

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques

Département de Biologie

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master 2 en Géologie Spécialité : Géologie générale Option : Géodynamique des bassins sédimentaires

Sujet

Etude sédimentologique et diagraphique des Quartzites de Hamra de la région de Rhourde Nouss

(Puits RN-104, RN-117 et RN-118).

Présenté par : Mokrani Lydia

Saidj Nawal

Devant le jury:

Mr C. Aigoune	M.A.B	UMMTO	President
Mr M. Achoui	M.A.A	UMMTO	Promoteur
Mr H. El Mahdi	Chef de serv	ice de géologie/Sonatrach (PED)	Co-Promoteur
Mlle R. Sahoui	M.A.A	UMMTO	Examinatrice

Soutenu le 23/11/2015

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier Mr Achoui M. et Mr Habib M. et Mr Oughou pour leur précieux conseils ; leur orientation et leur aide durant toute la période du travail, malgré ses multiples responsabilités.

Nous remercions Mr.H Harhad le chef de département gisement à la division PED/Sonatrach. Mr.T. Mourad , Mr.F Amrouche et Mr.S Oughou, sachez combien que nous sommes reconnaissant pour votre aide précieuse et votre gentillesse .

Nous remercions l'ensemble de la division PED/Sonatrach ou nous avons pu effectuer notre stage.

Nos remerciements s'adressent également à Mr.C Aigoune qui nous a fait l'honneur de présider le jury.

Nous tenons également à remercier Mlle Sahoui pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Nos sincères remerciements à tous les enseignants qui ont contribué dans notre cursus.

Enfin nous remercions infiniment nos familles et nos amis pour leur soutien moral et leurs compréhension durant les bons et les mauvais moments que nous avons vécu durant cette période.

1-	Cadre géographique	4
2-	Cadre géologique	4
3-	Remplissage sédimentaire de Rhourde Nouss	7
	3.1- Le paléozoïque	
	3.1.1- Cambrien	7
	3.1.2- Ordovicien	7
	3.1.3- Silurien	8
	3.1.5- Le Dévonien.	8
	3.1.4- Le Carbonifère	8
	3.1.6- Le Permien	8
	3.2- Le Mésozoïque	9
	3.2.1- Trias	9
	3.2.1.1- Trias Argilo-Gréseux Inférieur (TAGI)	9
	3.2.1.2- Trias Carbonaté	9
	3.2.1.3- Trias Argilo- Gréseux Supérieur (TAGS)	9
	3.2.2- Jurassique	9
	3.2.2.1- Lias	9
	3.2.2.2- Dogger	10
	3.2.2.3- Malm	
	3.2.3- Crétacé	10
	3.2.3.1- Crétacé Inférieur	10
	3.3.3.2- Crétacé Supérieur	11
	3.3- Le Cénozoïque	11
4-	Stratigraphie des formations réservoirs	12
5-	Cadre structural de la région de Rhourde Nouss	13
	5.1-La direction subméridienne	
	5.2-La direction NE-SW	14
6-	Cadre structural de Rhourde Nouss centre	16
7-	Evolution géodynamique de la région de Rhourde Nouss	17

Chapitre I : Etat des connaissances sur la région de Rhourde Nouss

7.1-Les phases tectoniques18
7.1.1- Cycle Hercynien
7.1.2- Phase Autrichienne
7.1.3- Phase Atlasique (Eocène)
Chapitre II : Pétrographie sédimentaire
1-Etude macroscopique (Faciès) basée sur les photos de carottes du puits RN-10420
1.1-Introduction20
1.2- Rappels sur les notions de sédimentologie20
1.2.1- Notion de faciès
1.2.2- Notion de séquences
1.2.3- Notion de discontinuités
1.2.4- L'analyse séquentielle
1.2.5- Les milieux de sédimentation
1-3-Description des photos de carotte du puits RN-104
1.3.1- Description de la lithologie22
1.3.2- Les structures sédimentaire
 Les structures sédimentaires liées à l'action des courants
1.4- Analyse séquentielle25
1.5-Milieu de dépôt des Quartzites de Hamra26
1.6-Conclusion27
2- Etude microscopique diagénétique basée sur les lames minces du puits RN-104 28
2.1- Introduction28
2.2- Définition de la diagenèse28
2.3 Les principaux mécanismes de la diagenèse
2.3.1- La compaction

2.3.2- La cimentation	
2.3.3- La dissolution	
2.3.4- La recristallisation	
2.3.5 La transformation	
2.3.6- Le remplacement minéralogique (épigenèse)	
2.3.7- Les fluides	
2.4- Notion de matrice	31
2.5- Notion de porosité	
2.5.1- Porosité intergranulaire	
2.5.2- Porosité de dissolution	32
2.5.3- Porosité de fracture	
2.6- Eléments observés sur les lames minces du puits RN-104	
2.6.1- Le quartz	
2.6.2- La silice	
2.6.3- L'argile	34
2.6.4- La matière organique	34
2.7- Les phénomènes diagénétiques observés sur les lames minces du p 2.7.1- La compaction	ouits RN-104 34
2.7.2- La dissolution	
2.7.3- Corrosion du Quartz	
2.7.4- La fissuration	
2.7.4.1- Porosité secondaire due à la fracturation du réservo	oir
2.8- Le degré de la compaction selon la profondeur dans le réservoir d Hamra	les Quartzites 37
2.9- Conclusion	42

Chapitre III : Etude de fracturation par l'imagerie

1-Introduction	43
2-Définition d'une fracture	44
3-Classification des fractures	44
3.1- Fracture induite et fracture naturelle	44
3.1.2- Les fractures induites	44
3.1.1- Les fractures naturelles	45
3.2- Macro fractures et micro fractures	45
3.3- Les fractures fermées et les fractures ouvertes	45
3.3.1- Les fractures fermées (colmatées)	45
3.3.2- Les fractures partiellement ouvertes et fractures ouvertes	46
3.4- Les Breakouts	46
4- Les principaux facteurs contrôlant la fracturation	
4.1- La fracturation et l'activité tectonique	48
4.2- La fracturation et la nature lithologique	48
4.3-La fracturation et la pression hydraulique	48
5-Apport de la diagraphie à la détection de la fracturation	49
6- Les outils utilisés et le principe de fonctionnement	51
6.1- CBIL	51
6.1.1-Application de l'outil « CBIL »	51
6.2- L'UBI	52
7- Développement de l'image	52
8-Nomenclature des fractures adoptée par « BAKER ATLAS »	53
9-Principe de la lecture des réponses	53
9.1- Les limites de bancs	53
9.2- Les fracture	54

9.3- les failles	57
9.4- Les Breakouts	57
10-Etude de la fracturation dans Rhourde Nouss centre	.58
10.1- Analyse des logs d'imagerie pour les puits RN-117	.60
10.2- Analyse du log d'imagerie du Puits RN-118	62
11- Conclusion	64
12- Modélisation des fractures par «Petrel»	65
. 12.1- Introduction	65
12.2- Objectifs de la modélisation	65
12.3- Modélisation des données de fracturation des puits RN-117 et RN-118	65
a- Acquisition des données	65
b- Elaboration d'une base de données	.65
c- Modélisation structurale	66
Conclusion générale	70
Annexe	

Références bibliographiques

Liste des figures

Chapitre I : Etat des connaissances sur Rhourde Nouss

<u>Figure I.1</u>	: Situation géographique de la région de Rhourde Nouss (Document Sonatrach)4
<u>Figure I.2</u>	: Situation géologique de la région de Rhourde Nouss (Document Sonatrach)5
<u>Figure I.3</u>	: Carte de localisation du bassin de Berkine et mole d'Amguid El-Biod (Document Sonatrach/PED)
<u>Figure I.4</u>	: Colonne stratigraphique type de la région de Rhourde Nouss (HABIB EL MEHDI ,1998)11
<u>Figure I.5</u>	: Colonne stratigraphique des formations réservoirs (Document Sonatrach)12
<u>Figure I.6</u>	: Faille de Ramade dans la région de Rhourde Nouss (BEICIP, 1990)13

Figure 1.7 : Carte montrant la position des différents trends structuraux de Rhourde
Nouss (Document Sonatrach/PED)
<u>Figure 1.6</u> : Carle au ion au TAGS montrant les structures de Knourdenouss (GALTEK el MAC NALIGHTON
(1997)
<i>Figure 1.9</i> : Carte montrant la structure de RhourdeNouss centre (Galyer et Mac Naughton, 1997)
<i>Figure I.10</i> : Coupe Géologique E-W montrant les failles inverses en échelons à l'Est de Rhourde Nouss Centre17
Chapitre II : Pétrographie sédimentaire
<i>Figure II.1</i> : Figure montrant les deux types de séquences20
<i>Figure II.2</i> : Echantillon de carotte montrant les Quartzites de Hamra dans le puits RN- 104
<i>Figure II.3</i> :Echantillon de carotte montrant une inclusion d'argile noire dans les Quartzites dans le puits RN-10422
Figure II.4 : Echantillon de carotte montrant des stratifications entrecroisées dans les Quartzites de Hamra dans le puits RN-10423
<i>Figure II.5</i> : Echantillon de carotte montrant des stratifications obliques dans les Quartzites de Hamra dans le puits RN-10423
<i>Figure II.6</i> : Echantillon de carotte montrant une Tigillite dans les Quartzites de Hamra dans le puits RN-104
<i>Figure II.7</i> : Echantillon de carotte montrant un Slump dans les Quartzites de Hamra dans le puits RN-104
<i>Figure II.8</i> : Echantillon de carotte montrant une Stylolithe subhorizontale dans les Quartzites de Hamra dans le puits RN-104
<i>Figure 11.9</i> : Log stratigraphique interprétant la lithologie des Quartzites de Hamra dans le puits RN-10425
<i>Figure II.10</i> :Unités morphologiques d'un profil de plage, précisant le milieu de dépôt de Quartzites de Hamra26
<i>Figure II.11</i> : Schéma montrant la croissance de la compaction avec l'enfouissement
<i>Figure II.12</i> : Schéma montrant les différents mécanismes de diagenèse31
<i>Figure II.13</i> : Observation de lames minces en lumière naturelle les différents types de porosité (In M. Hachmaoui, 2014)

Figure II.14 : Grains de Quartz (in M. Hachmaoui, 2014)	33
Figure II.15 : Ciment siliceux (in M. Hachmaoui, 2014)	33
Figure II.16 : Ciment argileux (in M. Hachmaoui, 2014)	34
<i>Figure II.17</i> : Stylolithe due à la compaction (in M. Hachmaoui, 2014)	34
<i><u>Figure II.18</u> : Phénomène de dissolution entre les grains de Quartz (in Hachmaoui, 2014).</i>	35
Figure II.19 : Phénomène de corrosion de Quartz (in M. Hachmaoui, 2014)	35
<u>Figure II.20</u> : Grains de Quartz fissurés (in M. Hachmaoui, 2014)	35
<i>Figure II.21</i> : Schéma montrant la fissuration de la matrice qui engendre une porosité secondaire	36
<u>Figure II.22</u> :Relation entre l'enfouissement et le degré de la compaction (présence de la porosité)	37
<u>Figure II.23</u> :Relation entre l'enfouissement et le degré de compaction (absence de porosité)	38
Chapitre III : Etude des fracturations par imagerie	
<i>Figure III.1 : Exemple de fractures qui affectent les différents environnements (a, c : diacl b : fracture remplie)</i>	ases, 43
Figure III.2 : Fracture induite sur carotte (Sonatrach/PED)	44
<i>Figure III.3</i> : Fracture naturelle engendrée par une faille normale	45
Figure III.4 : Fracture colmatée (Sonatrach/PED)	45
<i>Figure III.5</i> : (a) Fracture partiellement ouverte, (b) : fracture ouverte	46
<u>Figure III.6</u> : Schéma d'une fracture induite et d'une ovalisation dans un trou d'un puits	47
Figure III.7 : Illustration montrant de corrélation entre la carotte et l'imagerie	50
<i><u>Figure III.8</u> : Développement des plans de fractures de trois dimensions en deux dumensions en dumensions</i>	ons52
Figure III.9 : Illustration d'une limite de banc sur une imagerie(O.SERRA)	54
Figure III.10 : Illustration montrant des fractures sur une imagerie	55
<i>Figure III.11</i> : Illustration d'une fracture fermée résistive sur une imagerie	56
Figure III.12: Fracture ouverte conductrice sur une imagerie	56
Figure III 13 · Proskouts at fractures induites sur une imagerie	57

<u>Figure III.14</u>	<i>: Carte de position des puits étudiés RN-117 et RN-118 dans Rhourde Nouss centre</i>
<u>Figure III.15</u> Sonatrach)	: Imagerie du puits RN-117 des Quartzites de Hamra (Rapport
<u>Figure III.16</u>	: Rosace directionnelle pour les fractures ouvertes du puits RN-117 (Rapport Sonatrach)
<u>Figure III.17</u>	: Imagerie du puits RN-118 des Quartzites de Hamra (Rapport Sonatrach)
<u>Figure III.18</u>	: Rosace directionnelle des fractures ouvertes du puits RN-118 (Rapport Sonatrach)
<u>Figure III.19</u>	: Rosace directionnelle des fractures fermées du puits RN-118 (Rapport Sonatrach)
<u>Figure III.20</u>	: Rosace d'orientation des contraintes actuelles (Rapport Sonatrach)
<u>Figure III.21</u>	: Elaboration d'une base de données et création des puits (Rapport Sonatrach)
<u>Figure III.22</u>	: Etape pour aboutir à un model structural à partir des données de fractures67
<u>Figure III.23</u>	: Model structural pour le puits RN-117
<u>Figure III.24</u>	: Model structural pour le puits RN-118

Liste des tableaux

Chapitre I : Etat des connaissances sur la région de Rhourde Nouss

<u>Liste des planches</u>

Chapitre II : Pétrographie sédimentaire

<u> Planche II.1</u> :	Les principaux phénomènes observés dans les quartzites de Hamra dans le	?
	sondage RN-104	39

<u>Planche II.2:</u> Les principaux phénomènes observés dans les quartzites de Hamra dans l	e
Sondage RN-104	40
<u>Planche II.3:</u> Les principaux phénomènes observés dans le réservoir des quartzites de	
Hamra dans le sondage RN-104	.41

RESUME

La caractérisation des réservoirs gréseux non conventionnels, dits ''tight gas'' est l'un des verrous technologiques de ces prochaines années pour pouvoir développer de nombreux champs à gaz dans le monde. La valorisation de cette ressource au potentiel très prometteur passe par la compréhension des relations entre la Sédimentologie des faciès, leur mode de fracturation et les mécanismes de la diagenèse, dont l'incidence sur le comportement hydraulique des réservoirs s'avère déterminante. Cette approche a été appliquée à la formation des "Quartzites de Hamra", qui est l'un des plus importants réservoirs pétroliers dans les bassins paléozoïques algériens. Cette formation à faciès homogènes et grande extension régionale, s'est déposée àl'Arenig dans un environnement marin peu profond mais son contexte sédimentologique et séquentiel est resté mal compris à l'échelle régionale.Son homogénéisation par la bioturbation verticale a occulté toutes les structures physiques primaires, donnant lieu à une ichnofabrique monospécifique de type « Skolithos pipe rock ». La formation a connu au cours de son histoire d'enfouissement une importante diagenèse siliceuse qui avait modifié ses propriétés mécaniques et entrainé la dégradation totale de sa porosité. Néanmoins, elle est marquée à toutes les échelles, par des systèmes de fractures naturelles qui pallient aux faibles caractéristiques matricielles ce qui améliore la production.

Introduction

La région de Rhourde Nouss est considérée comme l'un des champs les plus importants du Sahara algérien, en raison de ses réserves en hydrocarbures révélées grâce aux nombreux travaux de prospection, gravimétriques, magnétométriques et sismiques ; effectués dans les années cinquante sur toute la province triasique. Ces travaux menés par des compagnies multinationales ainsi la compagnie nationale (Sonatrach), ont permis la mise en évidence de nombreuses structures ayant un énorme potentiel en hydrocarbures essentiellement en gaz.

En effet, l'ensemble des tests réalisés dans les formations Cambro-Ordovicien ont montré qu'elles étaient saturées en gaz. C'est seulement à partir de ces résultats positifs, que le premier forage pour l'exploitation RN-1 a été réalisé à l'aube des années 1960. Actuellement, plus de soixante puits on été forés dans la structure centrale du complexe de Rhourde Nouss.

Le gaz à condensat est le fluide le plus important que produit le champ ; il fait de cette zone la deuxième région gazière d'Algérie après le gisement de Hassi R'mel. L'huile est représentée principalement sous forme d'anneaux, avec des épaisseurs variant de quelques mètres à quelques dizaines de mètres.

Rhourde Nouss qui l'objet de ce présent travail est subdivisée en quatre structures (central, SE, SO et Adra), elle se situe dans le SE algérien entre la limite Ouest du bassin de Berkine et le môle d'Amguid El-Biod. Son histoire géologique est influencée à la fois par le remplissage sédimentaire du bassin (Berkine) et la structuration du môle (tectonique d'Amguid El-Biod). Elle a la particularité d'avoir plusieurs accumulations d'hydrocarbures, formant un gisement pétrolifère ayant le Silurien comme roche mère représenté par les argiles noire à graptolites, le Cambro-Ordovicien comme roches réservoirs représentés exclusivement par des grès et grès quartzitiques, tandis que la roche couverture correspond aux argiles du Silurien.

Dans ce travail, nous nous intéressons particulièrement à la structure Rhourde Nouss centre avec l'analyse des puits RN-104, RN-117 et RN-118, pour mieux comprendre le fonctionnement et les paramètres du réservoir qui est représenté par les Quartzites de Hamra d'âge Ordovicien.

Problématique et objet du travail :

Le réservoir des Quartzites de Hamra de la région de Rhourde Nouss est connu comme l'un des réservoirs à gaz le plus compacte et le plus difficile à forer en Algérie. C'est un réservoir nonconventionnel appelé aussi «Tight gaz», vu qu'il présente des paramètres pétrophysiques défavorables ; une porosité qui ne dépasse pas les 5% et une perméabilité inférieure à 0.1 md. Un tel réservoir avec de telles caractéristiques devrait être incapable de permettre le moindre drainage et piégeage d'hydrocarbures. En revanche, cette région renferme 19% des réserves de gaz naturel et 8% de pétrole, une production pareille ne devrait pas être possible en considérant les paramètres défavorables du réservoir cités ci-dessus.

Pourtant, certains puits forés dans des conditions particulières (sans fracturation hydraulique) ont prouvé qu'une production commerciale était possible. Nous tenterons par ce modeste travail d'expliquer ces contradictions et d'apporter une autre vision basée sur l'étude sédimentologique et sur l'analyse des sondages diagraphiques notamment ceux de l'imagerie (acoustique et électrique).

Méthodologie du travail :

Pour répondre aux questions posées précédemment dans la problématique, nous avons entrepris la démarche suivante :

Nous avons d'abord effectué une synthèse bibliographique en se référant aux différents travaux de recherches réalisés sur la région de Rhourde Nouss, afin de bien comprendre ses contextes géodynamique et structural.

Ensuite, dans le deuxième chapitre : Pétrographie sédimentaire, nous avons réalisé une analyse macroscopique à partir des photos de carottes du puits RN-104 pour cerner la lithologie de notre réservoir et arriver à reconstituer les paléoenvironnements. Nous avons également effectué une analyse microscopique à partir des échantillons de lames minces du puits RN-104 pour décrire les éléments constituants et les phénomènes diagénétiques qu'a subit le réservoir.

Dans le troisième chapitre, nous avons interprété les logs d'imageries des puits RN-117 et RN-118 en étudiant les différentes fractures naturelles enregistrées, et nous avons intégré les résultats d'interprétation dans un logiciel «Petrel» pour simuler de nouveaux couloirs de fracturations naturelles.

Enfin, nous avons conclu en apportant une réponse à la problématique exposée cidessus.

Historique des travaux dans la région de Rhourde Nouss :

A l'aube des années cinquante, de nombreux travaux de prospection (gravimétrique, magnétométrie, sismique) dirigés par des compagnies multinationales, notamment la compagnie française de prospection sismique (CFPS) et la compagnie de recherche géophysique (CRG) ont été réalisés sur toute la province triasique.

Aussi, la région a suscité l'intérêt de beaucoup de géologues à passer des années pour l'étudier tel que BEICIP qui s'est consacré à l'interprétation sismique et structurale au toit du Trias argilo-gréseux et à l'évaluation des réservoirs de la région de Rhourde Nouss. Ainsi SUNMARK qui a fait des études de géotechniques pour réduire les risques d'exploitation dans la région.

Après le résultat encourageant des tests effectués, ils ont décidé d'implanter le premier forage RN-1 en Décembre 1961 qui a révélé l'existence du gaz dans le Trias argilo-gréseux supérieur (TAGS). RN-2 et RN-3 forés une année plutard dans le même niveau se sont également révélés gazifières. C'est finalement RN-4 foré en Aout 1963 qui a mis en évidence l'existence d'anneaux d'huile dans le TAGS. Le puits RN-101, foré en Juin 1970, est le premier puits à avoir révélé la présence du gaz à condensat dans les Quartzites de Hamra.

A partir des années 1990, le champ produit du gaz à condensat en quantités commerciales importantes et fait de la zone la deuxième région gazière d'Algérie après Hassi R'mel

Chapitre I Etat des connaissances sur la région de Rhourde Nouss

1-Cadre géographique

La région de Rhourde Nouss se situe dans la Wilaya d'Illizi, à 850 km au SE d'Alger, à 280 Km au SE de Hassi Messaoud et à 350 Km au NW d'Ain Amenas. Avec une surface de plus de 10 000 km2, elle se trouve entre les latitudes (29°38' et 29°46') Nord et les longitudes (6°41' et 6°41') Est (Figure I.1).



Figure I.1 : Situation géographique de la région de Rhourde Nouss (Document Sonatrach).

2- Cadre géologique

La région de Rhourde Nouss est située au NE de la plate forme saharienne, elle fait partie du bassin triasique et est limitée par des grandes structures géologiques à savoir (Figure I.2)

- Au Nord le môle de Dahara.
- Au NE le bassin de Ghadamès (Berkine).
- Au SE le bassin de d'Illizi.
- Au SW le môle d'Amguid El Boid.



Figure I.2 : Carte schématique montrant les éléments géologiques qui limitent la région de *Rhourde Nouss (Document Sonatrach)*

L'histoire géologique de la région de Rhourde Nouss est conjointement liée au remplissage sédimentaire du bassin de Berkine et aux différentes phases de structuration du môle d'Amguid El-Biod (Figure I.3).

Le bassin de Berkine se prolonge vers l'Est par le bassin libyen (Ghadamès). Il est limité par le bassin d'Illizi au Sud, Hassi Messaoud à l'Ouest et le môle de Dahar au Nord. Il présente une couverture principalement Paléozoïque et Mésozoïque dont l'épaisseur dépasse parfois 6000mètres. Du point de vue structural, le bassin de Berkine est de type intracratonique, les différents événements tectoniques ayant affecté ce bassin ont engendré trois éléments structuraux à hydrocarbures : la dépression SE triasique, la dépression de Dahara et la dépression de Berkine. (WEC, 2007).

Le môle d'Amguid El-Biod constitue la marge occidentale du bassin de Ghadamès, il est limité, au nord par la zone haute de Djamaa Touggourt, au SE par la partie orientale du bassin d'Illizi, et a l'Ouest par la dépression de Oued Mya qui constitue un synclinal. Du point de vue structural, ce môle est atteint par une multitude d'accidents de direction principale SSW-NNE et N-S. Ces derniers peuvent être recoupés par des accidents de direction E-W. Ces différents accidents ont permis l'individualisation de plusieurs structures au cours du Paléozoïque.

La structure du môle d'El-Biod correspond à un demi-graben d'orientation N-S composé de terrains d'âge Cambrien Ordovicien reposant sur un socle rhyolitique Précambrien.

Les dépôts du Cambrien sont caractérisés par des variations d'épaisseur associées aux failles subméridiennes qui ont affecté la région et engendré un complexe de horst et graben (BEICIP, 1978).

Au cours de l'Ordovicien, plusieurs phases tectoniques ont affecté le môle d'El-Biod :

- La phase Sarde compressive d'âge Arenig où les quartzites de Hamra reposent en discordance sur les séries inférieures de l'Ordovicien.
- La phase Taconique compressive d'âge Caradoc-Ashgill à l'origine du soulèvement des boucliers Réguibat et Touareg (BOEUF, 1971).



Figure I.3: Carte de localisation du bassin de Berkine et mole d'Amguid El-Biod (Document Sonatrach/PED).

3-Remplissage sédimentaire de Rhourde Nouss

Ce sont des dépôts principalement Paléozoïque et Mésozoïque allant du Cambrien au Crétacé, interrompus par diverses discordances (Figure I.4).

3.1- Le Paléozoïque

Le Paléozoïque est discordant sur le socle granitique métamorphique, qui atteint les 4000m parfois.

3.2.1- Cambrien

Son épaisseur moyenne est de 104 m, il est représenté par les grés de Hassi Leila (65m), La partie sommitale est composée essentiellement par des grés quartzitiques très fins à grossiers intercalés par des passées d'argiles noires micacées et sableuses, le reste ce sont des quartzites fines.

3.2.2- Ordovicien

C'est un terme très complexe constitué par des alternances de grés quartzitiques et d'argile, son épaisseur varie de 750 à1250 m, il se compose de plusieurs unités se succédant de bas en haut :

- Les grès de Miribel : d'âge Trémadoc inférieur, son épaisseur est de 180 m, cette unité est constituée par des grés quartzitiques fins à très fins avec de Grés argilo-silteux et des passées d'Argiles grises noires.
- Les argiles d'El-Gassi : d'âge Trémadoc moyen, avec une épaisseur de 268 m, matérialisée par une alternance d'argiles silteuses grises foncées plus ou moins pâteuses et des grés quartzitiques.
- Les grès d'El- Attchane : c'est une alternance de grés fins bien classés silteux et de quartzites entrecoupés par des passées argileuses.
- Les quartzites de Hamra : d'âge Arenig moyen, avec une épaisseur moyenne de 80 à 232m. Ils sont formés par des quartzites fins à moyens, gris-brun, avec des intercalations d'argiles noires.
- Les grès de Ouargla : d'âge Arenig supérieur, son épaisseur varie de 91 à100 m, ce terme est représenté essentiellement par des grés fins à moyen, gris-brun, quartzitique avec des intercalations d'argiles noires.
- Les argiles d'Azzel : d'âge Lanvrin, son épaisseur est estimée entre 64 et 117 m, constituées d'argiles gris-noire, silteuses plus ou moins indurées.
- Les grès d'Oued Saret : d'âge Landeilien, avec une épaisseur moyenne varie de 103 à 137 m, ils sont composés de grés fins parfois quartzitiques.
- Les Argiles micro conglomératiques : d'âge Caradoc, avec une épaisseur qui varie de 66 à 119 m, cette unité est constituée exclusivement d'argiles micro conglomératiques à grains de quartz.

• La dalle de M'kratta : d'âge Asghil, elle présente une épaisseur qui varie de 6 à 10 m, elle est matérialisée par des grés quartzitiques qui varient du très fin à moyen jusqu'au grossier.

3.2.3- Silurien

Silurien Argileux

D'âge Landovérien-Taranon-Wenlok d'une épaisseur qui varie de 232 à 341 m, constitué par une série d'argile noire micacée très riche en faune (Brachiopodes, Gastéropodes et Graptolites) ; ce sont les argiles à Graptolites.

Silurien Argilo- Gréseux

D'âge Lludlow, il comporte 6 unités de la base au sommet, ce sont :

• L'unité M1

Cette unité est constituée par des argiles silteuses, indurées à quelques passées carbonatées à la base, présentant une épaisseur qui varie entre 32 et 37 m.

• L'unité M2

D'une épaisseur qui varie entre 61 et 153 m matérialisée par des argiles silteuses, indurées, avec quelques passées de grés de Mederba.

• L'unité A1

Elle est constituée par des grés fins à moyen, bien consolidés à ciment silteux intercalés par de fines passées d'argiles grises noires, son épaisseur varie de 13 à 18 m.

• L'unité A2

Avec une épaisseur qui varie de 98 à 126 m, elle comporte des niveaux de grés fins, silteux à passées argileuses à la base.

• L'unité B1

Elle présente une épaisseur qui varie entre 0 et 149 m, cette unité est tronquée par l'érosion Hercynienne surtout sur le flanc Sud-est de la structure de Rhourde Nouss, constituée par une succession de grés quartzitiques compacts et d'argiles grises noires, indurées micacées.

• L'unité B2

Son épaisseur varie de 0 à 111 m, elle est affectée par l'érosion Hercynienne (Partie Sud-Est et partie Sud-Ouest) présente une alternance de grés quartzitiques et d'argiles micacées.

3.2.4- Le Dévonien

Il est totalement érodé.

3.2.5- Le Carbonifère

Lui aussi complètement érodé.

3.2.6- Le Permien

Le permien est érodé.

3.3- Le Mésozoïque

Il est représenté par le Trias, le Jurassique et le Crétacé.

3.3.1- Trias

Il repose en discordance sur le Silurien Argilo-Gréseux (discordance hercynienne), on distingue 5 unités représentées de bas en haut:

3.3.1.1- Trias Argilo-Gréseux Inférieur (TAGI)

D'âge Carnien, d'une épaisseur qui varie de 15 à 57 m, il est formé de bancs de grés fins à ciment siliceux-argileux, intercalés par des passées d'argiles silteuses. On note la présence de microconglomérats à la base.

3.3.1.2- Trias Carbonaté

II est subdivisé en trois termes :

- Le Trias intermédiaire I : Son épaisseur varie de 29 à 70 m, constitué par des grés fins à tendance argileuse à la base et quartzitique au sommet.
- Le Trias Argilo-Moyen : Son épaisseur varie de 33 à 53 m, il est constitué d'argiles brune-rouge, silteuses et dolomitiques, parfois indurées.
- Le Trias intermédiaire II : Il présente une épaisseur qui varie de 53 à 77 m, constitué d'une alternance de grés fins et d'argiles rouge à verte silteuses.

3.3.1.3- Trias Argilo- Gréseux Supérieur (TAGS)

Son épaisseur varie de 100 à 198 m, il est matérialisé à la base par des grés fins grisblanc parfois microconglomératiques surmontés par des argiles brunes rouges, silteuses légèrement carbonatées (dolomitiques), ce terme constitue un réservoir principal de la région de Rhourde Nouss.

3.3.2- Jurassique

3.3.2.1- Lias

Subdivisé en 5 termes, qui se succèdent de bas en haut par :

• Le Lias Argileux S1

Son épaisseur varie de 39 à 62 m, représenté par des argiles versicolores avec des silts.

• Le Lias Salifère

Son épaisseur varie de 202 à 443 m, se présente sous forme de sels massifs blanc et rosâtre intercalés par des bancs d'argiles brunes et des bancs d'anhydrites marqueurs à la base.

• L'horizon B

Son épaisseur varie de 14 à 42 m, immatérialisé par des dolomies graveleuses, vacuolaires ou silteuses légèrement anhydritique.

• L'horizon H

Son épaisseur varie de 3 à 41 m, il est composé d'Anhydritique blanche compacte présentant un aspect crayeux avec quelques passées de gypse rose maclé ; cet horizon est considéré comme un bon marqueur sismique à l'échelle régional.

• Le Lias Argilo-Dolomitique

C'est un ensemble d'argiles silteuses, dolomitiques à passées anhydritiques, son épaisseur varie de 140 à 220 m.

3.3.2.2- Dogger

Subdivisé de bas en haut par :

• Le Dogger Lagunaire

Son épaisseur varie de 0 à 322 m, il s'agit d'une alternance d'argiles silteuses et des grés fins à moyens.

• Le Dogger Argileux

Son épaisseur varie de 55 à 228 m, il est constitué d'argiles versicolores intercalées de bancs de grés fins.

3.3.2.3- Malm

Dont l'épaisseur varie de 0 à 232 m, cette unité est composée d'argiles silteuses, tendres, parfois dolomitiques.

3.3.3- Crétacé

3.3.3.1- Crétacé Inférieur

Subdivisé de bas en haut

• Néocomien

Son épaisseur varie de 46 à 345 m, il s'agit d'argiles silteuses dolomitiques avec une alternance de sable fin à grossier et de grés fins a très fins.

Barrémien

Il présente une épaisseur moyenne de 529 m, cette unité est formée d'une alternance de sables fins à grossiers, des grés fins à très fins et d'argiles rouge briques sableuses légèrement dolomitique, son sommet témoigne de la discordance autrichienne. Alternance de grès et d'argiles silteuses-sableuses.

• Aptien

Son épaisseur varie de 0 à 22 m, il est représenté par des marnes calcaro-dolomitiques.

• Albien

Son épaisseur varie de 30 à216 m, cette unité est représentée par des sables fins à grossiers avec des grés argilo-dolomitiques.

3.3.3.2- Crétacé Supérieur :

• Cénomanien :

L'épaisseur varie de 62 à 11 m, et il est constitué par des argiles carbonatées à passées d'anhydrite.

• Turonien :

Son épaisseur varie de 69 à 113 m, matérialisé par une alternance d'argiles versicolores plastiques et de calcaire blanc-beige parfois argileux avec des marnes calcaires.

• Sénonien :

Subdivisé de bas en haut par :

• Le Sénonien salifère :

Présente une épaisseur de 13 à 80 m, cette unité est constituée que de sel massif, blanc, parfois argileux.

• Le Sénonien anhydritique :

Il a une épaisseur de 11 à 233 m, il s'agit d'une alternance d'anhydrite massive, beige, et d'argile carbonatée.

Le Sénonien Carbonaté :

Il a une épaisseur qui varie de 0 à 194 m, C'est un ensemble de calcaires dolomitiques.

3.4- Le Cénozoïque :

Il n'est représenté que par le MioPliocène. Les autres termes du Paléocène, Eocène et Oligocène ont été érodés suite à la phase Pyrénéenne. Son épaisseur est de 154 à 677 m, II repose en discordance sur le Sénonien carbonaté, il est constitué de sable renfermant quelque passées d'argiles et de calcaire.

1- Stratigraphie des formations réservoirs

Dans la région de Rhourde Nouss on distingue deux réservoirs importants à savoirs (Figure I.5):

- Le Trias argilo-gréseux supérieur (TAGS) qui est constitué d'un intervalle argileux (Lias argileux) et d'un ensemble salifère (Lias Salifère).
- On trouve d'autres réservoirs secondaires qui sont superposés et regroupés sous le nom de réservoirs Infra-TAGS (partie inferieure), ces réservoirs sont constitués d'un Trias argilo- gréseux inferieur et du Silurien argilo-gréseux, ce dernier est couvert par les unités (B₂, B₁, A₁ et A₂). Généralement B₂ et B₁ sont érodés d'Ouest en Est sous la discordance Hercynienne.
- Un réservoir profond qui est d'âge Ordovicien est constitué principalement par les Quartzites de Hamra qui sont situées entre deux formations argileuses marines d'extension régionale : les argiles d'El Gassi, d'âge Ordovicien inférieur, et les Argiles d'Azzel, d'âge Ordovicien moyen. Les Grès d'El Atchane et les Grès de Ouargla sont intercalés entre ces deux formations argileuses et marquent un passage progressif vers les quartzites de Hamra.





Figure 1.5 : Colonne stratigraphique des formations réservoirs

5- Cadre structural de la région de Rhourde Nouss

Du point de vue structural et d'après les données géologiques et géophysiques de la région de Rhourde Nouss, cette dernière est caractérisée par une grande mobilité et a subi d'intenses déformations au cours des temps géologiques jouant un rôle très important dans la formation des pièges structuraux et l'accumulation des hydrocarbures.

La région de Rhourde Nouss est composée de plusieurs structures complexes caractérisées par deux directions structurales :

5.1- La direction subméridienne

Suivant le prolongement Nord du môle Amguid El Biod, la direction subméridienne correspond à la direction de la faille de Ramade (Nord-Sud) dont le rejet atteint 2050 m à Ektaia, et aussi à la direction de la structure de Hamra (Nord-Sud) (BEICIP, 1991).



Figure 1.6 : Faille de Ramade dans la région de Rhourde Nouss (BEICIP, 1991).

5.2- La direction NE / SO

Sur cette direction on distingue trois principaux trends structuraux qui sont (Figure I.7):

- Le trend structural «A» : Reliant la bordure Nord-Ouest de Rhourde Nouss et Rhourde Hamra.
- Le trend structurale «B» : Il jalonne les structures d'El Mouileh, Draa Allal, Rhourde Nouss Sud-ouest et se sépare en différentes branche au-delà de Rhourde Nouss.
- Le trend structurale «C » : Il a une extension régionale, très ramifiée et relie les structures de Ektaia, Hamra, M'ksen et Rhourde Adra.



<u>Figure I.7</u>: Carte montrant la position des différents trends structuraux de Rhourde Nouss (Document Sonatrach/PED).

Du point de vue tectonique, on peut définir quatre secteurs structuraux, hérités du socle Précambrien après que ce dernier a subit des déformations par les différentes phases tectoniques qui ont affecté la plate forme saharienne. Ce complexe est composé de quatre structures (Figure I.8) :

- Rhourde Nouss central (RN).
- Rhourde Nouss Sud-Est (RNSE).
- Rhourde Nouss Sud-Ouest (RNSW).
- Rhourde El Adra (RA).



<u>Figure 1.8</u>: Carte montrant les structures de Rhourde Nouss (GALYER ET MAC NAUGHTON, 1997).

6- Cadre structural de Rhourde Nouss centre

La structure de Rhourde Nouss centre est une structure en fleur, cette morphologie est associée à l'intersection d'une faille inverse profonde de direction N-S et d'un accident décrochant orienté NE-SW (Figure I.8).

Ce mouvement transpressif (compression avec une composante décrochante dominante) datant du Crétacé/Post Crétacé a provoqué une inversion tectonique, transformant les failles jadis normales en failles inverses inclinées, parfois même couchées à l'image des failles de nappes de charriage donnant ainsi un réseau de failles en échelons (Document Sonatrach) (Figure I.9).



Figure I.8 : Carte montrant la structure de Rhourde Nouss centre (Document Sonatrach).

La coupe géologique ci-dessous montre le soulèvement différentiel de Rhourde Nouss centre (Failles principales à l'Est du Rhourde Nouss Centre). La première faille inverse à l'Est s'est manifestée lors du cycle Hercynien et a engendré la remontée d'un bloc qui s'est fracturé à son tour en plusieurs autres failles inverses superposées (Failles en échelons) (Figure I.9).



Figure 1.9 : Coupe Géologique E-W montrant les failles inverses en échelons à l'Est de Rhourde Nouss Centre.

7- Evolution géodynamique de la région de Rhourde Nouss

La région de Rhourde Nouss fait partie de la province triasique qui correspond à un bassin intraplaque de type plateforme épicontinentale (PERRODON, 1985). L'évolution géodynamique et l'architecture de la région sont en étroite relation avec celle du môle d'Amguid El-Biod qui a enregistré plusieurs phases tectoniques au cours des temps géologiques.

La région de Rhourde Nouss a subi d'intenses déformations qui ont débuté a l'Hercynien avec une phase compressive NO-SE et puis une forte compression au Crétacé (phase autrichienne) de direction E-W et ayant réactivé les accidents préexistants de direction N-S et NE-SW. Les accidents N-S ont rejoué préférentiellement en failles inverses et les NE-SW en décrochement dextre.

Au cours du Tertiaire, d'importantes déformations (phase atlasique) ont affecté le secteur en particulière le long de l'axe NE-SO de Rhourde Adra. Les accidents subméridiens ont alors rejoué en décrochement senestre, et la géométrie des pièges crétacés a été modifiée (BOUDJEMAA, 1987).

7.1-Les phases tectoniques :

Les principales phases et leurs directions de contraintes qui ont affecté la région se résument selon BOUDJEMAA, 1987 comme suit :

7.1.1- Cycle Hercynien

Lors du cycle Hercynien (416 à 250 ma), deux mouvements peuvent être distingués :

- Les mouvements hercyniens précoces se résument en une phase tectonique compressive dite Viséenne, les mesures de stries effectuées sur le terrain dans les grés du Khenig (Dévonien supérieur) indiquent une direction de serrage NE-SW.
- Les mouvements hercyniens majeurs : c'est un ensemble de contraintes compressives de direction NO-SE, responsables des jeux de failles de même direction dont résultent des horsts et des grabens.

7.1.2- Phase Autrichienne

La phase Autrichienne (100ma) est le résultat de l'ouverture de l'Atlantique sud entre l'Amérique du sud et l'Afrique. Il s'agit d'une phase compressive orientée E-W qui a provoqué la réactivation des failles préexistantes en failles en échelons de direction NE-SW. Elle a engendré également la mise en place et le piégeage des hydrocarbures.

7.1.3- Phase Atlasique (Eocène)

C'est une phase compressive de direction N.NE-S.SW, d'âge fini Eocène début Miocène. Elle se traduit par une érosion locale des terrains éocènes et une lacune au Miocène. Postérieure à la formation des hydrocarbures, cette phase a probablement donné naissance à des barrières de perméabilité dues au décalage des niveaux réservoirs, favorisant ainsi la création de fractures colmatées qui ont permis la détérioration des caractéristiques pétrophysiques du réservoir.

Le tableau ci-après résume les phases de déformation d'après BOUDJEMAA.

ERE	EPOQUE		PHASES	DIRECTION DES PHASES	EFFETS SUR LES JEUX DE FAILLES
CENOZOIQUE	MIOCENE		ALPINE TARDIVE TERTIAIRE TARDIVE N.O 60	N060°	Jeu en compression
	EOCENE EOCENE		ALPINE MOYENNE EOCENE N. 160	N160°	Jeu en compression sur les accidents N-S et création de nouvelles structures
MESOZOIQUE	CRETACE		Autrichienne PHA		Jeu en inverse sur les accidents N-S
	JURASSIQUE		AUI (ALPINE PRECOCE)	N090°	
	TRIAS		1999 - 1999 - 1999 - 1999 - 1999 - 1999 - 1999 - 1999 - 1999 - 1999 - 1999 - 1999 - 1999 - 1999 - 1999 - 1999 -		
PALEOZOIQUE	PERMIEN		PHASE HERCYNIENNE TARDIVE	N120°	Jeu inverse sur les failles NE-SO
	CARBONIFER	VISIEN	PHASE HERCYNIENNE PRECOCE	N040°	Jeu inverse sur les failles NO-SE
	DEVONIEN	Superieur Moyen Inferieur	PHASE FRASNIENNE	NO-SE	Jeu en failles normales sur les failles NE-SO (variation de faciés et d'épaisseur) (volcarisme)
	SILURIEN ORDOVICIEN		PHASE CALEDONIENNE	🔸 📥 E-O ? ?	Jeu en inverse sur les failles N-S (érosion sur les môles subméridiens)
750 - 550 Ma			PHASE PANAFRICAINE	🔶 🔶 E-O	Tectonique cassante, réseau NE-SO et NO-SE

Tableau (1): Tableau structural interprétatif montrant l'effet des plus importantes phases tectoniques qui ont affecté le Sahara algérien (D'après BOUDJEMAA 1994 et BEICIP).

Chapitre II Pétrographie sédimentaire

1- Etude macroscopique (Faciès) basée sur les photos de carottes du puits RN-104

1.1- Introduction

Dans ce présent chapitre, nous allons essayer de décrire les caractéristiques lithostratigraphique ainsi que sédimentologique du réservoir des Quartzites de Hamra à partir des analyses de photos de carotte du puits RN-104. Afin de déterminer la lithologie et la répartition des cortèges sédimentaires, distinguer les différentes structures sédimentaires et déterminer les milieux de dépôt.

1.2- Rappels sur les notions de sédimentologie

1.2.1- Notion de faciès

C'est l'ensemble des caractères lithologiques, minéralogiques, paléontologiques, et physico-chimiques permettant de définir un sédiment.

Le facies peut aussi correspondre à un milieu de sédimentation (GRESSLEY et al. 1938).

1.2.2- Notion de séquences

C'est une succession lithologique, formant une suite naturelle sans interruptions importantes, arrangées dans un ordre logique défini et limité par des discontinuités, on compte deux types de séquences :

- Séquence positive : (fig. I-a) présente une évolution granodécroissante, évoluant des particules les plus grossières au plus fines vers le haut.
- Séquence négative : (fig. I-b) présente une évolution granocroissante évoluant des particules les plus fines au plus grossières vers le haut.



Figure II.1 : Figure montrant les deux types de séquence.

1.2.3- Notion de discontinuités

Les discontinuités traduisent un arrêt de la sédimentation accompagné ou non d'une érosion, elles permettent aussi de définir les séquences et de déterminer leur ordre.

1.2.4- L'analyse séquentielle

L'analyse séquentielle est une méthode objective qui consiste à rechercher les successions cohérentes et répétitives de faciès qui constituent les séquences (J. Delfaud, 1974).

1.2.5- Les milieux de sédimentation

• Le milieu marin

Le domaine marin est défini par opposition au domaine continental. Il comprend les océans et les mers recouvrant en grande partie une croute océanique (Atlantique, Pacifique...) et les mers épicontinentales sur croute continentale (Mer du Nord).

La nature de la sédimentation dépend essentiellement des apports détritiques du continent et de la productivité biologique, ces deux facteurs dépendant eux-mêmes de la latitude et du climat. Dans les régions tempérées et froides, les matériaux détritiques dominent ; leur composition est surtout siliceuse ; on parle de sédimentation silico-clastique. Dans les régions chaudes, les organismes fixent le carbonate de calcium qui s'accumule après leur mort au point de constituer la matière principale du sédiment ; on parle de sédimentation carbonatée.

• Le milieu mixte

L'embouchure d'un cours d'eau dans la mer représente un domaine intermédiaire où s'affrontent les influences marines et fluviatiles. Les cours d'eau apportent des matériaux qui s'accumulent et gagnent sur la mer ; la mer déblaie et remanie les matériaux apportés. Le résultat dépend du rapport de force existant entre le fleuve et la mer. Lorsque le fleuve a une influence dominante, il construit un delta ; lorsque la mer est dominante, il résulte un estuaire.

• Le milieu continental

En domaine continental, les milieux de dépôts sont plus diversifié (fluviatile, glaciaire, torrentiel...). La sédimentation est essentiellement constituée par des accumulations détritiques. Les sédiments d'origine chimique ne se trouvent guère que dans les lacs, marécages et sebkhas (F. AMROUCHE).
1.3- Description des photos de carotte du puits RN-104 :

L'étude du puits vertical carotté RN-104 nous a permis d'observer de différentes figures et structures sédimentaires qui nous seront utiles pour reconstituer les milieux de dépôt. Les intervalles qui sont décris du puits RN-104 sont entre les profondeurs 3353-3405m.

1.3.1- Description de la lithologie :

Le réservoir de Hamra est constitué exclusivement de quartzites et grès quartzitiques fins à moyens d'où le nom :quartzites de Hamra. La couleur de ces faciès est à dominante blanchâtre à grise. C'est une formation compacte et dure à ciment principalement siliceux avec quelques inclusions d'argiles noires bioturbées (à 3387m). (Figure II.2 et Figure II.3).



Figure II.2 : Echantillon de carotte montrant les quartzites à stratifications horizontales dans le puits RN-104.



Figure II.3 : Echantillon de carotte montrant une inclusion d'argile noire dans les quartzites dans le puits RN-104.

1.3.2- Les structures sédimentaires

Les structures sédimentaires rencontrées dans les faciès carottés de l'Ordovicien des quartzites de Hamra que nous avons pu répertorier sont :

• Les structures sédimentaires liées à l'action des courants

Nous avons observé de bas en haut la présence de stratifications horizontales à 3399m de profondeur, qui indiquent un milieu de dépôt calme (hydrodynamisme faible), puis viennent des stratifications entrecroisées à 3395m, et plus haut les stratifications obliques à 3377m. Ces dernières caractérisent un milieu mixte (littoral) sous influence des courants (hydrodynamisme fort). (Figure II.4 et Figure II.5).



Figure II.4 : Echantillon de carotte montrant des stratifications entrecroisées dans les quartzites de Hamra dans le puits RN-104.



Figure II.5 : Echantillon de carotte montrant des stratifications obliques dans les quartzites de Hamra dans le puits RN-104.

• Les structures sédimentaires liées à l'activité des organismes :

Nous avons observé des traces d'activités animales sous forme de terriers qui traversent verticalement les quartzites, ce sont des Tigillites (à 3388m). Elles sont présentes dans les grés et les argiles sous forme de tubes verticaux nettement bien développés, fins, centimétriques, généralement remplis de sédiments plus fins ou plus grossiers que celui qui les environne. Ces structures caractérisent un milieu où l'action des vagues se fait ressentir, c'est un milieu marin peu profond (SKOLITHOS HALDMANE, 1840) (Figure II.6).



Figure II.6 : Echantillon de carotte montrant une Tigillite dans les quartzites de Hamra dans le puits RN-104.

Les structures sédimentaires liées à la charge sédimentaire

Nous avons observé des Slumps à 3392m qui indiquent une instabilité sédimentaire. Avec le poids des sédiments qui se déposent, le sédiment déjà déposé et encore pas complètement consolidé a tendance à glisser parfois. Ainsi ils indiqueraient que le matériel sédimentaire s'est déposé dans une pente (Figure II.7).



Figure II.7 : Echantillon de carotte montrant un Slump dans les quartzites de Hamra dans le puits RN-104.

Les structures sédimentaires liées à la diagenèse

Nous avons également observé des Stylolithes horizontaux. C'est des structures qui ressemblent à des sutures zigzagantes, prismatiques ou dentelées soulignées par un mince enduit sombre insoluble qui correspond aux éléments traces de la roche encaissante. Elles forment des rubans simples ou divisé, donnant des branches subparallèles. Ils résultent d'un phénomène de dissolution de la roche par compaction durant la diagenèse.



Figure II.8 : Echantillon de carotte montrant une Stylolithe subhorizontale dans les quartzites de Hamra dans le puits RN-104.

1.4- Analyse séquentielle

Pour la formation des quartzites de Hamra qui est un réservoir récemment étudié et encore mal connu, aucune analyse séquentielle n'est faite.

Par analogie avec les séquences sédimentaires décrites dans le bassin de Berkine, la formation des Quartzites de Hamra dans la région de Rhourde Nouss serait la même que celle du bassin qui l'a influencé (bassin de Berkine). Ces quartzites sont décrites comme massives et compactes, d'une épaisseur moyenne de 90 m et constituées de grains blanc à gris-blanc, fins à moyens, localement grossiers, silico-quartzitiques à quartzitiques, compacts, durs avec des passées d'argiles noires, silteuses et feuilletées. L'analyse des lithofaciès des niveaux carottés dans les quartzites de Hamra a montré l'existence de différents lithofaciès :

- Grès très fin à fin quartzitique à litage horizontal.
- Grès très fin à fin quartzitique à litage oblique.
- Grès très fin à fin quartzitique bioturbé.
- Grès très fin à fin quartzitique à litage entrecroisé, granoclassé.
- Grès très fin à fin à passées d'argiles.

1.5- Milieu de dépôt des quartzites de Hamra

Les structures sédimentaires observées nous mènent a conclure que les quartzites de Hamra se sont déposées dans un milieu marin peu profond de type tidal. C'est un système littoral qui regroupe tous les environnements qui se situent dans la zone transitionnelle entre le domaine fluviatile et le domaine marin. Ils sont conditionnés par un nombre important de facteurs : quantité et nature du sédiment arrivant à la mer, caractéristiques du bassin marin récepteur (notamment la salinité relative des eaux, courants, morphologie, bathymétrie, taux de subsidence, activité tectonique, fluctuations du niveau de la mer (Figure II.10).



Figure II.10 : Unités morphologiques d'un profil de plage, précisant le milieu de dépôt de quartzites de Hamra.

1.6- Conclusion :

Après l'analyse macroscopique des carottes, il s'est avéré que les quartzites de Hamra se sont déposés dans un milieu marin peu profond tidal à influence de marée. Ce sont des quartzites à grains fins à moyens bien classés. Parfois nous rencontrons des inclusions d'argiles noires. La présence de stratifications obliques et des Tigillites indique une fluctuation de l'énergie du milieu de dépôt, tantôt forte (développement de stratifications), tantôt faible (développement de Tigillites). La présence de stratifications entrecroisées témoigne d'une influence et dominance fluviatile.

2- Etude microscopique diagénétique basée sur les photos de lames minces du puits RN-104

2.1- Introduction

L'étude microscopique est basée sur l'analyse des lames minces confectionnées à partir de la carotte du puits RN-104 provenant du réservoir des quartzites de Hamra. Cette démarche consiste à étayer les observations macroscopiques et apporter d'autres précisions microscopiques en décrivant les différents éléments et en déterminant d'autres paramètres tels que la fracturation.

2.2- Définition de la diagenèse :

La diagenèse inclut toutes les modifications physiques et chimiques qui se produisent dans un sédiment après son dépôt et avant le métamorphisme. La limite diagenèse métamorphisme est arbitraire. L'évolution diagénétique permet de maintenir la composition et les conditions physiques des sédiments en équilibre avec le champ de contraintes extérieures. Le produit final possédera une texture et une composition qui dépendra de la provenance des matériaux mais aussi de leur évolution post-dépôt (COJAN ET RENARD, 2006).

2.3.- Les principaux mécanismes de la diagenèse :

De nombreux paramètres impliqués dans les transformations diagénétiques, résultent de la grande diversité et complexité des évolutions observées. On peut distinguer les processus suivants :

- L'activité bactérienne essentiellement limitée à la diagenèse précoce.
- Les mécanismes physiques, dominants dans les premiers stades de la compaction,
- Les transformations chimiques qui traduisent les interactions entre les fluides interstitiels et les particules.

2.3.1- 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, et ensuite par déformation et dissolution des particules.

La compaction comprend donc une première phase au cours de laquelle les mécanismes physiques dominent (compaction physique) qui se traduit par un réarrangement des particules et une réduction de volume rocheux au détriment des vides originaux, donc par la diminution de la porosité initiale.

Lorsque les possibilités de réarrangement simple sont épuisées, on observe alors la déformation ou la fragmentation des particules. Les transformations chimiques que sont la dissolution/précipitation (compaction chimique) se développent ensuite.

Les profondeurs auxquelles la compaction mécanique laisse place à la compaction chimique dépendent essentiellement de la granulométrie des sédiments, mais aussi de la composition chimique des particules (Figure II.11).



<u>Figure II.11 :</u>Schéma montrant la croissance de la compaction avec l'enfouissement (BURLEY ET WORDEN, 2003).

2.3.2- La cimentation :

La précipitation correspond à la cristallisation du solide à partir d'une solution aqueuse (Figure II.12.a), elle contribue à la réduction de la porosité par cimentation des pores et à la transformation des sédiments meubles en roches dures.

Les minéraux diagénétiques les plus fréquents sont les carbonates, les silicates, les minéraux ferrifères. On distingue assez facilement les cristaux secondaires qui se sont développés dans les pores, de ceux dont la croissance s'est faite au détriment d'un matériel préexistant. Les inclusions fluides de ces minéraux diagénétiques constituent d'excellents témoins des paramètres de leur milieu de précipitation (température, composition chimique des fluides interstitiels) (BURLEY ET WORDEN ; 2003).

2.3.3- La dissolution :

La dissolution, par de nombreux aspects, peut être considérée comme la réaction inverse de la précipitation. Elle contribue largement à la croissance de nouveaux minéraux grâce au renouvellement des éléments en solution. Les phénomènes de dissolution liés à l'action d'eaux météoriques acides chargées en CO2 sont particulièrement importants, car ils créent des réseaux poreux secondaires qui peuvent augmenter considérablement le potentiel réservoir d'une roche (Figure II.12.c) (BURLEY ET WORDEN ; 2003).

La pression-dissolution conduit à une dissolution sélective sur les points de contact des particules soumis à la contrainte maximale. Dans les cas les plus favorables, les effets de la pression-dissolution conduisent à une réduction appréciable de la porosité.

Les traces laissées par ce type de réaction sont :

- Les interpénétrations des grains. Cet engrenage des grains est la cause première de réduction de la porosité.
- Les stylolithes correspondent à une surface de dissolution formée d'un ensemble de colonnettes.

2.3.4- La recristallisation

Dans ce cas, on n'observe pas de changement dans la composition chimique des minéraux mais, une évolution, sous les conditions de pression et température données, vers une stabilité plus grande, donc une énergie libre plus faible.

L'exemple le plus connu est celui de la recristallisation de la silice. L'opale, forme amorphe de la silice constitue le premier précipité qui se transforme en opale et enfin en quartz, allant vers une plus grande stabilité (BURLEY ET WORDEN, 2003).

2.3.5 La transformation

C'est le résultat du remplacement d'un minéral par son polymorphe. Le cas le plus fréquent est celui de l'aragonite qui se transforme en calcite (BURLEY ET WORDEN, 2003).

2.3.6- Le remplacement minéralogique (épigenèse)

C'est le processus par lequel un nouveau minéral prend la place d'un autre (Figure II.12.b). La dolomitisation, la pyritisation et la silicification appartiennent à cette catégorie, à laquelle se rattache également la transformation du gypse en anhydrite et de la smectite en illite (BURLEY ET WORDEN, 2003).

2.3.7- Les fluides

Ils jouent un rôle important dans toutes ces réactions. Les fluides immobiles réagissent avec les minéraux dans un système fermé. L'évolution de leur composition est directement fonction des transformations diagénétiques. Au contraire, les écoulements fluides permettent un renouvellement des réactifs mais entraînent également les produits de la réaction. Dans ce système ouvert, la composition des fluides ne reflète pas directement l'évolution diagénétique (BURLEY ET WORDEN, 2003).





Figure II.12 : Schéma montrant les différents mécanismes de diagenèse (BURLY ET WORDEN, 2003).

2.4- Notion de matrice

D'après O. SERRA (1979), il existe trois types de matrice :

- Matrice simple : les éléments et le ciment reliant sont constitués du même minéral (calcite, quartz, etc...).
- Matrice complexe : les éléments ont une composition minéralogique variable ou le ciment est de nature différente (exemple : grès à ciment calcaires).
- Matrice propre : quand elle ne contient pas des argiles.

2.5- Notion de porosité :

La porosité () est la fraction du volume de la formation qui n'est pas occupée par les éléments solides. Représentée souvent en %, elle peut être primaire ou secondaire. Par ailleurs, dans l'interprétation de la diagraphie, nous notons :

2.5.1- Porosité intergranulaire

Il s'agit de la porosité présente entre les éléments figurés de la roche, généralement, elle correspond aux espaces poreux non occlus par la cimentation siliceuse. Ces pores sont généralement bien connectés (Figure II.13. a).

2.5.2- Porosité de dissolution :

Il s'agit le plus souvent de macroporosité obtenue par dissolution, la matière dissoute pouvant être de la calcite ou de la dolomite ou encore des évaporites... Généralement, la porosité de dissolution est comblée par la croissance des cimentations, mais parfois elle est partiellement ou totalement conservée. Ce type dépend du taux de dissolution et de la circulation des fluides qui déstabilisent les ciments du sédiment (Figure II.13. a).

2.5.3- Porosité de fracture

Porosité secondaire ou tardive, les microfractures seront très importantes dans les altérations en œuvre. Dans certains niveaux, des microfractures se sont formées, leur porosité est généralement obturée par de la calcite ou l'anhydrite (Figure II.13. b).



Figure II.13:Observation de lames minces en lumière naturelle les différents types de porosité (in M. HACHMAOUI, 2014).

2.6- Eléments observés sur les photos des lames minces

Nous avons observé les éléments suivants :

2.6.1- Le quartz

Il constitue l'élément principal du volume total des constituants. Sa teneur peut atteindre 98%. Les grains de quartz constituant le facies de ce réservoir sont, blancs, propres, bien classés, avec une taille moyenne. Le contact entre les grains est concavo-convexe traduisant la forte compaction de ce réservoir (Figure II.14).



Figure II.14 : Grains de Quartz (in M. HACHMAOUI, 2014).

2.6.2- La silice

La silice est représentée par un ciment siliceux de nourrissage et un autre de compaction. Le ciment siliceux de nourrissage est matérialisé par des auréoles d'impuretés autour des grains de quartz. L'origine la plus probable est la circulation des eaux riches en silice. Alors que le ciment siliceux de compaction, localisé entre les grains de quartz est matérialisé par un contact concavo-convexe qui va engendrer une pression de dissolution (Figure II.15).



Figure II.15 : Ciment siliceux (in M. HACHMAOUI, 2014).

2.6.3- L'argile

C'est un ciment secondaire qui occupe l'espace intergranulaire et colmate parfois les fissures. Il se présente en très faible proportion dans la partie sommitale du réservoir alors que la partie basale présente des fréquences assez considérables qui peuvent atteindre 10% (Figure II.16).



Figure II.16 : Ciment argileux (in M. HACHMAOUI, 2014).

2.6.4- La matière organique

Elle occupe le réseau poreux intergranulaire en très faible proportion (en trace) ce qui prouve la présence de l'huile dans ce réservoir.

2.7- Les phénomènes diagénétiques observés sur les lames minces du puits RN-104

Le faciès du réservoir des quartzites de Hamra est affecté par les phénomènes diagénétiques suivants :

2.7.1- La compaction :

Ce phénomène est fréquent dans le réservoir étudié, il est exprimé par le contact entre les grains de type concavo-convexe. Il représente la cause principale du développement des Stylolithes. Ce processus diagénétique produit une disparition progressive de la porosité, ce qui rend le réservoir très mauvais de point de vue qualités pétrophysiques (Figure II.17).



Figure II.17 : Stylolithe due à la compaction (in M. HACHMAOUI, 2014).

2.7.2- La dissolution :

Ce processus est lié à la dissolution des grains de quartz accompagnée d'un lessivage des éléments dissous (Figure II.18).



Figure II.18 : Phénomène de dissolution entre les grains de Quartz (in HACHMAOUI, 2014).

2.7.3- Corrosion du Quartz

Les grains de quartz sont caractérisés par des contours irréguliers au contact entre eux (Figure II.19).



Figure II.19 : Phénomène de corrosion de Quartz (in M. HACHMAOUI, 2014).

2.7.4- La fissuration

Le réservoir des quartzites de Hamra est caractérisé par une intense fissuration. Les lames minces montrent que les grains de quartz et la matrice sont fissurés. (Figure II.20).



Figure II.20 : Grains de Quartz fissurés (in M. HACHMAOUI, 2014).

2.7.4.1- Porosité secondaire due à la fracturation du réservoir

Porosité secondaire du réservoir uniquement due aux réseaux de fractures.



Figure II.21 : Schéma montrant la fissuration de la matrice qui engendre une porosité secondaire.



2.7- Le degré de la compaction selon la profondeur dans le réservoir des quartzites de Hamra

Figure II.22 : *Relation entre l'enfouissement et le degré de la compaction (présence de la porosité).*



Figure II.23 : *Relation entre l'enfouissement et le degré de compaction (absence de porosité).*

	Commentaires	P	hotos	
				A
17-12	Porosité de fracture (dite effective),	1973 - F. S.	The Area Parties	p.
	elle traverse toute la plaque mince		e Alt	14
		for the second	the there we have	
	LN : 3392,5 m			れたた
		LNx50	Cote : 3392,5	TAN PERSONNEL
	Présence de quelques reliques d'argile	1 ton		18
	corrodant le faciès quartzitique	2.3		
	Développement de la silice	51	The A	1
	secondaire de compaction	1		
-	Porosité de fracture (dite effective) qui	and the		.2
	traverse toute la lame	A STAN		
	LP:: 3392,6 m	LPx20	Cote : 3392,6	m
		REAL PRINTING		8
	Reliques d'argile	Torta		T
-	Porosité de fracture issue de la forte	1. 大学		
1	compaction et qui a provoqué			
	l'éclatement des grains de quartz	2/		No. of Concession, Name
	LN : 3392,6 m	Cote : 3392,6 m	LN×2	0

<u>Planche II.1 :</u>Les principaux phénomènes observés dans les quartzites de Hamra dans le sondage RN-104.



<u>Planche II.2</u>: Les principaux phénomènes observés dans les quartzites de Hamra dans le sondage RN-104.



<u>Planche II.3:</u>Les principaux phénomènes observés dans le réservoir des quartzites de Hamra dans le sondage RN-104.

2.8- Conclusion :

L'analyse des échantillons de lames minces au microscope polarisant nous mène a constater que le réservoir des quartzites de Hamra est constitué principalement par des grains de quartz propres bien classés, avec le développement d'un ciment essentiellement siliceux et un autre secondaire argileux dans les pores intergranulaires colmatant parfois les fissures. L'étude montre également que le réservoir est fortement affecté par des phénomènes diagénétiques. La stylolitisation indique une intense compaction entrainant une dégradation de la porosité primaire. Ainsi une intense fissuration au niveau de la matrice et des grains qui constitue une porosité secondaire (porosité de fracture).

Chapitre III Etude des fractures par imagerie

1- Introduction:

Les fractures sont certainement les structures les plus répandus dans la croûte terrestre, apparaissant dans de nombreux types de roches et d'environnements tectoniques. Elles affectent profondément la morphologie de la surface terrestre en contrôlant la forme des côtes, des lacs et des linéaments continentaux (Figure III.1). Leur présence joue également un rôle déterminant au sein des réservoirs pétroliers et gaziers, en modifiant notamment la perméabilité de ceux-ci.

La région de Rhourde Nouss est caractérisée par différents réservoirs fracturés, en particulier le réservoir compact des quartzites de Hamra.

Un réservoir fracturé est constitué de dépôts initialement compacts, qui sous l'effet des contraintes des tassements, de la tectonique, ainsi que la diagenèse subit des déformations et des fissurations.

La fracturation naturelle est évidement un paramètre très important dans l'évolution d'un réservoir. Elle peut avoir plusieurs effets sur la qualité du réservoir en terme de production (qualités pétrophysiques), tant en récupération primaire qu'en récupération secondaire ou tertiaire (R.A. NELSON, 2001).



<u>Figure III.1 :</u> Exemple de fractures qui affectent les différents environnements (a, c : diaclases, b : fracture remplie).

2- Définition d'une fracture :

La fracture désigne toute cassure de roches, avec ou sans déplacement relatif des zones déformées. Une fracture dans une roche représente deux lèvres et une ouverture qui se mesure perpendiculairement aux lèvres. Ces fractures peuvent être associées à un événement local ou régional.

3- Classification des fractures :

La classification est basée sur plusieurs critères tels que l'origine, la dimension, le degré d'écartement des fracture...etc.

3.1- Fracture induite et fracture naturelle

3.1.1- Les fractures induites :

Les fractures induites sont des fractures artificielles. Elles sont liées à des contraintes qui apparaissent au cours du forage .Elle peuvent être créées par plusieurs facteurs:

- Le train de tige et la vitesse de rotation.
- L'écart entre la température du fond (élevée) et la température de la boue de forage (basse) (Figure III.2).



Figure III.2 : Fracture induite sur carotte (Sonatrach/PED).

3.1.2- Les fractures naturelles :

Elles sont le résultat d'une déformation cassante au niveau des couches au cours d'une phase tectonique (Figure III.3). Les fractures naturelles sont liées à des contraintes tectoniques (compressive, extensive), comme elles peuvent être formées par des processus de compaction et du fluide contenus dans la roche. Elles peuvent être engendrées par trois types de failles:

- Failles normales.
- Failles inverses.
- Failles décrochantes.



Figure III.3 : Fracture naturelle engendrée par une faille normale.

3.2- Macrofractures et microfractures :

La différence entre ces deux catégories porte essentiellement sur la dimension de la fracture. En général, une macro-fracture correspond à une rupture avec une grande largeur et une longueur considérable, alors qu'une micro-fracture s'applique à une fracture de longueur et de largeur limitée.

3.3-Les fractures fermées et les fractures ouvertes

3.3.1- Les fractures fermées (colmatées) :

Ce sont des fractures colmatées (recristallisation) remplies par des colmatant divers (argile, pyrite, silice...) (Figure III.4).



Figure III.4 : Fracture colmatée (Sonatrach/PED).

3.3.2-Les fractures partiellement ouvertes et fractures ouvertes :

L'écartement des fractures ouvertes et partiellement ouvertes varie de 1 à 5 mm, par contre leur longueur varie de quelques millimètres à plusieurs centimètres (parfois plus de 50 cm) (Figure III.5).



Figure III.5 : (a) : *Fracture partiellement ouverte, (b) : fracture ouverte.*

3.3- Les Breakouts :

Ce sont des déformations de la section du puits en forme elliptique. Elles sont issues d'une compression de part et d'autre de la paroi du trou. A partir de ces déformations nous pouvons tirer la direction de la contrainte horizontale minimale (3) qui est parallèle à l'axe de cette déformation (Figure III.6).



Figure III.6: Schéma d'une fracture induite et d'une ovalisation dans un trou d'un puits.

4- Les principaux facteurs contrôlant la fracturation :

Plusieurs facteurs jouent un rôle important dans la fracturation tels que:

- L'activité tectonique,
- La nature lithologique,
- La pression hydraulique.

Il existe aussi d'autres facteurs liés au stade syn-sédimentaire, comme la diagenèse et la compaction...etc.

4.1- La fracturation et l'activité tectonique :

La fracturation est toujours en relation avec l'activité tectonique qui apparait comme des accidents à différentes échelles. L'influence de ces accidents préexistants sur la fracturation a été tout d'abord mise en évidence à l'échelle du puits (on parle de la relation failles-fractures), et à l'échelle de la zone d'étude (on parle de la relation des accidents tectoniques et la densité de fracturation).

4.2- La fracturation et la nature lithologique :

La nature lithologique des roches joue un rôle important sur la distribution et la densité de la fracturation, c'est à dire les roches compactes (quartzites, grès...etc.) soumises à des contraintes tectoniques, où la densité de fracturation sera très importante, compte tenu des roches plastiques et meubles(argiles, sable...etc.), les fractures aurons tendance à s'amortir et disparaître.

4.3- La fracturation et la pression hydraulique :

Les formations imperméables soumises à une pression de fluides peuvent céder par fracturation hydraulique si la pression du fluide s'exerçant sur elle dépasse leur résistance. Une telle situation peut apparaitre lorsque les formations imperméables considérées entourent ou surmontent un milieu où se crée une pression de fluide supérieure à la pression du solide (pression lithostatique).

Un milieu imperméable peut aussi entraver le drainage des fluides vers la surface permettant à la pression du fluide d'atteindre ou de dépasser la pression solide. Le milieu sous-jacent peut se désagréger par fracturation et si la teneur en fluide dépasse 35 %, elle va tendre vers une suspension de martiaux solides au sein d'un fluide.

Après l'expulsion des fluides à la fin de mouvements, un tel niveau se consolide sous forme de brèche tectonique.

4- Apport de l'imagerie à la détection de la fracturation :

L'apport principal de la diagraphie de fond se résume en une meilleure connaissance de la sédimentologie et la tectonique de la région, ainsi qu'une meilleure approche de la fracturation.

La maîtrise de l'imagerie assure, en combinaison avec les données de carottes, une bonne interprétation des milieux de dépôt et les événements tectoniques affectant la région à travers les temps géologiques (Figure III.7).

La méthode d'imagerie permet d'obtenir une image complète et orientée de la paroi du trou, chose qui n'est pas obtenue par la diagraphie classique.

L'avantage principal de l'imagerie est la possibilité d'orienter l'image obtenue par rapport au nord magnétique, cette orientation permet :

- La détection des contraintes tectoniques et leurs changements au cours du temps.
- L'orientation et la détermination des failles et des fractures (ouverte, fermées ou colmatées).
- La détermination du sens de paléo courants et des azimuts de pendage des couches (Pour mieux connaître l'orientation des corps sédimentaires).
- La détermination de la contrainte actuelle par la détection des zones de faiblesse « Break out »

La présence d'un aussi important volume des données de puits permet :

- Aux géologues: d'avoir une approche plus raffinée du contexte structural, sédimentologique et stratigraphique en calibrant les logs diagraphiques avec les données de carottes.
- Aux géophysiciens: de réaliser une interprétation plus détaillée des logs, de minimiser les erreurs et les incertitudes quant à l'évaluation du réservoir.
- Aux ingénieurs du réservoir : de mieux comprendre la dynamique potentielle du réservoir.



Figure III.7 : Illustration montrant la corrélation entre la carotte et l'imagerie : (a) : fracture sur carotte, (b) : fracture sur imagerie 3D, (c) : fracture sur imagerie 2D.

6- Les outils utilisés et le principe de fonctionnement :

L'enregistrement des images de la paroi du trou est assuré par deux types d'outils à savoir :

- Les outils électriques (FMI, FMS, Earth imager) : dont le principe est basé sur la mesure de la micro résistivité des couches à l'aide d'un signal électrique.
- Les outils acoustiques (UBI, CBIL) : dont le principe est l'émission des ondes acoustiques, sur la paroi du trou et enregistrer les valeurs des fréquences et l'amplitude des ondes réfléchies.

Le choix de l'outil est basé surtout sur la nature de la boue utilisée dans le forage. A cet effet l'utilisation des outils électriques se limite dans le cas d'une boue à base de sel (conductrice) et les outils acoustiques, utilisés dans le cas d'une boue à base d'huile (non conductrice) (O.SERRA).

6.1- CBIL :

Le CBIL de la compagnie «Beaker Atlas» se base sur le même principe physique (émission et réception des ondes acoustiques) pour produire une image continue de la paroi d'un puits tubé et non tubé.

L'outil comprend un transducteur acoustique monté sur une section rotative, envoie puis détecte l'impulsion acoustique réfléchie par la paroi du trou. L'amplitude réfléchie est en fonction du contraste acoustique de la formation et de la boue de forage.

Il contient six bras jouant le rôle d'un « Caliper » et permettent le centrage de l'outil.

6.1.1- Application de l'outil « CBIL »:

L'utilisation de l'outil «CBIL» permet aux géologues de faire plusieurs interprétations : -Interprétation sédimentologique par :

- L'analyse des faciès.
- L'environnement de dépôts.
- L'analyse de paléocourants.
- La détermination des séquences stratigraphiques.

-Interprétation structurale par :

- La description des fractures.
- La détermination des contraintes actuelles.
- La combinaison avec la sismique.
- L'analyse des couches (pendage, direction ...).

-Interprétation pétrophysique par :

- L'étude diagénétique.
- Model de réservoir.
- La détermination du pourcentage d'argile (net sand).

6.2- L'UBI :

Est caractérisé par un transducteur à grande résolution qui pourvoit des images acoustiques en trou ouvert (open hole) même en boue à huile où les mesures de micro-résistivités ne peuvent pas être enregistrées.

L'outil est muni d'un transducteur rotatif qui fait à la fois fonction de transmetteur et de récepteur.

Le transducteur existe en plusieurs dimensions, celles-ci sont sélectionnées en fonction du diamètre du trou pour minimiser le trajet de la pulse ultrasonique dans le fluide de forage, réduisant ainsi l'atténuation de l'amplitude de l'onde dans les fluides lourds (O. SERRA).

7- Développement de l'image :

Au fond d'un puits, l'outil enregistre des évènements géologiques (plan de stratification, faille, fracture.....) représentés géométriquement par des plans par les trois dimensions de l'espace ; ces mêmes évènements seront représentés par une ligne dans une image à deux dimensions. Ce développement se fait selon la figure suivante. Un plan incliné est représenté par une ligne sinusoïdale, en revanche un plan horizontal est représenté par une ligne droite (Figure III.8).



Figure III.8 : Développement des plans de fractures de trois dimensions (b) en deux dimensions (a).

8- Nomenclature des fractures adoptée par « BAKER ATLAS »:

La nomenclature des fractures adoptée par «BAKER ATLAS» est basée sur l'amplitude des ondes réfléchies et sur la continuité de ces fractures par rapport au trou de forage, où on trouve :

- High amplitude fracture : ce sont les fractures qui ont un caractère acoustique des ondes réfléchies élevé, elles correspondent aux fractures fermées ou colmatées par des ciments compacts (ex : quartz).
- Low amplitude fracture : ce sont les fractures qui ont un caractère acoustique faible, elles correspondent aux fractures ouvertes.
- Mixte fracture : ce sont les fractures où le caractère acoustique est double, elles correspondent aux fractures partiellement ouvertes.
- Fracture continue : ce sont des fractures, ouvertes ou fermées, qui couvrent toute la circonférence du trou.
- Fracture discontinue : ce sont des fractures, ouvertes ou fermées, qui ne couvrent pas totalement la circonférence du trou.
- Fracture induite : peuvent être déterminées sur l'image par deux ligne verticales rencontrées à180° l'une de l'autre.

9- Principe de la lecture des réponses :

Les évènements géologiques rencontrés dans un puits influent différemment sur la caractéristique de l'onde acoustique émise par l'outil d'imagerie.

De ce fait, on peut à partir d'une image enregistrée au fond d'un puits, tirer plusieurs informations, d'ordre lithologique et structural, afin de mieux connaitre l'environnement rencontré par le forage (O. SERRA).

9.1- Les limites de bancs :

La réponse de l'onde émise montre un contraste de couleurs au passage des bancs de lithologie et minéralogie différentes.

Dans les dépôts silico-clastiques, la couleur varie en fonction de la taille des grains :les grès sont reconnus par une couleur claire, par contre les argiles se reconnaissent par une couleur plus sombre.

Le contact entre deux bancs peut être un plan horizontal et sa réponse sera une ligne droite, ou un plan incliné dont la réponse sera une ligne sinusoïdale de faible amplitude dans un puits vertical et, à forte amplitude dans un puits horizontal (Figure III.9).



Figure III.9 : Illustration d'une limite de banc sur une imagerie(O.SEERA).

9.2- Les fractures :

L'image acquise du fond d'un puits nous permet non seulement de détecter les différents types de fractures (Figure III.10), mais aussi de déterminer leurs inclinaisons et orientations.



Figure III.10 : Illustration montrant des fractures sur une imagerie(O.SEERA).

Les fractures sont dans la majorité des cas inclinées, et rarement verticales ou horizontales.

- Les fractures ouvertes : ce sont des fractures dont leur réflexion des ondes acoustiques est atténuée.
- Les fractures fermées (colmatées) : Ce sont des fractures dont leur réflexion des ondes acoustique est élevée.
- Les fractures partiellement ouvertes (partiellement colmatées) : Ce sont des fractures dont leur réflexion des ondes acoustiques est élevée dans une moitié de la fractures et faible dans l'autre moitié.

L'inclinaison de ces fractures contrôle l'amplitude de la sinusoïdale sur l'image ; si cette inclinaison est importante l'amplitude sera forte dans un puits vertical et faible dans un puits horizontal mais si elle est faible, l'amplitude de son empreinte sera faible dans un puits vertical et forte dans un puits horizontal. Nous reconnaissons les fractures fermées par une couleur claire, c'est une fracture résistive (Figure III.11), quant aux fractures ouvertes elles sont représentées par une couleur sombre correspondant à l'ouverture des bords, c'est une fracture souvent conductrice mais pas toujours (Fracture III.12).



Figure III.11 : Illustration d'une fracture fermée résistive sur une imagerie (O.SEERA).



Figure III.12: Fracture ouverte conductrice sur une imagerie(O.SEERA).
9.3- les failles :

Sur une imagerie, les failles ont la même allure que celle des fractures avec une empreinte plus intense, elles sont souvent accompagnées de fissures et montrent un déplacement de compartiments.

9.4- Les Breakouts :

Sont des zones de faiblesse dues à la déformation du puits sous l'effet des contraintes tectoniques. Les « Breakouts » sont rencontrés suivant l'axe de l'allongement maximum. Sur l'imagerie ils apparaissent comme deux zones sombres à180° l'une de l'autre (Figure III.13).



Figure III.13 : Breakouts *et fractures induites sur une imagerie (O. SERRA).*

10- Etude de la fracturation dans Rhourde Nouss centre :

Le choix des puits étudiés sont en fonction de la disponibilité des données d'imageries, pour cela nous avons étudié les logs d'imagerie des puits RN-117 et RN-118 en format UBI (Ultrasonique Borehole Imager).

RN-117 RN-118 sont des puits de développement horizontal dans les réservoirs Ordoviciens de la région de Rhourde Nouss centre, le réservoir des quartzites de Hamra comme objectif principal de notre étude. Il permettra l'optimisation de la production du gaz à condensât.

L'étude de la fracturation naturelle par cette méthode a pour but de définir les orientations des failles et des fractures par rapport au nord magnétique, afin de comprendre le comportement de ces fractures générées par les évènements structuraux qu'a subi la région de Rhourde Nouss.



Figure III.14 : Carte de position des puits étudiés RN-117 et RN-118dansRhourde Nouss centre (Rapport Sonatrach).



10.1- Analyse des logs d'imagerie pour les puits RN-117

Figure III.15 : Imagerie du puits RN-117 des quartzites de Hamra (Rapport Sonatrach).



Figure III.16 : Rosace directionnelle pour les fractures ouvertes du puits RN-117.

• Interprétations

L'analyse du log d'imagerie du puits RN-117 nous a permis d'identifier deux types de fractures qui sont des fractures ouvertes et fermées.

La rosace directionnelle montre que les fractures ouvertes dans ce puits sont orientées N-S, NE-SW et NW-SE, les plus dominantes sont orientées NW-SE, ce qui coïncide avec la direction de la contrainte maximale. Les fractures fermées montrent une direction NE-SW parallèle à la contrainte minimale. Les Breakouts montrent le degré de déformation actuelle de la paroi du trou, qui présente une déformation issue de la contrainte maximale N140° (Figure III.20. a)





Figure III.17 : Imagerie du puits RN-118 des quartzites de Hamra (Rapport Sonatrach).



Figure III.18 : Rosace directionnelle des fractures ouvertes du puits RN-118.



Figure III.19 : Rosace directionnelle des fractures fermées du puits RN-118.

• Interprétations

L'analyse du log d'imagerie du puits RN-118 nous a permis d'identifier deux types de fractures naturelles : partiellement ouvertes et fermées.

Les fractures partiellement ouvertes dans ce puits montrent une orientation générale ENE-WSW qui n'est pas parallèles à la contrainte maximale NW-SE. Les fractures fermées montrent une direction NE-SW, ce qui coïncide avec la direction de la contrainte minimale environ N040° (Figure III.20.b).



Figure III.20 : Orientation des contraintes maximale et minimale actuelles.

10.3- Conclusion

Le puits RN-117 a rencontré en majorité des fractures ouvertes parallèles à la contrainte maximale, a eu une production record dépassant les 500 000 m3/j de gaz sans fracturation hydraulique. Le RN-118 a rencontré peu de fractures ouvertes qui étaient en vérité non parallèles avec la contrainte maximale, il n'a jamais dépassé le débit de 120 000 m3/j de gaz. Le fait de rencontrer perpendiculairement des fractures ouvertes grâce à leurs orientation parallèle à la contrainte maximale, a permis d'obtenir une bonne production de gaz à travers les fractures naturelles.

L'existence de différentes directions de fractures naturelles témoigne d'un multiple de contraintes maximales au cours de l'histoire de la région de Rhourde Nouss. Cette juxtaposition des directions des contraintes au cours des phases tectoniques a créé un réseau complexe de fractures qui se développe et donne un apport considérable dans les qualités réservoirs.

11- Modélisation des fractures par «Petrel» :

11.1- Introduction :

La modélisation géologique « Geomodeling » est la création d'une représentation de subsurface d'un réservoir donné (huile, gaz, etc...) (SCHLUMBERGER, 2005). Dans cette optique, la compagnie de service pétrolier SCHLUMBERGER a développé un logiciel performant appelé «*Petrel*». Ce dernier exploité sous Windows a pour objectif la visualisation en 3D des paramètres pétrophysiques.

11.2- Objectifs de la modélisation

Dans le domaine pétrolier, les objectifs de la modélisation consiste à :

- Caractériser un réservoir donné à partir des données de carottes et de logs.
- Estimer la capacité d'un champ et la recherche des endroits optimaux pour l'implantation des puits de production.
- Evaluer la production du champ sur le moyen et le long terme.
- Mettre à jour les données géologiques.

11.3- Modélisation des données de fracturation des puits RN-117 et RN-118 :

Dans le présent travail, nous avons essayé à l'aide du logiciel de géo-modélisation 3D *«Petrel»* de réaliser une modélisation structurale. Grâce aux données de fractures interprétées par imagerie, les géologues de Sonatrach/Division PED ont pu introduire de nouvelles données dans leur modèle déjà réalisé et ont effectué une mise à jour.

a- Acquisition des données

Les données utilisées ici proviennent de deux puits (RN-117 et RN-118). Il s'agit des données d'imagerie de fracturation (UBI).

b- Elaboration d'une base de données :

La base de données qui sera traitée par la suite par le logiciel « *Petrel*» doit comprendre les données des puits (Azimut) (Tableau III.1 et Tableau III.2) afin d'avoir les coordonnées (données de déviations dans le cas des puits inclinés comme le cas de nos deux puits, les toits des formations géologiques et enfin les données diagraphiques.



Figure III.21: Elaboration d'une base de données et création des puits (Rapport Sonatrach).

c- Modélisation structurale

Cette modélisation en 3D constitue le support physique sur lequel les modélisations à venir seront construites. Les données de fractures en termes d'orientation et Azimut ont été introduites dans les fichiers «Spreadsheet» des linéaments existants.

d- Résultats de l'interprétation du modèle

The full line load front To		PRICESSION STORE	/ Pol	ygons sp	readsheet for	lineements_SW
學會的大國種語生	0	- we -			-3 (# () (5
The last	H	20 mentes 414	Poly	Vert	×	Y
2000_RIN_ABG_TVDSS.	JANOS grd +	Contract of the local division of the local	1	1	282703.00	3293860.00
C 2008_AN_GH_TVDSS_	ED_MAR05 ge		1	2	283139.00	3294190.00
40 🔂 2006_RN_GOO_TVD53	_MAROP		1	3	283557.00	3294440.00
TO EDITION 2009 RN GH	TVD55_ED_		1	- 4	283866.00	3294570.00
THEORY CONTRACTOR	DO DWK IVI		2	1	279541.00	3291770.00
- C. FALLES	1		2	2	279596.00	3292210.00
A TO OBCINAL			2	3	279777.00	3292720.00
TO ORDO DMK SISM	GUIE		2	- 4	280014.00	3293220.00
T CI OH SISMIQUE	82.04T		2	5	280141.00	3293590.00
(# C] RH2-125-8 M		4	3	 t. 	279559.00	3288840.00
(2) [] RHZ_124_Freitain_J	N3.8		3	2	279850.00	3289100.00
😚 🗔 incommun.NS fit			3	3	280097.00	3289330.00
/// III Presnerts_ED R			. 3	4	280377.00	3289500.00
	Anna Artificata		. 3	5	280777.00	3289660.00
Constanting of the	and a second stand of the		3	6	281104.00	3289880.00
Carlo Carro of Statement	serore	CTRL+E	3	7	281758.00	3290320.00
🕼 🖂 PN2 121 B	Deets new local co	ion legenst	3	8	282031.00	3290440.00
PVT_PLUDES	unt global anter ta	60e	4	1	289082.00	3288840.00
🖌 🚞 CONTACTS 🛛 🦱 🛛	Swietur -		4	2	289573.00	3289860.00
🗢 🛄 3550 🔛 🖉	ansurator		4	3	290046.00	3290610.00
🗢 🛄 3660 💷 s	armadateet		4	4	290573.00	3291330.00
2 2570	mittude laveauve	and the second sec	4	5	291100.00	3292120.00
3580		a state weeks	- 4	6	291445.00	3292590.00
the second se	and a second from the	a france beat	5	1	289646.00	3289100.00
The Part Models Into Tas	office thermation poo	Kaar	5	2	290536.00	3289520.00
Chindren St.	Create restrict inter	senter.	5	3	291227.00	3290030.00
R III Generating	Convert to pipets		5	-4	291608.00	3290500.00
- 🔝 🖽 30 window 1 (Arie) 🎝 🖓	nated inter- attribute		6	1	287216 00	3289110.00
- 🌆 🔝 20 window 2 (Any) 🦯 1	411		6	2	288046.00	3290190.00
TE Wel sector 1 [MD] 10 (Consident for Results Inv	teut model	6	3	288519.00	3290920.00
TE Well section 2 (SST O	convert to gold boy	endary .	6	4	289210.00	3291840.00
EN Well section 3 (SST)	of the New York in write	+ 10 and	6	6	289464.00	3292300.00
20 window 1 (Wy)	the loss start, matching of		7	1	279468.00	3286500 00
and international and a	Searce Destination &	hard after		2	370750.00	100,000,000



Figure III.22 : Etapes pour aboutir à un model structural à partir des données de fractures.

Une fois les données introduites, elles vont servir à des nouvelles simulations des couloirs de fracturation.

En finalité, le modèle de fractures naturelles comptant 215 couloirs de fracturations, compte actuellement deux couloirs de plus et donne plus d'exactitude au schéma de fracture qui seront utilisé dorénavant à la Division PED, comme le montrent les figures suivantes :



Figure III.23: Modèle structural pour le puits RN-117.



Figure III.24 : Modèle structural pour le puits RN-118.

Conclusion

Les principaux résultats obtenus se résument ainsi :

Sur le plan sédimentaire, et à partir des données de carottes, nous avons identifié que le réservoir des quartzites de Hamra dans la région de Rhourde Nouss centre présente une épaisseur importante qui varie entre 150 et 250m. Il est formé par des quartzites propres. Par ailleurs, les différentes structures et figures sédimentaires observées témoignent en faveur d'un milieu marin peu profond.

Sur le plan pétrographique et diagénétique, l'analyse des échantillons de lames minces montrent que le réservoir a subit plusieurs phases diagénétiques qui a détérioré ses caractéristiques pétrophysiques (porosité et perméabilité). La porosité est vraiment faible suite à la compaction intense qu'a subi le réservoir sous une pression géostatique très élevée (dépasse 400 KG/cm²) dans les profondeurs qui varient entre 3800 et 4000m. L'analyse des lames montre également une intense fissuration au niveau de la matrice et une au niveau des grains qui se connectent entre elles et qui constituent une porosité secondaire (porosité de fracture). Cette dernière contribue avec un taux de 2 à 4% à la porosité matricielle.

L'étude des fractures de deux puits horizontaux (RN-117 et RN-118) par imagerie nous a permis d'identifier trois types de fractures, des fractures fermées, partiellement ouvertes et ouvertes de différentes directions. Cela indique que la région est affectée par plusieurs phases tectoniques correspondant à plusieurs contraintes avec la contrainte maximale dont la direction est parallèle à la direction des fractures ouvertes.

D'après le résultat de ces études, nous avons conclu que la microfissuration est le premier paramètre responsable de l'amélioration des qualités pétrophysiques. Ce paramètre est issu dans sa globalité de la structuration complexe de Rhourde Nouss, ainsi à la compaction engendrée par la pression géostatique et la nature lithologique des quartzites caractérisée par une déformation cassante. Donc le réservoir des quartzites de Hamra a un mode de production issu essentiellement de fractures naturelles.

Les données des paramètres pétrophysiques sont ensuite modélisées par le logiciel «Petrel». Ainsi, la modélisation structurale (failles et fractures) a permis la mise en évidence de plusieurs couloirs de fractures naturelles. Pour augmenter et assurer une production continue en fluides, il est recommandé d'orienter les forages perpendiculairement à la direction des fractures ouvertes (perpendiculairement à la contrainte maximale), c'est-à-dire suivant la direction de la contrainte minimale.

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

A.BENBARIK, **A. HAMEL**-Stratigraphie séquentielle et paléoenvironnements Quartzite de Hamra .

BEICIP,1991 - interprétation sismique et structurale au toit du Trias Argileux.

BEICIP.SONATRACH ,1978-étude géologique du champ de Hassi R'mel.1^{er} partie :étude sismique et structurale.2eme partie :étude géologique des réservoirs.
BEICIP-SONATRACH, 1980 - Bassin de Ghadamès. Evaluation pétrolière.
BEICIP-SONATRCH, 1990 - Evaluation des réserves du champ de RhourdeNouss.

BEUF, S, 1971-Les grès du paléozoïque inferieur au Sahara Algerien .sédimentation et discontinuité : Evolution structural d'un craton. In : techenip-Institut Français du pétrole. (Document de Sonatrach)

BOUDJEMA, A. 1987- Evolution structurale du bassin pétrolier "triasique" du Sahara nord occidental (Algérie). Thèse Université, Université P. ET M. Curie-Paris.

BURLEY ET WORDEN, 2003-Sandstone digenesis: recent and ancien .reprint series volume 4 of the international Association of Sedimentologiste

CHILINGARG.V. BISSEL H.J. & WOLF H.K, (1967)- Diagenes is of carbonate rocks. In: "Diagenesis in sediments".

COJAN ET RENARD (2006)-Sédimentology

F.AMROUCHE, le carbonifère de flanc nord du bassin du Tindouf , sédimentologie biostratigraphie, subsidence, réservoir et ressources hydriques associées. Thèse de magister

FABRE. J,1976-Introduction a la géologie du Sahara Algerien et regions voisines .Edition S.N.E.D,Alger.

FERNANDO DE MIGUEL, EL MEHDI HABIB, (2007). Structural Characterization Rhourde Nouss Field, Algeria.(Document Sonatrach)

GALYER ET, MAC, NAUGHTON, 1997-Carte Structurale De Rhourde Nouss.

GINSBURG R.N.(*1957*)- Early digenesis and lithification of shallow water carbonate y,8, Elsevier ed., Amsterdam, p. 179-322.

GRESSLEY ET AL, (1938)-Sédimentology

HABIB EL MEHDI,(1998)-colonne stratigraphique type de la région de Rhourde Nouss

IFP TRAINING,2015-Geoscience en domaines carbonnateè.Naturally-Fractured reservoirs – from analysis to modeling.

J. DELFAUD, (1975)-Typologie scalaire des séquences sédimentaires en fonction du milieu de dépôts France, vol. XVI, N°06.

M.HACHEMAOUI, (**2014**) : réservoir cambrien de la zone 13de Hassi Messaoud, étude pétrophysique et essai de modélisation, mémoire master. University Abou Berk Belkaid – Tlemcen .

NELSON.R.A, (2001)- Geologic Analysis of Naturally Fractured Reservoirs, Second Edition

O.SERRA, (1979) : Diagraphie différées (Tome I) « Interprétation des données diagraphiques ».Edition. SNEAP ELF PAU-France.

O.SERRA , 1987-Diagraphie différés :base de l'interprétation Bull, Centre de recherches SNPA ,Tome2.

O.SERRA,2003- Diagraphie différées (base de l'interprétation), tome3 (final) (Acquisition et application) 300p.

PERRODON. A, (1985)- Géodynamique pétrolière: genèse et répartition des gisements **RAPPORT FINAL D'INTERPRETATION DES PUITS RN-117, (2011)**. (Rapport interne de Sonatrach)

RAPPORT FINAL D'INTERPRETATION DES PUITS RN-118,(2011) .(Rapport interne de Sonatrach)

SCHLUMBERGERINFORMATION SOLUTIONS (2005) - Petrel (TM) Workflow Sediments in S. Florida. Soc. Econ. Paleont. Pub. Spec. 5, 80-99.

SHARBI FARID,2005-Approche structurale de la région de Rhourde Nouss, incidence de la fracturation naturelle sur les qualités petrophysique du réservoir de Quartzite de Hamra (obtention du diplôme d'ingénieur) IAP.

SKOLITHOS HALDMANE, (1840)-Nomenclature des structures sédimentaires.

WEC, (2007) (WellEvolution Conférence).



puite	7	fracturo	azimut frac	froquonco/m
117	Z	Hacture		nequence/m
11/	2264	1	200	1
	2266	1	200	2
	2269	1	210	
	3308	1	90	2
	3370	1	210	2
	3372	1	210	1
	3374	1	1/0	1
	3375	1	210	2
	3376	1	180	1
	3378	1	200	2
	3378	1	110	2
	3380	1	260	3
	3380	1	260	3
	3380	1	250	3
	3382	1	200	5
	3382	1	180	5
	3382	1	260	5
	3382	1	200	5
	3383	1	170	1
	3385	1	200	2
	3385	1	180	2
	3386	1	220	1
	3378	1	200	1
	3388	1	230	2
	3388	1	260	2
	3389	1	180	1
	3390	1	120	1
	3391	1	190	1
	3392	1	180	1
	3393	1	180	3
	3393	1	190	3
	3393	1	200	3
	3394	1	110	1
	3396	1	110	1
	3308	1	110	2
	3308	1	210	2
	3300	1	210	1
	3/00	1	180	2
	2400	1	240	2
	2400	1	100	∠ 1
	2401	1	270	<u> </u>
	2404	1	270	4
	3404		270	4
	3404	1	2/0	4
	3404		200	4
	3404	1	200	4
	3406	1	180	3
	3406	1	200	1
	3408	1	130	1
	3410	1	270	1
	3412	1	200	1

Tableau 1 : Un tableau représente les différentes directions des fractures du puits RN-117

puits	z	fracture resistive	azimut frac	frequence /m
118	3996	1	10	4
	3996	1	20	4
	3996	1	10	4
	3996	1	20	4
	3977	1	50	5
	3977	1	70	5
	3977	1	0	5
	3977	1	0	5
	3977	1	60	5
	3998	1	30	2
	3998	1	0	2
	3999	1	50	3
	3999	1	60	3
	3999	1	50	3
	4000	1	30	6
	4000	1	50	6
	4000	1	60	6
	4000	1	60	6
	4000	1	30	6
	4000	1	30	6
	4001	1	60	4
	4001	1	60	4
	4001	1	80	4
	4001	1	10	4
	4002	1	30	5
	4002	1	30	5
	4002	1	30	5
	4002	1	10	5
	4002	1	10	5
	4003	1	0	4
	4003	1	160	4
	4003	1	170	4
	4003	1	180	4
	4004	1	20	5
	4004	1	50	5
	4004	1	50	5
	4004	1	50	5
	4004	1	60	5
	4005	1	40	4
	4005	1	30	4
	4005	1	20	4
	4005	1	10	4
	4006	1	10	8
	4006	1	0	8
	4006	1	0	8
	4006	1	10	8
	4006	1	10	8
	4006	1	0	8
	4006	1	10	8
	4006	1	0	8
	4007	1	0	5
	4007	1	0	5
	4007	1	0	5
	4007	1	0	5
	4007	1	0	5

Tableau 2 : Un tableau représente les différentes direction des fractures du puits RN-118

Céno- zoique	MIO-PLIOCENE	MIO-PLIOCENE	1578	154-377		Sable far, moyen à brês grossierà fares passé de calcaire sableux partois gréseux avec	
_						intercallation d'argle sableuse à dolornies.	<u></u>
			carbonnaté	0 - 194		Calosire microcristallin dolomitique	
		SENONIEN	anhydritique	111-233	MXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	Anhydrite beige	
			salifére	13-80	լելե լելելելելե	ક્સ	<u>.</u>
		TURONIEN	TURONIEN	69-113		Argile vérsionle re plastiqué , calcaire blanc à	
	С	Cénomanien	Cénomanien	62 - 111	222	bege partpisargileux avec mme calcaire	
M	P		Albien	30 .216		Cable for a conceptor store one are to dolorable	1
	Ē	APTIEN	APTIEN	0-22		Mane calcaro, dominue	DISCORDANCE
É	Ŧ				A. 24	Mamancas (AUTRICHIENNE
				39 - C	-14 (State 1	E able to A opposite	
	2			0.740			
3	2	DARREIMEN	DARRENIEN	0 - 740		_ures m arres to .	
~	-				<u> </u>	_argie muge brique satisause legerement	
0			1		10 - 10 - 10 - 10 - 10 - 10 - 10 - 10 -	dolonitique (tracesde Pytte).	<u></u>
					The second secon	Argée silleuse dolomitique, sable fin é	
z		NEOCOMIEN	NEOCOMEN	46 - 345	1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 -	grossier aveid de rares et fines passées de	
				· · · · · ·	Land Street Stre	grés . (présence de lignite et de pyrite).	
0	J				·	Argle siteuse, indurée partois lendre à	
	U	MALM		0 - 232	the she was a set	plestique, dolorritique	
- r - 1	P		ARGI FUX	55 - 228		lende version her avec a service de cela fo	1
10		DOGGER	LACIMADE	0. 222	A., Marching and the	Age concerns are parents of gener	-
~	2	DUGGER	DAGONARE	0-045	Net and designed	Alemance d'arge siteuse et de gres tri .	-
Q	5	103	Horizon H	13-41		Argle dolonitique, partie antydritique	-
U	i	1.03	Horizon B	14-42		Dolomie daweieuse, vacuolaire ou siteuse	-
	0	LIAS			ELEL EL Lele	Selmassifilianc è ruse avec internalistions	2 .
F	ū		SALIFERE	202-443		d'amile et d'aminutite	
1	E		ARGUEITY	39 . 62	har. In: has her ton he has he he	o argan era annyone	-
-	1		rindcom	33-92	over Universities and the second	Argie reiscoure avec sistone	
	-	DUCTO	Arglo-Gressux	101.100	and the second se	Argle alleute légètement carbon alée	
	1	RHETIEN	Supéneur (T.A.G.S)	121-198		Gréa lin, paribia microcos giomératique	-
	R	NORIEN	Intermédiaire 2	53 - 77		Alternance de présitns et d'argile siteuse.	-
	1		Argileco: moyen	33 - 53	TATIFF. Manager Strends and	Argle siteuse st dolomitique, parbisindurée.	_
	A		Intermédiaire 1	29 - 70	ADD DOCTORING	Grés în â très în devenant quatizitique	
	S	CARNIEN	Argito-Gréseux.Inf	15 - 57	and the second second	Grés lin à prossier ellicieux (passèles d'arglie)	DISCORDANCE
P	S	LLUDLOW/	UNITÉ B2	0 - 111		Alternance de grés fin et d'argite micacée.	HERCYNIENNE
	1		UNITE B1	0 - 149	Sector Property a	Argile siteuse et grês fin à moyen	
A	L		UNITE A2	98 - 126		Grés séceux, argénux à la base	
	U	(F6) <	UNITEAT	13 - 18		Grés în à moven, consolidé (palata d'arble)	
30	P	1.2	UNITE M2	61 - 153	And a second second second	Emissionis allaura contriscationalia	-
<u> </u>	1		LAUTE MA	22.27	survey over some	ingen onderen anderen anderen die erkenden UPPP MIT 11	
Ê	2	WENICOCK	ADGUES	52-51	Carl Andre Andres	vers a base (presence de gresse incocho A).	-
-	N	TARANON	A	232-341		podea Gastémpodes el Graptolites	
0	32	LLANDOVERY	GRAPTOLITES	1.0000000000000000000000000000000000000			
7	0	ASHGILL	Date de N'KRATTA	14 - 37		Grés quartzique fin, moyer à grossier.	
-	D	LLANDEILO	Gres d'Oued Sawr	103-137		Argue micro congiomeratique a grains de qualiz Grés fin à très l'in parte la puartologue	-
0	0	LLANDVIRN	Argile d'AZZEL	64 -117		Argie toire siteuse	
3	v		Grés d'OUARGLA	91 -100	L. L.	Grés in à noyen triable, parbisquartatique .	
1	li i	242223222	Quart2fesdeHANRA	79 - 232		Guartzites fins à moyens , partisis groasiers	
0	c	ARENIG	A. 7. (41) (41)		The second second	g assant loc ale mant à des grès fins .	-
4	E	TREMADOC HOY	AMIN (S) CARGE	268*	Total and the second	Atematice de gres, de quatzbeset d'argée	-
U	N	THE MADOC INF.	Grés de INRIBEL	180 *	HT 70 - HA	Gris quartatique et argio-siliceux	-
CAMBRIEN		-	GRÉS DE	Coll Soft Sheet S		Quartzi e mal classé e u sa mmet	7
F			HASS IFTA	104 *		Gris numeriting a very sample of some	DISCORDANCE
PRÉCAMPRIEN			CIE	2	1 1 1 1 1	Constitution of a more particular and the second lateral	DEBASE
FRE		30		,r	++++ ++++	ក្រុមកម្មនេះថ្ងៃ ១៩ ការ ប៉ាទនាកាន់ដែលប៉ុណ្ណារដ្ឋមន្ត្រ	UL BHOC
			Réservoirs d'h	vdrocart	oures	établie par : HABIB EI !	Viehdi
		* : Épaisseurs	concèmant le p	uits RN-1	01	Le : 21 - 04 - 1998	0.55555

<u>Figure I.4</u>: Colonne stratigraphique type de la région de Rhourde Nouss(H. El Mehdi ,1998)

Profondeur Lithologie		Description	Exemple de figure	Evolution - Marin +
3353 3354	Gi àr en	ès quartzitiques gris pales fins noyen à stratifications trecroisées.	<u>Figure II.4</u>	
3355 WY	Pa: à ti	ssée d'argiles verdätres laminée gillites	<u>Figure II. 3</u> <u>Figure II. 6</u>	
3357 IZ INFO	Qua stra	artzites fines grise à beige à tifications obliques.	<u>Figure II.5</u>	
3373 3374 3375 3376 3377 3377 3377 3378 3379 3380 3381 3381 2 3384 3385		artzites fines grise à beige à atifications obliques. artzites fines grise à beige à atifications entrecroisées.	<u>Figure II.5</u> <u>Figure II.4</u>	
3386 3387 3388 3388 3389 3390	Pa	assées d'argiles noires fortement oturbées (Tigillites).	<u>Figure II. 3</u> <u>Figure II. 6</u>	*
3391 3392 3393 3394		uartzites <mark>localement déformées (Slumps).</mark> 'igillites.	<u>Figure II. 7</u> Figure II. 6	
3395 3396 3397	Q st	uartzites fines grise à beige à ratifications entrecroisées.	<u>Figure II.4</u>	
3398 3399		uartzites fines à moyennes	Figure II 2	



Figure II.9 : Log stratigraphique interprétant la lithologie des Quartzites de Hamra dans le puits RN-104.