

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur de la recherche scientifique

Université M'hamed Bougara Boumerdes
Faculté des hydrocarbures et de la chimie
Département Gisements miniers et pétroliers

جامعة بوقرة بومرداس
كلية المحروقات والكيمياء
قسم حقول المعادن والمحرقات



MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Domaine : sciences et technologies

Filière : Hydrocarbures

Spécialité : Géologie Pétrolière

Thème

Etude pétrographique et diagenétique du Silurien **Argilo-Gréseux**
(SAG) de la région nord du bassin de Berkine

Présenté par :

KELILECHE Radwane

Publiques devant le jury composé de :

-BELHADI.M

MCA

Président

-BELKASMI.A

MCB

Examineur

-DARRIDJ.A

MCA

Encadrant

Année universitaire : 2023/2024

Résumé :

Ce présent travail consiste à l'étude pétrographique et diagénétique approfondie de trois puits : HBNP-1, HBNEP-1 et HBSW-1-ST situés dans le bassin de Berkine (la région de Berkine Nord). L'objectif principal de cette étude est de déterminer d'une manière détaillée, les constituants pétrographiques, minéralogiques, analyser les processus diagénétiques et de tracer l'histoire diagénétique et son incidence sur les qualités réservoirs des niveaux gréseux du « Silurien Argilo-Gréseux ».

Abstract :

This present work consists in the in-depth petrographic and diagenetic study of three wells: HBNP-1, HBNEP-1 and HBSW-1-ST located in the Berkine basin (the Berkine North region). The main objective of this study is to determine in a detailed manner, the petrographic, mineralogical constituents, analyze the diagenetic processes and trace the diagenetic history and its impact on the reservoir qualities of the sandstone levels of the "Silurian Argilo-Gréseux".

ملخص:

HBNP-1 و HBNEP-1 و HBSW-1-ST يتكون هذا العمل الحالي من دراسة صخرية وديوجينية متعمقة لثلاثة آبار الواقعة في حوض بركين (منطقة شمال بركين). الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تحديد المكونات الصخرية والمعدنية بشكل تفصيلي، وتحليل عمليات التحوير وتتبع التاريخ التحويري وتأثيره على الصفات المكمنية لمستويات الحجر الرملي في "الحجر الرملي الطيني السيلوري"

REMERCIEMENTS

Tout d'abord nous remercions ALLAH de nous avoir donné le courage et la capacité suffisante pour terminer ce modeste travail.

Avant de présenter ce travail, nous tenons à remercier tous ceux qui d'une manière ou d'une autre a contribué à sa réalisation :

*Nous tenons d'abord, d'exprimer notre reconnaissance à mon promotrice Madame **Derridj Amel** d'avoir accepté mon encadrement, pour son aide et ses précieux conseils qui ont permis l'élaboration de ce travail.*

*Tous mes remerciements à **M. IKHLEF Boualem** pour son aide à faire un bon travail et de me laisser l'occasion pour profiter de ses grandes expériences dans le domaine pétrolier, mon sincère gratitude pour sa patience, leur soutien moral, sa disponibilité et ses précieux conseils professionnels.*

*Un grand merci « **BOUALEM** ».*

Je tiens également remercier les membres de jury qui me font honorer par leurs présences, et accepté d'examiner ce modeste travail.

Toutes mes gratitude à mes enseignants dès la première année primaire. Je voudrais remercier l'ensemble des personnes qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail.

Radwane

DEDICACE

Tout d'abord, je remercie Allah, notre créateur de m'avoir donné la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail modeste.

Je dédie modeste travail :

A la meilleure personne dans ma vie, toute simplement mes yeux, celle qui m'a soutenu jour et nuit pour qu'elle me voie toujours au sommet.

A toi ma chère mère.

A mon père que je le remercie énormément pour ses soutiens, ses conseils et ses aides pour accomplir ce mémoire afin de réussir.

A mon frère (Chawki) et mes sœurs.

A mes ami(e)s d'enfance et du long parcours scolaire et universitaire.

Atout ce que je connais sans exception.

A tous mes enseignants sans exception.

Enfin, j'offre mes bénédictions à tous ceux qui m'ont soutenu dans l'accomplissement de ce travail.

Radwane

Sommaire

Introduction générale.....	2
Chapitre I : Généralités sur le bassin de Berkine.....	4
1. Introduction.....	4
2. La Situation géographique.....	4
3. La situation géologique.....	4
4. Historique d’exploration du bassin.....	5
5. aspect tectonique.....	6
5.1 Evolution structurelle du bassin.....	6
5.2 Evolution tectonique du bassin.....	7
6. Aspet Stratigraphique.....	12
6.1 Le paléozoïque.....	13
6.2 Le Mésozoïque.....	16
6.3 Le Cénozoïque.....	17
7. Système pétrolier.....	18
7.1 Les Roches mères.....	18
7.2 Les Roches réservoirs.....	18
7.3 Les Roches Couvertures.....	19
7.4 Type des pièges.....	20
8. Localisation de la zone d’étude.....	21
8.1 Le puits HBNP-1.....	21
8.2 Le puits HBNEP-1.....	21
8.3 Le puits HBSW-1.....	21
Chapitre II : Etude pétrographique.....	23
1. Introduction.....	23
2. Méthodologie.....	23
3. Etude pétrographique du puit HBNP-1.....	24
3.1 Les éléments figurés.....	24
3.2 Les ciments et les liants.....	24
3.3 Les réseaux poreux.....	25
4. Etude pétrographique du puit HBNEP-1.....	25

Sommaire

4.1 Les éléments figurés.....	25
4.2 Les ciments et les liants.....	26
4.3 Les réseaux poreux.....	27
5. Etude pétrographique du puit HBSW-1-ST.....	27
5.1 Les éléments figurés	27
5.2 Les ciments et les liants.....	28
5.3 Les réseaux poreux	28
6. CONCLUSION.....	37
Chapitre III : Etude diagenétique.....	40
1. Introduction	40
2. LES ENVIRONNEMENTS DE DIAGENÈSE.....	40
2.1 Zone Vadose	40
2.2 Zone Phréatique d'Eau Douce.....	40
2.3 Zone de Mélange.....	40
2.4 Zone Phréatique Marine.....	40
3. Les phases diagénétiques.....	41
3.1 La mésogénèses.....	41
3.2 La télogénèse.....	41
4. Les principaux phénomènes diagenétiques.....	42
4.1 Silicification et compaction.....	43
4.2 Transformation des argiles.....	43
4.3 Précipitation des carbonates.....	46
4.4 Altération des feldspaths et des micas.....	47
4.5 Développement des ciments ferrugineux.....	48
4.6 Dissolution	48
5. La séquence diagénétique.....	49
Conclusion générale.....	52

Liste des figures

Liste des figures	N° page
Figure 01 : carte des bassins sédimentaires de l'Algérie (Fabre 2005)	04
Figure 02 : Carte des principaux éléments morphostructuraux de la plate-forme saharienne(modifiée d'après Boote et al., 1998)	05
Figure03 : Carte structurale du bassin de Berkine (McKenna et Hedley, 2002)	07
Figure 04 : le bassin de Berkine au sein de l’orogénèse panafricaine (McKenna et Hedley, 2002)	08
Figure 05 : L’orogénèse hercynienn (McKenna et Hedley, 2002).	09
Figure 06 : Phase de rifting Lias-Trias (McKenna et Hedley, 2002).	10
Figure 07 : La phase Autrichienne (McKenna et Hedley, 2002)	10
Figure 08 : La phase Pyrénéenne (McKenna et Hedley, 2002)	11
Figure 09 : Colonne stratigraphique du bassin de Berkine (WEC 2007)	13
Figure 10 : Colonne stratigraphique type du bassin de Berkine (d’après YAH I et al.,2001, modifiée)	16
Figure 11 : Pièges et migration dans le bassin de Berkine(WEC, document SONATRACH)	20
Figure 12 : localisation des puits étudiés	21
Figure 13 : Classification des grés du SAG de la région de Berkine Nord (puits HBNP-1, HBNEP-1 et HBSW-1-ST) (D’après Folk 1974)	37
Figure 14 : Les quatre principaux environnements diagénétiques.	41
Figure 15 : schéma représente les trois phases de diagenèse (Serra ; 2003, Burley et Worden ; 2003).	42
Figure 15 : Séquence diagénitique des réservoirs siluriens argileux gréseux du bassin de berkine (document SONATRACH)	50

Listes des planches

Planche	Photos	N° page
Planche 01	Ph01 : grés fins à ciment argileux, uni modale bien classé à contact droit et ponctuel.	29
	Ph02 : grés fins à ciment argileux (présence de Zircon).	
	Ph3 : grés fins à ciment argileux (présence de leucoxène).	
	Ph4 : grés fins à ciment argileux (présence de Micas/Muscovite).	
Planche 02	Ph01 : grés fin à ciment argileux (présence de la Chlorite).	30
	Ph02 : grés fin à ciment argileux (présence de l'illite) en lumière polarisée.	
	Ph03: grés fin à ciment argileux (présence de ciment siliceux /silice secondaire de nourrissage) en lumière naturelle.	
	Ph04 : grés fin à ciment argileux (présence de ciment siliceux /silice secondaire de nourrissage) en lumière polarisée.	
	Ph05 : grés fin à ciment argileux (présence de ciment carbonaté /Sidérite) en lumière réfléchiée.	
	Ph06 : grés fin à ciment argileux (présence de ciment siliceux /Calcite) en lumière polarisée.	
Planche 03	Ph01 : porosité secondaire de dissolution (lumière naturelle).	31
	Ph02 : porosité primaire intergranulaire (lumière naturelle).	
Planche 04	Ph01-02 : grés moyen à ciment argileux, uni modale moyennement classé à contact droit et concavo-convexe.	32
	Ph03 : grés moyen à ciment argileux, (présence de zircon).	
	Ph04 : grés fins à ciment argileux (présence de Micas/Muscovite).	

Liste des planches

	Ph05 : grès fins à ciment argileux (présence de Feldspaths /Plagioclase).	
	Ph06 : grès fins à ciment argileux (présence d'Oolithe).	
Planche 05	Ph01 : grès très fin à ciment argileux (présence de l'Illite).	33
	Ph02 : grès très fin à ciment argileux (présence de Kaolinite).	
	Ph03-04 : grès moyen à fin à ciment carbonaté (présence de la Sidérite).	
Planche 06	Ph 01 : porosité secondaire de dissolution (lumière naturelle).	34
	Ph02 : porosité nulle (lumière naturelle).	
Planche 07	Ph01 : grès fin à ciment argileux, uni modale bien classé à contact droit et ponctuel.	35
	Ph02 : grès moyen à fin à ciment argileux, bimodale bien classé à contact droit et ponctuel.	
	Ph03-04 : grès fin à ciment argileux (présence de l'Anhydrite).	
	Ph05 : grès fin à ciment argileux (présence de la Matière organique).	
Planche 08	Ph01 : grès fin à ciment argileux (présence de la chlorite).	36
	Ph02 : grès fin à ciment argileux (présence de l'Illite).	
	Ph03-04 : grès fin à ciment argileux (présence de la Sidérite).	

Liste des photos

Liste des photos

Photos	N° page
PH.01 : Développement de la silice secondaire de nourrissage (HBNEP-1-cote 4613,30m lumière polarisée)	43
PH.02 : Ciment argileux composé d'Illite (HBNEP-1- côte 4770,00 m lumière polarisée)	44
Ph.03 : Ciment argileux composé de Kaolinite (HBNEP-1-4770,00m lumière polarisée)	44
Ph.04 : Ciment chloriteux de revêtement enrobant les grains de quartz (HBNP-1-4623,60 m lumière naturelle).	45
Ph.05 : Oolithe chloriteuse composée de nucleus formé de grains de quartz et d'un cortex chloriteux (HBNEP-1-3936,50 m lumière naturelle).	46
Ph.06 : Ciment carbonaté composé de calcite (HBNP-1-4611,39 m)	46
Ph.07 : Ciment carbonaté composé de sidérite (HBSW-1-ST-4589,49 m lumière réfléchie).	47
Ph.08 : Altération des micas (HBNEP-1-4781,75 m lumière polarisée)	47
Ph.09 : Ciment ferrugineux (HBNP-1-4621,40m lumière réfléchie).	48
Ph. 10 : Dissolution des ciments authigènes créant une porosité secondaire connecté (HBSW-1-ST- 4587,43m ET HBNP-1-4613,30 m lumière naturelle).	49

Introduction

Générale

Introduction générale :

Compte tenu de la forte croissance des besoins énergétiques dans le monde en général, et en Algérie en particulier et puisque l'exploitation de pétrole ne se fait pas au hasard, plusieurs études sont réalisées pour améliorer la productivité et exploitation de ses réserves au maximum et de minimiser toute perte en termes de temps et/ou d'argent.

Dans ce présent thème proposé par le centre de recherche et de développement (CRD) SONATRACH Boumerdès, a été réalisé une étude pétrographique et diagénétique des puits HBNP-1, HBNEP-1 et HBSW-1-ST, dans le but de déterminer d'une manière détaillée, les constituants pétrographiques, minéralogiques et de tracer l'histoire diagénétique et son incidence sur les qualités réservoirs des niveaux gréseux du Silurien des puits étudiés.

Ce travail comporte une introduction générale, trois chapitres et une Conclusion générale.

Chapitre I: ce chapitre concerne la présentation générale du bassin de Berkine et de la zone d'étude: la Situation géographique et géologique, l'historique d'exploration du bassin, l'aspect tectonique, l'aspect Stratigraphique, le système pétrolier et la localisation de la zone d'étude.

Chapitre II : dans ce chapitre on abordera l'étude pétrographique : la méthode d'étude et l'analyse pétrographique des puits étudiés (les éléments figurés, les ciments, les réseaux poreux et estimation de la matière organique)

Chapitre III : ce dernier chapitre l'étude diagénétique: rappelles sur la diagenèse, les principaux mécanismes de la diagenèse et la chronologie des phénomènes diagénétiques dont l'objectif principal et l'impact des phénomènes diagénétiques sur les qualités réservoirs des niveaux gréseux du Silurien argilo-gréseux (SAG).

Chapitre I :

Généralités sur le

bassin de Berkine

1. Introduction

Ce chapitre présente des généralités sur le bassin de Berkine : la Situation géographique et géologique, l'historique d'exploration du bassin, l'aspect tectonique, l'aspect Stratigraphique, le système pétrolier, l'intérêt pétrolier ainsi que la localisation de la zone d'étude.

2. **La Situation géographique** : Le Bassin de Berkine est situé dans la partie orientale de la plate-forme Saharienne entre 29°11' et 33°00' de latitude Nord et entre 05°55' et 09°30' de longitude Est, occupant une surface voisine de 100.000 Km² (**Figure 01**). Il présente une série sédimentaire avec un remplissage de plus de 6500 m allant du Paléozoïque à l'actuel .

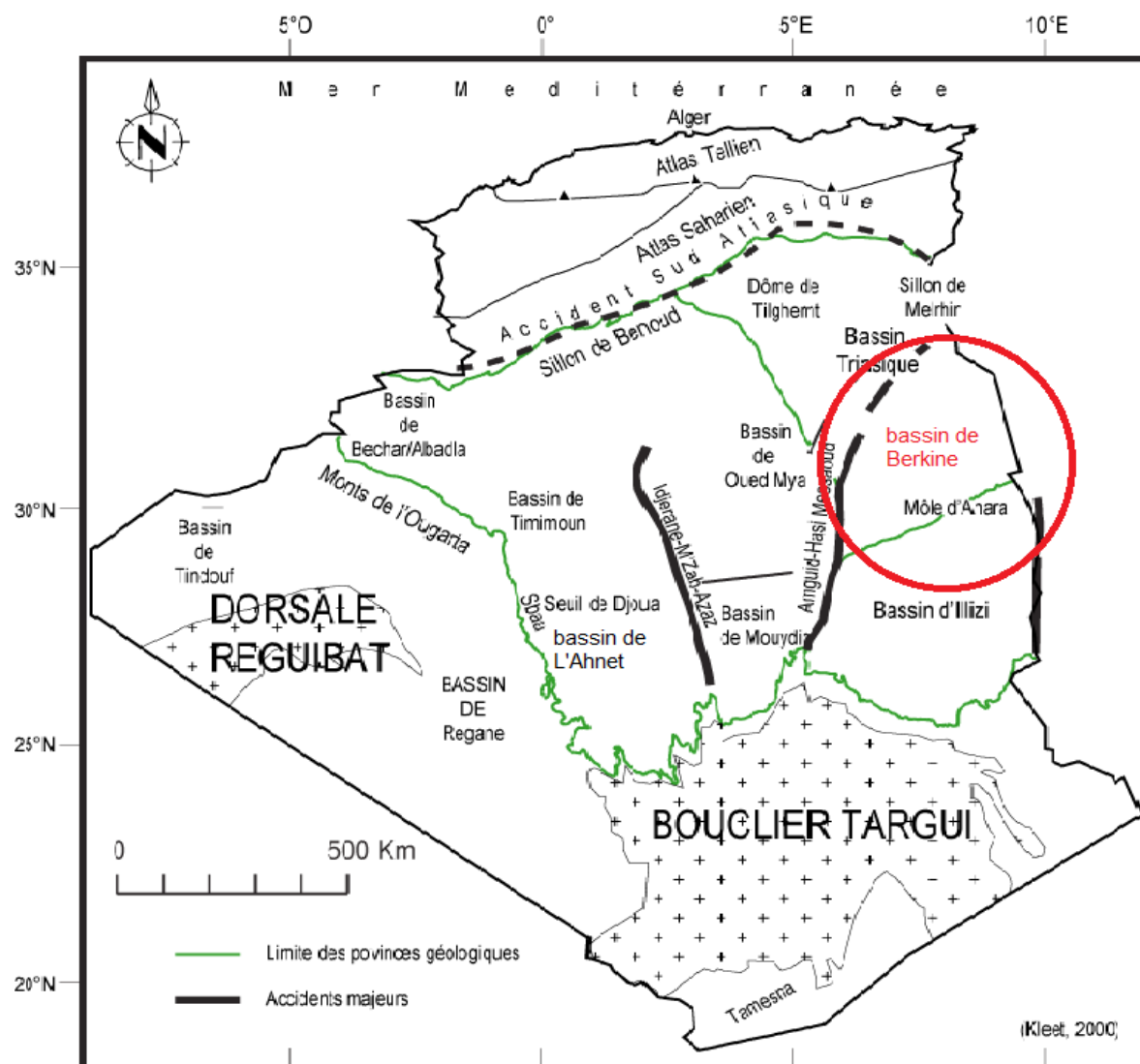
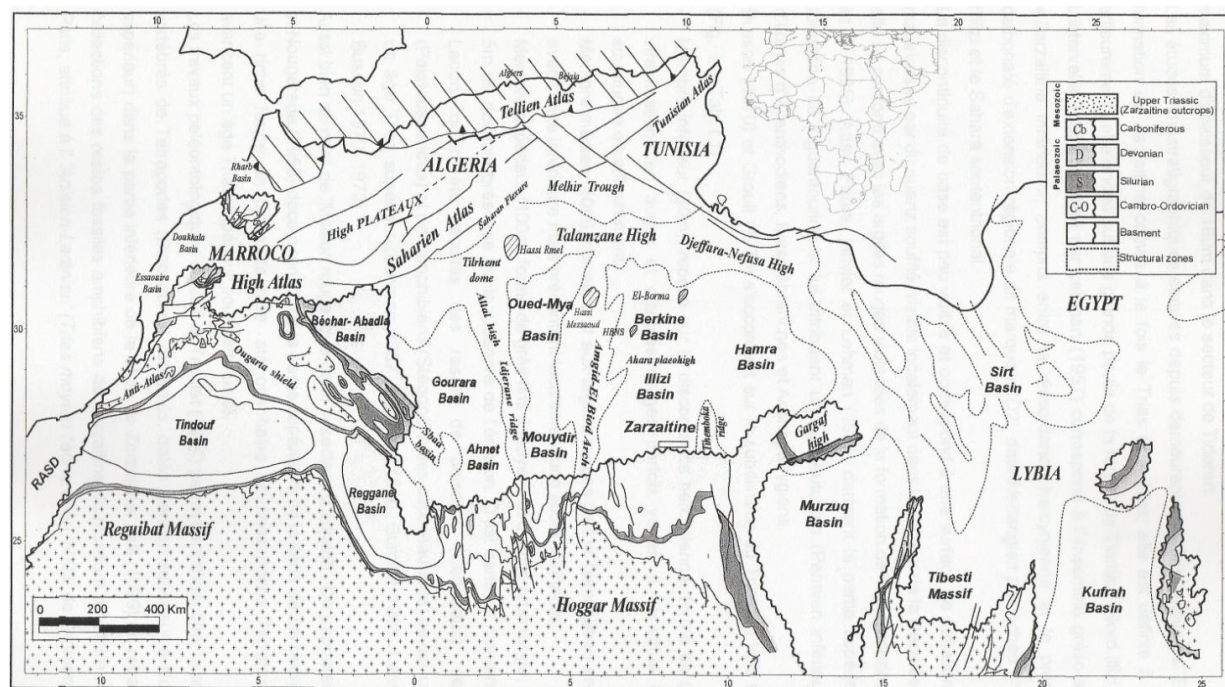


Figure 01 : carte des bassins sédimentaires de l'Algérie (Fabre 2005)

3. **La situation géologique** : géologiquement, le bassin de Berkine se présente sous forme d'une dépression semi-circulaire, presque entièrement occupée par des dépôts paléozoïques et mésozoïques. Le socle est rencontré à environ 7000 m de profondeur. C'est un bassin intracratonique, séparé du bassin d'Illizi au Sud par le môle de Dahara, limité au Nord par la bordure Sud du môle de Dahara, 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 (**figure 02**).



4. Historique d'exploration du bassin

Le bassin de Berkine est une zone particulièrement intéressante pour l'exploration pétrolière, d'accès beaucoup plus difficile, mais l'effort d'exploration de ce bassin est continu compte tenu leur importance en matière de production en hydrocarbures.

Les premiers travaux de recherche pétrolière en Algérie remontent au début du 20^{em} 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 prospection sismique date depuis 1986. Au total ont été réalisé :

- 43 097 km en 2D sismique acquis entre 1986 et 2004
- 8 119 km² de sismique 3D acquis entre 1995 et 2004

L'exploration du bassin de Berkine a été faite par puits. Un total de 215 puits a été foré de 1985 à 2004. (Azoug et al., 2007)

Ce bassin a fait l'objet de plusieurs études géologiques (Turner et al. 2001 ; Rossi et al. 2002 ; McKenna et Hedley 2002; Chelbeb et al. 2000 ; Dieckmann et al. 2000).

- En 1989 Anadarko a signé, avec Sonatrach, le premier contrat d'exploration dans le bassin de Berkine. Le premier puits a été foré en 1991 (SONATRACH, 2002).

- Entre 1993 et 1998, d'autres découvertes sont faites, et c'est le 4 Mai 1998 que le Groupement Berkine-Sonatrach était né (association Sonatrach, 51%- Anadarko, 49%).

5. aspect tectonique :

La configuration actuelle du bassin de Berkine est le résultat de plusieurs phases tectoniques depuis le Précambrien.

5.1 Evolution structurelle du bassin

Le bassin de Berkine présente un réseau complexe de fractures résultant d'une succession de phases tectoniques depuis le précambrien. Ces fractures sont organisées selon plusieurs directions principales (**figure 03**) :

- Direction subméridienne: Direction subméridienne : les failles associées présentent d'importants rejets à l'ensemble de la faille de Rhoude Nouss dont le rejet atteint parfois 500 mètres.
- Direction NE-SW (N30° An 60°) : les failles(NE-SW) affectant principalement le centre et le nord du bassin, les structures associées à cette direction ont de grandes ampleurs à l'ouest du bassin, et relativement moins structurées au centre.
- Une étude BEICIP de 1991 a mis en évidence trois autres directions de failles :
 1. Direction N70 : caractérise la région de Rhourde-Nouss, Menzel-Lejmet et Gassi Touil.
 2. Direction subéquatoriale : observée au SE sur le môle d'Ahara.
 3. Direction N150 : observée au NE au niveau du trend Keskassa, BirRebaa et Bir Berkine Nord.



Figure 03: Carte structurale du bassin de Berkine (McKenna et Hedley, 2002)

5.2 Evolution tectonique du bassin

Le bassin de Berkine est confiné par 4 principaux linéaments structuraux :

- El Biod- Hassi Messaoud d'Amguid ;
- Qarqaf ;
- Talemzane Djaffara;
- Mole Dahar.

La formation de bassin de Berkine est le résultat de collisions tectoniques qui ont affecté d'une manière intensive sa partie nord à cause de sa proximité à la marge nordique tandis que le bassin se repose dans la partie stable du craton africain. Les principaux événements structuraux qui ont affecté le bassin sont (McKenna et Hedley, 2002). (Figure 03) :

1. L'orogénèse pana-africain;
2. La phase taconique;
3. L'orogénèse hercynienne;
4. Le rifting liasiques et triasiques;
5. La phase autrichienne;
6. La phase pyrenienne;
7. Et enfin la phase alpine.

5.2.1 : l'orogénèse panafricaine:

Au cours de cette phase, la collision entre le craton Ouest africain et le craton Est africain a donné naissance au Gondwana. La zone de collision est caractérisée par une vaste structure de fracture s'étendant de nord de l'Afrique jusqu'à l'Amérique du sud, en traversant le Nigeria. Cette importante ligne de suture a créé une ligne de fragilité dans la croûte, ce qui a eu une influence notable à la présence des fractures datées de 650 MA.

A L'Ordovicien, le bassin de Berkine était situé au Nord de la marge passive de Gondwana. A cette ère, cette région était située au pôle Sud. Durant l'Ordovicien, un important épisode glaciaire a eu lieu, qui a provoqué les sédiments glaciers à travers l'Afrique du Nord.

Au Silurien précoce, le Gondwana a dérivé au Nord et la glace a commencé à fondre, entraînant une élévation du niveau de la mer. Les roches du bassin de Berkine, telles que les argiles schisteuses du Frasnien et les sédiments du Paléozoïque ont été érodées du craton africain et transportés vers le Nord de Hassi Berkine.

Au cours de Paléozoïque, le continent de Laurentien (Amérique) a convergé avec la Baltique et s'est dirigé vers le Gondwana, entraînant la subduction de l'océan de « Rheic » (**figure 04**)

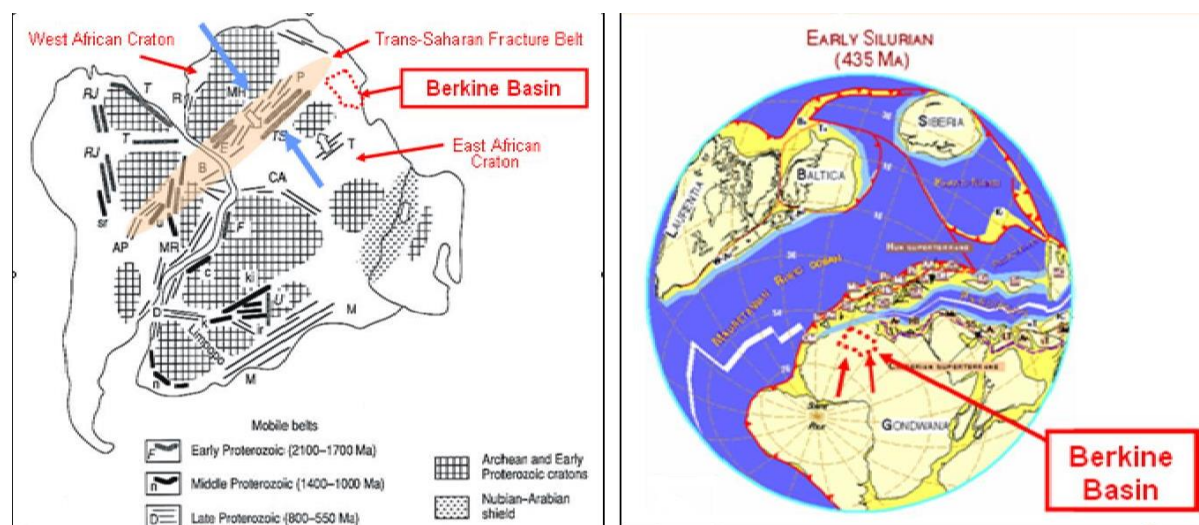


Figure 04 : le bassin de Berkine au sein de l'orogénèse panafricaine (McKenna et Hedley, 2002)

5.2.2 L'orogénèse hercynienne

La collision entre Laurentia et Gondwana pour former le Pangea (la Pongée) a été le résultat majeur de ces mouvements tectoniques (**Figure 05**).

Les premières phases de cette collision ont eu lieu à la fin du Dévonien quand le secteur au Nord-Ouest du bassin de Berkine était élevé. Ceci a changé les secteurs de provenance des sédiments qui sont déposés pour la première fois est entré du Nord-Ouest au bassin de Berkine.

La progression de la collision continentale a conduit à la formation de la chaîne hercynienne et à une évolution du bassin de Berkine vers le Nord-Est (BEICIP, 1991).

A la fin du Carbonifère-Permien, une phase d'érosion s'est étendue à travers tout le bassin, affectant la voûte nordique de Talemzane, où une grande partie des sédiments paléozoïques a été érodée. C'est sur cette surface érodée que s'est formé le réservoir principal, constitué des dépôts des grès fluviaux qui comportent la formation de TAGI.

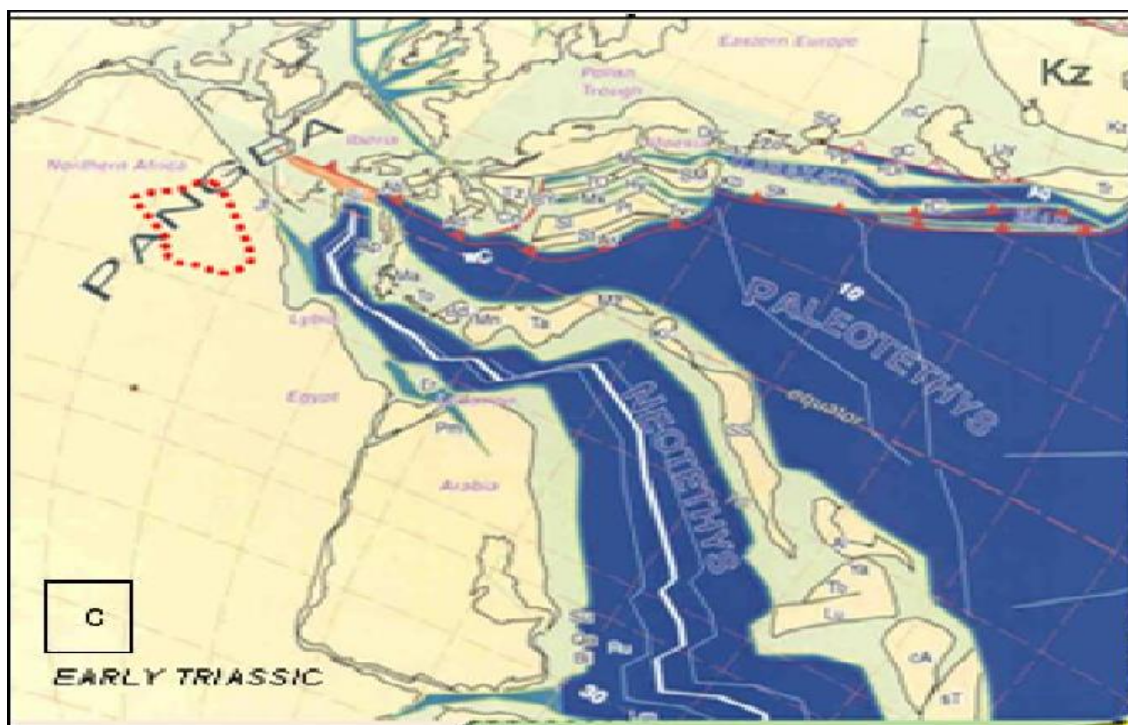


Figure 05 : L'orogénèse hercynienne (McKenna et Hedley, 2002).

5.2.3 Phase de rifting Lias-Trias :

La phase tectonique ultérieure a été marquée par le phénomène de rifting qui a pris place vers la fin du Jurassique et au début du Trias du continent de Pangea (**Figure 06**). Au cours de ces 50 Ma, le bassin de Berkine a constitué une partie d'Hinterland de Pangea situé à l'extrémité occidentale des océans de Paléo et des Néo-Tethys. Ce processus de rifting a continué jusqu'à la fin du Lias et jusqu'à l'Océan atlantique central qui a commencé à s'ouvrir pendant le Jurassique moyen.

Durant cette phase une série de failles normales a été formée, s'orientant principalement dans la direction Nord-Est, avec des déplacements dans l'amplitude ne dépasse généralement pas 300m. La position de ces failles est influencée par une suture fondamentale datant de précambrienne. Ces failles semblent avoir débuté après le dépôt du réservoir de TAGI vers la fin du Trias et implique multiples phases de fractures actives en croissance. En règle générale, la sédimentation associée au syn-rift a été consécutive à l'affaissement tectonique de la région.

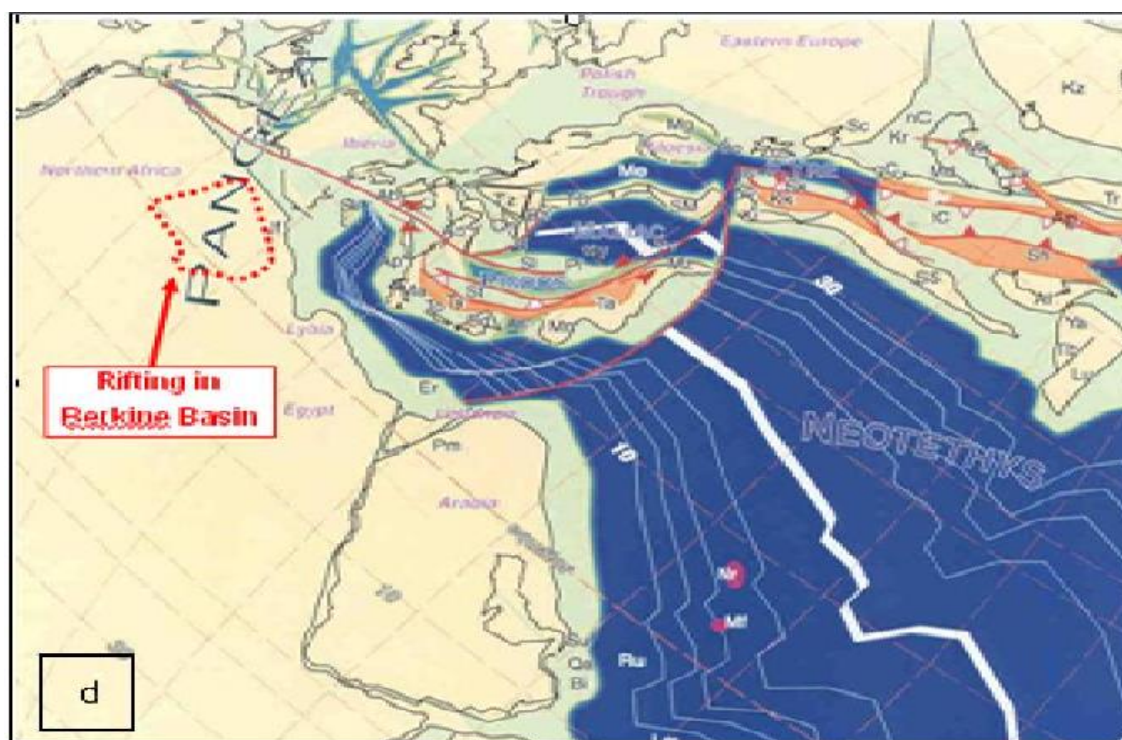


Figure 06 : Phase de rifting Lias-Trias (McKenna et Hedley, 2002).

Cette phase s'est produite pendant le début du Crétacé. L'Océan atlantique central s'est ouvert approximativement de 800 km de largeur, l'Afrique a été déplacé vers l'Est relativement à l'Europe méridionale à travers cette zone faillée (**Figure 07**).

[illegible]

5.2.5 La phase Pyrénéenne

Dans le contexte géologique du bassin de Berkine, l'issue de cette inversion s'est manifestée par l'apparition des failles de direction NE-SW ainsi que de plissements doux le long d'un axe NE.

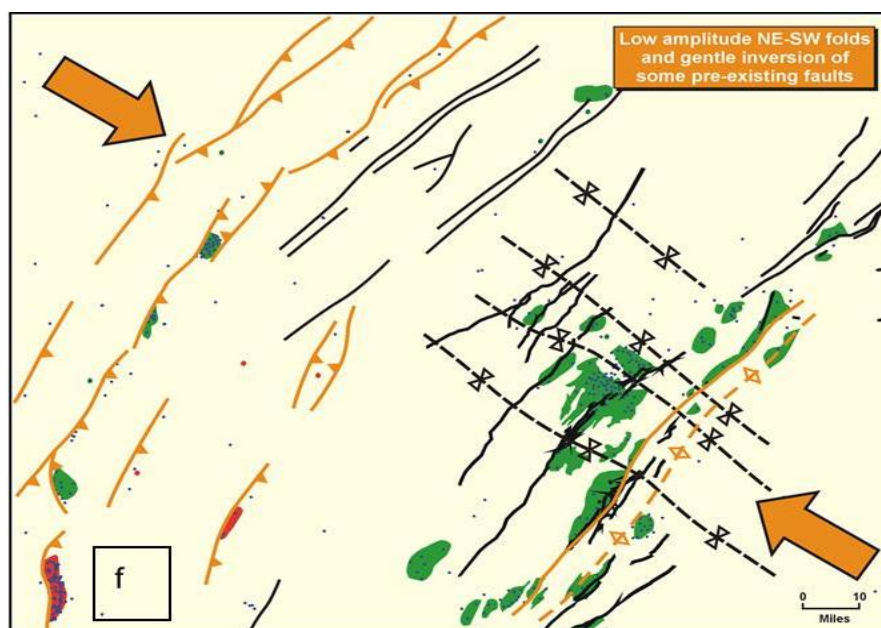


Figure 08 : La phase Pyrénéenne (McKenna et Hedley, 2002)

5.2.6 La phase Alpine

Cette phase finale de l'activité tectonique, qui s'est déroulée durant le Néogène, n'a pas impacté le bassin de Berkine d'une manière significative.

6. Aspet Stratigraphique

Le bassin de Berkine est caractérisé par une stratigraphie complexe. Son remplissage sédimentaire est formé de séries paléozoïques, érodées parfois jusqu'au Silurien. La série du Mésozoïque repose en discordance sur les formations paléozoïques et est recouverte à son tour en discordance par un épandage détritique tertiaire. La série sédimentaire la plus complète (plus de 6 000 m), avec trois cycles sédimentaires : paléozoïque, mésozoïque et cénozoïque (figure 09).

Chapitre I : Généralités sur le bassin de Berkine

Âge		Lithologie	Formation	Evénements tectoniques	Environnement de dépôt	SR	RR	Couverture	Gisements
Tertiaire									
Crétacé	supérieur			Alpine (Pyrénéen Non conf.) 	Dépression cont. intérieure+ fracturation				
	inférieur			Autrichien Non conf. 	Fluvio-lacustre continental				
Jurassique	supérieur				Laguno-marin limité				
	moyen								
	inférieur		Horizon 'B' S1-S2 S3 Argileux S4 Iags Carbonate Tagi		Lagunaire continental				
Trias	supérieur								
	moyen								
	inférieur								
Permien	supérieur								
Carbonifère	supérieur		F	Hercynien Non conf. 	Fluvio-lacustre marin-continental peu profond				
			E D C						
	inférieur		B A F2						
Dévonien	supérieur		F3	Frasnien Non conf. 					
	moyen		F4-F5						
	inférieur		F6						
Silurien	supérieur		B2 B1	Calédonien Non conf. 					
	moyen		A2 A1						
	inférieur		M2 M1 Argiles						
Ordovicien	supérieur		Argil. Microgl.	Taconien Non conf. 					
	moyen		Grès O. Saret Argil. d'Azzel						
	inférieur		Grès de Ouargla-Quartzites de Hamra Grès d'El Atchane Argiles d'El Gassi Zone d'alternance						
Cambrien			R1 R2	Panafricain Non conf. 					
Précambrien									

Figure 09 : Colonne stratigraphique du bassin de Berkine (WEC 2007)

6.1 Le paléozoïque

Le Paléozoïque comprend : le Cambrien, l'Ordovicien, le Silurien, le Dévonien, et le Carbonifère avec une épaisseur relativement importante allant de 1000m à 2000 m.(H.Rachid 1985).(figure 10)

A) Le Cambrien

Le Cambrien est le premier terme paléozoïque et repose en discordance majeur 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.

B) 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.

C)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 d'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, indurés à quelque passés carbonatés à la base.
- L'unité M2: elle est constituée essentiellement par des argiles silteuses avec des passés de grés.

La barre inferieure (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 argileuse à la base.
- ✓ Le talus à tigillites (sous unité B du réservoir F6):
 - L'unité B1: elle est constituée par une succession de grés quartzitique compact et d'argile noire.
 - l'unité B2: elle est représentée par une alternance des grés quartzitiques et des argiles micacées.

D) 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 650m.
- 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.

E) Le Carbonifère

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

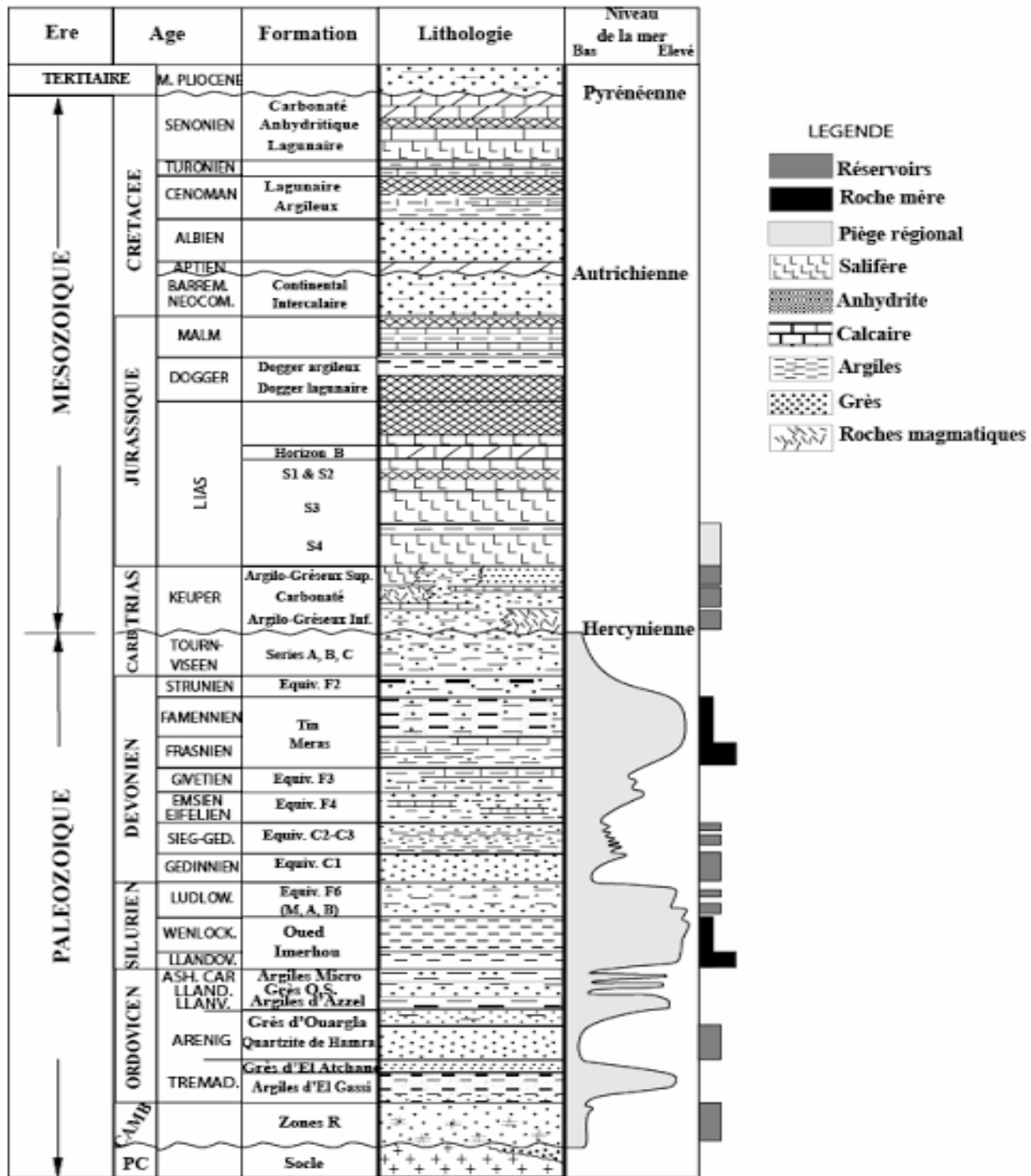


Figure 10 : Colonne stratigraphique type du bassin de Berkine (d'après YAHY et al.,2001, modifiée)

6.2 Le Mésozoïque :

A. Le Trias

▪ Le Trias Argilo- Gréseux inférieur (TAGI)

Il se compose de grès gris blanc à blanc et gris vert, de texture fine à moyenne parfois grossière, sub-arrondi à sub-anguleux, siliceux à silico-argileux, localement pyriteux, friables à moyennement consolidé avec intercalations d'argile brun rouge parfois gris-vert tendre à indurée silteuse. Des Traces de pyrite.

▪ Le Trias Carbonaté

Il se compose d'argile verte à gris verdâtre et brun rouge, tendre à indurée, silteuse localement dolomitique avec passées de dolomie blanc beige, tendre et de grès gris blanc à gris vert, très fin à fin, silico-argileux, moyennement dur.

▪ Le Trias Argilo- Gréseux supérieur (TAGS)

Il se compose de grès gris blanc, très fin, siliceux à silico-argileux, dure avec intercalations d'argile brun rouge et gris vert, tendre à indurée, silteuse.

▪ Le Trias Argileux

Il est constitué d'argile de teintes variant du brun rouge et brunâtre, rarement gris vert, tendre à indurée silteuse avec traces d'anhydrite blanche, tendre, pulvérulente.

B. Le Jurassique

Il est constitué par le Lias, le Dogger lagunaire, le Dogger argileux et le Malm.

C. Crétacé

L'épaisseur de crétacé varie de SF-EXT (1572m) vers SF-4 (1594m) en passant par SF-1(1518.5m) et SF-2 (1550m) et SF-3 (1523m).

Il se compose principalement des formations détritiques d'origine continentale avec une sédimentation marine durant l'aptien à la base, et une phase carbonatée et évaporitique au Crétacé supérieur (sénonien) au sommet.

6.3 Le Cénozoïque :

A. Le Mio-Pliocène

Il est composé de sable blanc à translucide, parfois jaunâtre et localement rougeâtre, rarement rosâtre, de granulométrie fine à moyenne, parfois grossière et de morphoscopie sub-arrondie à arrondie.

On y trouve des intercalations d'argile brun rouge sableuse, ainsi que de banc de calcaire argileux.

B. Le Quaternaire

Ce sont des sables représentant des placages dunaires.

7. Système pétrolier

Le système pétrolier est un système géologique qui englobe tous les éléments nécessaires à la formation et à l'accumulation de pétrole et de gaz naturel.

Les principaux éléments d'un système pétrolier du bassin de Berkine sont :

7.1 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).

7.2 Les Roches réservoirs

Les principaux réservoirs du bassin sont ceux du Trias, du Carbonifère, du Dévonien inférieur, de l'Ordovicien et du Cambrien.

a) Le Trias

a.1) Le TAGS (Trias Argilo-Gréseux supérieur) :

Le TAGS, excellent réservoir, avec un objectif pétrolier principal dans la région de Rhourde Nouss – Rhourde Chouff – Hassi Chergui-GassiTouil – Rhourde Adra- Brides.

a.2) Le Trias carbonaté :

Il suscite un faible intérêt. Les principaux résultats pétroliers sont obtenus dans la région de Rhourde Nouss et Hassi Chergui.

a.3) Le TAGI (Trias Argilo-gréseux inférieur)

Le TAGI est présenté par la série basale du Mésozoïque, caractérisé par des dépôts de type fluvatile se développant sur l'ensemble du bassin.

b) Le Carbonifère

Les réservoirs du Carbonifère, datant de l'époque Strunien au Viséen, se caractérisent par des intervalles de grés inclus dans des séquences argilo-gréseuses associée à un environnement de dépôt marin peu profond.

c) Le Dévonien inférieur

Les réservoirs du Dévonien inférieur se composent de deux séquences essentielles : le Gedinnien, caractérisé par une série de grès massif d'origine fluvatile (post-calédonien) d'une épaisseur moyenne d'environ 200 m, et le Siegénien transgressif qui présente des passages gréseux, correspondant à des réservoirs de type cordon littoral et deltaïque.

Ces grès dotés de bonnes propriétés pétrophysiques, sont connus pour contenir du gaz à condensat et huile légère.

d) Le Silurien

Bien développé principalement dans la partie Sud du bassin, où les passages gréseux deviennent de plus en plus significatifs en raison de la proximité des sources nourricières Tassilienne et du Hoggar.

L'Unité F6, une formation gréseuse a montrée des accumulations d'hydrocarbures. Cette formation a présenté 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 des puits étudiés dans ce mémoire.

e) L'Ordovicien

Les quartzites de Hamra et les grès de Ouargla sont les deux réservoirs majeurs de l'Ordovicien. Leur potentiel est principalement identifié dans la zone de la dépression Sud-est triasique, avec des découvertes de gaz et huile à Hamra et RhourdeNouss, ainsi que l'huile à Nezla.

Dans la dépression de Dahar on retrouve des réserves d'huile sur le gisement de Semhari, sur les extensions de l'axe structural de Rhourde El Baguel.

f. Le Cambrien

Les réservoirs du Cambrien se divisent en trois unités R1 (Ri, Ra), R2 et R3. Les meilleurs réservoirs sont rencontrés aux niveaux des grès du "Ri" et du "Ra", qui sont généralement quartzitiques. Ces grès du Cambrien sont productifs d'huile à Rhourde El Baguel, Ain Romana et Damrane. Les réservoirs cambro-ordoviciens reconnus à ce jour se localisent le long des marges nord et ouest du bassin de Berkine.

7.3 Les Roches Couvertures

Les couvertures paléozoïques sont constituées principalement des argiles ordoviciennes, notamment celles d'El Gassi et d'Azzel, ainsi que des argiles devono-carbonifère qui se développent sur de grandes épaisseurs. Les couvertures mésozoïques sont assurées par les évaporites du Trais/Lias et par les argiles intra Triasique.

7.4 Type des pièges

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

Cependant, leur potentiel est lié aux rejets des failles, qui déterminent le taux de remplissage des réservoirs et les positions des différents contacts Huile/Eau (**figure 11**).

Il existe trois types de pièges:

- **Pièges structuraux**

Sont le résultat de mouvements tectoniques tels que les anticlinaux ou pièges par failles.

- **Pièges stratigraphiques**

Sont le résultat de passage d'un milieu perméable à un autre imperméable (les biseaux, les lentilles gréseuses etc...).

- **Pièges mixtes**

Sont à la fois structuraux et stratigraphiques.

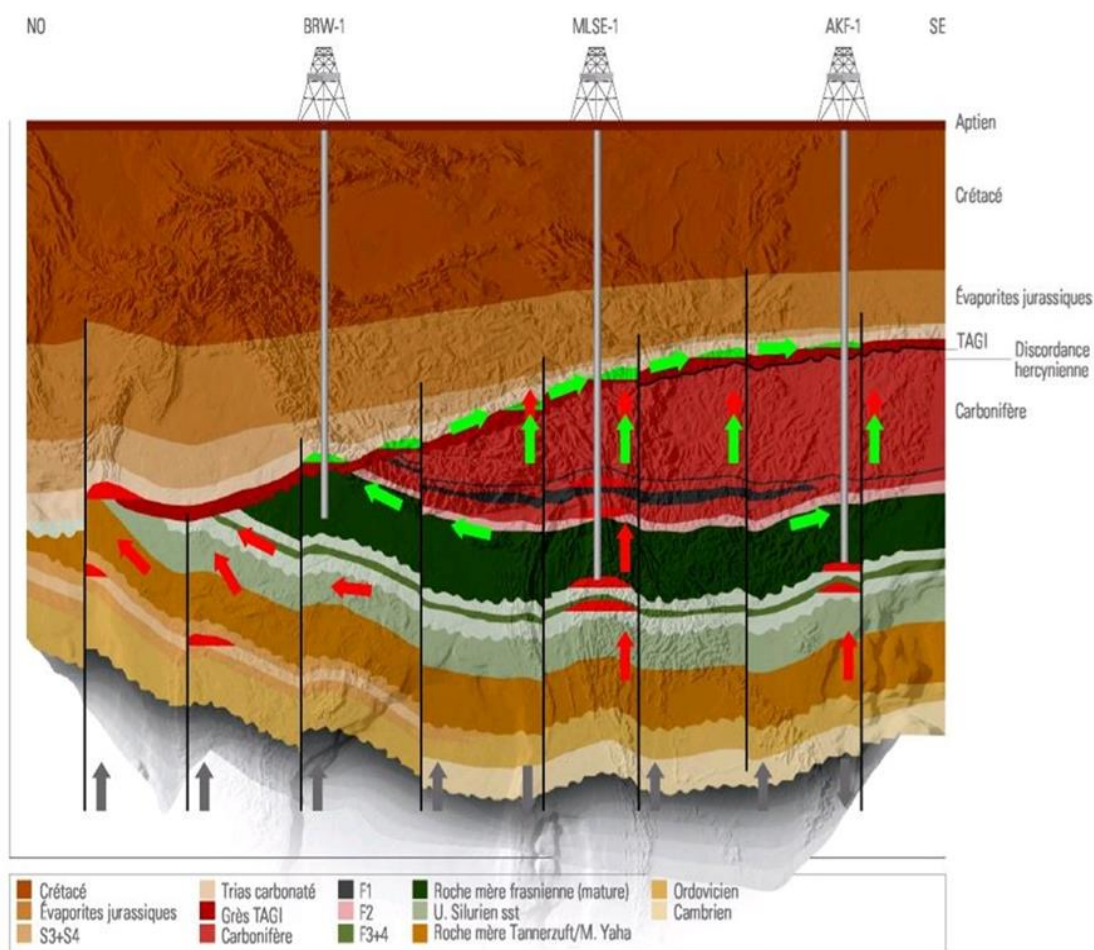


Figure 11 : Pièges et migration dans le bassin de Berkine (WEC, document SONATRACH)

8. Localisation de la zone d'étude

8.1 Le puits HBNP-1:

Le puits Hassi Berkine Nord Profond-1 (HBNP-1), situé dans le bloc 403 du périmètre Ourhoud II (**figure 12**).

8.2 Le puits HBNEP-1:

Le puits Hassi Berkine Nord Est Profond-1 (HBNEP-1) est un puits d'exploration situé dans la partie Nord-Est du périmètre Ourhoud II de bassin de Berkine Est (bloc 404). Il se trouve à 12 km au Sud Est du puits HBNP-1 (**figure 12**).

8.3 Le puits HBSW-1:

Le puits Hassi Berkine Sud-Ouest -1(HBSW-1-ST) est un puit d'exploration situé dans la partie Nord-Ouest du périmètre Ourhoud II de Bassin de Berkine (bloc 404) (**figure 12**).

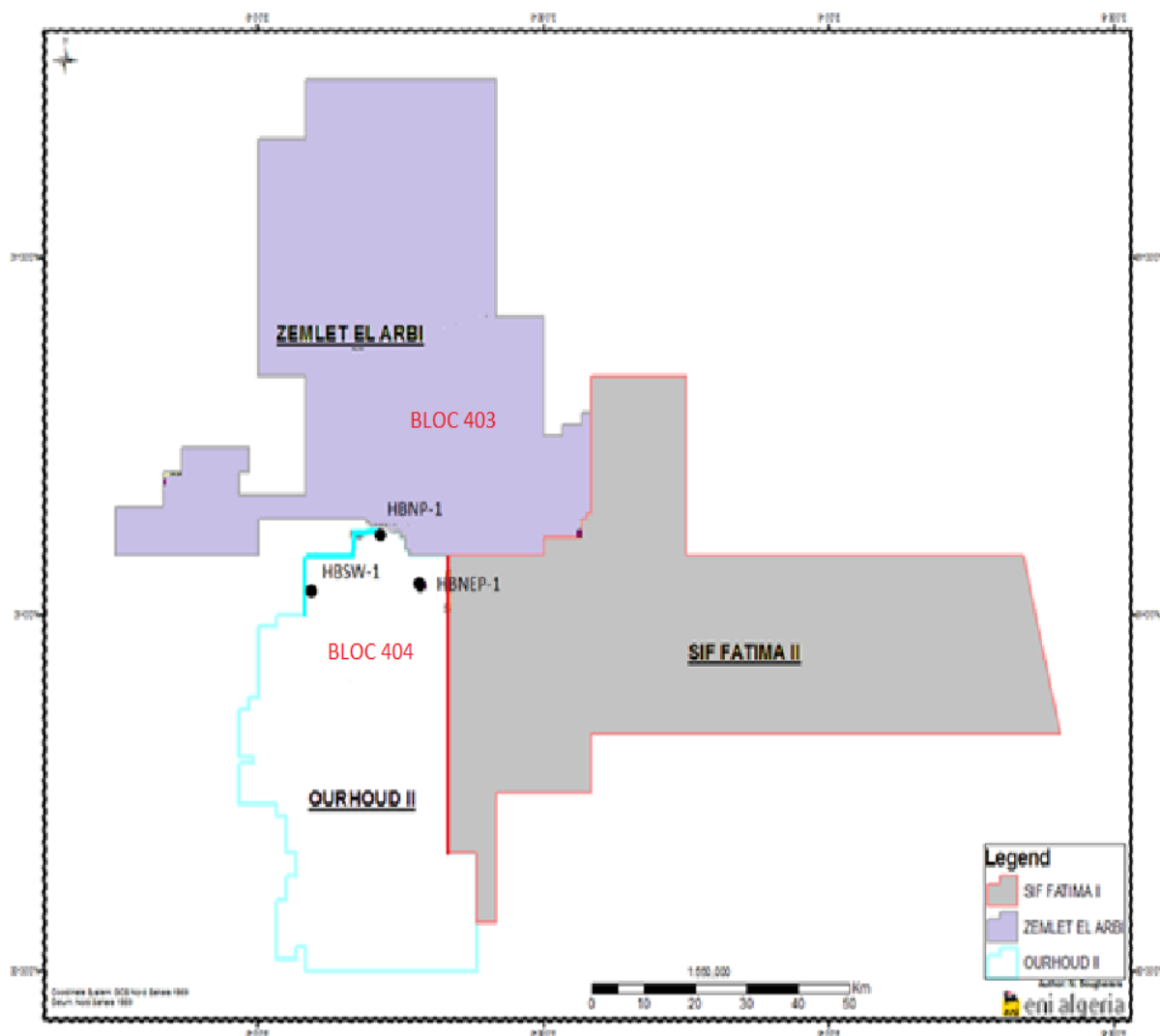


Figure 12 : localisation des puits étudiés

Chapitre II : Etude pétrographique

1. Introduction :

Dans ce chapitre on abordera la description détaillée des différents constituants pétrographiques et minéralogiques, en vue d'une caractérisation du « Silurien Argilo-Gréseux » de la région de Berkine Nord.

Pour réaliser cette étude, nous avons prélevé des échantillons des puits HBNP-1, HBNEP-1 et HBSW-1-ST.

2. Méthodologie :

L'étude pétrographique est basée sur l'observation au microscope optique polarisant de 18 lames minces de grés du « Silurien Argilo-Gréseux ».

Elle permet de déterminer :

- Les diamètres moyens et maximaux des grains de quartz, leur classement et leur morphoscopie ;
- Les types de contacts entre les grains et leur fréquence ;
- les pourcentages des différents éléments figurés (les constituants détritiques) et ciments ;
- les différents types de réseaux poreux et leur proportion.

Tableau 1 montrant le nombre des lames minces analysés pour chaque puits.

Puits	Nombre de lames minces
HBNP-1	5
HBNEP-1	5
HBSW-1-ST	8

Tableau :01 Répartition des lames minces analysés pour chaque puits

3. Etude pétrographique du puit HBNP-1 :

3.1 Les éléments figurés

Les différents composants détritiques identifiés suite à l'analyse des lames minces sont par ordre d'importance :

- **Les grains de quartz**

L'analyse pétrographique des échantillons du puits HBNP-1 montre que les grains de quartz sont fins à très fins avec un diamètre moyen fluctuant entre 0,150 et 0,250 mm ; le classement est bon ; quant à la morphoscopie, elle est anguleuse et sub-anguleuse à sub-arrondie. Les contacts entre les grains sont le plus communément droits à ponctuel rarement concavo-convexes (**Pl 01, Ph01**), le pourcentage de ces grains du quartz varie entre 69 et 75 %.

- **Les minéraux lourds**

Les minéraux lourds sont représentés par le zircon dans tous les échantillons (**Pl 01, Ph02**) et par leucoxène seulement dans les niveaux inférieurs (**Pl 01, Ph03**). Leur proportion est inférieure à 2 %.

- **Les micas**

Les micas dans les échantillons étudiés sont représentés par les muscovites (**Pl 01, Ph04**), leur pourcentage total est très faible (traces), exception faite pour le premier échantillon.

3.2 Les ciments et les liants

Les ciments rencontrés dans les échantillons du puits HBNP-1 sont par ordre d'importance : le ciment argileux ; le ciment siliceux ; le ciment carbonaté et le ciment ferrugineux.

- **Le ciment argileux**

Les argiles sont représentées par la chlorite sous forme de revêtement et l'illite dans le premier et le dernier échantillon (côtes : 4611,39 m et 4623,60 m), et par la chlorite amas dans le troisième échantillon (côte : 4620,50 m), et par la chlorite de revêtement et amas dans le deuxième échantillon (côte: 4613,30 m), et par la chlorite amas et l'illite dans le quatrième échantillon (côte: 4621,40 m), son pourcentage oscille entre 13 et 15%. (**Pl 02, Ph01-02**)

- **Le ciment siliceux**

D'après les observations pétrographiques, le ciment siliceux de nourrissage développé autour des grains de quartz est matérialisé par les auréoles d'impuretés (**Pl 02, Ph03-04**), Leur pourcentage est compris entre 5 et 7% du volume total de la roche.

▪ Le ciment carbonaté

Le ciment carbonaté est présent aussi pour certains échantillons. Il est considéré comme ciment accessoire. Il est représenté par la calcite dans le niveau supérieur (la côte :4611,39 m) ; et son taux peut atteindre les 3 %, et par la présence de la sidérite dans l'échantillon de la côte (4620,50 m) en trace ; et de 3% dans l'échantillon de la côte (4623,60 m), **(Pl 02, Ph05-06)**.

▪ Le ciment ferrugineux

Les oxydes de fer sont représentés dans les quatre premiers échantillons, Ils sont sous forme d'hématite, et leur présence est aussi accessoire et ne dépasse pas 1%.

3.3 Les réseaux poreux

Les observations pétrographiques montrent que le réseau poreux dans ces échantillons est faible à très faible avec un pourcentage qui varie entre 3 et 7 %.

Ce réseau poreux est matérialisé par les vides de dissolutions (porosité secondaire) dans le premier et le dernier échantillon (côtes :4611,39 m et 4623,60 m) **(Pl 03, Ph01)** ; Et par les vides intergranulaires (porosité primaire) dans le troisième et le quatrième échantillon (côtes :4620,50m et 4621,40 m) **(Pl 03, Ph02)** ; et par les vides de dissolutions et intergranulaires dans le deuxième échantillon (côte :4613,30 m).

4. Etude pétrographique du puit HBNEP-1:

4.1 Les éléments figurés

Par ordre d'importance, les différents composants identifiés suite à l'analyse des lames minces du puits HBNEP-1 sont :

▪ Les grains de quartz

L'analyse pétrographique des échantillons du puits HBNEP-1 montre que les grains de quartz sont fins à très fins avec un diamètre moyen fluctuant entre 0,150 et 0,250 mm; le classement est bon ; quant à la morphoscopie, elle est anguleuse et sub-anguleuse à sub-arrondie , les contacts entre les grains sont le plus communément droits à concavo-convexes **(Pl 04, Ph01-02)**, exception faite pour deux échantillons :

L'échantillon de la côte (4770,00 m) : les grains de quartz sont très fins avec un diamètre moyen de 0,08 mm; le classement est bon ; quant à la morphoscopie, elle est anguleuse à sub-anguleuse, les contacts entre les grains sont le plus communément droits à flottants.

L'échantillon de la côte (4772,30 m) : les grains de quartz sont moyens à fins avec un diamètre moyen fluctuant entre 0,200 et 0,375 mm ; le mode est bimodal ; le classement est bon ; quant à la morphoscopie, elle est anguleuse et sub-anguleuse à sub-arrondie, les contacts entre les grains sont le plus communément droits à flottants.

Le pourcentage de ces grains du quartz varie entre 74 et 86 %.

▪ Les minéraux lourds

Les minéraux lourds sont représentés par le zircon dans tous les échantillons (**PI 04, Ph03**), exception faite pour le troisième échantillon (côte 4770,00 m) et par leucoxène seulement dans le deuxième échantillon (côte 4766,37 m). Leur proportion est inférieure à 1%.

▪ Les micas

Les micas sont représentés seulement dans trois échantillons (côtes :3936,50 m ; 4770,00 m et 4781,75m) par les muscovites (**PI 04, Ph04**). Leur pourcentage total ne dépasse pas 2%.

▪ Les feldspaths

Les feldspaths sont représentés seulement dans les deux premiers échantillons (côtes :3936,50 m et 466,37m) par les plagioclases (**PI 04, Ph05**). Leur pourcentage total ne dépasse pas 2%.

▪ Les oolites chlorituses

Les oolites chlorituses sont représentés seulement dans le premier échantillon (côte :3936,50 m) (**PI 04, Ph06**). Leur pourcentage total ne dépasse pas 1%.

▪ L'anhydrite

L'anhydrite est représentée dans les deux premiers échantillons (côtes :3936,50 m et 4766,37m). Leur présence est en trace.

4.2 Les ciments et les liants

Les ciments rencontrés dans les échantillons du puits HBNEP-1 sont par ordre d'importance : le ciment argileux ; le ciment carbonaté et le ciment siliceux.

▪ Le ciment argileux

Les argiles sont représentées par le chlorite sous forme de revêtement et la kaolinite dans les deux premiers échantillons (côtes :3936,50 m et 4766,37m) ; par la chlorite amas et la kaolinite et l'illite dans le troisième échantillon (côte : 4770,00 m) ; et par la chlorite sous forme de revêtement et la kaolinite et l'illite dans les deux derniers échantillons (côtes :4772,30 m et 4781,75m. (**PI05, Ph01-02**). Leur pourcentage oscille entre 05 et 20%.

▪ Le ciment carbonaté

Le ciment carbonaté est rencontré dans les échantillons du puits HBNEP-1. Il est représenté par la sidérite (**Pl 05, Ph03-04**). Leur pourcentage oscille entre 01 et 10%.

▪ Le ciment siliceux

D'après les observations pétrographiques, le ciment siliceux de nourrissage développé autour des grains de quartz est matérialisé par les auréoles. Il est présent dans tous les échantillons sauf dans le troisième échantillon (côte : 4770,00 m). Leur pourcentage ne dépasse pas 03% du volume total de la roche.

4.3 Les réseaux poreux

Les observations pétrographiques montrent que le réseau poreux dans les trois échantillons (côtes : 3936,50 m, 4766,37m et 4772,30 m) est très faible, leur pourcentage ne dépasse pas 1 %.

Ce réseau poreux est matérialisé par les vides intergranulaires (porosité primaire intergranulaire) (**Pl06, Ph01-02**).

Les deux autres échantillons (côtes : 4770,00 m et 4781,75 m) la porosité est nulle. (**Pl06, Ph02**).

5. Etude pétrographique du puit HBSW-1-ST:

5.1 - Les éléments figurés

Par ordre d'importance, les différents composants identifiés suite à l'analyse des lames minces sont :

▪ Les grains de quartz

L'analyse pétrographique des échantillons du puits HBSW-1-ST montre que les grains de quartz sont fins à très fins avec un diamètre moyen fluctuant entre 0,175 et 0,250 mm ; le classement est bon ; quant à la morphoscopie, elle est anguleuse et sub-anguleuse à sub-arrondie, les contacts entre les grains sont le plus communément droits à ponctuels (**Pl 07, Ph01**), exception faite pour deux échantillons :

- Le cinquième échantillon (côte : 4594,05 m) : les grains de quartz sont moyens à fins avec un diamètre moyen égale à 0,350 mm; le classement est bon ; quant à la morphoscopie, elle est arrondie à sub-arrondie, les contacts entre les grains sont le plus communément droits à concavo-convexes. (**Pl 07, Ph02**).
- Le sixième échantillon (côte : 4665,50 m) : les grains de quartz sont grossiers à moyens (diamètre moyen égale à 0,600 mm) et fins à très fins (diamètre moyen égale à 0,200 mm), le mode est bimodale; le classement est bon ; quant à la morphoscopie, elle est anguleuse

et sub-anguleuse à sub-arrondie, les contacts entre les grains sont le plus communément droits à ponctuels.

- **Les micas**

Leur présence est continue le long de l'intervalle étudié et sont représentés par les muscovites avec un pourcentage inférieur à 3%.

- **Les minéraux lourds**

Les minéraux lourds sont représentés par le zircon dans tous les échantillons, sauf le cinquième échantillon (côte : 4594,05 m), avec un pourcentage inférieur à 1%. Pour leucoxène ; il est représenté seulement dans le quatrième échantillon (côte : 4589,49 m), il est en traces.

- **L'anhydrite**

L'anhydrite est représentée dans quatre échantillons (côtes : 4587,43 m ; 4588,26 m ; 4594,05 m et 4665,50 m) (**PI07, Ph03-04**) avec un pourcentage inférieur à 2%.

- **La matière organique**

La matière organique est présentée en traces dans le cinquième échantillon (côte : 4594,05 m) (**PI07, Ph05**).

5.2 Les ciments et les liants

Les ciments rencontrés dans les échantillons du puits HBSW-1-ST sont par ordre d'importance : le ciment argileux ; le ciment carbonaté et le ciment siliceux.

- **Le ciment argileux**

Les argiles sont représentées par la chlorite sous forme de revêtement et l'illite trois échantillons (côtes : 4586,49 m ; 4589,49 m ; 4669,45 m) (**PI08, Ph01-02**) ; par la chlorite sous forme de revêtement et amas et l'illite dans deux échantillons (côtes : 4594,05 m et 4665,50 m) ; et par l'illite et la chlorite amas dans l'échantillon (côte : 4588,26 m) ; et par la chlorite sous forme de revêtement dans l'échantillon (côte : 4587,43 m) ; et par la chlorite sous forme de revêtement et la kaolinite dans l'échantillon (côte : 4671,50 m).

Leur pourcentage oscille entre 04 et 10%.

- **Le ciment carbonaté**

Le ciment carbonaté est rencontré dans les échantillons du puits HBSW-1-ST. Il est représenté par la sidérite (**PI 08, Ph03-04**). Leur pourcentage est inférieur à 10%.

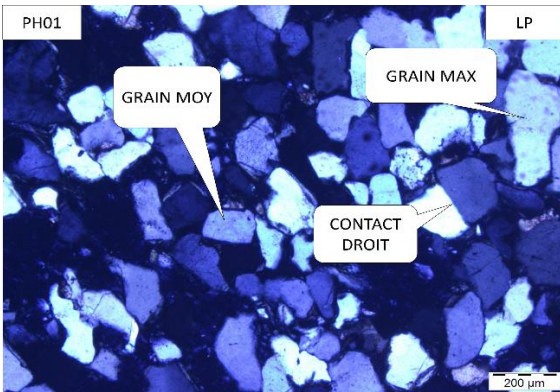
▪ Le ciment siliceux

D'après les observations pétrographiques, le ciment siliceux de nourrissage développé autour des grains de quartz est matérialisé par les auréoles. Il est présent dans tous les échantillons. Leur pourcentage ne dépasse pas 03% du volume total de la roche.

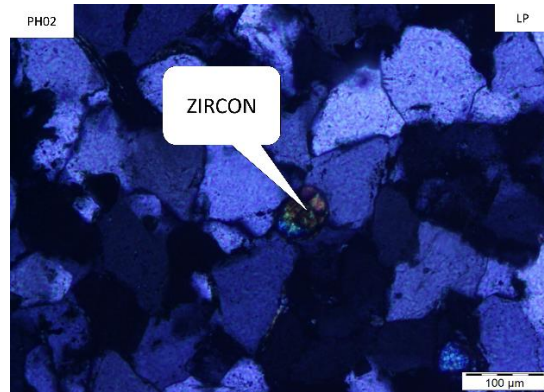
5.3 Les réseaux poreux

Les observations pétrographiques montrent que le réseau poreux dans ces échantillons est très faible avec un pourcentage varie entre 1 et 5 %. Exception faite pour le cinquième échantillon (côte : 4594,05 m) : la porosité est nulle.

Ce réseau poreux est matérialisé par les vides de dissolution (porosité secondaire). Exception faite pour le troisième échantillon (côte :4588,26 m), le réseau poreux est matérialisé par les vides intergranulaires; et le quatrième échantillon (côte : 4589,49 m), le réseau poreux est matérialisé par les vides de dissolutions et intergranulaires.



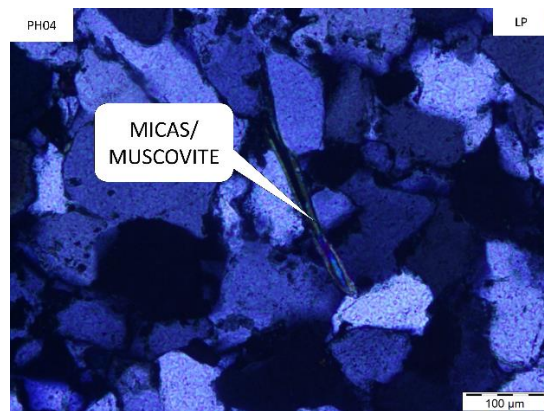
HBNP-1-côte :4611,39 m



HBNP-1-côte :4620,50 m



HBNP-1-côte :4620,50



HBNP-1-ctôte :4620,50 m

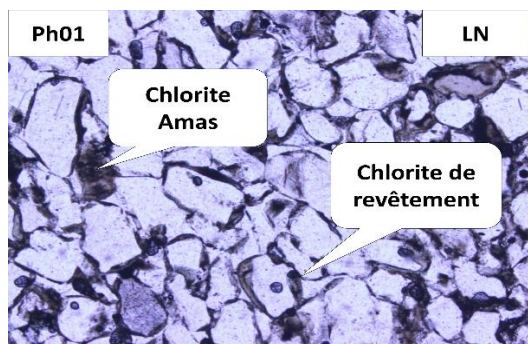
Planche 01 :

Ph01 : grés fins à ciment argileux, uni modale bien classé à contact droit et ponctuel.

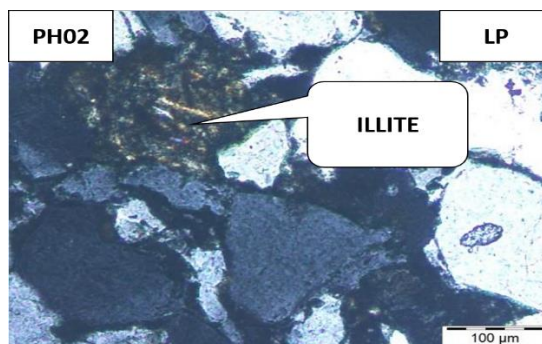
Ph02 : grés fins à ciment argileux (présence de Zircon).

Ph3 : grés fins à ciment argileux (présence de leucoxène).

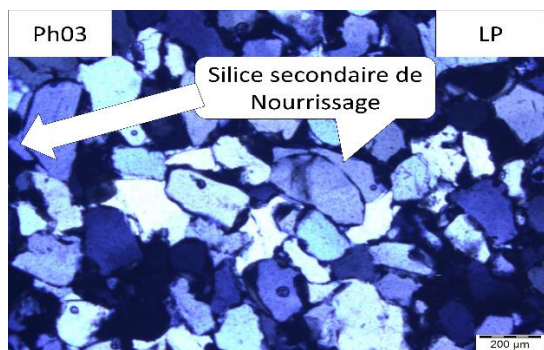
Ph4 : grés fins à ciment argileux (présence de Micas/Muscovite).



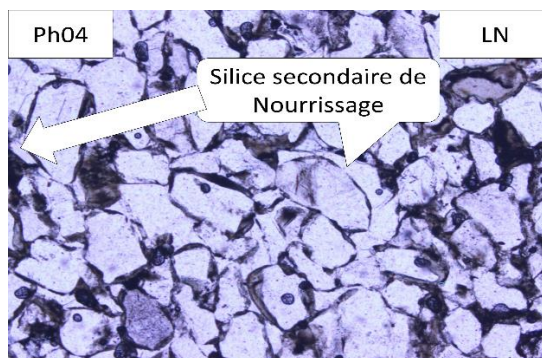
HBNP-1-ctôte :4611,39 m



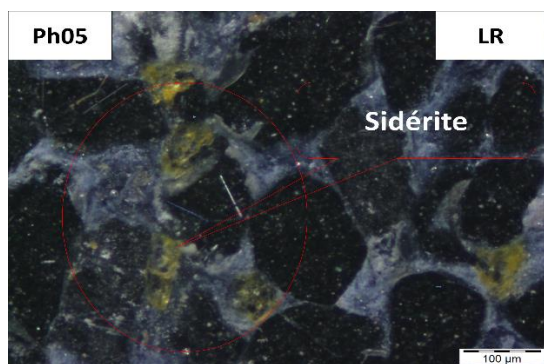
HBNP-1-ctôte :4621,40 m



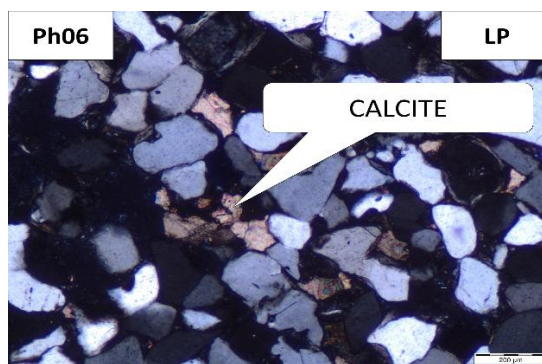
HBNP-1-ctôte :4611,39 m



HBNP-1-ctôte :4611,39 m



HBNP-1-ctôte :4623,60 m



HBNP-1-ctôte :4611,39 m

Planche 02

Ph01 : grés fins à ciment argileux (présence de la Chlorite).

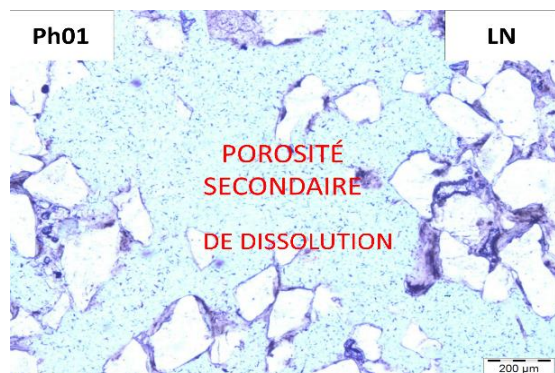
Ph02 : grés fins à ciment argileux (présence de l'illite) en lumière polarisée.

Ph03 : grés fin à ciment argileux (présence de ciment siliceux /silice secondaire de nourrissage) en lumière naturelle.

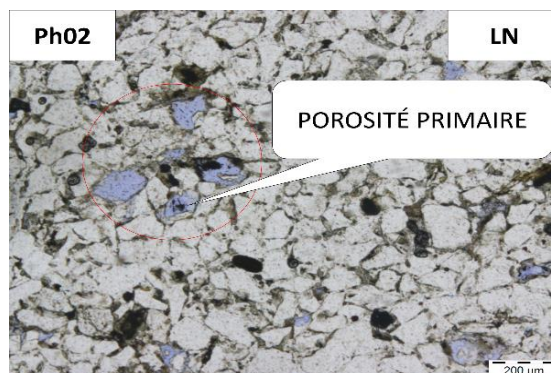
Ph04 : grés fin à ciment argileux (présence de ciment siliceux /silice secondaire de nourrissage) en lumière polarisée.

Ph05 : grés fin à ciment argileux (présence de ciment carbonaté /Sidérite) en lumière réfléchie.

Ph06 : grés fin à ciment argileux (présence de ciment siliceux /Calcite) en lumière polarisée.



HBNP-1-ctôte :4611,39 m

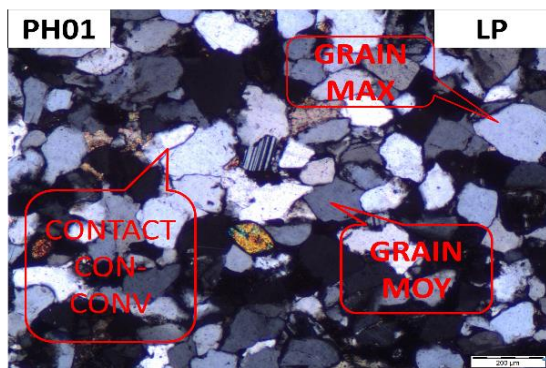


HBNP-1-côte :4621,40 m

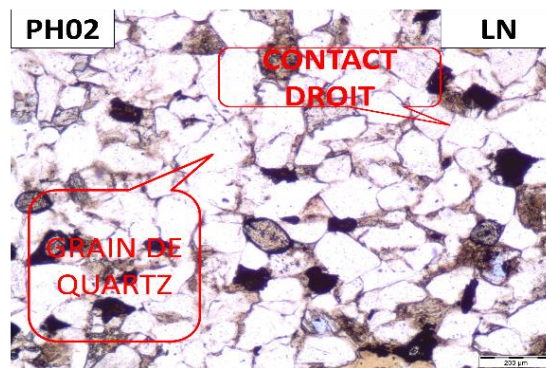
Planche 03

Ph01 : porosité secondaire de dissolution (lumière naturelle).

Ph02 : porosité primaire intergranulaire (lumière naturelle).



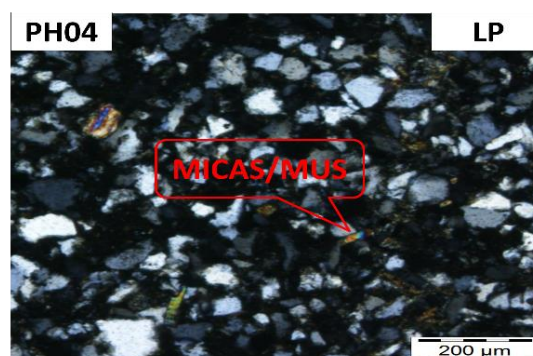
HBNEP-1- côte : 3936,50m



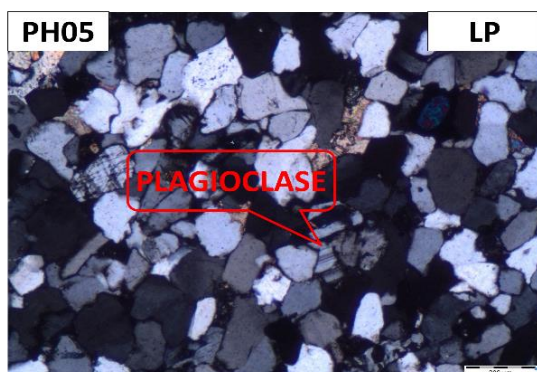
HBNEP-1- côte : 3936,50m



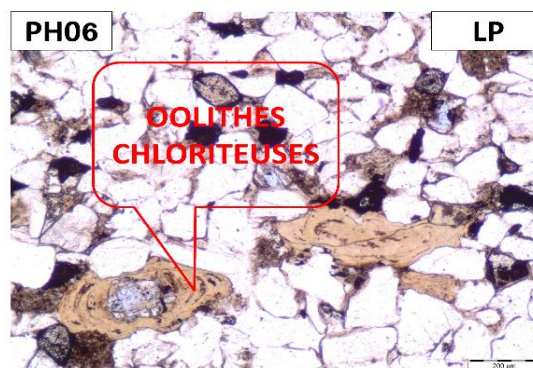
HBNEP-1- côte : 3936,50m



HBNEP-1- côte : 4770,00m



HBNEP-1- côte : 3936,50m



HBNEP-1- côte : 3936,50m

Planche 04

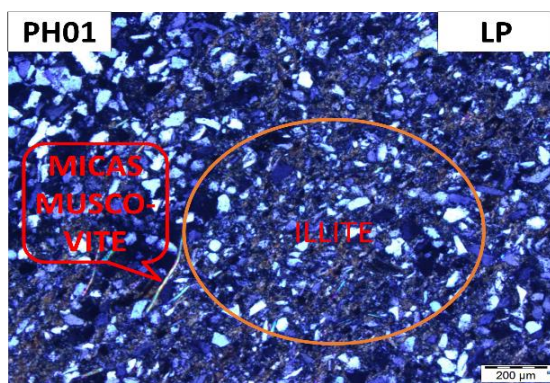
Ph01-02 : grés moyens à ciment argileux, uni modale moyennement classé à contact droit et concavo-convexe.

Ph03 : grés moyens à ciment argileux, (présence de zircon).

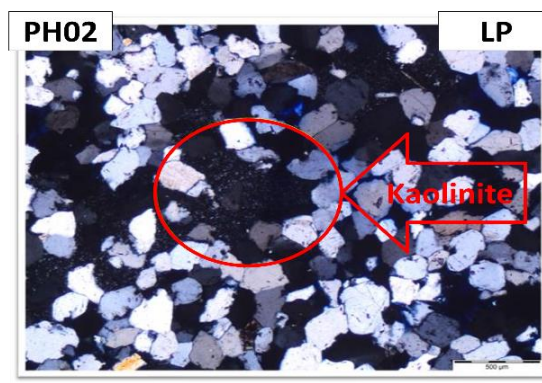
Ph04 : grés fins à ciment argileux (présence de Micas/Muscovite).

Ph05 : grés fins à ciment argileux (présence de Feldspaths /Plagioclase).

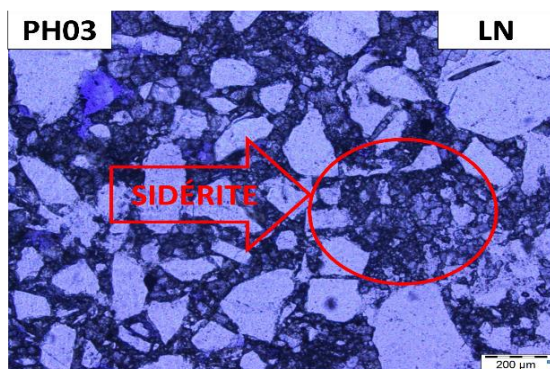
Ph06 : grés fins à ciment argileux (présence d'Oolithe).



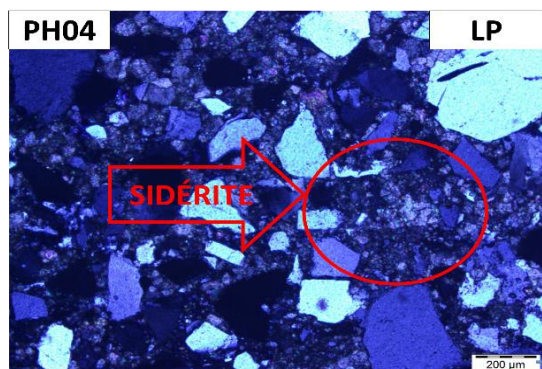
HBNEP-1- côte : 4770,00m



HBNEP-1- côte : 4770,00m



HBNEP-1- côte : 4772,30m



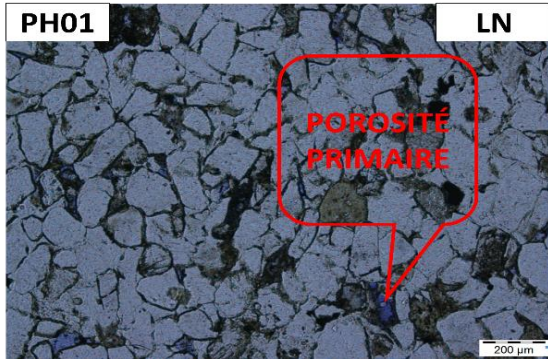
HBNEP-1- côte : 4772,30m

Planche 05

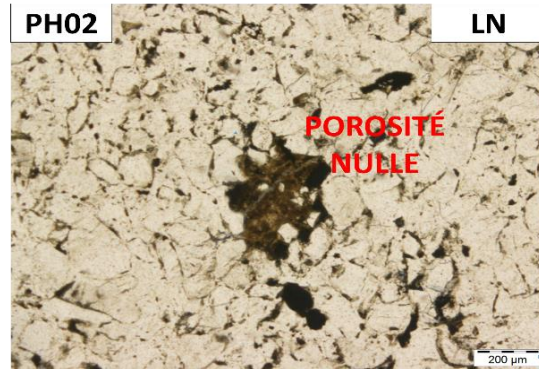
Ph01 : grés très fin à ciment argileux (présence de l'Illite).

Ph02 : grés très fin à ciment argileux (présence de Kaolinite).

Ph03-04 : grés moyens à fin à ciment carbonaté (présence de la Sidérite).



HBNEP-1- côte :4772,30m

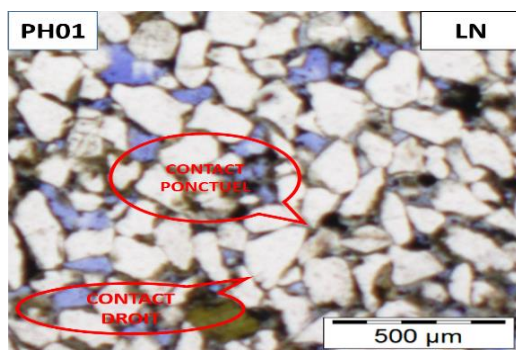


HBNEP-1- côte :4781,75m

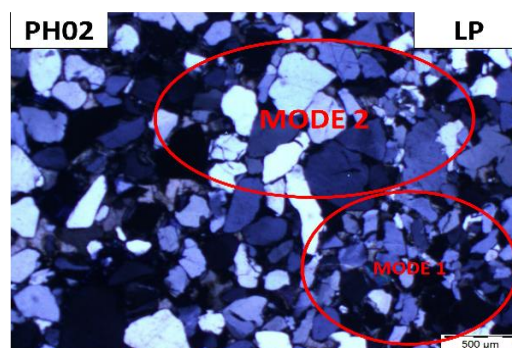
Planche 06

Ph 01 : porosité secondaire de dissolution (lumière naturelle).

Ph02 : porosité nulle (lumière naturelle).



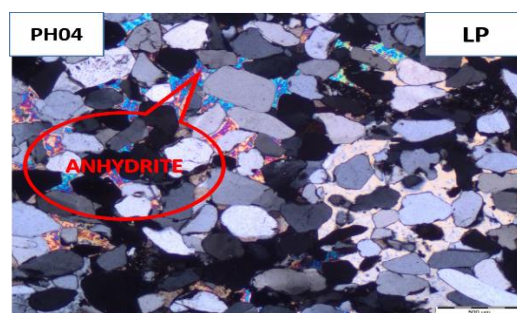
HBNSW-1-ST-côte :4587,43m



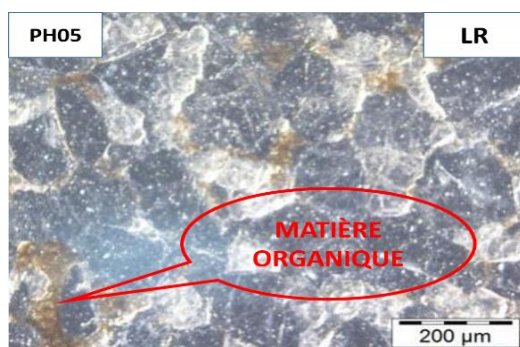
HBNSW-1-ST-côte :4665,50m



HBNSW-1-ST-côte :4594,50m



HBNSW-1-ST-côte :4594,50m



HBNSW-1-ST-côte :4594,50m

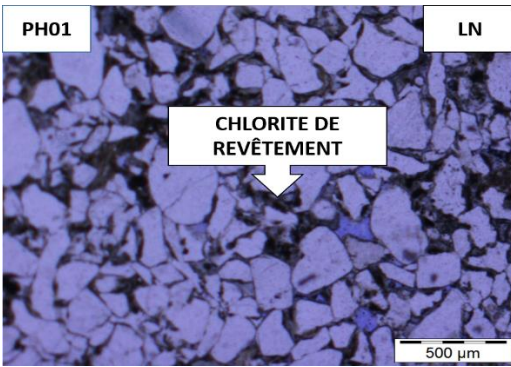
Planche 07

Ph01 : grés fins à ciment argileux, uni modale bien classé à contact droit et ponctuel.

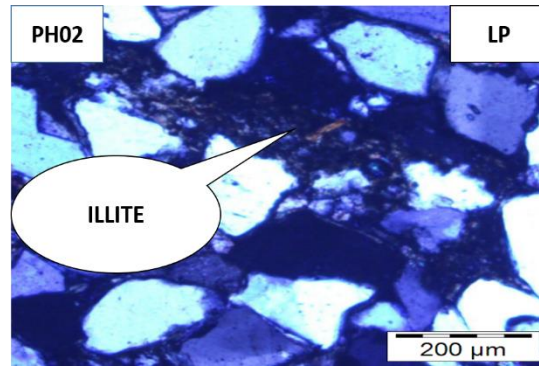
Ph02 : grés moyens à fin à ciment argileux, bimodale bien classé à contact droit et ponctuel.

Ph03-04 : grés fins à ciment argileux (présence de l'Anhydrite).

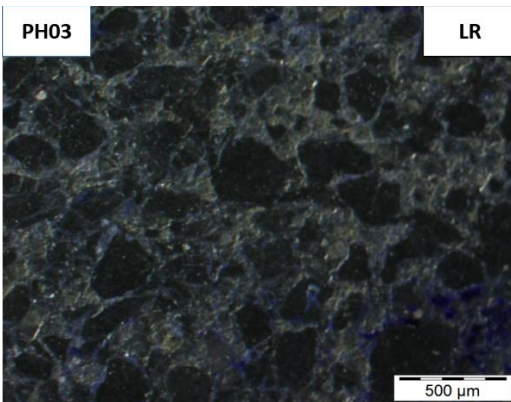
Ph05 : grés fins à ciment argileux (présence de la Matière organique).



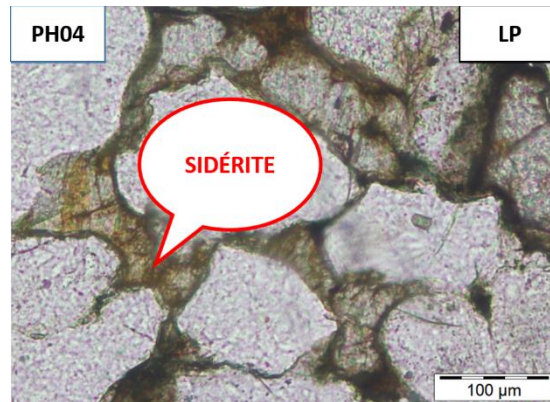
HBNSW-1-ST-côte :4587,43m



HBNSW-1-ST-côte :4566,49m



HBNSW-1-ST-côte :4589,49m



HBNSW-1-ST-côte :4589,49m

Planche 08

Ph01 : grés fins à ciment argileux (présence de la chlorite).

Ph02 : grés fins à ciment argileux (présence de l'illite).

Ph03-04 : grés fin à ciment argileux (présence de la Sidérite).

6. CONCLUSION

Dans l'ensemble, les grès du SAG « Silurien Argilo-Gréseux » des puits de la région de Berkine Nord sont classés Quartzarenites selon Folk (1974) avec une composition moyenne de Quartz Q69-84% Feldpaths F1-2% et fragments de roches R0% (**Figure 13**), ce qui traduit une maturité minéralogique importante.

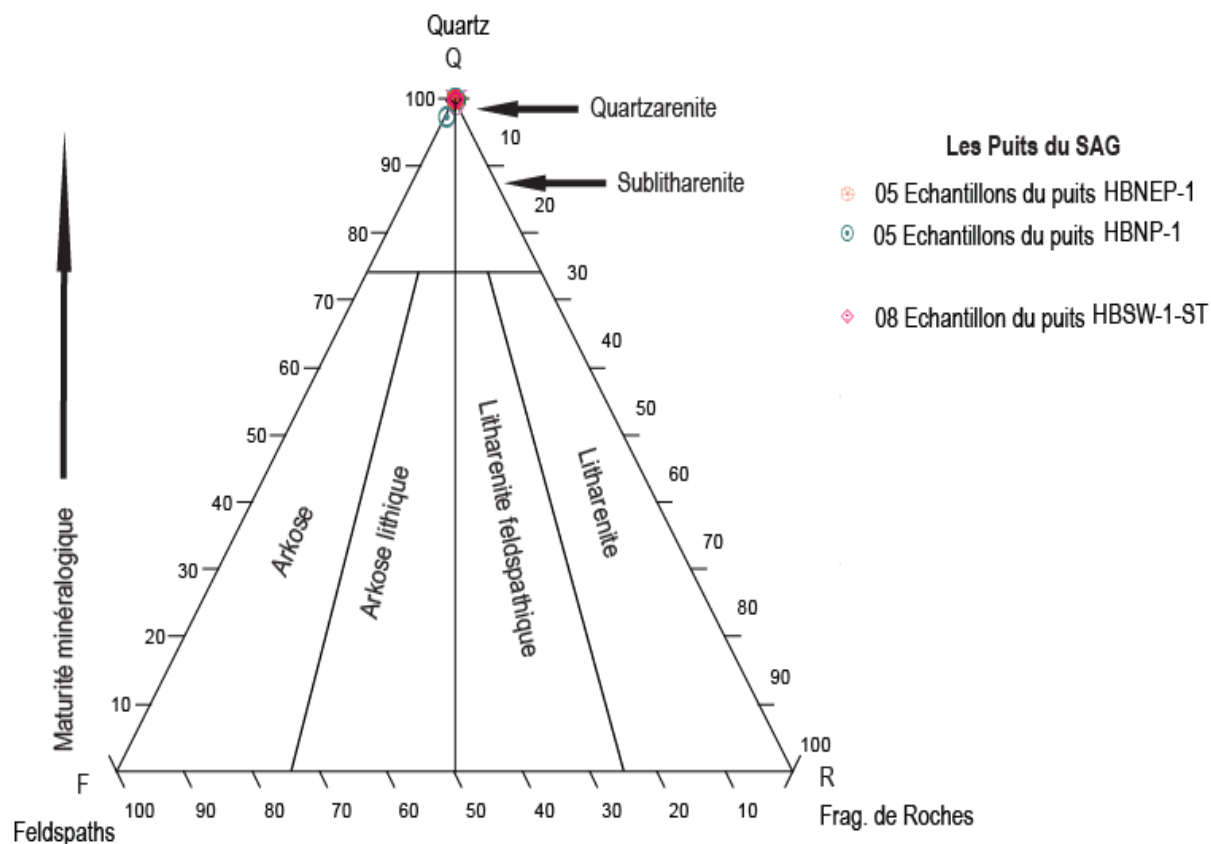


Figure 13 : Classification des grès du SAG de la région de Berkine Nord (puits HBNEP-1, HBNP-1 et HBSW-1-ST) (D'après Folk 1974)

Ces grés présentent une maturité minéralogique très élevée, et sont classés comme Quartzarénites. Ils sont représentés, essentiellement, par le quartz monocristallin, dont le pourcentage varie entre 69 et 84% du volume total de la roche, la granulométrie passe de fin au moyen parfois très fin, la morphoscopie est souvent anguleuse, sub-anguleuse à subarrondie. Le classement est bon pour la majorité des échantillons. Les contacts entre les grains sont souvent droits à ponctuels et rarement concavo-convexes ou flottants. Les argiles étant moins abondante que le quartz, elles sont représentées par le chlorite sous forme de revêtement ou remplissage partiel et / ou total des pores, à un degré moindre, on retrouve l'illite et la kaolinite, exception faite pour quelques puits où le taux d'argile peut atteindre les 20%.

La silice secondaire est omniprésente, avec des teneurs assez élevées atteignant 20% du volume total pour certains échantillons.

Le ciment carbonaté est aussi présent dans ces grés du SAG, son taux peut atteindre les 10%. Ce dernier est constitué de la sidérite.

Le reste des éléments est représenté par les feldspaths avec un taux maximal de 2% et, comme éléments accessoires, on peut citer les micas, les oolites, l'anhydrite, les minéraux opaques et les minéraux lourds résistants (zircon et leucoxène).

Ces grés du SAG présentent une porosité faible à moyenne (01à 07%). Cette dernière est représentée, essentiellement, par une porosité secondaire matérialisée par des pores de dissolution.

Chapitre III : Etude diagenétique

1. Introduction

La diagénèse est l'ensemble des processus physiques et chimiques qui affectent un sédiment entre son dépôt et son entrée dans le domaine du métamorphisme. Elle correspond à des processus physicochimiques (cimentation, dissolution, remplacement), physiques (compaction, fracturation), et les transformations biologique (Bioérosion, Bioturbations). Ces processus diagénétiques se traduisent par des changements minéralogiques (transformation de l'aragonite et de la calcite magnésienne en calcite, dolomitisation et silicification) et des changements de texture (transformation d'un packstone en grainstone).

2. LES ENVIRONNEMENTS DE DIAGENÈSE

Selon Longman (1980), on peut distinguer quatre environnements diagénétiques principaux, en fonction de la composition chimique des fluides et de leur distribution dans les pores du sédiment (**figure 14**) :

2.1 Zone Vadose

Cette zone est caractérisée par la circulation temporaire d'eau douce. Les fluides ne remplissent que partiellement les pores du sédiment.

2.2 Zone Phréatique d'Eau Douce

Dans cette zone, la circulation d'eau douce est permanente. Les fluides remplissent complètement les pores du sédiment.

2.3 Zone de Mélange

Cette zone est caractérisée par la présence simultanée d'eau douce et d'eau marine. C'est une zone de transition entre les environnements d'eau douce et d'eau marine.

2.4 Zone Phréatique Marine

Dans cette zone, la circulation d'eau marine est permanente. Les fluides remplissent entièrement les pores du sédiment.

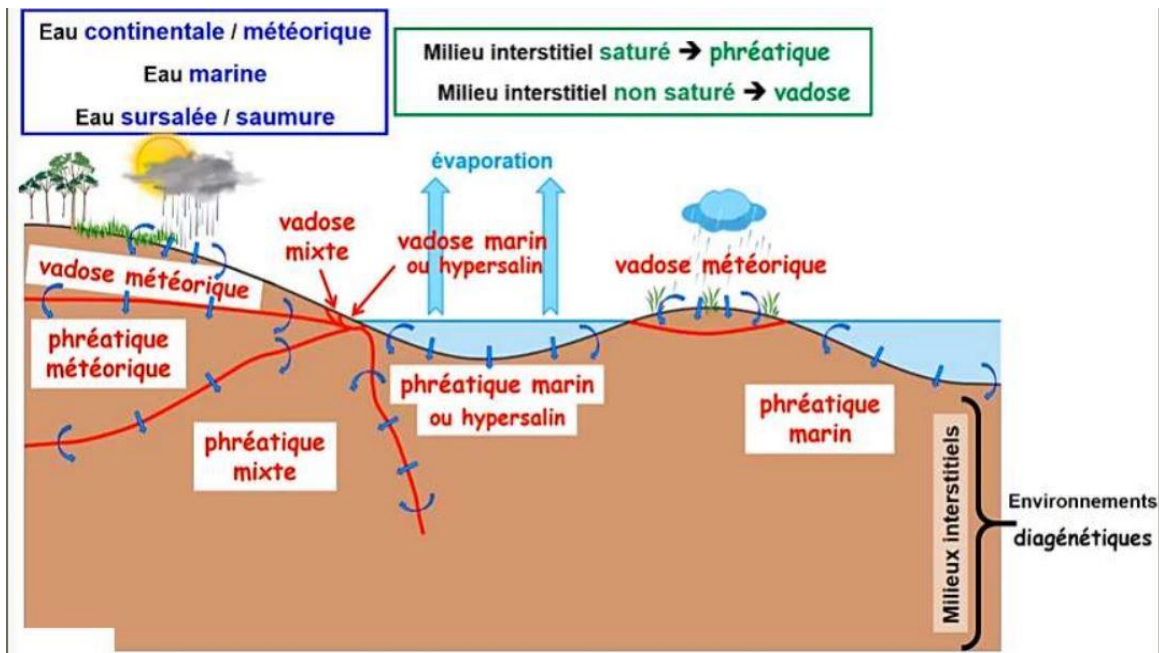


Figure 14 : Les quatre principaux environnements diagenétiques.

3. Les phases diagenétiques :

On distingue trois (03) grands domaines de la diagenèse (Worden & Burley, 2003) (**Figure 15**) :

3.1 L'éogénèse est aussi appelée diagenèse précoce. Les fluides agissant dans ce domaine sont en contact avec la surface et avec le CO_2 atmosphérique. Il peut s'agir de fluides de type météorique ou de fluides de type marin. Ici la chimie des fluides interstitiels est directement contrôlée par l'environnement de surface.

3.2 La mésogénèse, ou diagenèse d'enfouissement. Le domaine de l'enfouissement débute lorsque les eaux porales ne sont plus en relation avec le milieu extérieur (marin ou continental). La chimie des fluides interstitiels est contrôlée par les réactions chimiques de précipitation ou de dissolution au sein de l'encaissant. En général, il est considéré que la limite entre l'éogénèse et la mésogénèse est située environ vers la profondeur de 1 à 2 km et autour d'une température de 30 à 70 °C (Morad et al. 2000). Les effets de la diagenèse d'enfouissement sont progressifs et non brutaux. Pour cette raison, il est difficile de relier précisément un processus diagenétique à une profondeur.

3.3 La télogénèse est enfin la diagenèse liée à l'exhumation des roches. On identifie la limite de la télogénèse lorsque les roches sont de nouveau en contact avec des eaux de surface.

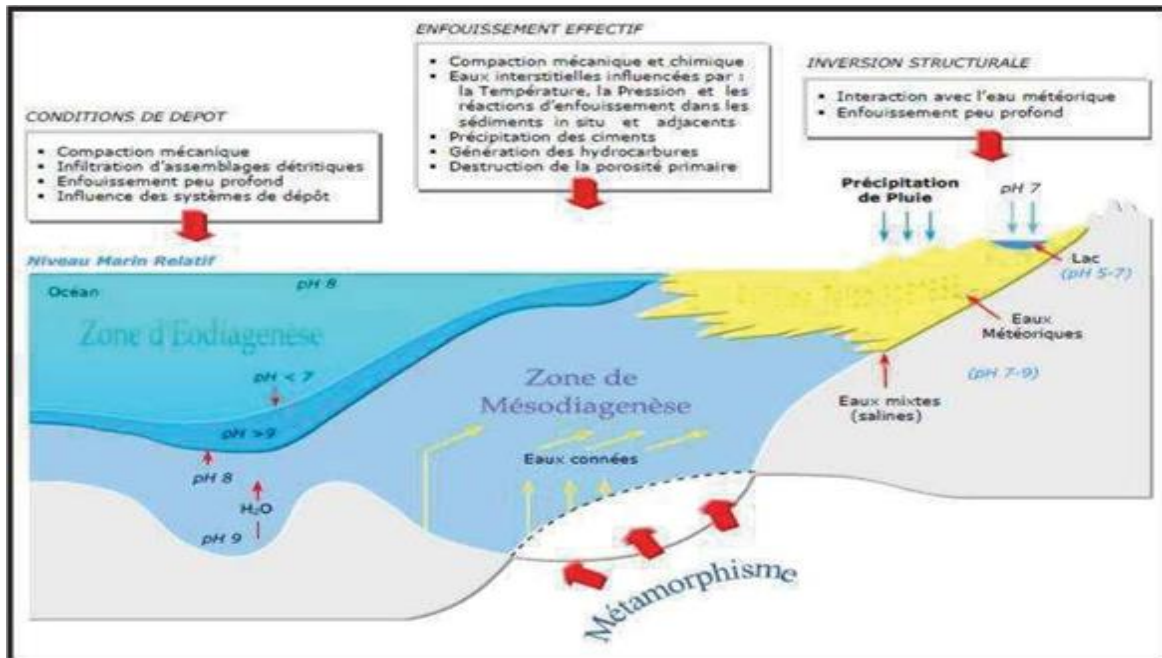


Figure 15 : schéma représente les trois phases de diagenèse (Burley et Worden ; 2003).

4. Les principaux phénomènes diagenétiques :

Il est essentiel de recenser les principaux processus diagenétiques qui ont affecté les réservoirs du silurien argileux gréseux, ainsi que leur impact sur les propriétés pétrophysiques de ces réservoirs. Cette étude permettra de mieux comprendre les spécificités de ces réservoirs.

L'analyse diagenétique a été réalisée sur Dix-huit (18) échantillons du réservoir silurien argileux gréseux, en utilisant un microscope optique polarisant. Cette analyse a consisté à :

- Identifier les minéraux présents
- -Étudier les relations entre les grains détritiques et les ciments
- -Déterminer les différentes phases de cimentation
- -Évaluer les phénomènes de dissolution
- -Estimer le degré de compaction des sédiments

Les principaux phénomènes diagenétiques identifiés et ayant affecté les puits HBNP-1, HBNEP-1 et HBSW-1-ST sont :

- ✓ 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 ferrugineux.

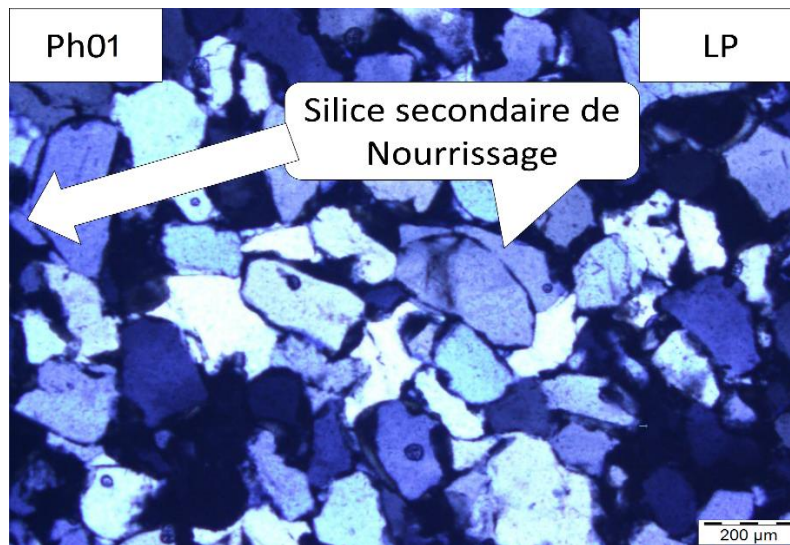
4.1 Silicification et compaction

Présente dans les grès, la silicification est un phénomène qui est dû à plusieurs facteurs dont les plus probables sont :

La pression dissolution due aux contacts entre les grains de types concavo-convexes.

- La circulation des eaux riches en SiO_2 .
- L'altération des feldspaths.

Ainsi on a pu distinguer le ciment siliceux de nourrissage développé autour des grains de quartz et matérialisé par les auréoles d'impuretés (**Ph.01**).



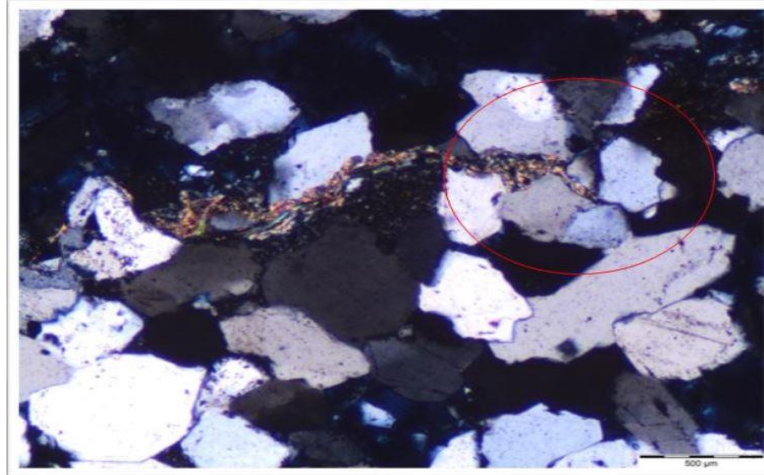
PH.01 : Développement de la silice secondaire de nourrissage (HBNEP-1-cote 4613,30m lumière polarisée)

4.2 Transformation des argiles

La minéralogie des argiles authigènes a été mise en évidence par l'analyse pétrographique. Elle est composée de :

- **Illite**

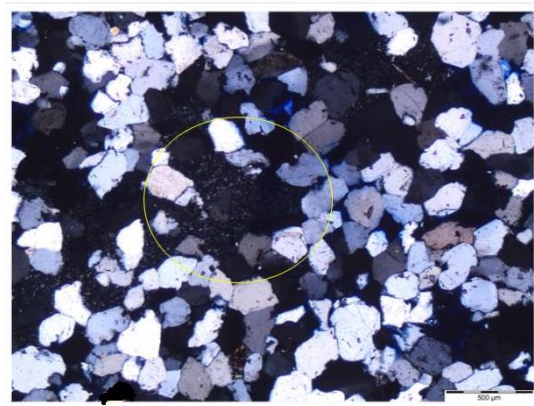
Cette illite provenant de la déstabilisation ou dégradation des minéraux silicatés hérités (muscovites et plagioclases), se présente essentiellement sous forme de fins liserés enveloppant les grains détritiques, en pseudo matrice ou en association avec la kaolinite (**PH.02**).



PH.02 : Ciment argileux composé d'Illite (HBNEP-1- côte 4770,00 m lumière polarisée)

- **Kaolinite**

Elle est, généralement précoce et fait suite à la dissolution des feldspaths potassiques. Cette dernière est, surtout, attribuée à la percolation d'eau météorique et qui peut être, également, à l'origine de l'altération des micas conduisant à la précipitation de la kaolinite qui se retrouve sous forme de remplissages de pores primaires (pore filling) et en remplacement des grains comme les feldspaths potassiques ou les micas (**Ph.03**).

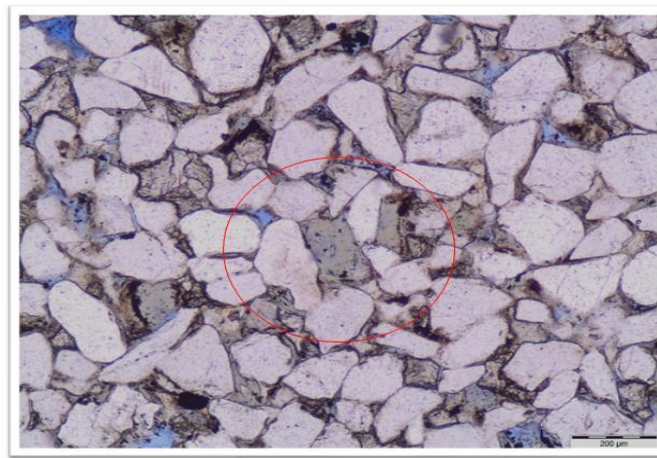


Ph.03 : Ciment argileux composé de Kaolinite (HBNEP-1-4770,00m lumière polarisée)

- **La chlorite**

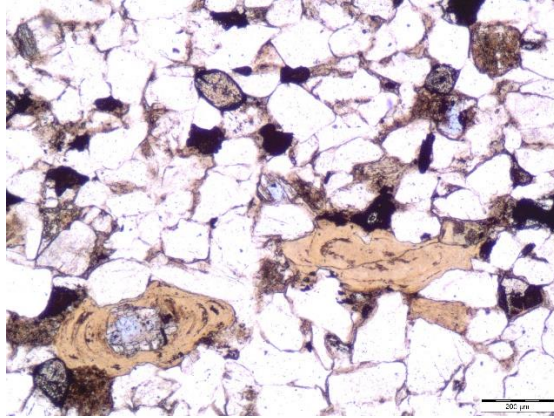
Le chlorite représentant le taux le plus élevé des types d'argiles dans les échantillons étudiés. Elle est le résultat de la transformation des micas (**Ph.04**) et est observée sous différents aspects :

- **Chlorite intergranulaire:** Ce ciment, d'origine détritique (liée au dépôt) ou diagenétique, 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 (syngénétique) a limité la croissance de la silice de nourrissage et a augmenté la résistance de la formation à la compaction, préservant ainsi une partie de la porosité.



Ph.04 : Ciment chloriteux de revêtement enrobant les grains de quartz (HBNP-1-4623,60 m lumière naturelle).

- **Oolites chloriteuses:** Elles sont observées dans l'ensemble des grès de la région d'étude. Ces oolites consistent, typiquement, en de nombreuses pellicules concentriques, couvrant, occasionnellement, un noyau de fragment de quartz et/ou des feldspaths en voie d'altération. On observe, parfois, des oolites déformées et aplatis suite à la compaction. Ces oolites démontrent un caractère précoce et syngénétique de la chlorite (**Ph.05**).

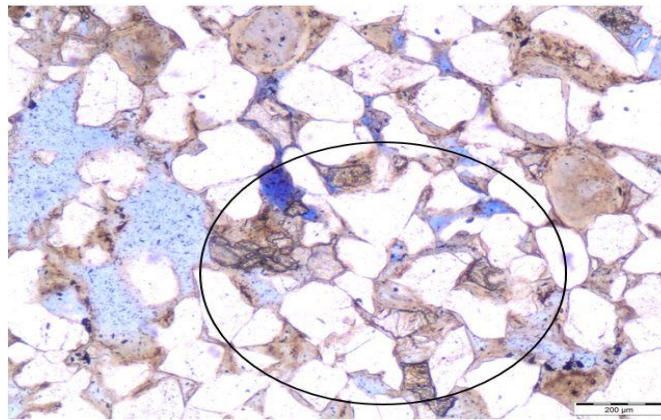


Ph.05 : Oolithe chloriteuse composée de nucleus formé de grains de quartz et d'un cortex chloriteux (HBNEP-1-3936,50 m lumière naturelle).

4.3 Précipitation des carbonates

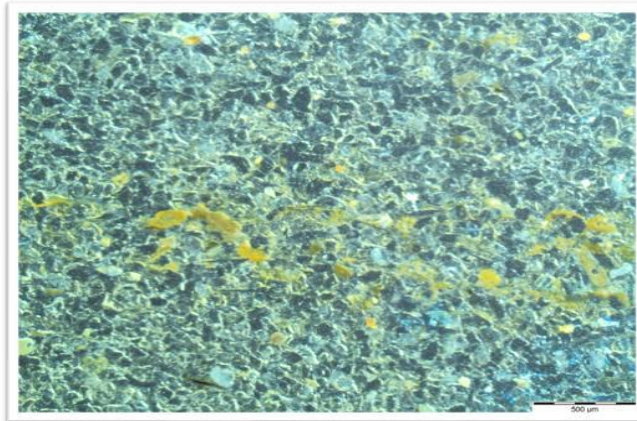
L'étude a permis de distinguer trois types de carbonates :

- **La calcite** : Elle peut atteindre, dans certaines unités un taux de 07% du volume total de la roche (**Ph.06**). Son origine serait liée à la circulation d'eaux riches en CaCO_3 sous des pressions et des températures élevées.



Ph.06 : Ciment carbonaté composé de calcite (HBNP-1-4611,39 m)

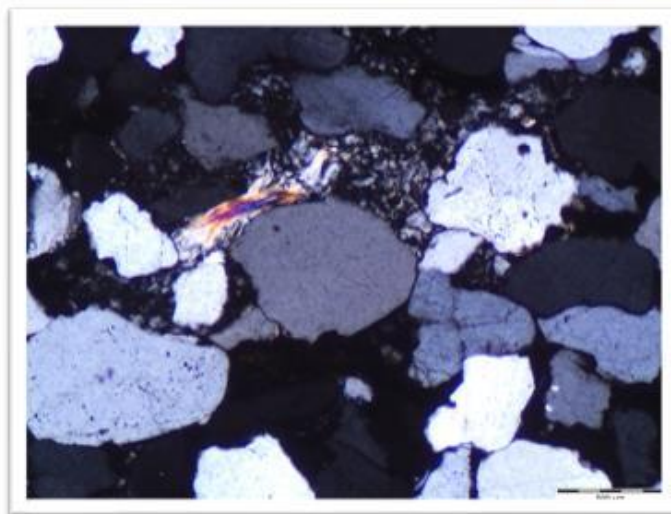
- **La sidérite** : Elle représente la majeure partie du ciment carbonaté (**Ph.07**). C'est un produit de transformation de la calcite, favorisé par un milieu confiné (perméabilité faible). Ce milieu peut être créé par la présence de la matière organique et des composés de fer issus de la chlorite ferrique (Chamosite).



Ph.07 : Ciment carbonaté composé de sidérite (HBSW-1-ST-4589,49 m lumière réfléchie).

4.4 Altération des feldspaths et des micas

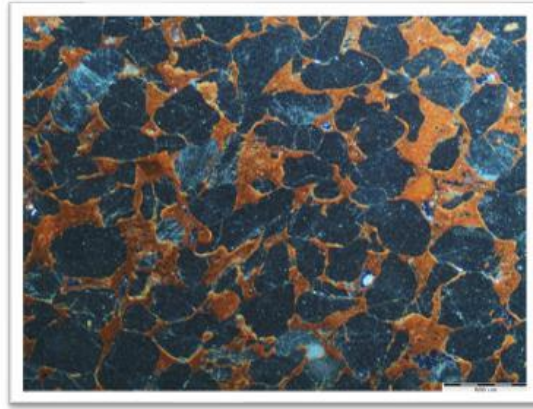
Les micas observés, en proportion faible, dans les niveaux étudiés sont représentés par la muscovite, qui souvent altérée en chlorite. Le mécanisme de ce phénomène se fait par l'incorporation de Mg et de Fe, respectivement liés aux carbonates et à la chlorite ainsi qu'au départ de la silice. Quant aux feldspaths, les observations de lames minces ont révélé la transformation de ces derniers en kaolinite (**Ph.08**).



Ph.08 : Altération des micas (HBNEP-1-4781,75 m lumière polarisée)

4.5 Développement des ciments ferrugineux

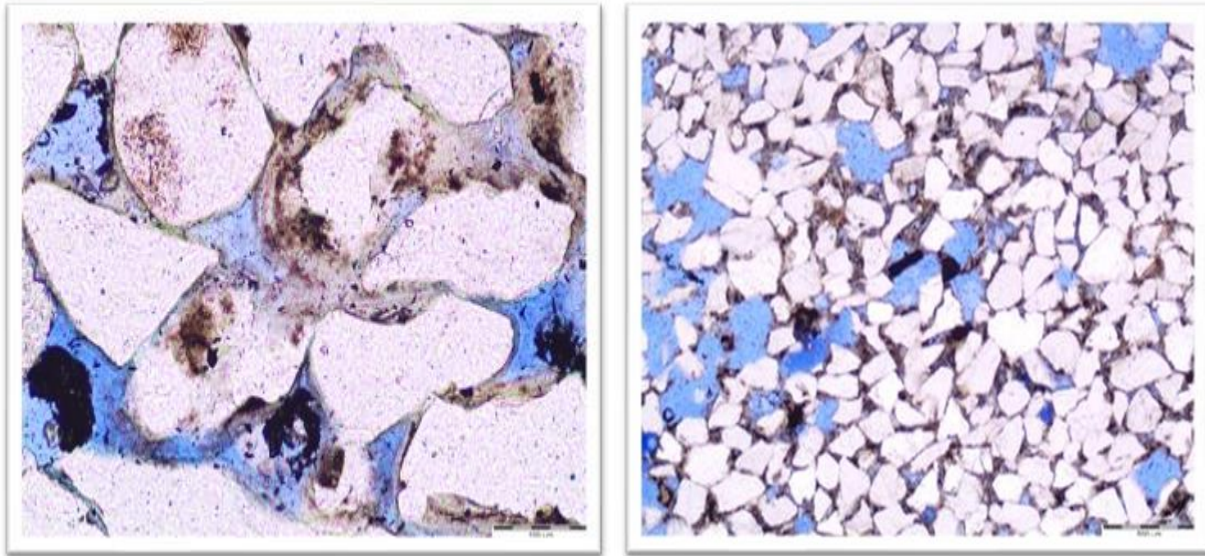
Les oxydes de fer : Ils sont, par endroits, sous forme d'hématite (**Ph.09**), et leur présence est aussi accessoire, sont généralement liés à l'abondance de la chlorite ferrifère, ou associés aux plages de sidérite.



Ph.09 : Ciment ferrugineux (HBNP-1-4621, 40m lumière réfléchie).

4.6 Dissolution

Le phénomène de dissolution est très répandu dans les grès de la région d'étude. Cette dissolution est provoquée, en premier lieu, par les eaux météoriques qui percolent surtout les feldspaths potassiques (diagenèse précoce), durant la diagenèse tardive et à une température dépassant 70°, la dissolution est provoquée par les eaux interstitielles sous saturées. A cette étape de la diagenèse, les grains de quartz et les ciments siliceux sont dissous et plus tardivement, les ciments carbonatés et les ciments sulfatés subissent, à leur tour, une dissolution, d'où la présence de reliques des ciments carbonatés. Ainsi, la dissolution intervient pendant toutes les étapes de la diagenèse et les qualités réservoirs sont améliorées. Ce phénomène est observé dans presque tous les puits mais avec des degrés différents (**Ph.10**).



Ph. 10 : Dissolution des ciments authigènes créant une porosité secondaire connecté
(HBSW-1-ST- 4587,43m ET HBNP-1-4613,30 m lumière naturelle).

5. La séquence diagénétique :

La **figure 16** illustre les principaux processus diagénétiques qui ont affecté les dépôts des réservoirs siluriens argileux et gréseux. Cette figure résume les différentes transformations et modifications subies par ces roches sédimentaires depuis leur dépôt initial jusqu'à leur état actuel.

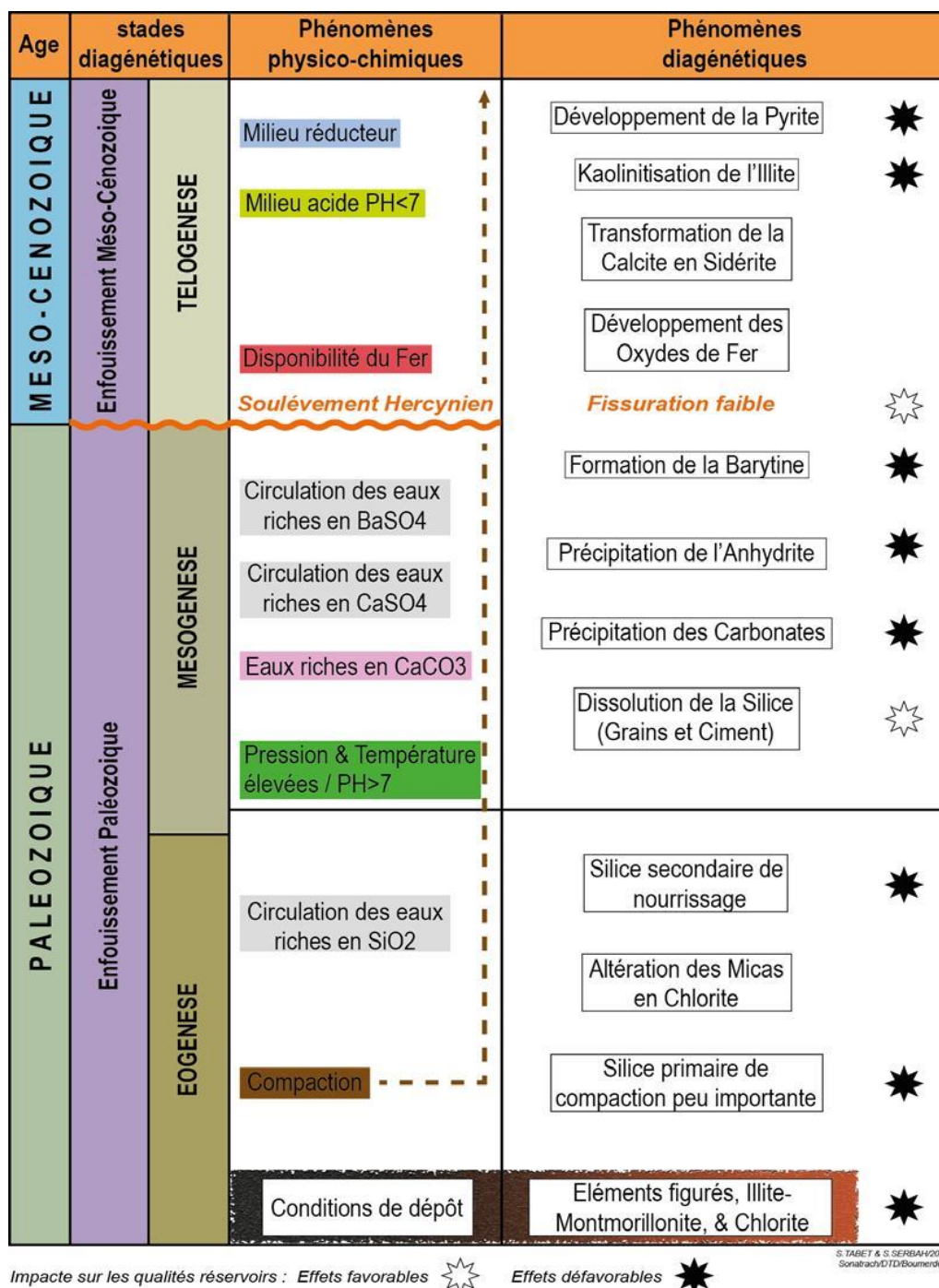


Figure 16 : Séquence diagénétique des réservoirs siluriens argileux gréseux du bassin de Berkine (document SONATRACH)

Conclusion

Générale

Conclusion générale

L'étude pétrographique a montré que la composition pétrographique est presque similaire pour la majorité des échantillons étudiés à l'exception du pourcentage des composants qui varie d'un puits à un autre.

Les échantillons étudiés sont classés selon le pourcentage de la matrice argileuse en trois (02) catégories.

- La première catégorie de grés où la matrice ne dépasse pas les 14%, est considérée comme des grés propres « clean Sand », classés Quartzarénites.
- La deuxième catégorie, où la matrice oscille autour de 20%, est considérée comme un grés argileux classés comme « wacks ».

Les phases diagenétiques responsables de la dégradation des qualités réservoirs sont :

- La compaction qui a réduit l'espace intergranulaire primaire.
- L'abondance des argiles (chlorite, Illite, interstratifiés I/S et kaolinite) dans certains échantillons obstruant une grande partie des pores.
- La surcroissance des grains de quartz « quartz overgrowth ».
- La précipitation des carbonates (sidérite et calcite), qui a drastiquement détérioré les qualités réservoirs primaires de la roche.
- Le développement des ciments opaques (hématite, leucoxène etc....).

La porosité observée dans les autres puits est souvent de type secondaire, issue de la dissolution des grains et des ciments authigènes. Les pores sont parfois de grande taille et connectés engendrent une bonne perméabilité.

-Lorsque le revêtement chloriteux des grains est régulier et constitue un ciment précoce, il a permis de préserver la porosité intergranulaire malgré les processus de compaction et le développement ultérieur du ciment siliceux.

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

Azoug, Y., et al. (2007): Well Evaluation Conference- WEC Algeria 2007 - SonatrachSchlumberger. Edited by Schlumberger; Produced by Lynx Consulting, Inc., Houston,TX, USA page 489.

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 et al. (1998) : Paleozoic Petroleum Systems of the Saharan Platform.

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

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

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

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

Longman, M.W. 1980. Carbonate diagenetic textures from nearsurface diagenetic environments. American Association of Petroleum Geologists Bulletin.

McKenna, S., Hedley, R. (2002): The structural evolution of the Berkine-Ghadames Basin, Rapport interne – Anadarko petroleum corporation (Groupement Berkine Anadarko).

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

WEC (Wsell évolution conférence) (2007) : Document Sonatrach/Schlumberger, Alger.

Yahi et al. (2001) : Petroleum generation and accumulation in the Berkine basin.

ANNEXE

Annexe

Tableau 01 : Résultats d'analyses pétrographiques des puits du projet SAG

			Granu (mm)		Texture						Composants pétrographiques (%)																														
Puits	Age	Côtes (m)	G.Max	G.Moy	Mode	Classement	Morphoscopie	DROIT	CONCAVO-CONVEXE	PENCTUEL	FLOTTANT	Débris de roches			Quartz détritique	Quartz secondaire			Feldspaths		Minéraux lourds			Argiles authigènes +détritiques				Oolithes chloriteuses	Micas	Anhydrite	Carbonates			Oxydes de fer (Hématite)	Matière organiqueBitume	Primaire intergranulaire	Secondaire de dissolution	Fracture	%		
												Quartz polycristalin		%		Nourissage	Intergranulaire	%	Plagioclase	Microcline	%	Zircon	Tourmaline	Leucoxène	%	Kaolinite	Illite				Chlorite		Calcite							dolomite	Sidérite
																															Revêtement	Amas									
HBNP-1	SAG	4611,39	0,650	0,150	Uni	B	AN/SA/SR	A	R	F				69	XX	7				Tr					X	XXX	15				3			1			XX	5			
		4613,30	0,525	0,250	Uni	B	AN/SA/SR	A	R	F				75	XX	5				Tr					XX	X	13		Tr				Tr		X	XX	7				
		4620,50	0,550	0,250	Uni	B	AN/SA/SR	A	R	P				72	XX	7				1		1				XXX	14		Tr			Tr		XX		5					
		4621,40	0,425	0,225	Uni	B	AN/SA/SR	A	R	P				75	XX	6				1		Tr			X	XX	13		Tr			Tr		XX		5					
		4623,60	0,475	0,250	Uni	B	AN/SA/SR	A	R	P				74	XX	6				Tr	Tr	Tr			X	XXX	14	Tr				3				XX		3			
HBNEP-1	SAG	3936,50	0,375	0,150	Uni	B	AN/SA/SR	A	P	R				78	XX	3	2			1				XX	X	XX	12	1	1	Tr			1			X		1			
		4766,37	0,400	0,250	Uni	B	AN/SA/SR	A	P	R				84	XX	2	Tr			Tr		Tr		X		XX	11			Tr			2			X		1			
		4770,00	0,110	0,08	Uni	B	AN/SA	A	R		P			74		1								XX	XX		XX	20		2			3					0			
		4772,30	0,600	0,375 0,200	Bi	B	AN/SA/SR	A	R		F			81	XX	1				Tr				X	X	X	7				10			X		1					
		4781,75	0,375	0,175	Uni	B	AN/SA/SR	A	F	R				86	XX	1				1				X	X	X	5		Tr			7					0				
HBSW-1-ST	SAG	4586,49	0,500	0,250	Uni	B	AN/SA/SR	A	R	P				84	XX	3				Tr					X	XX	11		Tr			1				XX		1			
		4587,43	0,400	0,250	Uni	B	AN/SA/SR	A	R	P				79	XX	3				1						XXX	11		Tr	Tr			1			XX		5			
		4588,26	0,375	0,200	Uni	B	AN/SA/SR	A	P	R				82	XX	2				Tr				X		XX	5		1	Tr		8			X		2				
		4589,49	0,375	0,200	Uni	B	AN/SA/SR	A	R	P				80	XX	2				1		Tr			X	XXX	4		2			10			XX	X	1				
		4594,05	0,600	0,350	Uni	B	R/SR	A	F					81	XX	2									X	X	XX	10		3	2		2	Tr			0				
		4665,50	0,950	0,600 0,200	Bi	B	AN/SA/SR	A	R	P				84	XX	2				Tr					X	X	XX	12		Tr	Tr		1			XX		1			
		4669,45	0,375	0,175	Uni	B	AN/SA/SR	A	R	P				84	XX	2				Tr					X	XX	10		1			Tr			XX		3				
		4671,50	0,625	0,250	Uni	B	AN/SA/SR	A	R	P				82	XX	2				Tr				X		XX	8		Tr			3			XX		5				

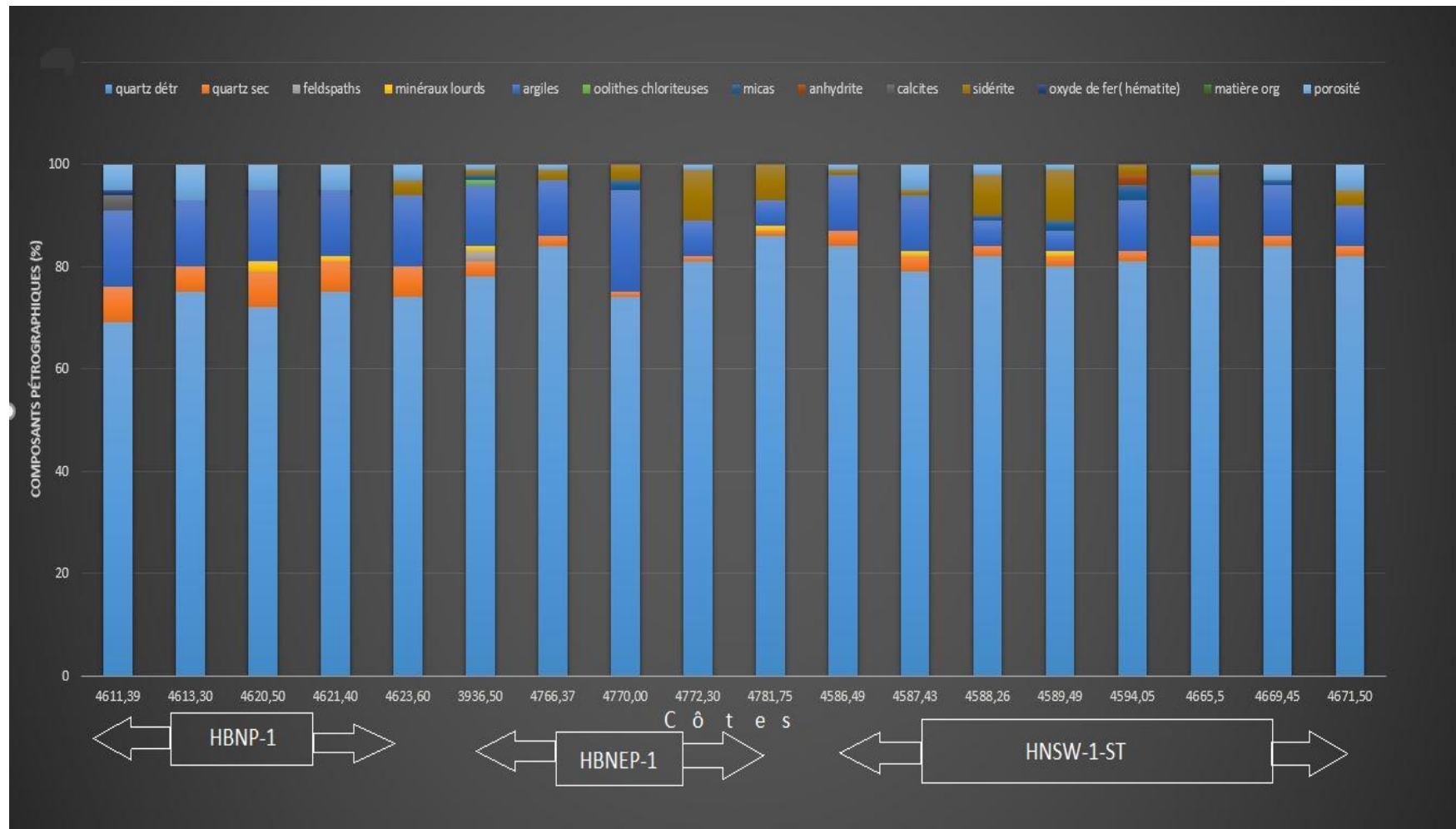
Tm: Très mal classé
 M: Mal classé
 My: Moyennement classé
 B: Bien classé
 Tb: Très bien classé

Sr: Sub-arrondi
 R: Arrondi
 Sa: Sub-anguleux
 An: Anguleux

XXX: Fort pourcentage
 XX: Pourcentage moyen
 X: Faible pourcentage

Les résultats pétrographiques du SAG du puits HBNP-1-, HBNEP-1-, HBSW-1-ST

Annexe



LOG pétrographique des puits HBNP-1-, HBNEP-1-, HBSW-1-ST