

N° Ordre ...../Faculté/UMBB/2017

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
**UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES**



FACULTE DES HYDROCARBURES ET DE LA CHIMIE

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme

**MASTER**

Présenté par :

**MOKHBI OUSSAMA**

**HASROURI BRAHIM**

Filière : Hydrocarbures

Option : Géologie Pétrolière

***Thème***

---

**Etude pétrographique et diagénétique du silurien Argilo-gréseux et  
impact sur les résistivités, dans le bassin de Berkine Est.**

---

Devant le jury :

Mr. Asses Amar

MC(B) président de jury

Mme. Yasbaa.S

MC(B) examinatrice

Mr. Belhadi Ahmed

MC(B) examinateur

Mr. Zellouf.K

MC(B) encadreur

Mme. Samar.L

ingénieure Sonatrach

Année Universitaire : 2016/2017

*Je dédie ce modeste travail :*

✚ *A ma très chère mère et à mon père qui ont Beaucoup sacrifié avant de voir le fruit de leur éducation ;*

✚ *A mes chers frères : Yacer, Yacine, Younes;*

✚ *A ma très chères sœur : Esma ;*

✚ *A tous les membres de ma famille;*

✚ *A tous ceux qui sont proches de moi Avec les quelles j'ai partagé les meilleurs moments de ma vie ;*

✚ *A tous les amis que j'ai connus dans ma vie ;*

**MOKHBI OUSSAMA**

## *Dédicaces*

*À mes chers parents*

*À mes très chères sœurs et frères*

*À mon cousin et mon ami d'enfance Tarek*

*À ma grande famille et tous mes amis*

*B.A.H.G*

*Louange tout d'abord à Dieu qui ma a donné la force*

*Pour terminer ce modeste travail.*

*Toute notre infinie gratitude à notre promoteur, Monsieur*

*ZELLOUF. K pour son encadrement et ses aides*

*Précieuses.*

*Nos vifs remerciements s'adressent d'abord, à tous les travailleurs de  
division Technologie et développement Sonatrach et particulièrement*

*MADAME Luiza SAMAR, Chahra et F.Samira qui nous ont beaucoup  
aidés.*

*Nous remercions aussi les membres du jury qui nous ont fait l'honneur  
d'accepter le jugement de notre travail.*

*Notre sincère reconnaissance à nos enseignants du Département :  
gisements minières et pétroliers.*

*Enfin nous remercions nos parents et tous ceux qui ont contribués de près  
ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail,*

*Qu'ils Trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude et*

*Profond respect.*

*Merci à tous*

# Sommaire

Introduction générale.....	1
Historique des travaux de recherché.....	2

## Chapitre I

I. Situation géographique du bassin de Berkine.....	4
II. Cadre géologique .....	5
III. Aperçu stratigraphique.....	6
1. Le Paléozoïque:.....	6
1.2. Le Cambrien:.....	6
1.3. L'Ordovicien:.....	6
1.4. Le silurien: .....	7
1.5. Le Dévonien: .....	7
1.6. Le Carbonifère.....	7
2. Le Mésozoïque .....	7
2.2. le Trias:.....	7
2.3. le Jurassique: .....	8
2.4. Le Crétacé .....	8
3. Le Cénozoïque.....	8
IV. Cadre structurale: .....	9
1. Introduction:.....	9
2. Les phases de déformations et les structures résultantes : .....	10
2.1. une direction d'accidents Est-Ouest: .....	10
2.2. une direction d'accidents NE-SW: .....	10
3. Histoire paléostructurale du bassin: .....	11
3.1 L'orogénèse panafricaine et son contrôle sur la structuration du bassin de Berkine: .....	12
3.2 L'effet des phases calédoniennes et hercyniennes.....	12
3.2.1 Les mouvements calédoniens :.....	12

3.2.2	la phase hercynienne .....	12
3.3	Les mouvements mésozoïque et cénozoïque:.....	12
3.3.1	Trias-Jurassique: ouverture de l'atlantique et étirement de la dalle saharienne. ....	12
3.3.2	la période compressive Crétacé-Tertiaire: .....	13
3.3.2.1	Crétacé inférieur: l'ouverture de l'atlantique sud et la phase autrichienne.....	13
3.3.2.2	Crétacé supérieur-cénozoïque: la collision des continents Afrique et Eurasie et l'orogénèse alpine.....	13
V.	Système pétrolier .....	15
1.	Les Roches mères.....	15
2.	Les Roches réservoirs.....	15
2.1	Le Trias.....	15
2.1.1	Le TAGS (Trias Argilo-Gréseux Supérieur): .....	15
2.1.2	Le Trias carbonate: .....	15
2.1.3	Le TAGI (TriasArgilo-GréseuxInférieur).....	15
2.2	Le Carbonifère.....	15
2.3	Le Dévonien inférieur.....	15
2.4	Le Silurien .....	15
2.5	L'Ordovicien .....	16
2.6	Le Cambrien .....	16
3.	Les Roches Couvertures.....	16
4.	Type de piège.....	16

## Chapitre II

I.	Présentation de la zone d'étude et positions des puits .....	17
1.	Localisation .....	17
1.1.	Le puits HBNEP-1 .....	17
1.2.	Le puits HBNP-1.....	17
2.	Contexte structurale.....	19
3.	Aperçu lithostratigraphique (Fig. 12).....	22
3.1.	Le Silurien .....	22
4.	résultats des analyses diagraphiques .....	23
4.1.	Définition des diagraphies.....	23

4.2.	La résistivité .....	23
4.3.	LA QUALITE DE L'ELECTROLYTE : .....	23
4.4.	LA QUANTITE ET LE MODE DE DISTRIBUTION DE L'ELECTROLYTE : .....	23
4.5.	Les constituants solides de la roche.....	24
5.	Exemple du bassin de Berkine Est : puits HBNP-1:.....	24
	-Conclusion: .....	28

## Chapitre III

I.	Introduction : .....	29
II.	Etude Pétrographique:.....	29
1.	Etude pétrographique de l'Unité M2 (puits HBNEP-1):.....	31
1.1.	les constituants détritiques : .....	31
1.1.1.	le quartz (SiO <sub>2</sub> ): .....	31
1.1.2.	Les micas .....	31
1.1.3.	Les minéraux Lourds .....	32
1.2.	Autres constituants .....	33
1.3.	Les ciments .....	34
1.3.1.	Le ciment siliceux: .....	34
1.3.2.	Le ciment argileux: .....	34
1.3.3.	Le ciment carbonaté: .....	35
1.4.	Conclusion:.....	35
2.	Etude pétrographique de l'Unité A1 (HBNP1) .....	36
2.1.	constituants détritiques:.....	36
2.1.1.	Le quartz (SiO <sub>2</sub> ):.....	36
2.2.	les ciments: .....	36
2.2.1.	le ciment argileux: .....	36
2.2.2.	Le ciment siliceux: .....	36
2.3.	Autres constituant: .....	36
2.4.	conclusion:.....	37
3.	Etude pétrographique de l'Unité A2 (HBNEP-1 et HBNP-1): .....	38
3.1.	Les constituants détritiques:.....	38
3.1.1.	Le quartz (SiO <sub>2</sub> ).....	38

3.1.2.	Les micas .....	38
3.1.3.	Les minéraux lourds: .....	39
3.2.	les ciments: .....	39
3.2.1.	le ciment siliceux:.....	39
3.2.2.	Le ciment argileux:.....	40
3.2.3.	Le ciment carbonate:.....	40
3.3.	La porosité : .....	41
3.4.	Autre constituants: .....	42
3.5.	Conclusion:.....	42

## Chapitre IV

1.	Etude diagénétique.....	44
1.1.	Notion de diagenèse .....	44
1.2.	Les mécanismes de la diagenèse dans le silurien Argilo-gréseux:.....	44
1.2.1.	La compaction: .....	44
1.2.2.	la cimentation: .....	45
1.2.3.	la dissolution: .....	48
1.2.4.	La fissuration:.....	48
1.2.5.	L'altération des micas et des feldspaths:.....	49
1.3.	Chronologie des processus diagénétiques.....	49
1.4.	Conclusion:.....	51
2.	Impact de la diagenèse sur la résistivité: .....	53
	Conclusion générale.....	54

Référence bibliographique

Liste des figures

Annexe

## Liste des figures

<b>Fig.I.1</b> : carte des bassins sédimentaire de l'Algérie (Fabre 2005).....	04
<b>Fig.I.2</b> : Carte des principaux éléments morphostructuraux de la plate-forme saharienne (modifiée d'après Boote <i>et al.</i> , 1998).....	05
<b>Fig.I.3</b> : Coupe géologique régional NO-SE (document Sonatrach).....	06
<b>Fig.I.4</b> : Colonne stratigraphique type du bassin de Berkine (d'après YAHY <i>et al.</i> , 2001, modifiée).....	09
<b>Fig.I.5</b> : Eléments structuraux de bassin de Berkine (Chaouche. A1992).....	11
<b>Fig.I.6</b> : Les différentes phases tectoniques ayant esquissé la plateforme saharienne au cours du Phanérozoïque (Chaouche. A 1992).....	14
<b>Fig.II.7</b> : Carte des situations des puits HBNP-1 et HBNEP-1 .....	17
<b>Fig.II.8</b> : Plan de situation des puits étudiés (sonatrach 2007).....	18
<b>Fig.II.9</b> : Extrait de la carte des gisements de Berkine et localisation des puits HBNP-1 et HBNEP-1 (Sonatrach 2013).....	19
<b>Fig.II.10</b> : Aspect structural de la région Ourhoud et BBK, unité M2 (BEICIP 2012) .....	20
<b>Fig.II.11</b> : Sections simplifiées a travers les parties choisies de la plateforme Saharienne (Galeazi <i>et al.</i> , 2010 modifié).....	21
<b>Fig.II.12</b> :aperçu lithostratigraphique sur le silurien Argilo-gréseux (Modifié par Iatrach 1992).....	23
<b>Fig.II.13</b> : Log diagraphique Des unités A1 et A2, puits HBNP-1. ....	26
<b>Fig.II.14</b> : Charte de description lithologique de carotte 1, puits HBNP-1 (Sonatrach 2015).....	27
<b>Fig.II.15</b> : Charte de description lithologique de carotte 2, puits HBNP-1 (Sonatrach 2015).....	28
<b>Fig.III.16</b> : classification des grés du Silurien dans le puits HBNP-1 selon Folk.....	30
<b>Fig.III.17</b> : classification des grés du Silurien dans le puits HBNEP-1 selon Folk .....	31
<b>Fig.III.18</b> : puits HBNEP-1, cote 4994.33, contact suturé et la présence un ciment carbonaté (A). Quartz polycristallin et un contact ponctuel(B).....	32
<b>Fig.III.19</b> : puits HBNEP-1, cote 4996.78, muscovite en lumière polarisée. ....	33
<b>Fig.III.20</b> : puits HBNEP-1, cote 4996.78, Tourmaline en lumière polarisée(B). : Puits HBNEP-1, cote 5006.28, zircon en lumière polarisé (A).....	33

<b>Fig.III.21</b> : puits HBNEP-1, cote 5007.26, Leucoxène en lumière naturelle et réfléchiée .....	34
<b>Fig.III.22</b> : puits HBNEP-1 cote 4992.52; laminations argileuse .....	34
<b>Fig.III.23</b> : puits HBNEP-1 cote 4999.62, photo montrant un bioclastes. (A) lumière polarisé, (B) lumière naturelle .....	35
<b>Fig.III.24</b> : puits HBNEP-1, cote 4996,78, (A) ciment argileux en lumière polarisée, (B) fissure colmaté par la pyrite et l'argile.....	35
<b>Fig.III.25</b> : puits HBNEP-1, cote 4994.33, (A) ciment carbonaté (sidérite), (B) ciment carbonaté (dolomite).....	36
<b>Fig.III.26</b> : puits HBNP-1, cote 4701.46 m, lumière réfléchiée.....	37
<b>Fig.III.27</b> : puits HBNP-1, cote 4701.46: (A) grain de quartz avec un ciment siliceux (LP), (B) matière organique(LR), (C) oxyde de fer. ....	38
<b>Fig.III.28</b> : puits HBNEP-1, cote 4781.31: photo montrant quelque phénomène diagénitique affectant les grains de quartz.....	39
<b>Fig.III.29</b> : puits HBNEP-1, cote 4769.4: photo montrant la présence de muscovite(A) avec des laminations argileuse contenant un peut de la matière organique(B).....	39
<b>Fig.III.30</b> : puits HBNEP-1, cote 4768.56; zircon en inclusion dans un grain de quartz (A) Puits HBNP-1, cote 4621.79 ; tourmaline (B) .....	40
<b>Fig.III.31</b> : puits HBNP-1, cote 4625.30; le ciment siliceux .....	40
<b>Fig.III.32</b> : puits HBNEP-1, cote 4774.44; ciment argileux .....	41
<b>Fig.III.33</b> : puits HBNEP-1, cote 4767.6; ciment carbonaté (sidérite) (A).Puits HBNP-1, cote 4612.55; ciment carbonaté (dolomite) (B).....	41
<b>Fig.III.34</b> : puits HBNEP1, cote 4773.45; porosité de fissuration (A). Puits HBNP1, cote 4621.2; porosité de dissolution (B).....	42
<b>Fig.III.35</b> : puits HBNEP-1, cote 4774.44; ciment argileux (illite) (A), matière organique et pyrite (B), (C) .....	43
<b>Fig.IV.36</b> : puits HBNP-1, cote 4622.47; photo montrant les différents contacts(A), contact droit (B) .....	45
<b>Fig.IV.37</b> : puits HBNP-1, cote 4625.3; photo montrant un ciment siliceux. ....	46

<b>Fig.IV.38</b> : puits HBNP-1, cote 4613.33; oolithe chloriteuse (A), ciment argileux (illite) (B).	
Puits HBNP-1, cote 4612.55; oolithe comprimée et ciment chloriteux(C), chlorite frangeante (D)..	48
<b>Fig.IV.39</b> :puits HBNEP-1, cote 4767.6; ciment carbonaté (sidérite) (A).	
Puits HBNP-1, cote 4612.55; ciment carbonaté (dolomite) (B).....	49
<b>FIG.IV.40:</b> puits HBNEP-1: cote 4768.56; porosité de dissolution (A). Puits HBNEP-1: cote 4765.28; porosité de dissolution(B).....	49
<b>Fig.IV.41</b> : puits HBNEP-1, cote 4774.44; fissure ouverte (A).Puits HBNP-1, cote4621.79; fissure colmaté par l'argile (B). .....	50
<b>Fig.IV.42</b> : puits HBEP-1, cote 4994.72; feldspath en voie d'altération(A). Puits HBNP-1, cote4621.79; micas (muscovite) en voie d'altération(B). .....	50
<b>Fig.IV.43</b> : séquence diagenitique du Silurien Argilo-gréseux (document Sonatrach). .....	51

## **Introduction générale :**

Compte tenu de la forte croissance de la demande en énergie dans le monde en général, et en Algérie en particulier, la Sonatrach s'est engagée, avec ses partenaires, à non seulement procéder à une exploration systématique, mais aussi à développer et à améliorer la production des champs existants.

A cet effet, le bassin de Berkine constitue un des objectifs promoteurs c'est dans ce contexte que la Division Technologie et Développement/Sonatrach nous a proposé le sujet «**Etude pétrographique et diagénétique du Silurien Argilo-gréseux et impact sur les résistivités du bassin de Berkine Est**».

En effet, une des raisons majeures de ce travail est de trouver les raisons des faibles résistivités des réservoirs A1 et A2 pourtant saturés en hydrocarbures .Il est connue que parmi les causes des faibles résistivités de ce type de réservoir il y a aussi le facteur géologique comme la nature, la taille et le classement des grains, leur distribution, ainsi que la présence des argiles et des minéraux conducteurs.

Afin d'élucider tout cela, et pour atteindre l'objectif qui nous a été demandé, la méthodologie suivante a été utilisée :

- Une recherche bibliographique pour faire la synthèse des connaissances sur cette région.
- Une analyse de la zone d'étude et les forages HBNP-1 et HBNEP-1.
- Une étude pétrographique de 35 lames minces.
- Une étude diagénétique et son impact sur la résistivité.

## **Historique des travaux de recherche**

Les premiers travaux de recherche pétrolière en Algérie remontent au début du 20<sup>em</sup> siècle avec les géologues explorateurs français, Kilian(1925) ou italiens, Desio (1936) et Rossi (1939). Ces précurseurs établirent les bases de la connaissance des bassins d'Illizi et de Berkine , entre autres.

La dépression de Berkine est une zone particulièrement intéressantes pour l'exploration pétrolière; mais d'accès beaucoup plus difficile, tant en surface à cause de son ennoyage sous l'épaisse couverture dunaire du grand Erg oriental, qu'en subsurface par suite de la puissante série mésozoïque et plus particulièrement le Trias salifère et anhydritique.

Les premières reconnaissances sismiques effectuées par les compagnies pétrolières durant les années 60 ont permis l'implantation de certain nombre de forage dont HAID-(HAD-1), réaliser en 1964 au centre de la dépression. Bien que profond (côte finale 4802m) il atteignit que le Dévonien et ne permet pas d'évaluer l'épaisseur de la couverture. En 1962, fut déclenchée une prospection par aéromagnétisme qui prit fin en 1971, année au cours de laquelle fut réaliser le forage de Rhourde Yacoub (RY-1) en bordure nord-est du bassin sondé jusqu'au Dévonien.

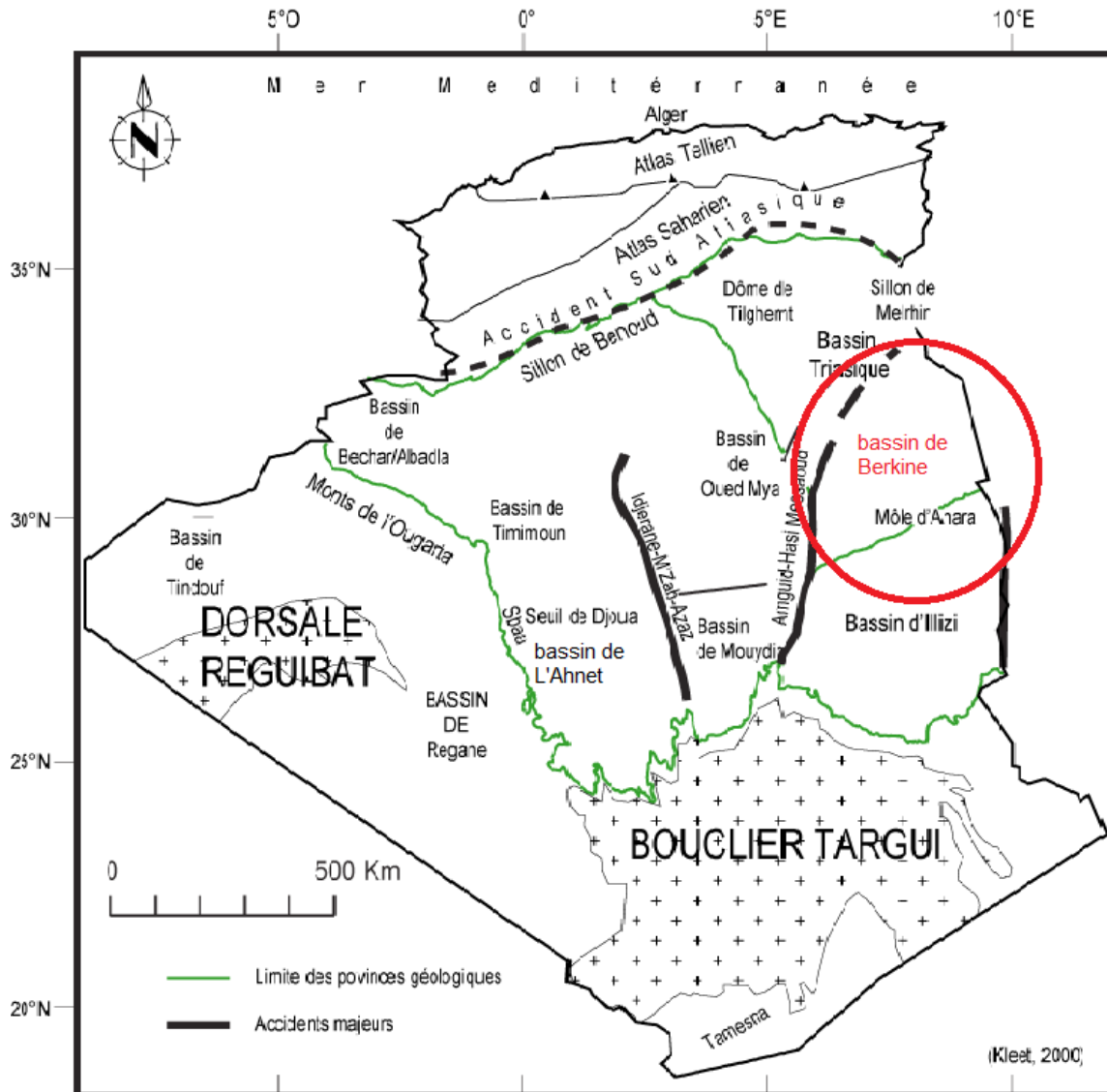
Ce n'est qu'en 1978 que fut lancée une seconde campagne géophysique (gravimétrie) ayant pour objectif le balayage presque totale de cette dépression; cette mission ne fut démarrée qu'en 1980. 13 forages, n'ayant pour la plupart pas atteint le socle mais ayant contribué a quelques découvertes encourageantes pour l'exploration (Ain Ramana, Sif Fatima,Wadi Teh, Bir Berkine Rhourde mesaoud ,Rhourd Chegga au Nord Ouest).

# Chapitre I

## Etat de conanaissances

**I. Situation géographique du bassin de Berkine**

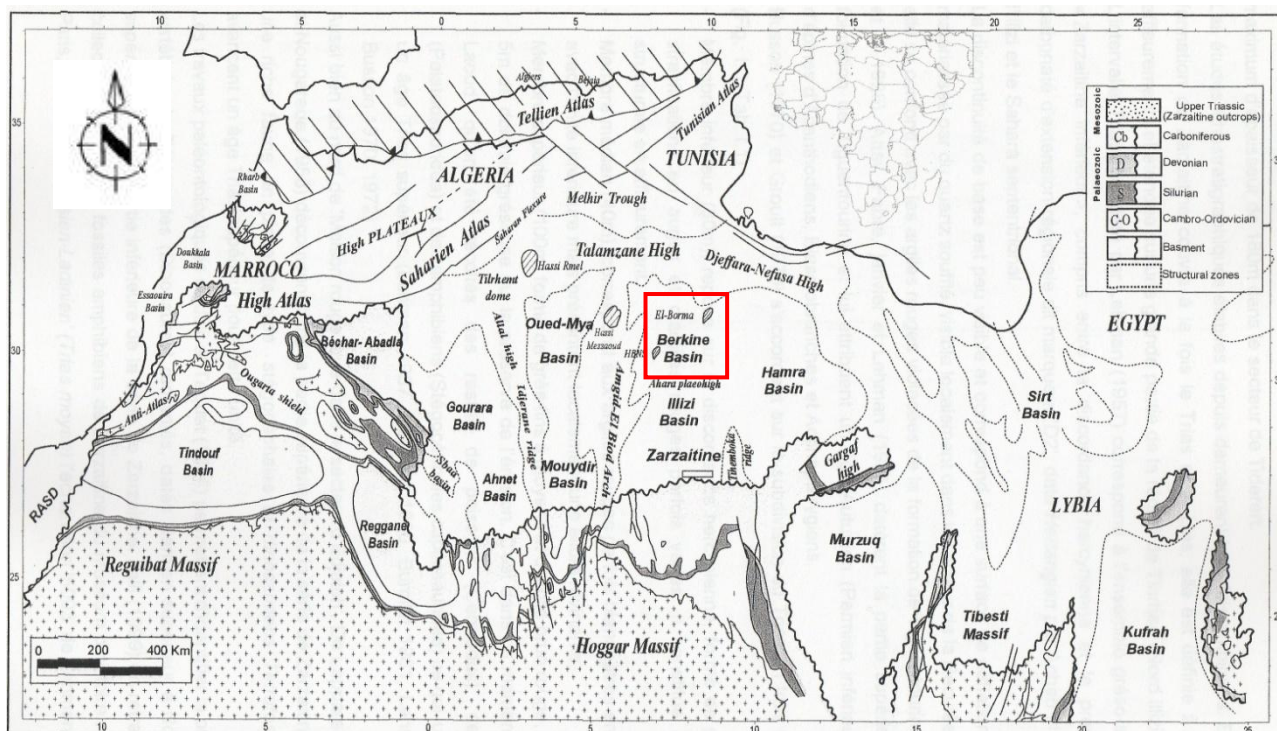
Le bassin de Berkine constitue la partie Nord orientale de la plate-forme saharienne, et situé approximativement entre les latitudes 32° et 29° Nord et longitudes 6°30' et 09°30' Est .Le bassin de Berkine présente une série sédimentaire avec un remplissage de plus de 6500m allant du Paléozoïque à l'actuel(Fig.I.1)



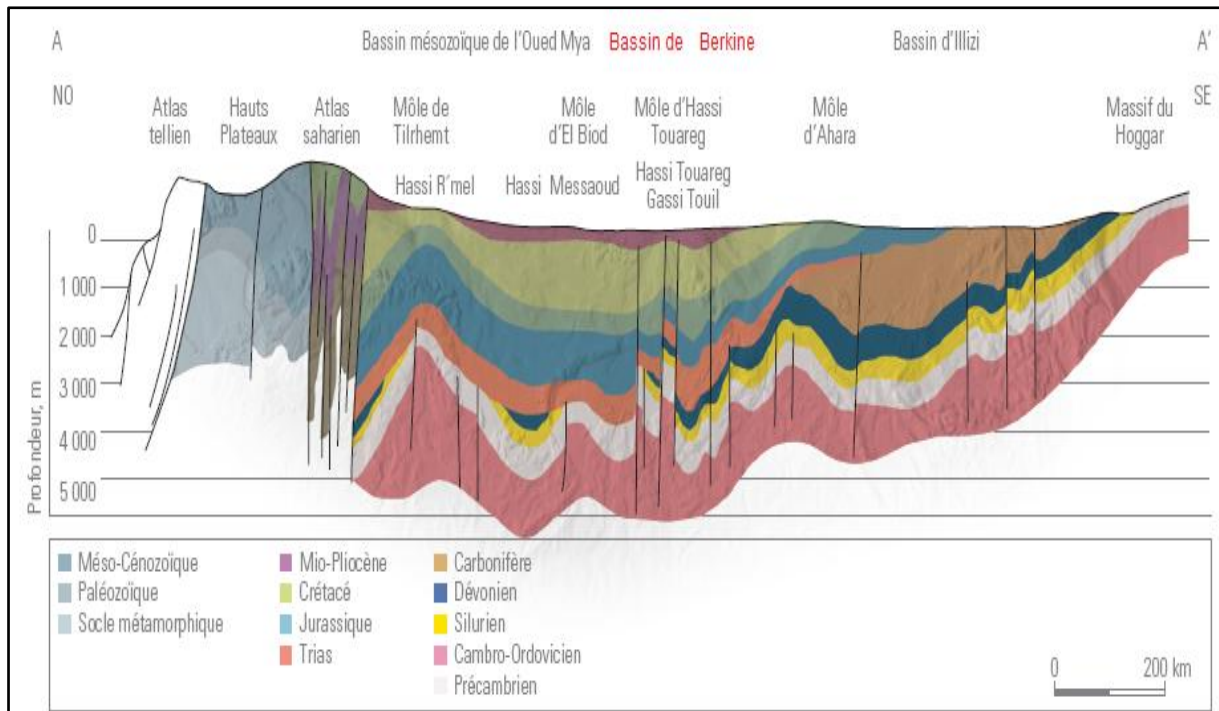
**Fig.I.1:** carte des bassins sédimentaires de l'Algérie (Fabre 2005)

## II. Cadre géologique

Le bassin de Berkine est un bassin intracratonique, séparé du bassin d'Illizi au Sud par le môle d'Ahara, limité au Nord par la bordure Sud du môle de Dahar., à l'Ouest par la ride d'Amguid El Biod-Hassi Messaoud, à l'Est la zone d'étude s'étend jusqu'aux frontières Algéro-Tunisienne et Algéro-Libyenne (fig.I.2).



**Fig.I.2 :** Carte des principaux éléments morphostructuraux de la plate-forme saharienne (modifiée d'après Boote *et al.*, 1998).



**Fig.I.3:**Coupe géologique régionale NO-SE (document Sonatrach 2002)

### III. Stratigraphie (Fig.I.3 et Fig.I.4)

#### 1. Le Paléozoïque:

Le Paléozoïque comprend: le Cambrien, l'Ordovicien, le Silurien, le Dévonien, et le Carbonifère avec une épaisseur relativement importante allant de 1000 m à 2000 m.(H.Rachid 1985).

##### 1.2.Le Cambrien:

Le Cambrien est le premier terme paléozoïque et repose en discordance majeure sur un socle plissé, il est constitué de:

- L'unité II: ou ensemble grés-conglomératique de base, elle est formée par des grés grossiers à grande stratification oblique, à gravier et galets de quartz.

##### 1.3.L'Ordovicien:

Il est composé par les unités litho stratigraphique suivante

- Les argiles d'El Gassi.
- Les grés d'El Atchane.
- Les quartzites de Hamra.
- Les grés de Ouargla.
- Les argiles d'Azzel.
- Les grés de Oued Saret.
- Les argiles micro-conglomératiques.
- Les grés de Ramade.

### **1.4. Le silurien:**

Il se subdivise en quatre formations, qui sont de bas en haut (Chaouche.A 1992)

- Les argiles à graptolites

Cette formation correspond sur le terrain à la formation de Oued Imerhou, elle est constituée essentiellement par des argiles marines noires à graptolites.

- La zone de passage

Elle est connue sous le nom de « formation de l'Attafaitafa », elle correspond à la sous-unité 'M' du réservoir F6

- L'unité M1: cette unité est constituée par des argiles silteuses, indurées à quelque mètres carbonatées à la base.
- L'unité M2: elle est constituée essentiellement par des argiles silteuses avec des passés de grés
- la barre inférieure (sous-unité A du réservoir F6):
  - l'unité A1: elle est constituée par des grés fins à moyens, bien consolidés à ciment argileux.
  - L'unité A2: elle comporte des niveaux de grés fin, silteux à passés argileux à la base.
- Le talus à tigillites (sous unité B du réservoir F6):
  - L'unité B1: elle est constituée par une succession de grés quartzitiques compact et d'argile noire.
  - l'unité B2: elle est représentée par une alternance des grés quartzitiques et des argiles micacées.

### **1.5. Le Dévonien:**

Il est très développé son épaisseur dépasse parfois les 1000 m, il est subdivisé en 2 étages:

- Le Dévonien inférieur: constitué par des dépôts argilo-gréseux avec une épaisseur de 650 m.
- Le Dévonien moyen et supérieur: constitué par des dépôts argileux avec des intercalations de niveaux carbonatés et des passés de marnes, il a une épaisseur moyenne de 370 m.

### **1.6. Le Carbonifère**

La série carbonifère d'épaisseur 1100 m à 1500 m est comprise entre le Tournaisien et le Stéphain, elle est constituée essentiellement d'argile noire dans laquelle s'individualisent des corps gréseux, entrecoupés par de nombreux bancs de calcaire.

## **2. Le Mésozoïque**

Il repose en discordance (Hercynienne) sur le Paléozoïque, il est composé par des dépôts essentiellement évaporitiques et argilo-gréseux qui sont très importants de fait qu'ils constituent de bons réservoirs.

Il est subdivisé en:

### **2.2. Le Trias:**

Il est représenté par des dépôts argilo-gréseux et évaporitiques, il est subdivisé en 3 niveaux:

- le Trias argilo-gréseux inférieur (TAGI): la base de la série est formée en général de conglomérat rouge à brun et des grés grossiers à moyens, au sommet il est représenté par une alternance de grés et d'argile.
- Le Trias carbonaté :c'est un ensemble argilo-gréseux.
- Le Trias Argilo-Gréseux supérieur (TAGS): il est constitué par des grés blancs fins à moyens parfois grossiers à ciment argileux avec des intercalations d'Argile rouge et gris verdâtre.

La série supérieure est surmontée par un membre argileux, généralement de faible épaisseur qui se termine parfois par un banc d'anhydrite ou de dolomie de résistivité élevé. Ce membre argileux, qui est d'ailleurs un excellent marqueur pour les corrélations diagraphiques dans le Trias. L'épaisseur du Trias est d'environ 160m.

### **2.3.Le Jurassique:**

Dans la région, le Jurassique est représenté par le Lias, le Dogger lagunaire et argileux et se termine par le Malm.

- Le Lias à Dogger lagunaire (Zarzaitine moyen): cette série est formée à la base par des Argiles de couleur brun rouge et de grés verdâtre parfois tendre, surmonté par les sels massifs de couleur blanc et enfin l'horizon B (dolomitique).
- Le Dogger argileux (Zarzaitine supérieur): est formé par une alternance d'argile versicolore parfois silteuse et de sable moyen à grossier avec des traces de pyrite et de lignite.
- Le Malm: dans le sahara oriental, le Malm est une série à dominance argileuse avec des couches dures (dolomie et anhydrite).

### **2.4.Le Crétacé**

Avec une épaisseur de 700 m environ, il débute par le Néocomien et se termine par la série carbonatée du Sénonien, il est composé d'alternances des grés, d'argile, de dolomie et de calcaire ainsi que de quelques passés d'anhydrite, de gypse et de sel, il devient vers le sommet essentiellement carbonaté.

## **3. Le Cénozoïque**

Le Mio-pliocène qui repose en discordance sur le Crétacé supérieur est représenté par du sable blanc, jaune ocre ou rosâtre, fin à moyen parfois grossier, avec du calcaire gréseux blanc, localement jaunâtre et de fins niveaux d'argile gris sombre.

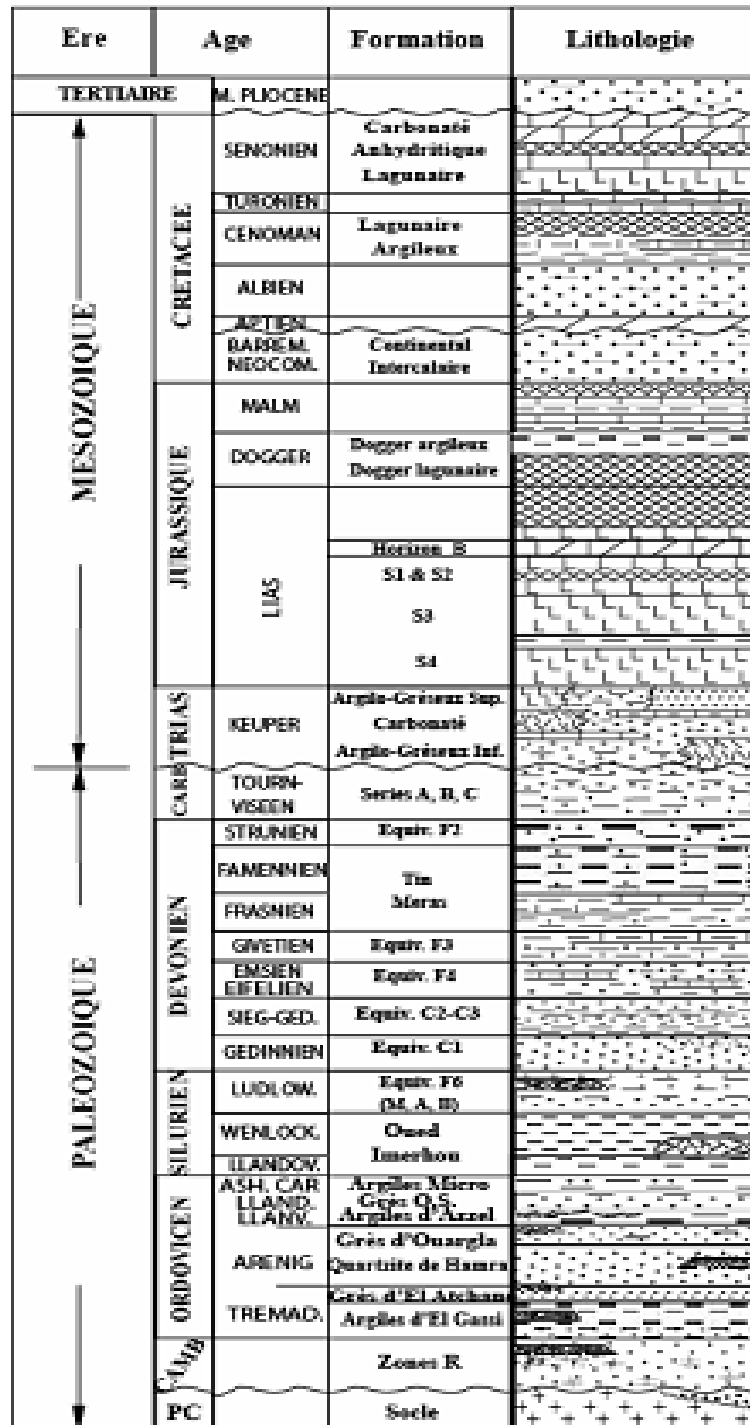


Fig.I.4: Colonne stratigraphique type du bassin de Berkine  
(d'après YAHI et al., 2001, modifiée).

#### IV. Cadre structural :

##### 1. Introduction:

L'analyse structurale de la dalle saharienne met en évidence des accidents profonds longitudinaux affectant à la fois le socle et la couverture sédimentaire, ces déformations d'âge panafricain ont conditionnées le déroulement ultérieur de la structuration de la plateforme saharienne.

Il est à noter l'existence de 2 époques d'activité tectonique intense:

- L'époque paléozoïque dominée par des déformations amples dont les effets sont perçus sur de longues distances.

- L'époque méso-cénozoïque beaucoup plus expressive sur le plan morphologique ayant modelés des structures de manière définitive.

##### 2. Les phases de déformations et les structures résultantes :

L'image structurale actuelle qui est le résultat de plusieurs phases de déformations successives, depuis les phases qui ont structurées le substratum jusqu'aux phases les plus récentes ont fait apparaitre deux directions d'accidents majeurs (Beicip 1991) (fig.I.5):

###### 2.1. Une direction d'accidents Est-Ouest:

Qui apparait sur la bordure Nord du môle d'Ahara, ce trend n'est pas une faille unique mais il correspond à un réseau de failles et de flexures d'orientation E-W, cette zone d'accident présente un rejet modéré vers le Nord, du fait que les séries dévoniennes et carbonifères montrent un épaissement considérable vers le Nord.

###### 2.2. Une direction d'accidents NE-SW:

Très différente de la précédente particulièrement sur la partie centre, ces accidents ont jouées en failles inverses ont données naissance à des grandes structures au centre et à l'Est du bassin de Berkine.

Les orientations secondaires sont:

- ❖ Direction N70: à l'Ouest du bassin dans la région de RhourdNouss, GassiTouil, et Meniz El Lejmat.
- ❖ Direction sub-équatorial: au sud du môle d'Ahara séparant Berkine du bassin d'Illizi.
- ❖ Direction N150: au Nord Est du bassin du coté des champs de Keskesa, BirBerkine et BirRebaa.



répartition des dépôts paléozoïques et sur l'évolution complète jusqu'aux déformations les plus récentes.

### **3.1 L'orogénèse panafricaine et son contrôle sur la structuration du bassin de Berkine:**

L'histoire structurale de Berkine découle de l'orogénèse panafricaine conditionnée par la mise en place des boucliers Est et Ouest africain.

La chaîne panafricaine se forma à l'emplacement actuel du Hoggar, représentée par des grands accidents subméridiens verticaux observables sur tout le substratum du Cambrien. Ils peuvent être interprétés comme des décrochements dont le déplacement horizontal peut atteindre la centaine de kilomètres (Caby 1968).

### **3.2 L'effet des phases calédoniennes et hercyniennes**

#### **3.2.1 Les mouvements calédoniens :**

En général les mouvements calédoniens ont accentués la surrection du môle d'Ahara et entraînant un soulèvement du flanc Sud par rapport au flanc Nord, ayant pour conséquence l'érosion des séries siluriennes plus au Sud qu'au Nord.

#### **3.2.2 La phase hercynienne**

La tectonique cassante dans la région n'est intervenue qu'aux cours des phases de compression hercynienne. La majeure partie du bassin a été le siège d'une déformation importante se traduisant par un soulèvement intense de la partie Ouest et Nord du bassin (région de RhourdeNous, GassiTouil à l'Ouest et El Borma au Nord) conduisant ainsi à la formation dans la partie centrale d'une dépression plongeante vers le Sud-est.

### **3.3 Les mouvements mésozoïques et cénozoïques:**

L'évolution structurale du Sahara oriental au cours du Secondaire et de Tertiaire peut être subdivisée en 2 époques successives et différentes l'une de l'autre au regard de l'étendue des zones affectées et de l'intensité des mouvements imprimés à la couverture sédimentaire.

#### **3.3.1 Le Trias-Jurassique: ouverture de l'atlantique et étirement de la dalle saharienne.**

L'histoire structurale mésozoïque débute par un événement géodynamique global capital représenté par l'ouverture de l'océan atlantique et la séparation Afrique-Amérique.

Cette époque de distension majeur a son apogée au Jurassique et se traduit par un étirement NW-SE de toute la plateforme Saharienne.

Elle entraîna un rejeu des principaux accidents en failles normales favorisant les épanchements volcaniques.

### 3.3.2 La période compressive Crétacé-Tertiaire:

Elle est subdivisée en deux périodes compressifs liés à deux grands événements géodynamiques :

-l'ouverture de l'atlantique Sud.

-la collision Afrique Eurasie.

#### 3.3.2.1 Le Crétacé inférieur: l'ouverture de l'atlantique sud et la phase autrichienne.

Cet important épisode tectonique daté Aptien inférieur caractérise par le pivotement sénestre de l'Afrique entraînant l'ouverture de l'océan atlantique Sud et la dérive vers l'Est de tous le continent africain.

La phase autrichienne fait rejouer en inverse tous les accidents subméridiens de la plateforme saharienne. Dans le bassin de Berkine le rôle de cette phase est fondamental sur la structuration et l'individualisation des pièges structuraux ayant servis de réceptacle aux hydrocarbures générés.

#### 3.3.2.2 Le Crétacé supérieur-cénozoïque: la collision des continents Afrique et Eurasie et l'orogénèse alpine.

L'étude des répercussions en Europe et sur la plateforme saharienne (Sonatrach-beicip 1975, Boudjema 1987) conduit à considérer que cette collision continentale s'est opérée en plusieurs étapes qui sont par ordre chronologique:

- La phase atlasique (N160) d'âge Cénozoïque-éocène. Ce serrage NW-SE fera rejouer tous les accidents subméridien en décrochement sénestre, les failles normales formées au Jurassique en failles inverses et édifiera des structures orientées N70.
- La phase Burdigalienne (Vila.J.M 1980), N50-60, d'âge Oligocène supérieur-miocène inférieur orienté NE-SW entraînant un jeu dextre des grands accidents du socle, elle est également responsable de la mise en place de plis amples le long d'accidents NW-SE.

L'ensemble de ces différentes phases tectoniques, ayant structurées la plateforme saharienne sont résumées dans le tableau suivant (fig.I.6).



## **V. Système pétrolier**

### **1. Les Roches mères**

Les deux roches mères principales reconnues sur l'ensemble du bassin correspondent au développement des séries argileuses noires, riches en matière organique, d'origine marine, marquant le début de la période de transgression lors du Silurien et du Frasnien. Leur extension dans le bassin de Berkine dépend du degré d'érosion durant la phase hercynienne. La roche mère silurienne, d'extension régionale, constitue le principal générateur d'hydrocarbures dans la région. La roche mère frasnienne a une extension plus limitée et se localise dans la partie centrale du bassin (Sonatrach 2002).

### **2. Les Roches réservoirs**

#### **2.1 Le Trias**

##### **2.1.1 Le TAGS (Trias Argilo-Gréseux supérieur):**

Le TAGS, excellent réservoir, constitue le principal objectif pétrolier dans la région de Rhourde Nouss – Rhourde Chouff – Hassi Chergui – Gassi Touil – Rhourde Adra- Brides.

##### **2.1.2 Le Trias carbonaté:**

Il présente peu d'intérêt. Les principaux résultats pétroliers sont obtenus dans la région de Rhourde Nouss et Hassi Chergui.

##### **2.1.3 Le TAGI (Trias Argilo-gréseux inférieur)**

Le TAGI constitue la série basale du Mésozoïque. Il est caractérisé par des dépôts de type fluviatile se développant sur l'ensemble du bassin.

#### **2.2 Le Carbonifère**

D'âge Strunien à Viséen, les réservoirs du Carbonifère se présentent sous la forme d'intervalles gréseux compris dans des séquences argilo-gréseuses liées à un environnement de dépôt marin peu profond.

#### **2.3 Le Dévonien inférieur**

Les réservoirs du Dévonien inférieur ont représentés par deux séquences essentielles du Gedinnien, où prédomine une série de grès massif de type fluviatile (post-calédonien) d'une épaisseur moyenne de l'ordre de 200 m, et du Siegénien transgressif qui présente des passages gréseux, correspondant à des réservoirs de type cordon littoral et deltaïque. Ces grès à bonnes caractéristiques pétrophysiques sont reconnus à gaz à condensat et huile légère.

#### **2.4 Le Silurien**

Généralement bien développé dans la partie Sud du bassin où les passages gréseux deviennent de plus en plus importants en raison des proximités des sources nourricières Tassilienne et du Hoggar.

La formation gréseuse (Unité F6) a montrée des accumulations d'hydrocarbures.

Cette formation a présentée un bon réservoir au niveau de BBKP-1, où l'épaisseur des grès nets varie entre 10 à 25m. Vers l'Est, l'épaisseur des grès diminue et l'unité devient plus argileuse marquée par de faibles porosités (de l'ordre de 6 à 8%), cas de puits HBNP-1 qui fera l'objet d'une attention particulière dans ce mémoire.

### **2.5 L'Ordovicien**

Les quartzites de Hamra et les grès de Ouargla constituent les deux principaux réservoirs de l'Ordovicien. Ils sont essentiellement reconnus à ce jour comme potentiels dans la zone de la dépression Sud-est triasique (gaz et huile à Hamra et RhourdeNous, huile à Nezla) et dans la dépression de Dahar (huile sur le gisement de Semhari) sur les extensions de l'axe structural de Rhourde El Baguel.

### **2.6 Le Cambrien**

Les réservoirs du Cambrien sont représentés par trois unités R1 (Ri, Ra), R2, R3. Les meilleurs réservoirs sont rencontrés aux niveaux des grès du "Ri" et du "Ra", qui sont généralement quartzitiques. Les grès du Cambrien sont productifs d'huile à Rhourde El Baguel, Ain Romana et Damrane. Les réservoirs cambro-ordoviens reconnus à ce jour se situent sur les bordures nord et ouest du bassin de Berkine.

## **3. Les Roches Couvertures**

Les couvertures paléozoïques sont représentées par les argiles ordoviennes (essentiellement par les argiles d'El Gassi et les argiles d'Azzel) et par les argiles devono-carbonifère qui se développent sur de grandes épaisseurs. Les couvertures mésozoïque sont assurées par les évaporites Trais/Lias et par les argiles intra Triasique.

## **4. Type des pièges**

Les pièges dans le bassin de Berkine sont généralement associés à des failles normales NE-SW et sont relativement de faible amplitude.

Néanmoins, leur potentiel est lié aux rejets des failles qui définissent leur taux de remplissage et les positions des différents plans Huile/Eau.

# Chapitre II

## Présentation de la zone d'étude

## I. Présentation de la zone d'étude et positions des puits

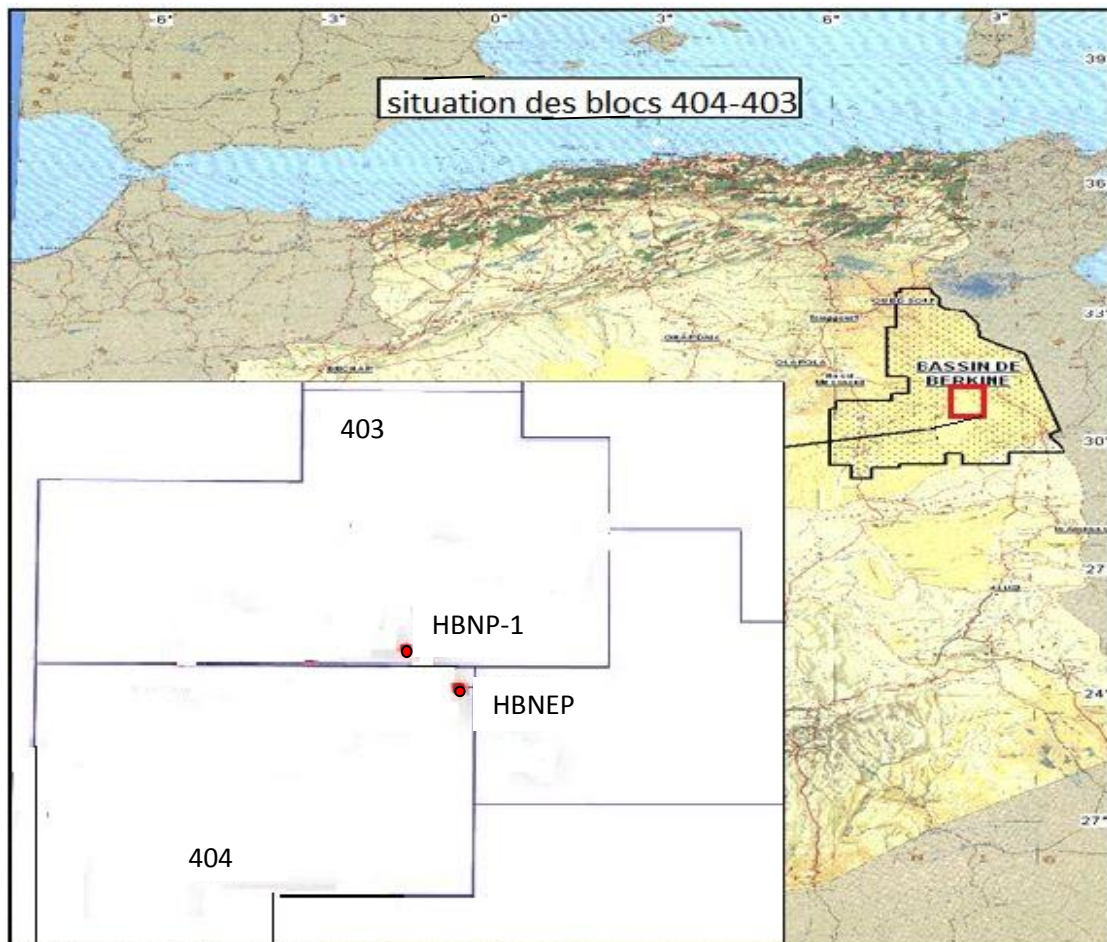
### 1. Localisation

#### 1.1. Le puits HBNEP-1

Le forage de Hassi Berkine Nord Est Profond-1 (HBNEP-1) est localisé dans la partie Nord-Est du périmètre Ourhoud (bloc 404)(fig.II.7), il est implanté à 12Km au Sud Est du puits HBNP-1(foré par Sonatrach en 2013) à 0.4Km au Nord du puits HBNE-1 (foré par ANADARKO en 2002)(fig.II.7-8).Le forage de Hassi Berkine Nord Est profond-1 (HBNEP-1), à pour objectif l'exploration du potentiel en hydrocarbures des réservoirs du Dévonien Inférieur (Emsien et Siégénien) et les unités gréseuses du Silurien SAG-F6.

#### 1.2. Le puits HBNP-1

Le puits Hassi Berkine Nord Profond-1 (HBNP-1), situé dans le bloc 403 du périmètre Ourhoud (fig.II.9), à 12Km à l'Ouest de HBNP-2(fig.II.7-8), a pour principal objectif l'exploration des unités gréseuses du Silurien Argilo-gréseux (Unités A2 et A1) testées à gaz à condensât.



**Fig.II.7** : Carte des situations des puits HBNP-1 et HBNEP-1

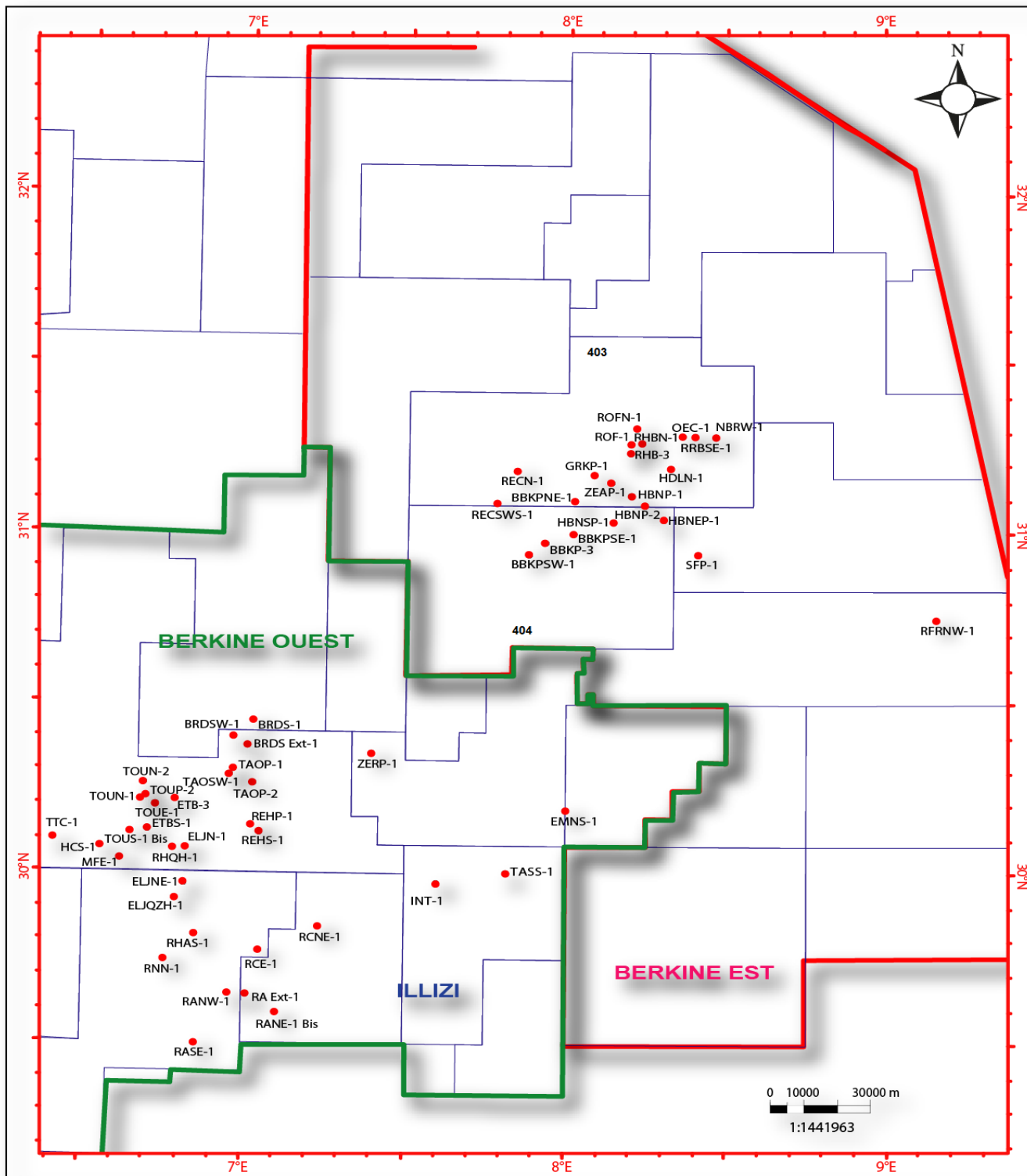
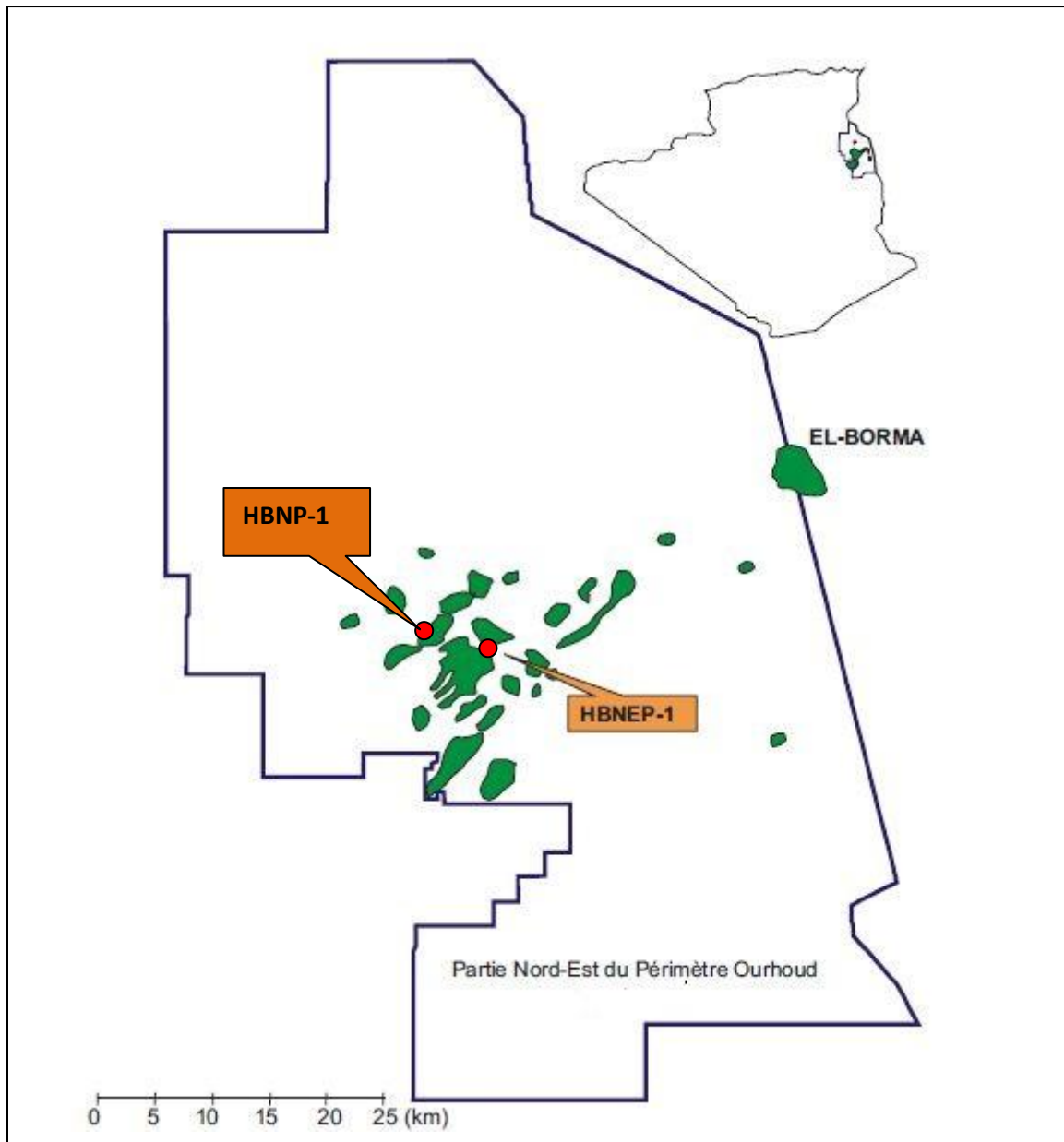


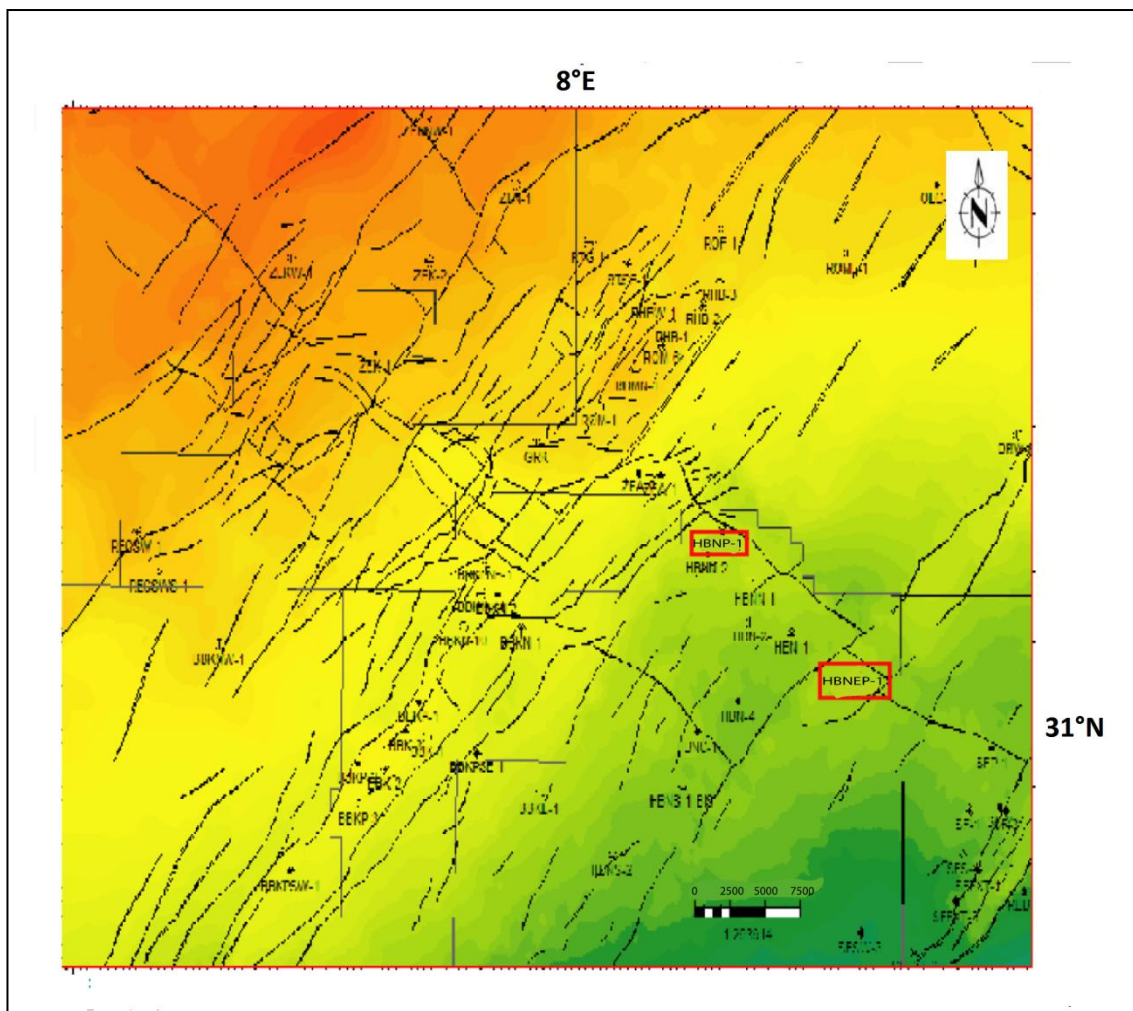
Fig.II.8: Plan de situation des puits étudiés (sonatrach 2015)



**Fig.II.9 :** Extrait de la carte des gisements de Berkine Est et localisation des puits HBNP-1 et HBNEP-1 (BEN ABDELKRIM.M, 2015).

## **2. Contexte structural**

La majorité des structures de la zone d'étude se sont formées par les jeux combinés des deux phases compressives hercyniennes précoce et tardive, qui se traduisent par des failles principales d'orientation NO-SE pour la précoce et NE-SO pour la phase tardive. La réactivation autrichienne qui est marquée Par une contrainte orientée Est-Ouest a engendrée des mouvements de décrochement le long des failles NE-SO existantes (fig.II.10).



**Fig.II.10 :** Aspect structural de la région Ourhoud et BBK, unité M2 (BEN ABDELKRIM.M, 2015)

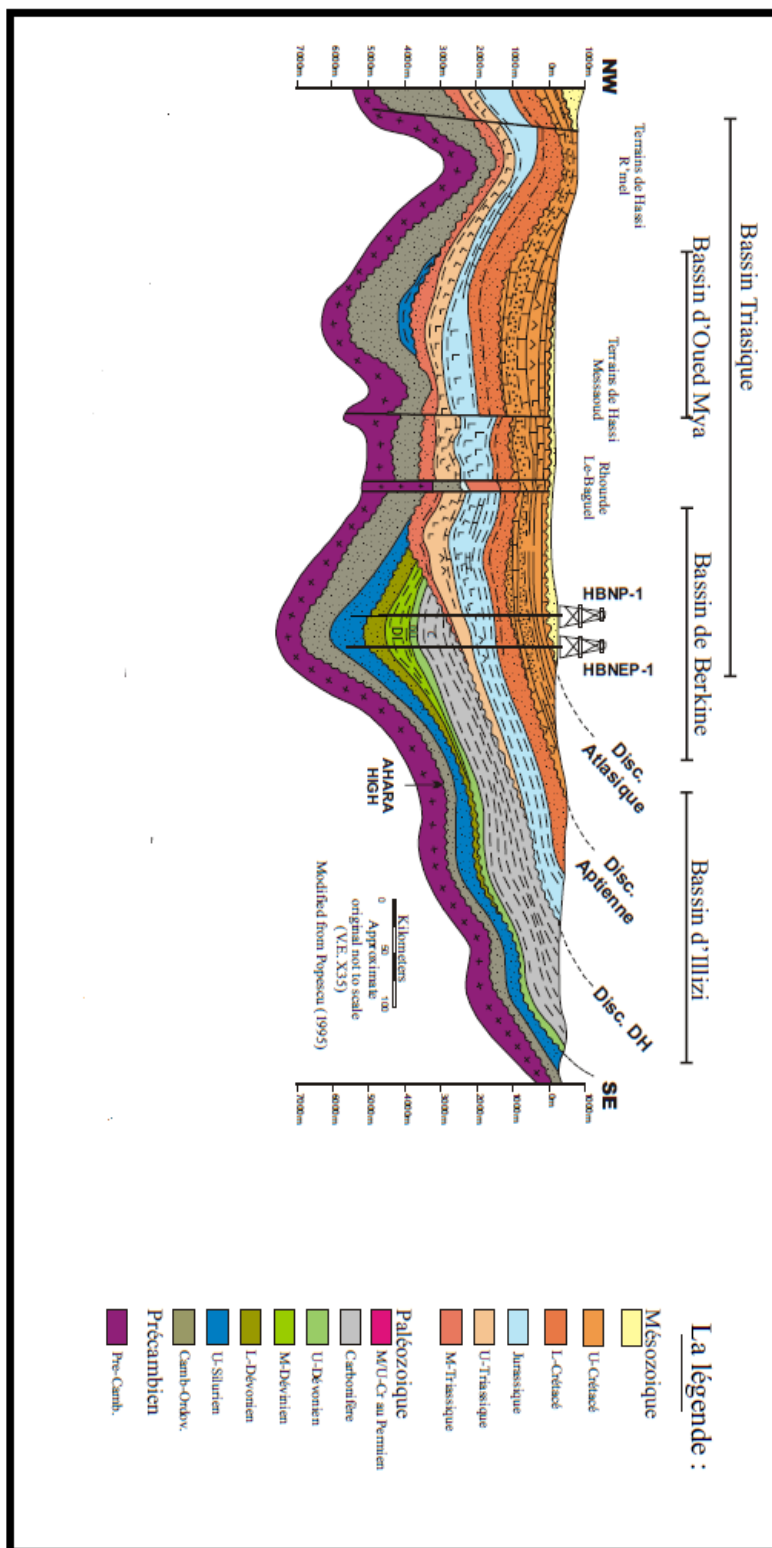


Fig.II.11: Sections simplifiées a travers les parties choisies de la plateforme Saharienne (Galeazi et al, 2010 modifié)

### 3. Aperçu lithostratigraphique (Fig.II.11-12)

À partir du forage SH 2013, HBNEP-1, nous avons un aperçu sur la stratigraphie de la zone d'étude (cf. annexe I).

Seule une attention particulière est accordée au Silurien Argilo-gréseux dans cette étude.

#### 3.1. Le Silurien

##### 3.1.1. Le Silurien Argilo-gréseux : (567m)

Il est constitué par un complexe Argilo gréseux avec des argiles gris à gris foncé parfois gris verdâtre, silteuse et des grès blanc quartzeux fin à très fin parfois compact et quelques intercalations de siltstone.

##### 3.1.2. L'Unité B : (337m)

Elle est représentée par des argiles grises à grises verdâtres, tendres à indurées, silteuses légèrement feuilletées avec des passées de grés gris, gris blanc, rarement beige à brunâtre, fin, arrondi à subarrondi, silico-argileux à siliceux, moyennement consolidé, rarement blanc translucide, fin, subarrondi à subanguleux silicoquartzitique, bien consolidé et dur. Traces de siltstone gris clair à gris vert indurée.

##### 3.1.3. L'Unité A: (173m)

L'unité A est constituée par des grés blancs, blancs translucides, fins à moyens, subarrondi à subanguleux, siliceux à silico-quartzitique, bien consolidé, gris blanc, blanc beige, fin, arrondi à subarrondi, silico-argileux, moyennement consolidé avec Argile grise à gris verdâtre, gris noir, tendre à indurée, silteuse.

##### 3.1.4. L'Unité M : (57m)

L'ensemble est un grés blanc à blanc translucide, fin à moyen, arrondi à subarrondi, siliceux à silico-quartzitique, bien consolidé, dur, avec passées d'Argile grise, gris foncé à gris noir, localement gris clair, tendre à indurée, silteuse.

##### 3.1.5. Le Silurien Argileux: ép.> 76 m,

Il est constitué d'argile grise à gris clair devenant parfois brun foncé, silteuse avec fines passées de siltstone, intercalées avec des roches volcaniques de couleur brun rouge tendres, Vers la base les argiles deviennent noires et très charbonneuses, représentant la roche mère principale.

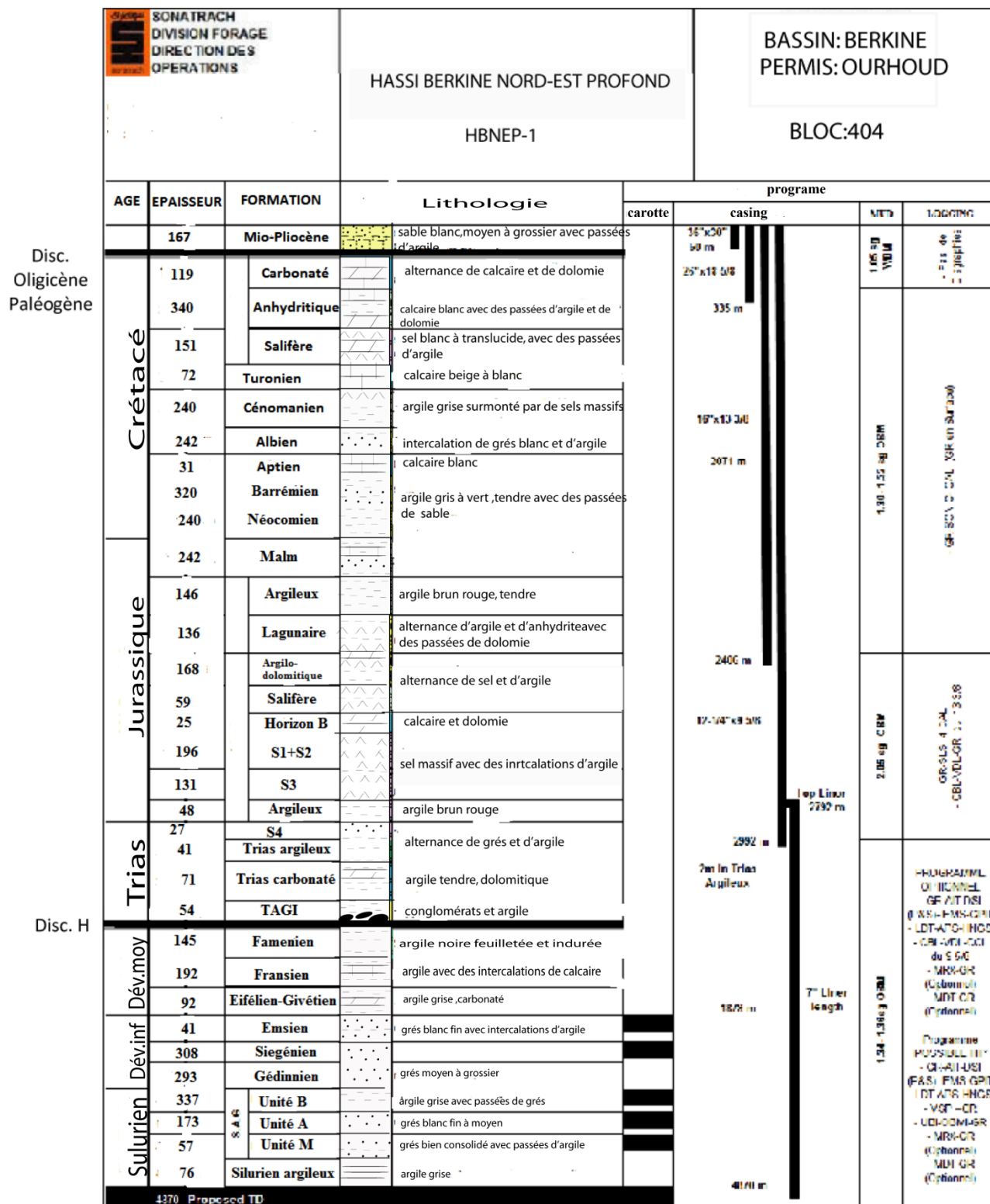


Fig.II.12: Fiche stratigraphique et programme du forage de HBNEP-1 (BEN ABDELKRIM.M, 2015).

#### 4. Résultats des analyses diagraphiques

##### 4.1. Définition des diagraphies

La diagraphie est un enregistrement continu, en fonction de la profondeur, d'un paramètre physique donné des formations géologiques traversées par le sondage.

La mesure enregistrée est présentée sous forme de courbe, elle peut être naturelle ou obtenue par excitation.

##### 4.2. La résistivité

Parmi les paramètres mesurés par les outils de diagraphies il en est un qui intervient à maintes reprises : la résistivité électrique des roches.

La résistivité électrique des roches  $R$ , est dans la plupart des cas de type électrolytique, c'est à dire que les roches conduisent le courant électrique grâce au fluide qu'elles contiennent.

On peut dire que la résistivité électrique d'une roche dépend essentiellement :

- de la qualité de l'électrolyte, c'est à dire de la résistivité du fluide d'imbibition  $R_w$  et, par conséquent, de la quantité de sels dissous.
- de la quantité d'électrolyte contenue dans l'unité de volume de la roche, c'est-à-dire de la porosité  $\phi$ .
- Du mode de distribution de l'électrolyte.
- Des constituants solides de la roche elle même (grain, matrice et ciment).

##### 4.3. LA QUALITE DE L'ELECTROLYTE :

La résistivité d'un électrolyte dépend de : sa teneur en ions, la mobilité des ions en solution. Or la mobilité varie, il en résulte que la résistivité d'une eau dépend non seulement de la quantité de sels dissous, mais encore de leur nature.

La contribution d'un sel à la résistivité d'une solution dépend de la concentration de ce sel et de la salinité totale.

##### 4.4. LA QUANTITE ET LE MODE DE DISTRIBUTION DE L'ELECTROLYTE :

Dans le cas d'une roche saturée, Archie a établi une relation expérimentale liant la résistivité de la roche, la porosité, le mode de distribution et la résistivité de l'électrolyte :

$$R_t = R_w \cdot a \cdot \phi^{-m}$$

$R_t$  = résistivité de la roche en ohms.m,

$R_w$  = résistivité de l'eau d'imbibition en ohms.m,

$\phi$  = porosité en %,

m = Facteur de cimentation, varie généralement entre 1.3 et 2.2, a = facteur qui dépend de la lithologie et varie entre 0.6 et 2.

On a l'habitude de regrouper sous le terme facteur de formation F ce qui caractérise la structure de la roche :  $F = a \cdot \phi^{-m}$  L'expression de la loi d'Archie pour une roche saturée en eau devient alors :  $R_t = R_w \cdot F$

4.5. Les constituants solides de la roche

La majorité des minéraux (quartz, carbonates, silicates...) ne sont pas conducteurs de courant mais il existe des minéraux qui contiennent des éléments conducteurs (fer) comme les oxydes de fer ou encore la pyrite, la sidérite...Etc.

C'est ce que nous allons voir dans cette étude.

**5. Exemple du bassin de Berkine Est : puits HBNP-1:**

Au niveau du Silurien argilo-gréseux, on a observé sur l'élan (courbes de résistivités) du puits HBNP-1 (Fig.II.13), un intervalle gréseux où les résistivités chutent d'une manière significative vers 0.2 Ohm.m.

Ces grès font partis du réservoir potentiel A2 avec des porosités estimées faibles à moyennes, de 3 à 10% (voir annexe tableau 1 et 2), et une perméabilité, faible à médiocre de 0.016 à 8.165mD.

Cet intervalle a fait l'objet d'un test, qui a débité 10512m<sup>3</sup>/h de gaz (TABLEAU-1), confirmant ainsi le caractère de ce niveau comme un réservoir productif avec une faible résistivité. La lithologie de cet intervalle est constituée de grès fins, plus ou moins friable à ciment chloriteux (voir Fig.II.14, Fig.II.15).

Résultats puits basses résistivités					
Puits	Intervalle testé	Résultats			Remarque
		Huile	Gaz	Condensât	
HBNEP-1	4758-4761,5m/4768,5-4775m (A2 supérieur)		25 975m <sup>3</sup> /h	1,41m <sup>3</sup> /h	Basse résistivité
	4815-4844m (A2 inférieur)		24 772m <sup>3</sup> /h	0,98m <sup>3</sup> /h	
HBNP-1	4611-4622m/4627-4635m/4641-4645m (A2)		10 512m <sup>3</sup> /h	5,17m <sup>3</sup> /h	Basse résistivité

**TABLEAU 1-** Résultats pétroliers des puits à basses résistivités (Sonatrach 2015, rapport interne)

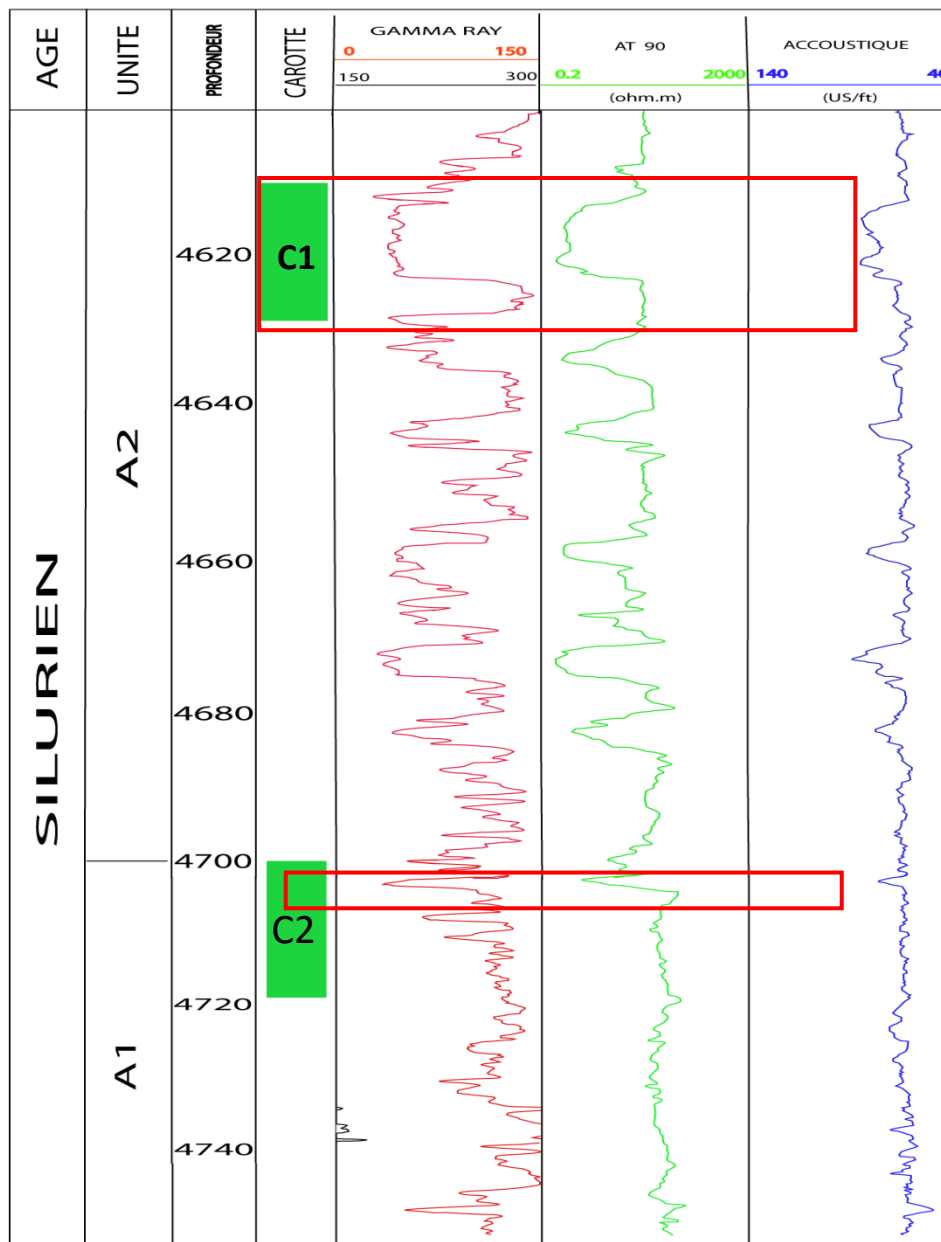


Fig.II.13 : Log diagraphique Des unités A1 et A2, puits HBNP-1.

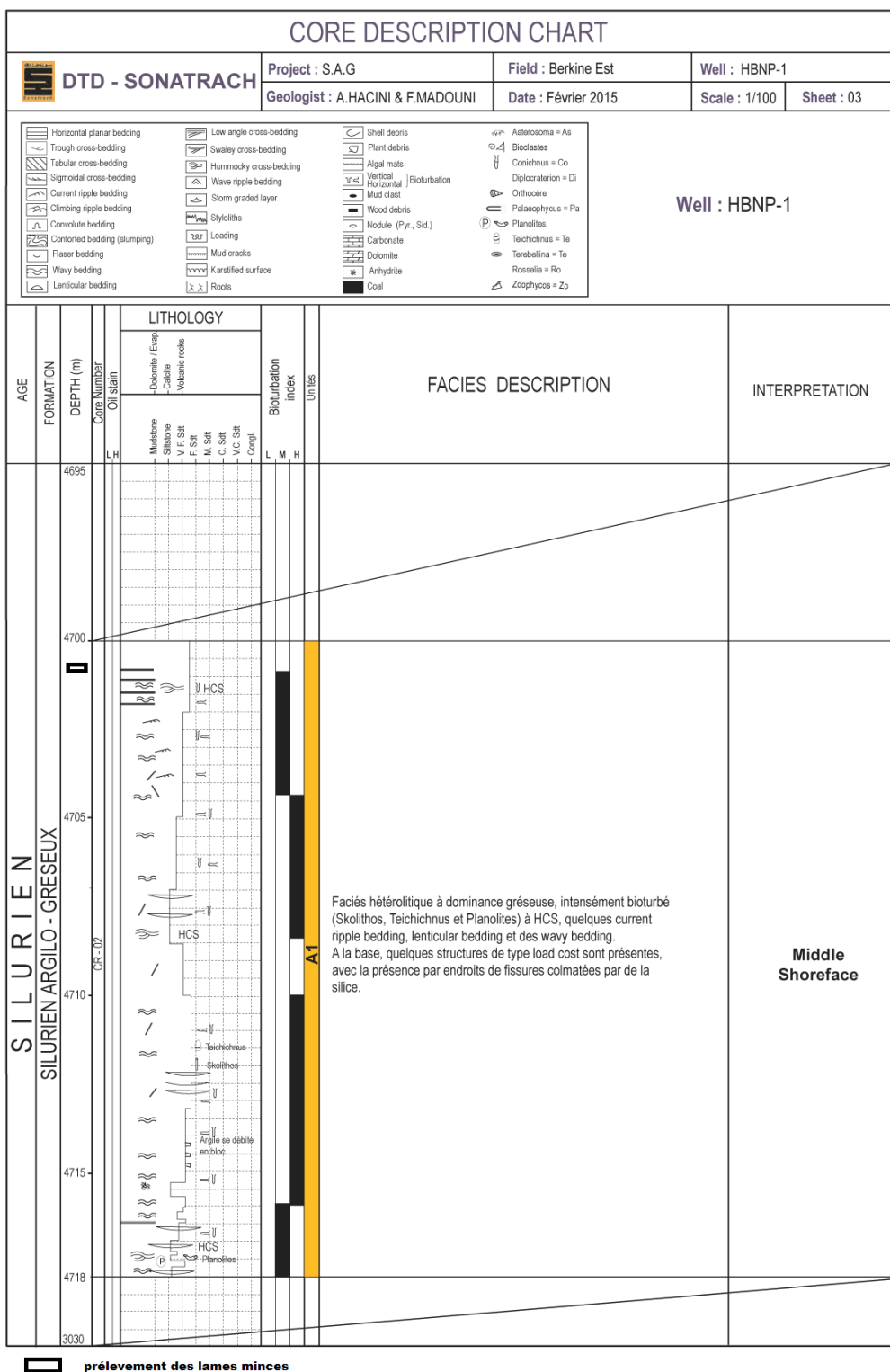


Fig.II.14 : Charte de description lithologique de carotte 1, puits HBNP-1 (Sonatrach 2015)

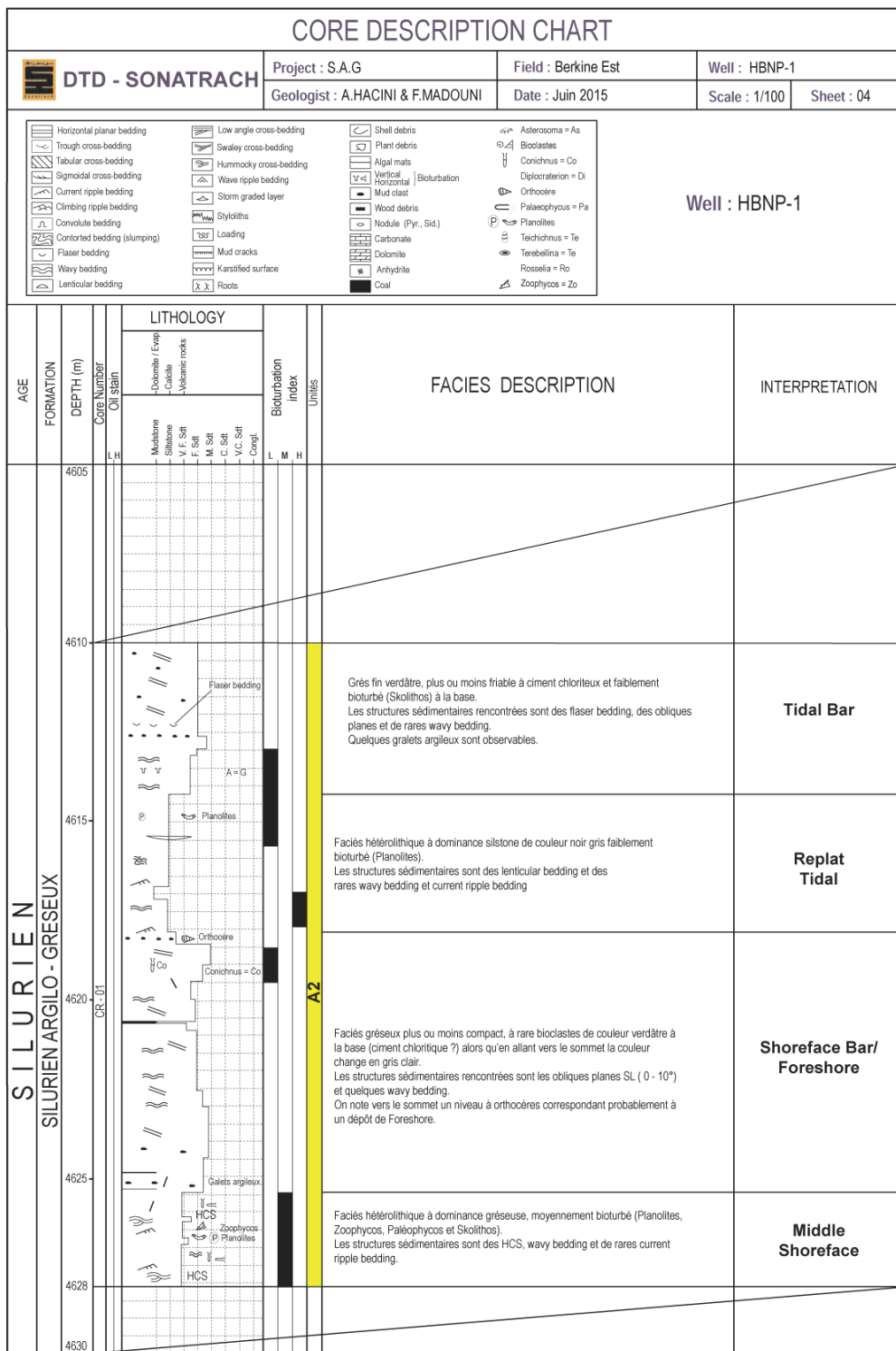


Fig.II.15 : Charte de description lithologique de carotte 2, puits HBNP-1 (Sonatrach 2015)

**-Conclusion:**

**Dans le bassin de Berkine Est à partir des puits étudiés, il apparait que le Silurien inférieur et moyen constituent la roche mère; le silurien supérieur (unité M, A et B) forme la partie inférieure du réservoir F6.**

**-Les niveaux M2, A1 et A2 sont connues comme des réservoirs présentant de faible résistivité.**

**-Afin de comprendre ce phénomène de basse résistivité une étude pétrographique sera réalisée, dans le chapitre suivant, sur les deux puits HBNP-1 et HBNEP-1.**

Chapitre III  
Etude  
pétrographique

## I. Introduction :

L'étude pétrographique est réalisée pour la détermination et la description des minéraux constitutifs des roches, et ainsi que la mise en évidence des phénomènes diagenétiques qui couvrent l'ensemble des modifications chimiques qu'elles ont subies au cours de leur histoire géologique. Notre étude est basée sur 35 plaques minces étudiées au microscope polarisant, sur 35 plaques mince prélevée sur deux sondages HBNP-1(10 lames) et HBNEP-1(25 lames).

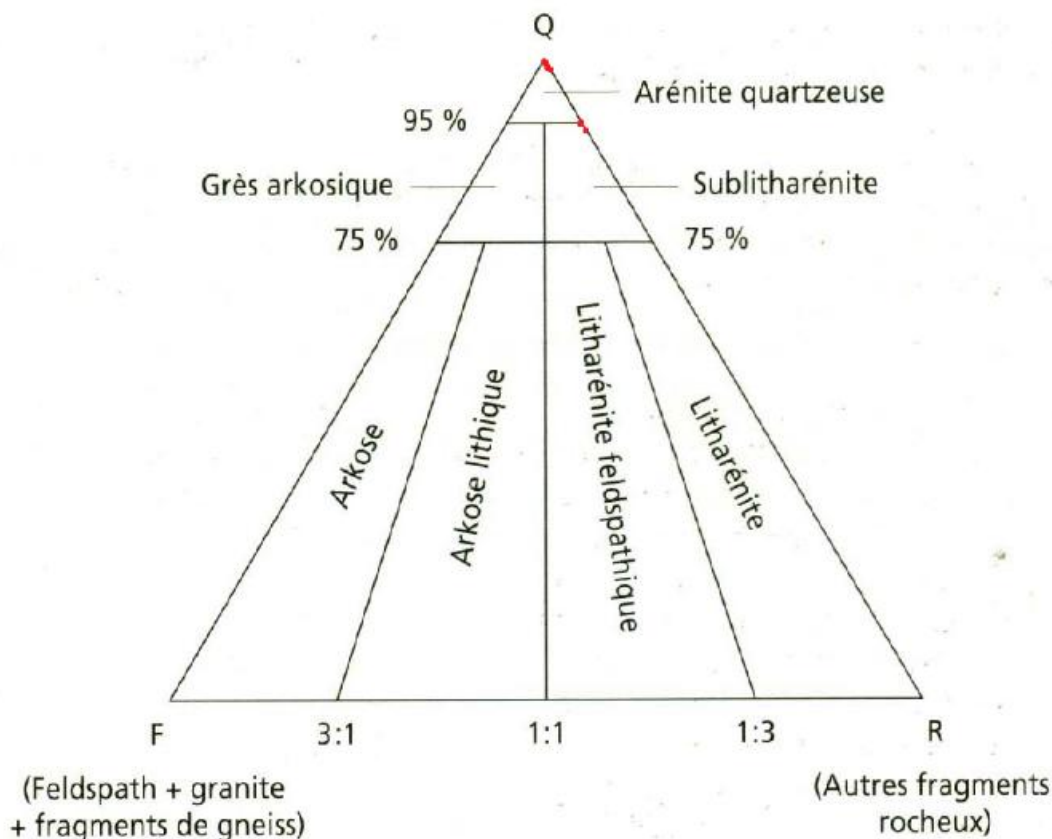
Le but de cette étude est:

- La déterminer la granulométrie.
- L'appréciation du classement et de la morphoscopie des grains de quartz.
- L'évaluation en pourcentage des différents constituants (ciments et éléments figurés).
- La détermination de la texture et le nom de la roche.
- L'identification des phénomènes diagenétiques.
- La caractérisation du réseau poreux.

## II. Etude Pétrographique:

Selon la classification de Folk 1974, les grès rencontrés dans le puits HBNP-1 sont des quartz-arérites à sublitharénites (fig.III.16).

La majorité des grès sont constitués par des grains anguleux à sub-anguleux et parfois arrondis, modérément à bien classés, parfois mal classés. La taille des grains varie du fin au moyen.

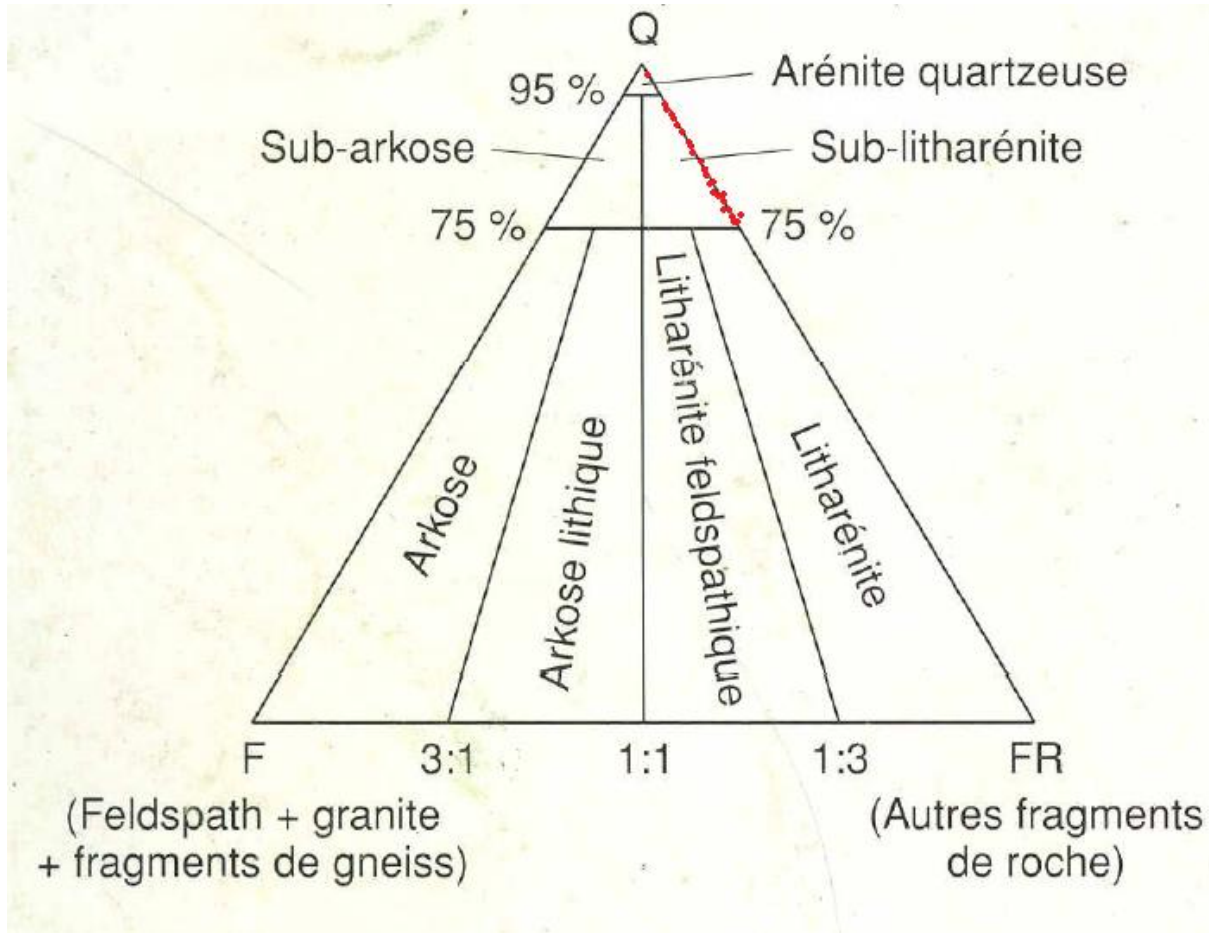


**FIG.III.16** : classification des grès du Silurien dans le puits HBNP-1 selon Folk.

- Localisation des grès du puits HBNP-1

Selon la classification de Folk 1974, les grès rencontrés dans le puits HBNEP-1 sont des sublitharénites (fig.III.17). Moyennement à bien classés parfois mal classés.

La majorité des grains sont anguleux à sub-anguleux parfois arrondis moyennement à bien classés parfois mal classés.



**FIG.III.17** : classification des grès du Silurien dans le puits HBNEP-1 selon Folk

● Localisation des grès du puits HBNEP-1

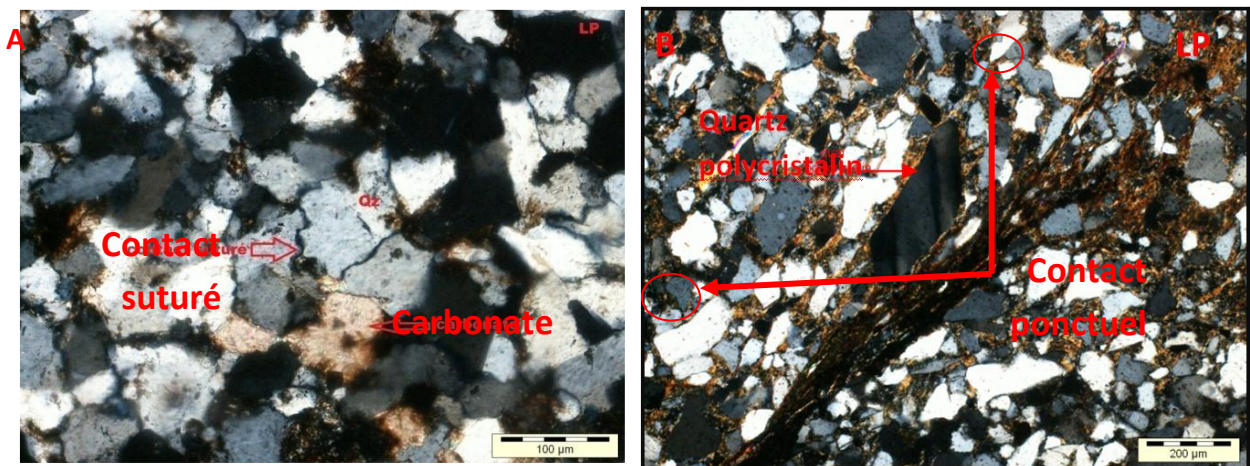
## 1. Etude pétrographique de l'Unité M2 (puits HBNEP-1):

Selon les données de carottes, l'unité M2 est comprise entre 5008m à et 4990m avec la disponibilité de 12 lames mince au niveau du puits HBNEP-1.

### 1.1.les constituants détritiques :

#### 1.1.1. le quartz ( $\text{SiO}_2$ ) (FIG.III.18):

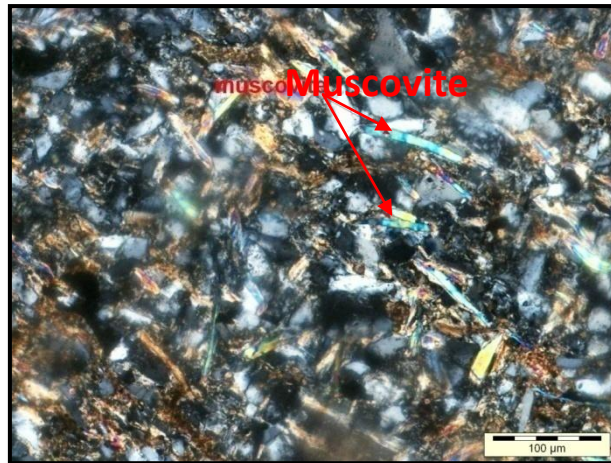
Sa teneur varie entre 25% à 77%, les grains de quartz sont fins à très fins avec un diamètre fluctuant entre 0.003 mm et 0.01 mm. Les observations faites sur l'ensemble des lames minces montrent que les grains de quartz sont mal à moyennement classés, anguleux, sub-Anguleux à sub arrondis. Le contact abondant est droit tangentiel parfois concavo-convex à suturé et dans certains cas ponctuel.



**FIG.III.18:**puits HBNEP-1, côte 4994.33, contact suturé et la présence un ciment carbonaté (A).  
Quartz polycristallin et un contact ponctuel(B)

#### 1.1.2. Les micas (FIG.III.19):

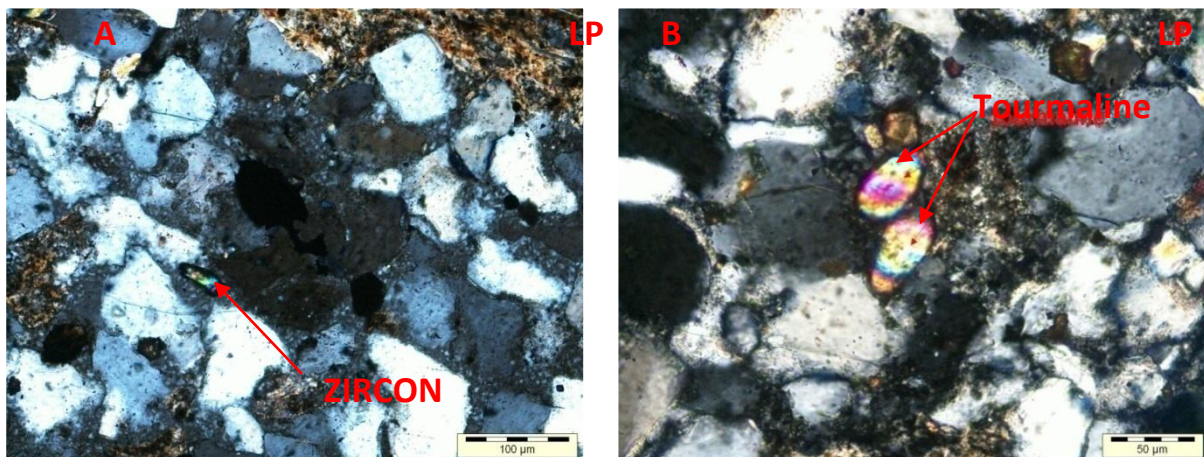
Les micas sont présents avec un très faible pourcentage (en trace jusqu'à 5%), ils sont souvent représentés par la muscovite  $\{(\text{KA}l_2 (\text{si}_3\text{Al}_{10}) (\text{OH}, \text{F})_2)\}$ , ils sont absents ou altérés en illite à la base.



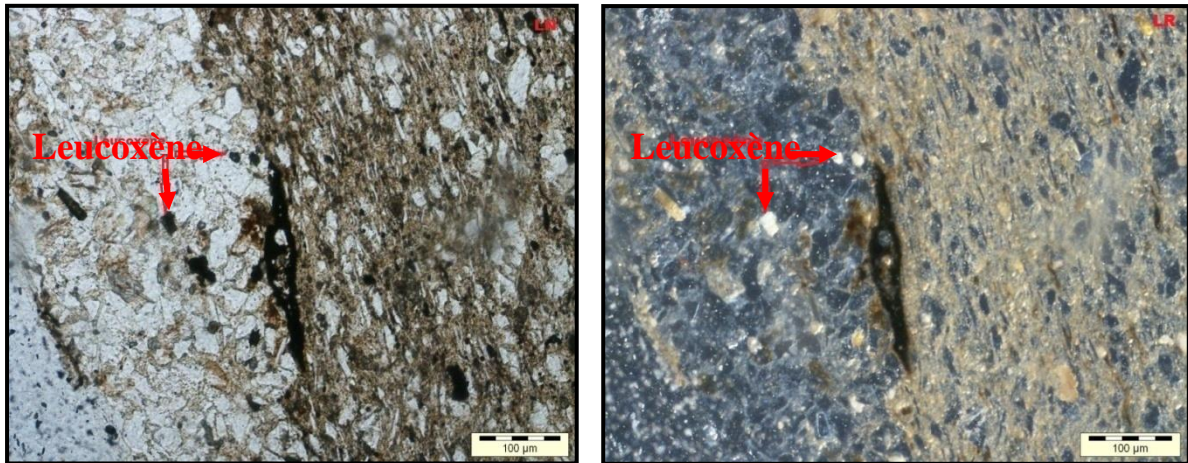
**FIG.III.19:** puits HBNEP-1, côte 4996.78, muscovite en lumière polarisée.

### 1.1.3. Les minéraux Lourds :

Ils sont représentés par le Zircon ( $ZrSiO_4$ ), la Tourmaline (fig.III.20) et le Leucoxène (FIG.III.21): qui sont généralement en inclusions dans les grains de quartz ou parfois en cristaux ils sont présents en faible pourcentage (traces).



**FIG.III.20:** puits HBNEP-1, côte 4996.78, Tourmaline en lumière polarisée(B).  
: Puits HBNEP-1, côte 5006.28, zircon en lumière polarisé (A)



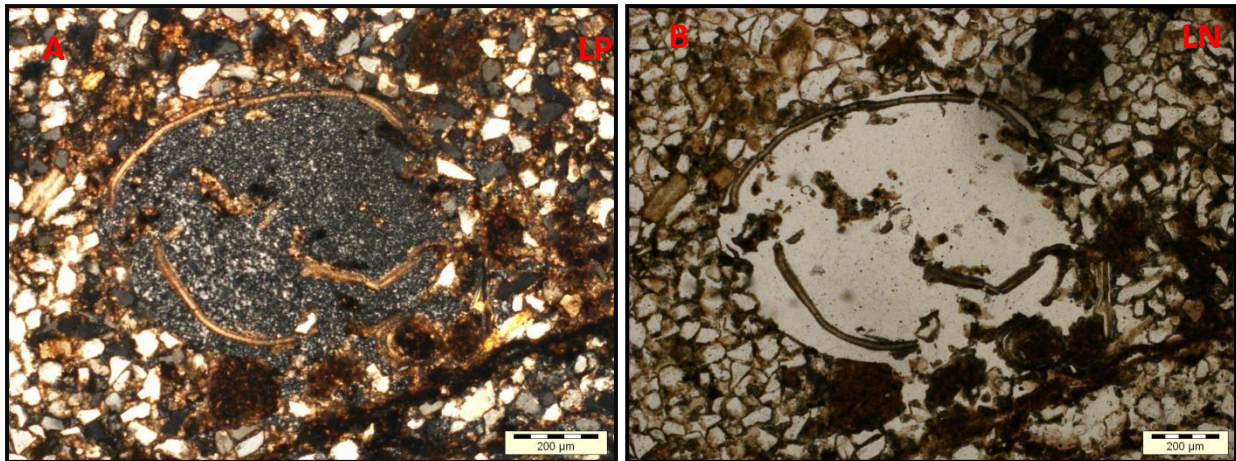
**FIG.III.21:** puits HBNEP-1, côte 5007.26, Leucoxène en lumière naturelle et réfléchi

### 1.2. Autres constituants

On note la présence des bioclastes (FIG.III.23) à la profondeur 4999.62m, des traces d'oxyde de fer et des laminations argileuses parfois imprégnées en matière organique (FIG.III.22).



**FIG.III.22:** puits HNEP-1 côte 4992.52; laminations argileuse



**FIG.III.23:** puits HBNEP-1 côte 4999.62, photo montrant un bioclastes. (A) lumière polarisée, (B) lumière naturelle

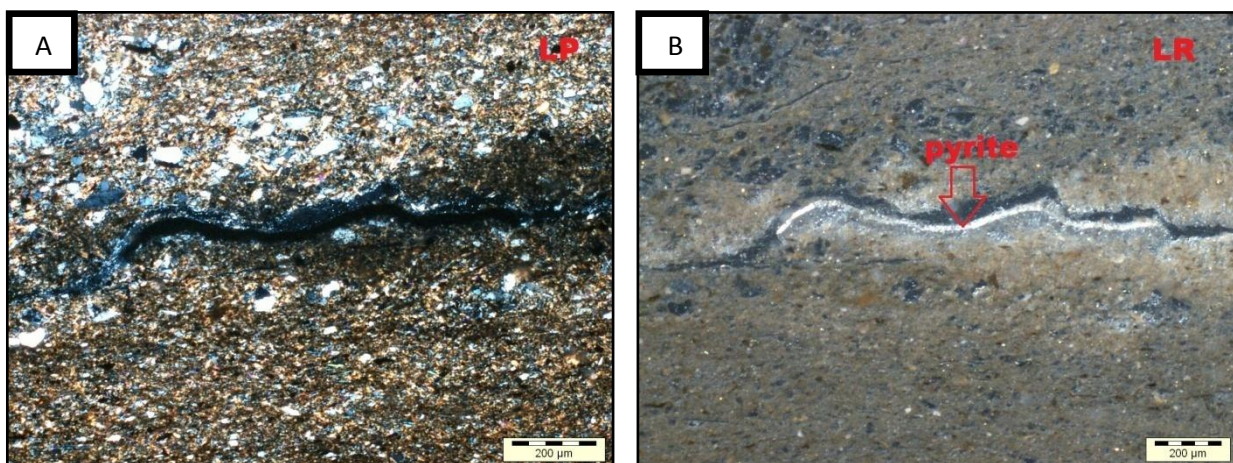
### 1.3. Les ciments

#### 1.3.1. Le ciment siliceux:

Au niveau de l'unité M2, le ciment siliceux est souvent absent à l'exception de l'intervalle 4999.62 et 4994.33 où il est présent en faible pourcentage sous forme d'une auréole autour des grains de quartz (silice de nourrissage).

#### 1.3.2. Le ciment argileux:

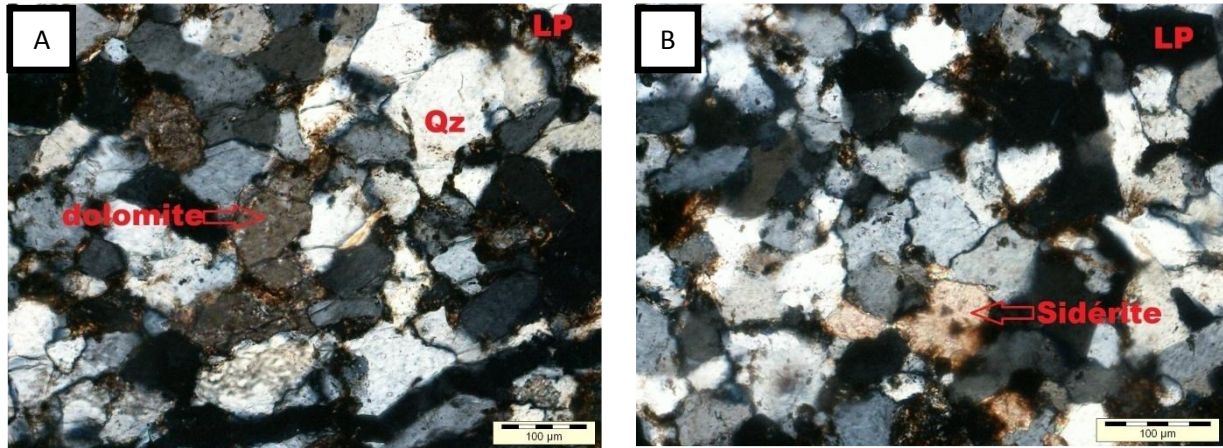
Il est représenté par l'illite en pourcentage élevé suivi par la kaolinite et la chlorite, le ciment argileux diminue en allant vers le sommet de l'unité M2, son pourcentage varie entre 75% (côte 5007,78m) et 15% (côte 4994.33m et 4991.22m) (FIG.III.24).



**FIG.III.24:** puits HBNEP-1, côte 4996,78, (A) ciment argileux en lumière polarisée, (B) fissure colmatée par la pyrite et l'argile.

### 1.3.3. Le ciment carbonaté:

Il est totalement absent sauf au niveau des côtes (4999.62m, 4994.33m et 4991.22m) où il est représenté par la sidérite ( $\text{FeCO}_3$ ) et la dolomite ( $\text{MgCO}_3$ ) ( FIG.III.25).



**FIG.III.25:** puits HBNEP-1, côte 4994.33, (A) ciment carbonaté (sidérite), (B) ciment carbonaté (dolomite).

### 1.4. Conclusion:

L'unité M2 est constituée essentiellement par des siltites et parfois des grés très fins à ciment argileux avec une porosité nulle le contact abondant est droit parfois suturé l'ensemble des grains de quartz sont anguleux à sub-anguleux.

## 2. Etude pétrographique de l'Unité A1 (HBNP1)

Elle est comprise entre 4718m et 4700m au niveau du puits HBNP1. Avec la disponibilité d'une seule lame mince qui est constituée de:

### 2.1.constituants détritiques:

#### 2.1.1. Le quartz ( $\text{SiO}_2$ ):

Il représente l'élément le plus abondant avec une teneur de 88%, les grains de quartz sont anguleux à sub-anguleux avec des contacts tangentiels, ils sont bien classés à ciment argileux.



Fig.III.26: puits HBNP-1, cote 4701.46 m, lumière réfléchie.

### 2.2. les ciments:

#### 2.2.1. le ciment argileux:

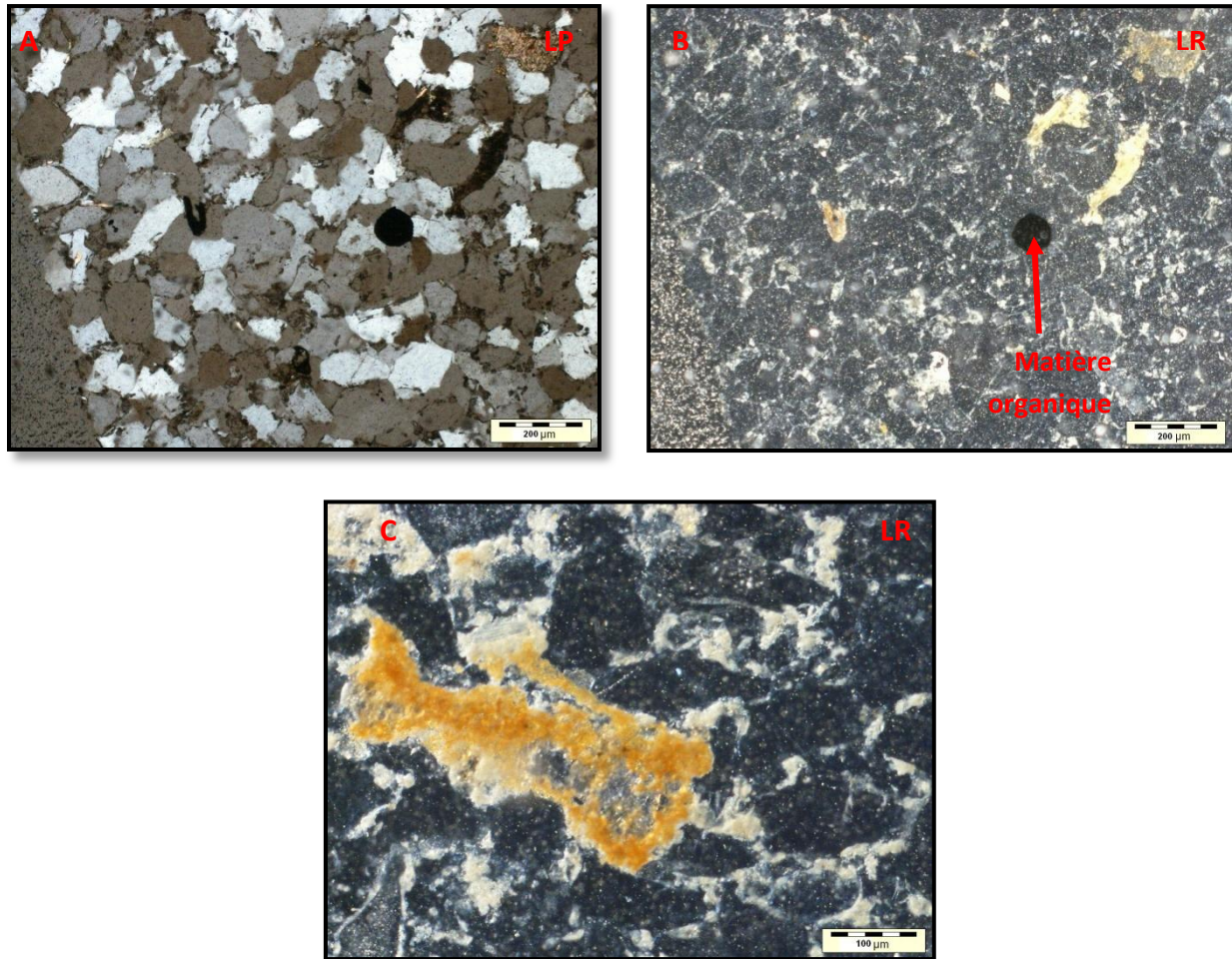
Avec un pourcentage de 4%, il est représenté seulement par la chlorite.

#### 2.2.2. Le ciment siliceux:

Il est représenté par la silice de nourrissage et la silice intergranulaire avec un pourcentage ne dépassant pas les 8%.

### 2.3. Autres constituant:

On note la présence de la pyrite, des oxydes de fer. La porosité est présente en très faible pourcentage(FIG.III.27).



**FIG.III.27:** puits HBNP-1, côte 4701.46: (A) grain de quartz avec un ciment siliceux (LP), (B) matière organique(LR), (C) oxyde de fer.

#### 2.4. conclusion:

L'analyse pétrographique montre que l'unité A1 est constituée par des grés fins bien classés avec un ciment siliceux. L'observation de la lame mince indique une porosité nulle, le contact est fréquemment droit, les grains sont anguleux à subanguleux.

### 3. Etude pétrographique de l'Unité A2 (HBNEP-1 et HBNP-1):

Elle est comprise entre les côtes 4628m et 4610m au niveau du puits HBNP1 et entre les côtes 4783m et 4765m au niveau du puits HBNEP-1 avec une disponibilité de 22 lames minces.

#### 3.1. Les constituants détritiques:

##### 3.1.1. Le quartz ( $\text{SiO}_2$ ) (FIG.III.28)

Il constitue l'élément principal avec une teneur qui peut atteindre les 83%, les grains sont généralement anguleux à sub-anguleux et rarement arrondis, ils sont bien à moyennement classés. Le contact entre les grains est fréquemment droit parfois concavo-convex ou suturé, la taille moyenne des grains varie entre 0.070mm et 0.500mm, la taille maximale est de 0.875mm.

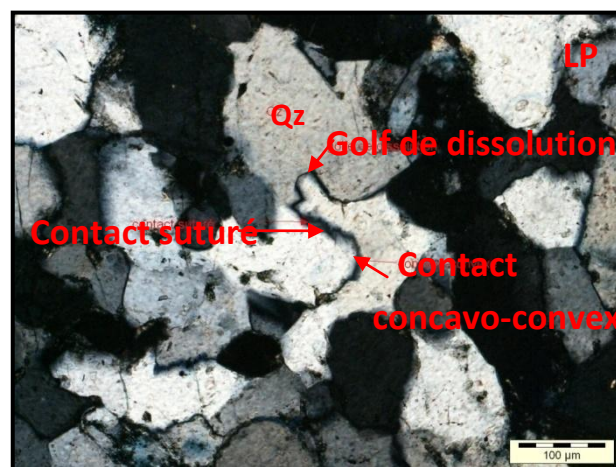


FIG.III.28: puits HBNEP-1, côte 4781.31: photo montrant quelque phénomènes diagenétiques affectant les grains de quartz.

##### 3.1.2. Les micas

Ils sont présents en très faible pourcentage, pouvant atteindre les 3%. Ils sont essentiellement représentés par la muscovite. (fig.III.29)

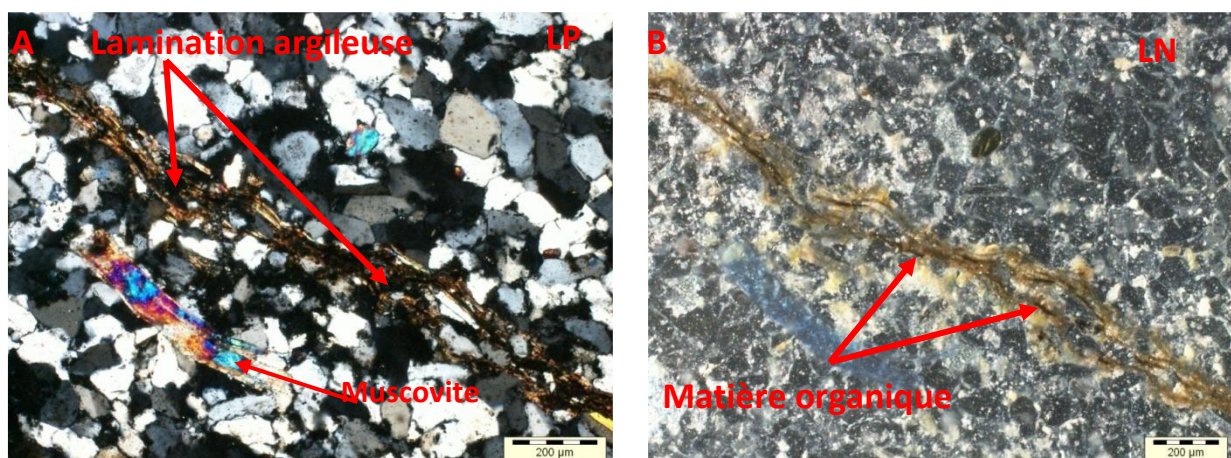
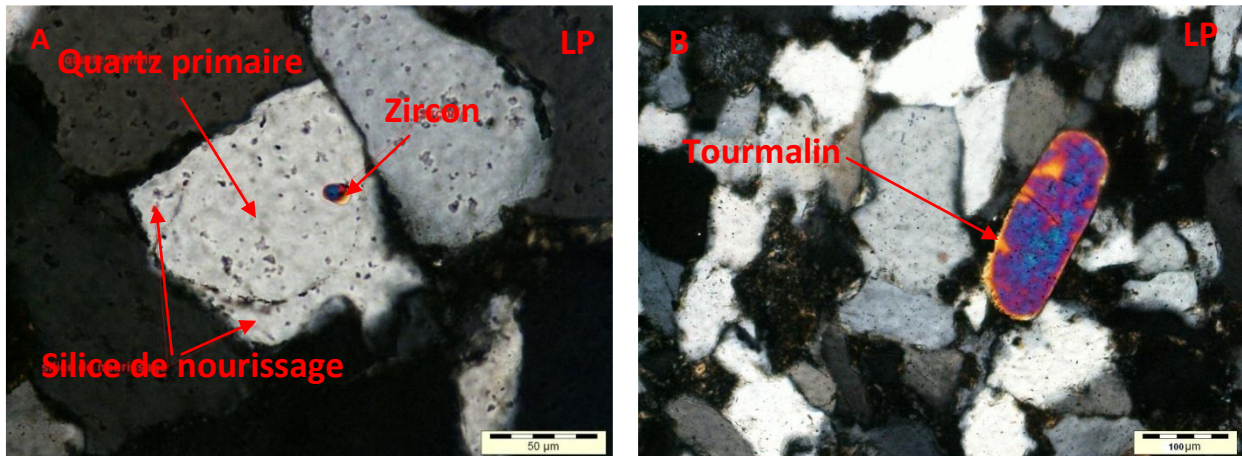


FIG.III.29: puits HBNEP-1, côte 4769.4: photo montrant la présence de muscovite(A) avec des laminations argileuses contenant un peu de la matière organique(B).

### 3.1.3. Les minéraux lourds: (FIG.III.30).

Ils sont représentés par le zircon, la tourmaline et le leucoxène, ils sont en très faible pourcentage dépassant pas les 1%



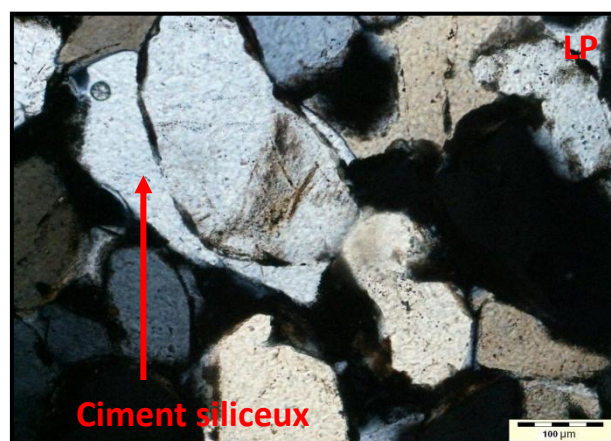
**FIG.III.30:** puits HBNEP-1, côte 4768.56; zircon en inclusion dans un grain de quartz (A)

Puits HBNP-1, côte 4621.79 ; tourmaline (B)

### 3.2.les ciments:

#### 3.2.1. le ciment siliceux: (FIG.III.31)

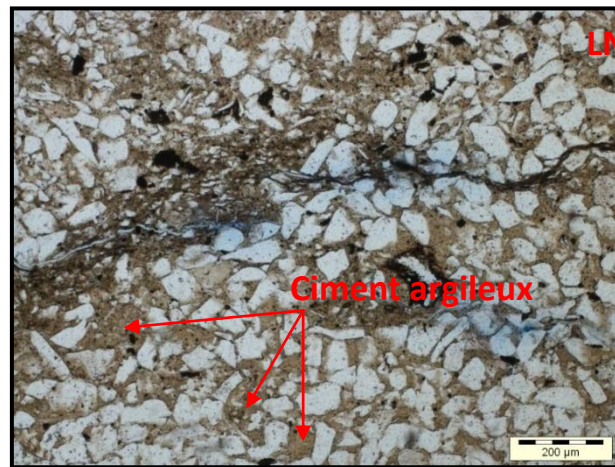
Le ciment siliceux se développe dans les 2 puits (HBNEP-1 et HBNP-1) avec un pourcentage qui peut atteindre 8% et il est parfois absent.



**FIG.III.31:** puits HBNP-1, côte 4625.30; le ciment siliceux.

#### 3.2.2. Le ciment argileux: (FIG.III.32)

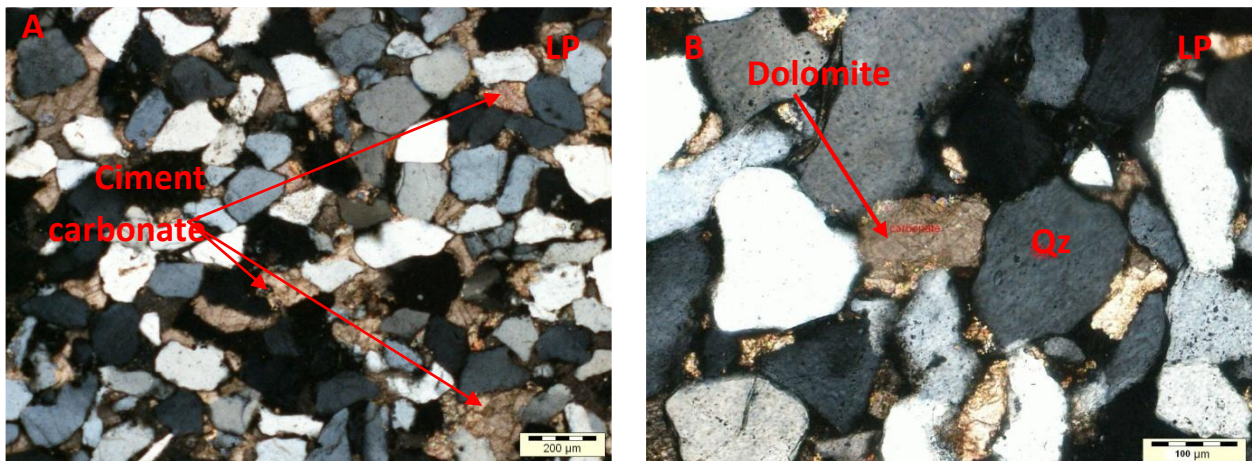
L'argile est représentée essentiellement par la chlorite et l'illite, son pourcentage oscille entre 4% et 48%.



**FIG.III.32:**puits HBNEP-1, côte 4774.44; ciment argileux

### 3.2.3. Le ciment carbonaté: (FIG.III.33)

Le ciment carbonaté est présent dans les niveaux supérieurs avec une teneur qui varie entre 3 et 20%. Par contre il est totalement absent dans les niveaux inférieurs.

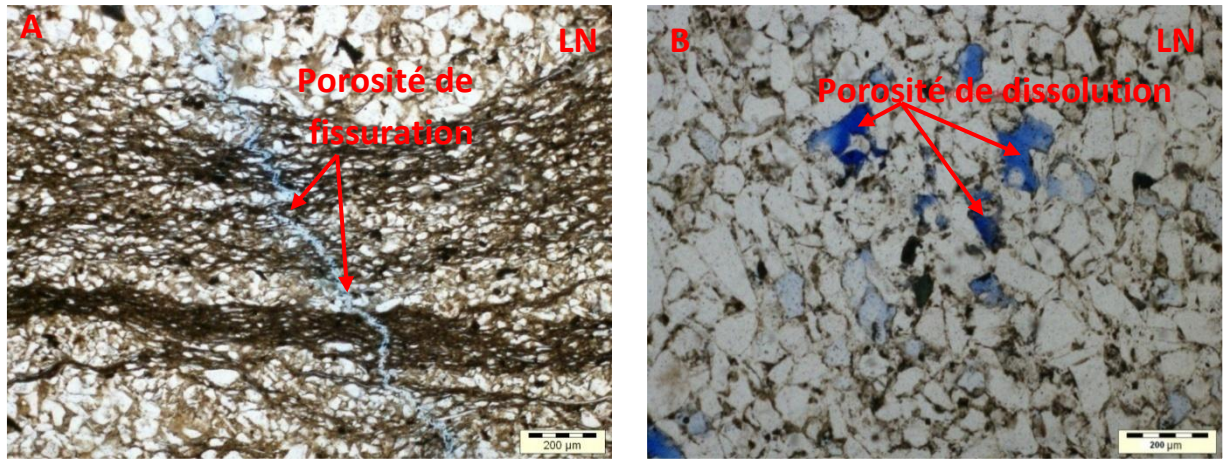


**FIG.III.33:**puits HBNEP-1, côte 4767.6; ciment carbonaté (sidérite) (A).

Puits HBNP-1, côte 4612.55; ciment carbonaté (dolomite) (B).

### 3.3. La porosité : (FIG.III.33)

Dans l'unité A2, la porosité est très importante en comparant aux 2 unités précédentes, elle peut atteindre jusqu'à 10% qui est représentée beaucoup plus au niveau du puits HBNP-1 que dans le puits HBNEP-1. On trouve souvent une porosité secondaire qui est de dissolution ou de fracturation, elle est rarement primaire et est assurée par la chlorite frangeante.

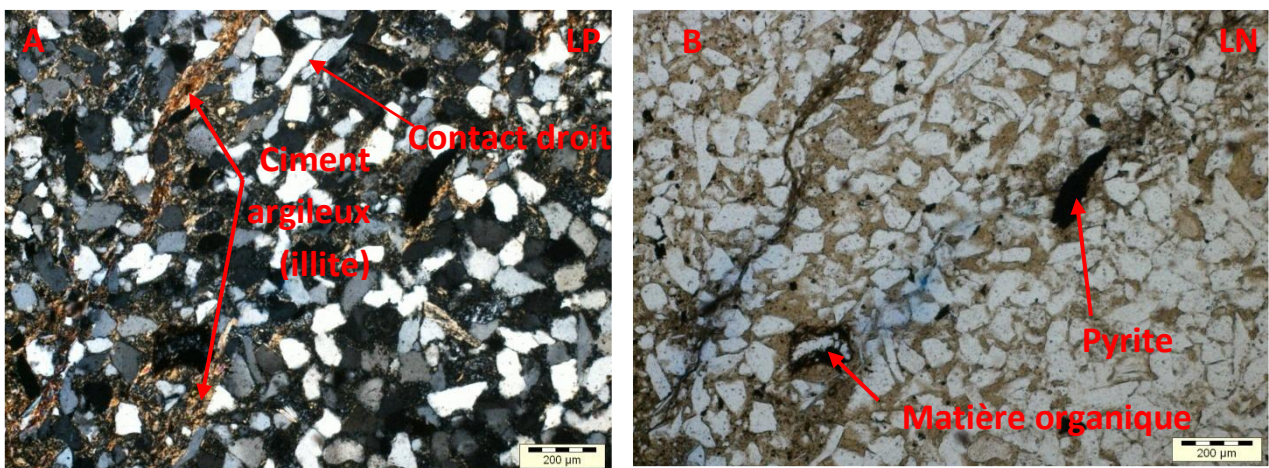


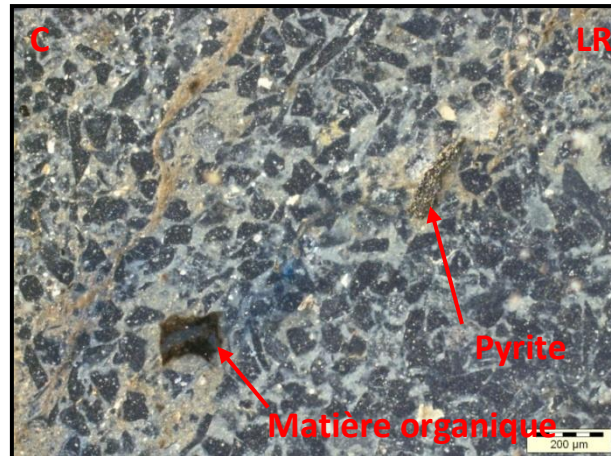
**FIG.III.34:**puits HBNEP1, côte 4773.45; porosité de fissuration (A).

Puits HBNP1, côte 4621.2; porosité de dissolution (B).

**3.4. Autre constituants:( FIG.III.34)**

On a aussi d'autres constituants qui se présentent en faible pourcentage, ce sont la pyrite, l'oxyde de fer, et la matière organique.





**FIG.III.35:** puits HBNEP-1, côte 4774.44; ciment argileux (illite) (A), matière organique et pyrite (B), (C)

### 3.5. Conclusion:

L'analyse pétrographique montre que l'unité A2 est constituée par des grès fins moyennement classé avec un ciment argileux à argilo-carbonaté, les grains de quartz sont anguleux à sub- anguleux, on remarque un contact droit fréquent, on constate aussi la présence de ciment siliceux. D'autres constituants existent comme la pyrite, l'oxyde de fer et la matière organique. La porosité en générale est secondaire, elle est de dissolution ou de fissuration.

## 4. Conclusion du chapitre

L'analyse pétrographique des unités A1, A2 et M2 montre que la majorité des grès des ces unités sont constituées par des grains anguleux à sub-anguleux et parfois arrondis, bien à modérément classés parfois mal classés, le contact abondant est droit. La taille des grains varie du fin à moyen (Tableaux 1,2, résultats des analyses pétrographiques, (Cf. annexe I). En plus du quartz il y'a d'autres minéraux comme la pyrite et l'oxyde de fer, le ciment est généralement argileux de type chlorite (voire annexe. I tableau 3,4) parfois carbonatés mais de faible pourcentage. La porosité est faible à modéré avec un maximum de 10% représentée beaucoup plus dans le puits HBNP-1, elle est de dissolution ou de fissuration et parfois primaire.

Chapitre IV

Etude

diagénétique et

impact sur les

résistivités

## 1. Etude diagénétique et impact sur la résistivité

Les phénomènes diagénétiques qui résultent des transformations physico-chimiques ou biologiques modifient les propriétés originelles des réservoirs (porosité et perméabilité), ils peuvent dans certains cas les dégrader et dans d'autres cas améliorer leurs capacités.

### 1.1. Notion de diagenèse

La diagenèse correspond à l'ensemble des modifications physiques, chimiques ou biologiques qui permettent les transformations du sédiment meuble en une roche compacte. La limite avec le métamorphisme, souvent placée à l'anchizone est floue.

Le produit final possèdera une texture et une composition qui dépendront tout autant de la provenance des matériaux que de leur évolution post-dépôt. (Cojan et Renard, 2003).

On distingue généralement la diagenèse précoce de la diagenèse tardive. La première se réfère aux changements essentiellement biochimiques, rapides, qui se produisent à l'interface eau/sédiment ou dans les premiers décimètres d'enfouissement. La diagenèse tardive comprend toutes les autres modifications physico-chimiques, beaucoup plus lentes (compaction, transformation minéralogique, dissolution).

### 1.2. Les mécanismes de la diagenèse dans le silurien Argilo-gréseux:

#### 1.2.1. La compaction:

Le tassement d'une couche sédimentaire sous l'action du poids des sédiments sus-jacents correspond à la compaction. Ce mécanisme conduit à l'établissement d'un assemblage plus compact des particules par l'expulsion d'une partie de l'eau interstitielle dans les premiers décimètres d'enfouissement. Dans cet intervalle, les échanges chimiques peuvent être négligés car les constantes de temps des réactions sont trop grandes par rapport à celles des réarrangements mécaniques. Par la suite l'assemblage devient plus compact par déformation et dissolution des particules. L'analyse pétrographique des lames minces dévoile un contact droit abondant parfois concavo-convex et rarement suturé (FIG.IV.36), les grains de quartz sont anguleux à sub-anguleux, et ça indique une compaction pas assez forte et un transport court des sédiments.



FIG.IV.36: puits HBNP-1, cote 4622.47; photo montrant les différents contacts(A), contact droit (B)

### 1.2.2. la cimentation:

La cimentation correspond à un remplissage progressif des espaces poreux par des minéraux ou à des accroissements syntaxiaux autour des grains détritiques (silice secondaire). Elle conduit à la réduction de la porosité.

Les ciments dérivent soit:

- au phénomène de décantation des éléments en suspension dans les eaux, suite à une chute relative de l'énergie du milieu (ciment argileux)
- aux processus chimiques, suite à des variations de la température, de la pression et du PH (ciment siliceux, carbonaté,...).

#### ❖ Le ciment siliceux:

La silicification est un phénomène qui est dû aux plusieurs facteurs dont les plus probables sont :

- La pression dissolution qui est due aux contacts entre les grains de types concavo-convexes à suturés,
- La circulation des eaux riches en  $\text{SiO}_2$ ,
- Les émergences momentanées dues aux variations du niveau marin,
- L'altération des feldspaths.

Ainsi, on a pu distinguer deux types de ciments siliceux (FIG. IV.37);

- ✓ Le ciment siliceux de compaction (Silice intergranulaire), localisé entre les grains de quartz et favorisé par les contacts concavo-convexes à sutures qui engendrent une pression dissolution.
- ✓ Le ciment siliceux de nourrissage développé autour des grains de quartz est matérialisé par les auréoles d'impuretés. D'après les observations pétrographiques, ce ciment est antérieur à celui de la compaction.

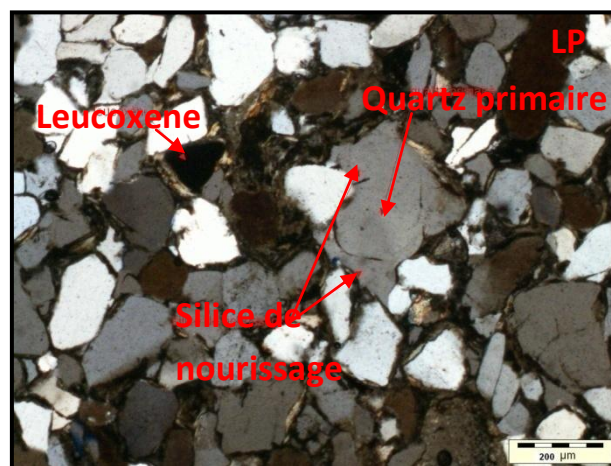


FIG. IV.37: puits HBNP-1, cote 4625.3; photo montrant un ciment siliceux.

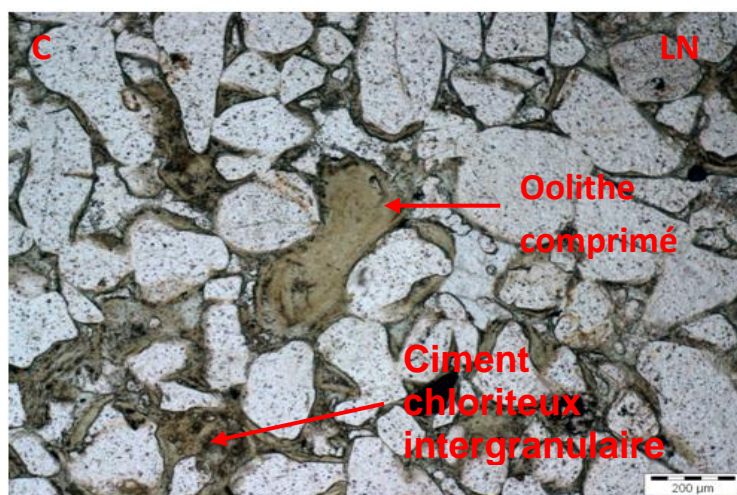
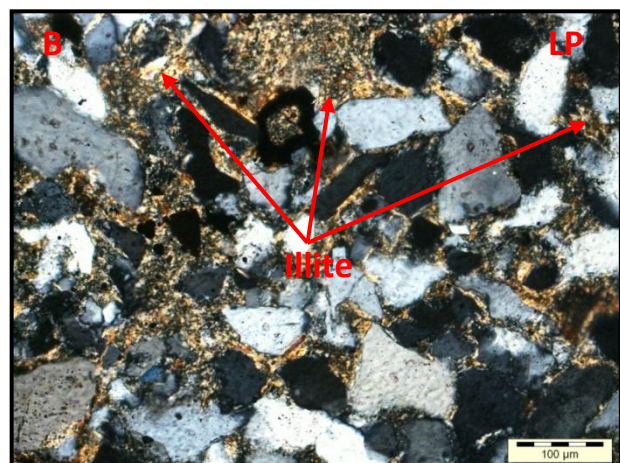
#### ❖ Le ciment argileux:

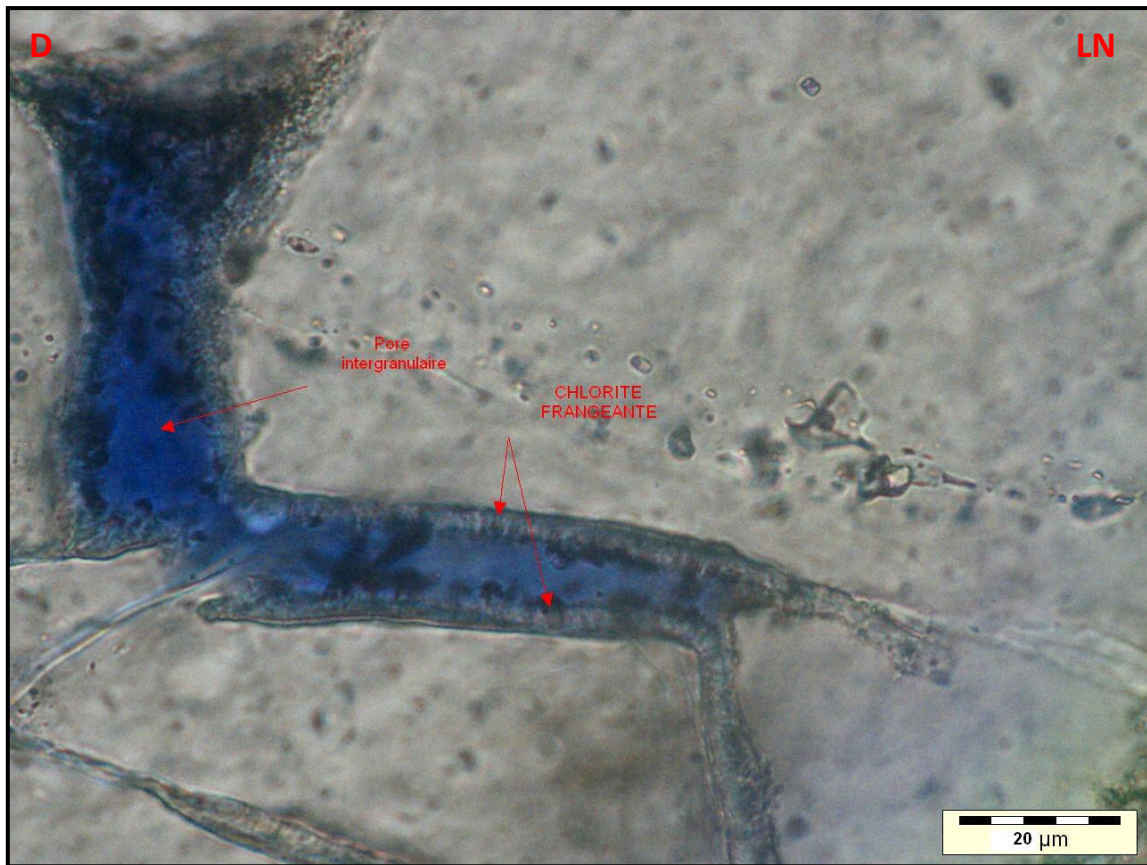
La proportion du ciment argileux est assez importante dans la région d'étude, La kaolinite parfois en cristaux hexagonaux et en remplissage des pores, L'illite se présente sous un aspect fibreux, ou en association avec la kaolinite (FIG. IV.38).

Quant à la chlorite représentant le taux le plus élevé des argiles du Silurien Argilo-gréseux, celle-ci est en grande partie synsédimentaire mais également issue de la transformation des micas à un moindre degré.

Cette chlorite est observée sous différents aspects :

- Chlorite intergranulaire : Ce ciment d'origine détritique (liée au dépôt) ou diagénétique a rempli l'espace poreux intergranulaire.
- Chlorite frangeante : Ce type de ciment chloriteux se présente sous forme d'une auréole radiale autour du grain de quartz, et son développement précoce (synsédimentaire) a limité la croissance de la silice de nourrissage et a augmenté la résistance de la formation à la compaction. Ce phénomène préserve les qualités réservoirs originelles dans les grès des unités A1 et A2.
- Oolites chloriteuses:elles sont enregistrées dans l'ensemble des grès des unités A1 et A2 . Ces oolites consistent typiquement en de nombreuses pellicules concentriques, couvrant occasionnellement un noyau de fragment de quartz. Ces oolites démontrent le caractère précoce et synsédimentaire de la chlorite développée dans les grès de l'unité A1.





**FIG.IV.38:** puits HBNP-1, cote 4613.33; oolithe chloriteuse (A), ciment argileux (illite) (B).

Puits HBNP-1, cote 4612.55; oolithe comprimée et ciment chloriteux(C), chlorite frangeante (D).

#### ❖ Le ciment carbonaté :

**-la sidérite:** c'est un produit de transformation de la calcite (**FIG.IV.39**), il est favorisé par un milieu confiné (Perméabilité faible). Ce milieu peut être créé par la présence de la matière organique et des Composés de fer issues dans notre étude de la chlorite ferrifère (Chamosite).

**-La dolomite:** Se présente souvent en petites plages irrégulières colmatant le réseau poreux, elle se développe en présence de fluides riches en carbonates ( $\text{CaCO}_3$ ) et en magnésium à environ  $100^\circ\text{C}$ .

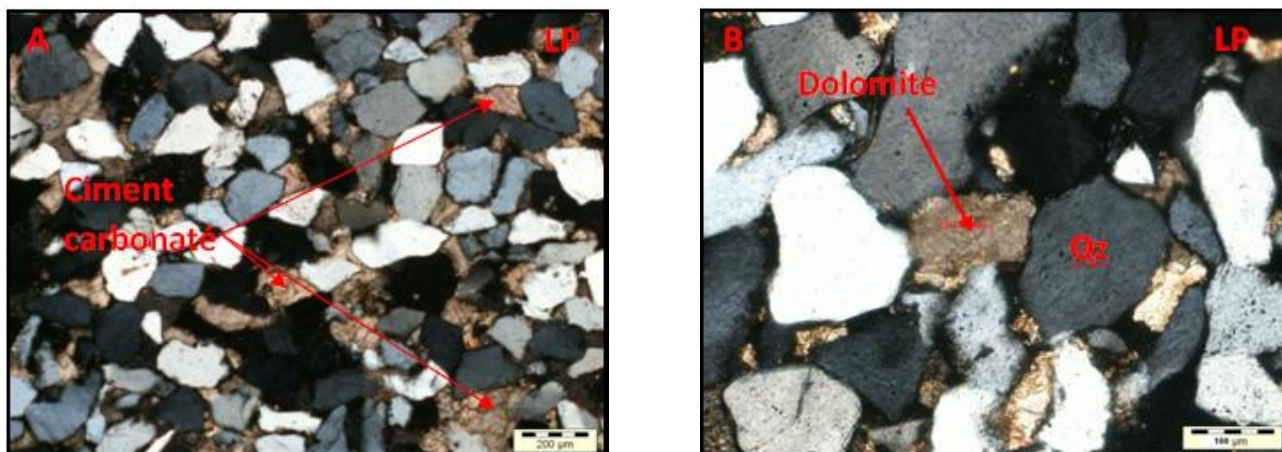


FIG.IV.39: puits HBNEP-1, côte 4767.6; ciment carbonaté (sidérite) (A).

Puits HBNP-1, côte 4612.55; ciment carbonaté (dolomite) (B).

### 1.2.3. la dissolution:

La dissolution est un phénomène tardif, généralement postérieur à la cimentation. Elle est très importante car elle crée une porosité de dissolution qu'on appelle la porosité secondaire qui joue un rôle important dans l'amélioration du potentiel réservoir d'une roche. (FIG.IV.40).

Elle affecte essentiellement les grains de quartz en créant une porosité à aspect en golfe de dissolution ou de grains dissous à l'intérieur des pores, et même les ciments argileux. Elle est très répandue au niveau des unités A1 et A2.

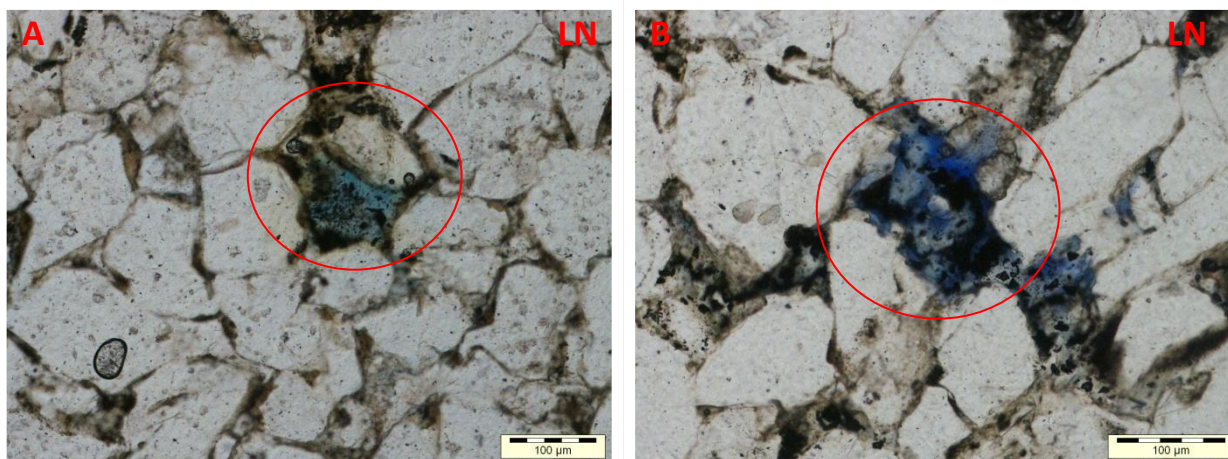
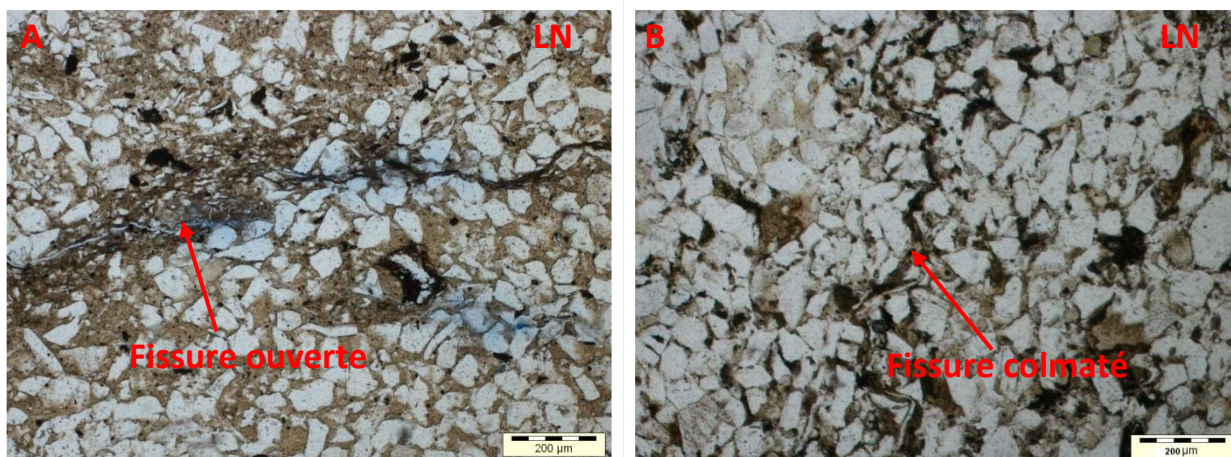


FIG.IV.40: puits HBNEP-1: côte 4768.56; porosité de dissolution (A).

Puits HBNEP-1: côte 4765.28; porosité de dissolution(B).

### 1.2.4. La fissuration:

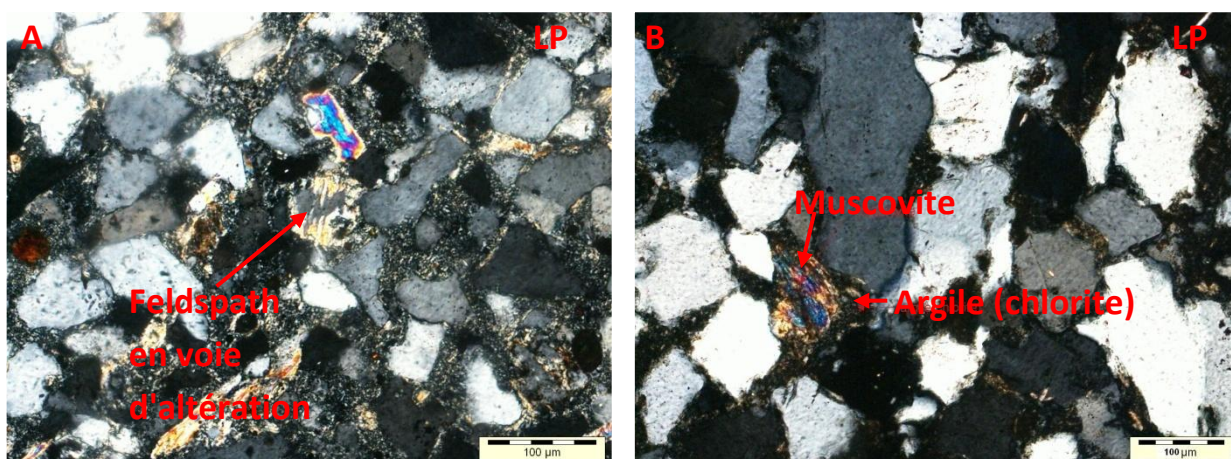
C'est un phénomène de la diagenèse tardive qui contribue à l'augmentation de la porosité par la présence des microfissures surtout ouvertes, il existe aussi des fissures qui sont colmatées par les argiles authigènes (FIG.IV.41).



**FIG.IV.41:** puits HBNEP-1, côte 4774.44; fissure ouverte (A).  
Puits HBNP-1, côte4621.79; fissure colmaté par l'argile (B).

### 1.2.5. L'altération des micas et des feldspaths:

Ce phénomène est marqué par la présence des feuillets de muscovite en voie d'illitisation, ainsi que les grains de feldspaths altéré. (FIG.IV.42).



**FIG.IV.42:** puits HBEP-1, côte 4994.72; feldspath en voie d'altération(A).  
: Puits HBNP-1, côte4621.79; micas (muscovite) en voie d'altération(B).

## 1.3. Chronologie des processus diagénétiques

L'histoire diagénétique des dépôts du Silurien Argilo-gréseux des bassins de Berkine par sa complexité est difficile à décrire en basant seulement sur l'analyse pétrographique.

Les processus diagénétiques observés et identifiés se résument comme suit (fig.IV.43):

- Dépôt des grès et éléments figurés (quartz, Micas, ...).
- Infiltration des argiles détritiques (Kaolinite, illite et chlorite).
- Kaolinitisation pervasive des feldspaths et autres minéraux instables (La présence de larges plages de kaolinite suggère la présence d'un minéral précurseur très instable tel que les feldspaths alcalins).
- Compaction chimique ou «pression-dissolution».
- Chloritisation des micas et autres aluminosilicates.

- Cimentation par la chlorite qui apparait autour des grains de quartz, sous formes d'oolithes en raison de l'agitation du milieu.
- Précipitation du ciment siliceux secondaire suite à l'enfouissement (Pression et température) et l'enrichissement en SiO<sub>2</sub>.
- Dissolution des grains et des ciments siliceux rehaussant ainsi les qualités réservoirs en créant une porosité secondaire
- Précipitation des carbonates.
- Développement des oxydes de fer.
- Précipitation de la sidérite.
- Précipitation de la pyrite en relation avec la désulfuration anaérobie de la matière organique.

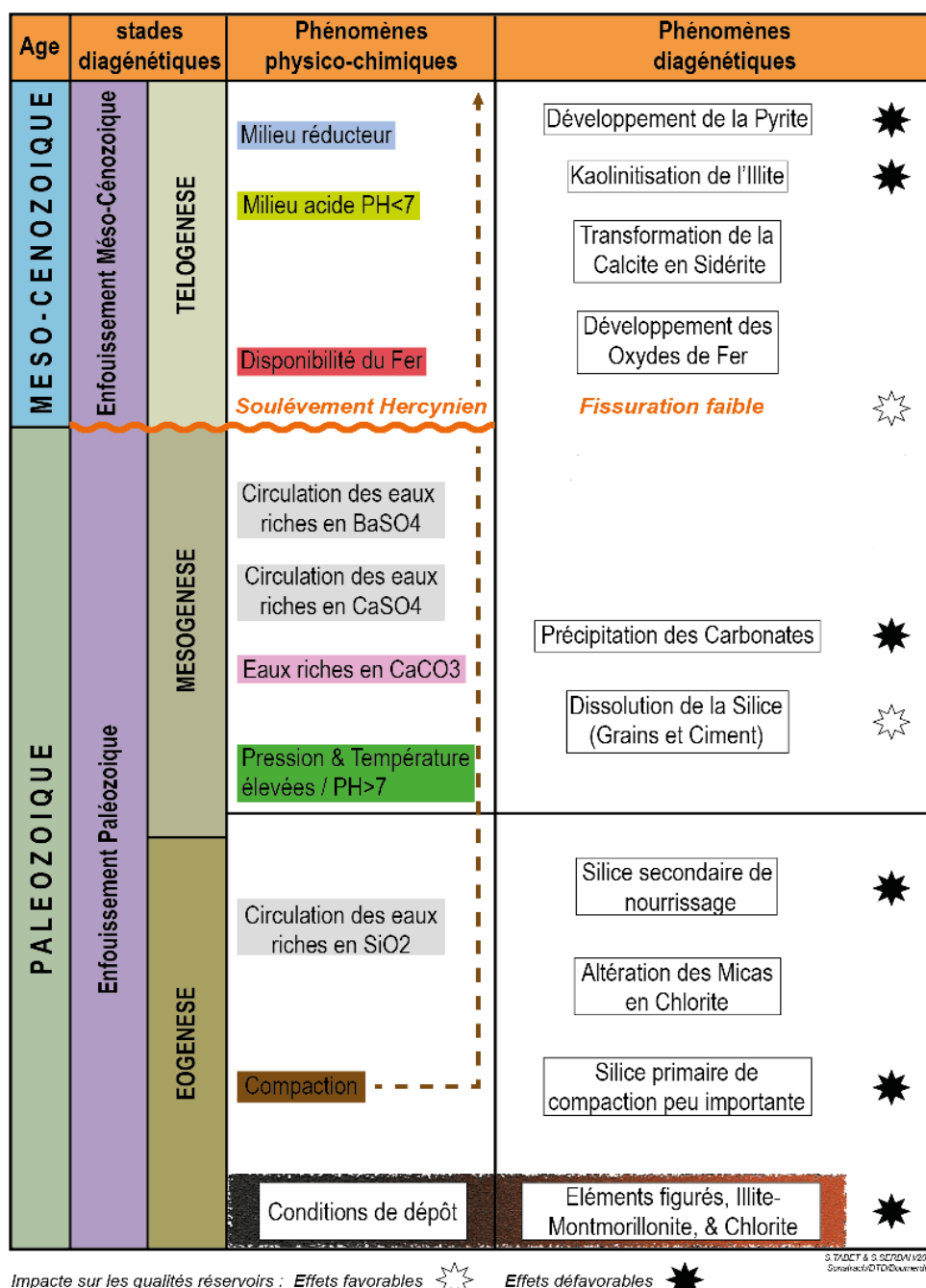


FIG.IV.43:séquence diagénétique du Silurien Argilo-gréseux (document Sonatrach).

#### **1.4. Conclusion:**

**Les principaux phénomènes diagénétiques identifiés et ayant affecté les niveaux A1, A2 et M2 du Silurien argilo-gréseux, nous citerons :**

**-La silicification et la compaction dues à des conditions d'enfouissement, de température et de pression élevées.**

**-Le développement des ciments chloriteux, inhibant la formation du ciment siliceux et préservant la porosité originelle de la compaction.**

**-La transformation des argiles.**

**-La précipitation des ciments carbonatés en pourcentage très faible.**

**- L'altération des feldspaths et des micas.**

**- Le développement des ciments pyriteux et ferrugineux.**

**Il est à noter qu'eu égard à la richesse en fer de la chlorite de formule chimique  $(\text{Fe}^{2+};\text{Mg};\text{Fe}^{3+})_5 \text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH};\text{O})_8$  nous déduisons qu'il s'agit de la chamosite de couleur, verdâtre à brune, variant en fonction de la composition chimique et peut être associée à des oxydes de fer.**



## **2. Impact de la diagénèse sur la résistivité:**

La résistivité d'une roche est en fonction de:

**R= (Rf, Rma, Rc, T°, P)**

**Rma= résistivité de la matrice.**

**Rc= résistivité de la roche.**

**Rf= résistivité du fluide occupant les pores.**

**T°= température.**

**P=pression.**

**Ainsi, nous remarquons que la résistivité dépend surtout de la nature des constituants de la matrice, du ciment et de la porosité.**

**En se basant sur les résultats des analyses chimiques par fluorescence des rayons X(FX), les analyses minéralogiques (DRX) (SONATRACH 2015), et l'étude diagénétique, nous concluons que :**

**-Les chutes de résistivité sont liées à la présence de minéraux conducteurs, comme la pyrite et l'oxyde de fer.**

**-La richesse de la chlorite en fer (7.36%) (chlorite ferrugineuse) constitue le réseau préférentiel au passage du courant électrique; de ce fait elle est la cause majeure des chutes de résistivité.**

**Le planche1 explique ce phénomène; d'après les résultats des diagraphies un carottage a été fait aux intervalles à basse résistivité. La lithologie de ces intervalles est constituée par des grès fins à moyens, plus ou moins friables à ciment argileux (essentiellement chloriteux).L'analyse pétrographique des lames minces prélevées dans ces intervalles révèle l'aspect ferrugineux de la chlorite et la présence d'oxyde de fer facilitant ainsi le passage du courant électrique.**

**La chlorite responsable en partie de la dégradation de la perméabilité, est considérée aussi comme un minéral préservant la porosité primaire. Ce qui n'est pas toujours le cas, car dans certains niveaux où les franges de chlorite ne sont pas régulières, une alternance de quartz secondaire et de chlorite a été observée autour du grain primaire, diminuant ainsi la porosité impactant la résistivité.**

## **Conclusion et recommandations**

**Le présent travail a permis de tirer les conclusions suivantes :**

- **La zone d'étude (blocs 403,404) se trouve au centre de la partie Est du bassin de Berkine où le niveau ciblé est le Silurien Argilo-gréseux.**
- **Les niveaux étudiés sont les unités A1, A2 et M2 qui présentent des résistivités anormalement basses, ce qui a fait appeler à l'étude pétrographique et diagénétique.**
- **L'étude pétrographique a permis non seulement de définir la lithologie des unités A1, A2 qui sont essentiellement des quartz arénites à ciment argileux et l'unité M2 qui est constituée par des siltites, de plus l'analyse des types de ciment (silice, carbonates, argiles); a mis en évidence les différents types d'argile.**
- **Le ciment le plus abondant est l'argile, et à l'aide des résultats des analyses chimiques par fluorescence des rayons X(FX), les analyses minéralogiques (DRX) nous a permis de conclure que cette argile est de type chlorite, cette dernière qui est riche en fer(chlorite ferrière) est la cause principale de la chute de résistivité aux niveaux des puits étudiés.**
- **L'étude diagénétique a révélée les différents processus diagénétiques ayant affectées les unités en question et d'obtenir une chronologie de ces processus. L'existence des minéraux conducteurs (pyrite, oxyde de fer) ont accentué la chute de résistivité.**

**En recommandations :**

**Cette étude doit être étendue à d'autre puits, afin d'affiner les repères nécessaires à un découpage encore plus précis du silurien Argilo-gréseux.**

# Références bibliographiques

**BEICIP-Sonatrach., (1975).** : Étude structurale et cartographique de bassin d'Illizi. Môle d'El Biod., (rapport interne).

**BEICIFI – SONATRACH, (1991)** : Bassin de Ghadamès - Evaluation pétrolière. (Rapport interne).

**BEN ABDELKRIM.M, (2015):** Interprétation géodynamique des configurations sismiques marqueurs événementiels aux applications des systèmes pétroliers dans le bassin de Berkine Est, (Plate-forme Saharienne, Algérie)

**Boote D.R.D., Clark-Lowes D.D. et Traut M.W. (1998).** : Paleozoic petroleum systems of North Africa

**Boudjemaa, A.(1987).** : Evolution structurale du bassin pétrolier « Triasique » du Sahara Nord orientale (Algérie).

**Caby R. (1968).** : Une zone de décrochements à l'échelle de l'Afrique dans l'Ahaggar Occidental

**Chaouche.A. (1992).** : Genèse et mise en place des hydrocarbures dans le bassin de l'ERG oriental (Sahara algérienne).

**Cojan.I et Maurice.R, (2003):** Sédimentologie

**Fabre, J., (2005).** : Géologie du Sahara occidentale et centrale. Musée royal de l'Afrique centrale

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

**H.Rachid, Juin 1985.** : Mise au point des connaissances géologiques sur la région de ghadames et sa bordure Sud.

**Sonatrach ,R.Mouaici (2015):** Etude sédimentologique, pétrographique, biostratigraphique et géochimique du bassin Argilo-gréseux (SAG) (rapport interne).

**Sonatrach (2002)** : projet de plan-périmètre d'Ourhoud.

**Vila.J.M (1980).** : La chaîne alpine d'Algérie orientale et les confins Algéro-tunisiens.

# Annexe I

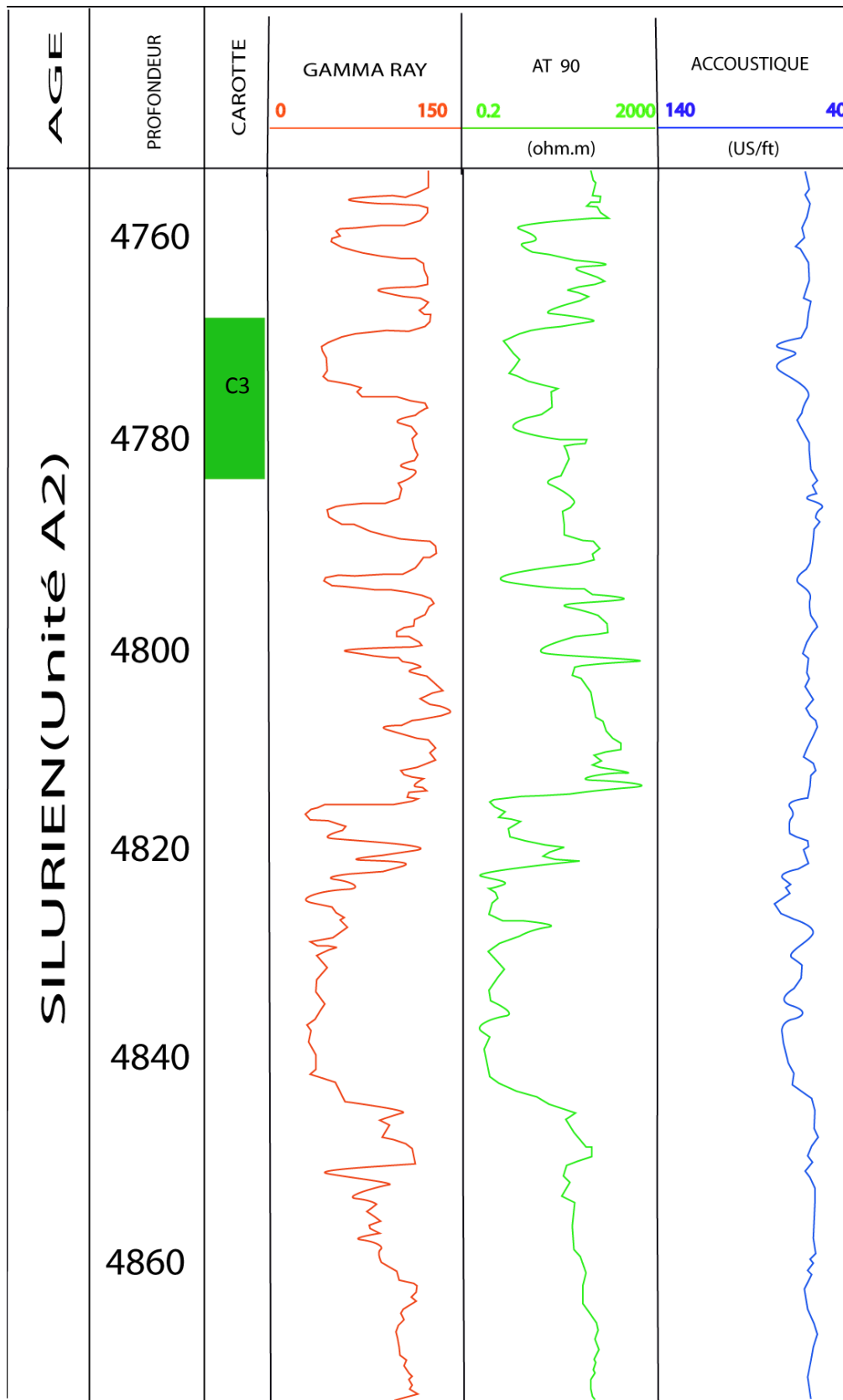


FIG.1 : Log diagramme de l'unité A2, puits HBNEP-1.

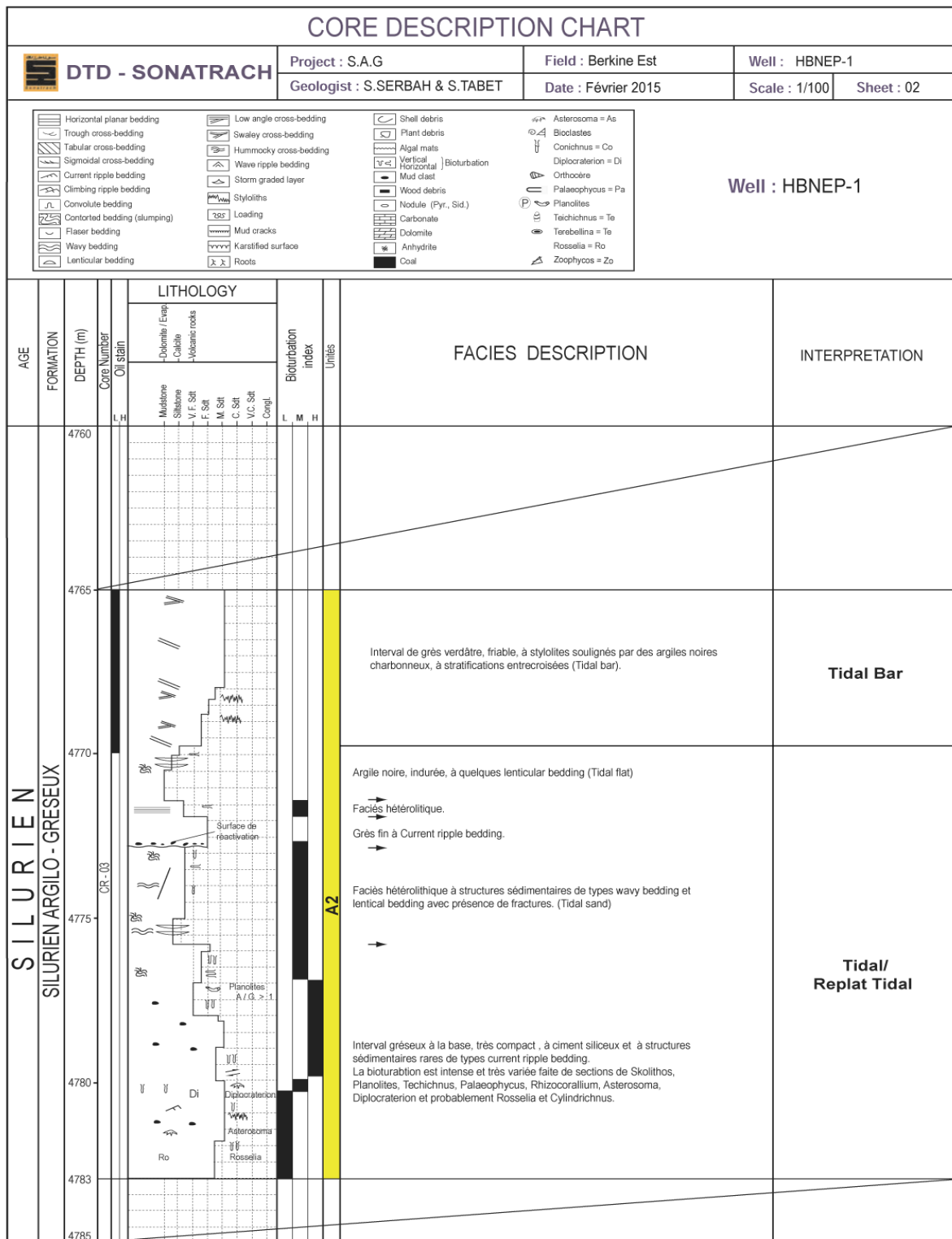


Fig 2 : Charte de description lithologique de carotte 3, puits HBNEP-1 (Sonatrach 2015)

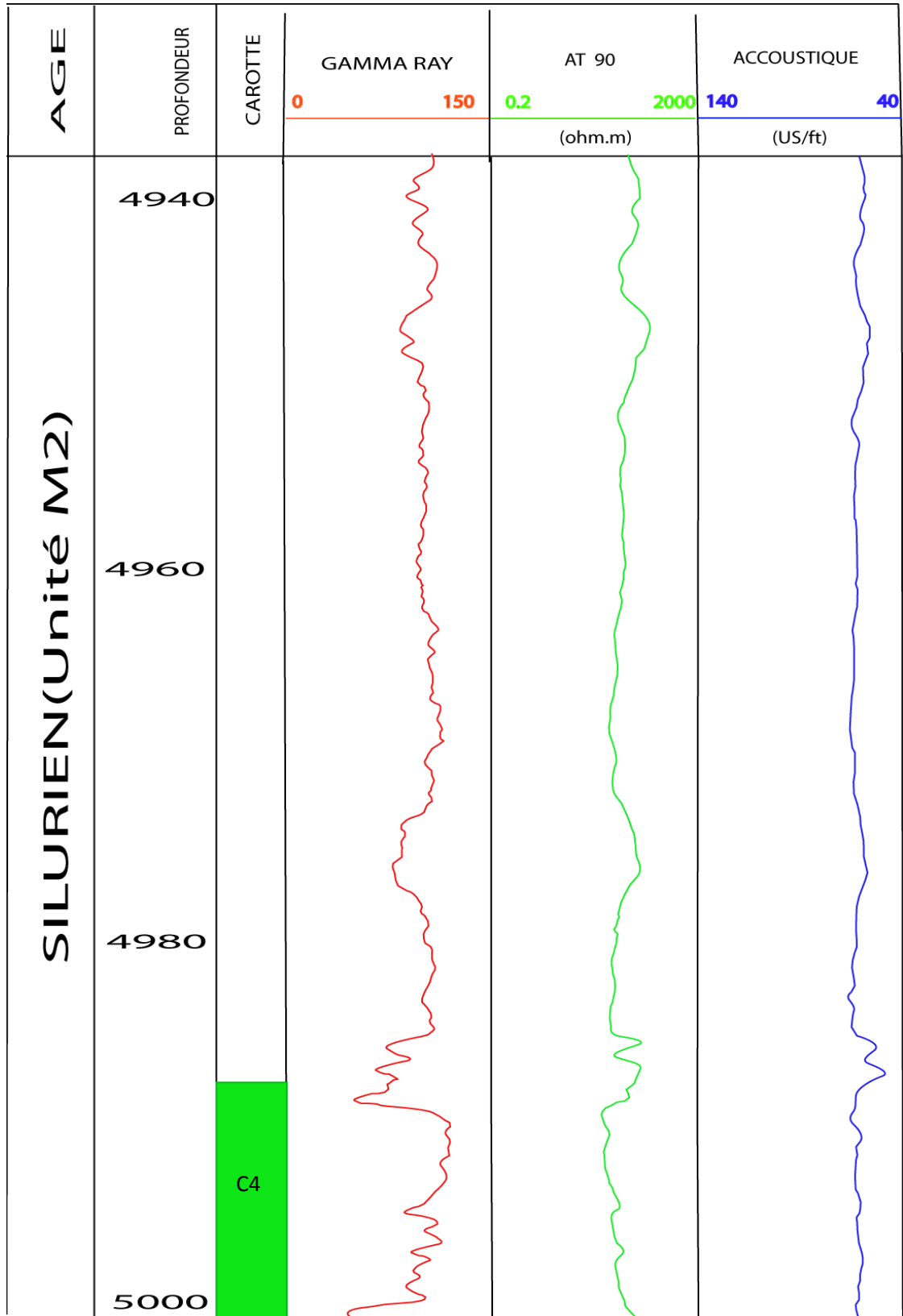
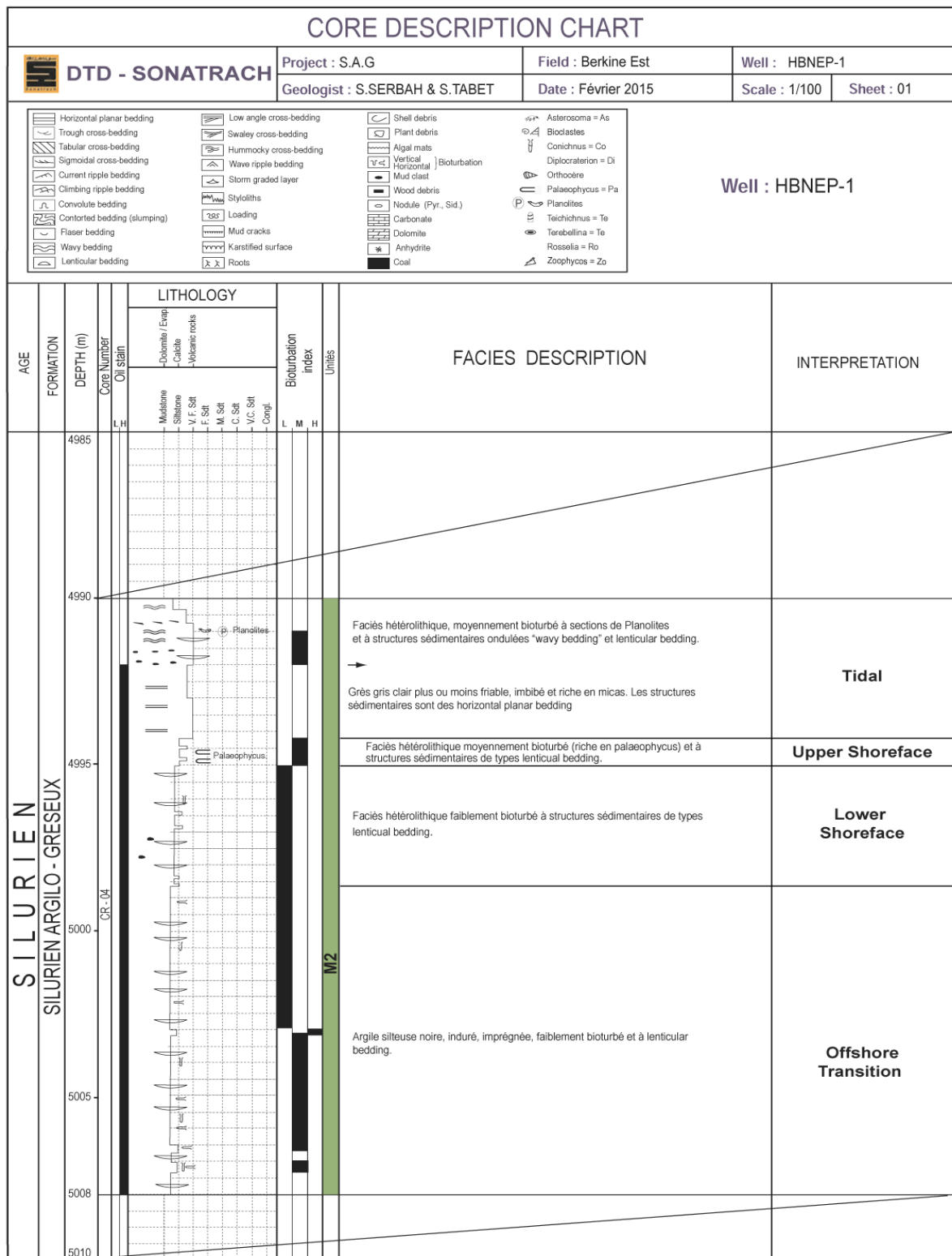


FIG.3 : Log diagraphique de l'unité M2, puits HBNEP-1.



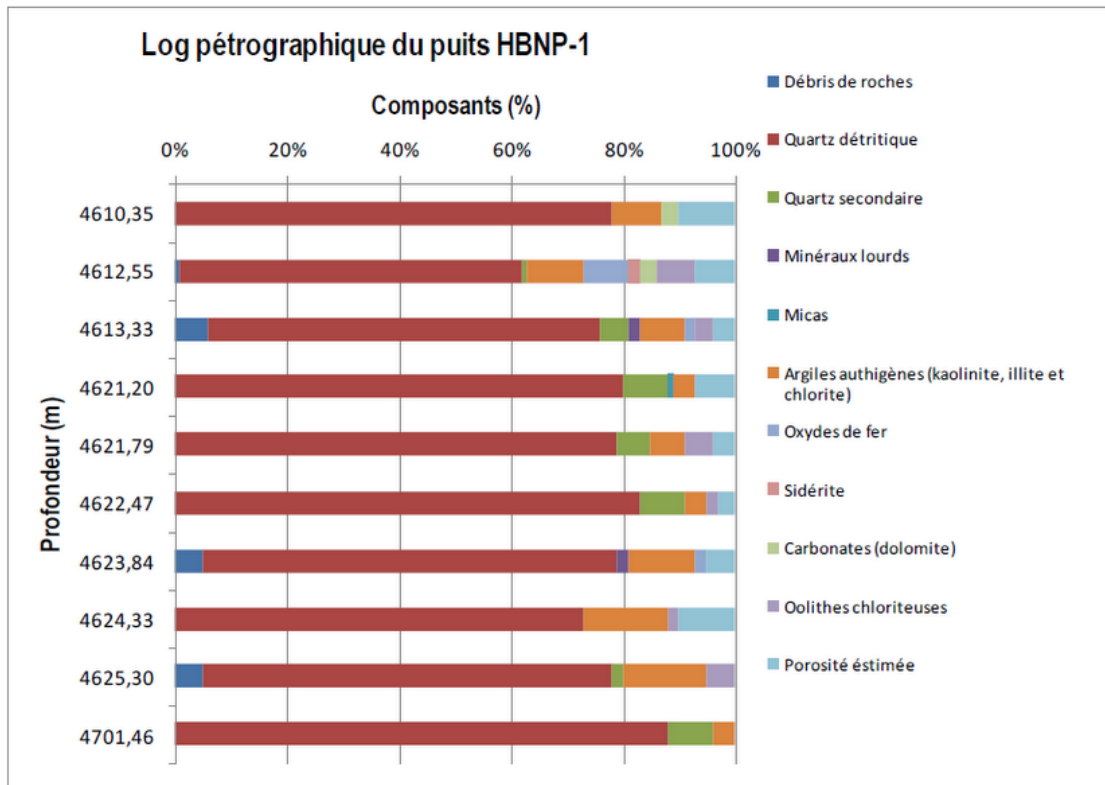
**Fig 4 :** Charte de description lithologique de carotte 4, puits HBNEP-1 (Sonatrach 2015)

Unité	N° Carotte	Cotes (m)	Granu (mm)		Mode	Classement	Morphoscope	Texture					Composants pétrographiques (%)																			
			G Max	G Moy				Contacts					Quartz détritique	Quartz secondaire	Feldspaths	Minéraux lourds	Micas	Argiles authigènes (kaolinite, illite et chlorite)	Oxydes de fer	Pyrite	Sulfures	Carbonates (dolomite)	Oolithes chloritiques	Bioclastes	Matière organique	Porosité estimée						
								Frottant	Droit / tangentiel	Ponctuel	Concavo-convexe	Suturé																				
A2	3	4765,28	0,475	0,275	Uni	B	An/Sa		A				71	7					12		Tr	1	7								2	
		4766,43	0,350	0,250	Uni	B	An/Sa		A				72	2		Tr			15		Tr		4								7	
		4767,60	0,400	0,080	Uni	B	An/Sa		A	P			67	Tr					10			15	5								3	
		4768,56	0,400	0,175	Uni	B	An/Sa		A				78	5		Tr			15													2
		4769,40	0,250	0,150	Uni	My	An/Sa		A				78	7		Tr			12													3
		4771,34	0,170	0,120	Uni	My	An/Sa		A				50					2	48	Tr	Tr											
		4773,45	0,210	0,070	Uni	M	An/Sa		A	P			60	2			3	35	Tr													
		4774,44	0,230	0,090	Uni	M/My	An/Sa		A	P			75	Tr			Tr		25													
		4776,29	0,500	0,225	Uni	M	An/Sa			A			70	Tr		Tr			30												Tr	
		4778,40	0,250	0,200	Uni	B	An/Sa/Sr		A				77	3		Tr			20	Tr		Tr										Tr
		4779,29	0,425	0,100	Uni	M	An/Sa		A	P			60			Tr			40													
		4781,31	0,350	0,175	Uni	B	An/Sa		A			P	83	7					10			Tr										
		4782,32	0,250	0,125	Uni	B	An/Sa		A			P	80	2		Tr	Tr		15			Tr		3								Tr
		4990,18	0,075	0,050	Uni	B	An/Sa		A	P			55			Tr		5	40													
4991,22	0,125	0,075	Uni	My/B	An/Sa		A				77		Tr			1	15					7										
4992,52	0,200	0,100	Uni	M	An/Sa		A	P			68					2	30															
4994,33	0,150	0,075	Uni	My/B	An/Sa		A				77	1		Tr	Tr		15	Tr				7										
4994,72	0,175	0,100	Uni	My/B	An/Sa		A	P			70	2	Tr			3	25															
4996,78	0,150	0,075	Uni	M	An/Sa		A	P			67	Tr				3	30															
4999,62	0,125	0,075	Uni	M	An/Sa		A				50	2		Tr			30			5	12	Tr	1									
5003,50	0,175	0,100	Uni	My	An/Sa		A	P			30			Tr			70															
5004,58	0,075	0,050	Uni	My	An/Sa		A				25						75															
5006,58	0,075	0,050	Uni	My	An/Sa		A				30						70															
5007,26	0,125	0,075	Uni	My	An/Sa		A				60						40															
5007,78	0,150	0,075	Uni	My	An/Sa		A				25						75															

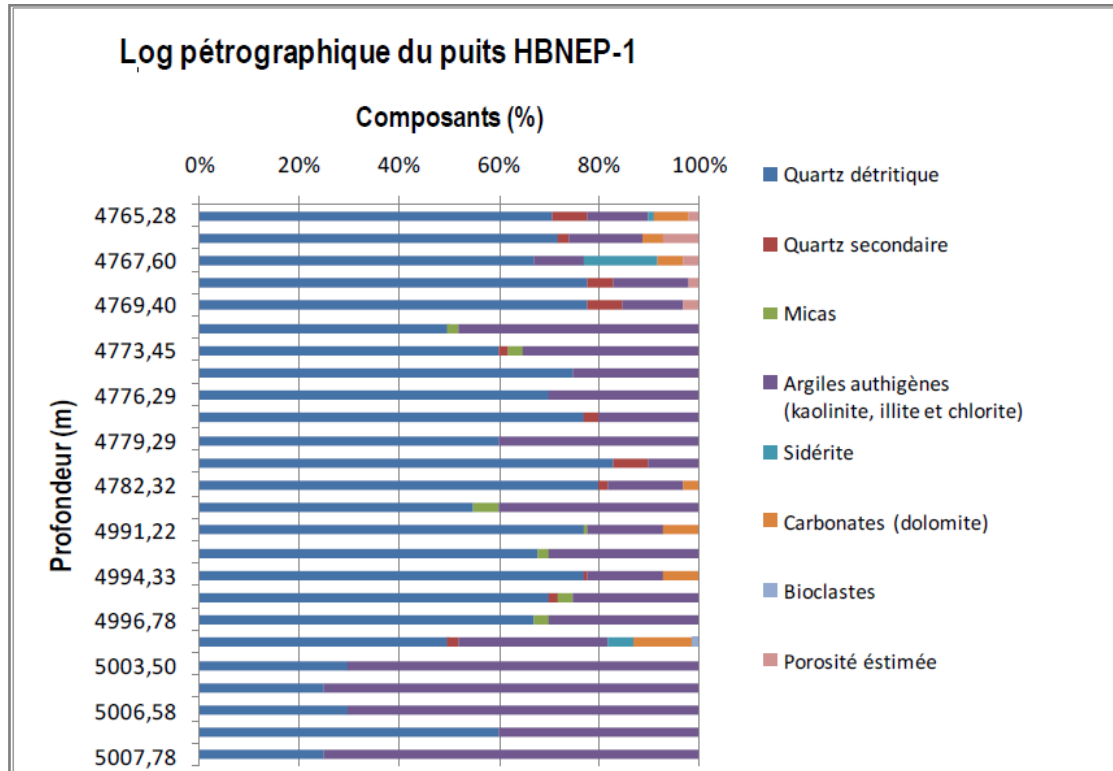
**LEGENDE:** Tr: très mal classé Sr: sub-arrondi A: abondant  
M: mal classé R: arrondi F: fréquent  
My: moyennement classé Sa: sub-anguleux P: présent  
B: bien classé An: anguleux R: rare  
Tx: très bien classé Tr: trace

TABLEAU.1: résultats d'analyse pétrographique du sondage HBNEP-1





**FIG.5:** Log pétrographique du puits HBNP-1



**FIG.6:** Log pétrographique du puits HBNEP-1



Unité	N° Carotte	Cotes (m)	% MINÉRAUX ARGILEUX										% MINÉRAUX NON ARGILEUX																
			Kaolinite	Illite	Chlorite	Palygorskite	Mont. 14A	Mont. 22A	Interstrat. I-M	Interstrat. I-C	Somme des argiles	Somme argile+indosés	Quartz	Calcite	Dolomite	Sclérite	Orthoclases	Plagioclases	Gypse	Anhydrite	Apatite	Barite	Anatase	Halite	Pyrite	Hématite	Somme minér. non argileux		
A2	1	4610,35			100						100	11	83													2		Tr	88
		4612,55		5	95						100	14	79													1	Tr		86
		4613,33	Tr		100	Tr					100	9	90													1			91
		4621,20		Tr	100	Tr					100	5	94									Tr				1			95
		4621,79		Tr	100						100	11	87													2			89
		4622,47		Tr	100	Tr					100	8	87			4										1			92
		4623,84			100						100	20	72													4		4	80
		4624,33		5	95				Tr		100	20	74							3						3			80
		4625,30		Tr	100	Tr				100	21	73			4										2			79	
A1	2	4701,66		Tr	100	Tr				100	8	92												Tr?	Tr			92	

LEGENDE: Tr: Trace

**Tableau.4:** Résultats d'analyses diffractométrie des rayons X du sondage **HBNP-1**

		% Eléments chimiques																							
Puits	Côtes	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	SO3	K2O	CaO	TiO2	Mn2O3	Fe2O3	V 2O5	Cr2O3	NiO	CoO	ZnO	Rb2O	SnO	ZrO2	MgO3	BaO	PbO	PAF	TOTAL
HBNP-1	4612,55	0,31	1,23	2,44	79,72	0,33	0,06	0,18	0,58	0,55	0,12	7,36	0,0192	0,0076	0,0028	0,0056	0,0037	0,0021	0,0095	0,0586	<0,001	0,0052	0,0011	6,13	99,11
	4623,84	0,85	0,67	3,54	80,00	0,42	0,07	0,11	0,81	0,74	0,01	7,28	0,0569	0,0171	0,0042	0,0041	0,0051	0,0015	0,0151	0,0566	<0,001	0,0035	<0,001	4,54	99,21
HBNEP-1	4767,60	0,13	3,32	0,65	73,26	0,03	<0,04	0,02	0,11	0,22	0,34	10,82	0,0117	0,0032	0,0019	0,0041	0,0024	<0,001	0,0068	0,0286	<0,001	0,0024	<0,001	10,32	99,27

**Tableau.5:** Résultats d'analyse par fluorescence des rayons X (FX)

## **-Sonatrach, may 2013, programme du forage du HBNEP-1.**

### **1.1. Le Mio-pliocène:**

Il est constituée du Sable blanc jaunâtre à translucide, moyen à grossier localement micro conglomératique à ciment argileux avec passées d'argile blanche et de calcaire blanc à beige.

### **1.2. Le Crétacé**

#### **1.2.1. Le Sénonien carbonaté:**

Il est constitué d'alternance de calcaire dolomitique ou de dolomie, de calcaire blanc grisâtre à beige vacuolaire gypsifère, fossilifère parfois cryptocristalline dur, de marne grise silteuse et de fines passées de grès gris-blanc, fin silico-carbonaté.

#### **1.2.2. Le Sénonien Anhydritique(Lagunaire):**

Il est constitué de Calcaire gris souvent argileux avec passées d'anhydrite blanche et translucide cristalline, de dolomie beige dure, de marne grise souvent dolomitique et d'argile grise pâteuse

#### **1.2.3. Le Sénonien Salifère: (151m)**

Il est constitué de Sel blanc à translucide avec passées de dolomie grise à beige, microcristalline, parfois brune, argileuse et tendre.

#### **1.2.4. Le Turonien: (72 m)**

L'ensemble est un Calcaire beige à blanc, crayeux, localement dolomitique, légèrement argileux avec passées de marne massive gris-vert tendre.

#### **1.2.5. Le Cénomaniens: (240m)**

Il est constitué d'argile grise et brun rouge plastique, souvent dolomitique surmontée de sel massif blanc à translucide et d'argile grise pâteuse salifère et dolomitique.

#### **1.2.6. L'Albien: (242m)**

Il est constitué d'intercalation de grès gris blanc très fin argilo-dolomitique friable et d'argile brun-rouge parfois gris vert.

#### **1.2.7. L'Aptien: (31m)**

Il est constitué de Calcaire blanc légèrement argileux à dolomitique.

#### **1.2.8. Le Barrémien: (320m)**

Il est constitué d'argile grise à gris vert parfois brun rouge, tendre et plastique, sableuse, légèrement carbonatée, avec de très fines passées de sable blanc, fin à moyen, et de grès gris blanc fin à très fin.

### **1.2.9. Le Néocomien: (240m)**

Il est constitué d'argile gris vert à brun rouge, tendre, silteuse, parfois plastique, silto-sableuse, avec passées de grès gris à blanc, fin et argilo-dolomitique.

## **1.3. Le Jurassique**

### **1.3.1. Le Malm: (242m)**

Il est constitué d'argile grise à gris vert, silteuse, tendre à plastique avec présence de calcaire argileux, gris blanc, tendre, d'anhydrite blanche et de passées de grès très fin à fin.

### **1.3.2. Le Dogger argileux: (146m)**

Il est constitué d'argile brun rouge, tendre à pâteuse, parfois indurée, silteuse et dolomitique avec présence de grès blanc et vert fin à très fin.

### **1.3.3. Le Dogger lagunaire: (136m)**

Il est constitué d'alternance d'anhydrite blanche tendre et d'argile bariolée avec passées de dolomie beige, tendre argileuse.

### **1.3.4. Le Lias Argilo-dolomitique: (168m)**

Il est constitué d'alternance de sel massif translucide et d'argile gris-clair et brune tendre et plastique.

### **1.3.5. Le Lias Salifère: (59m)**

Il est constitué d'alternance de sel translucide, blanc et rosâtre avec de minces niveaux d'argile brune rouge parfois gris vert, tendre à indurée légèrement salifère et dolomitique.

### **1.3.6. Le Lias 'Horizon B': (25m)**

Il est constitué d'argiles brun-rouge, passées de calcaire beige dolomitique et d'anhydrite blanchâtre.

### **1.3.7. Le Lias S1+S2: (196m)**

Il est constitué de Sel massif blanc à rosâtre, translucide à transparent intercalé d'argile brun-rouge à gris-verdâtre tendre à pâteuse et d'anhydrite gris-blanc, pulvérulente.

### **1.3.8. Le Lias S3: (131m)**

Il est constitué de Sel massif, translucide, rosâtre à jaunâtre, avec intercalations d'argile gris et brun-rouge, localement salifère, rarement silteuse

### **1.3.9. Le Lias Argile : (48m)**

Il est constitué d'argile brun-rouge, tendre à indurée, silteuse, devenant salifère au sommet.

### **1.3.10. Le Lias S4: (27m)**

Il est constitué d'alternance de grès gris-blanc, moyen à grossier, siliceux et d'argile brun-rouge à gris-vert, indurée, silteuse avec présence locale d'anhydrite blanche en inclusions.

## **1.4. Le Trias**

### **1.4.1. Le Trias argilo-salifère : (41m)**

Il est constitué d'alternance de grès gris-blanc, moyen à grossier, siliceux et d'argile brun-rouge à gris-vert, indurée, silteuse avec présence locale d'anhydrite blanche en inclusions.

### **1.4.2. Le Trias carbonaté : (71m)**

Il est constitué d'argile brun-rouge, rarement gris-vert, tendre à indurée, silteuse légèrement dolomitique avec rares passées de grès gris-noir, fin à très fin à sa base et avec des passées de calcaire beige, tendre dolomitique et d'anhydrite blanche à son sommet.

### **1.4.3. Le T.A.G.I. : (54m)**

Il est constitué par des conglomérats à sa base sont surmontés par des intercalations d'argile grise et brun-rouge, silteuse, de siltstone gris verdâtre, dur et de grès blanc à gris vert, fin à moyen siliceux dur.

## **1.5. Le Dévonien**

### **1.5.1. Le Dévonien Supérieur :**

#### **1.5.1.1. Le Famenien : (145m)**

Il est constitué d'argile gris noir, finement silteuse et micacée, feuilletée et indurée. Passées de grés claire gris vert clair, gris vert clair, beige parfois tendre, très fin à fin localement quartzitiques et argileux. Présence de dolomie gris clair à beige et de calcaire blanchâtre, présence de pyrite et de fossiles.

#### **1.5.1.2. Le Frasnien : (192m)**

Il est constitué d'argile noire ou brun foncé feuilletée à aspect schisteux, très riche en matière organiques et microfossiles ainsi que des débris de brachiopodes. Présence de très fines passées d'intercalations de calcaire argileux et gréseux blanc et gris clair pyriteux et passées silto-gréseuses vert clair.

### **1.5.2. Le Dévonien moyen :**

#### **1.5.2.1. L'Eifélien-Givétien: (92m) :**

Il est constitué d'argile grise à gris foncé, indurée, silteuse, localement carbonaté avec présence de dolomie calcaire gris blanc.

### **1.5.3. Le Dévonien inférieur :**

#### **1.5.3.1. L'Emsien: (41m) :**

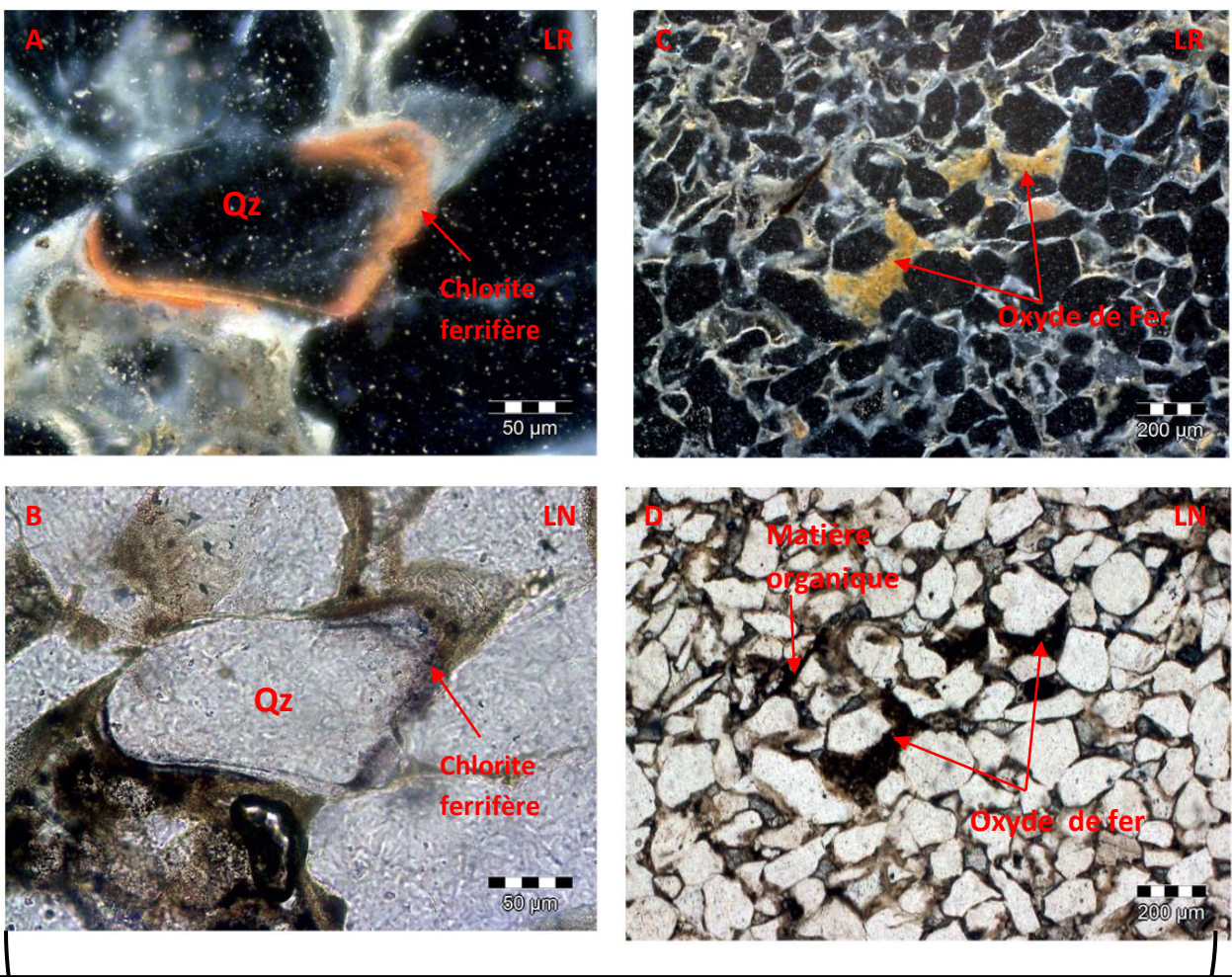
Il est constitué de Grès blanc à gris blanc, fin à très fin, argileux à moyennement consolidé et gris à gris foncé vers la base prédominance d'argile grise à gris foncé, indurée, silteuse avec passées de grès gris à gris foncé, très fin, argileux, friable à grise à moyennement consolidé.

#### **1.5.3.2. Le Siegénien: (308m) :**

Il englobe plusieurs niveaux réservoirs (Niveaux "D", "E", "F", "G") qui constituent des objectifs primaires d'exploration dans le périmètre Zemoul El Kbar. Il est composé d'alternance de grès quartzitique, gris clair, beige, fins à moyens parfois grossier, subarrondi, à faible ciment et d'argiles grises, parfois gris verdâtres, silteuses et indurées.

#### **1.5.3.3. Le Gédinnien (fm.de TADRART) : (293m)**

Il est caractérisé par des grès blancs à gris blancs, fins à moyens, parfois grossiers, siliceux à silico quartzitique subanguleux à subarrondi, bien classé et bien consolidé, avec passées d'argile gris foncé, silteuses et indurées.



Puits HBNP-1, cote 4612.55: A-Lumière réfléchiée, B-lumière naturelle, C- Lumière réfléchiée, D- lumière naturelle

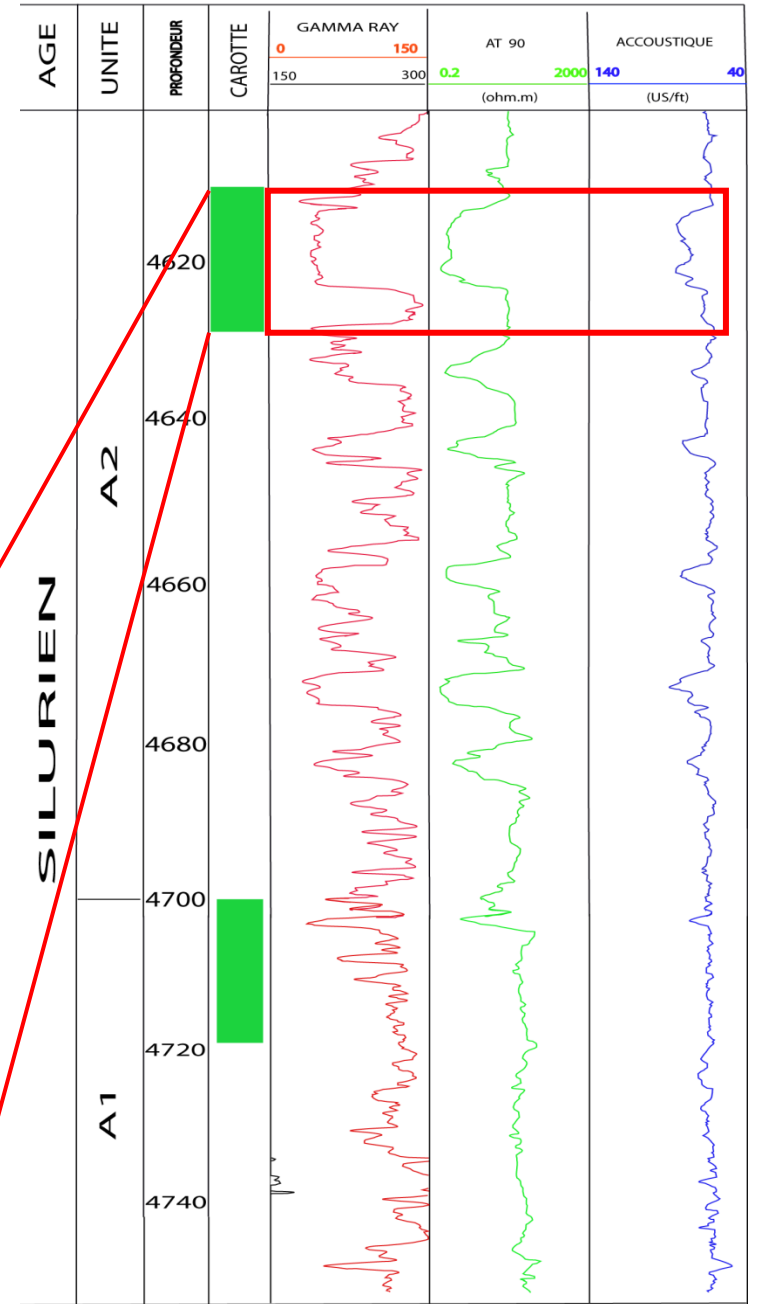
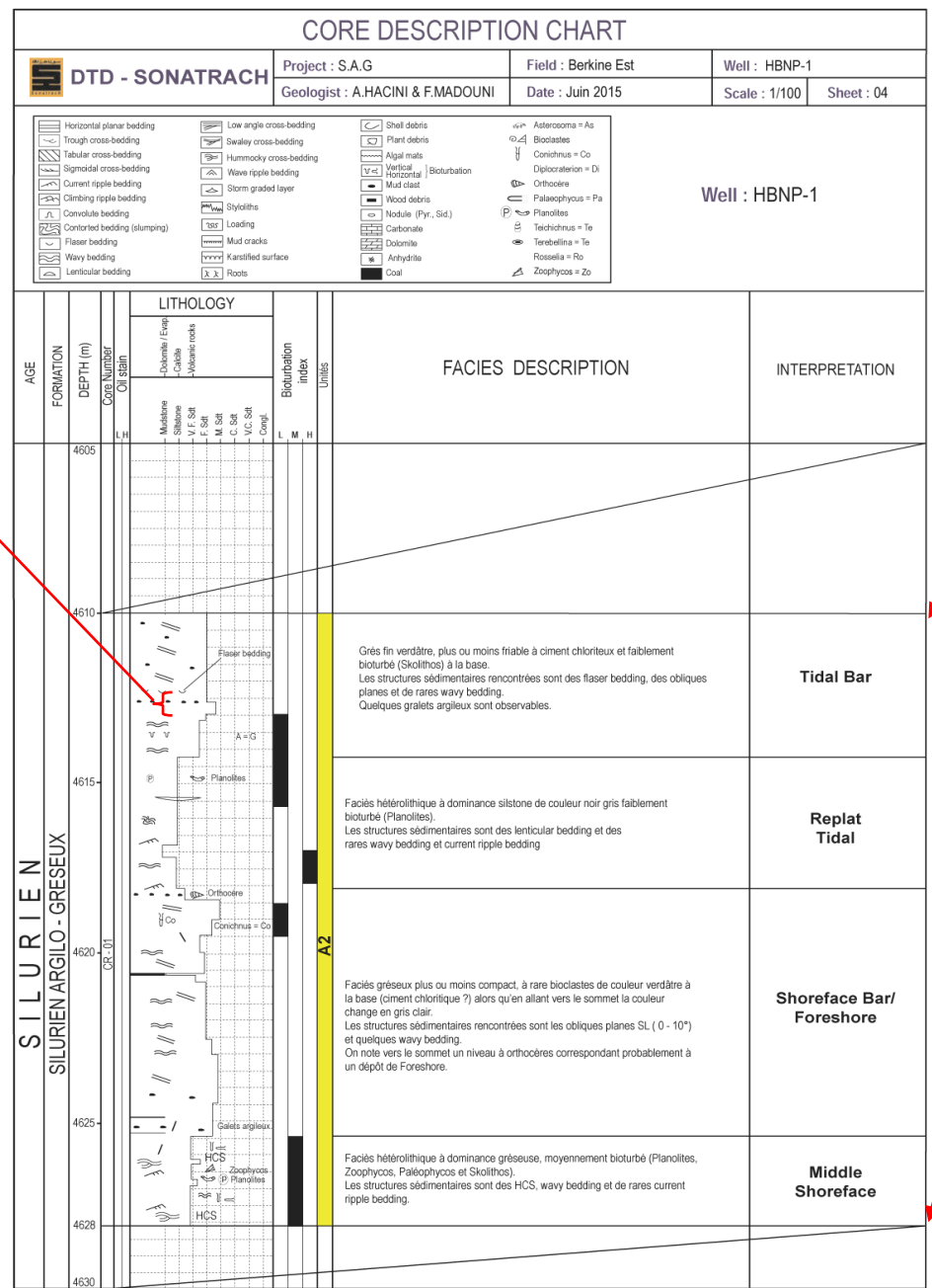
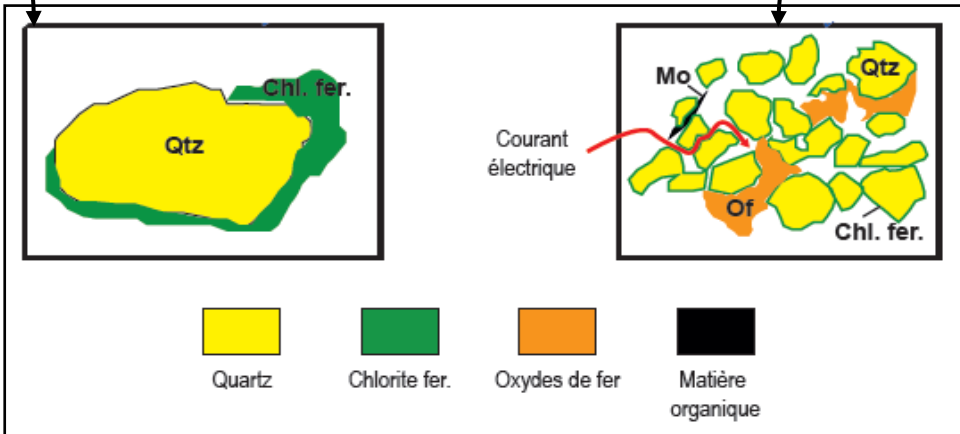


Planche1: exemple du réseau conducteur constitué de chlorite ferrifère et d'oxyde de fer dans le puits HBNP-1, unité A2, cote 4612.55