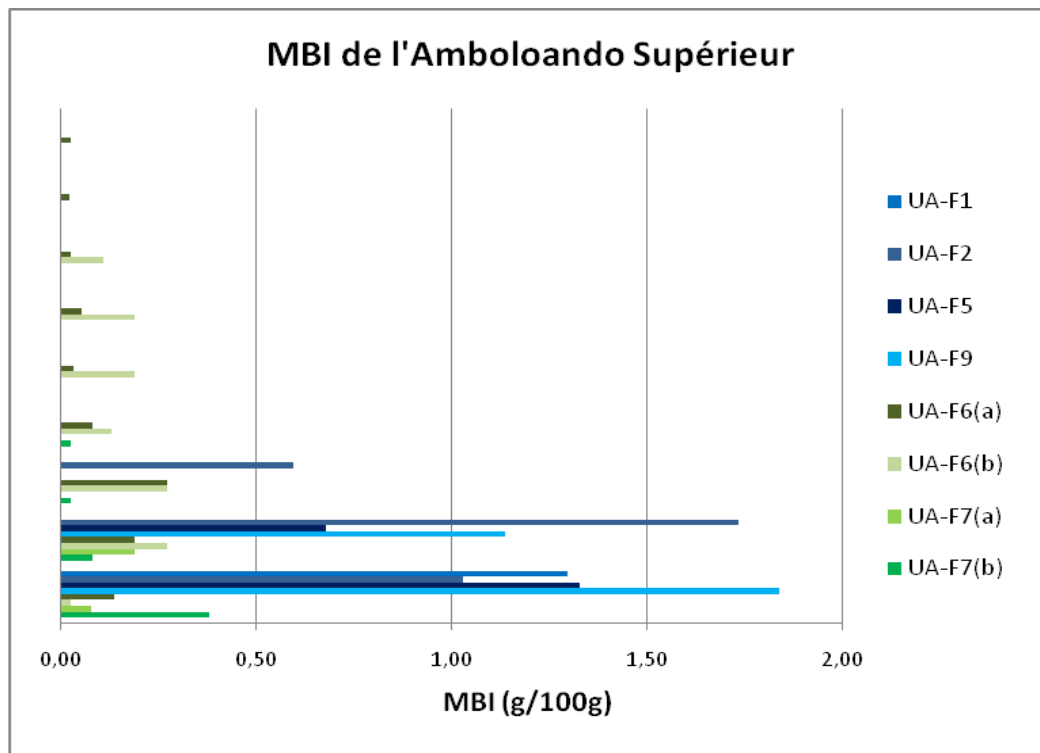
D'après les figures 6 à 10, nous pouvons déduire que la distribution granulométrique varie réellement en fonction des faciès. Cependant, il y a des cas où pour un même faciès, la granulométrie peut être différente. Il arrive aussi que les distributions des grains d'échantillons issus de faciès différents sont identiques ou avoisinantes.

D'une façon générale, nous pouvons également retenir que les faciès à dominance gréseuse ont une courbe de distribution à un pic étalé dans les granulométries plus grossières. Les faciès mixtes (hétérolithique, grès argileux, conglomérat à galet argileux) ont soit une courbe à deux pics soit une courbe à un seul pic mais s'étalant dans les granulométries plus fines.

## I-2 Relation MBI- Faciès

Nous cherchons à démontrer et établir cette fois-ci l'éventuelle relation qui peut exister entre les paramètres taux d'argilosité (MBI) et le faciès.

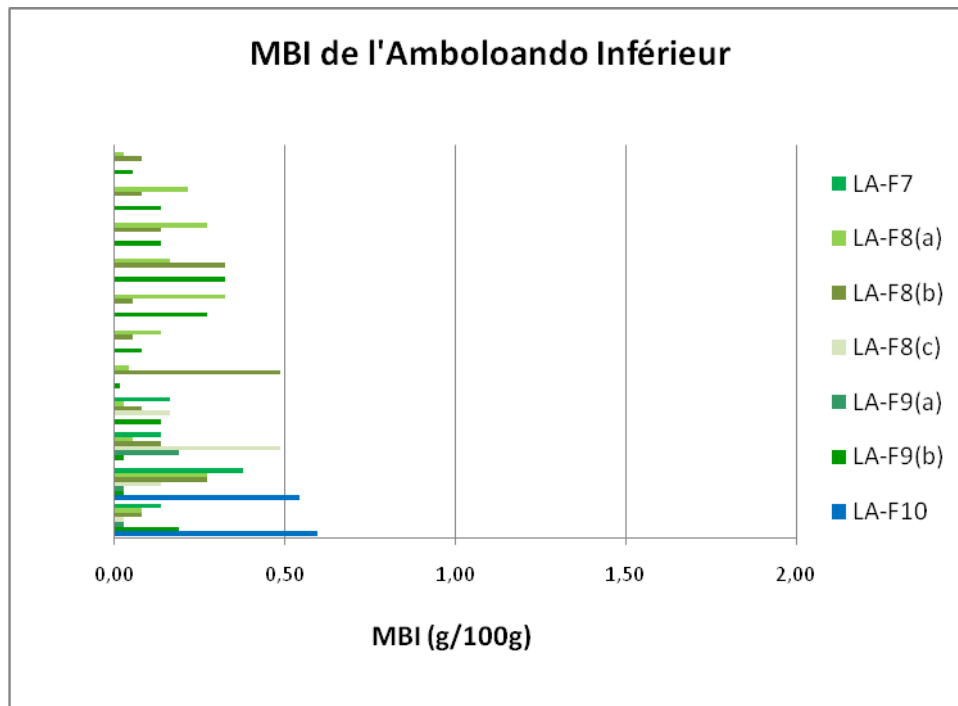
Pour ce faire, nous avons établi des graphes MBI pour quelques faciès. Nous avons pris les faciès de l'Amboloando Supérieur (Figure 11) et quelques faciès de l'Amboloando Inférieur (Figure 12).



**Figure 11 : Taux d'argilosité des échantillons des faciès UA-F1, UA-F2, UA-F5, UA-F9, UA-F6(a), UA-F6(b) UA-F7(a), UA-F7(b)**

Concernant le taux d'argilosité, on peut distinguer sur la figure 11 deux grandes classes de faciès : celle des faciès contenant des argiles (en bleu) et celle des faciès gréseux (en vert).

- La classe des faciès à argiles a un taux d'argilosité moyen de 1,25 [g de bleu/100g d'échantillon] pour huit (08) échantillons. Ce sont des faciès de plaine d'inondation (UA-F1, UA-F2, UA-F5) et de lag de chenaux (UA-F9) riche en particules argileuses.
- La classe des faciès gréseux a un taux d'argilosité nettement inférieur à 0,5 [g de bleu/100g d'échantillon] pour 29 échantillons. Ce sont des faciès de chenal fluviatil riche en débris de sables et pauvre en matrice argileuse.



**Figure 12 : Taux d'argilosité des échantillons des faciès LA-F7, LA-F8(a), LA-F8(b), LA-F8(c) LA-F9(a), LA-F9(b), LA-F10**

Pour le cas de l'**Amboloando Inférieur LA** (Figure 12), il ressort que les faciès LA-F7, LA-F8(a), LA-F8(b), LA-F8(c), LA-F9(a), LA-F9(b) (faciès à dominance gréseuse possédant soit une structure massive soit une structure stratifiée, dépôt fluvial), colorés en vert, ont des taux d'argilosité (MBI) nettement inférieur à 0.5 tandis que LA-F10 (conglomérat à galets d'argiles, dépôt de lag de chenal), coloré en bleu, a des MBI supérieurs à 0,5.

Nous pouvons donc déduire que la relation entre le taux d'argilosité et le faciès se manifeste comme suit : les faciès gréseux ont des MBI inférieur à 0.5 [g de bleu/100g d'échantillon], tandis que les faciès mixtes ou argileux ont des MBI supérieur à 0.5 [g de bleu/100g d'échantillon].

La validité de cette valeur limite ou seuil de 0,5 obtenue sera vérifiée ultérieurement par des calculs.

### I-3 Regroupement de faciès

Le regroupement de faciès consiste à faire en sorte que les 88 faciès utilisés pour la description de carottes au laboratoire soient répartis en trois groupes : groupe de **Bons réservoirs (BR)**, groupe de **Mauvais réservoirs (MR)**, et groupe de **Non réservoirs (NR)**.

Le regroupement s'effectue à l'intérieur des séries stratigraphiques. Ainsi, la première chose à faire a été de délimiter ces séries par rapport au découpage synthétique séquentiel (Figure 4) et aussi de les nommer et de les numéroter pour faciliter leur identification. La figure 19 illustre ces identifications des séries.

Nous avons ensuite situé chaque échantillon dans ces séries en intégrant ces numéros de séries dans les données puits (données où, pour chaque puits, les échantillons avec leur toit [« **Top** »] et leur base [« **Bottom** »] ainsi que le faciès correspondant sont énumérés).

<b>ANK</b>		<b>S_18</b>
		SB_6
<b>MOKARA</b>	<b>ARG</b>	<b>S_17</b>
		MFS_5
	<b>GRES</b>	<b>S_16</b>
		SB_5
		<b>S_15</b>
		MFS_4
		<b>S_14</b>
		SB_4
<b>AMBOLOANDO</b>	<b>SUPERIEUR</b>	<b>S_13</b>
		MFS_Upper
		<b>S_12</b>
		SB_3
	<b>MOY</b>	<b>S_11</b>
		MFS_Middle
		<b>S_10</b>
	<b>INFERIEUR</b>	TOP_Lower
		<b>S_9</b>
		TS_1
		<b>S_8</b>
		SB_2
		<b>S_7</b>
		MSF_Lower
<b>S_6</b>		
SB_1		
<b>ARGILES DE BASE</b>	<b>S_5</b>	
	MFS_BLS_1	
	<b>S_4</b>	
	SB_BLS_1	
	<b>S_3</b>	
	MFS_BLS_2	
	<b>S_2</b>	
	SR_2	
	<b>S_1</b>	
TOP_ISALO_1		
<b>ISALO 1</b>	<b>S_0</b>	
		Basement

**Figure 13 : Délimitation et terminologie des séries par rapport au découpage séquentiel**

Notice explicative de la figure 19 :

Les bandes colorées correspondent aux marqueurs stratigraphiques identifiés (voir figure 4) tandis que les bandes en blanc représentent les niveaux (séries) se trouvant entre les marqueurs stratigraphiques. Il y a en tout 19 séries. Elles sont numérotée de S\_0 ; S\_1 ; S\_2 ; ..... ; S\_18.

C'est au niveau de chacun de ces séries que nous allons essayer de rassembler les faciès en trois groupes.



Les données puits sont donc triées ensuite par séries. À partir de ceci, nous avons établi une proposition de regroupement par série (*Tableau 2*) en se basant sur les critères suivants :

- les **faciès gréseux** purs appartiennent au groupe de **Bon Réservoir**
- les **faciès mixtes** tels que les grès argileux, les hétérolithiques sableux ainsi que les conglomérats. Appartiennent au groupe de **Mauvais Réservoir**
- les **faciès argileux** et **silteux** ainsi que les **hétérolithiques argileux** appartiennent au groupe de **Non Réservoir**

Etant donné les relations démontrées dans les paragraphes précédents (§I-1 et §I-2 de la partie II), le regroupement ainsi obtenu a dû être vérifié et appuyé par d'autres regroupements de même type (BR - MR - NR) mais en se basant cette fois-ci, en plus des critères précités, sur les analyses des résultats de mesure de l'ASPEC (pourcentage de bitume), du MBI (taux d'argilosité) ainsi que du LPSA (granulométrie). Pour cela, nous avons pris à part les données de LPSA, et puis ensemble les données d'ASPEC et de MBI.

**Remarque :** Les regroupements proposés sont pris en compte dans les deux cas.

Les échantillons pris pour les deux cas sont ceux sur lesquels les trois analyses (ASPEC, MBI, LPSA) sont à la fois effectuées.

À chaque échantillon est attribuée la série qui lui correspond. Les échantillons sont après triés par série. A partir d'ici, l'étude s'effectue les séries séparées autrement dit les étapes s'appliquent successivement à chaque série.

Dans les deux cas, à chaque groupe est attribuée une couleur (verte pour les Bons Réservoirs et rouge pour les Mauvais Réservoirs). Ainsi les échantillons appartenant au même groupe auront une même couleur.

a) Prenons en premier lieu le regroupement à partir des données de granulométries. Tout d'abord, nous avons établi des courbes de distributions granulométriques PSD des échantillons sur un seul graphe. Les graphes sont présentés en annexe avec leur commentaire (*Annexe C*).

Les faciès présentant des courbes ayant une même tendance et des distributions voisines seront regroupés. Ces regroupements sont résumés dans un tableau (*Tableau 3*).

b) Entamons maintenant le regroupement à partir des données d'ASPEC et de MBI. Pour ce cas, nous avons mis sur un seul graphe les MBI et ASPEC des échantillons, avec MBI en abscisse et ASPEC en ordonnée. (*Voir Annexe D* pour les graphes résultant et les commentaires qui vont avec)

Les graphes montrent un comportement typique selon le groupe : les faciès du groupe Bon Réservoir ont des MBI pratiquement tous faibles (inférieur à 0.4 ou 0.5) et des ASPEC assez bons à très bons tandis que les échantillons à faciès appartenant au groupe des Mauvais Réservoirs ont des MBI élevés (supérieur à 0.4 ou 0.5) et des ASPEC essentiellement faibles. Ce résultat se rapproche de celui montré dans le paragraphe « Relation MBI-Faciès ».

Le regroupement résultant des MBI et des ASPEC est également récapitulé dans un tableau. (*Tableau 4*)

**Tableau 2: Proposition de regroupement de faciès pour chaque série incluant tous les faciès**

	Ankara-menabe	Mokara				Upper Amboloando		Middle Amboloando		Lower Amboloando				Base Level Shales					Isalo I	
	S_18	S_17	S_16	S_15	S_14	S_13	S_12	S_11	S_10	S_9	S_8	S_7	S_6	S_5	S_4	S_3	S_2	S_1	S_0	
Bon Réservoir	ANK-F3(a)	MOK-F6(a)	MOK-F6(a)	MOK-F6(a)	MOK-F6(a)	UA-F6(a)	UA-F6(a)	MA-F5	MA-F5	LA-F3(a)	LA-F3(a)	LA-F3(a)	LA-F3(a)	BLS-F8	BLS-F8	BLS-F8	BLS-F8	BLS-F8	ISA-F3(a)	
	ANK-F3(b)	MOK-F6(c)	MOK-F6(b)	MOK-F6(b)	MOK-F6(b)	UA-F6(b)	UA-F6(b)	MA-F6	MA-F6	LA-F3(b)	LA-F3(b)	LA-F3(b)	LA-F3(b)	BLS-F9	BLS-F9	BLS-F9	BLS-F9	BLS-F9	ISA-F3(b)	
	ANK-F3(c)		MOK-F6(c)	MOK-F6(c)	MOK-F6(c)	UA-F6(c)	UA-F6(c)	MA-F7(a)	MA-F7(a)	LA-F7	LA-F7	LA-F4	LA-F7	BLS-F10(a)	BLS-F10(a)	BLS-F10(a)	BLS-F10(a)	BLS-F10(a)	ISA-F4(a)	
	ANK-F4(a)		MOK-F7(a)	MOK-F7(a)	MOK-F7(a)	UA-F7(a)	UA-F7(a)	MA-F7(b)	MA-F7(b)	LA-F8(a)	LA-F8(a)	LA-F7	LA-F8(a)	BLS-F10(b)	BLS-F10(b)	BLS-F10(b)	BLS-F10(b)	BLS-F10(b)	ISA-F4(b)	
	ANK-F4(b)		MOK-F7(b)	MOK-F7(b)	MOK-F7(b)	UA-F7(b)	UA-F7(b)	MA-F7(c)	MA-F7(c)	LA-F8(b)	LA-F8(b)	LA-F8(a)	LA-F8(b)							
					MOK-F7(c)	UA-F7(c)		MA-F8(a)	MA-F8(b)	LA-F8(c)	LA-F8(c)	LA-F8(b)	LA-F8(c)							
								MA-F8(b)		LA-F9(b)	LA-F9(a)	LA-F8(c)	LA-F9(a)							
											LA-F9(b)	LA-F9(b)	LA-F9(c)							
Mauvais Réservoir	ANK-F5	MOK-F2	MOK-F2	MOK-F2	MOK-F2	UA-F2	UA-F2	MA-F3	MA-F3	LA-F10	LA-F10	LA-F10	LA-F10	BLS-F5	BLS-F5	BLS-F5	BLS-F5	BLS-F5	ISA-F6	
		MOK-F3	MOK-F3	MOK-F3	MOK-F3	UA-F4	UA-F4	MA-F4	MA-F4	LA-F11	LA-F11	LA-F11	LA-F11	BLS-F7	BLS-F7	BLS-F7	BLS-F7	BLS-F7		
		MOK-F4	MOK-F4	MOK-F4	MOK-F4	UA-F5	UA-F5	MA-F9	MA-F9	LA-F6	LA-F6	LA-F6	LA-F6	BLS-F11	BLS-F11	BLS-F11	BLS-F11	BLS-F11		
		MOK-F8	MOK-F8	MOK-F8	MOK-F8	UA-F8	UA-F9													
					UA-F9															
					UA-F11															
Non Réservoir	ANK-F1	MOK-F1	MOK-F1	MOK-F1	MOK-F1	UA-F1	UA-F1	MA-F1	MA-F1	LA-F1	LA-F1	LA-F1	LA-F1	BLS-F3	BLS-F3	BLS-F3	BLS-F3	BLS-F3	ISA-F1	
		MOK-F5	MOK-F5	MOK-F5	MOK-F5	UA-F3	UA-F3	MA-F2	MA-F2	LA-F2	LA-F2	LA-F2	LA-F2	BLS-F4	BLS-F4	BLS-F4	BLS-F4	BLS-F4	ISA-F2	
						UA-F10	UA-F10	MA-F10	MA-F10	LA-F5	LA-F5	LA-F5	LA-F5	BLS-F6	BLS-F6	BLS-F6	BLS-F6	BLS-F6	ISA-F7	
											LA-F12	LA-F12	LA-F12	BLS-F12	BLS-F12	BLS-F12	BLS-F12	BLS-F12		
																			BLS-F1	
																			BLS-F1	

Tableau 3: Regroupement de faciès pour chaque série à partir de la granulométrie

Groupe	Mokara		Upper Amboloando	Middle Amboloando		Lower Amboloando				Base Level Shales				Isalo I
	S_16	S_14	S_13	S_11	S_10	S_9	S_8	S_7	S_6	S_5	S_4	S_3	S_2	S_0
Bon Réservoir	MOK-F6(a) MOK-F6(b)	MOK-F6(a) MOK-F6(b)	UA-F6(a) UA-F6(b) UA-F6(c)	MA-F6 MA-F7(a) MA-F7(b) MA-F7(c) MA-F8(a)???	MA-F5 MA-F6 MA-F7(a) MA-F7(b) MA-F7(c)	LA-F7 LA-F8(a) LA-F8(b)	LA-F7 LA-F8(a) LA-F8(b) LA-F9(b)	LA-F8(a) LA-F8(b) LA-F8(c)???	LA-F8(a) LA-F8(b) LA-F8(c) LA-F9(a) LA-F9(b)	BLS-F10(b)	BLS-F8 BLS-F9 BLS-F10(a) BLS-F10(b)	BLS-F10(b)	BLS-F10(b)	ISA-F3(a)
Mauvais Réservoir	MOK-F8???		UA-F2		MA-F3 MA-F4	LA-F6??? LA-F10	LA-F10 LA-F11				BLS-F7			
Non Réservoir														

Tableau 4 : Regroupement de faciès pour chaque série à partir du taux d'argilosité et de l'imprégnation

	Mokara		Upper Amboloando	Middle Amboloando		Lower Amboloando				Base Level Shales				Isalo I
Groupe	S_16	S_14	S_13	S_11	S_10	S_9	S_8	S_7	S_6	S_5	S_4	S_3	S_2	S_0
Bon Réservoir	MOK-F6(a) MOK-F6(b)	MOK-F6(a) MOK-F6(b)	UA-F6(a) UA-F6(b) UA-F6(c)	MA-F6 MA-F7(a) MA-F7(b) MA-F7(c) MA-F8(a)	MA-F5 MA-F6 MA-F7(a) MA-F7(b) MA-F7(c)	LA-F7 LA-F8(a) LA-F8(b)	LA-F7 LA-F8(a) LA-F8(b) LA-F9(b)	LA-F8(a) LA-F8(b) LA-F8(c)	LA-F8(a) LA-F8(b) LA-F8(c) LA-F9(a) LA-F9(b)	BLS-F10(b)	BLS-F8 <b>BLS-F9???</b> BLS-F10(a) BLS-F10(b)	BLS-F10(b)	BLS-F10(b)	ISA-F3(a)
Mauvais Réservoir	MOK-F8		UA-F2		MA-F3 MA-F4	<b>LA-F6???</b> LA-F10	LA-F10 LA-F11???				BLS-F7			
Non Réservoir														

Par ailleurs, nous pouvons aussi constater que sur certains échantillons, les graphes montrent que plus le MBI est faible plus l'imprégnation est forte alors que plus il est élevé, plus l'imprégnation est faible. Toutefois, ceci ne s'aperçoit pas sur tous les échantillons. Cela laisse penser qu'il existerait une relation entre les deux paramètres taux d'argilosité et imprégnation.

La confrontation des trois tableaux de regroupement de faciès (Tableaux 2, 3, 4) montre une cohérence presque parfaite. Nous pouvons adopter donc le regroupement proposé comme un groupement définitif.

**Remarque :** Les échantillons pris pour être analysés par les méthodes MBI et LPSA sont pour une majeure partie des niveaux bien imprégnés, donc majoritairement gréseux. Ainsi, pour cette étude de regroupement à partir des données d'analyses, il n'y a eu que peu d'échantillons sur les faciès mixtes (MR) et très peu (allant même jusqu'à aucun) sur les faciès argilo-silteux (NR).

#### I-4 Détermination de la valeur de MBI limite séparant le groupe BR des MR

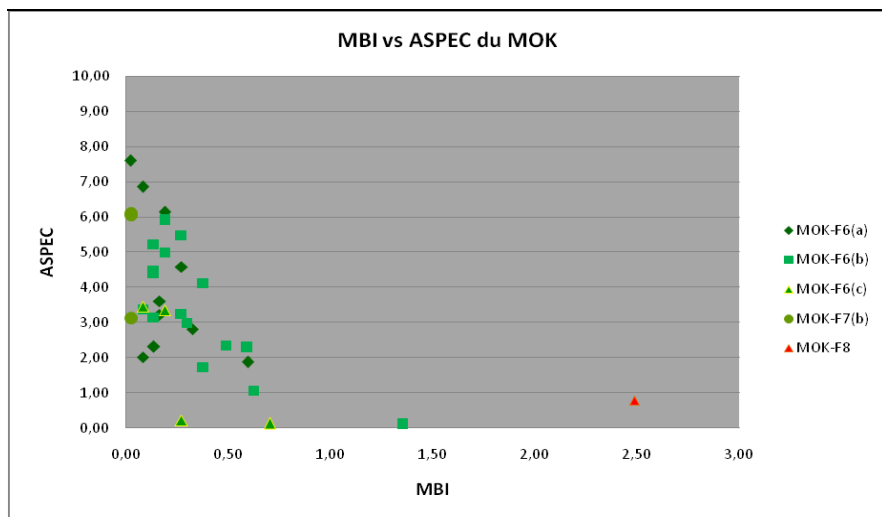
Cette partie vise à déterminer et calculer la valeur seuil des MBI entre les faciès gréseux (BR) et les faciès mixte (MR).

Pour cette étude nous avons pris tous les échantillons de la campagne 2010 ayant à la fois subi des analyses d'ASPEC et de MBI. Ces échantillons comptent au total 282.

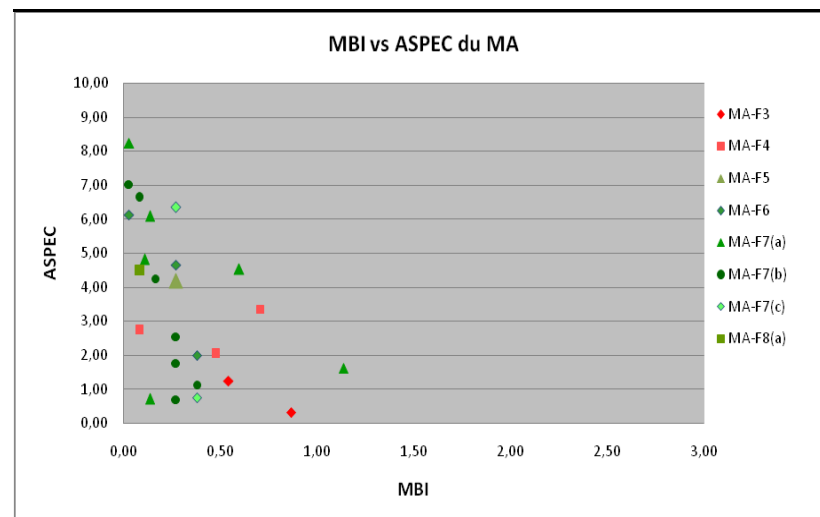
Ces échantillons ont d'abord été classés selon le groupe auquel ils appartiennent.

Ainsi, nous avons pu avoir 257 échantillons de Bon Réservoir, 24 échantillons de Mauvais Réservoir, et enfin un seul échantillon de Non Réservoir.

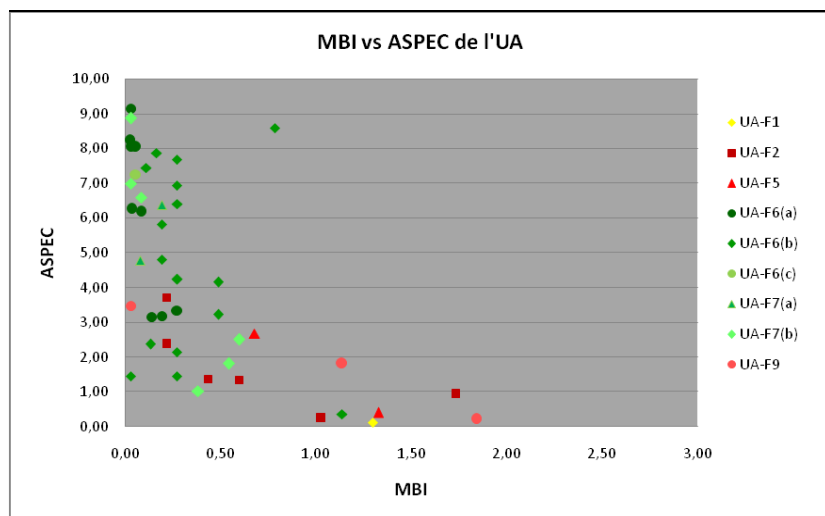
Les valeurs des ASPEC et des MBI de ces échantillons sont représentées sur des graphes MBI vs ASPEC (Figure 14 à 19). Toujours, les échantillons de Bon Réservoir sont affectés de couleur verte quand ceux des Mauvais Réservoirs sont en rouge. Un graphe représente les échantillons d'une même formation.



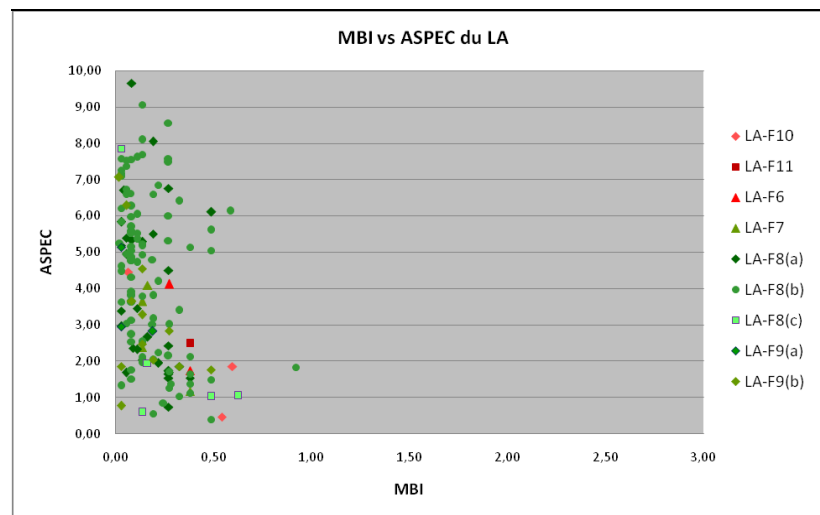
**Figure 14: Représentation des MBI et des ASPEC du Mokara**



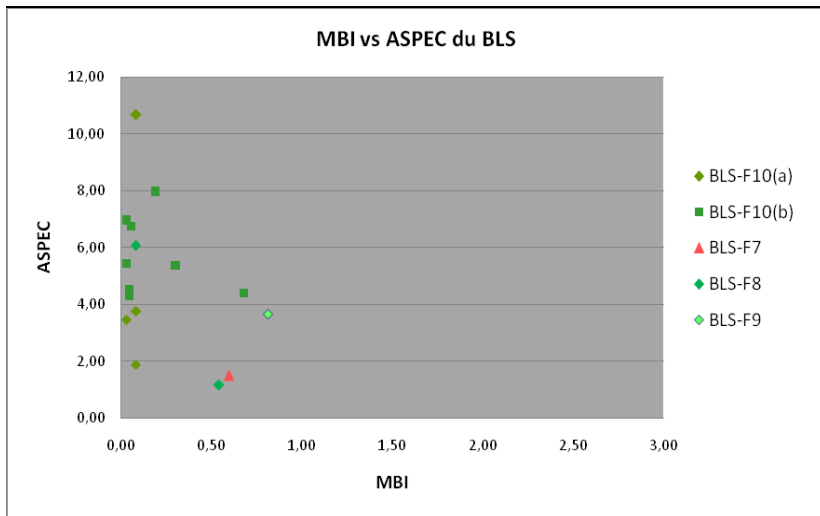
**Figure 16: Représentation des MBI et des ASPEC de MA**



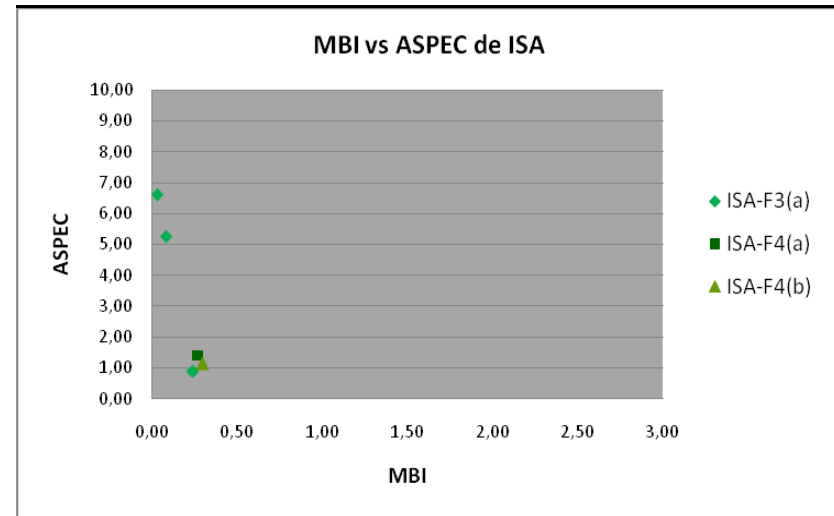
**Figure 15: Représentation des MBI et des ASPEC de l'UA**



**Figure 17: Représentation des MBI et des ASPEC de LA**



**Figure 18: Représentation du MBI et de l'ASPEC des échantillons des Argiles de base**



**Figure 19: Représentation du MBI et de l'ASPEC des échantillons de l'Isalo I**

En observant ces graphes, nous pouvons constater que la valeur limite des MBI entre les deux groupes BR et MR se situerait entre 0.3 et 0.6.

Nous avons donc pris un à un les valeurs entre cet intervalle (seulement celles à un décimale après la virgule, c'est-à-dire 0.3, puis 0.4, ensuite 0.5 et enfin 0.6) pour une étude statistique et ensuite pour un calcul d'erreur. Les tableaux détaillant de ces calculs sont présentés dans l'Annexe E.

La valeur ainsi retenue comme limite est celle avec la moindre erreur. D'après les calculs celle-ci est donc **0.4** au lieu de 0,5.

Toutefois, il faut noter que certaines valeurs de MBI des échantillons ne respectent pas cette limite. Nous avons donc donné à ces valeurs le nom de « valeurs anomaliques ».

#### *I-5 Application du regroupement de faciès à toutes les unités de formations et détermination de leurs ASPEC minimal, maximal et moyen*

Par le biais de cette partie, nous préciserons comment se comportent les groupes du point de vue imprégnation (ASPEC) dans chaque unité.

Ici, on entend par unité les niveaux gréseux des formations à partir de l'Amboloando Inférieur jusqu'au toit, à savoir : SB1\_SB2, SB2\_TS1, UA0, UA1, UA2, UA3, UA4, SB4\_MFS4, SB5\_MFS5. (Figure 5). Les étapes qui vont suivre s'appliquent à chacune des unités successivement.

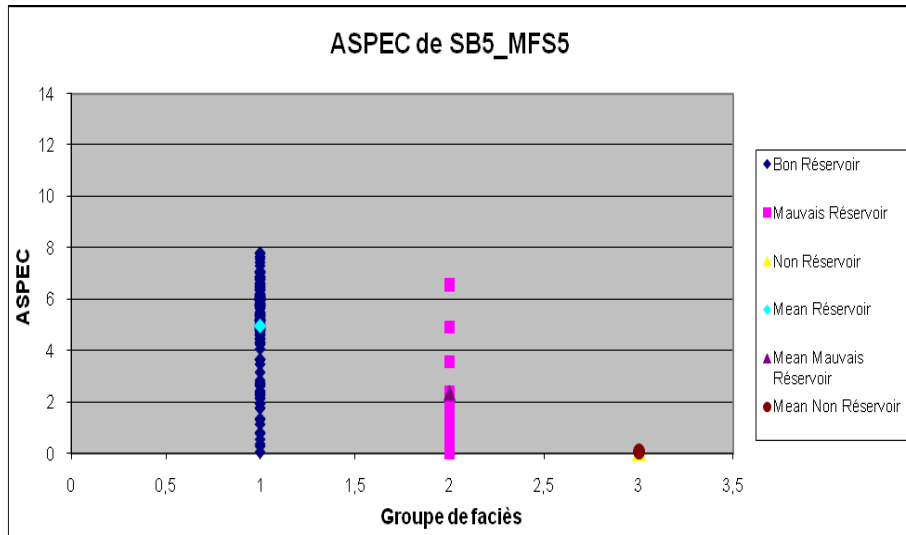
Tout d'abord, nous avons extrait de la base de données les échantillons appartenant à l'unité.

On applique à ces échantillons le regroupement de faciès établi précédemment.

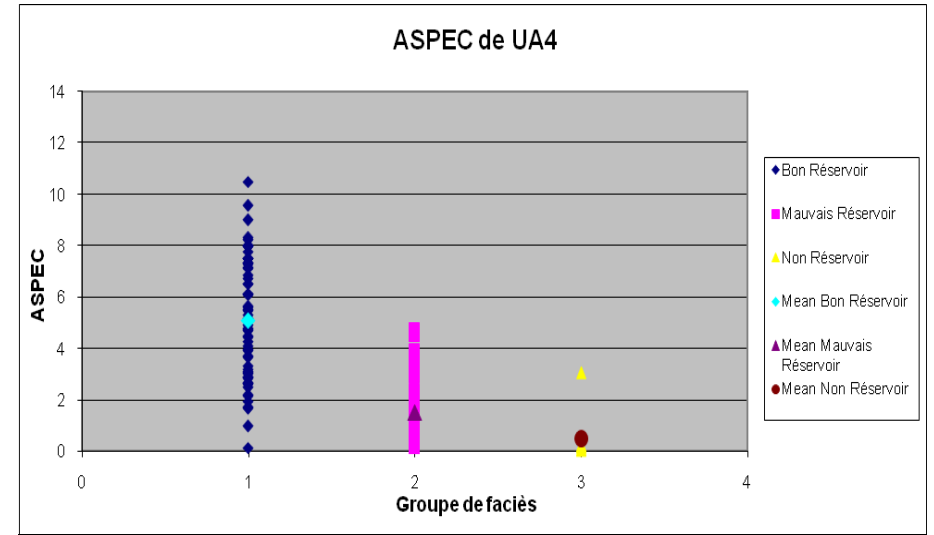
Puis on effectue un calcul des ASPEC minimal, maximal et moyen de chaque groupe.

Ensuite, nous avons établi des graphes ASPEC représentant les imprégnations des échantillons suivant le groupe, ainsi que la moyenne pour chaque groupe. (Figures 20 à 28)

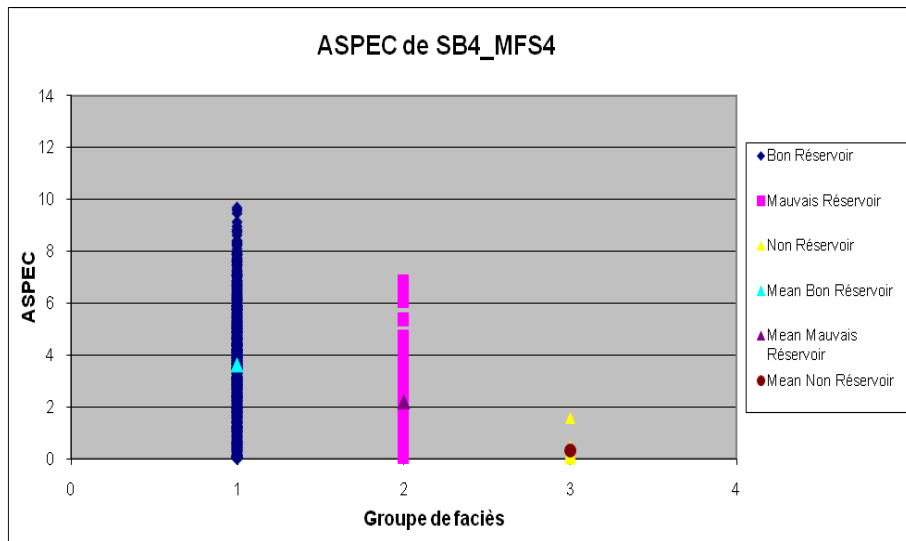




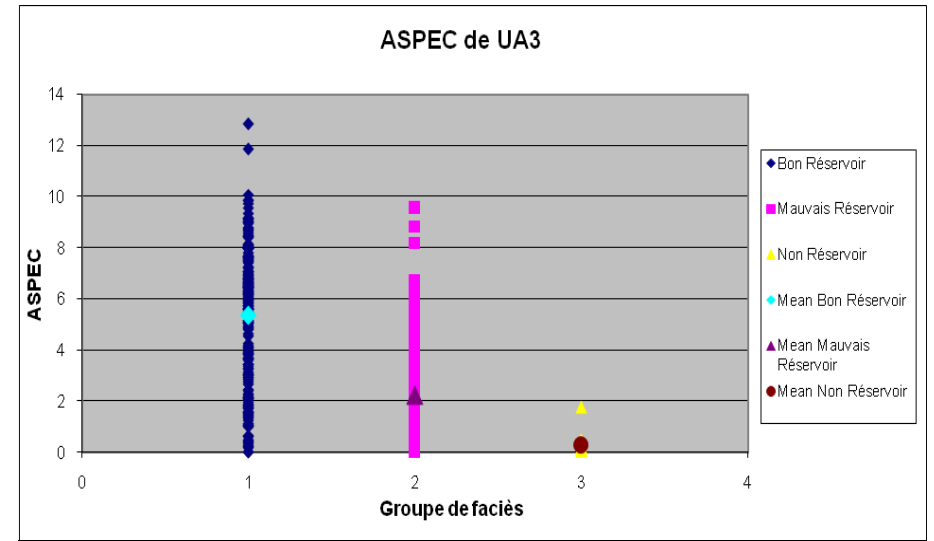
**Figure 20: Représentation des ASPEC de SB5 MFS5**



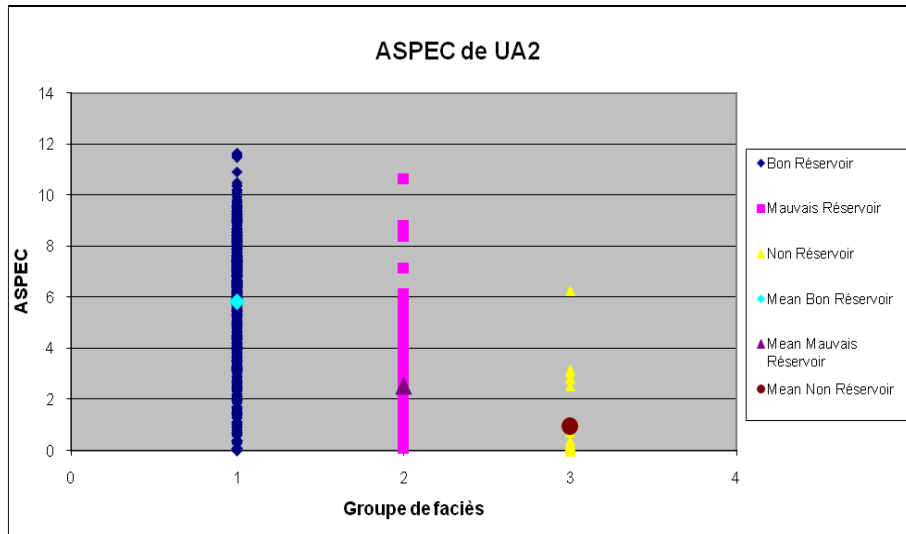
**Figure 22: Représentation des ASPEC de UA4**



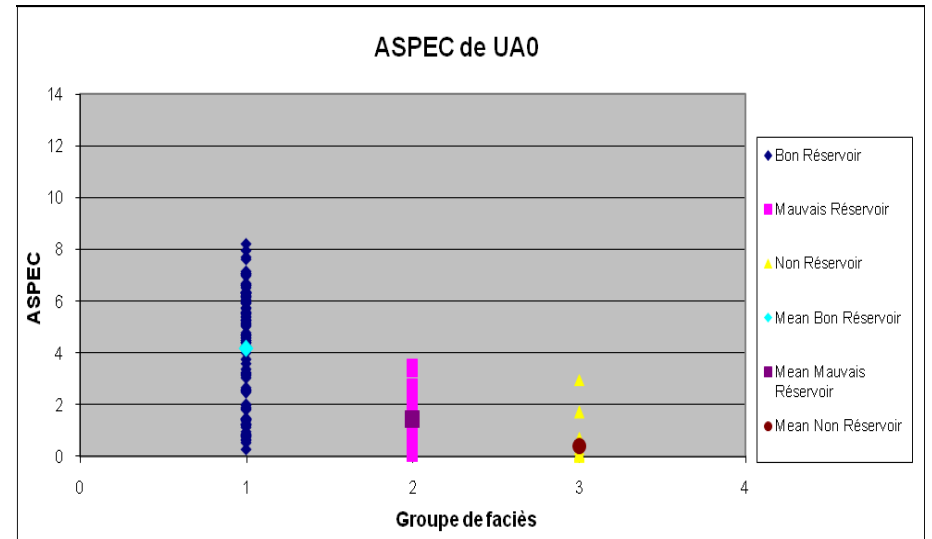
**Figure 21: Représentation des ASPEC de SB4 MFS4**



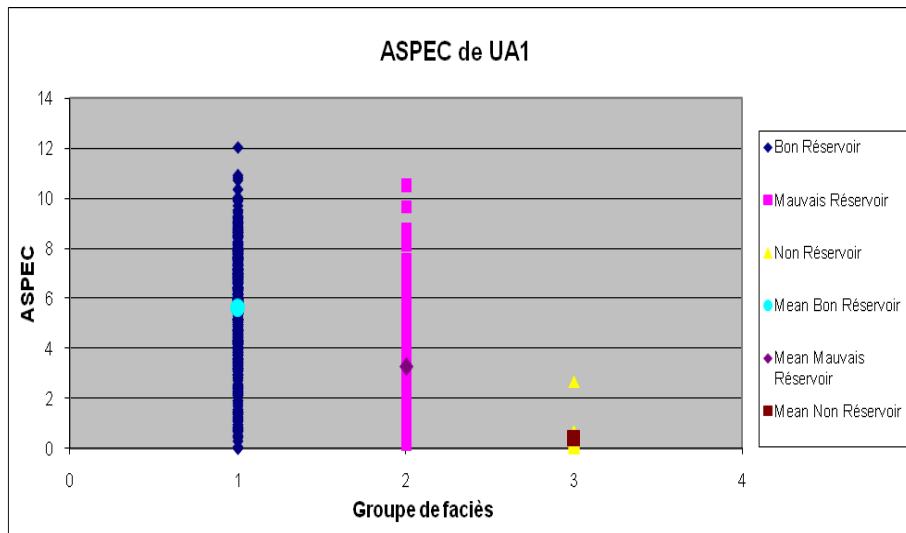
**Figure 23: Représentation des ASPEC de UA3**



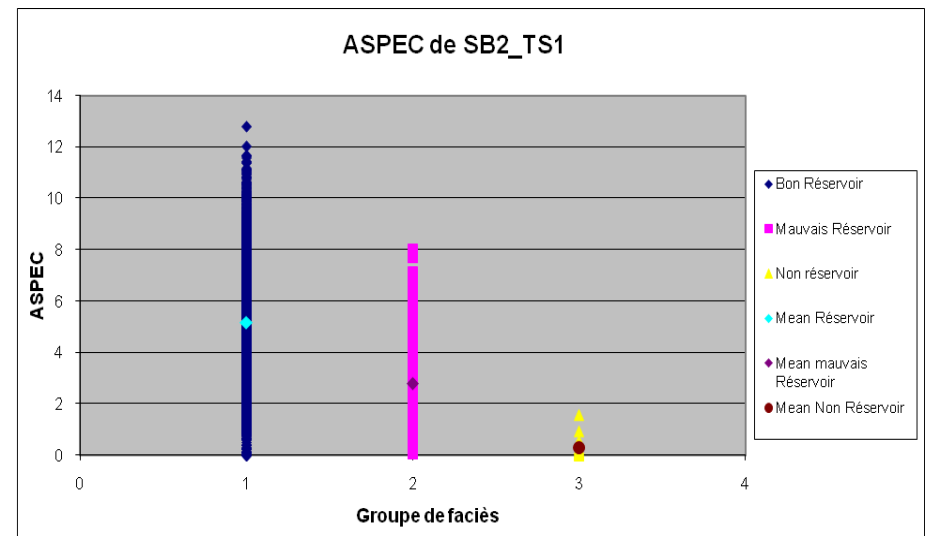
**Figure 24: Représentation des ASPEC de UA2**



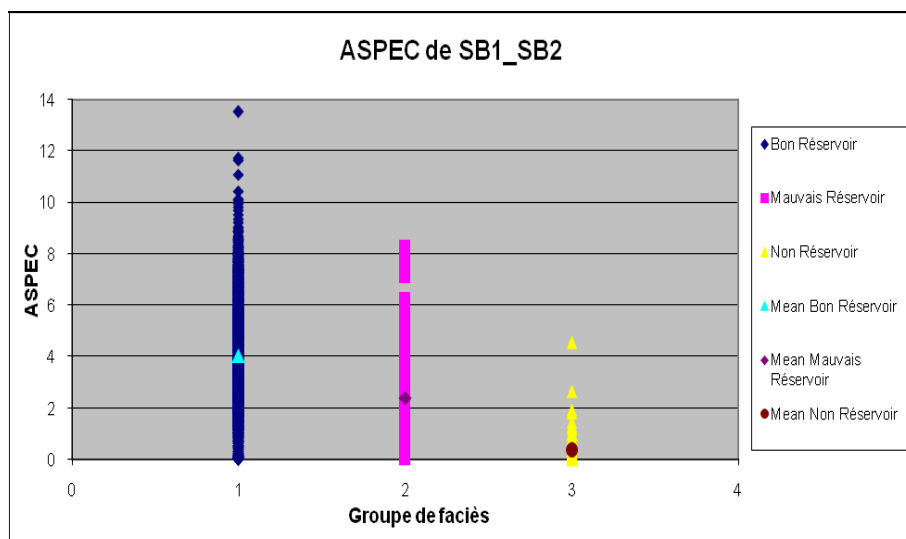
**Figure 26: Représentation des ASPEC de UA0**



**Figure 25: Représentation des ASPEC de UA1**



**Figure 27: Représentation des ASPEC de SB2 TS1**



**Figure 28: Représentation des ASPEC de SB1 SB2**

De tous les graphes des unités, nous pouvons noter les évidences suivantes :

- Les échantillons de Bon Réservoir ont une imprégnation moyenne nettement plus élevée que celle des échantillons de Mauvais Réservoir. L'imprégnation moyenne des Non Réservoirs NR est manifestement faible par rapport à celles des BR et MR.
- De même pour l'ASPEC maximal : les échantillons de Bon Réservoir BR ont une imprégnation maximum nettement plus élevée que celle des échantillons de Mauvais Réservoir MR. L'imprégnation maximum des Non Réservoirs NR est manifestement faible par rapport à celles des BR et MR.
- Par contre, l'ASPEC minimal des échantillons de Bon Réservoir n'est pas pour autant supérieur à celles des autres groupes.

Ces résultats se corrént au groupement de faciès établi : BR est mieux imprégné que MR. Toutefois, un faciès BR n'implique pas forcément une bonne imprégnation. La qualité du faciès n'est donc pas le seul facteur contrôlant l'imprégnation.

Nous pouvons voir aussi à travers ces graphes que l'UA2, l'UA1, l'UA3 et la SB2\_TS1 sont respectivement les unités les mieux imprégnées.

### I-6 Étude des particules fines et sa relation avec l'imprégnation

Pour cette étude, nous avons d'abord délimité les grains ayant des répercussions sur les caractères Bon Réservoir, Mauvais Réservoir ou Non réservoir, du moins sur l'imprégnation. Pour ce faire, nous avons classé les échantillons selon le regroupement, et les grains selon la classification granulométrique d'Udden-Wentworth (Tableau 5). Nous avons considéré les tailles des grains en « **micromètre** » ( $\mu\text{m}$ ).

**Tableau 5: Classification granulométrique d'Udden-Wentworth**

Millimeters (mm)	Micrometers ( $\mu\text{m}$ )	Phi ( $\phi$ )	Wentworth size class	Rock type
4096		-12.0	Boulder	Conglomerate/ Breccia
256		-8.0	Cobble	
64		-6.0	Pebble	
4		-2.0	Granule	
2.00		-1.0	Very coarse sand	
1.00		0.0	Coarse sand	Sandstone
1/2	0.50	1.0	Medium sand	
1/4	0.25	2.0	Fine sand	
1/8	0.125	3.0	Very fine sand	
1/16	0.0625	4.0	Coarse silt	
1/32	0.031	5.0	Medium silt	Siltstone
1/64	0.0156	6.0	Fine silt	
1/128	0.0078	7.0	Very fine silt	
1/256	0.0039	8.0	Clay	Claystone
	0.00006	14.0		

a) À chaque groupe, nous avons calculé le pourcentage moyen des classes granulométriques. (Voir Tableau 6)

**Tableau 6 : Pourcentage moyen de chaque classe pour chacun des groupes**

	Bon Réservoir	Mauvais Réservoir	Non Réservoir
Argile (%)	5,10	7,20	8,50
Silt (%)	31,19	42,54	44,98
Grès (%)	63,70	50,25	46,51
Gravier (%)	0,004	0,005	0

La classe des **argiles** dont la taille des grains varie de 0.06 à 3.9  $\mu\text{m}$  sont en moyenne de 5.10% dans les BR, de 7.20% dans les MR et de 8.50% dans les NR.

La classe des **silts** dont la taille des grains est comprise entre 3.9 et 63  $\mu\text{m}$  sont en moyenne de 31.19%, de 42.54% et de 44.98% respectivement dans les BR, MR et NR.

La classe des **grès** dont la taille des grains varie de 63 à 2000 µm sont en moyenne de 63.70% dans les BR, de 50.25% dans les MR et de 46.51% dans les NR.

Ces chiffres montrent que les pourcentages moyens des Argiles et Silts vont en croissant du Bon réservoir au Non réservoir en passant au Mauvais réservoir. Par contre, les pourcentages de grès diminuent progressivement dans ce sens. Nous pouvons donc dire que ce sont les *Argiles* et les *Silts* qui sont les particules pouvant faire abaisser ou non les imprégnations. Notons quand même, que l'écart de pourcentages d'Argiles entre groupe n'est pas très grand, la différence est surtout perçue au niveau du pourcentage de Silts.

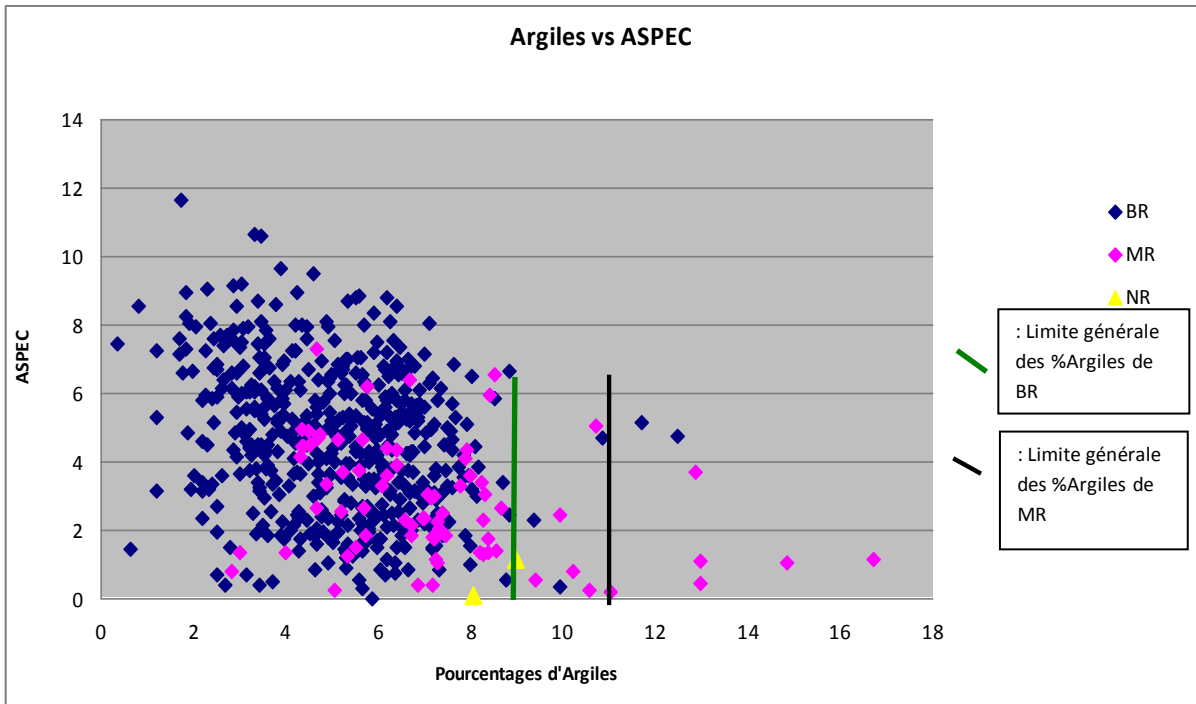
b) Nous avons ensuite défini les valeurs limites de ces particules pour chaque groupe. Les calculs qui vont suivre s'appliquent aux classes des Argiles et des Silts de chaque groupe. Premièrement, nous avons calculé le pourcentage d'une classe pour chaque échantillon. Ensuite, nous avons dénombré et calculé les pourcentages minimal, maximal et moyen d'une classe d'un groupe donné. **La valeur limite de cette classe pour ce groupe sera la somme de la moyenne et du maximal divisé par deux.** (Annexe F pour les détails de Calculs)

Nous avons ainsi obtenu les résultats ci-après (Tableau 7) :

**Tableau 7: Pourcentage limite des Argiles et Silts pour chaque groupe**

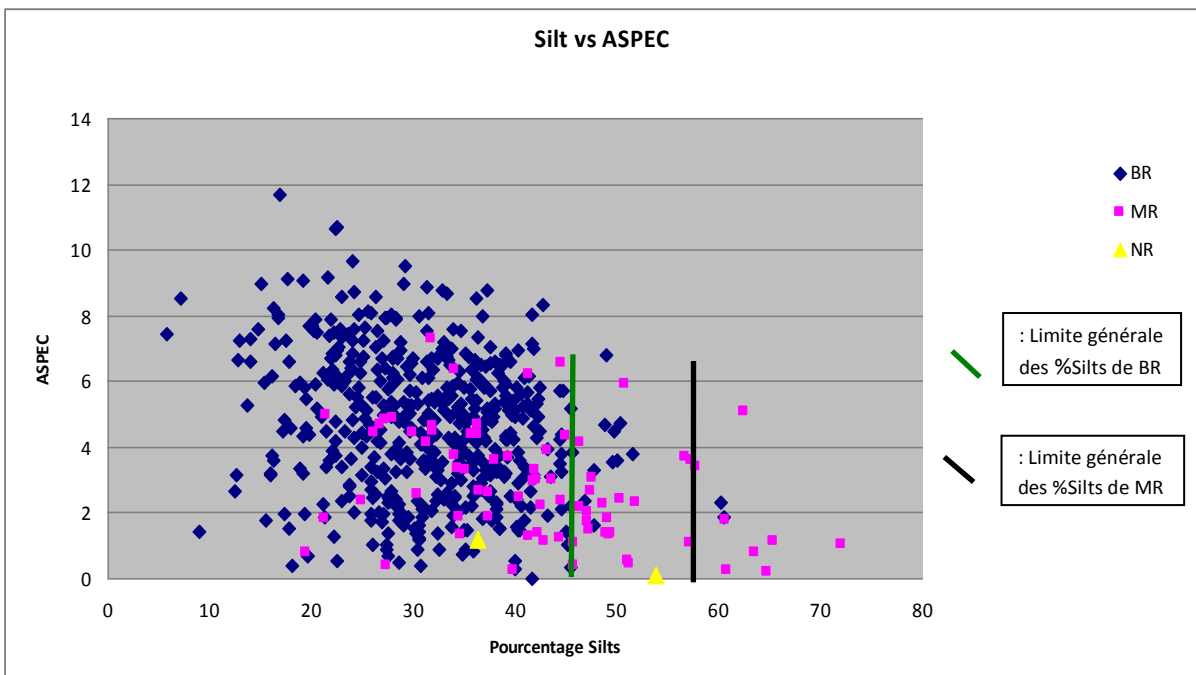
	Bon Réservoir	Mauvais Réservoir	Non Réservoir
Argile limite(%)	8,78	11,94	8,73
Silt limite(%)	44,61	56,70	49,34

Ces résultats peuvent aussi être discernés approximativement sur les graphes suivants (Figures 29 et 30), mais seulement pour les Bon et Mauvais réservoirs :



**Figure 29: Pourcentage d'Argiles pour chaque groupe et prédiction de leur limite**

Ainsi selon ce graphe (Figure 29), le pourcentage limite d'Argiles se situerait à 8.8% pour les Bons Réservoirs et à 11.1% pour les Mauvais Réservoirs.



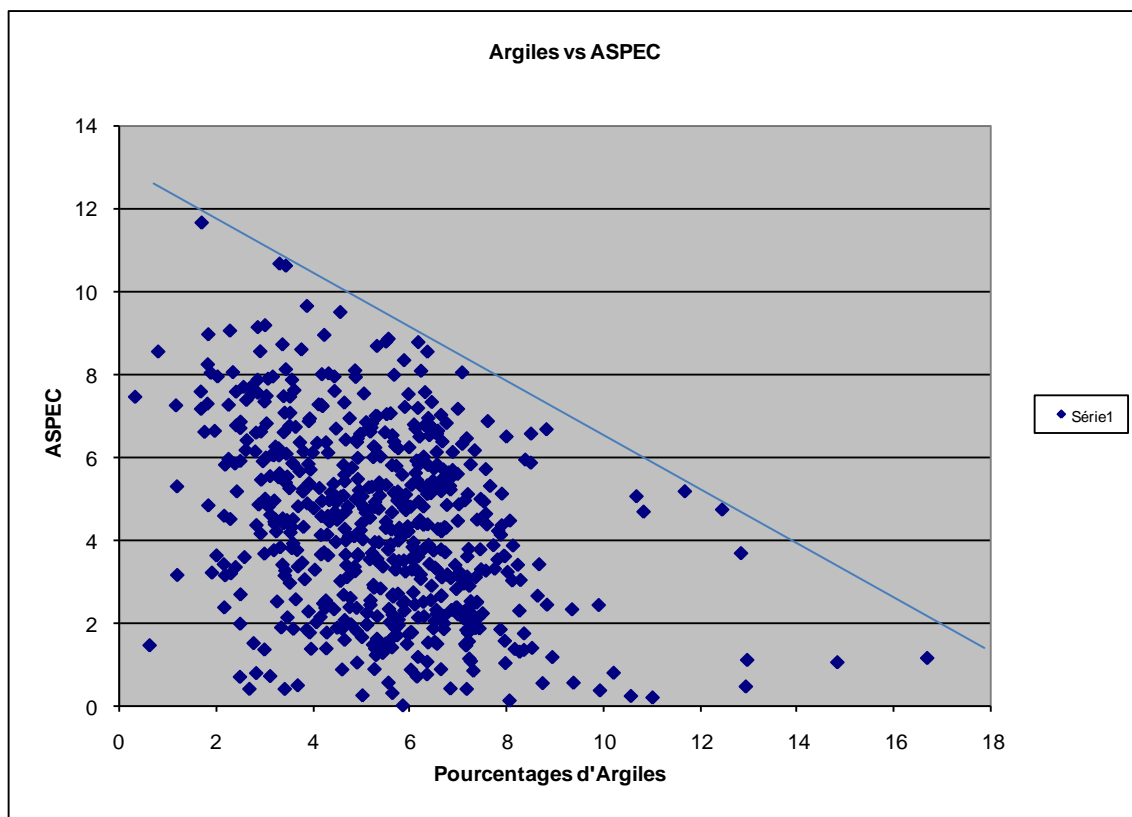
**Figure 30: Pourcentage de Silts pour chaque groupe et prédiction de leur limite**

Ce graphe de la figure 30 donne les pourcentages limites de silts de 45% et 57.5% pour les deux groupes BR et MR.

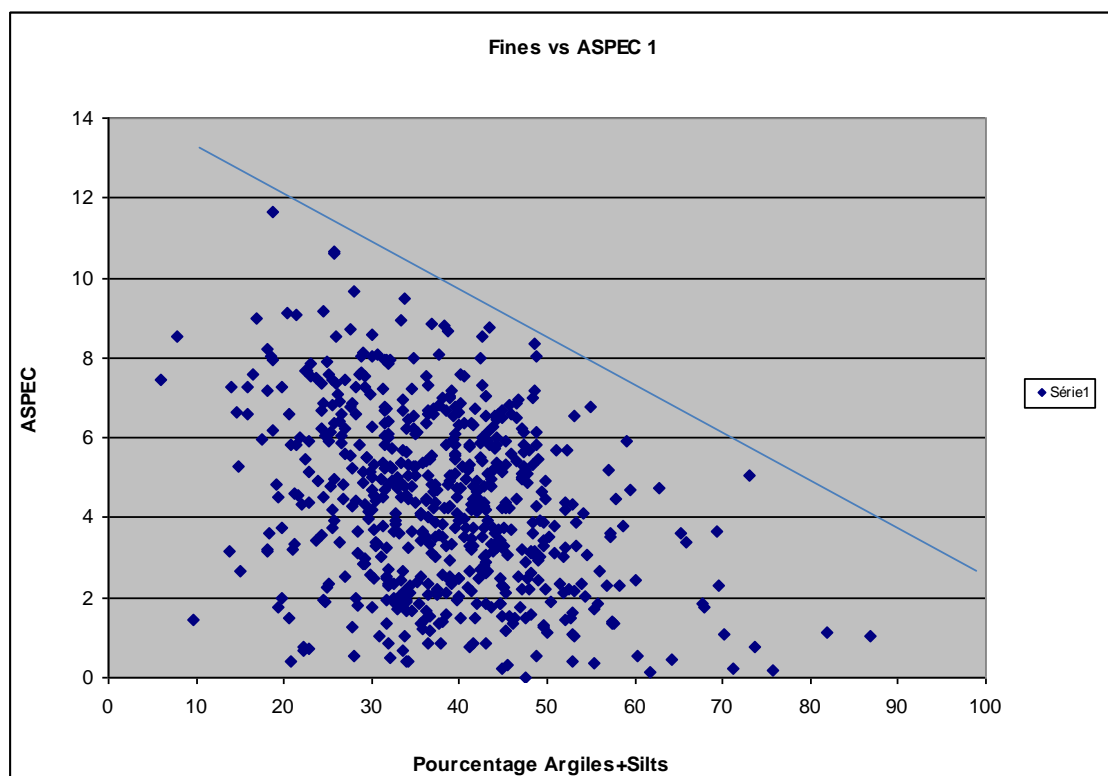
Pour les Non Réservoirs NR, les résultats laissent à désirer étant donné qu'il n'y que deux échantillons pour ce groupe. En effet, compte tenu que ce sont des faciès argilo-silteux, ce groupe devrait avoir des pourcentages d'Argiles et Silts supérieurs à ceux des autres groupes. Alors que ce n'est pas le cas ici : le groupe Non Réservoir a un pourcentage de fines (argiles et Silts) plus faibles que celui du groupe Mauvais Réservoir.

Par ailleurs, les figures 29 et 30 montrent une légère dispersion des valeurs pour le cas des Mauvais réservoirs.

c) Enfin, nous avons étudié la relation qui existe entre les granulométries fines (Argiles et Silts) et l'imprégnation (ASPEC). Ainsi, nous avons établi des graphes Fines vs ASPEC sur les figures 31 et 32.



**Figure 31: Relation pourcentage d'Argiles-Imprégnation**



**Figure 32: Relation Pourcentage de Fines (Argiles+Silts)-Imprégnation**

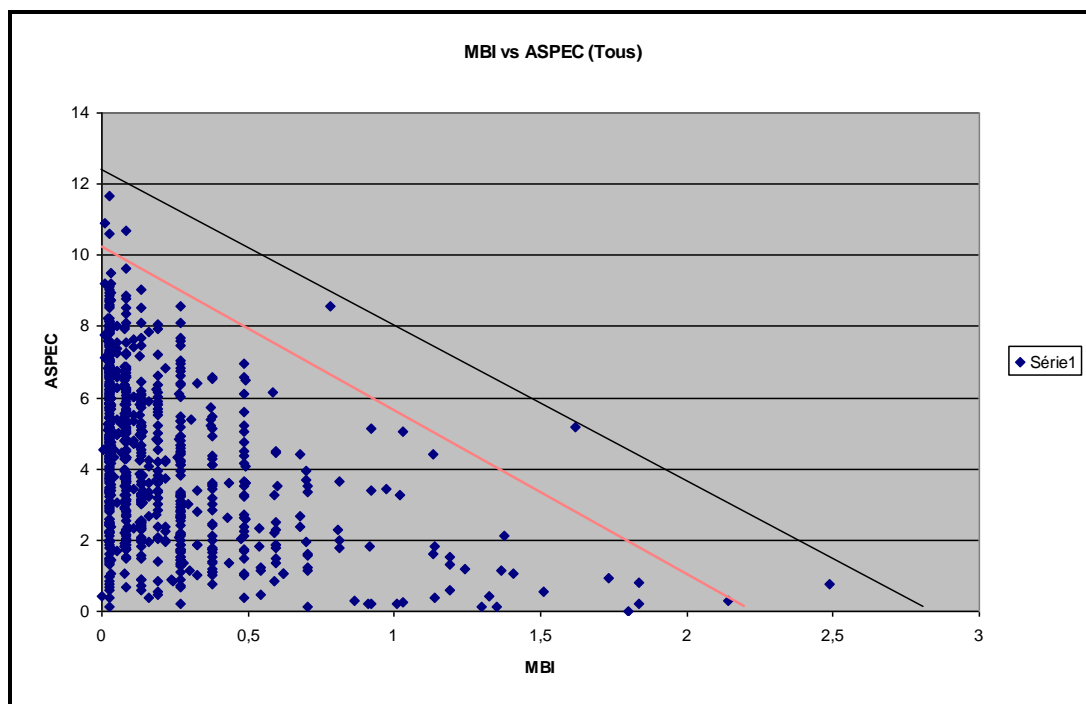
L'observation de la tendance des nuages des points a permis le tracé, sur chacun des graphes des figures 31 et 32, d'une *droite limite maximale*. Cette droite a permis de donner la valeur d'ASPEC plafond pour un pourcentage de fines donné. (Tableau 8)

**Tableau 8: Valeur d'imprégnation maximum pour un pourcentage de Fines donné**

Pourcentage des Argiles (%)	ASPEC Max (% poids)	Pourcentage des Argiles+Silts (%)	ASPEC Max (% poids)
2	11,72	10	13,37
4	10,5	20	12,19
6	9,1	30	10,87
8	7,79	40	9,61
10	6,74	50	8,43
12	5,42	60	7,03
14	3,94	70	5,5
16	2,71	80	4,46
		90	3,06

Nous avons aussi établi un graphe MBI vs ASPEC sur la figure 33 pour déterminer la relation entre eux sachant que le MBI représente le taux d'argilosité (dans un sens large désigne les granulométries fines).





**Figure 33: Relation MBI-ASPEC**

Comme auparavant, nous pouvons aussi tracer une *droite limite maximale* permettant de déterminer la valeur ASPEC maximale pour une quantité de fines donnée. Mais en plus, nous avons aussi une *droite limite générale*. C'est à partir de cette seconde droite que nous avons déduit la valeur d'ASPEC maximale pour un MBI donné. (Tableau 9)

**Tableau 9 : Valeur d'imprégnation maximale pour une valeur de MBI donnée**

MBI (g / 100g)	ASPEC Max (% poids)
0,5	7,93
1	5,6
1,5	3,32
2	1,11

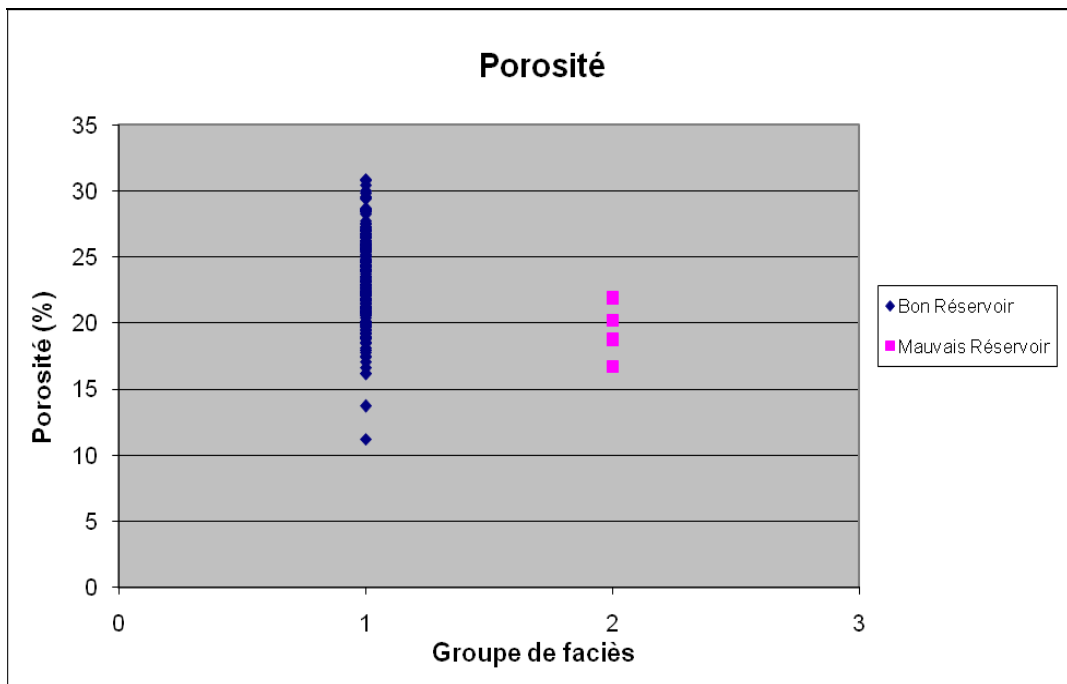
D'après les trois figures 31, 32, 33, nous pouvons ainsi définir la relation qui existe entre les Fines (autant des Argiles seuls que des Silts et Argiles ensemble) et l'imprégnation comme suit : *plus le pourcentage des fines est grand, plus l'imprégnation sera médiocre. Tout de même, un échantillon ou niveau à un pourcentage faible de granulations fines ne peut pas toujours avoir une forte imprégnation.*

## II- Étude de Porosité et de Perméabilité

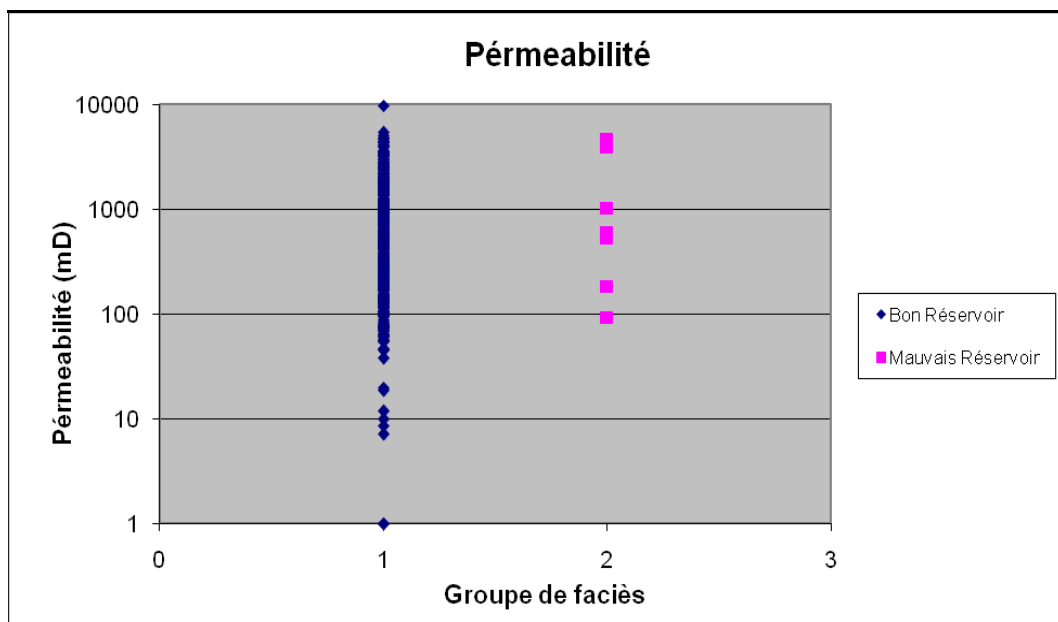
Cette étude nous permettra de caractériser les groupes, de prime abord, mais aussi des formations en termes de porosité et de perméabilité.

Nous avons attribué d'abord à chaque échantillon le groupe qui lui correspond (selon le regroupement de faciès).

En premier lieu, nous avons dressé deux graphes (Figures 34 et 35) où les porosités et les perméabilités sont représentées suivant les groupes.



**Figure 34: Représentation des Porosités**

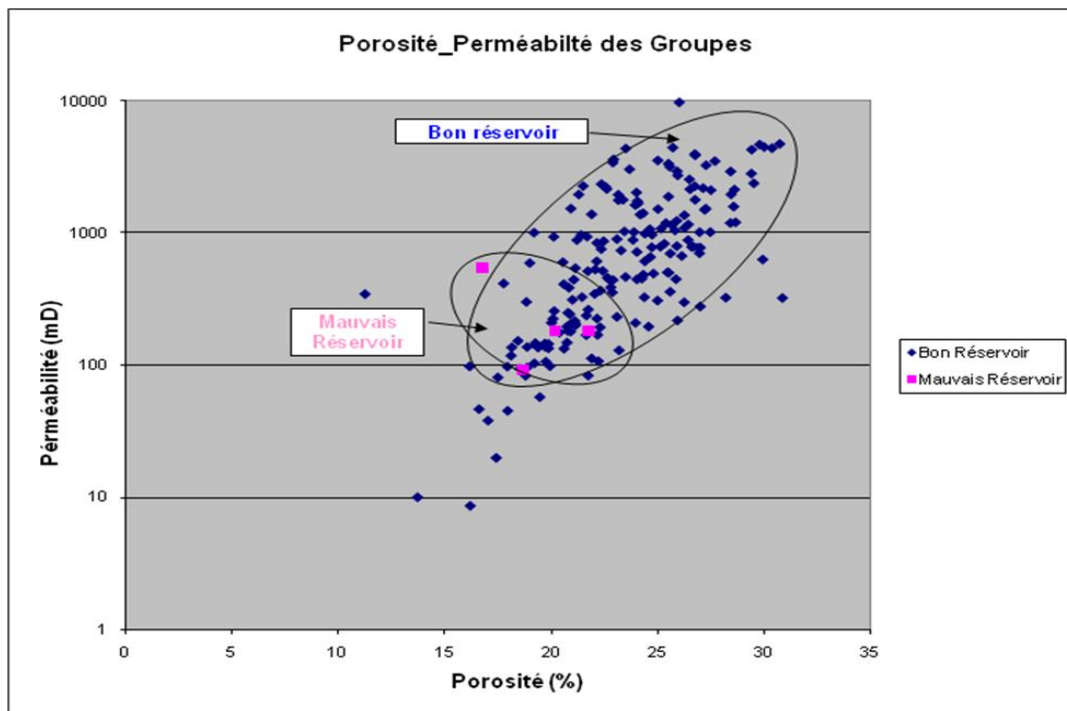


**Figure 35: Représentation des Perméabilités**

Le graphe Porosité de la figure 34 montre que les échantillons de Bon Réservoir BR ont une bonne porosité, d'une manière générale, par rapport à celle des échantillons de Mauvais Réservoir MR. Mais ce n'est pas le cas pour deux échantillons du groupe BR.

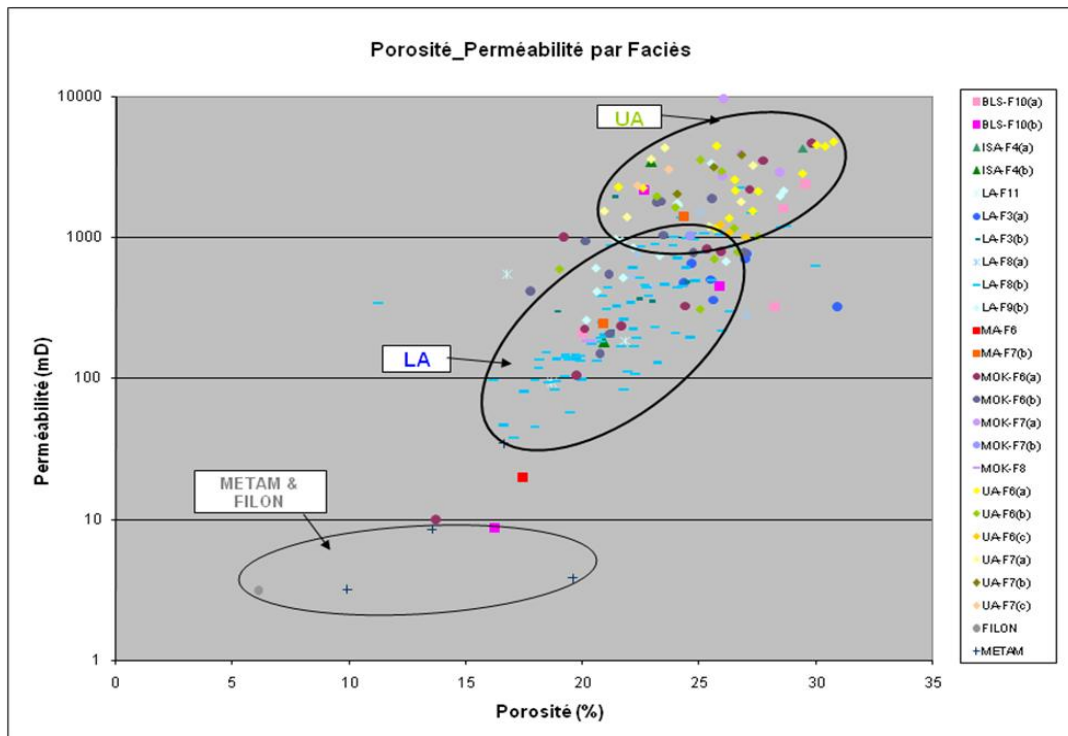
La figure 35 nous fait voir que les perméabilités du groupe BR varient entre **9** et **4700mD**. Celles du groupe MR s'échelonnent entre les valeurs **90** et **4600mD**. Ces résultats pourraient être affinés et précisés s'il existait beaucoup plus d'échantillons pour le groupe Mauvais Réservoir. En plus, les perméabilités des échantillons de Mauvais Réservoir sont dispersées.

En second lieu, nous avons établi deux graphes Porosité\_Perméabilité. Nous n'avons pris que les échantillons qui ont à la fois des mesures de porosité et de perméabilité. Le premier graphe (Figure 36) met en évidence les groupes quand le second (Figure 37) a permis de différencier certaines formations si nous avons essayé de mettre en évidence les faciès.



**Figure 36: Représentation des Porosités et Perméabilités des groupes de faciès**

Le graphe de la figure 36 permet de voir que les **Bon Réservoirs** ont des porosités qui s'échelonnent entre **16** à **31%** avec une perméabilité comprise entre **80** et **4700mD**. Par contre, nous ne pouvons rien dire pour les Mauvais Réservoirs car il n'y a que quatre échantillons et les points sont clairsemés.



**Figure 37: Représentation des Porosités et Perméabilités des faciès**

La figure 37 permet de caractériser les formations de l’Amboloando Supérieur (UA) et Inférieure (LA) en termes de porosité et de perméabilité :

- L’**Amboloando Supérieur (UA)** a des porosités qui se rangent entre **21 et 30%** et des perméabilités entre **1000 et 4700mD**.
- Tandis que l’**Amboloando Inférieur (LA)** présente des porosités de **16 à 26%** avec des perméabilités entre **38 et 1000mD**.

En outre, nous pouvons noter que les filons et les faciès métamorphiques ont des perméabilités très faibles (<10mD) et des porosités très étalées.

### **III-Étude de variation d'imprégnation dans l'Amboloando Inférieur**

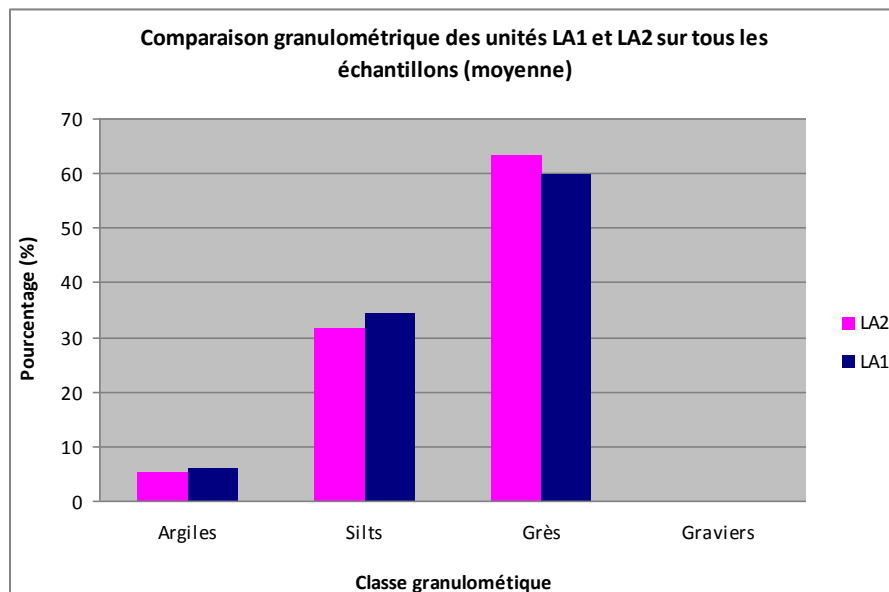
Étant donné que l'Amboloando Inférieure constitue plus de 60% des réservoirs de Bitumes des grès de Bemolanga, il a été jugé intéressant d'entreprendre une étude plus poussée sur les variations d'imprégnation de ce niveau en appliquant les résultats précédents.

#### **III-1 La variation stratigraphique d'imprégnation**

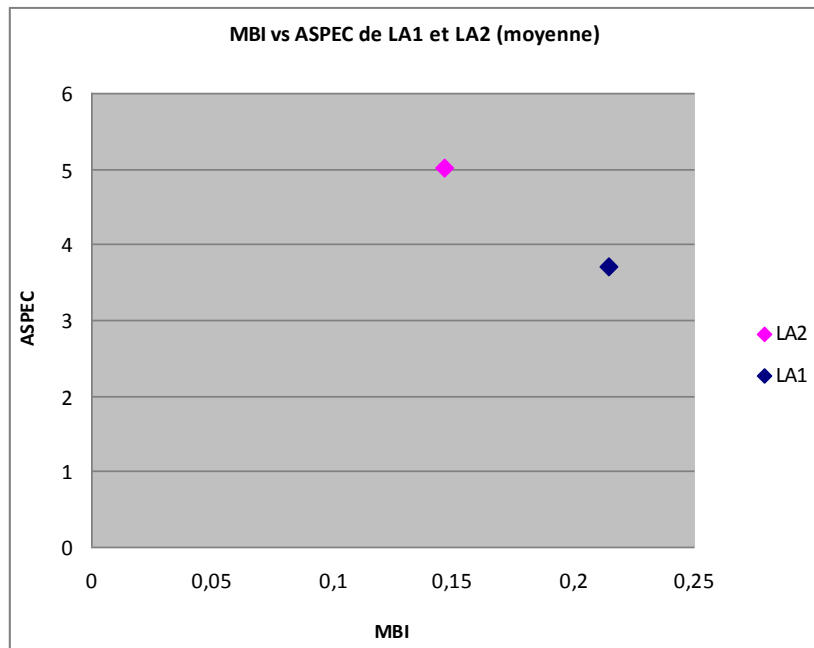
Cette étude consiste à déceler les différences entre les deux unités de l'Amboloando Inférieur en termes d'imprégnation, de granulométrie, d'argilosité et même de porosité et de perméabilité. Ces deux unités sont SB1\_SB2 nommée LA1 et SB2\_TS1 nommée LA2. (Figure 5)

Pour ce faire nous avons procédé à une étude comparative des paramètres cités ci-dessus (imprégnation, granulométrie, taux d'argilosité, porosité et perméabilité) pour les deux unités, d'abord au niveau d'un puits ensuite à l'échelle globale sur tous les échantillons qui ont des résultats de LPSA, ASPEC, MBI en même temps. Que ce soit à l'échelle d'un puits ou à l'échelle globale, les étapes de l'étude restent identiques. Seulement pour le premier cas, les échantillons pris sont ceux du groupe BR tandis que pour l'autre, nous avons pris tous les échantillons disponibles sans tenir compte du groupe correspondant.

Après avoir calculé le pourcentage moyen de chaque classe granulométrique ainsi que ceux des ASPEC et MBI de chaque unité, nous avons effectué une comparaison de ces valeurs sur des graphes (Figures 38 et 39).



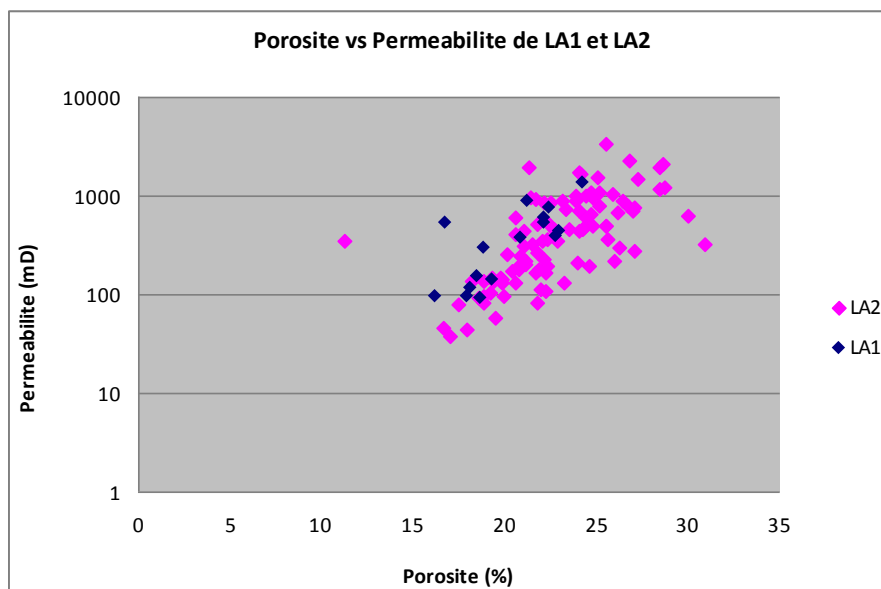
**Figure 38: Comparaison granulométrique de LA1 et LA2**



**Figure 39: Comparaison des MBI et ASPEC de LA1 et LA2**

Les comparaisons à l'échelle d'un puits sont présentées dans l'Annexe G.

Nous avons fait de même avec les porosités et perméabilités, mais cette fois-ci nous n'avons pas calculé la moyenne. Nous avons mis sur le graphe de la figure 40 toutes les valeurs disponibles sur les deux unités.



**Figure 40: Comparaison des Porosités et Perméabilités de LA1 et de LA2**

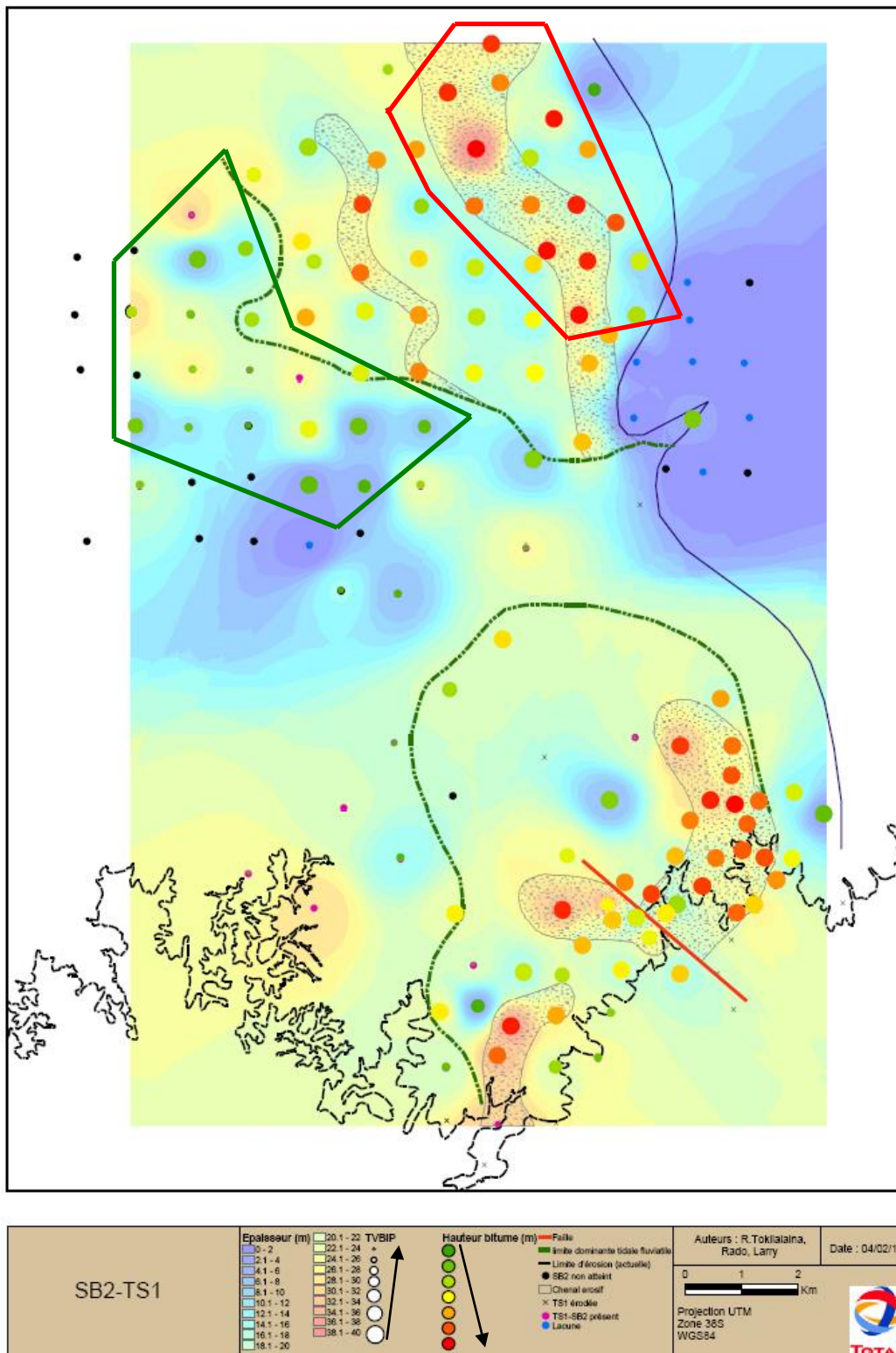
A partir des deux premier graphes de comparaison (Figure 38, 39) nous pouvons dire que *LA2 est en général mieux imprégnée que LA1 avec beaucoup plus de Grès propres alors que LA renferme plus de particules fines (Argiles et Silts)*. Ce résultat confirme encore la relation générale entre Fines et ASPEC.

Du point de vue porosité et perméabilité, la figure 40 ne dévoile *aucune différence notable entre les deux unités*. De plus, il y a peu d'échantillons pour LA1 alors nous ne pouvons pas tirer de résultat concluant.

Les mêmes résultats ressortent aussi des comparaisons à l'échelle d'un puits. (*Annexe G*)







Zone Est bien imprégnée

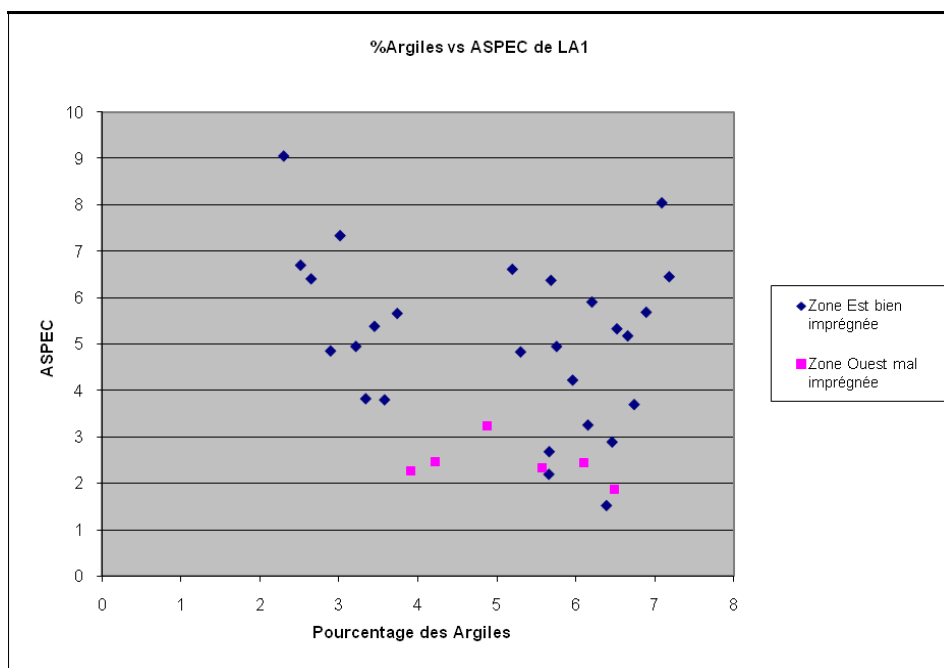
Zone Ouest mal imprégnée

**Figure 42: Carte d'imprégnation de LA2 montrant les zones de contraste**

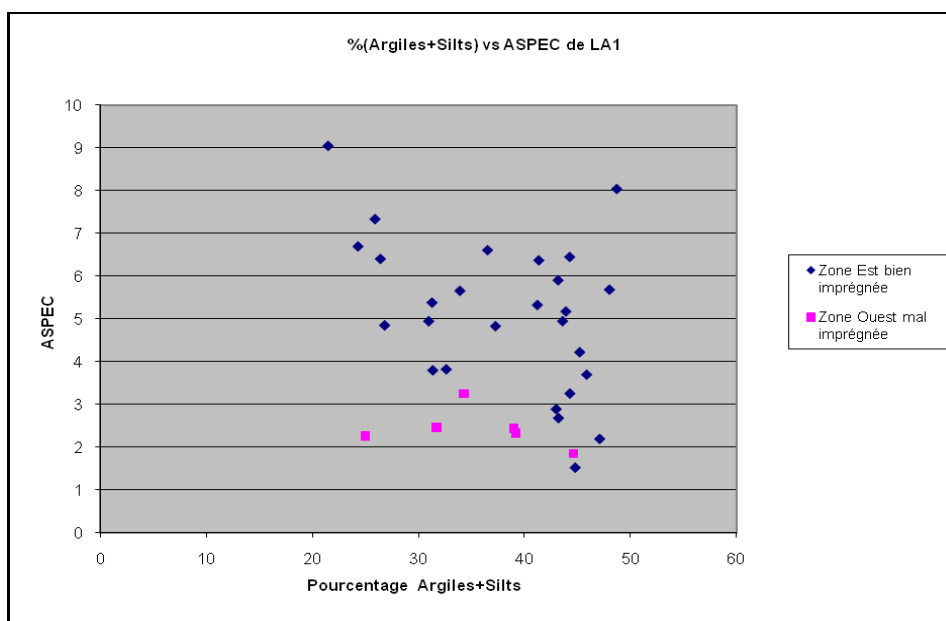
L'étude de variation latérale de LA1 et LA2 a été effectuée individuellement du fait que les deux unités sont déjà différentes comme montré précédemment (pages 59 à 61).

Cette étude s'est en effet faite par comparaison des granulométries notamment des particules fines puis des MBI des deux zones. Celle-ci est représentée sur des graphes Fines vs ASPEC et MBI vs ASPEC. (Figures 43, 44, 45)

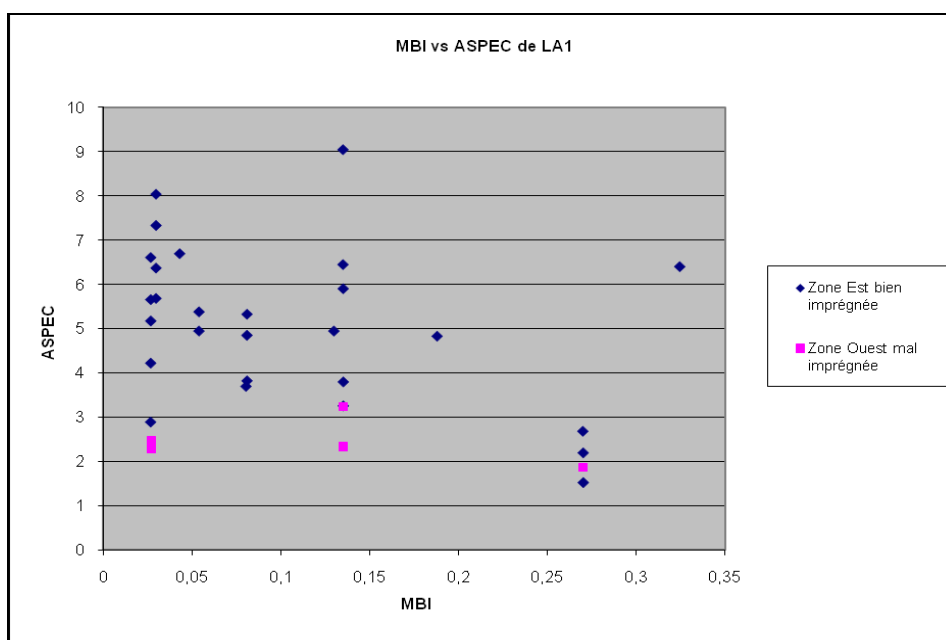
Les comparaisons ont été réalisées sur des échantillons appartenant au groupe BR des deux zones sur des puits matérialisant bien les contrastes d'imprégnation.



**Figure 43: Comparaison des pourcentages d'Argiles et des ASPEC des deux zones au niveau de LA1**



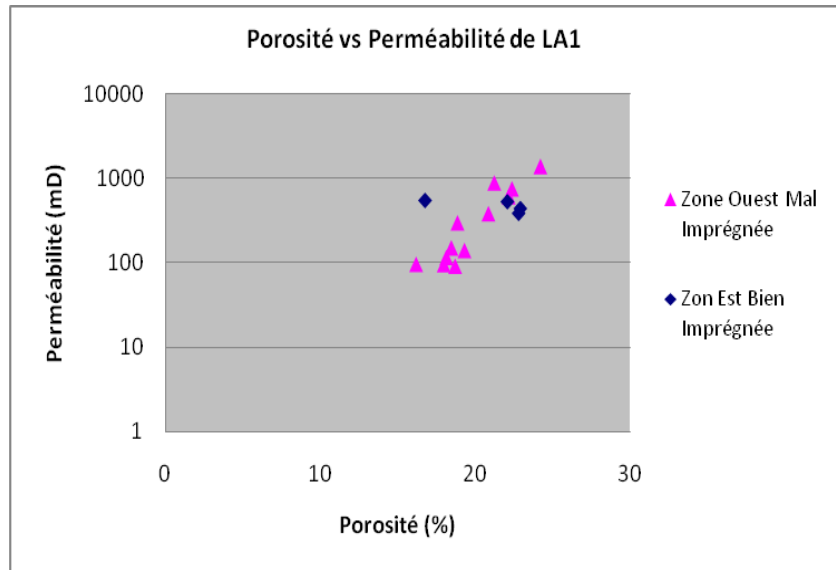
**Figure 44: Comparaison des pourcentages des (Argiles+Silts) et des ASPEC des deux zones au niveau de LA1**



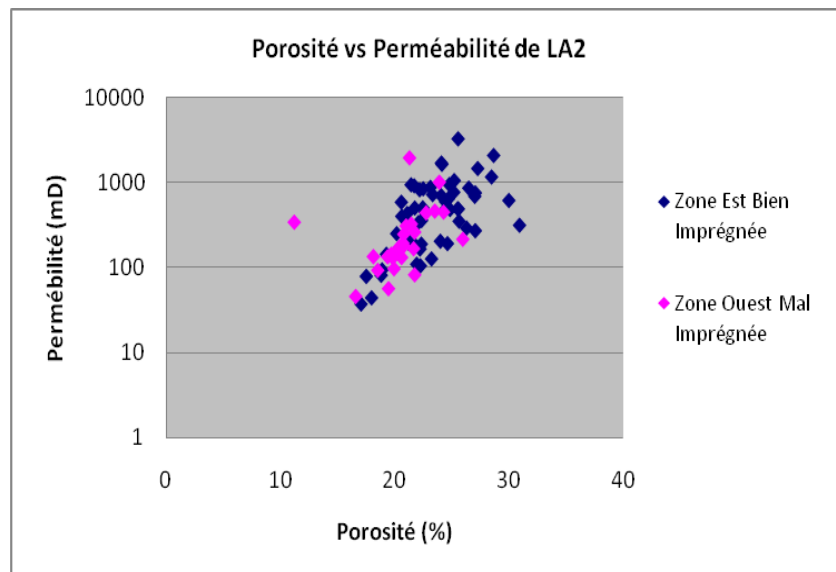
**Figure 45: Comparaison des MBI et des ASPEC des deux zones au niveau de LA1**

Les graphes des trois figures 43, 44, 45 ne démontrent aucune variation nette, concrète et claire entre les deux zones tant au niveau granulométrie qu'au niveau taux d'argilosité. Ceci pour les deux unités LA1 et LA2 (Voir Annexe H pour les comparaisons au niveau de LA2). Toutefois, ces graphes mettent en évidence et confirme la différence d'imprégnation entre la zone Ouest et la zone Est.

Aussi, nous avons procédé à une comparaison des porosités et perméabilités des deux zones, toujours à travers des graphes.



**Figure 46: Comparaison des Porosités et Perméabilités des deux zones au niveau de LA1**



**Figure 47: Comparaison des Porosités et Perméabilités des deux zones au niveau de LA2**

Pour LA1, le graphe (*Figure 46*) ne montre pas de contraste de porosité ou de perméabilité entre les zones Est et Ouest. La Figure 47 montre que les porosités et les perméabilités des deux zones au niveau de LA2 sont à peu près identiques (les nuages de points se superposent). Les deux zones ne relèvent donc pas de différences pour ce qui est de la porosité et de la perméabilité.

# PARTIE III: DISCUSSION ET SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

## Partie III : Discussion et Synthèse des résultats

### **I- Discussion des résultats**

#### I-1 Explication des origines des « valeurs anomaliques »

Dans le paragraphe où nous avons calculé la limite entre les MBI des BR et ceux des MR (§I-4 de la Partie II), nous avons pu constater que malgré cette limite, certains échantillons ne la respectent pas.

Cette anomalie peut être soit :

- un MBI > 0.4 alors que l'échantillon a un faciès de Bon Réservoir BR,
- un MBI < 0.4 alors que l'échantillon a un faciès de Mauvais Réservoir MR,
- un ASPEC faible alors que l'échantillon est un échantillon de Bon Réservoir BR.

Nous avons essayé de rechercher la ou les causes de cette anomalie.

Pour ce faire, nous avons recouru aux photos de carottes. En ce faisant, nous avons essayé d'identifier, au niveau où se situe les échantillons présentant les valeurs anomaliques, les facteurs ou paramètres susceptibles d'en être les causes.

A l'issu, nous avons pu mettre en évidence les explications suivantes, suivant le type d'anomalie :

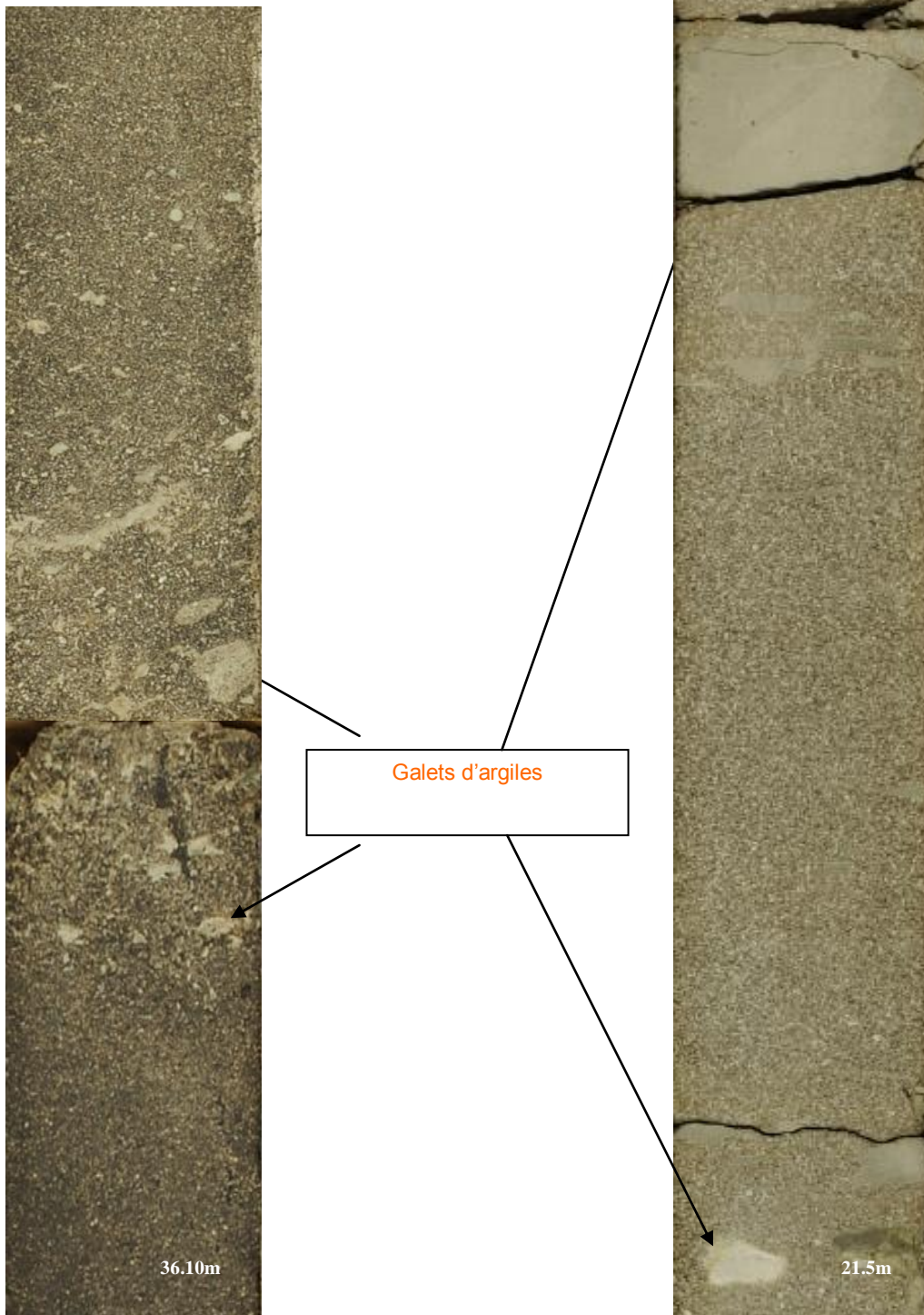
#### Anomalie 1 : MBI>0,4 pour des échantillons de Bon réservoir

Ce type d'anomalie peut être dû à :

- ▶ La présence de **galets argileux** soit en grand nombre mais de taille millimétrique à centimétrique soit en petit nombre mais de grande taille (centimétrique à pluricentimétrique) occupant même la largeur de la carotte (Photo 1).

MA-F7 (a)

MOK-F6 (a)



**Photo 1: Carottes montrant la présence de galets argileux**

- La présence de « **debris flow** » contenant beaucoup de particules d'argiles ou de silts et parfois des galets d'argiles (Photo 2).

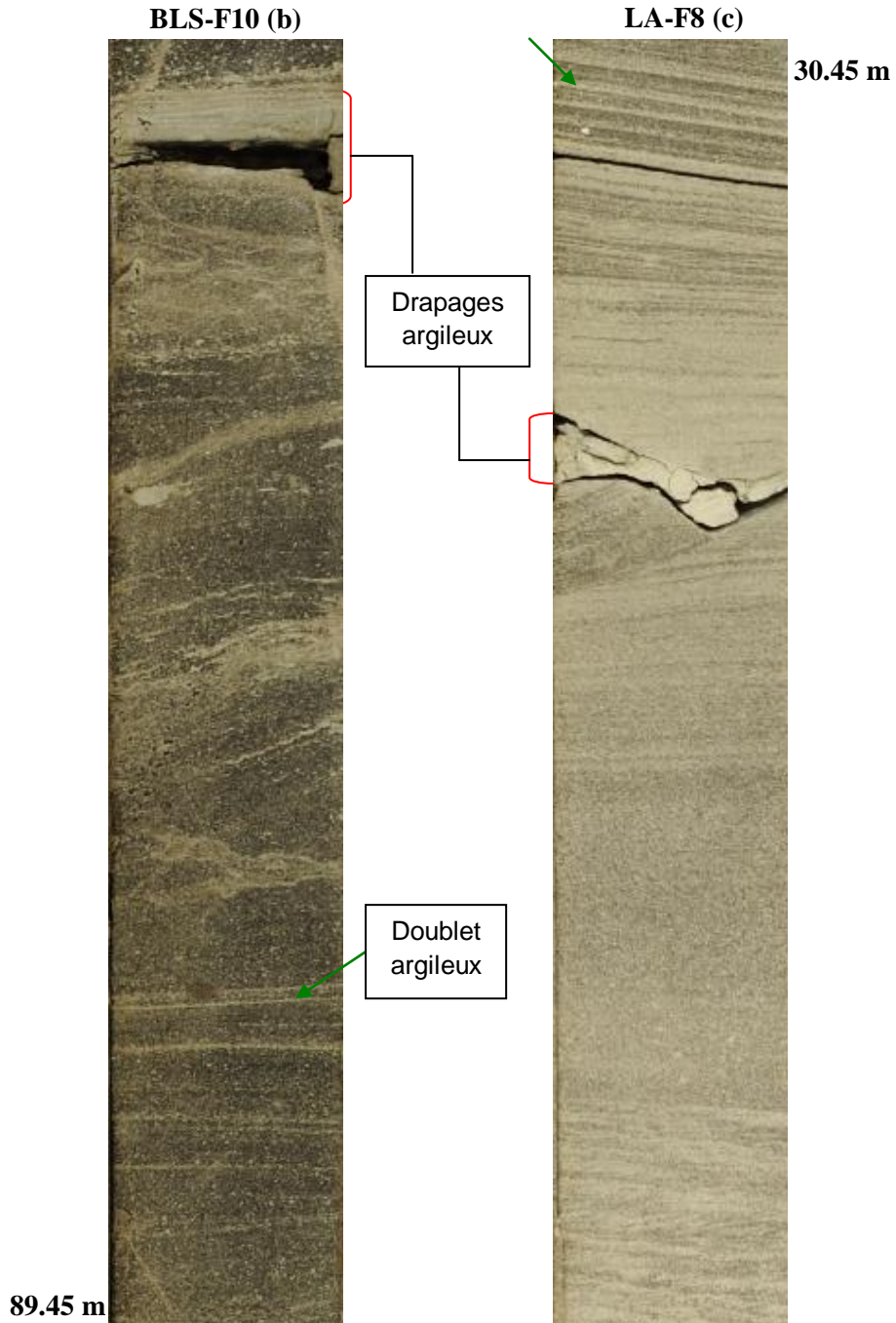
**UA-F6 (b)**



**Photo 2: Carotte présentant de « debris flow »**



- La présence de **doublets argileux** en très grand nombre et repartis sur toute la longueur de l'échantillon de carotte (Photo 3)
- La présence de **drapages argileux** (centimétrique pour les cas observés sur la Photo 3)
- La présence de *l'ensemble de deux ou plusieurs de ceux-ci* (Photo 3)



**Photo 3: Carottes à doublets et drapages argileux**

- Le fait que le niveau est un **grès argileux** ou d'**argiles sableuses** (Photo 4).

MA-F7 (a)

63 m



C'est une **argile sableuse** bioturbée.

63.60 m

**Photo 4: Carotte à niveau d'argile sableuse**

Anomalie 2 : ASPEC faible pour des échantillons à faciès Bon réservoir

- La présence de **cimentations carbonatées** ou **siliceuses** en est une cause courante (Photo 5).



Photo 5: Carottes de grès à niveau blanchâtre cimenté par des éléments carbonatés

- ▶ La présence de **nodules carbonatés** aussi en est une autre (Photo 6). Les nodules carbonatés agissent comme les cimentations carbonatées.

**LA-F8 (c)**



Grès fins à **nodule carbonaté**, à imprégnation très faible et nulle au niveau du nodule.

**Photo 6: Carotte de grès à nodule carbonaté**

- ▶ La présence **d'argiles** sous n'importe quelle forme (galet, drapage, doublet, matrice) peut aussi faire chuter l'imprégnation. (Photos 1, 2, 3)

Anomalie 3 : MBI<0,4 pour des échantillons à faciès de Mauvais réservoir:

Ce type d'anomalie se voit quand :

- ▶ Le niveau est une **argile sableuse** ou un **hétérolithique sableux**.

**MA-F4**



C'est de l'**hétérolithique sableux**.

L'abondance de particules sableuses fait chuter le MBI.

**Photo 7: Carotte d'hétérolithique sableux**

- Le niveau est un **Grès moyen à grossier** (Photo 8).

**LA-F11**



C'est du grès (moyen à grossier) avec des galets d'argile (millimétrique à centimétrique). **Le fait que ça soit un grès entraîne un rabaissement du MBI.** En fait, c'est un faciès intermédiaire avec LA-F8(a) car il ne présente que peu de galets argileux.

**Photo 8 : Carotte de grès avec des petits galets**

- ▶ Les *galets d'argiles* dans les conglomérats sont **carbonatés** (Photo 9).

**LA-F10**



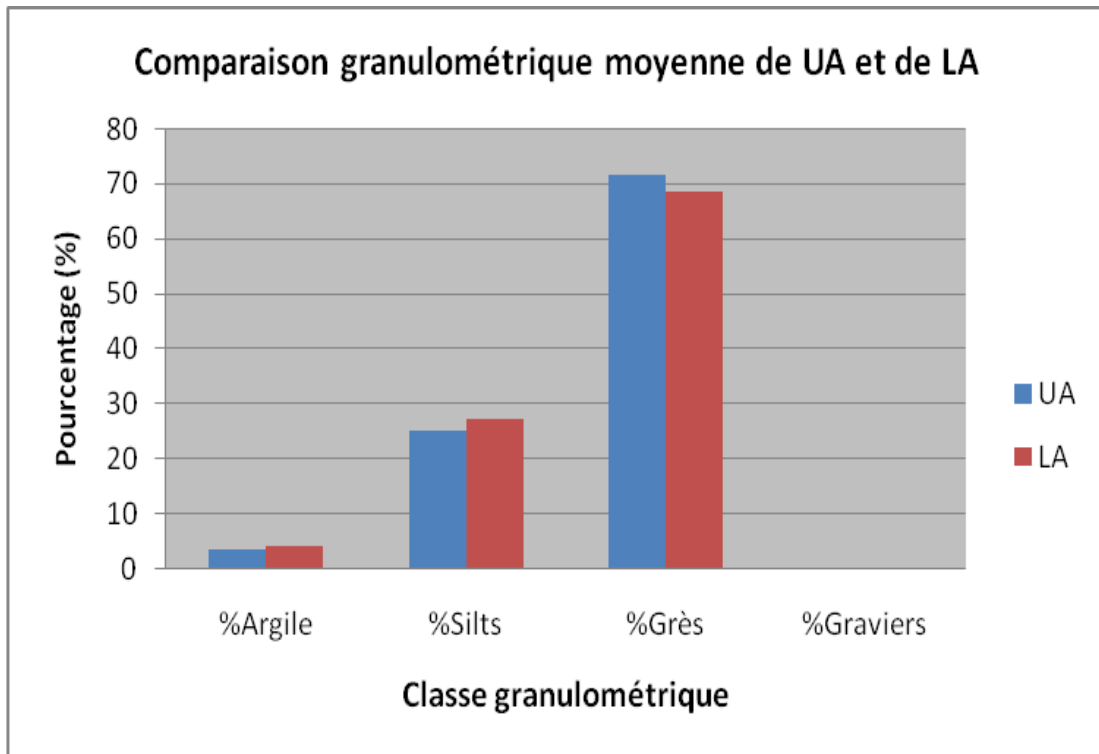
Conglomérat à matrice sableuse et galets argileux importants de taille hétérométriques pouvant être **carbonatés leur donnant un aspect plus dur et une couleur plus blanc gris que verdâtre.** (à vérifier sur carotte au Labo).

**Photo 9 : Carotte de grès à gros galets d'argiles**

I-2 Causes des différences d'imprégnation entre l'Amboloando Inférieur et l'Amboloando Supérieur

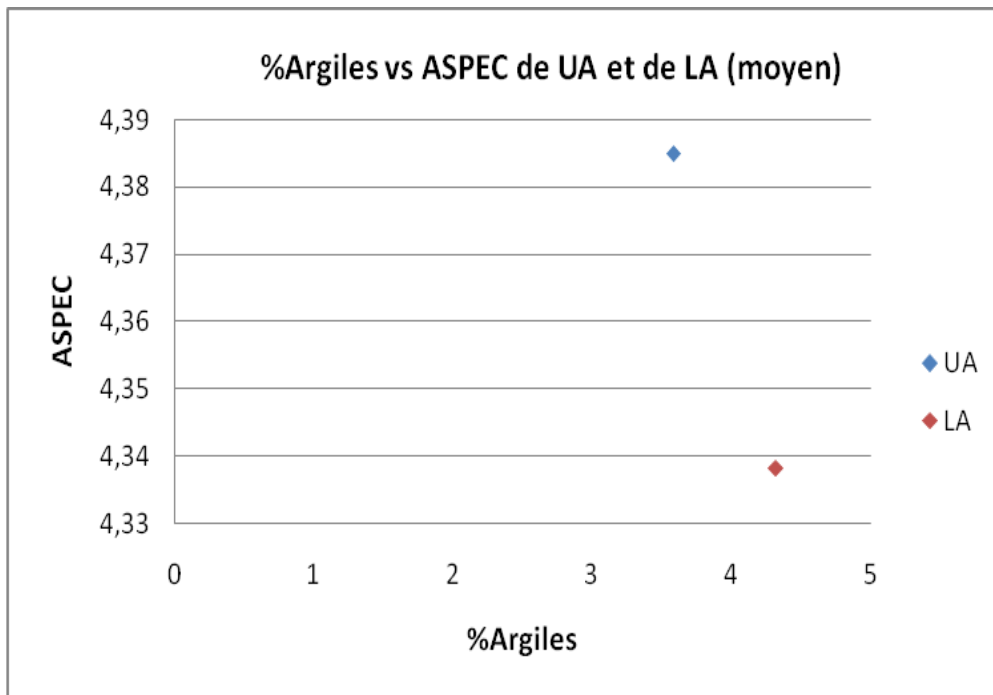
Dans le paragraphe §I-5 de la Partie II nous avons vu que les unités de l'Amboloando Supérieur (UA) ont des meilleures imprégnations que celles des unités de l'Amboloando Inférieur (LA).

Regardons si, selon les résultats des études précédentes, les dimensions des grains de UA sont plus grossières par rapport à celles de LA.

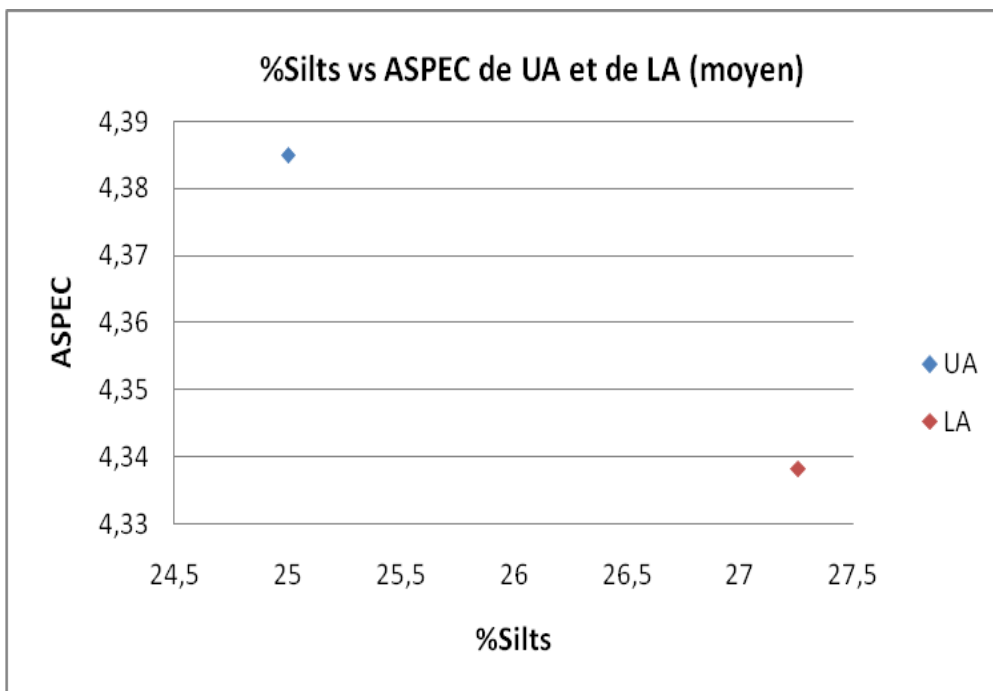


**Figure 48: Comparaison des pourcentages des classes granulométriques de UA et de LA**

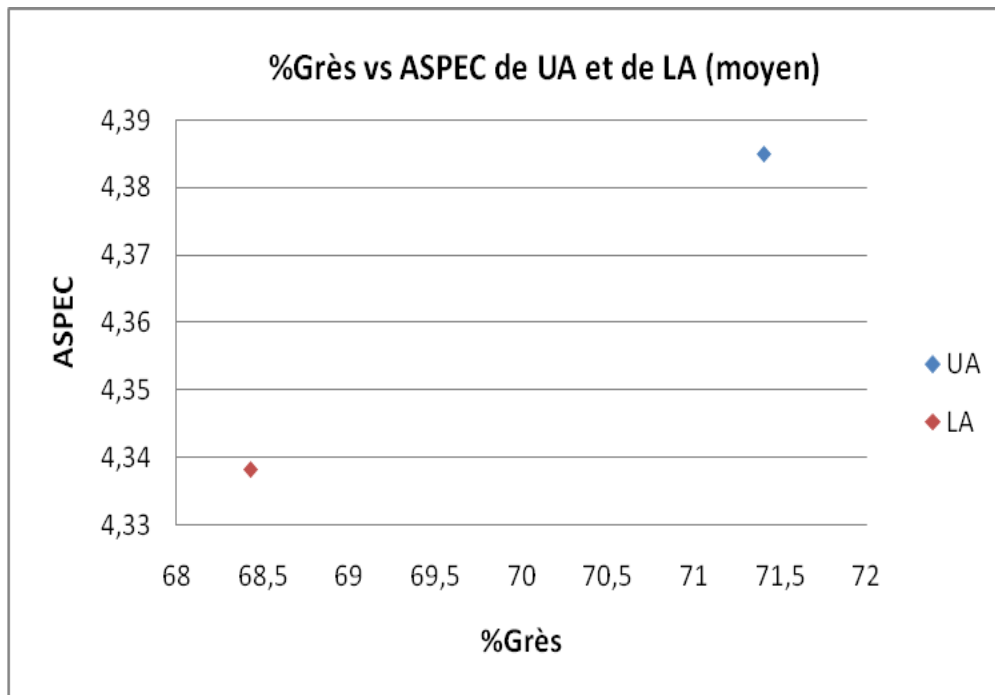




**Figure 49: Comparaison du pourcentage moyen des Argiles de UA et de LA**



**Figure 50: Comparaison du pourcentage moyen des Silts de UA et de LA**



**Figure 51: Comparaison du pourcentage moyen des Grès de UA et de LA**

Selon ces quatre graphes comparatifs (Figures 48 à 51) des deux formations, l'Amboloando Supérieur a effectivement moins de particules fines en moyenne si l'Amboloando Inférieur a moins de grès.

Certainement, la bonne porosité de l'Amboloando Supérieur par rapport à l'Amboloando Inférieur (voir §II, « Étude de porosité et de perméabilité », de la Partie II) contribue à cette distinction des degrés d'imprégnation entre les deux formations.

Par ailleurs, la différence d'imprégnation s'explique encore par le fait qu'UA est un dépôt franchement continental fluvial (méandrique) alors que LA est formé de dépôts intermédiaires d'un système deltaïque à des dépôts littoraux de « shoreface ». (Voir Découpage stratigraphique séquentiel, Figure 5). Un dépôt fluvial est susceptible de contenir moins de particules fines (argiles et silts), et donc d'être plus pur, par rapport à un dépôt de delta ou de « shoreface ».

### I-3 Causes géologiques des variations d'imprégnations dans LA

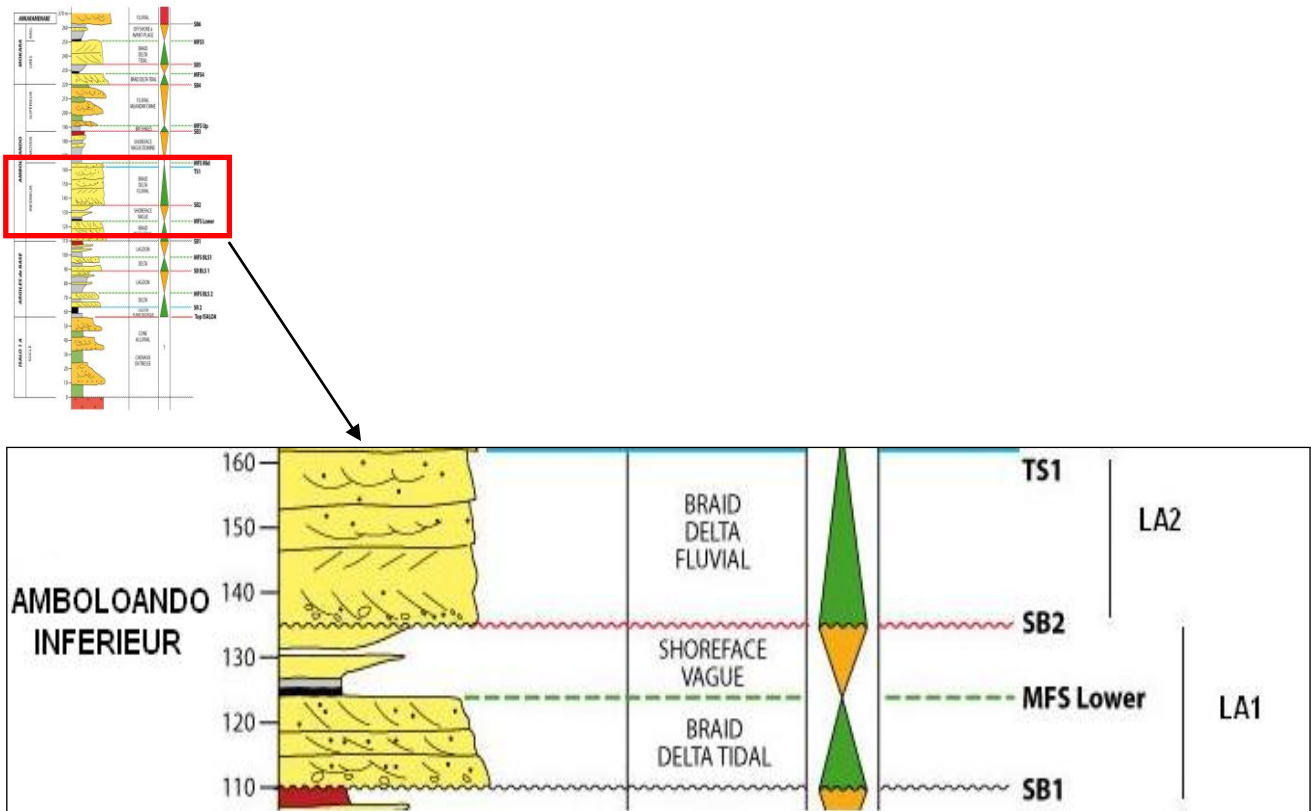
#### ❖ Variation stratigraphique

Les différences au niveau de l'imprégnation (LA2 montrant systématiquement un niveau d'imprégnation plus élevé, et LA1, lorsqu'elle est présente est peu ou pas imprégnée), et de la granulométrie (granulométrie plus grossière pour LA2 et plus fins pour LA1) de LA1 et LA2 peuvent s'expliquer aussi par le mode de dépôt des deux unités.

En effet, le cortège transgressif de LA1 est constitué par un dépôt de « **braided delta tidal** », tandis que son cortège régressif est un « **shoreface wave-dominated** » pouvant passer à de la plage (Voir §I-3 de la Partie I, Découpage stratigraphique séquentiel). Ceci explique le fait que LA1 renferme d'avantage de grains plus fins sableux ou parfois argileux.

Le cortège transgressif de la seconde séquence, LA2, est aussi un « **braided delta** », mais il est plus fortement à **influence fluviale** (« **braided delta fluvial** ») et dont les dépôts caractéristiques sont sableux à sablo-graveleux.

En un mot, la différence d'imprégnation entre les deux séquences de LA est donc liée à la différence de teneur en argiles dispersées dans les faciès dominés fluviaux de LA2 par rapport aux faciès tidaux de LA1.



**Figure 52: Log lithologique et stratigraphique synthétique de l'Amboloando Inférieur**

Par ailleurs, en ne considérant que les classes des grès, LA1 a beaucoup plus de grès très fins à fins alors que LA2 compte plus de grès moyens à grossier en comparaison avec LA1. Le Tableau 10 illustre ce fait.

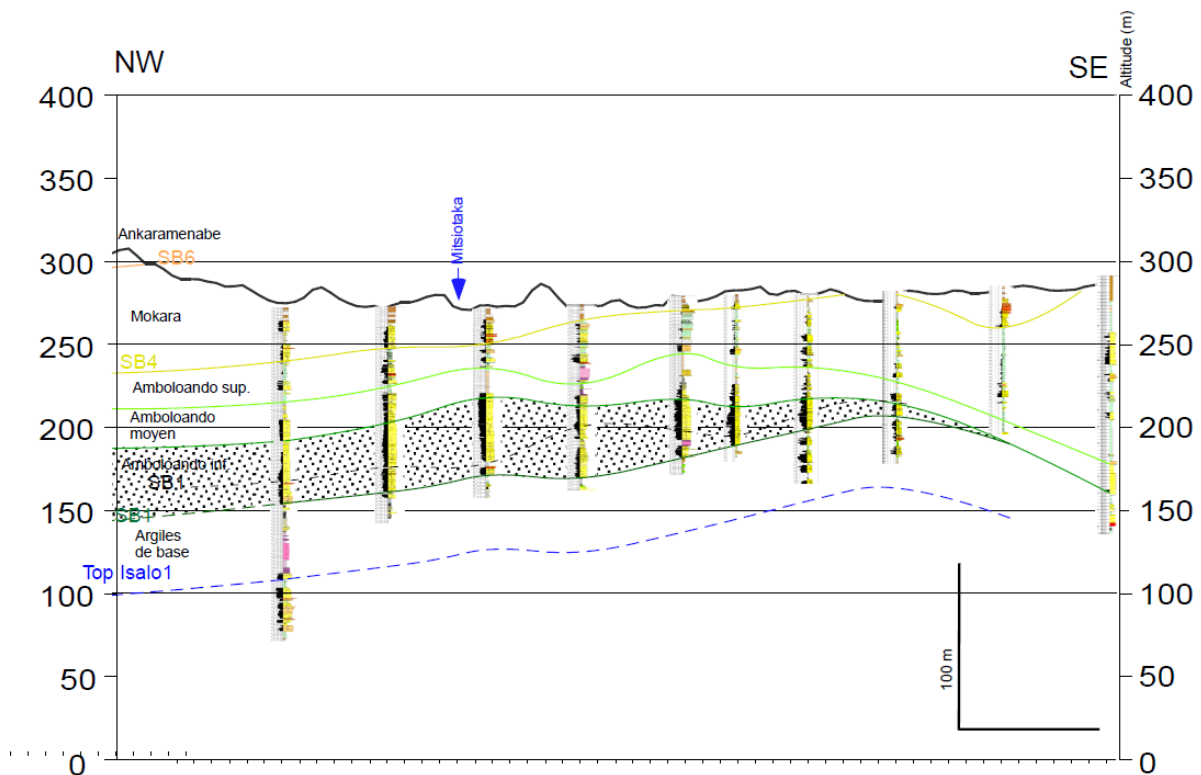
**Tableau 10: Pourcentage moyen des différentes classes de grès de LA1 et LA2**

	Très fins (%)	Fins (%)	Moyens (%)	Grossiers (%)	Très grossiers (%)
LA2	15,17	17,78	26,96	3,03	0,26
LA1	17,54	17,79	22,17	2,14	0,18

#### ❖ Variation latérale

Étant donné que la disparité latérale d'imprégnation, perçue au niveau des deux unités de l'Amboloando Inférieur, n'a pas pour origine les caractères pétrophysiques (granulométrie, taux d'argilosité, porosité, perméabilité) des formations, elle est donc certainement due à d'autres facteurs.

Le profil de l'Amboloando Inférieur laisse penser que cette différence est causée par un paramètre structural. Effectivement, les cartes d'imprégnation à fond isopaque (Figures 41 et 42) indiquent une forte épaisseur de la formation dans la zone Ouest et un amincissement progressif au point de disparaître vers l'Est. On en déduit qu'elle forme ainsi une sorte de *biseau stratigraphique*. Ceci est d'autant plus clair sur une coupe de la figure 53 des formations de Bemolanga.



**Figure 53: Coupe géologique de Bemolanga**

Par ailleurs, la coupe montre que l'Amboloando Inférieur se trouve à un niveau plus bas dans sa partie Ouest par rapport à sa partie Est. Tout ceci nous permet d'expliquer, du moins en partie, pourquoi la partie Est de l'Amboloando Inférieur est richement imprégnée contrairement au secteur Ouest : les hydrocarbures tendant à monter, ont migré de l'Ouest vers l'Est et y sont ensuite piégés par le biseau stratigraphique.

Une autre hypothèse pouvant être également soulevée pour être à l'origine de cette différence est le type d'hydrocarbures. En d'autre terme, il se peut que les hydrocarbures ayant imprégnés les zones Ouest et Est soient de types différents. Ainsi, malgré le fait que les caractères pétrophysiques des deux zones sont identiques, le type d'hydrocarbures imprégnant la partie Ouest n'a pas pu passer à travers les canalicules du niveau gréseux tandis que celui traversant la partie Est a pu aisément s'introduire dans les pores du réservoir.

## **II- Synthèse des résultats**

Afin d'être mis au clair, les résultats de ces différentes études seront synthétisés dans les paragraphes qui vont suivre sous forme de tableaux ou seulement d'énumérations.

Les faciès ont été regroupés en trois groupes de réservoirs : Bon Réservoir BR, Mauvais Réservoir MR, Non Réservoir NR (Pages 42 et 43).

Les deux premiers groupes BR et MR ont pu être caractérisés. Ces caractéristiques sont présentées dans le tableau qui suit :

**Tableau 11: Tableau comparatif des groupes Bon Réservoir et Mauvais Réservoir**

	BON RESERVOIR (BR)	MAUVAIS RESERVOIR (MR)
<b><i>Granulométrie</i></b>	Argiles < 8,78 %  Silts < 44,61 %  et renferme beaucoup plus de grains dans la classe des Grès	Argiles < 11,94%  Silts < 56,70%  et compte moins de Grès par rapport au BR
<b><i>Taux d'argilosité (MBI)</i></b>	Faible,  < 0.4	> 0.4
<b><i>Degré d'imprégnation (ASPEC)</i></b>	Largement élevé par rapport à MR  Assez Bon à Bon, mais pouvant être très faible à nul et aussi très bonne	Essentiellement faible  Nul à Assez Bonne
<b><i>Porosité</i></b>	16 à 31%	—
<b><i>Perméabilité</i></b>	80 à 4700mD	—

Les unités UA1, UA2, UA3 et LA2 sont les mieux imprégnées parmi les unités gréseuses de Bemolanga.

**Tableau 12: Tableau comparatif des de l'Amboloando Supérieur et de l'Amboloando Inférieur**

	<u>UA</u>	<u>LA</u>
<b>Granulométrie</b>	Plus grossière	Plus fine
<b>Degré d'imprégnation (ASPEC)</b>	UA a une meilleur imprégnation par rapport à LA	
<b>Porosité - Perméabilité</b>	21 à 30% 1000 à 4700mD	16 et 26% 38 à 1000mD
<b>Environnement de dépôt</b>	Fluviatil à caractère méandrique	Système deltaïque à « shoreface »

Les différences entre les deux unités de l'Amboloando Inférieur sont récapitulées ci-dessous :

**Tableau 13: Tableau comparatif de LA1 et LA2**

	<u>LA1</u>	<u>LA2</u>
<b>Granulométrie</b>	Beaucoup plus fine : Argiles, Silts, Grès très fins à fins	Plus grossière : Grès moyen à grossier  Moins d'Argiles, Silts, Grès très fins et fins
<b>Taux d'argilosité (MBI)</b>	LA1 a un taux d'argilosité généralement supérieur celui de LA2	
<b>Degré d'imprégnation (ASPEC)</b>	Plus faible que LA2	Mieux imprégné
<b>Porosité - Perméabilité</b>	Pas de différenciation possible	
<b>Environnement de dépôt</b>	« Shoreface wave-dominated »	« Braid delta fluvial »

D'une façon générale donc, un niveau est défini comme favorable ou potentiel donc qualifié de bon réservoir s'il répond aux critères suivants :

- Il est un niveau essentiellement gréseux.
- Il a une quantité très faible à faible de particules fines (Argiles et Silts).
- Il a un taux d'argilosité très faible (du moins inférieur à 0.4).
- Il a une bonne porosité (supérieure à 16%) et une bonne perméabilité (supérieure à 80mD).
- Il a un bon degré d'imprégnation.

Ainsi, d'après ces critères, nous pouvons qualifier les trois unités principales de l'Amboloando Supérieur UA1, UA2, UA3, et l'unité supérieure de l'Amboloando Inférieur LA2 de Bemolanga comme les réservoirs les plus intéressants à Bemolanga.

Cette étude prouve également que les caractères pétrophysiques des faciès ne sont pas les seuls paramètres contrôlant l'imprégnation à Bemolanga. Le piège à hydrocarbure et aussi le type d'hydrocarbures jouent également un rôle important.

En plus, la sédimentologie, notamment l'environnement où le système de dépôts a été formé, en étroite relation avec la granulométrie influe sur la qualité des réservoirs.



## CONCLUSION

Les études effectuées à Bemolanga ont prouvé d'importantes discontinuités d'imprégnations qui constituent une des problématiques majeures du gisement. En effet, la teneur en bitume des roches réservoirs varie d'un point à un autre aussi bien horizontalement que verticalement. Pour les besoins de modélisation nous avons défini une classification de ces réservoirs en termes de qualité : Bon Réservoir, Mauvais Réservoir, Non Réservoir. Cette qualité de réservoir est influencée par son caractère granulométrique. Les meilleurs degrés d'imprégnation bitumineuse sont localisés dans les grès propres à grains moyens. Lorsque la granulométrie devient plus fine (teneurs en argile et silt plus importantes), l'imprégnation diminue progressivement.

Il arrive cependant que des niveaux à fortes proportions de grains moyens ne soient pas très imprégnés. Cela signifie que la granulométrie n'est pas le seul paramètre contrôlant l'imprégnation. Il y a en effet d'autres paramètres, comme la structure constituant le piège et aussi le type d'hydrocarbures.

A l'issue de cette étude, il apparaît donc que, dans le secteur de Bemolanga, les grès de l'Amboloando Supérieur ainsi que les grès sommitaux de l'Amboloando Inférieur constituent les meilleurs réservoirs du fait d'une faible proportion en fines (argiles et silts) impliquant une bonne porosité et une bonne perméabilité.

De plus l'environnement de dépôts et la granulométrie sont deux paramètres ayant une relation étroite, influant ensemble sur la qualité des réservoirs. Cette étude montre que les dépôts fluviaux (correspondant aux grès de l'Amboloando Supérieur) et fluvio-deltaïques (grès sommitaux de l'Amboloando Inférieur) présentent les meilleures caractéristiques de bons réservoirs comparativement aux dépôts à influences tidales (partie basale de l'Amboloando Inférieure et Amboloando Moyen).

En outre, nos études ont montré l'intérêt de l'analyse granulométrique, et tout particulièrement de l'argilosité, pour la classification des réservoirs pétroliers: Elle permet de prédire l'imprégnation limite pour une répartition granulométrique donnée, plus précisément par rapport à un taux d'argilosité connu,

Malgré ces résultats, nous avons fait face à une disparité des nombres d'échantillons dans chaque groupe. Nous n'avons pas pu évaluer les caractéristiques granulométriques du groupe non réservoir du fait du manque d'analyse.

Ainsi, nous proposons à ceux qui entreprendront des études ultérieures d'avoir une bonne répartition des échantillons au sein des trois groupes pour assurer une meilleure compréhension des relations entre milieu de dépôt, faciès et qualité de réservoir. Des mesures systématiques de porosité et perméabilité sont aussi nécessaires pour conforter ces études de réservoir.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BESAIRIE H. 1972. Géologie de Madagascar, Les terrains sédimentaires. Ann. Géol. de Madagascar 35: 552 p
- CALLEC, ROIG, WYNS & ZAMMIT, (2009) : Reconnaissance géologique des grès bitumineux de la série Isalo dans le secteur de Bemolanga (Province de Majunga, Madagascar). Rapport Intermédiaire BRGM/RC-57742-FR. 11/2009
- CALLEC, ROIG, WYNS & ZAMMIT, (2010) : Reconnaissance géologique des grès bitumineux de la série Isalo dans le secteur de Bemolanga (Province de Majunga, Madagascar). Rapport final BRGM/RC-57742-FR. 09/2010
- DOUCETTE, N. (2001) : Bemolanga 2009-2010 – Geological report and documentation. N° Archives : 23. (Mars 2011).
- GEMO, Groupe d'étude des Modes Opératoires, (1999) : Granulométrie Laser. Avril 2011.
- Klöckner Industrie - ANALGEN, (1982): Valorisation des Grès Bitumineux de Bemolanga Section IV ; Volume II Étude géologique 70, 71, 76p
- Klöckner LUGI -, (1981): Valorisation des Grès Bitumineux de Bemolanga Section III ; Tome I Étude géologique 82, 83p
- KP-TANA, (2009): Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux. Norme française NF P 94-068 (octobre 1998).
- KP-TANA, (2009) : Procédure d'extraction avec l'automate ASPEC en vue de la mesure des teneurs en bitume des carottes de BEMOLANGA (version du 10-07-2009).
- RAÏCAN, I. C. (1977) : Synthèse Géologique sur les Grès Bitumineux de Bemolanga. Programme des Nations Unies pour les développements. No. du projet : MAG/75/001/D/01/31. (Décembre 1977) 1-8p

- RABENARIMALALA, L.M. (2010) : Contribution à l'étude préliminaire de récupération du bitume de Bemolanga par injection des fluides chauds. Mémoire de fin d'étude, Université Athénée Saint Joseph Antsirabe, 27p.
- RAOULT J.F, FOUCAULT A. (1997) Dictionnaire de Géologie. 4<sup>ème</sup> édition. Mansson (01/12/97)
- RASAMIMANANA, G., Bardintzeff, J.-M., Rasendrasoa, J., Bellon, H., Thouin, C., Gioan, P., Pique, A., 1998. Les épisodes magmatiques du Sud-Ouest de Madagascar (bassin de Morondava) marqueurs des phénomènes de rifting crétacé et néogène. Comptes Rendus Académie des Sciences Paris 326, 685-691.
- RASOLOFOMANANA, 1998. Les complexes annulaires de la province magmatique du Cap Saint André: Géologie, pétrologie et géodynamique. Thèse, Université Blaise Pascal.
- RAZAFIMBELO, E. (1987) : Le bassin de Morondava (Madagascar). Synthèse géologique et structurale. Thèse, Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 189 p.
- PIQUE, A (Groupe Campus "le Rifting Malgache"), 1999. L'évolution géologique de Madagascar et la disclocation du Gondwana. Journal of African Earth Sciences, Vol. 28, n°4, pp. 919-930.
- RUBINO, JL. (2010) : CR Mission Madagascar Projet Bemolanga. GSR/TG/ISS/EM M15-10 (Mai 2010).
- SOGREAH, (2008) : Programme d'évaluation du gisement de grès bitumineux de Bemolanga sur une partie du bloc 3102. Etude d'impact environnemental. Rapport Final n° 1740929. (Février 2008). 189 p.
- STORECORE, (2010): Grain size analysis of eighty four dean stark samples (batch 4) from Madagascar wells. Report, (Février 2010).

# ANNEXES

## ANNEXES

## ANNEXES

### Annexe A: Tableau des faciès

Age	Groupe Formation	Milieu de dépôt	Environnement de dépôt	Faciès	Faciès symbol	Faciès code	Description de faciès
Récent	Latérite	Continental	Sol récent	Altération de Formation indéterminé	LAT-F1	1000	Sol latéritique ocre, silt sableux à sable silteux/argileux
<b>érosion majeure - SB?</b>							
<b>TRIAS MOYEN - SUPERIEUR</b>  Ladinien - Carnien (237,0 ± 2,0 – 216,5 ± 2,0 Ma)	<b>Ankaramenabe</b>	Continental	Plaine d'inondation (sheet floods) ?	Argiles silteuses/sableuses verdâtres?	ANK-F1	2480	Argiles verdâtres?
				Grès très fins à moyens argileux?	ANK-F2	2481	?
		Fluviatil	Continental	Grès très fins à moyens massif	ANK-F3(a)	2341	Grès propres à grains très fins à moyens, massifs, dépôts de chenal fluviatil (<10% d'argiles)
				Grès très fins à moyens à stratifications obliques	ANK-F3(b)	2342	Grès propres à grains très fins à moyens, à stratifications obliques, dépôts de chenal fluviatil (<10% d'argiles)
				Grès très fins à moyens à laminations	ANK-F3(c)	2343	Grès propres à grains très fins à moyens, laminés, dépôts de chenal fluviatil (<10% d'argiles)
				Grès moyens à très grossiers massif	ANK-F4(a)	2344	Grès propres à grains moyens à très grossiers, massifs, dépôts de chenal fluviatil (<10 % d'argiles)
				Grès moyens à très grossiers à stratifications obliques	ANK-F4(b)	2345	Grès propres à grains moyens à très grossiers, à stratifications obliques, dépôts de chenal fluviatil (<10 % d'argiles)
				Grès moyens à très grossiers à laminations	ANK-F4(c)	2346	Grès propres à grains moyens à très grossiers, laminés, dépôts de chenal fluviatil (<10 % d'argiles)
				Conglomérat à matrice sableuse et galets d'argile	ANK-F5	2320	Conglomérats à bancs érosifs décimétriques à pluridécimétriques avec galets argileux à taille variable, parfois imprégnés, lag de chenaux
				Métamorphisme	Sédiment métamorphisé	METAM	2050
	Intrusion	Gabbro/Dolérite	FILON	2000	Filons/Dykes		
	<b>Mokara</b>	Estuaire	Tidal	Hétérolithiques argileux/silteux à rides de courants/doublets sableux	MOK-F1	3770	Argiles/silts laminés de grès d'altérences millimétriques à centimétriques, lamines de doublets, influence tidal (75-90% d'argiles)
				Hétérolithiques sableux/silteux à rides de courants/doublets argileux	MOK-F2	3760	Grès/silts laminés d'argiles d'altérences millimétriques à centimétriques, lamines de doublets, influence tidal (25-75% d'argiles)
				Hétérolithiques sableux à rides de courants/doublets argileux	MOK-F3	3750	Grès laminés d'argiles d'altérences millimétriques à centimétriques, lamines de doublets, influence tidal (10-25% d'argiles)
				Grès fins à silts altérés latéritiques avec stratifications obliques entrecroisées	MOK-F4	3140	Grès fins à moyens ou silts altérés latéritiques avec stratifications obliques entrecroisées, structures parfois pas visible, l'altération superficielle rend les grès orangeâtres
				Argiles silteuses verdâtres et calcrètes	MOK-F5	3180	Argiles silteuses verdâtres pâles compactes contrairement aux argiles de l'Amboloando Supérieur, nombreuses bioturbations indéterminées
				Grès très fins à moyens massifs	MOK-F6(a)	3741	Grès propres à grains très fins à moyens, massifs, dépôts de chenal tidal (<10% d'argiles)
				Grès très fins à moyens stratifications obliques	MOK-F6(b)	3742	Grès propres à grains très fins à moyens, à stratifications obliques, dépôts de chenal tidal (<10% d'argiles)

				Grès très fins à moyens laminés	MOK-F6(c)	3743	Grès propres à grains très fins à moyens, laminés, dépôts de chenal tidal (<10% d'argiles)				
				Grès moyens à très grossiers massifs	MOK-F7(a)	3744	Grès propres à grains moyens à très grossiers, massifs, dépôts de chenal tidal (<10 % d'argiles)				
				Grès moyens à très grossiers à stratifications obliques	MOK-F7(b)	3745	Grès propres à grains moyens à très grossiers, à stratifications obliques, dépôts de chenal tidal (<10 % d'argiles)				
				Grès moyens à très grossiers laminés	MOK-F7(c)	3746	Grès propres à grains moyens à très grossiers, laminés, dépôts de chenal tidal (<10 % d'argiles)				
				Conglomérats à matrice sableuse et galets argileux	MOK-F8	3720	Conglomérats à bancs érosifs avec galets argileux à taille variable, peu imprégnés, lag de chenal tidal				
				Métamorphisme	Sédiment métamorphisé	METAM	3050	Métamorphisme de contacte			
				Intrusion	Gabbro/Dolérite	FILON	3000	Filons/Dykes			
				<b>érosion majeure - SB</b>							
				Isalo 2	Amboloando Supérieur	Continental	Plaine d'inondation (sheet floods)	Argiles silteuses/sableuses verdâtres et calcrète	UA-F1	4480	Argiles verdâtres plus ou moins carbonatées (nodules) avec silts et sables, granulométrie des sables est de fine à grossière, graines de quartz flottantes, plaine d'inondation peu drainée, pédogénisée ou bioturbée OU Sables argileuses verdâtres et silcrète.
								Grès très fins à moyens massifs ou laminés plan	UA-F2	4440	Bancs de grès qui s'intercalent dans les argiles de plaine d'inondation, argileux et fins avec des laminations horizontales parfois, bioturbés (skoyenia) et racines, dépôts de débordement (crevasse spaly/sheet flood)
Argiles/hétérolitiques à rides chevauchantes/courants	UA-F3	4470	Argiles à rides chevauchantes/courants amalgamées et soulignées par des lamines millimétriques de grès (75-90%), parfois fortement bioturbé (par skoyenia), dépôts de chenal de crevasse ou barres de méandre								
Grès fins et argiles/hétérolitiques à rides chevauchantes/courants	UA-F4	4460	Grès à rides chevauchantes/courants amalgamées et soulignées par des lamines millimétriques d'argile (25-75%), parfois fortement bioturbé (par skoyenia), dépôts de chenal de crevasse ou barres de méandre								
Grès fins/hétérolitiques à rides chevauchantes/courants	UA-F5	4450	Grès à rides chevauchantes/courants amalgamées et soulignées par des lamines millimétriques d'argile (10-25%), parfois fortement bioturbé (par skoyenia), dépôts de chenal de crevasse ou au toit des barres de méandre								
Fluviatil	Grès très fins à moyens massifs	UA-F6(a)	4341				Grès propres à grains très fins à moyens, massifs, dépôts de chenal fluviatil (<10% d'argiles)				
	Grès très fins à moyens stratifications obliques	UA-F6(b)	4342				Grès propres à grains très fins à moyens, à stratifications obliques, dépôts de chenal fluviatil (<10% d'argiles)				
	Grès très fins à moyens laminés	UA-F6(c)	4343				Grès propres à grains très fins à moyens, laminés, dépôts de chenal fluviatil (<10% d'argiles)				
	Grès moyens à très grossiers massifs	UA-F7(a)	4344				Grès propres à grains moyens à très grossiers, massifs, dépôts de chenal fluviatil (<10 % d'argiles)				
	Grès moyens à très grossiers à stratifications obliques	UA-F7(b)	4345				Grès propres à grains moyens à très grossiers, à stratifications obliques, dépôts de chenal fluviatil (<10 % d'argiles)				
Grès moyens à très grossiers laminés	UA-F7(c)	4346	Grès propres à grains moyens à très grossiers, laminés, dépôts de chenal fluviatil (<10 % d'argiles)								
Débris flow à galets flottants	UA-F8	4310	Brèches à matrice sableuse et galets d'argiles anguleux de tailles hétérogène et flottent dans la matrice, débris flow correspondent à un évènement de type écroulement de berge dans un chenal								
Conglomérats à matrice sableuse et galets argileux	UA-F9	4320	Conglomérats à bancs érosifs décimétriques à pluridécimétriques avec galets argileux à taille variable, peu imprégnés, lag de chenaux								
Argiles silteuses/silts argileux rougâtres (paléosol)	UA-F10	4180	Argiles rougeâtres, pédogenèse secondaire des argiles/silts palustre, arrêt de sédimentation (fluviatil émergé)								

			Grès massifs altérés (profil latéritique superficiel)	UA-F11	4140	Altération latéritique des grès fluviaux, ocre, structures sédimentaires sont rarement préservées
		Métamorphisme	Sédiment métamorphisé	METAM	4050	Métamorphisme de contact
		Intrusion	Gabbro/Dolérite	FILON	4000	Filons/Dykes
<b>érosion majeure - SB</b>						
<b>Amboaloando Moyen</b>	Estuaire	Tidal	Argiles grises	MA-F1	5780	Argiles d'offshore marin, plus ou moins laminées ou massives, parfois bioturbées (>90% d'argiles)
			Hétérolithiques argilo-sableux à rides de vagues/courant	MA-F2	5770	Hétérolithique argilo-sableux d'argiles laminées de sables, alrenances millimétriques et soulignent des rides de courants et de vagues, shoreface inférieur (75-90% d'argiles)
			Hétérolithiques sablo-argileux à rides de vagues/courant	MA-F3	5760	Hétérolithique sablo-argileux des grès laminées d'argiles, alrenances millimétriques et soulignent des rides de courants et de vagues, shoreface (25-75% d'argiles)
			Grès très fins à fins à rides (vagues ou courant)	MA-F4	5750	Grès sont laminés d'argiles, alrenances millimétriques et soulignent des rides de courants et de vagues, shoreface supérieur (10-25% d'argiles)
			Grès très fins à moyens à rides de courants/chevauchantes	MA-F5	5340	Grès propres avec rides de courants voire chevauchantes, toit de barres tidal voire à des levées quand les grès sont très fins, soit au toit de barres sableuses
			Grès très fins à moyens à laminations d'angle faible	MA-F6	5643	Grès propres qui forment des bancs métriques à plurimétriques, laminations soulignés par différences d'imprégnation, plage à avant-plage supérieur (<10% d'argiles)
			Grès très fins à moyens massifs	MA-F7(a)	5341	Grès très fins à moyens propres qui forment des bancs pluridécimétriques à métriques, barres sableuses massifs, <10% d'argiles
			Grès très fins à moyens à stratifications obliques	MA-F7(b)	5342	Grès très fins à moyens propres qui forment des bancs pluridécimétriques à métriques, barres sableuses à stratifications obliques, <10% d'argiles
			Grès très fins à moyens laminés	MA-F7(c)	5343	Grès très fins à moyens à laminations planes, <10% d'argiles
			Grès moyens à très grossiers massifs	MA-F8(a)	5344	Grès propres moyens à très grossiers qui forment des bancs pluridécimétriques à métriques, barres sableuses massifs, <10% d'argiles
			Grès moyens à très grossiers à stratifications obliques	MA-F8(b)	5345	Grès propres moyens à très grossiers qui forment des bancs pluridécimétriques à métriques, barres sableuses à stratifications obliques, <10% d'argiles
			Grès moyens à très grossiers laminés	MA-F8(c)	5346	Grès propres moyens à très grossiers à laminations planes, <10% d'argiles
			Conglomérats à matrice sableuse et graviers/galets d'argile	MA-F9	5320	Conglomérats en bancs érosifs décimétriques à pluridécimétriques avec galers argileux à taille variable, lags de chenaux
		Paléosol	Argiles silteuses/grès argileux rougeâtres/verdâtres à pédoconcrétions et racines	MA-F10	5180	Argiles rubanées typiques avec des traces de racines et des pédoconcrétions, Paléosol
	Métamorphisme	Sédiment métamorphisé	METAM	5050	Métamorphisme de contact	
	Intrusion	Gabbro/Dolérite	FILON	5000	Filons/Dykes	
<b>érosion ou transgression?</b>						
<b>Amboaloando Inférieur</b>	Continental/ Estuaire	Lacustre	Argiles grises (lacustre)	LA-F1	6680	Argiles grises à lamines millimétriques (varves), parfois massives, lacustre, >90% d'argiles/silts
			Silt argileux / argiles sableuses	LA-F2	6660	Alternances centimétriques de grès et d'argiles avec bioturbation verticales (racines?), lacustre peut-être pédogénisés, 25-75% d'argiles/silts
			Grès très fins à moyens massif	LA-F3(a)	6651	Bancs métriques à plurimétriques de de grès très fins/moyens massifs, plage lacustre, faciès de AM ou BLS mais inclus ici pour des raisons de modélisation des réservoirs, 10-25% d'argiles/silts

			Grès très fins à moyens à laminations d'angle faible, planes	LA-F3(b)	6652	Bancs métriques à plurimétriques de de grès très fins/moyens à laminations horizontales ou d'angle faible, plage lacustre, faciès de AM ou BLS mais inclus ici pour des raisons de modélisation des réservoirs, 10-25% d'argiles/silts
		Eolien	Grès fins à moyens à stratifications obliques tangentielles d'angle fort	LA-F4	6540	Grès éolien à stratifications obliques d'angle très fort, dunes éoliennes d'arrière plage, <10% d'argiles/silts
		Fluvial	Argiles/silts à rides de courant/flasers	LA-F5	6370	Argiles/silts avec très forte amalgamation de rides de courant, parfois grimpantes, 75-90% d'argiles, dépôts des barres fluviales
			Grès très fins à moyens et argiles à rides de courant/flasers	LA-F6	6360	Grès très fin à moyens avec très forte amalgamation de rides de courant, parfois grimpantes, 25-75% d'argiles, dépôts de crues au toit des barres fluviales sableuses, au sommet des séquences fluviales
			Grès très fins à moyens à rides de courant/flasers	LA-F7	6350	Grès très fin à moyens avec très forte amalgamation de rides de courant, parfois grimpantes, 10-25% d'argiles, dépôts de crues au toit des barres fluviales sableuses, au sommet des séquences fluviales
			Grès très fins à moyens massifs	LA-F8(a)	6341	Grès très fins à moyens, dépôts de crues, <10% d'argiles/silts
			Grès très fins à moyens à stratifications obliques	LA-F8(b)	6342	Grès très fins à moyens, barres sableuses des chenaux fluviales, <10% d'argiles/silts
		Tidal	Grès très fins à moyens à doublets	LA-F8(c)	6743	Grès très fins à moyens à doublets, influence tidal, parfois bioturbés, <10% d'argiles/silts
		Fluvial	Grès moyens à très grossiers massifs	LA-F9(a)	6344	Grès moyens à très grossiers, barres sableuses des chenaux fluviales, parfois avec galets argileux/graviers, <10% d'argiles
			Grès moyens à très grossiers à stratifications obliques	LA-F9(b)	6345	Grès moyens à très grossiers, barres sableuses des chenaux fluviales, parfois avec galets argileux/graviers, <10% d'argiles
		Tidal	Grès moyens à très grossiers à doublets	LA-F9(c)	6746	Grès moyens à très grossiers à doublets argileux, influence tidal, parfois bioturbés, <10% d'argiles
		Fluvial	Conglomérats à matrice argileuse/silteuse et galets argileux	LA-F10	6330	Bancs conglomératiques pluridécimétriques à métriques, riche en galets d'argile millimétriques à centimétriques, à matrice argileuse/silteuse, lag de chenal, riches en pyrite et ciment carbonaté
			Conglomérats à matrice sableuse et galets argileux	LA-F11	6320	Bancs conglomératiques pluridécimétriques à métriques, parfois centimétriques, plus ou moins riche en galets d'argile millimétriques à centimétriques, imprégnation, lag de chenal
		Paléosol	Argiles silteuses à racines et pédoconcrétions	LA-F12	6180	Argile silteuse gris-verdâtre très pâle avec nombreuses bioturbations (racines et autres) et quelques pédoconcrétions (Paléosol)
		Métamorphisme	Sédiment métamorphisé	METAM	6050	Métamorphisme de contact
		Intrusion	Gabbro/Dolérite	FILON	6000	Filons/Dykes
Argile de base	Estuaire	Lac et marais + plaine deltaïque humide	Carbonates lacustres	BLS-F1	7600	Dolomites qui se développent en offshore lacustre (nappe d'eau pérenne)
			Calcaire à microbialithes	BLS-F2	7605	Laminations noirâtres qui correspondent à des tapis microbiens, Calcaires se forment sous une nappe d'eau plus ou moins temporaire (lac temporaire)
			Argiles ligneuses noire à gris foncé	BLS-F3	7680	argiles charbonneuses se forment dans la plaine deltaïque par l'accumulation de débris ligneux enfouis rapidement, signe d'inondation marine, >90% d'argiles/silts
			Argiles grises à noires	BLS-F4	7681	argiles ou silt noires laminées ou massives, riche en fragments charbonneux, parfois des empreintes de feuilles ou tiges, dépôts lacustres, >90% d'argiles/silts
		Plate-forme marine/Intertidal	Hétérolitiques argileux à HCS/bioturbations	BLS-F5	7970	Alternances de silts/grès fins et d'argiles grises/noires millimétriques à centimétriques, généralement bioturbées (parfois pas), micro-HCS rarement, shoreface inférieur à offshore supérieur, 75-90% d'argiles/silts



			Silts argileux bioturbés (Skolithos)	BLS-F6	7980	Silts argileux ou argiles silteux très bioturbés, peuvent dérivés d'hétérolithiques dont les alternances ont été totalement détruites, shoreface inférieur à supérieur, >90% d'argiles/silts
			Hétérolithiques sableux à doublets argileux/rides de vagues ou de courant	BLS-F7	7960	Niveaux gréseux pluricentimétriques alternant avec des argiles, doublets argileux rythmiques (tidal) et rides de courants/vagues, parfois bioturbés, shoreface inférieur à supérieur, 25-75% d'argiles/silts
		Tidal	Grès argileux bioturbés (Skolithos)	BLS-F8	7850	Grès massifs à laminés (doublets), bioturbé par skolithos, chenal tidal
			Grès très fins à moyens laminés à couplets/doublets/rides	BLS-F9	7840	Grès à doublets/couplets, parfois bioturbés, laminations argileuses riches en micas, barres tidales
			Grès très fins à moyens massif	BLS-F10(a)	7841	Grès blancs massif, barre tidale progradante
			Grès très fins à moyens à stratifications obliques	BLS-F10(b)	7842	Grès blancs avec stratifications d'angle fort ou faible, barre tidale progradante
			Conglomérats à matrice sableuse et galets d'argile	BLS-F11	7820	Déduite de la séquence de dépôt, à définir
		Paléosol	Argiles verdâtres à rougâtres (pédogénisées)	BLS-F12	7180	Argiles parfois silteuses verdâtres à rougâtres (pédogénisées)
		Métamorphisme	Sédiment métamorphisé	METAM	7050	Métamorphisme de contacte
		Intrusion	Gabbro/Dolérite	FILON	7000	Filons/Dykes
<b>8180</b>						
ISALO 1	Continental	Plaine d'inondation (sheet floods)	Argile silto-sableuse verte	ISA-F1	8480	Argile silto-gréseuse verte/bleue caractéristique à nodules, dépôt de débordement, apparaissent souvent hétérogènes et bioturbés (racines), d'argile ou silt
			Hétérolithiques argileux ou Silt massif	ISA-F2	8481	Silt massif ou argile silteuse hétérolithique centimétriques à plurimétriques (rarement) parfois déformées par la bioturbation (racines), dépôt de débordement, grès plus ou moins argileux
		Chenal de Cône alluvial (alluvial fan)	Grès très fins à moyens massif	ISA-F3(a)	8241	Chenaux en tresse, grains rarement très fins, généralement fins à moyens, massif, imprégnation
			Grès très fins à moyens à stratifications obliques	ISA-F3(b)	8242	Chenaux en tresse, grains rarement très fins, généralement fins à moyens, à stratifications obliques (angles fort), imprégnation
			Grès moyens à très grossiers massif	ISA-F4(a)	8244	Chenaux en tresse, ces grès sont fréquents, grains moyens à très grossiers, parfois graveleux massif, imprégnation
			Grès moyens à très grossiers à stratifications obliques	ISA-F4(b)	8245	Chenaux en tresse, ces grès sont fréquents, grains moyens à très grossiers, parfois graveleux à stratifications obliques (angles fort), imprégnation
			Conglomérat à matrice sableuse et galets lithiques ou d'argile	ISA-F6	8220	Chenaux en tresse ou cône alluvial, conglomérat à galets lithiques ou d'argiles (lag ou débris flow) sub-anguleux centimétriques à pluricentimétriques, l'argile est verdâtre et rappelle le faciès ISA-F1
		Paléosol	Paléosol	ISA-F7	8180	Pédogénisation des grès de l'Isalo 1, niveau pluridécimétrique de grès bioturbés par des racines
		Métamorphisme	Sédiment métamorphisé	METAM	8050	Métamorphisme de contacte
		Intrusion	Gabbro/Dolérite	FILON	8000	Filons/Dykes
<b>Socle</b>						

## **Annexe B: Mesure de Porosité et de Perméabilité**

Les méthodes de mesure décrites ici ne proviennent pas du laboratoire qui a effectué les mesures pour TEPMG mais sur les liens suivants :

<http://geologie.forumalgerie.net/t193-echantillonnage-et-mesures-petrophysiques>

<http://www.ac-reims.fr/datice/svt/docsacad/craie/laporosite.htm> (Gilles FRONTEAU - 21 janvier 2000. Comportements tégénétiques des principaux calcaires de Champagne-Ardenne, en relation avec leur faciès de dépôt et leur séquençage diagénétique.)

Les mesures de la porosité et de la perméabilité peuvent se faire par de très grand nombre de techniques, nous ne signalerons ici que quelques méthodes:

1- **L'analyse d'images**: on mesure la porosité à partir des images de lames-minces obtenues au microscope optique. Cette méthode ne permet que la quantification de la macroporosité, mais l'utilisation de résines colorées ou de processus de transformation mathématiques : fermetures, watershed..., permet d'améliorer la quantification de la porosité ou de la modélisation de l'espace poral.

2- **La vitesse des ondes acoustiques** : la vitesse des ondes est un bon indicateur de la porosité des matériaux et de leur état de fissuration. La continuité du milieu est définie par l'indice de continuité ( $IC = \text{Vitesse mesurée} / \text{Vitesse théorique du solide}$ ) qui dépend des porosité de pores et de fissures. Le relation entre la vitesse des ondes acoustiques et la porosité permettant finalement de différencier la porosité de pores et la porosité de fissures.

3- **La dynamique de prise d'eau par capillarité** : l'imbibition progressive d'un échantillon par sa base permet de mesurer la vitesse d'ascension de l'eau au cours du temps. Le coefficient de perméabilité  $k$  de l'échantillon peut alors être calculé ainsi que sa dynamique de prise d'eau (matérialisée par la pente de la courbe du volume d'eau absorbée par centimètres carrés et unité de temps) et son coefficient de saturation au cours du temps.

4- Certaines parties du réservoir ont été échantillonnées sous forme de « plugs » pour les mesures de porosité et de perméabilité ainsi que pour la conception des lames minces.

Les mesures de perméabilité doivent être effectuées avant les mesures de porosité qui nécessitent un bain de mercure rendant les plugs inutilisables par la suite. La perméabilité a été mesurée à l'aide d'un perméamètre à air comprimé modifié. Le principe du système est de mesurer la quantité d'air capable de traverser l'échantillon sur sa longueur. Pour obtenir cette mesure, une gaine en caoutchouc étanche est placée sur le plug afin que l'air ne puisse passer qu'à travers celui-ci et non sur la périphérie. La gaine est plaquée grâce à un système de pressurisation de la chambre. Ensuite, l'appareil, géré par un logiciel, fait augmenter progressivement la pression sur la base de l'échantillon tandis qu'un appareillage interne de détection mesure et enregistre la pression sortant à l'autre extrémité du plug.

La mesure de porosité est basée sur la différence de tension superficielle de deux fluides, c'est-à-dire sur une différence de volumes calculés à l'aide de deux fluides. Dans ce cas, il s'agira de

l'acétone et le mercure. Ces deux liquides possèdent des propriétés opposées, l'acétone est un liquide dit « mouillant », c'est-à-dire qu'il tend à s'étaler sur une surface tandis que le mercure, qui lui est dit « non-mouillant », aura tendance à éviter tout contact avec un autre corps. Les propriétés de l'acétone font qu'il pénétrera dans les pores connectés et le mercure ne fera qu'envelopper la surface du plug, et ne pénétrera pas dans le plug. C'est pourquoi la différence entre le volume du plug plongé dans l'acétone et dans le mercure nous donnera le volume du réseau poreux.

Il est malheureusement difficile de mesurer avec une grande précision le volume d'un fluide dans lequel un échantillon est immergé. Par contre, il est beaucoup plus facile de mesurer avec précision une hauteur. Les béchers sont donc étalonnés de manière à savoir que pour telle hauteur correspond tel volume.

### **Mesures dans l'acétone**

➤ Il faut en premier lieu nettoyer la surface du plug avec de l'acétone puis le sécher. Peser l'échantillon au milligramme près.

➤ Les plugs sont immergés dans l'acétone et mis sous cloche à vide pendant plus de 12 heures pour évacuer tout l'air se trouvant dans les pores. Il faut prendre garde à souvent vérifier le niveau d'acétone (surtout au début) du fait de la substitution de l'air des pores par de l'acétone ainsi que du fort taux d'évaporation de ce dernier. Il ne faut surtout pas que l'échantillon ne se retrouve en contact avec l'air. Pour éviter cela, il faut casser le vide, remettre de l'acétone puis faire le vide à nouveau.

➤ La hauteur d'acétone est mesurée avec exactitude.

➤ L'échantillon est à nouveau précisément pesé.

Les troisième et quatrième opérations doivent être effectuées avec diligence du fait du fort pouvoir d'évaporation de l'acétone. Ces deux mesures permettent de calculer le volume de roche avec les pores.

➤ La température est relevée au dixième de degré près.

Les plugs sont complètement séchés dans une étuve afin d'éliminer toute trace d'acétone résiduel qui pourrait encore se trouver dans les pores de la roche.

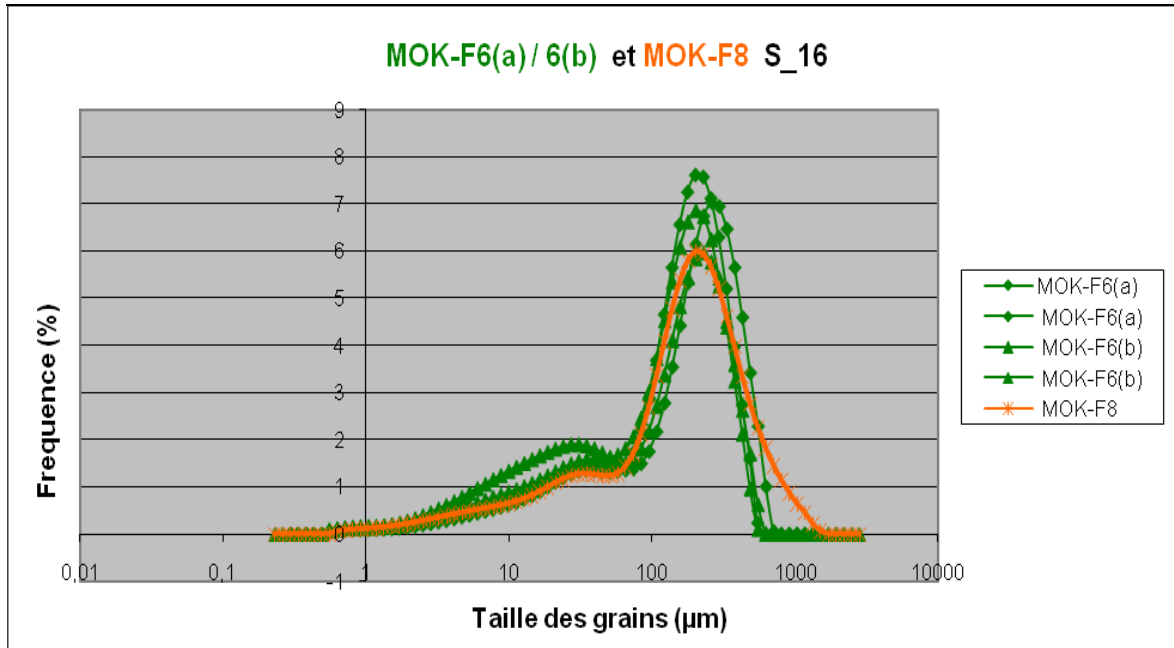
### **Mesures dans le mercure**

La deuxième étape consiste cette fois ci à plonger les plugs dans du mercure et faire les mêmes mesures que pour l'acétone sans passer les échantillons dans le vide. Le volume de la roche sera cette fois ci sans les pores.

Entre les différents points, l'échantillon mesuré est soigneusement pesé pour vérifier s'il ne s'est pas cassé ou alors s'il reste du liquide prisonnier des pores.

Le calcul pour la porosité est le suivant : le volume de la matrice calculé à partir de l'acétone ne prend pas en compte dans son calcul, la porosité, contrairement à celui du mercure qui lui ajoute la porosité au volume matriciel.

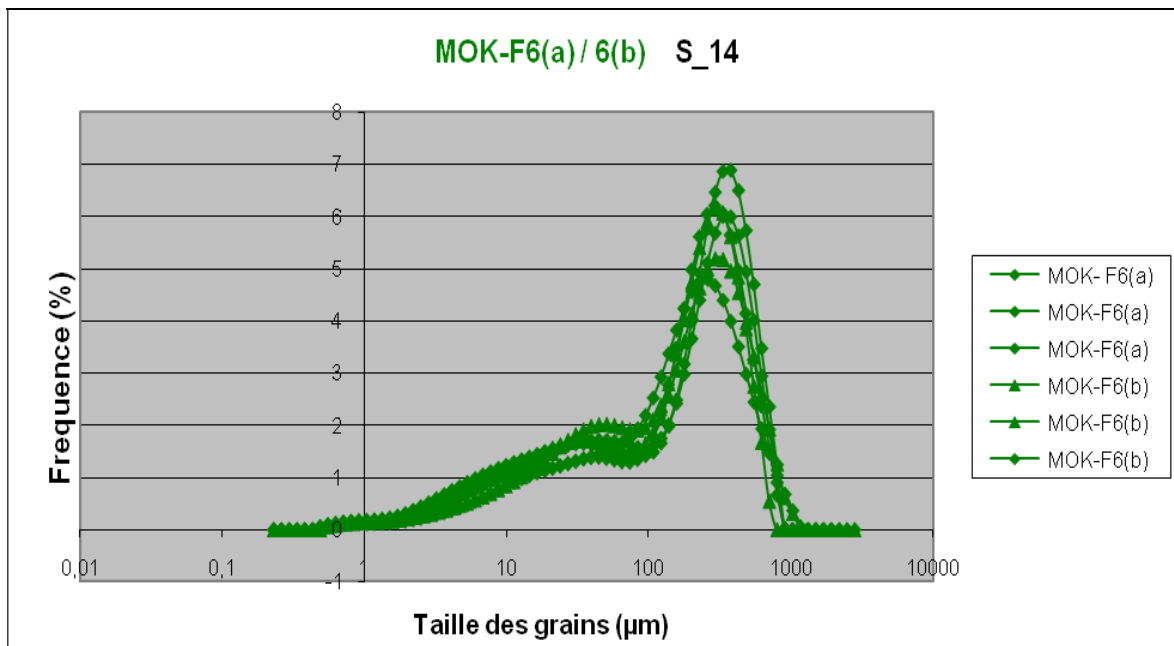
**Annexe C: Courbes granulométriques de chaque séquence pour le regroupement de faciès**



**Figure C-1: PSD des échantillons de la séquence S\_16**

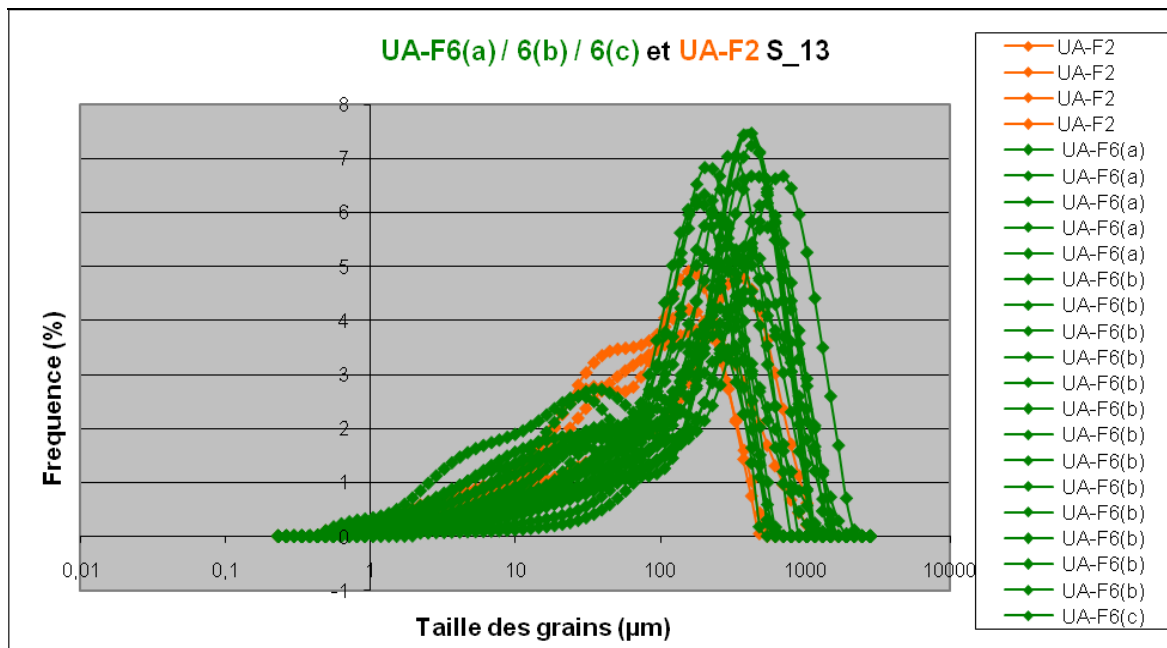
Les courbes PSD des échantillons analysés dans S\_16 montrent :

- les faciès MOK-F6(a), MOK-F6(b) peuvent être réellement regroupés en un faciès bon réservoir.
- pour MOK-F8, malgré un PSD proche des autres, et même si on a proposé de le mettre en faciès Mauvais réservoir, on ne peut rien dire vu qu'il n'y a qu'un seul échantillon.



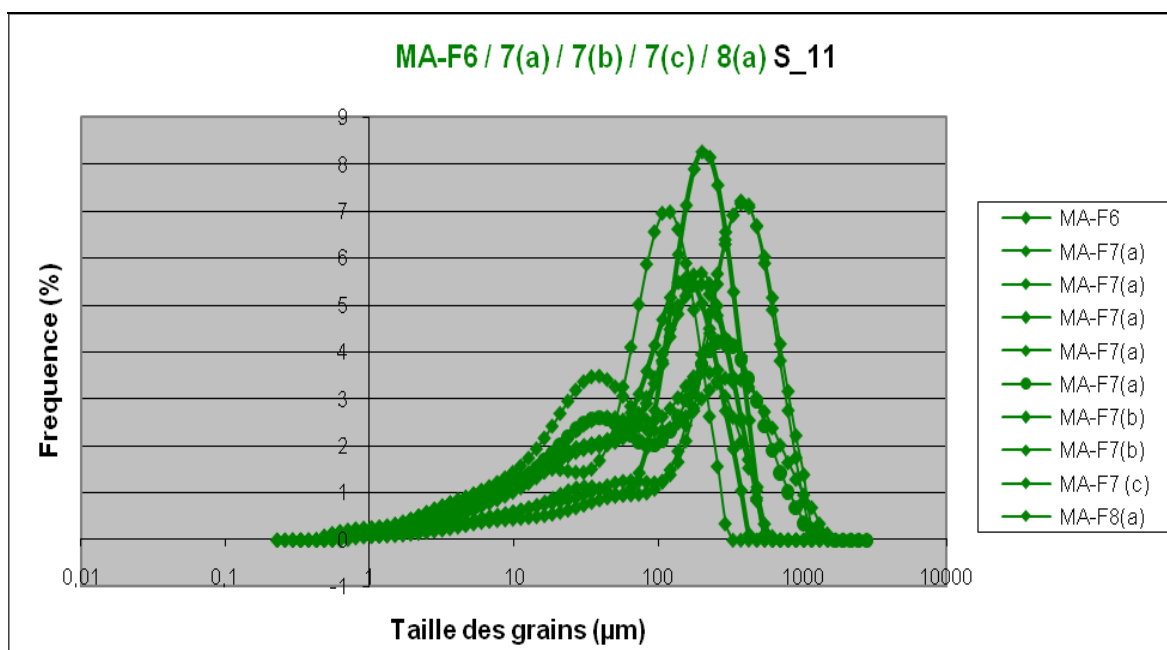
**Figure C-2 : PSD des échantillons de la séquence S\_14**

Selon le graphe de la figure C-2, la répartition des grains des échantillons qui appartiennent soit à MOK-F6(a) soit à MOK-F6(b) sont homogènes. On peut regrouper les faciès MOK-F6(a) et MOK-F6(b) dans un groupe de faciès bon réservoir pour la série S\_14.



**Figure C-3 : PSD des échantillons de la séquence S\_13**

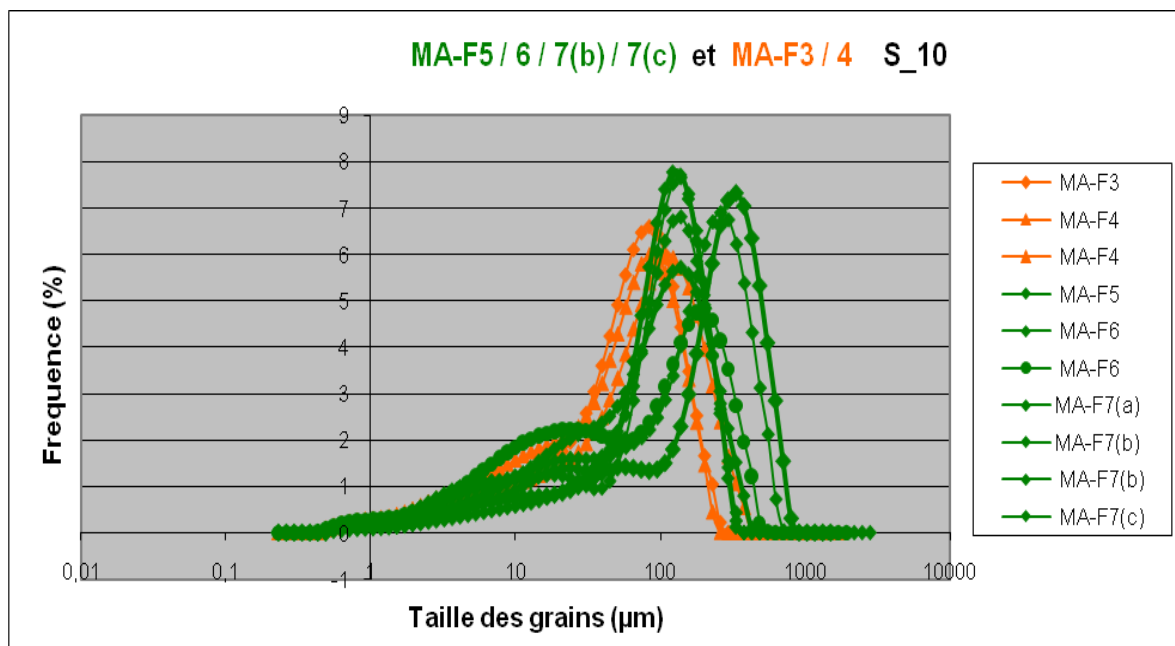
Pour le cas de S\_13, les échantillons de UA-F2 présentent des courbes PSD différentes par rapport aux autres. Ce faciès sera mis parmi les faciès considérés comme mauvais réservoir. Les courbes PSD des échantillons de UA-F6(a), UA-F6(b), UA-F6 (c) sont plus ou moins homogènes même si certaines se décalent un peu de la tendance générale. Toutefois on peut les mettre ensemble dans le groupe de faciès bon réservoir.



**Figure C-4 : PSD des échantillons de la séquence S\_11**

La figure C-4 montre que l'échantillon à faciès MA-F6 et un échantillon chacun de MA-F7(a) et MA-F7(c) ont des distributions granulométriques homogènes, leur courbe se superposent. De même pour un échantillon de MA-F7 (b) et un autre de MA-F7 (a). MA-F6, MA-F7 (a,) MA-F7(b) et MA-F7(c) peuvent donc être regroupés dans le groupe de faciès bon réservoir. Noter quand même la différence évidente des courbes de distributions granulométriques des échantillons de MA-F7(a), et aussi de MA-F7(b). La courbe PSD de l'échantillon ayant pour faciès MA-F8(a) a une tendance différentes des autres. Le doute se pose: devra-t-on mettre MA-F8(a) avec les autres faciès bon réservoir?

On ne peut rien confirmer à partir de la granulométrie.



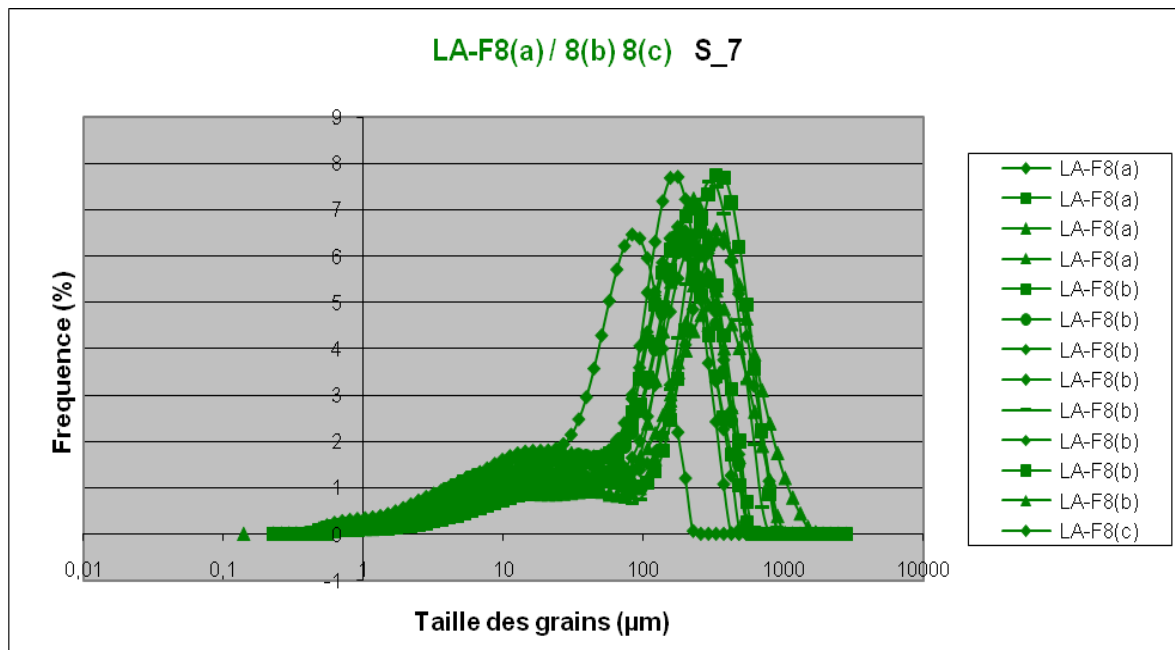
**Figure C-5 : PSD des échantillons de la séquence S 10**

Les échantillons à faciès MA-F3 et MA-F4 ont des distributions granulométriques assez semblables d'après la figure C-5. On peut les mettre ensemble dans le groupe de faciès mauvais réservoirs. Les courbes PSD des échantillons de MA-F5 et de MA-F7(c), celle d'un des échantillons de MA-F6 ainsi que celle d'un des MA-F7(b) sont assez homogènes. On peut en effet mettre ensemble ces faciès dans un groupe de faciès Bon réservoir. Mais faudra quand même noter qu'il n'y a ici qu'un seul échantillon pour chaque faciès. En outre, un autre échantillon de MA-F7(b) montre une courbe décalée par rapport à l'autre, mais présente une tendance assez proche à celle de l'échantillon de MA-F7(a). On peut aussi les regrouper.



On voit clairement sur le graphe C-7 que les courbes PSD des échantillons ayant comme faciès LA-F7, LA-F8(a), LA-F8(b), LA-F9(b) sont homogènes ayant une même tendance générale. On peut regrouper ces faciès dans le groupe des bons réservoirs comme proposées.

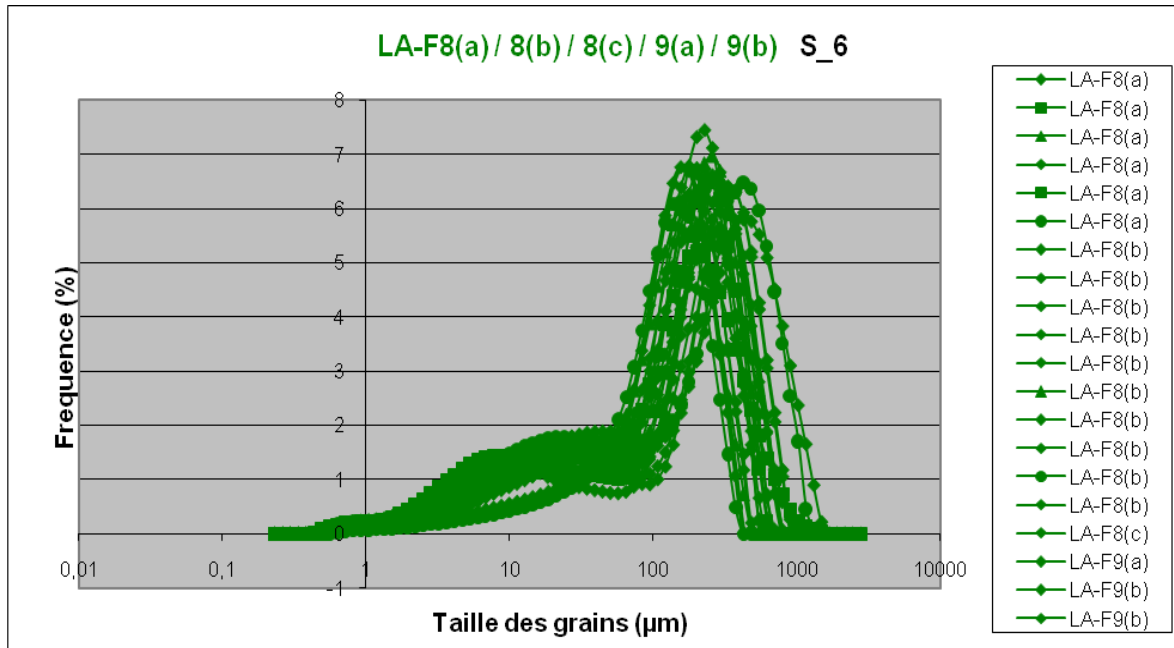
En ce qui concerne LA-F10 et LA-F11, un regroupement dans un groupe de mauvais réservoir a été proposé. Alors que sur les courbes PSD, ces deux faciès ont des distributions granulométriques très différentes. On tend alors à ne pas les regrouper mais vu qu'il n'y a que peu d'échantillons sur ces faciès, les résultats ne sont donc pas très représentatifs. On ne peut ainsi s'y fier et on ne peut rien confirmer en se basant à la distribution granulométriques.



**Figure C-8 : PSD des échantillons de la séquence S\_7**

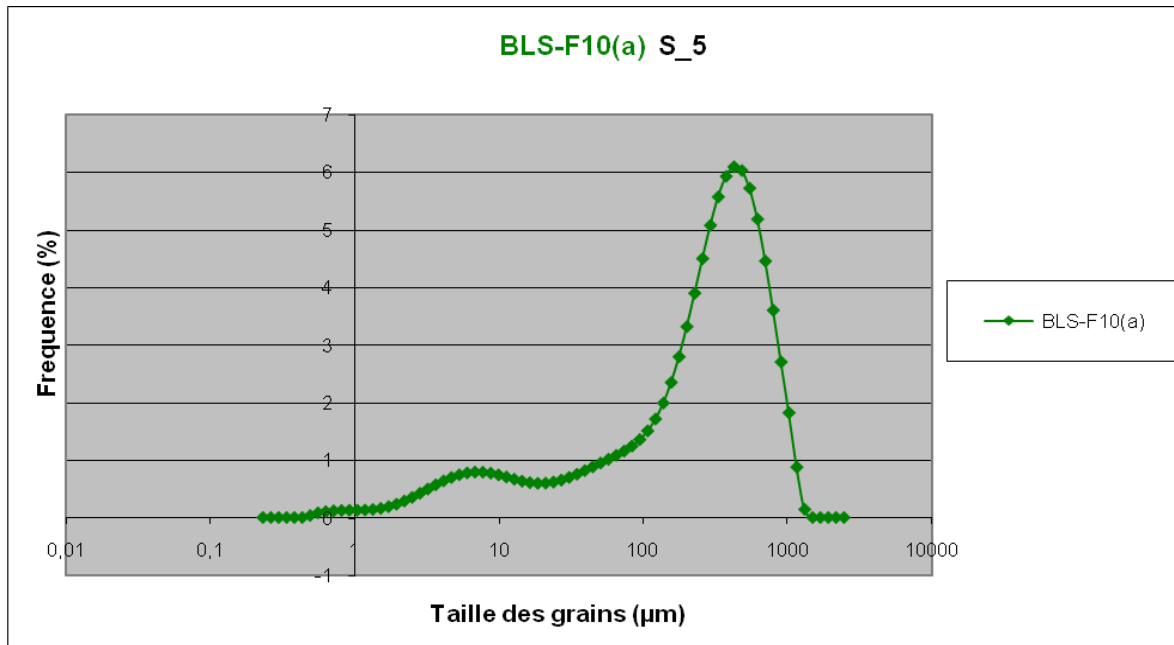
Les PSD des échantillons ayant LA-F8(a) et LA-F8(b) comme faciès se rapprochent et sont plus ou moins homogènes. On peut regrouper ces deux faciès. Par contre l'échantillon à faciès LA-F8(c) a une courbe PSD décalée des autres. La question se pose doit-on le regrouper avec LA-F8(a) et LA-F8(b)? (à voir avec les autres séquences)





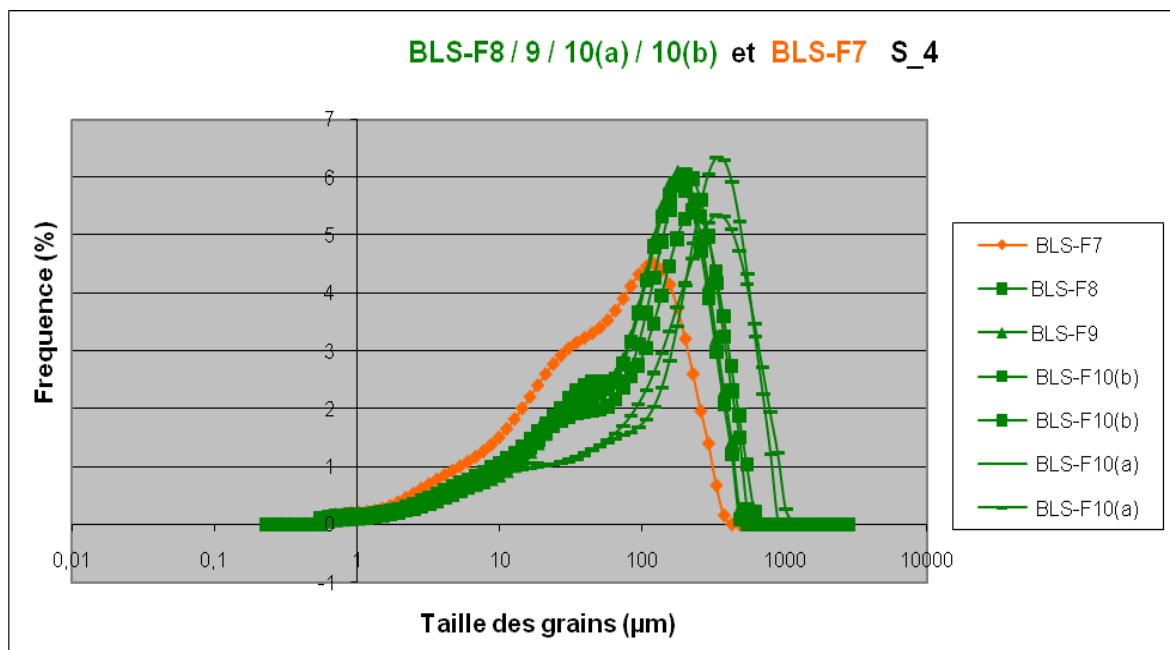
**Figure C-9 : PSD des échantillons de la séquence S\_6**

Les échantillons de LA-F8(a), LA-F8(b), LA-F8(c), LA-F9(a), et LA-F9(b) ont des PSD homogènes sur la figure C-9. Ceci confirme que tous ces faciès peuvent être regroupés dans le groupe de faciès Bon réservoir.



**Figure C-10 : PSD des échantillons de la séquence S\_5**

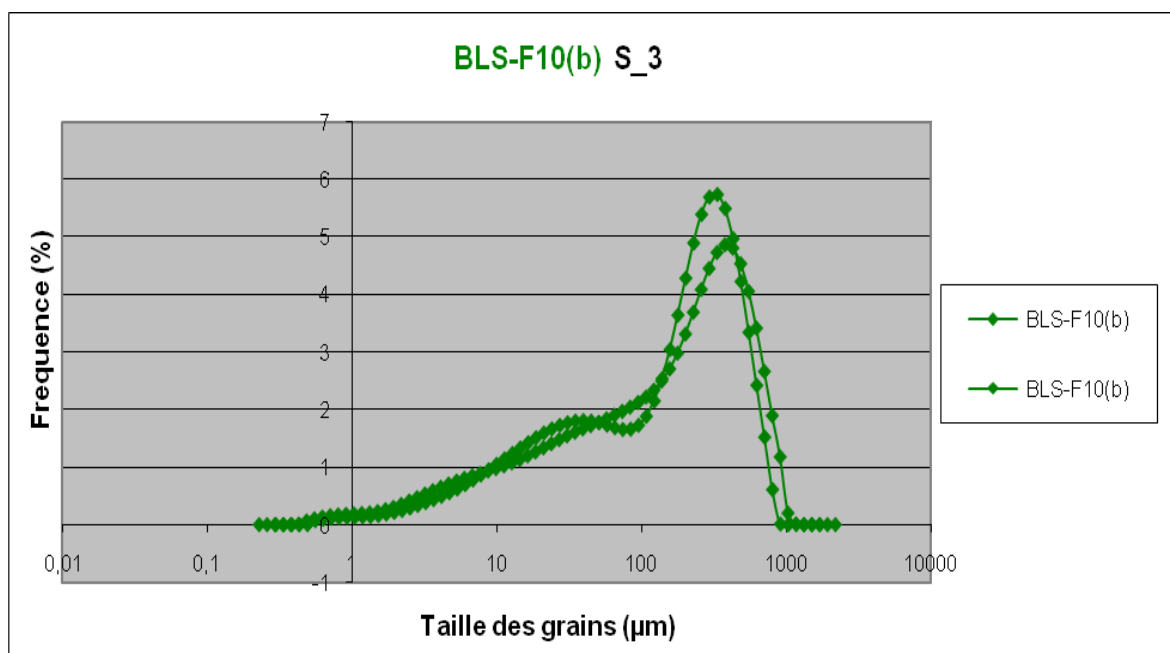
Aucun regroupement n'est possible au niveau de cette séquence S\_5 car il n'y a qu'un seul échantillon.



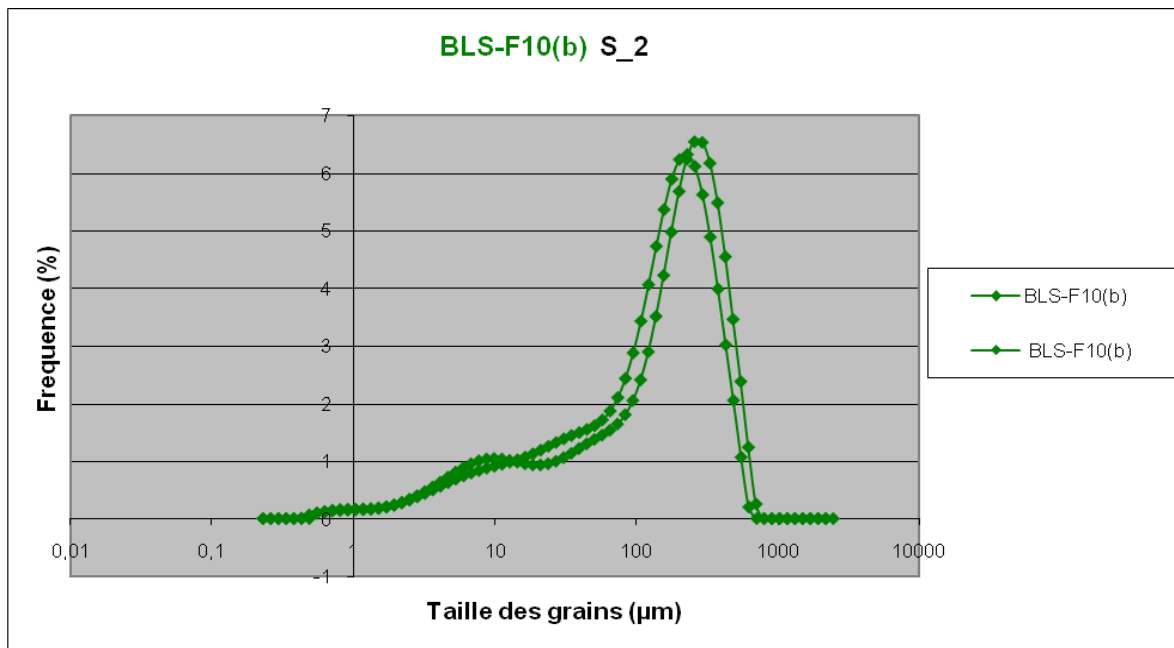
**Figure C-11 : PSD des échantillons de la séquence S\_4**

Le graphe de la figure C-11 montre que l'échantillon à faciès BLS-F7 a une courbe PSD très différente. Ce faciès appartiendra au groupe de faciès mauvais réservoir. Par ailleurs, les échantillons ayant comme faciès BLS-F8, BLS-F9, BLS-F10(b) présentent des distributions granulométriques très proches. On peut donc mettre ensemble ces faciès dans le groupe de faciès Bon réservoir. Les échantillons de faciès BLS-F10(a) ont des distributions granulométriques légèrement différentes à celles ayant comme faciès BLS-F10(b).

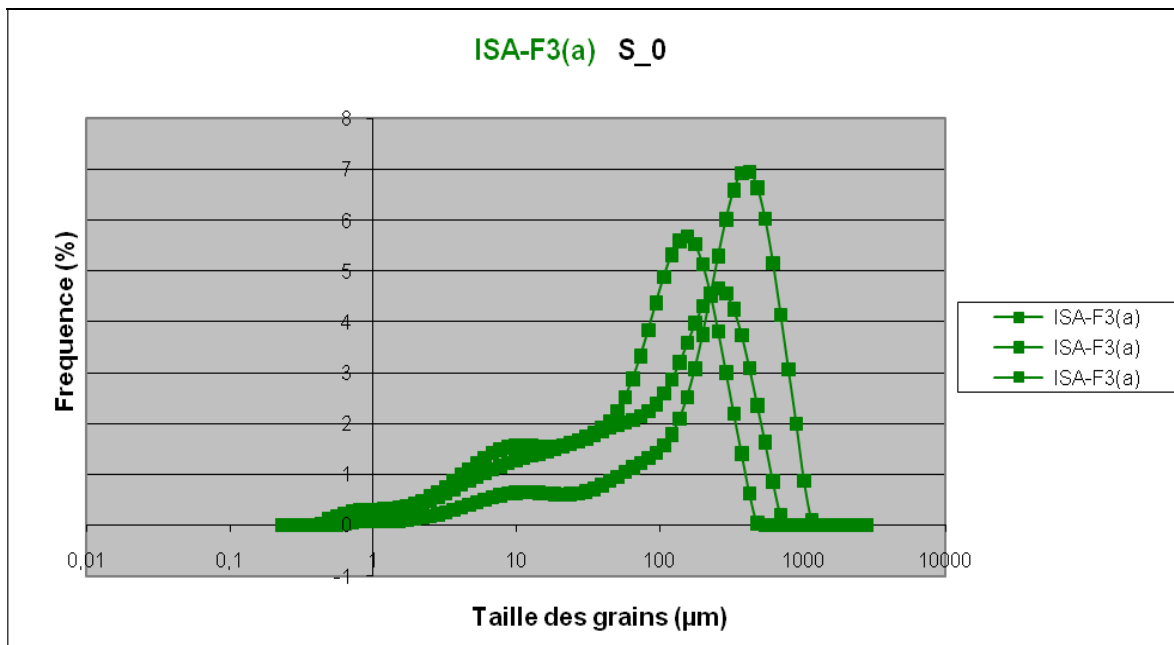
Tout de même nous allons les mettre ensemble les mettre ensemble.



**Figure C-12 : PSD des échantillons de la séquence S\_3**



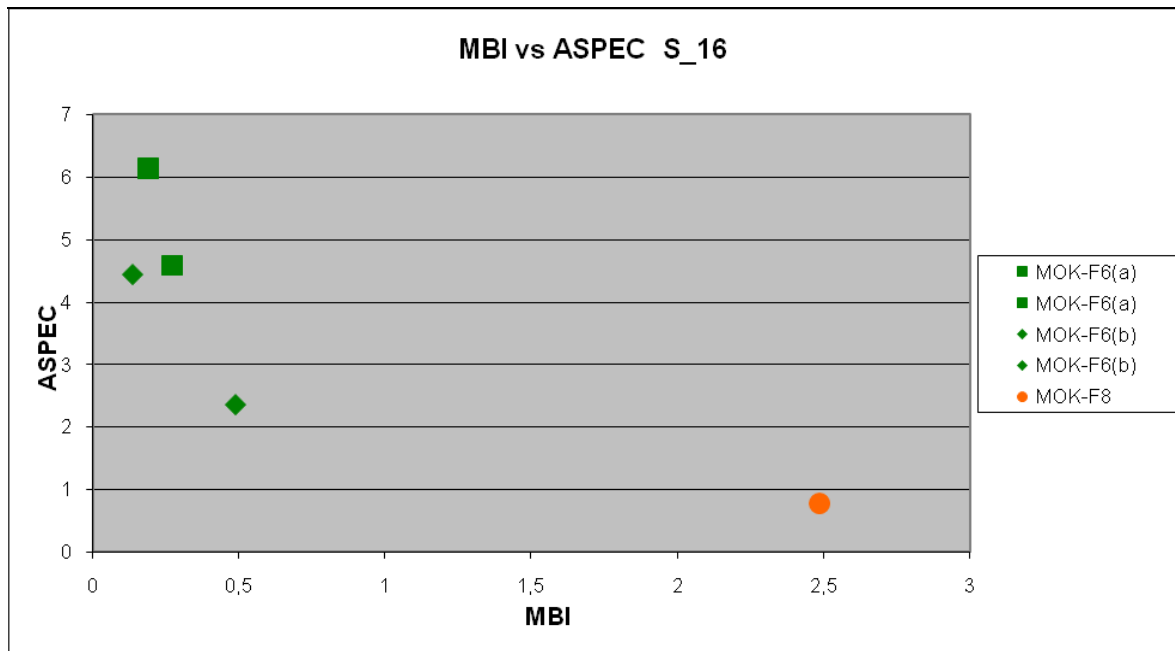
**Figure C-13 : PSD des échantillons de la séquence S 2**



**Figure C-14 : PSD des échantillons de la séquence S 0**

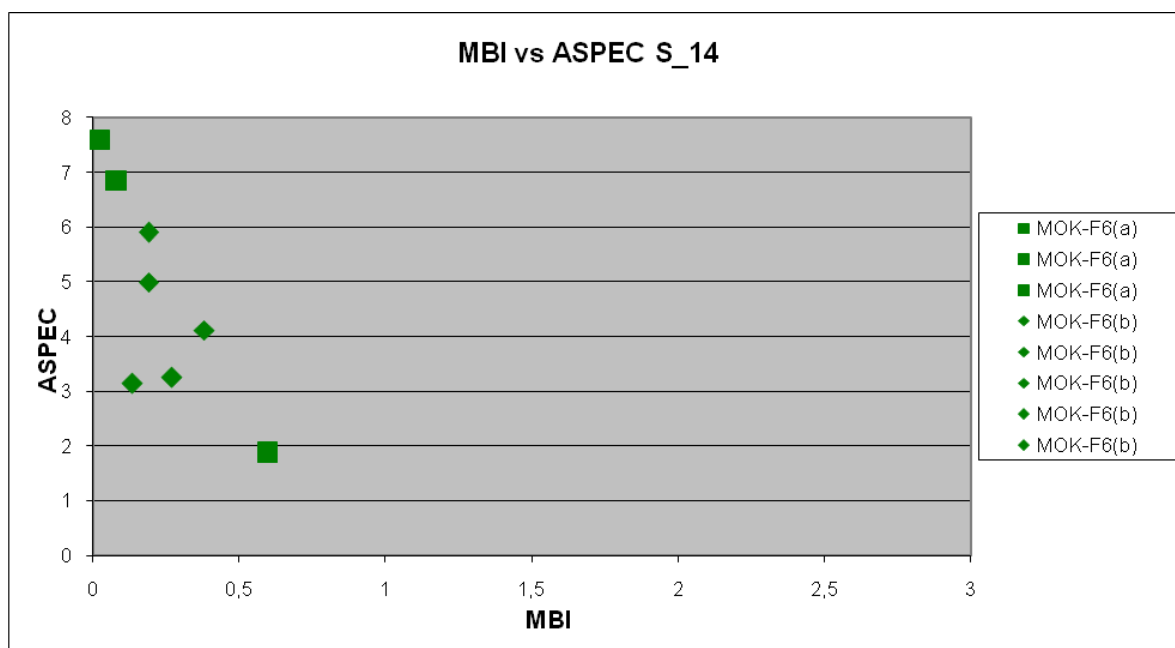
Pour ces trois dernières séquences (S\_3, S\_2, S\_0), nous ne pouvons procéder à aucun regroupement car il n'y a que deux ou trois échantillons et tous deux ou trois appartenant déjà appartenant au même faciès.

**Annexe D: Représentation des MBI et ASPEC de chaque séquence pour le  
groupement de faciès**



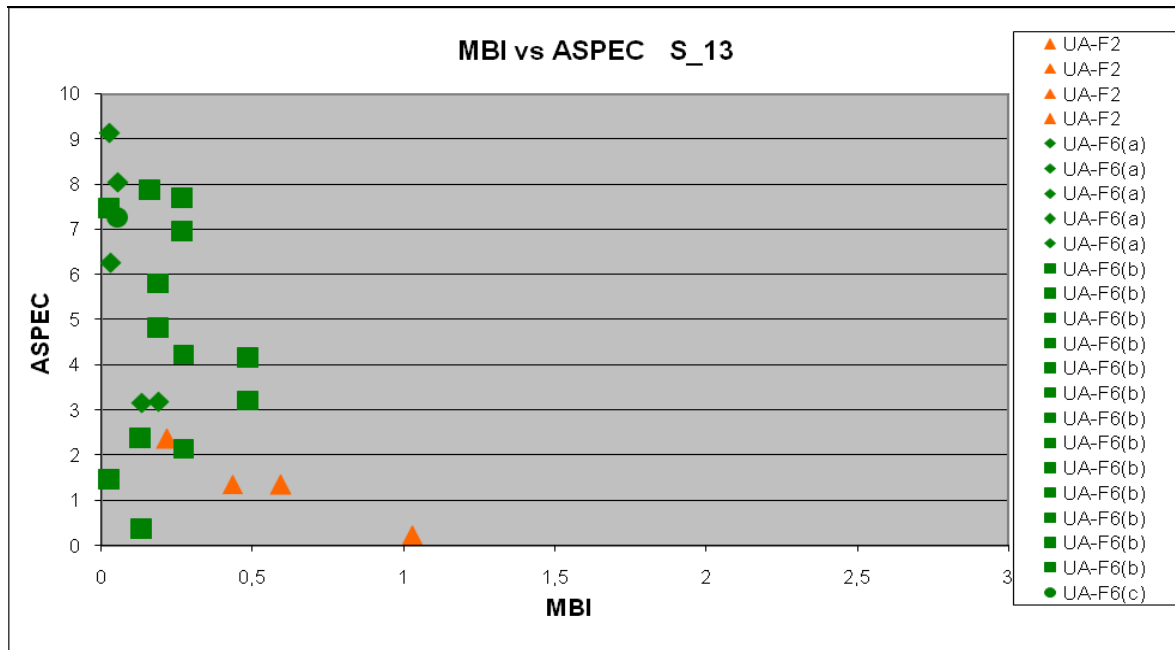
**Figure D-1 : Représentation des MBI et ASPEC des échantillons de S\_16**

La figure D-1 montre que les Faciès bon réservoir ont des MBI inférieur à 0,4 ou 0,5 et des ASPEC pratiquement bonnes. Le seul échantillon de faciès mauvais réservoir a un MBI très élevé et ASPEC très faible.



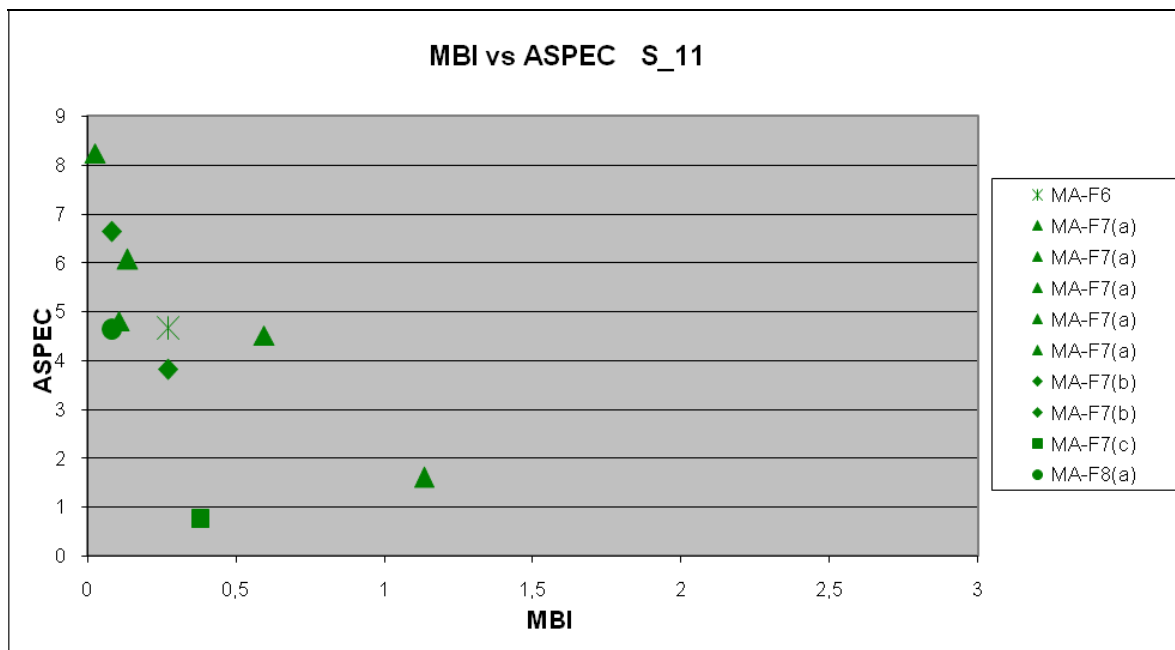
**Figure D-2 : Représentation des MBI et ASPEC des échantillons de S\_14**

Sur le graphe de la figure D-2, les échantillons à faciès bon réservoir ont des MBI inférieur à 0,4 et des ASPEC pratiquement bonnes. Toutefois un échantillon a un MBI dépassant 0,4 avec un ASPEC faible.



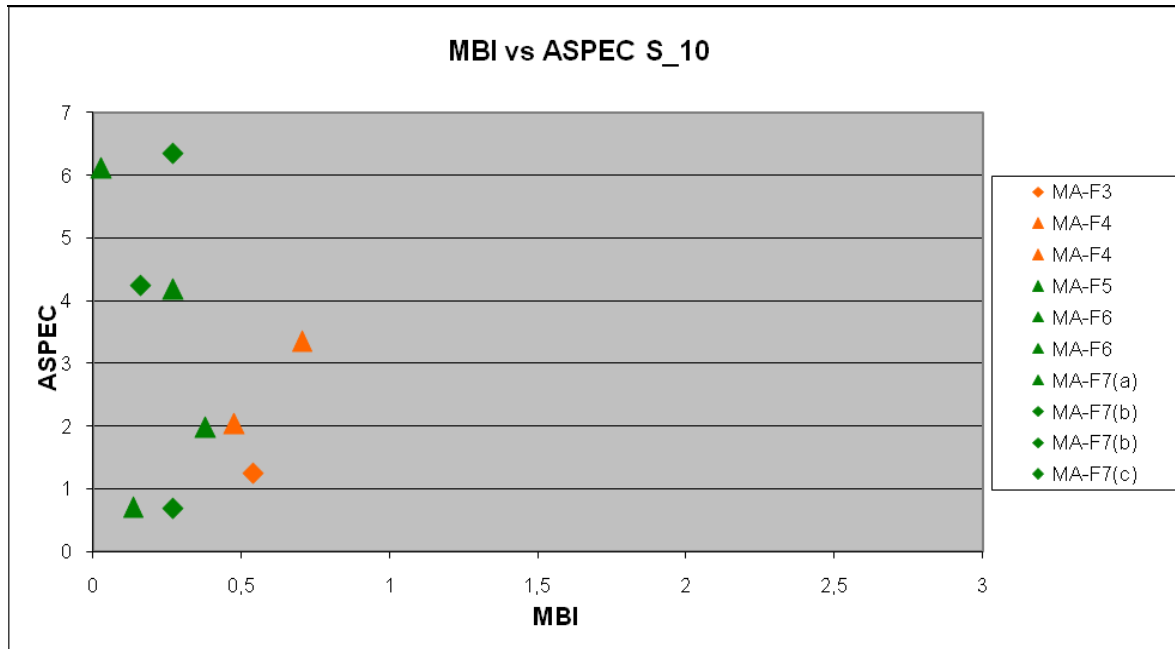
**Figure D-3 : Représentation des MBI et ASPEC des échantillons de S 13**

Pour la séquence S\_13, la majorité des échantillons de Bon réservoir ont un MBI<0,4 avec ASPEC allant de très faibles à très bons. Mais deux échantillons ont des MBI>0,4. Trois échantillons des mauvais réservoirs ont des MBI>0,4 et ASPEC faibles tandis qu'un autre présente un MBI faible mais n'arrive pas à atteindre un ASPEC assez important.



**Figure D-4 : Représentation des MBI et ASPEC des échantillons de S 11**

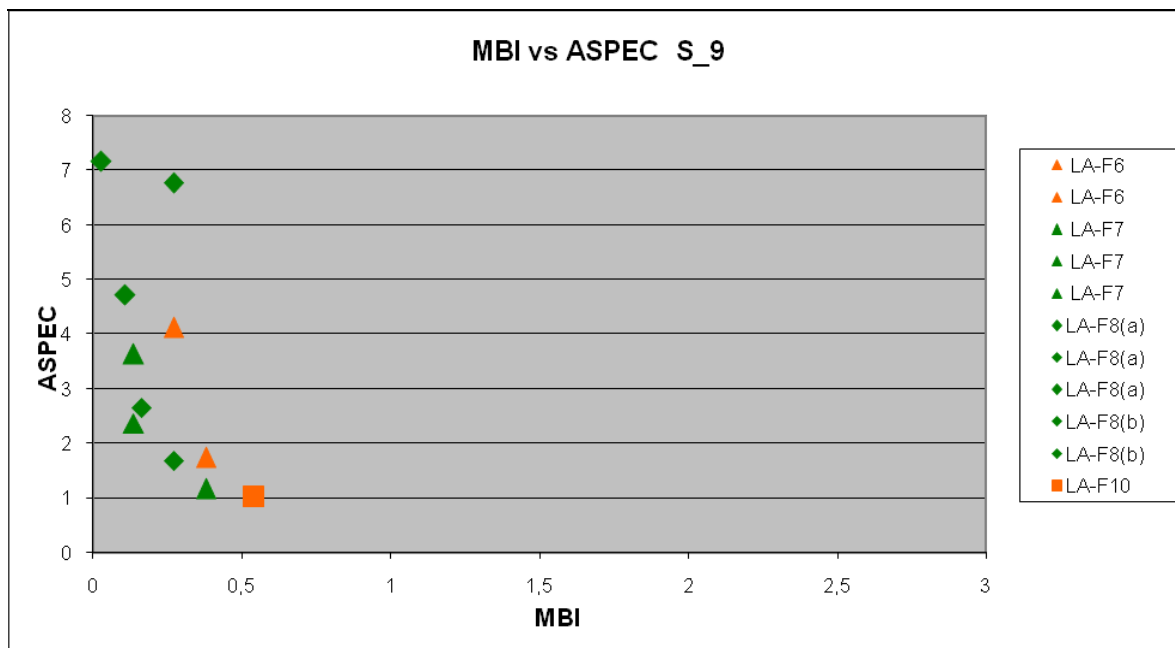
Un des échantillons censé être bon réservoir a un MBI assez important(1,13) avec un ASPEC faible pour le cas de S\_11. Un autre a aussi un MBI dépassant 0,5 mais l'ASPEC n'est pas désespérant. Les autres échantillons ont des MBI<0,4 avec ASPEC élevés sauf un avec un ASPEC très faible.



**Figure D-5 : Représentation des MBI et ASPEC des échantillons de S 10**

Faciès Bon réservoir et mauvais réservoirs se distinguent bien sur la figure D-5:

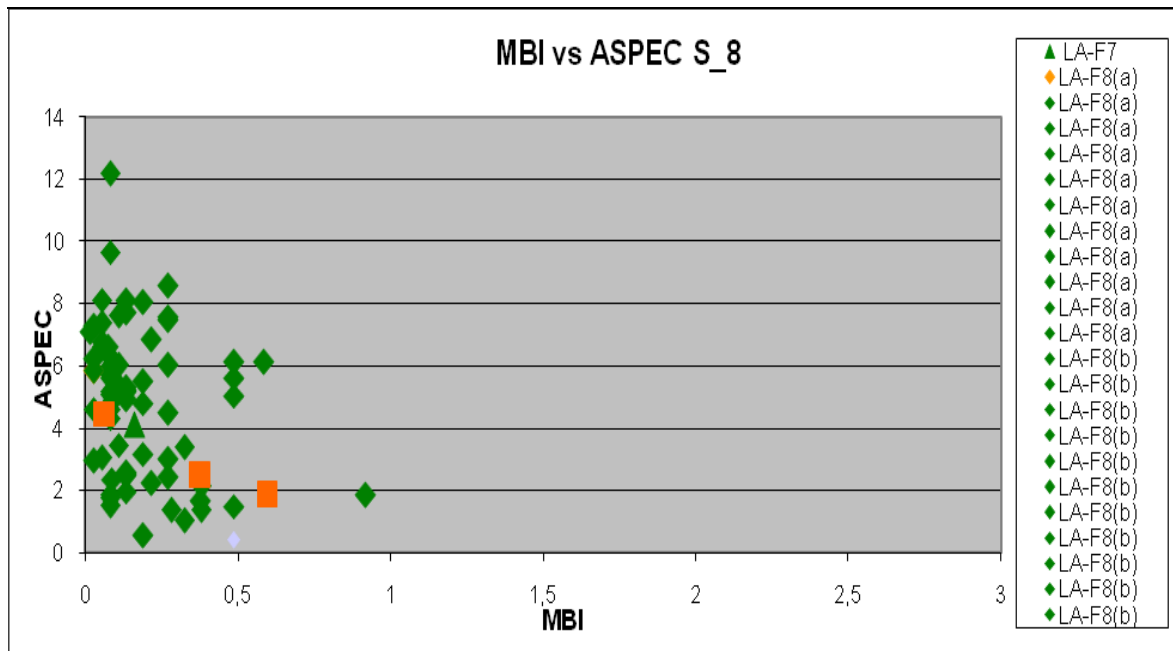
- Les Bons réservoirs ont des MBI <0,4 et ASPEC bonne sauf pour trois échantillons.
- Les Mauvais réservoirs ont des MBI>0,4 avec ASPEC pratiquement faibles.



**Figure D-6 : Représentation des MBI et ASPEC des échantillons de S 9**

-Les faciès bons réservoirs ont des MBI inférieur à 0,4, mais pour certains échantillons les ASPEC sont faibles.

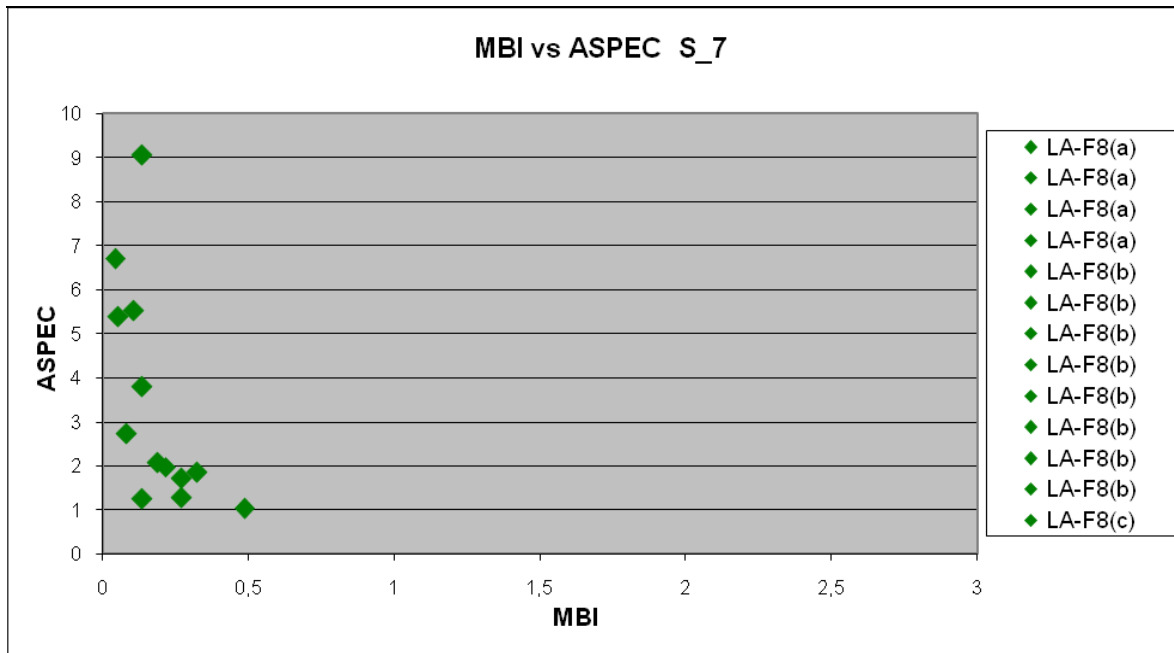
-Deux échantillons de faciès mauvais réservoir se confondent avec ceux des bons réservoirs (MBI faible). Seul un échantillon a un MBI > à 0,5 et ASPEC très faible.



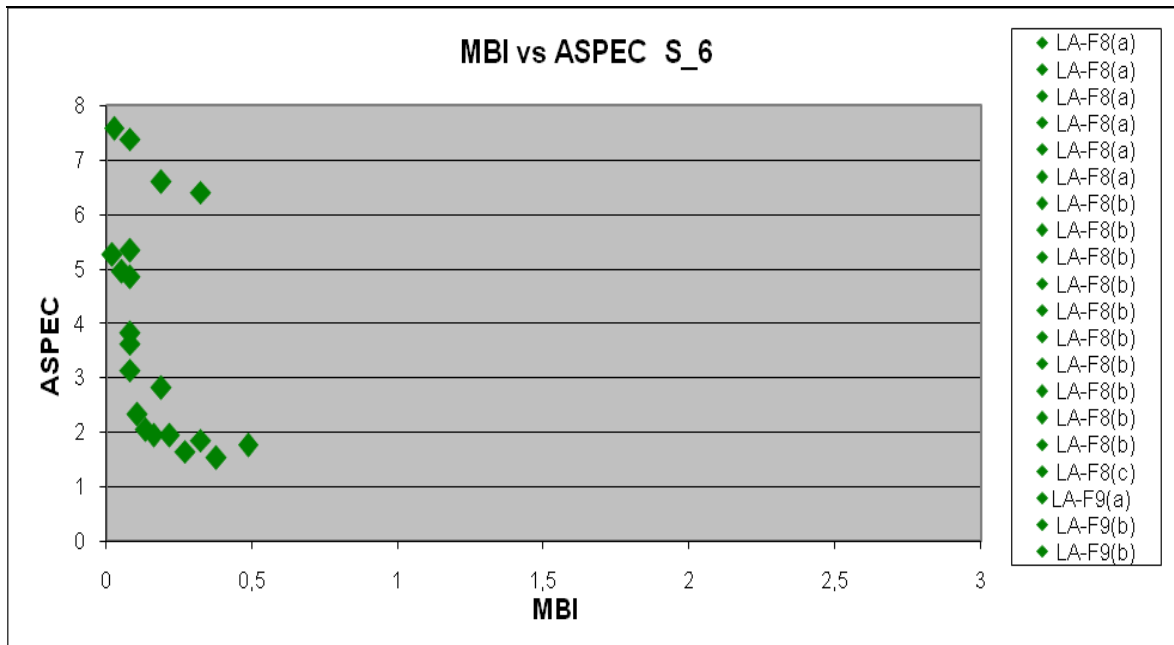
**Figure D-7 : Représentation des MBI et ASPEC des échantillons de S 8**

Cette figure montre deux échantillons de faciès bon réservoir qui ont des MBI dépassant 0,5, l'un avec ASPEC faible, l'autre à ASPEC bonne.

Deux échantillons de faciès mauvais réservoirs ont des MBI inférieur à 0,5, l'un avec ASPEC faible, l'autre à ASPEC assez bonne. Toutefois, il n'y a que peu d'échantillons sur ces faciès mauvais réservoirs, ainsi on ne peut rien affirmer.



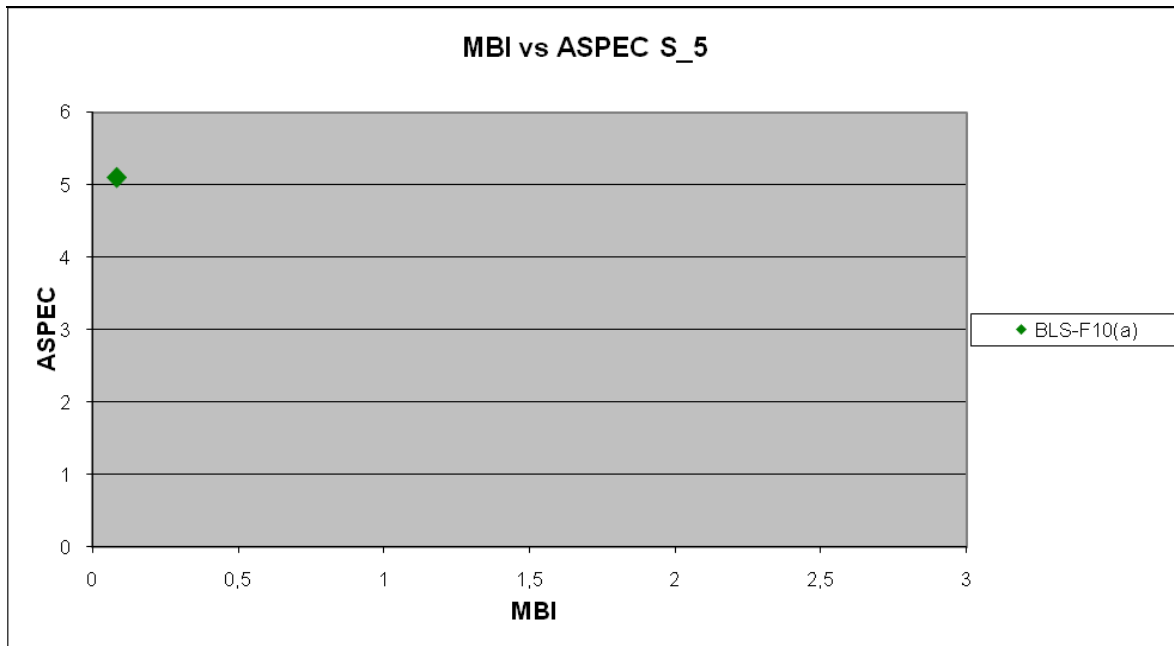
**Figure D-8 : Représentation des MBI et ASPEC des échantillons de S 7**



**Figure D-9 : Représentation des MBI et ASPEC des échantillons de S 6**

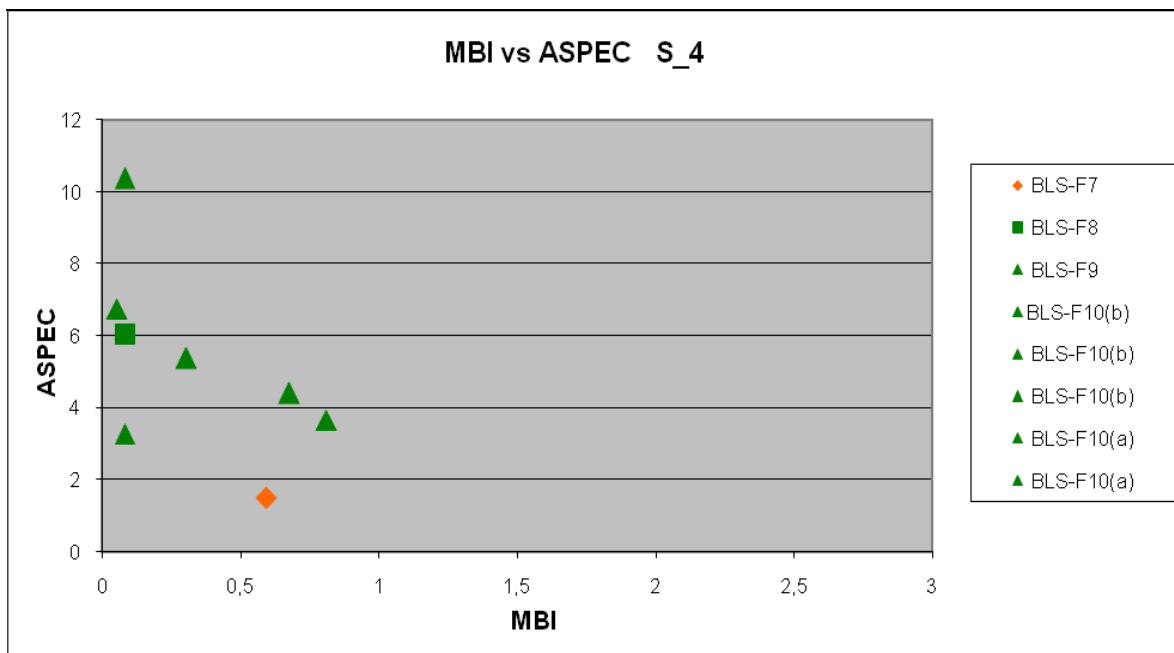
Les échantillons sur ces deux figures D-8 et D-9 ont tous des MBI faibles (<0,5). Mais certains échantillons, même avec MBI faibles, ont des ASPEC faibles.





**Figure D-10 : Représentation des MBI et ASPEC des échantillons de S\_5**

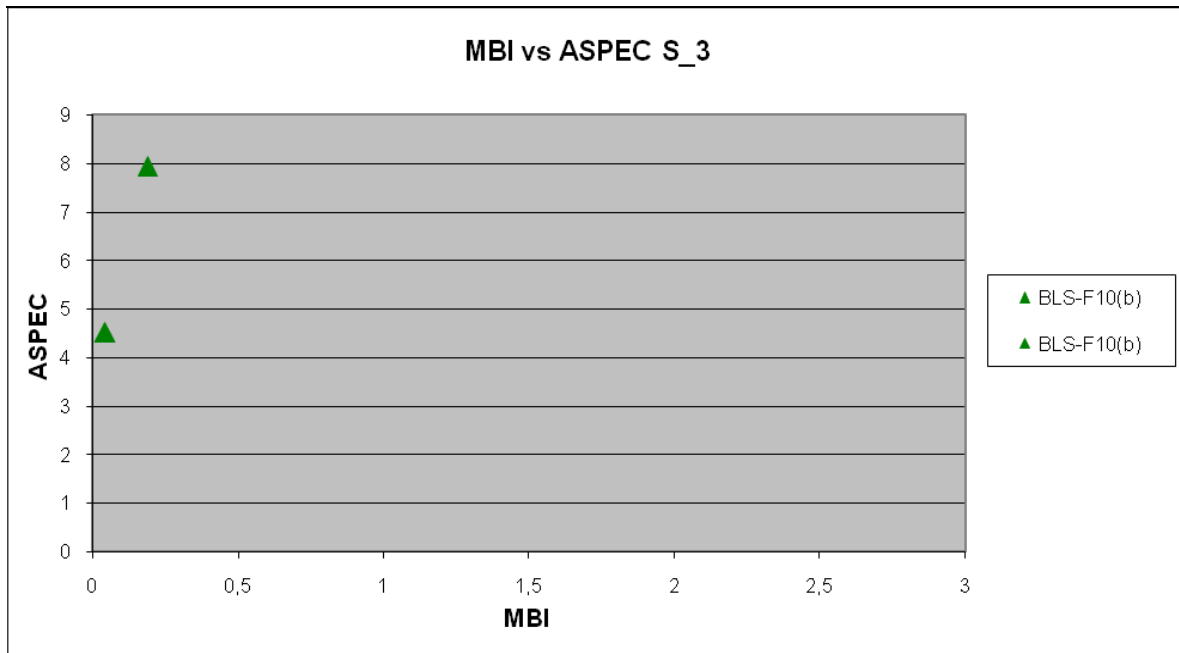
L'échantillon de S\_5 appartient au faciès bon réservoir et a un MBI très faible avec un ASPEC pratiquement bonne.



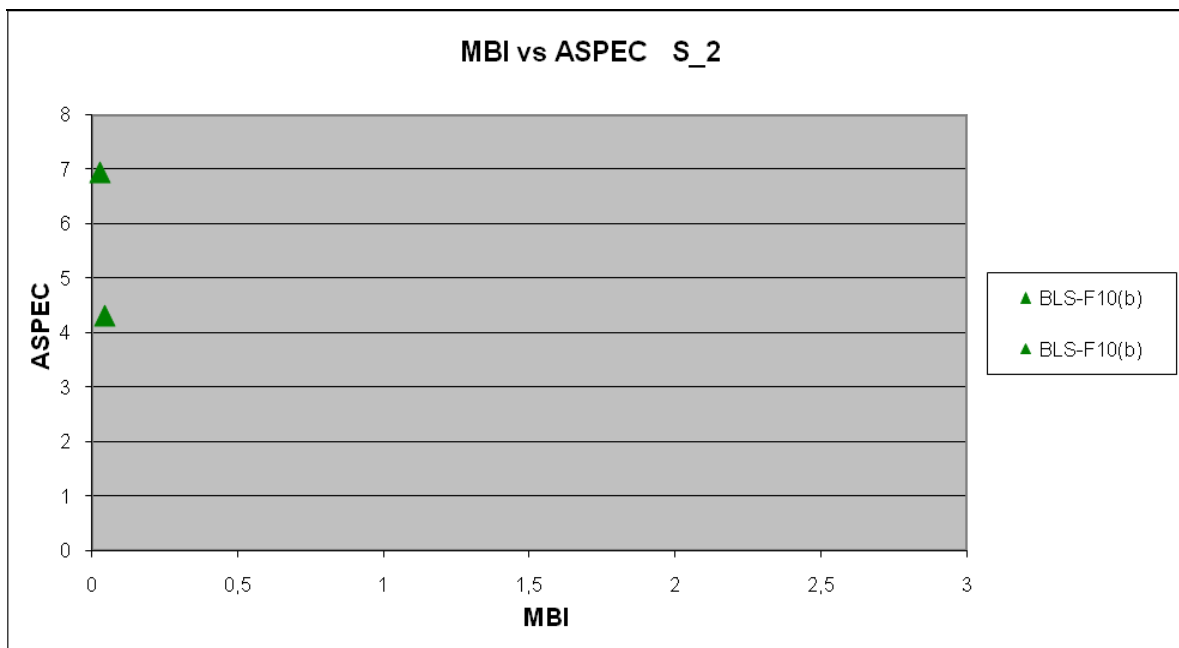
**Figure D-11 : Représentation des MBI et ASPEC des échantillons de S\_4**

Pour le cas de S\_4, il y a deux échantillons de bon réservoir présentant des MBI commençant à s'élever (largement supérieur à 0,4 ou 0.5) et ASPEC pas très faibles. Les autres ont des MBI<0,4.

Il n'y a qu'un seul échantillon à faciès mauvais réservoir mais déjà il a un MBI > à 0,5 avec un ASPEC médiocre.

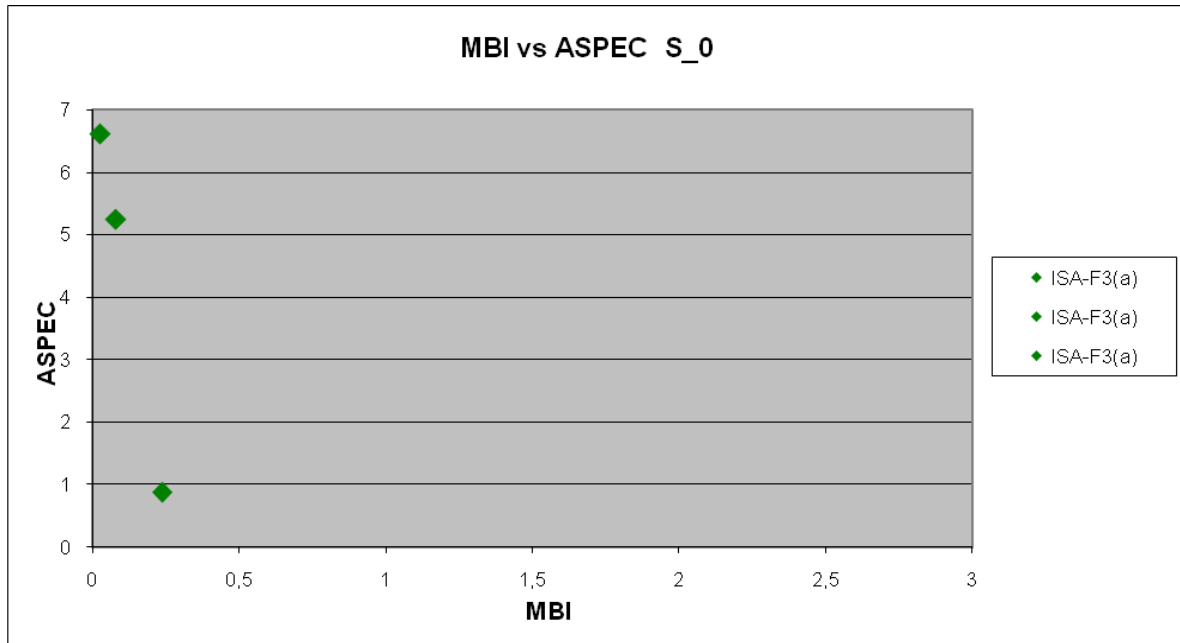


**Figure D-12 : Représentation des MBI et ASPEC des échantillons de S\_3**



**Figure D-13 : Représentation des MBI et ASPEC des échantillons de S\_2**

Les échantillons des séquences S\_3 et S\_2 appartiennent au groupe de bon réservoir et ont des MBI faibles, des ASPEC pratiquement bonnes.



**Figure D-14 : Représentation des MBI et ASPEC des échantillons de S\_0**

Les faciès bon réservoir de S\_0 ont des MBI très faible à faible et des ASPEC pratiquement bonnes sur deux échantillons mais très faibles sur un échantillon.

**Annexe E: Tableaux détaillant le calcul de la valeur limite de MBI entre  
Bon Réservoir et Mauvais Réservoir**

Si  $MBI_{lim} = 0,3$  %

BR	nbre<0,3	208	80,93
	nbre tot	257	
MR	nbre>0,3	18	75,00
	nbre tot	24	
%moy	77,97		
Erreur	0,22033		

Si  $MBI_{lim} = 0,4$  %

BR	nbre<0,4	230	89,49
	nbre tot	257	
MR	nbre>0,4	16	66,67
	nbre tot	24	
%moy	78,08		
Erreur	0,21920		

Si  $MBI_{lim} = 0,5$  %

BR	nbre<0,5	240	93,39
	nbre tot	257	
MR	nbre>0,5	14	58,33
	nbre tot	24	
%moy	75,86		
Erreur	0,24141		

Si  $MBI_{lim} = 0,6$  %

BR	nbre<0,6	245	95,33
	nbre tot	257	
MR	nbre>0,6	9	37,50
	nbre tot	24	
%moy	66,42		
Erreur	0,33585		

Avec :

nbre< x : nombre d'échantillons ayant un taux d'argilosité (MBI) inférieur à x  
 nbre>x : nombre d'échantillons ayant un taux d'argilosité (MBI) supérieur à x  
 nbre tot : nombre total des échantillons pour un groupe

$$\%BR = (nbre<x) \cdot 100 / nbre\ tot$$

$$\%MR = (nbre>x) \cdot 100 / nbre\ tot$$

$$\%moy = (\%BR + \%MR) / 2$$

$$Erreur = (100 - \%moy) / 100$$

**Annexe F: Détails des calculs des valeurs maximales d'Argiles et de Silts**  
**pour chaque groupe**

		<b>BR</b>	<b>MR</b>	<b>NR</b>
<b>ARGILE</b>	Max	12,449471	16,677618	8,947228
	Min	0,342227	2,839717	8,06385
	Moy	5,10331518	7,207434533	8,505539
	Lim Argile %	<b>8,77639309</b>	<b>11,94252627</b>	<b>8,7263835</b>
	Nombre d'échantillons respectant la limite	509	70	1
	Effectif % erreur	98,64341085 0,013565891	93,33333333 0,066666667	50 0,5
<b>SILT</b>	Max	58,03758	70,862863	53,703559
	Min	7,41882	20,536689	36,262032
	Moy	31,18832941	42,54202315	44,9827955
	Lim Silt %	<b>44,6129547</b>	<b>56,70244307</b>	<b>49,34317725</b>
	Nombre d'échantillons respectant la limite	500	67	1
	Effectif % erreur	96,89922481 0,031007752	89,33333333 0,106666667	50 0,5
<b>Somme</b>	Lim Argile+Silt %	<b>53,38934779</b>	<b>68,64496934</b>	<b>58,06956075</b>
	Effectif erreur	97,6744186 0,023255814	94,66666667 0,053333333	50 0,5

**Effectif total**

516

75

2

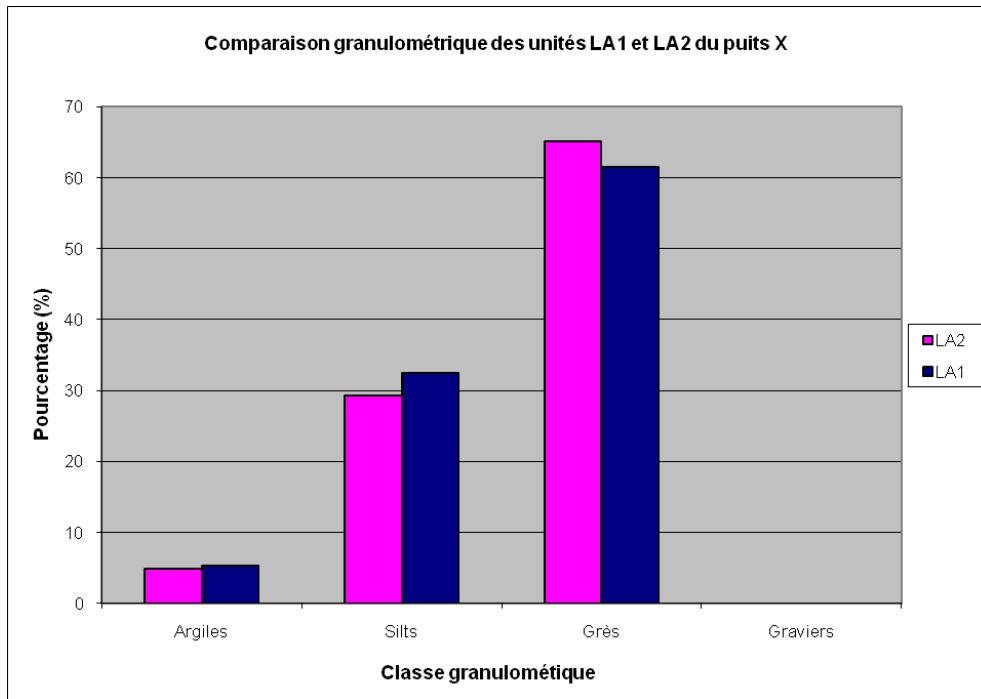
Avec :

$$\text{Limite} = (\text{Max} + \text{Moy}) / 2$$

$$\text{Effectif \%} = (\text{nombre d'échantillons du groupe respectant la limite} * 100) / \text{Effectif total}$$

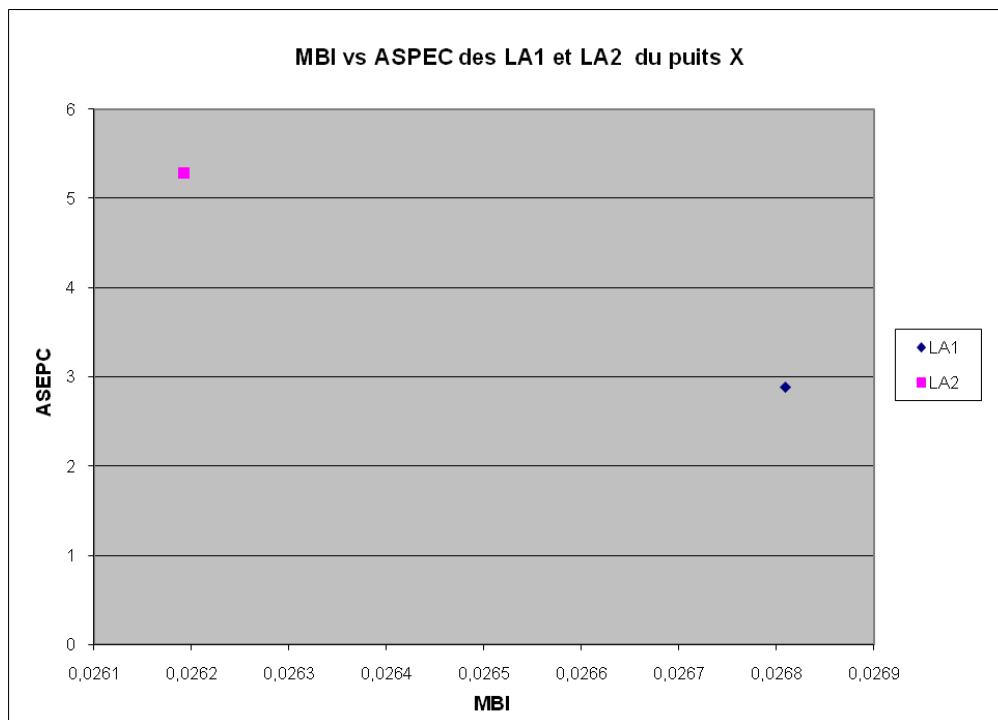
$$\text{Erreur} = (100 - \text{Effectif\%}) / 100$$

**Annexe G: Comparaison à l'échelle d'un puits des caractéristiques  
pétrophysiques de LA1 et LA2**



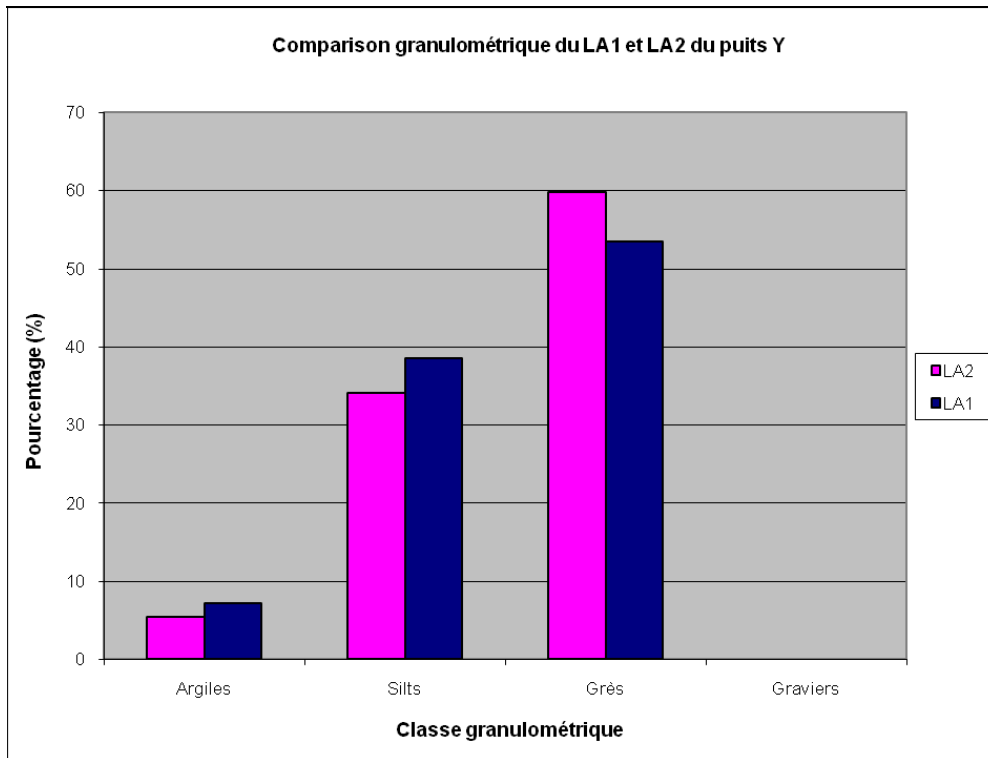
**Figure G-1 : Comparaison des granulométries de LA1 et LA2 au sein d'un puits X**

LA2 a moins de grains de classe argile et silt par rapport à LA1. Par contre, LA1 a moins de grès par rapport à LA2.



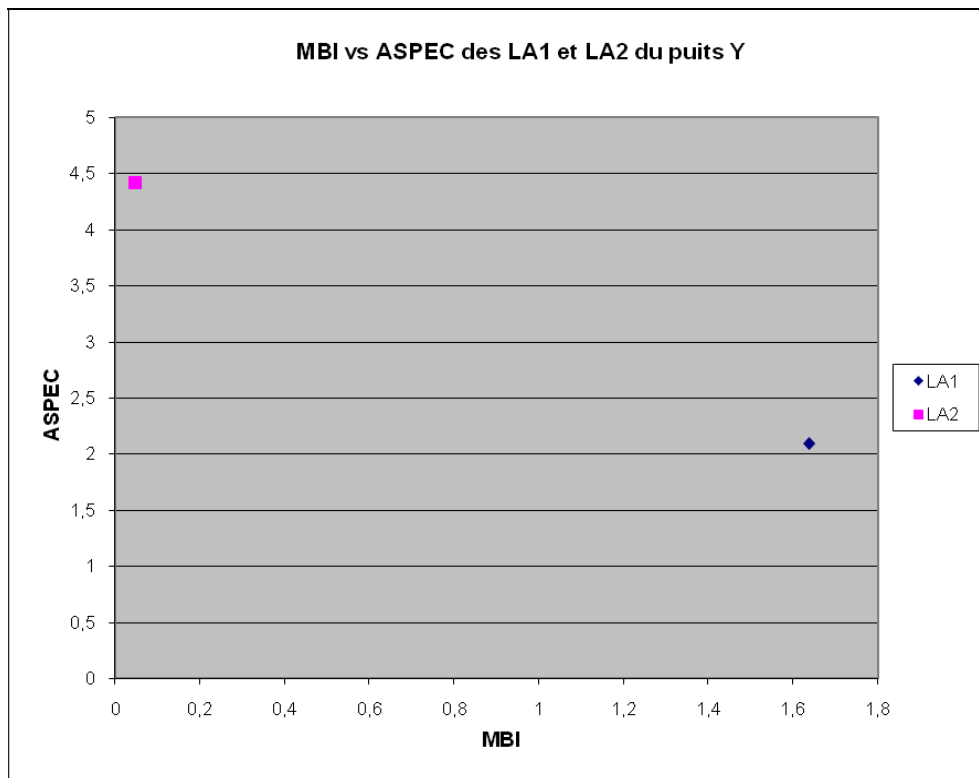
**Figure G-2 : Comparaison des MBI et ASPEC de LA1 et LA2 au sein d'un puits X**

LA2 est plus imprégné avec un taux d'argilosité plus faible en comparaison avec LA1.



**Figure G-3 : Comparaison des granulométries de LA1 et LA2 au sein d'un puits Y**

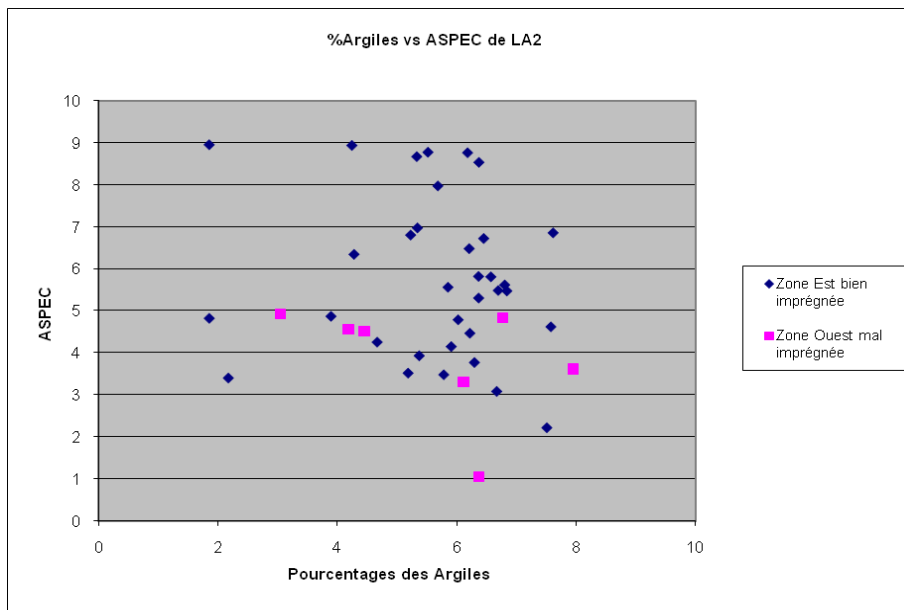
Les proportions d'argiles et de Silt sont plus élevées pour LA1, tandis que LA2 a la proportion plus grande de grès.



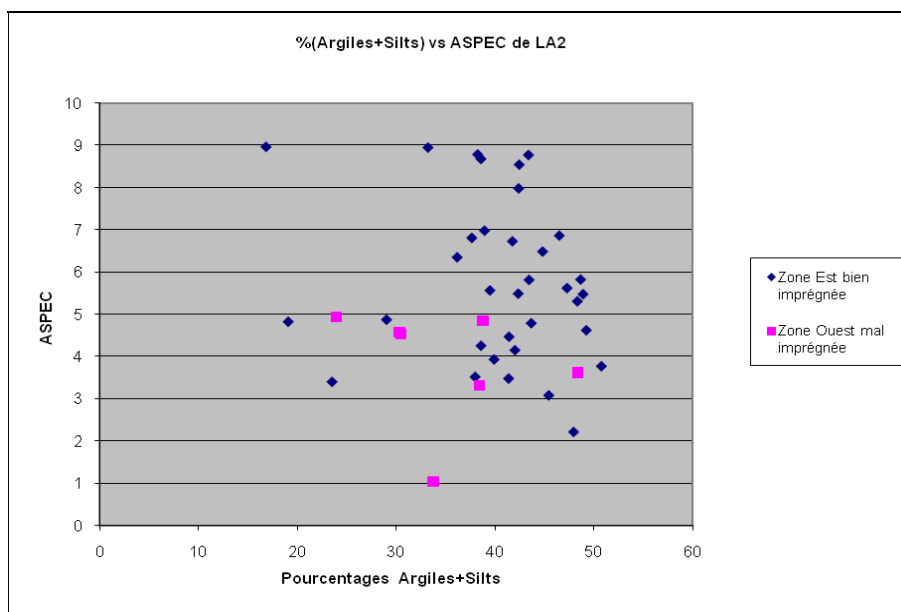
**Figure G-4 : Comparaison des MBI et ASPEC de LA1 et LA2 au sein d'un puits Y**

LA1 a une plus faible imprégnation et un plus grand taux d'argilosité par rapport à LA2.

**Annexe H: Comparaison des caractéristiques pétrophysiques des deux zones**  
**Est et Ouest au niveau de LA2**

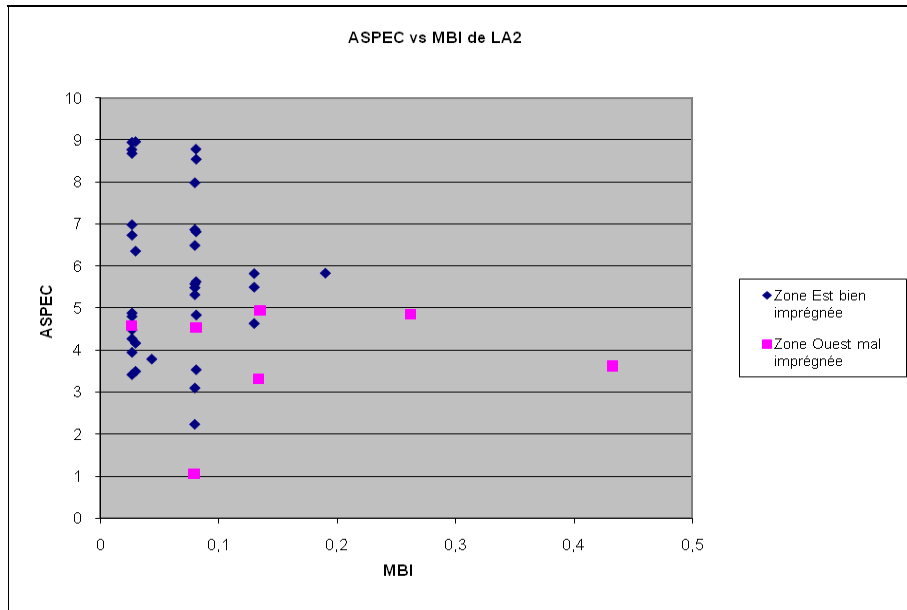


**Figure H-1 : Comparaison des pourcentages d'Argiles et des ASPEC des deux zones Est et Ouest au niveau de LA2**



**Figure H-2 : Comparaison des pourcentages des (Argiles+Silts) et des ASPEC des deux zones Est et Ouest au niveau de LA2**





**Figure H-3 : Comparaison des MBI et des ASPEC des deux zones Est et Ouest au niveau de LA2**

Les pourcentages d'Argiles, de Silts et le taux d'argilosité des deux zones Est et Ouest au niveau de LA2 ne sont pas différentes selon les figures H-1, H-2, H-3.