

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES

FACULTE DES HYDROCARBURES ET DE LA CHIMIE

DEPARTEMENT GISEMENTS MINIERES ET PETROLIERS



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme :

Master 2

Filière : Hydrocarbures.

Spécialité : Géologie Pétrolière.

Présenté par :

BESSEKRI Abdallah

Thème

Approche structural de la région de RHOURDE NOUSS et l'étude pétrophysique des Quartzites de Hamra.

Devant les jurys :

Mr. K.Loumi	MCA	Président
Mr. A.Asses	MCA	Promoteur
Mr. A.Belhadi	MCA	Examineur

Année Universitaire 2019-2020



Remerciement



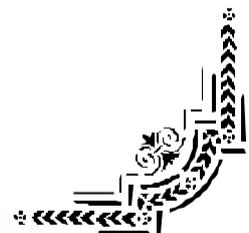
*Au terme de cette étude, je remercie **ALLAH** qui m'a donner le courage et la volonté d'aller jusqu'à la fin et de ramener ce présent travail à son point ultime.*

*Ma plus profonde gratitude va tout d'abord à **Mr. A. Asses**, qui a accepté la prise en charge de mon encadrement. Je tiens à le remercier vivement pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa compréhension et sa patience.*

Je tiens également à exprimer ma gratitude envers les membres du jury qui ont accepté de juger ce travail.

*Un grand merci à **Mr. M .Abdelillah Berakna**, Ingénieur à Sonatrach/ PED qui ma a facilité la tâche à plusieurs reprise.*

J'adresse mes sincères remerciements à mes chers parents pour leurs soutiens moraux et ses encouragements à poursuivre.



Dédicace:

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents que dieu les garde.

A mes chers frères « Fatah et Abdenour ».

A mes chers sœurs « Meriem et Sohla ».

A ma grande famille particulièrement « BESSEKRI ».

A tous mes amis de près ou de loin.

A mes oncles et tantes.

ABDALLAH.

Résumé:

Le trend structural de Rhourde Nouss d'orientation NE-SW constitue un axe régional majeur de la partie SW du bassin de Berkine (Palte Forme Saharienne). Plusieurs directions de faille NE-SE, N-S et E-W coexistent le long de ce trend. L'architecture de ce trend montre une disposition en relai typique des failles décrochantes transpressives dextres le long des accidents majeurs de direction NE-SW. Les plissements de direction N-S se forment dans les zones de relais et sont associés à des failles chevauchantes vers le SE (exemple de la structure de Rhourde Nous centrale).

L'architecture actuelle du trend de Rhourde Nouss est essentiellement héritée d'un raccourcissement E-W en relation avec la phase tectonique autrichienne d'âge barrémien. Cette phase transpressive est responsable de la création des premiers pièges structuraux de cette région.

La deuxième phase tardive va réactiver cette faille en faille inverse et aura comme conséquence de reconfigurer la géométrie des pièges créés durant la phase précédente.

L'étude pétrophysique des réservoirs de Quartzites de Hamra sont basées sur l'analyse des carottes disponible de plusieurs puits dans différents champs.

Mots clé: Rhourde Nouss, trend structurale, bassin de Berkine, Quartzites de Hamra.

Abstract:

The trend structural Rhourde Nouss guidance NE SW is an axis regional major part SW Basin Berkine (Platform Saharan Africa). Several directions fault NE SE, N- S and E- W coexist along this trend.

The architecture of this trend shows a provision in relay typical faults décrochantes transpressives dextral along the major accidents of direction NE SW.

The folds of direction N- S are formed in areas relay and are associated with faults overlapping to the SE (example of the structure of Rhourde We Central). The architecture current trend of Rhourde Nouss is essentially inherited a shortening E- W in relation to the phase tectonic Austrian age barremien. This phase transpressive is responsible for the creation

of the first traps structural this region. The second phase late will reactivate this flaw in fault reverse and will result of reconfigure the geometry traps created during the previous phase.

The study petrophysical reservoir quartzites of hamra are based on the analysis of carrots available several well in different fields.

Keywords: Rhourde Nouss, trend structural, Berkine basin, Quartzites of Hamra.

Sommaire

Chapitre I: Généralités.

I.1. Introduction	01
I.1.1. But du mémoire	01
I.1.2. Présentation de la région de Rhourde Nous	01
I.1.2.1 Situation géographique	02
I.1.2.2 Contexte géologique	02
I.1.2.2 Cadre géodynamique	03
I.2 Historique d'exploration dans la région de Rhourde Nous	04
I.3 Stratigraphie	08
I.3.1. Le socle	10
I.3.2 Le paléozoïque	10
I. 3. 2. 1. Le Cambrien	10
I. 3. 2. 2. L'Ordovicien	11
I. 3. 2. 3. Le Silurien	11
I. 3. 2. 4. Le Dévonien	13
I. 3. 2. 5. Le Carbonifère	13
I. 3. 2. 6. Le permien	13
I. 3. 3. Le Mésozoïque	13
I. 3. 3. 1. Le Trias	13
I. 3. 3. 2. Le Jurassique	14
I. 3. 3. 3. Le Crétacé	15
I.3.4. Le Cénozoïque	16

Sommaire

I.3. Aspect structural de la région	18
I.6. Aspect pétrolier	20
Chapitre II: Approche structurale du trend de Rhourde Nous.	
II.1 Le bassin de Berkine	22
II.2 La structure du trend de Rhourde Nous	24
II.3 Les grands trends structuraux	29
II.3.1 Le Trend A	29
II.3.2 Le trend B	29
II.3.1 Le trend C	29
II.4 L'histoire structurale de la région de Rhourde Nous	31
II.4.1 Au cours de Paléozoïque	31
II.4.2 Au Mésozoïque	31
II.4.3 Au Cénozoïque	36
II.5 Les différentes unités structurales de Rhourde Nous	36
II.5.1 Rhourde Nous Centre (RNC)	36
II.5.1.1 L'évolution géométrique de la structure	43
II.5.2 La structure de Rhourde Nous Sud- Est	43
II.5.1.2 L'évolution géométrique de la structure	47
II.5.3 La structure de Rhourde Nous Sud-Ouest	47
II.5.1.3 L'évolution géométrique de la structure	51
II.5.4 La structure de Rhourde Adra	51
II.5.1.4 L'évolution géométrique de la structure	48
II.5.5 La structure de Meksem	57
II.5.1.5 L'évolution géométrique de la structure	57

Sommaire

II.5.6 La structure de Dra Allal	59
II.5.7 La structure de Rhourde Adra Sud	59
II.5.1.6 L'évolution géométrique de la structure	59
II.6 Les interprétations structurales de la région d'étude	59
II.6 Conclusion	59

Chapitre III: Etude pétrophysique du réservoir.

III.1 Rappel.....	61
III.1.1 Porosité	61
III.1.2 Perméabilité	62
III.2 Les qualités des réservoirs du bassin de Berkine	63
III.2.1 Les Roches mères	63
III.2.1.1 Roche mère silurienne	63
III.2.1.2 Roche mère dévonienne	64
III.2.1.3 Autres roches mères	64
III.2.2 Roches couvertures	64
III.3 Les systèmes pétroliers de la région de Rhourde Nous	65
III.3.1 Le réservoir du Trias Argilo-gréseux Supérieur (TAGS).....	65
III.3.2 Le réservoir Infra-TAGS	65
III.3.3 Réservoirs profonds du Cambro-Ordovicien	66
III.4 Les types des hydrocarbures	66
III.5 Les données pétrophysiques	66
III.5.1 Les données de carotte	67
III.5.1.1 Les cartes isoperméabilités	69
III.5.2 Les données électriques	70

Sommaire

III.5.2.1 La normalisation des logs diagraphiques	70
III.5.3 Les calculs pétrophysiques	71
III.5.3.1 Volume d'argile.....	71
III.5.3.2 La Porosité.....	72
III.5.3.3 Les cutoff.....	72
III.6 Interprétation des paramètres pétrophysiques	76
III.7 Estimation des volumes des réservoirs de la région	76
III.8 Conclusion	77
Conclusion générale	79
Références bibliographiques	81

Liste des figures:

Chapitre I: Généralités.

Fig.I.1: situation géographique de la région de RHOUD NOUSS	01
Fig I.2 : Carte géologique structurale de la région de Rhourde Nous (Document Sonatrach, beicip 2002)	03
Fig I.3: Colonne stratigraphique type de la région de Rhourde Nous	17
Fig.I.4: Carte montrant les structures de Rhourde Nous	19
Fig I.5: Carte de gisements d'hydrocarbures associés au trend de Rhourde Nous. (Document Sonatrach)	21

Chapitre II: Approche structurale du trend de Rhourde Nous.

Fig.II.1: Schéma structural des bassins de Berkine et d'Illizi au toit de l'Ordovicien et situation de la zone d'étude	24
Fig.II.2: Coupe structurale recoupant le trend de Rhourde Nous	25
Fig.II.3: Carte structurale (isobathes) au toit de TAGS de la partie SW du bassin de Berkine	28
Fig.II.4: Les différents trends structuraux de la région de Rhourde Nous	30
Fig.II.5: Carte en isobathe au toits des quartzites de hamra (BEICIP/Sonatrach PED,2002)	33
Fig.II.6: Carte au toit du TAGS montrant les différents unités structurales de la région de Rhourde Nous. (De Galyer et Mac Naughton, Avril 1998)	34
Fig.II.7: Cinématique de la déformation de la region de Rhourde Nous au cours du Crétacé inférieur (Sonatrach, 2000)	35
Fig.II.7: La structure de Rhourde Nous centre au toit du TGAS. (De Galyer et Mac Naughton, Août 1997)	37

Liste des figures

Fig.II.9: Rhourde Nouss Centre, Interprétation des horizons et des failles, Ligne 400; Puits RNNE-8 (Beicip/Sonatrach PED ,2002)	38
Fig.II.11: Carte en isochrone au toit du TAGS de la région de Rhourde Nouss Centre (Beicip/Sonatrach PED ,2002)	39
Fig.II.12: La structure de Rhourde Nouss Sud-Est au toit du TAGS (De Galyer et Mac Naughton, Août 1997)	41
Fig.II.13: Rhourde Nouss Sud Est. Interprétation des horizons et des failles; Ligne 94-RNS-23 Puits RNSE-1 (Beicip/Sonatrach PED ,2002)	42
Fig.II.14: La structure de Rhourde Nouss Sud-Ouest au toit du TAGS (De Galyer et Mac Naughton, Août 1997)	46
Fig.II.15: Rhourde Nouss Sud-Ouest, Interprétation des horizons des failles; Ligne94-RNS-18 (Beicip/Sonatrach PED ,2002)	48
Fig.II.16: La structure de Rhourde Adra au toit du TAGS (De Galyer et Mac Naughton, Août 1997)	50
Fig.II.17: La structure de Rhourde Adra, Identification des horizons au puits RA-4; Ligne 1750 (Beicip/Sonatrach PED, 2002)	52
Fig.II.18: Rhourde Adra, Identification des horizons au puits RA-1; Trace1110 (Beicip/Sonatrach PED ,2002)	53
Fig.II.19: Rhourde Adra, Interprétation des horizons et des failles; puits RA-3; Ligne 1210 (Beicip/Sonatrach PED ,2002)	54
Fig.II.20: Carte en isochrone au toit des Quartzites de Hamra dans la structure de Rhourde Adra (Beicip/Sonatrach PED ,2002)	55
Fig.II.21:Structure de Meksem: Ligne 94-RNS-08;Puits MKS-1(Beicip/Sonatrach PED ,2002)	56

Liste des figures

Fig.II.22: Dra Allal Interprétation des horizons des failles; Ligne94-RNS-06; Puits DRA-1(Beicip/Sonatrach PED ,2002)	60
Fig.II.23: Structure de Rhourde Adra Sud: Ligne94-RNS-12; Puits RAS-1(Beicip/Sonatrach PED ,2002)	61

Chapitre III: Etude pétrophysique du réservoir.

Fig.III.1: La différence de porosité entre un tassement cubique et un tassement rhomboédrique.....	61
Fig.III.2: Relation entre porosité et perméabilité	62
Fig.III.3: Les différentes perméabilités selon le type de roche	63
Fig.III.3: Carte en isoperméabilité au réservoir des Quartzites de Hamra superposé sur la carte structurale de la région de Rhourde Nouss. (Sonatrach/PED, 2004)	70
Fig.III.4: Histogramme montrant le taux d'argile dans le réservoir des Quartzites de Hamra	73
Fig.III.5: Histogramme montrant le degré de propreté des grés du réservoir des Quartzites de Hamra	73
Fig.III.6: Cross plot composite typique sonic/neutron dans les puits RN-11, RN-42, RN-103 RN-106, RN-107, RN-108, RA-4 dans le réservoir des Quartzites de Hamra dans la région de Rhourde Nouss (De Galyer et Mac Naughton, Juin 1999)	75

Liste des tableaux

Liste des tableaux:

Tab.I.1: Tableau récapitulatif des phases tectoniques dans la partie Est du Sahara Algérienne, Bassin d' Illizi (A. Boudjemaa 1987 et Beicip)	08
Tab.III.2: La perméabilité des carottes dans les formations Infra-TAGS et l'Ordovicien	68
Tab.III.3: Les résultats des calculs pétrophysiques du réservoir des quartzites de Hamra	74
Tab.III.4: Les volumes originaux prouvé et probable du gaz en place	76
Tab.III.5: Les volumes originaux prouvés, probable et possible du gaz en place.....	77

Chapitre I: Généralités.

I.1. Introduction:

La région de Rhourde Nouss est considérée comme l'un des champs les plus importants du Sahara Algérien, en raison de ses réserves assez prometteuses en hydrocarbures.

Elle a la particularité d'avoir plusieurs accumulations situées dans des réservoirs à savoir : le Trias, le Silurien et l'Ordovicien. Actuellement le champ est en cours de développement. Parmi les nombreux problèmes rencontrés dans ce champ, il y a la complexité structurale des réservoirs qui induit des productions aléatoires.

La région de Rhourde Nouss, objet de ce présent travail, est subdivisée en quatre structures (central, Sud-Est, Sud -Ouest 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 pétrolier ayant le Silurien comme roche mère, représenté par les argiles noires 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.

Ainsi, la Division Petroleum Engineering et Développement de SONATRACH, dans le cadre de la préparation de notre mémoire de fin d'étude, nous a proposé d'étudier l'approche structurale de la région de Rhourde Nouss et l'étude pétrophysique du réservoir Quartzites de Hamra.

I.1.1. But du mémoire:

Les objectifs de ce mémoire, sont ceux propres à une étude structurale la plus complète possible par:

- Faire une synthèse structurale de la région de Rhourde Nouss à partir des analyses des profils sismiques et les cartes en isobathes.
- Etude la qualité pétrophysique de réservoir des Quartzites de Hamra.

I.1.2. Présentation de la région de Rhourde Nouss:

I.1.2.1 Situation géographique:

La région de Rhourde Nouss se situe dans la wilaya d'illizi, à 230 km au Sud-Est du champ de Hassi Messaoud et à environ 80 km de Gassi Touil. Elle s'étend entre les longitudes $06^{\circ}24$ E et 07° E et les latitudes $29^{\circ}16''$ N et 30° N.

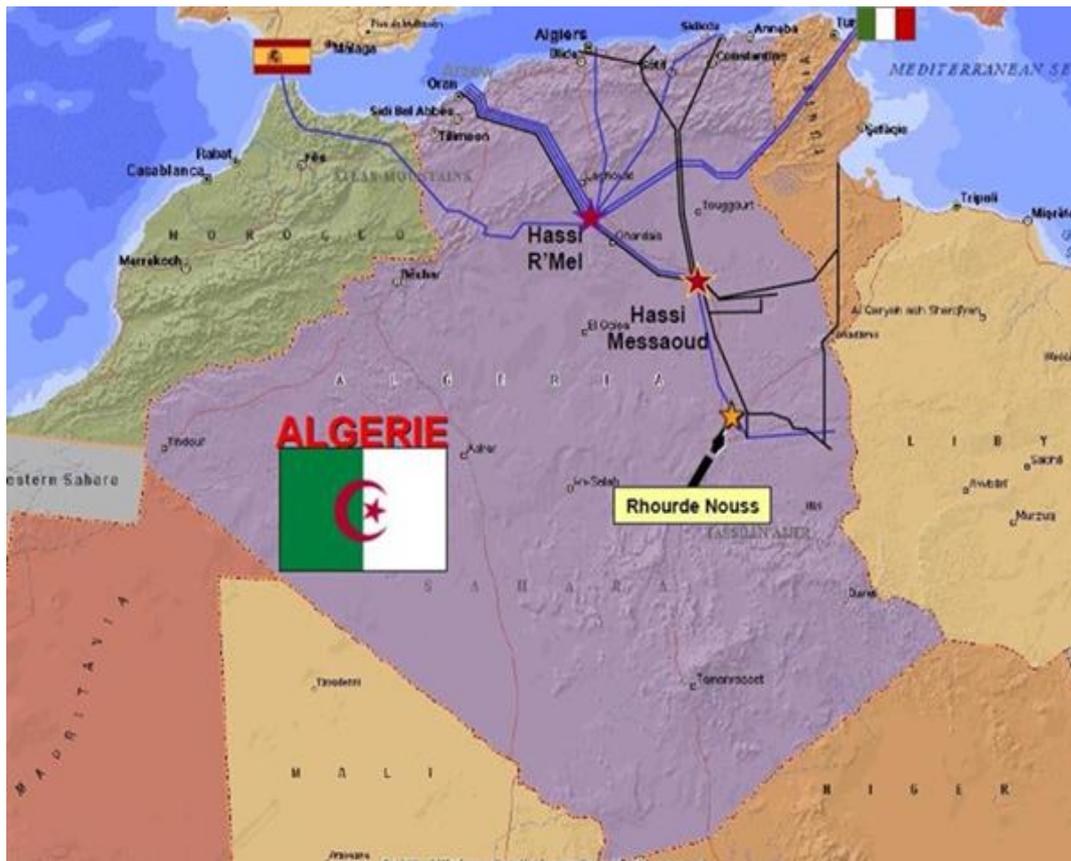


Fig.I.1: situation géographique de la région de RHOUD NOUSS.

I.1.2.2 Contexte géologique:

Le permis d'étude est situé sur la bordure du Bassin Triasique. Il est limité par les bassins pétroliers de Berkine qui s'étend largement vers le Nord Est, et d'illizi qui se développe vers le Sud Est, dont il est séparé de ce dernier par un môle très érodé au paléozoïque : le haut de Maour, d'orientation NNO-SSE. Vers l'Ouest un sillon fortement subsistent au paléomésozoïque, dit le sillon d'El Marfag, l'isole du môle d'Amguid Le Biod, zone positive d'orientation subméridienne très érodée à l'hercynien.

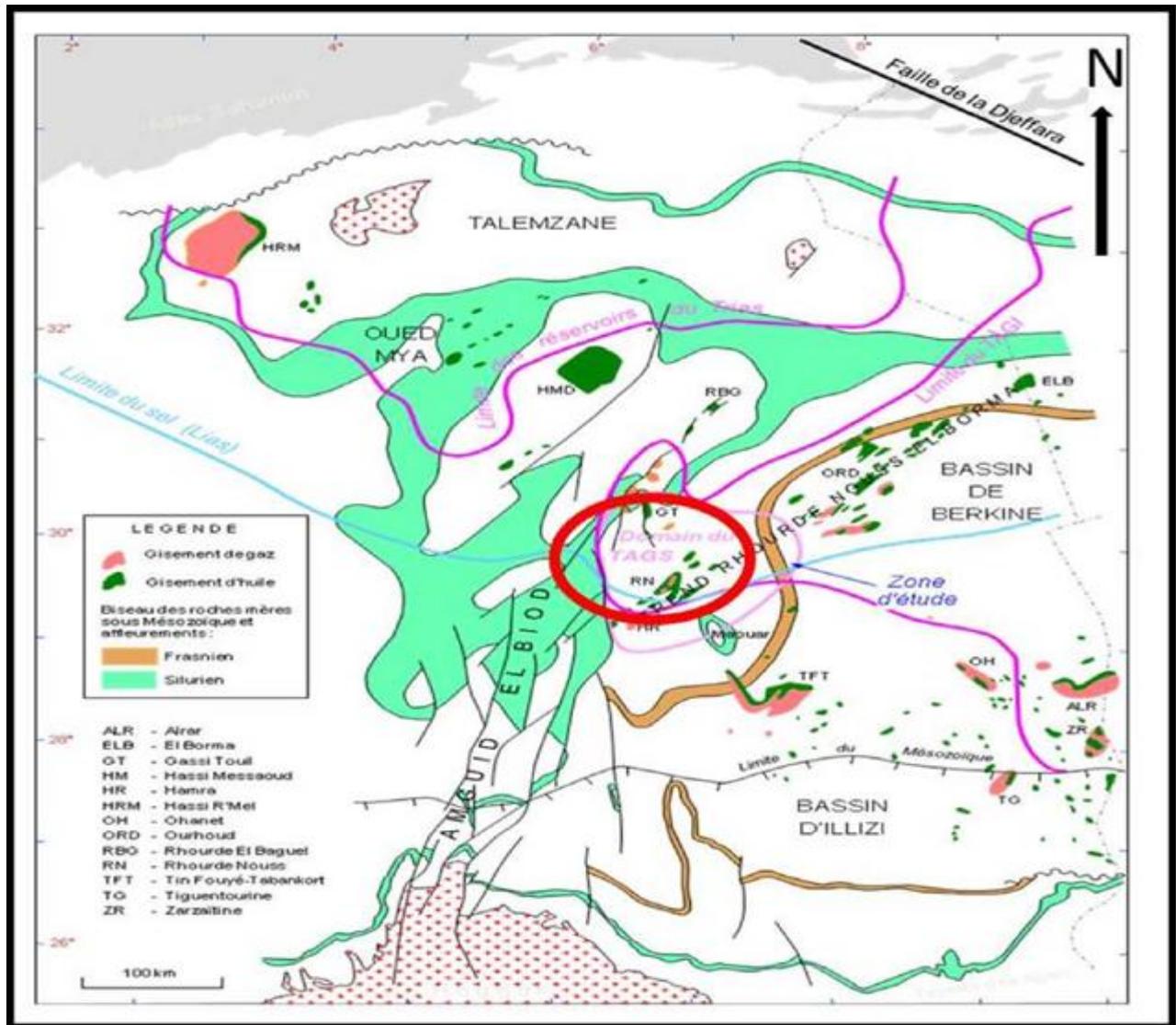


Fig I.2: Carte géologique structurale de la région de Rhourde Nouss (Document sonatrach, beicip 2002).

I.1.2.1 Contexte géodynamique:

La région de Rhourde Nouss fait partie de la province Triasique qui correspond à un vaste bassin intraplaque de type plate forme épicontinentale (Perrodon, 1985). L'évolution géodynamique et l'architecture de la région sont en étroite relation avec celle du môle d'Amguid El Biod. La région correspond à la partie Sud de la dorsale complexe d'Amguid Le Biod- Hassi Messaoud, dont les zones horst et les grabens sont traversés par de nombreux accidents subméridiens, ainsi que par des failles normales moins étendues de direction

orthogonale et transversale par rapport à la direction principale des structures (M. Aliev, 1971).

I.1.2.2 Cadre géodynamique:

Il s'avère que toute reconstitution paléo-tectonique locale doit s'appuyer nécessairement sur une conception généralisée à l'échelle régionale afin d'aboutir à une compréhension cohérente d'une échelle réduite.

En effet, le môle d'El Biod et son prolongement Nord fait partie de la plate forme Sabarienne qui se caractérise par des effets de plusieurs phases tectoniques. (Tab.I.1)

La région de Rhourde Nouss a été étudiée à maintes reprises, et il est généralement admis que ce secteur a subi d'intenses déformations et en particulier une forte compression au Crétacé (Phase autrichienne) d'orientation proche de l'Est-Ouest et ayant réactivé les failles préexistantes de direction Nord-Sud et Nord-Est/Sud-Ouest.

Les phases tectoniques ont été synthétisées d'après les travaux de A. Boudiema (1987) et du BEICIP (Décembre 1991).

- Phase panafricaine:

C'est suite à la collision d'une part entre le craton Ouest Africain, rigide et d'autre part le bloc Est-Africain qui plus plastique, que les grands traits structuraux de la plate-forme saharienne sont acquis. A savoir les grandes failles sub-méridiennes qui découpent le bouclier Touareg en trois blocs longitudinaux. Ces accidents verticaux dont et le rejet horizontal peut atteindre la centaine de kilomètres. Sont associé à un réseau de failles conjuguées d'orientation NordEst/Sud-Ouest et Nord-Ouest/Sud-Est.

La contrainte maximale est orientée Est-Ouest. Les accidents ainsi formés joueront un rôle important dans la structuration et le comblement de la plateforme saharienne.

-Phase Cambro-Ordovicien:

Après l'érosion des structures et les reliefs antérieurs au Combien et la formation de la pédiplaine Infra-Tassilienne, celle-ci se trouve légèrement inclinée vers le Nord (S. Beuf et Al 1971 Boudjema, 1987). Les séries de Cambro-Ordovicien présentent :

- Des variations d'épaisseurs et des faciès de part et d'autre des failles sub-méridiennes.
- Un fossé sur les prolongements Nord des accidents sub-méridiens et des intercalations volcaniques à plusieurs endroits dans des sédiments attribués au Cambrien et à l'Ordovicien (Trémadoc).

Cet épisode se termine par une transgression généralisée.

-Phase Taconique:

Au Caradoc, des mouvements compressifs se manifestent le long d'accidents sub-méridiens qui provoquent des soulèvements régionaux suivis d'une érosion. A noter des dépôts :

- ❖ De type périglaciaire qui ont marqué le Caradoc, due probablement aux grandes glaciations.
- ❖ Des dépôts d'argiles à Graptolites entre les bassins de l'Ahnet, Illizi et Berkine liés à la transgression Silurienne.
- ❖ Des niveaux de roches éruptives sont traversés dans les puits au contact Ordovicien-Silurien, et même à la place des argiles à Graptolites. Ce volcanisme traduirait une distension au Silurien.

- Phase Calédonienne:

Elle a eu lieu entre la fin du Silurien et le début du Dévonien, cette phase est marqué par une discordance des dépôts de matériels détritiques sur des dépôts anciens correspondant à la formation F6 sur la zone de passage de Silurien. Elle est suivie de :

- Au Dévonien inférieur : Une phase distensive qui débute au Gedinnien et se termine par une transgression généralisé au début de l'Emisien.

- Au Dévonien moyen et supérieur ; on note deux discordances pouvant être parfois interprétées comme étant la discordance Fransnienne. Ces discordances sont fréquemment accompagnées par des transgressions marines.

- Les mouvements post-Famenniens : Sont marqués par une discordance à la base du Carbonifère. Les formations du Tournaisien supérieur reposent en discordance sur les formations du Dévomen. Ceci est visible dans le Sud-Ouest du bassin d'Illizi.

- Phase hercynienne: (Tab.I.1)

Durant cette phase, l'érosion a conduit à l'image actuelle de l'écorché antémésozoïque. Elle se traduit par l'inversion tectonique entre les zones Nord et Ouest les plus subsidentes au Paléozoïque inférieur qui seront les plus érodées, et les zones Sud-est du bassin les moins érodées, ou le Carbonifère a été conservé partiellement.

Le soulèvement qui a affecté les zones Ouest et Nord du bassin ne peut être précisé dans le temps à cause de la faible extension du Carbonifère non affecté par l'érosion (d'après BEICIP, 1991).

Les mouvements hercyniens majeurs sont situés après le Namurein et avant le Permien (d'après A. Boudymaa, 1997).

- Pendant le Permo-Trias: la plate forme saharienne était soumise à l'érosion. La période Carbonifère supérieur (Stéphanien) et Trias supérieur (Carnien) correspond à 50 millions d'années, est marquée par l'absence de dépôts qui permettrait de reconstituer les différents événements de cette période (BEICIP, 1991).

- Phase Triasique: (phase de Rifting continental)

Elle a lieu pendant la distension du Trias et du Lias précédant l'ouverture de la Téthys ligurienne et de l'Atlantique central (d'après A. Boudjemaa, 1987). Cette phase correspond aux coulées volcaniques liées aux failles majeures Nord-Est/Sud-Ouest et l'épaisse série salifère qui peuvent atteindre plus de 1400 mètres dans le sillon de Dorbane.

- Phase Autrichienne:

Cette phase est à l'origine des grands trends majeurs résultant d'une compression Est-Ouest créant des alignements de plis contre-failles Nord-Sud et de grands décrochements Nord-Est/sud-Ouest.

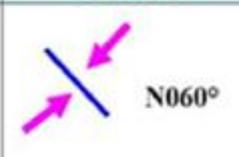
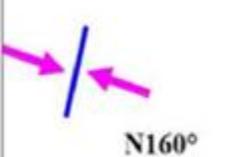
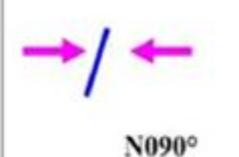
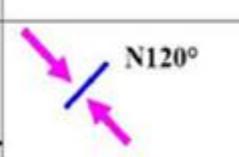
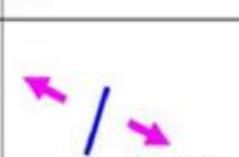
Cette phase est surtout marquée par une inversion structurale, les failles normales pendant le dépôt de la série Trias-Lias vont jouer en failles inverses pendant cette phase (BEICIP, 1991). Ceci est visible surtout dans la partie occidentale du bassin, proche des anciens môles d'El Biod-Hassi Messaoud.

- Phase Pyrénéenne ou Alpine moyenne: (Éocène supérieur)

Cette phase compressive majeure affecte les accidents Nord-Est/Sud-Ouest donnant naissance à de nombreux anticlinaux dont les axes sont parallèles aux failles.

- Phase Alpine tardive :

- Au Miocène supérieur: Reprise de la phase Pyrénéenne avec amplifications des structures précédentes.
- Après le Villafranchien: C'est une phase compressive à raccourcissement Nord-Sud qui a affecté surtout le Nord du bassin, de moindre importance vers le Sud.

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

Tab.I.1: Tableau récapitulatif des phases tectoniques dans la partie Est du Sahara Algérienne, Bassin d'Ilizi (A. Boudjema 1987 et Beicip).

I.2 Historique d'exploration dans la région de Rhourde Nous:

De nombreux travaux gravimétriques, magnétométrique et sismique, effectués sur tout la province triasique, ont permis la mise en évidence de nombreuses structures pouvant contenir des hydrocarbures.

La chronologie des études sur ce secteur est la suivante:

En 1946, les premiers travaux sismiques d'exploration ont été réalisés par les compagnies pétrolières SN- REPAL et CPA.

En 1948, une vaste compagnie gravimétrique a été installée dans la partie septentrionale du Sahara.

En 1954, après les résultats encourageant; des travaux de reconnaissance portés sur le bassin triasique et les travaux ultérieurs de la sismique de réflexion détaillés ont été concentrés sur les zones hautes de Hassi Messaoud, Hassi R'MEL, Rhourde El Baguel et Rhourde Nous.

En 1956, Le début des recherches dans la région de Rhourde Nous, effectués par la compagnie El PASO (France-Afrique); le forage du puits RN-1 au sommet de la structure Hamra, permis d'effectuer le premier test au niveau des réservoirs d'âge Barremo-Neocomien.

En1958, Le forage RN-2 sur la même structure a révélé la présence du gaz dans les réservoirs triasiques.

En 1959, Les travaux d'exploration ont été orientés vers l'Ouest, où la structure de Ramade a fourni des résultats négatifs.

En Décembre 1961, Implantation et forage du puits d'exploration RN-1, ce dernier a débit de 480000 m³/j. L'ensemble des tests réalisés dans le silurien Argilo-gréseux a montré qu'il était saturé en gaz.

En Août 1963, Le forage RN-4, implanté sur le flanc de la structure, avait mis en évidence l'existence d'un anneau d'huile dans le Trias Argilo-Gréseux supérieur, avec avec un débit de 120m³/j. La découverte de cet anneau d'huile dans le Trias Argilo-Gréseux supérieur, avait beaucoup encouragé l'exploration des hydrocarbures dans la région.

En février 1970, un autre anneau d'huile dans le silurien a été mis en évidence par le forage RN-101. Alors que celui foré en juin a révélé la présence du gaz à condensât dans les quartzites de hamra.

En 1972, le forage de puits RNSE-1, dans la structure Sud Est à mis en évidence du gaz à condensât et de l'huile dans le Trias Argilo-Gréseux supérieur et dans le silurien Argilo-Gréseux.

En 1974, Le forage de puits RNSW-1, sur la structure Sud-Ouest à mis en évidence du gaz à condensât et d'huile dans le Trias Argilo-Gréseux supérieur, les réservoirs révélés tous aquifères.

En 1983, plus de 80 puits ont été foré sur l'ensemble de la région, dont des douzaines ont atteint la discordance hercynienne et dix atteint les quartzites de hamra (RN-11, RN-42, et RN-101,...).

En 1987, la mis en production du champ Hamra permet le classement de la région, comme le deuxième gazifière dans le pays après celui de Hassi R'MEL.

En 1990, mise en production du gaz à condensât du Trias Argilo-Gréseux supérieur. De 1990 à l'actuel, le champ de Rhourde Nouss reste le siège de très nombreuses accumulations d'hydrocarbures. Pour cela, d'intenses efforts ont été fournis. Dans le but de son développement et la mise en production des autres gisements.

I.3 Stratigraphie:

la série stratigraphique de la région de Rhourde Nouss est composée des ensembles suivants :

- Le Paléozoïque qui est incomplet, reposant sur un socle de nature granitique et /ou métamorphique;
- Le Mésozoïque ;
- Le Cénozoïque.

I.3.1. Le socle:

Il est représenté par un complexe granitique et /ou métamorphique plissé et faillé. Il est très peu connu, en raison du nombre limité de puits qui l'ont atteint.

I.3.2 Le paléozoïque:

Les premiers dépôts paléozoïques sous la discordance hercynienne sont datés Silurien, ils sont constitués d'un ensemble Argilo-gréseux. Le Dévonien et le Carbonifère sont eux érodés. En revanche, on marque la présence de toutes les séries de l'Ordovicien et du Silurien, où l'épaisseur maximale est estimée 4000 mètres, notamment dans le sillon de Marfag qui se situe dans la partie ouest de la région.

I. 3. 2. 1. Le Cambrien:

Il est représenté par les grès de Hassi Leïla, constitué dans sa partie basale par des grès quartzitiques fins à grossiers mal classés et dans sa partie sommitale par des quartzites fins. L'épaisseur moyenne est estimée 104 m.

1. 3. 2. 2. L'Ordovicien:

C'est un terme très complexe, constitué par des alternances de grès quartzitiques et d'argiles. Son épaisseur moyenne varie de 750 à 1250 m et se compose de plusieurs unités se succédant de bas en haut :

- **Grès de Méribel:** d'âge Tremadoc inférieur. Son épaisseur est de 180 m. Cette unité est constituée par des grès fins, avec des grès argilo-silteux et des passées d'argiles grises à noires.
- **Argiles d'El Gassi:** d'âge Tremadoc moyen, avec une épaisseur de 268 m. Elles sont matérialisées par une alternance d'argile grise foncée, silteuse avec des passées gréseuses.
- **Grès d'El Atchane:** d'âge Arenig inférieur. Epais de 56 m; ils sont constitués d'une alternance de grès fins siliceux bien classés et d'argiles siliceuses. On note la présence de quartzites à la base.

- **Quartzites de Hamra:** d'âge Arenig moyen. Epais en moyenne de 80 à 232 m. Ils sont formés par des quartzites fins à moyens de couleur blanche, compactes, passant localement à des grés fins intercalés par quelques passées fines à la base.
 - **Grés d'Ouargla:** d'âge Arenig supérieur. Son épaisseur varie de 91 à 100 m. Ce terme est représenté essentiellement par des grés fins à moyens, gris-bruns, quartzitiques avec des intercalations d'argiles noires.
 - **Argiles d'Azzel:** d'âge Lanvrin son épaisseur est estimée entre 64 et 117 m, constitué d'argiles grises noires, siliceuses plus ou moins indures.
 - **Grés d'Oued Saret:** d'âge Landeilo, avec une épaisseur moyenne variant de 103 à 137 m, il est composé de grés fins parfois quartzitiques.
- Les Argiles Micro-Conglomératiques : d'âge Caradoc, avec une épaisseur variant de 66 à 119 m, cette unité est constituée exclusivement d'argiles micro conglomératiques à grains de quartz.
- **Dalle M'Kratta:** d'âge Asghill, elle présente une épaisseur variant de 6 à 10 m. Elle est matérialisée par des grés quartzitiques allant de très fins à moyens jusqu'au grossiers.

I. 3. 2. 3. Le Silurien:

Constitué par deux séries : une épaisse série argileuse à la base, surmontée par Une autre qui comprend un ensemble argilo-gréseux.

- **Silurien Argileux:** d'âge Landoverly-Taranon-Wenlock, et d'une épaisseur variant de 232 à 341 m. Il est constitué d'une série d'argiles noires micacées très riches en faunes (Brachiopodes, Gastéropodes et Graptolites).
- Silurien Argilo-gréseux : d'âge Ludiow. Il représente le réservoir F6, qui comporte six unités. De bas en haut on distingue :
 - ❖ **L'unité M1:** Cette unité est représentée par des argiles siliceuses, indurées à quelques passées carbonatées à la base. Elle présente une épaisseur qui varie entre 32 et 37 m.
 - ❖ **L'unité M2:** Elle est d'une épaisseur variant de 61 à 153 m. Elle est matérialisée par des argiles siliceuses, indurées, avec quelques passées de grès de Mederba.
 - ❖ **L'unité A1:** Elle est représentée par des grès fins à moyens, bien consolidés à ciment siliceux, intercalés par des fines passées d'argiles grises, noires, son épaisseur varie entre 13 et 18 m.

- ❖ **L'unité A2:** Son épaisseur varie de 98 à 126 m, elle comporte des niveaux de grès fins, siliceux à passées argileuses à la base.
- ❖ **L'unité B1:** D'une épaisseur variant de 0 à 149 m. Elle est tronquée par l'érosion hercynienne surtout sur le flanc Sud-Est de la structure de Rhourde Nous. Cette unité est constituée par une succession de grès quartzitique compact et d'argiles grises noires, indurées et micacées.
- ❖ **L'unité B2:** Son épaisseur varie de 0 à 111 m, elle est affectée par l'érosion hercynienne dans la partie Sud Est et la partie Sud Ouest de la région d'étude. Elle présente une alternance de grès quartzitique et des argiles micacées.

I. 3. 2. 4. Le Dévonien:

Le Dévonien quant à lui est totalement érodé.

I. 3. 2. 5. Le Carbonifère:

A l'instar du Dévonien, l'érosion a affectée entièrement le Carbonifère.

I. 3. 2. 6. Le permien:

Il est eu de même pour le Permien, l'érosion semble avoir touchée l'intégralité du Paléozoïque supérieur.

I. 3. 3. Le Mésozoïque:

I. 3. 3. 1. Le Trias:

Il repose par l'intermédiaire de la discordance hercynienne sur le Silurien argilo-gréseux. Ce trias est composé de cinq unités représentées de la base au sommet par:

- **Le Trias Argilo-Gréseux Inférieur:** d'âge Carnien, d'une épaisseur variant de 15 à 57 m. Il est formé de bancs de grès fins à ciment Silico-argileux, intercalé par la présence de passées d'argiles silteuses. On note la présence de micro-conglomérats à la base.
- **Le Trias intermédiaire I:** d'âge Norien inférieur. Son épaisseur varie de 29 à 70 m. Il est constitué par des grès fins à tendance argileuse à la base et quartzitique au sommet.
- **Le Trias Argileux Moyen:** d'âge Norien moyen, son épaisseur varie de 33 à 53 m. Il est constitué d'argiles brunes, rouges, silteuses et dolomitiques, parfois indurées.

- **Le Trias intermédiaire II:** d'âge Norien supérieur. Il présente une épaisseur variant de 53 à 77 m. Il est constitué d'une alternance de grés fins et d'argiles rouges à vertes silteuses.
- **Le Trias Argilo-Gréseux Supérieur:** d'âge Rhétien, son épaisseur varie entre 100 et 198 m. Il est matérialisé à la base par des grés fins. gris blanc, parfois micro-conglomératiques surmontés par des argiles brunes, rouges, silteuses, légèrement carbonatées (dolomitiques). Ce terme constitue le réservoir principal de la région de Rhourde Nous.

I. 3. 3. 2. Le Jurassique:

- Le Lias:

Il est subdivisé en cinq termes qui se succèdent de bas en haut comme suit:

- ❖ **Le Lias Argileux S1:** Son épaisseur varie de 39 à 62 m. Il est représenté par des argiles versicolores avec des silts.
- ❖ **Le Lias Salifère S2:** Son épaisseur varie entre 202 et 443 m, et il se présente sous forme de sels massifs, 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. Il est matérialisé par des dolomies graveleuses, vacuolaires ou silteuses, légèrement anhydritiques.
- ❖ **L'horizon H:** Son épaisseur varie de 13 à 41 m, il est composé d'anhydrite 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 régionale.
- ❖ **Le Lias argileux dolomitique:** Il présente une épaisseur variant de 140 à 220 m. Il est constitué par des argiles silteuses dolomitiques à passées anhydritiques.

- Le Dogger:

est subdivisé en deux termes:

- ❖ **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 par des bancs de grés fins.

- Le Malm:

Son épaisseur varie de 0 à 232 m. Cette unité est composée d'argiles silteuses, tendres, parfois dolomitiques.

I. 3. 3. 3. Le Crétacé:

- Le Néocomien:

Son épaisseur varie de 46 à 345 m. Il s'agit d'argiles silteuses, dolomitiques avec une alternance de sables fins, à grossiers et de grès fins à très fins, ligneuse et pyriteuses par endroits.

- Le Barrémien:

Il présente une épaisseur moyenne de 529 m. Il est formé par une alternance de sables fins à grossiers, de grès fins à très fins et d'argiles rouges briques sableuses, légèrement dolomitiques.

- L'Aptien:

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

- L'Albien:

Son épaisseur varie de 30 à 216 m. Et il est constitué de sables fins à grossiers avec des grès argilo-dolomitiques.

- Le Cénomaniien:

Il présente une épaisseur qui varie de 62 à 111 m. Il est constitué par des argiles carbonatées à passées d'anhydrite.

- Le Turonien: Son épaisseur varie de 69 à 113 m. Il est matérialisé par une alternance d'argiles versicolores plastiques et de calcaire blanc-beige parfois argileux avec des marnes Calcaires.

- Le Sénonien:

Il comprend trois termes :

- ❖ **Le Sénonien salifère:** D'une épaisseur qui varie de 13 à 80 m. Il est constitué que de sel massif, blanc, parfois argileux.
- ❖ **Le Sénonien anhydritique:** Son épaisseur varie de 111 à 233 m. Il s'agit d'une alternance d'anhydrite massive beige, et d'argiles carbonatées.
- ❖ **Le Sénonien carbonaté:** Il présente une épaisseur variant de 0 à 194 m. Il S'agit d'un complexe micro-cristallin. dolomitique.

I.3.4. Le Cénozoïque:

Il est représenté par le Mio-Pliocène. Les autres termes du Paléocène, de l'Eocène et de l'Oligocène ont été érodés ou non déposés suite à la phase Atlasique.

- Le Mio-Pliocène:

Son épaisseur varie de 154 à 677 m, il repose en discordance Sur le Sénonien carbonaté, il est constitué de sable fin, moyen à très grossier à fines passées de calcaire sableux, parfois gréseux, avec des intercalations d'argiles Sableuses à dolomitiques.

ERE	SYSTEME	ETAGE	UNITÉS SONATRACH	Epaisseur (m)	LITHOLOGIE	DESCRIPTION	Discordances	
Cénozoïque	MIO-PLIOCENE	MIO-PLIOCENE	-	154-377		Sable fin, moyen à très grossier à fines passé de calcaire sableux parfois gréseux avec intercalation d'argile sableuse à dolomies.		
		CRETACÉ	SENONIEN	carbonaté	0 - 194		Calcaire microcristalin dolomitique.	
anhydritique	111-233				Anhydrite beige.			
salifère	13-80				Sel.			
TURONIEN	TURONIEN		69 -113		Argile versicolore plastique, calcaire blanc à beige parfois argileux avec mme calcaire.			
	Cénomanién		Cénomanién	62 - 111				
ALBIEN	Albien		30 -216		Sable fin à grossier avec grés argilo-dolomitique.			
APTIEN	APTIEN		0 - 22		Marne calcaire - dolomitique.	DISCORDANCE AUTRICHIENNE		
BARREMIEN	BARREMIEN		0 - 740		Alternances : _ Sable fin à grossier. _ Grés fin à très fin. _ Argile rouge brique sableuse légèrement dolomitique. (traces de Pyrite).			
					Argile silteuse dolomitique, sable fin à grossier avec de rares et fines passées de grés. (présence de lignite et de pyrite).			
NEOCOMIEN	NEOCOMIEN		46 - 345		Argile silteuse, indurée parfois tendre à plastique, dolomitique.			
MÉSOZOÏQUE	JURASSIQUE	MALM		0 - 232		Argile silteuse, indurée parfois tendre à plastique, dolomitique.		
		DOGGER	ARGILEUX	55 - 228		Argile versicolore avec passées de grés fin.		
			LAGUNAIRE	0 - 322		Alternance d'argile silteuse et de grés fin.		
		LIAS	Argilo-dolomitique	0 - 215		Argile dolomitique, parfois anhydritique.		
			Horizon H	13 - 41		Anhydrite compacte blanche		
			Horizon B	14 - 42		Dolomie gravéleuse, vacuolaire ou silteuse.		
			SALIFERE	202-443		Sel massif blanc à rose avec intercalations d'argile et d'anhydrite.		
		ARGILEUX	39 - 62		Argile versicolore avec siltstone.			
		TRIAS	RHETIEN	Argilo-Gréseux Supérieur(T.A.G.S)	121-198		Argile silteuse légèrement carbonatée. Grés fin, parfois microconglomératique.	
			NORIEN	Intermédiaire 2	53 - 77		Alternance de grés fins et d'argile silteuse.	
Argileux moyen	33 - 53				Argile silteuse et dolomitique, parfois indurée.			
Intermédiaire 1	29 - 70			Grés fin à très fin devenant quartzitique.				
CARNIEN	Argilo-Gréseux Inf.	15 - 57		Grés fin à grossier siliceux (passés d'argile).	DISCORDANCE MERCYNIENNE			
PALÉOZOÏQUE	SILURIEN	LLUDLOW	UNITÉ B2	0 - 111		Alternance de grés fin et d'argile micacée.		
			UNITÉ B1	0 - 149		Argile silteuse et grés fin à moyen.		
			UNITÉ A2	98 - 126		Grés siliceux, argileux à la base		
			UNITÉ A1	13 - 18		Grés fin à moyen, consolidé (galets d'argile).		
			UNITÉ M2	61 - 153		Argile indurée, silteuse, parfois carbonatée vers la base (présence de grés de MÉDERBA).		
			UNITÉ M1	32 - 37				
		WENLOCK TARANON LLANDOVERY	ARGILES A GRAPTOLITES	232-341		Argile noire micacée contenant des Brachiopodes, Gastéropodes et Graptolites.		
		ORDOVICIEN	ASHGILL	Dalle de M'KRATTA	14 - 37		Grés quartzitique fin, moyen à grossier.	
			CARADOC	Argile m-conglomératique	66 - 119		Argile microconglomératique à grains de quartz.	
			LLANDEILO	Grés d'Oued Saret	103-137		Grés fin à très fin parfois quartzitique.	
LLANDVIRN	Argile d'AZZEL		64 -117		Argile noire silteuse.			
ARENIG	Grés d'OUARGLA		91 - 100		Grés fin à moyen friable, parfois quartzitique.			
	Quartzites de HAMR		79 - 232		Quartzites fins à moyens, parfois grossiers passant localement à des grés fins.			
CAMBRIEN	RÉMADOC MOY	Argile d'EL GASSI	56 *		Alternance de grés, de quartzites et d'argile.			
	FREMADOC INF.	Grés de MIRIBEL	268 *		Alternance d'argile silteuse et de grés quartzitiques. Grés quartzitique et argilo-siliceux.			
PRÉCAMBRIEN	SOCLE	GRÉS DE HASSI LEILA	104 *		Quartzite mal classé au sommet.	DISCORDANCE DE BASE		
			?		Grés quartzitique avec passées d'argile.			
					Complexe de roches métamorphiques.			

Fig I.3: Colonne stratigraphique type de la région de Rhourde Nous.

I.3. Aspect structural de la région:

La structure de Rhourde Nouss est très complexe, mais on peut la définir comme étant le croisement de deux anticlinoriums. On distingue deux familles, la première famille, de direction Nord-Sud et la deuxième de la direction Nord-est, Sud-est. Cette structure serait de dimension 40 x 30 km²,

Elle est composée de quatre structures différentes à savoir (fig. I.2) :

- **Rhourde Nouss Central (RNC):**

Cette structure est alignée Nord-Sud et s'étend sur environ de 16 x 8 km² avec une petite structure au Nord-est de 4 x 2,5 km².

. Le réservoir contient du gaz avec un anneau d'huile d'une trentaine de mètres dans lequel on a fore 64 puits.

- **Rhourde Nouss Sud -Ouest (RNSW):**

Elle est alignée S-SW, N-NE sur une surface de 16 x 3,5 km²

. Le réservoir est à gaz avec un anneau d'huile d'une vingtaine de mètres, le nombre de puits fores dans le réservoir est de 17 puits.

- **Rhourde Nouss Sud -Est (RNSE):**

Cette structure est alignée Nord-Sud sur une surface de 8,5 x 4 km²

. Le nombre de puits fores dans le réservoir est de 18 puits, dont 11 puits forés dans le Trias Argilo Gréseux Supérieur (TAGS), qui est producteur de gaz, avec un anneau d'huile d'une dizaine de mètres, et 7 puits forés dans le Trias Argilo Gréseux Inferieur (TAGI), qui est producteur d'huile.

- **Rhourde Adra (RA):**

Elle est alignée SW-NE sur une surface de 23 x 2,5 Km², le réservoir contient du gaz et le nombre de puits fore est égal a 17 puits.

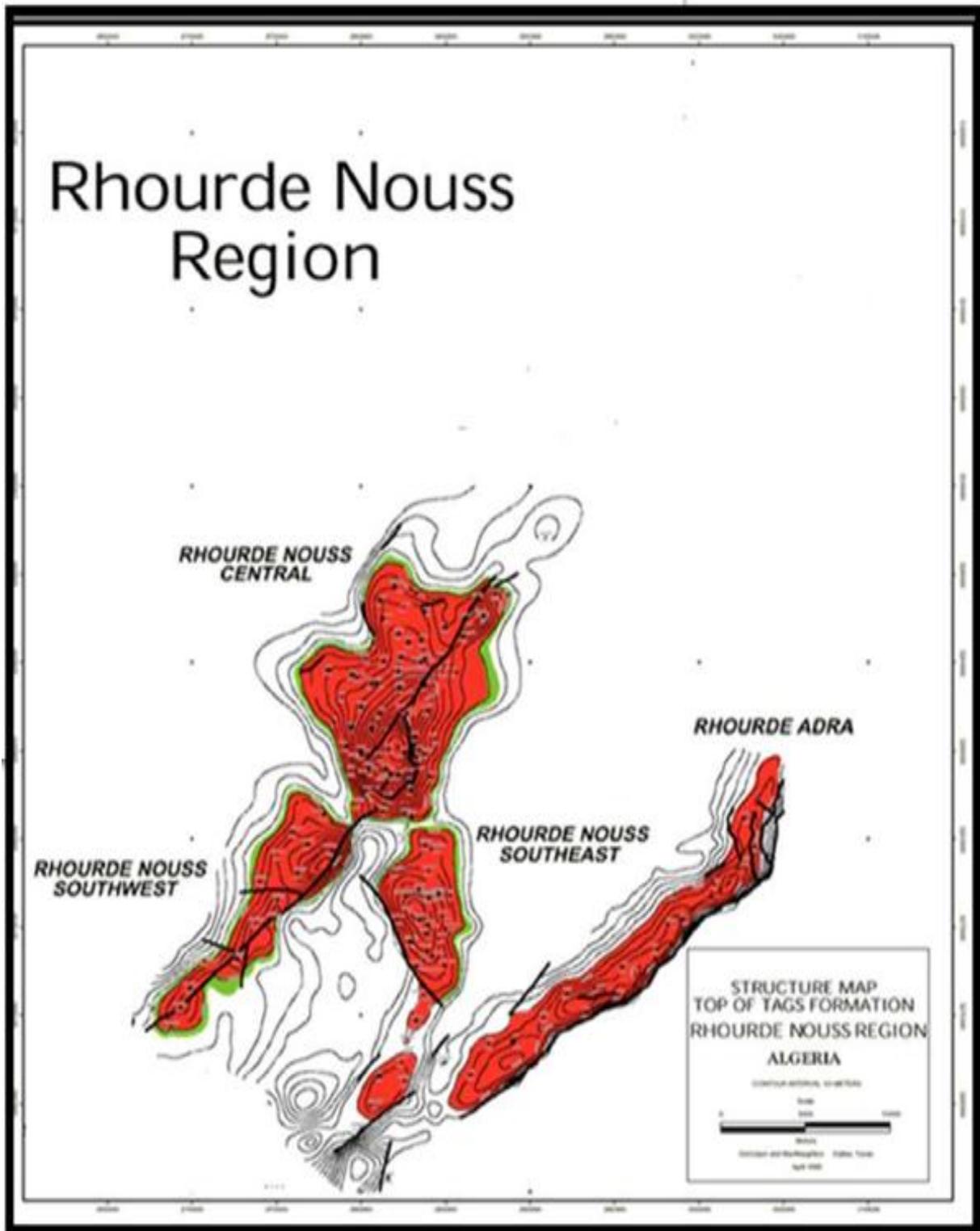


Fig.I.4: Carte montrant les structures de Rhourde Nous.

I.6. Aspect pétrolier:

Le système pétrolier principal est admis comme étant lié à l'association des roches mères du Silurien basal, des pièges de forte amplitude générés par les mouvements dits autrichiens, des réservoirs du Trias et du Silurien Argilo-Gréseux et de l'excellente couverture de l'ensemble, constituée par les évaporites du Lias.

Les pièges sont supposés avoir été mis en charge par des migrations latérales à longue distance provenant de l'Ouest et du Nord et possiblement, verticalement à travers les failles. Un système pétrolier secondaire est associé au réservoir profond des Quartzites de Hamra. Les gisements de la zone d'étude produisent de l'huile et du gaz riche en condensât à partir de différents intervalles réservoirs pouvant être groupés en trois ensembles :

- **Le réservoir du Trias Argilo-Gréseux Supérieur (TAGS):** qui constitue le réservoir principal. Son épaisseur varie entre 100 et 200 mètres sur le secteur et il peut être subdivisé en un ensemble inférieur constitué de grès grossiers et continus de type réseau de chenaux fluviaux en tresses et un ensemble Supérieur plus discontinu et plus argileux de type réseau à tendance méandrique. La porosité est comprise entre 15 et 20 % avec des valeurs de perméabilité atteignant fréquemment 1 Darcy.
- **Les réservoirs infra-TAGS:** présentent des caractéristiques moins homogènes et de moins de bonne qualité liés à un réseau de chenaux fluviaux. Ils sont constitués par les réservoirs du Trias intermédiaire et du TAGI dont les porosités sont généralement comprises entre 5 et 15 % et les perméabilités sont inférieures à 10 md. Ces réservoirs sont transgressifs sur la discordance hercynienne et peuvent être absents par non dépôts comme sur la structure de Rhourde Adra. Par ailleurs, la discordance hercynienne assure la communication entre ces réservoirs triasiques infra-TAGS et les différentes unités du Silurien (B2, B1, A2, A1, M2, M1) dont le meilleur réservoir se situe dans le niveau À, lequel est constitué de barres gréseuses de plate forme marine (hauteur utile pouvant atteindre 50 m, porosité comprise entre 10 et 15%).
- Les réservoirs profonds du Cambro-Ordovicien constitués par la dalle de M'Krata et surtout les quartzites de Hamra dont l'intérêt est lié à leur épaisseur importante (200 à 250 mètres) et à leur fracturation intense.
- Les hydrocarbures reconnus sont :

De l'huile et du gaz à condensât dans le TAGS et l'infra-TAGS de Rhourde Nous Centre; Du gaz à condensât dans le TAGS et l'infra-TAGS de Rhourde Adra ; De l'huile et du gaz à condensât dans le TAGS de Rhourde Nous Sud Est et Rhourde Nous Sud Ouest ; De l'huile dans l'infra-TAGS de Rhourde Nous Sud Est (Trias et Silurien A); Du gaz à condensât et un peu d'huile dans les Quartzites de Hamra de Rhourde Nous Centre Rhourde Nous Sud Est et Sud Ouest, de Rhourde Adra et de Meksem.

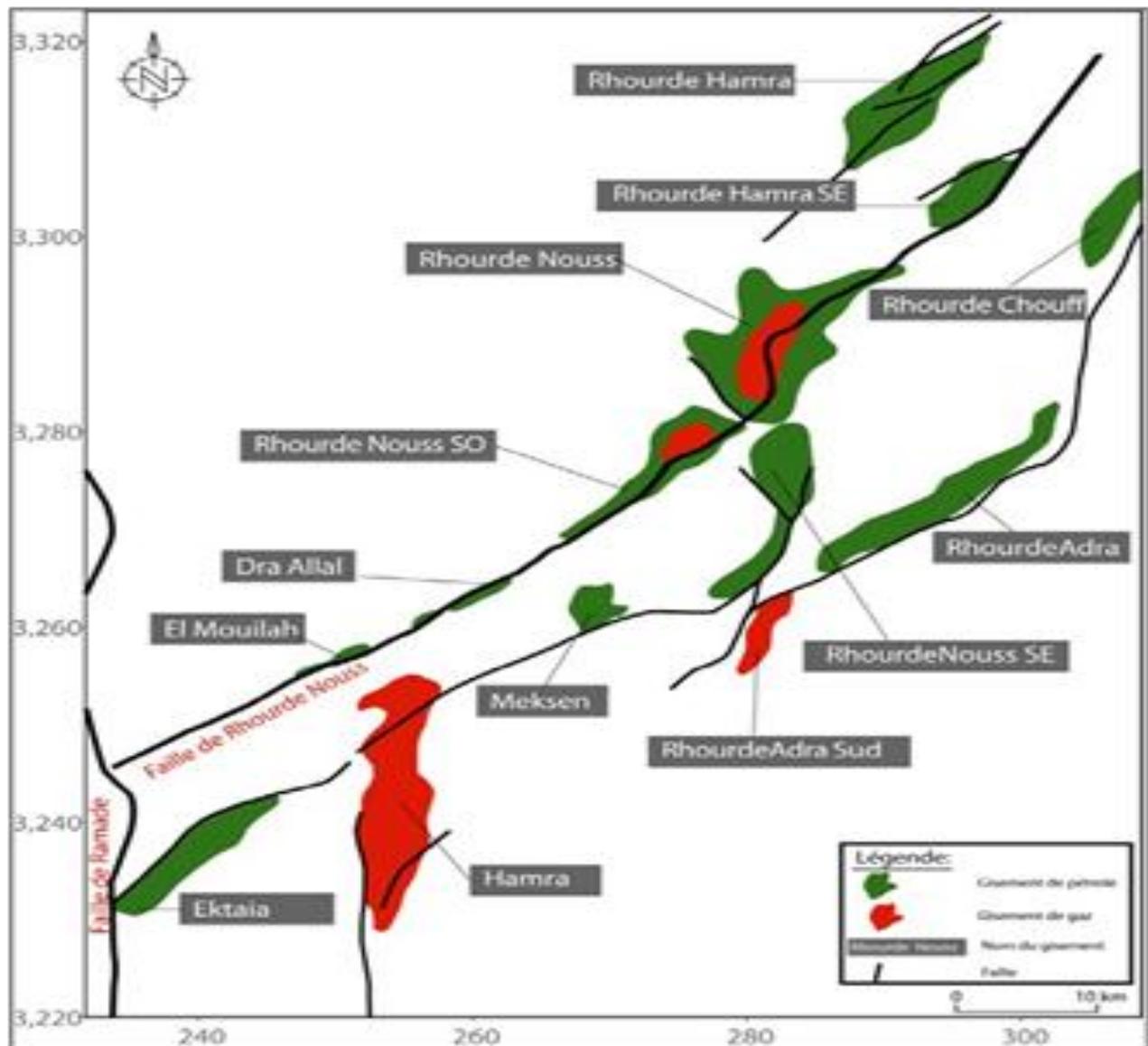


Fig I.5: Carte de gisements d'hydrocarbures associés au trend de Rhourde Nous.

(Document.Sonatrach)

Chapitre II: Approche structurale du trend de Rhourde Nouss.**II.1 Le bassin de Berkine:**

Le bassin de BERKINE (ex GHADAMES) se situe dans l'erg oriental, du Sahara Algérien entre les latitudes 29° et 34° Nord et les longitudes 5° et 10° Est, à l'Est des champs de Hassi Messaoud, Rhourde El Baguel et Rhourde Nouss. Il s'étend sur trois pays, la partie occidentale située en Algérie, la partie orientale située en Libye et la partie septentrionale au sud de la Tunisie.

Du point de vue géologique, le bassin de Berkine, est de type intracratonique (Wec 2007), il est situé dans la partie Nord- Est de la plateforme saharienne, sa superficie globale est de 102395 Km².

Le bassin est limité :

- Au Nord, par la bordure Sud de la voûte de Dahar.
- A l'Est, par le bassin de Syrte entre la Tunisie et la Libye, avec une série de failles de direction NW-SE.
- Au Sud, par le môle de d'Ahara qui le sépare du bassin d'Illizi.
- A l'Ouest, par le môle d'Amguid El Biod-Hassi Messaoud.

L'évolution tectonique du bassin de BERKINE est liée à la tectonique globale de la plateforme saharienne. D'après la synthèse structurale du Beicip-Franlab (1975), Boudjemaa (1987) et Saifi (2006), la plateforme saharienne a été soumise à plusieurs phases de déformation :

Le bassin de Berkine est caractérisé par l'opposition très nette entre deux domaines dont le style structural est celui d'une tectonique de socle qui sont :

- Le domaine Ouest fortement structuré, où les accidents présentent des rejets très importants (500m ou plus) et les fermetures verticales des structures peuvent être gigantesques (900m a Rhourde Nouss).
- Le centre du bassin où la structuration est beaucoup plus faible, avec une remontée monoclinale prononcée vers le sud.

Les structures affectant la couverture sédimentaire sont associées à des failles profondes ; la plupart des structures sont polyphasées.

Les directions tectoniques du bassin de Berkine sont:

-La direction subméridienne : elle est surtout visible au Sud-Ouest du bassin dans le prolongement Nord du mole d'Amguid el Biod ; les accidents et les structures associées à cette direction sont de grande ampleur (faille de Ramade, Hassi chergui/Gassi Touil).

-La direction Nord-Est : Evoluant de N30 à N60 et interférant avec le système d'accidents subméridiens dans l'Ouest du bassin; ces failles représentent la principale famille d'accidents dans le centre du bassin et le Nord du bassin. Les structures associées à cette orientation peuvent être de grande ampleur à l'Ouest du bassin (Rhourde El Baguel, Rhourde Adra, , Brides); elles sont de faible dimension dans le centre du bassin (Bir Rebaa Nord).

Des orientations d'importance secondaire ont également été mises en évidences : -N70 : Cette direction se ressent particulièrement dans la région de Rhourde Nouss. Tel le trend recoupant le périclinal Nord de la structure de Taouil et dans la région de Menzel Ledjmet.

-La direction subéquatoriale : développée au Sud-Est sur le môle d'Ahara, et à l'Ouest sur le trend de Tartrat.

-La direction N150 : elle est observable dans le secteur Nord-Est du bassin au niveau des trends de Keskassa, Bir Rebaa, Zemlet El Arbi et Bir Berkine Nord-Rhourde Naga.

Tous les accidents décrits ci-dessus affectent le bassin de Berkine et ont pour conséquence la création de dépressions au SW et des hauts fonds au NE qui vont influencer sur la sédimentation.

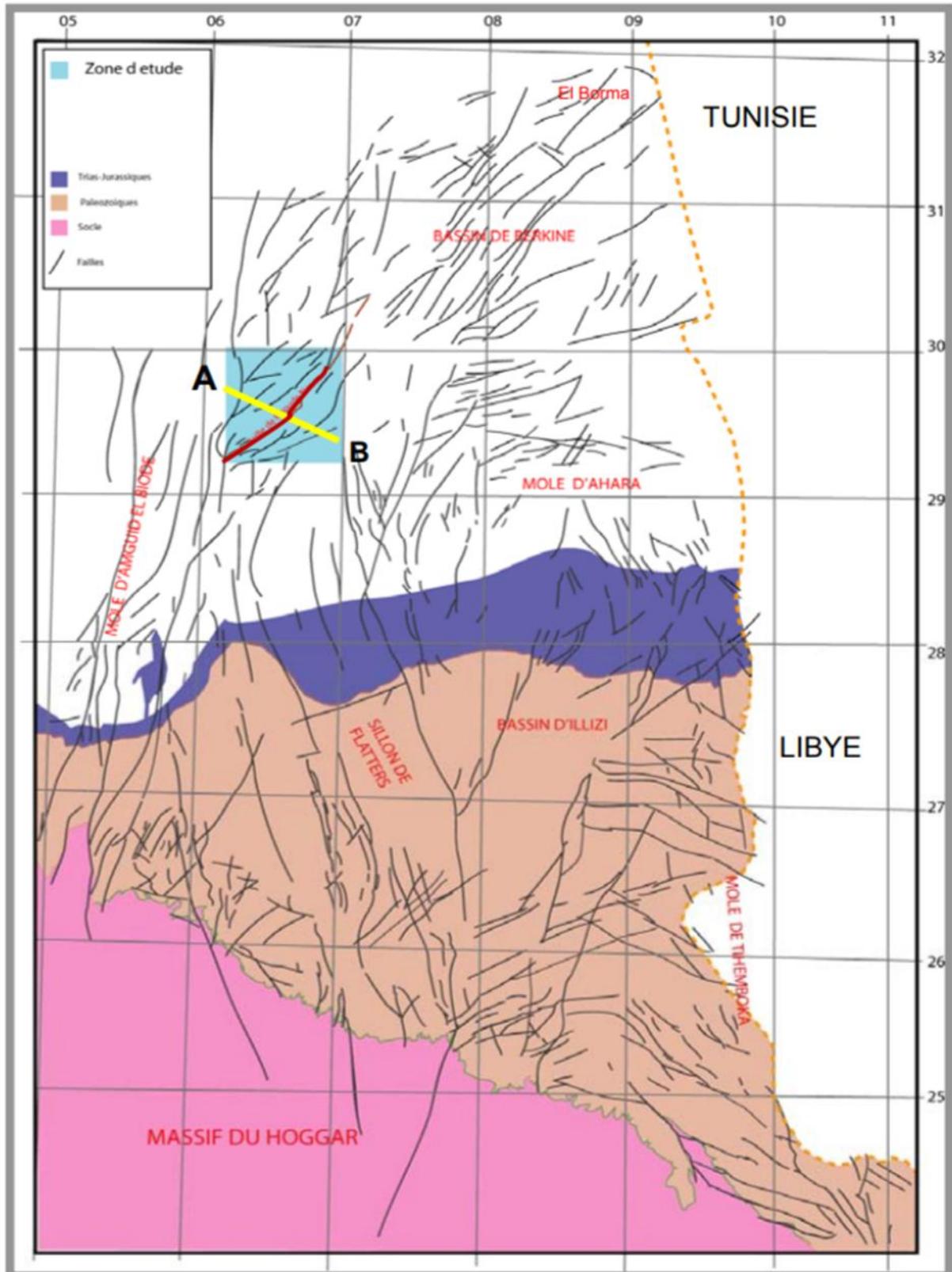


Fig.II.1: Schéma structural des bassins de Berkine et d'Ilizi au toit de l'Ordovicien et situation de la zone d'étude.

L'histoire structurale de la région de Rhourde Nous a une relation directe avec celle du môle d'Amguid. Il a d'ailleurs subi d'intenses transformations à travers les âges géologiques et a façonné à son tour une bonne partie de la plate-forme saharienne. Il est caractérisé par une grande mobilité et a fortement joué lors des différentes phases tectoniques, notamment au cours de la phase autrichienne.

Quant à la structure de Rhourde Nous Centre, elle se situe à l'intersection d'accidents orientés suivant les deux directions, ce qui explique probablement son ampleur exceptionnelle avec une fermeture structurale de plus de 1 000 mètres. La figure 2 montre le type de complexité structurale apparaissant sur Rhourde Nous. Elle nous montre aussi que le trend structural de Rhourde Nous est compris entre le sillon de Merfag et le sillon de Rhourde Adra.

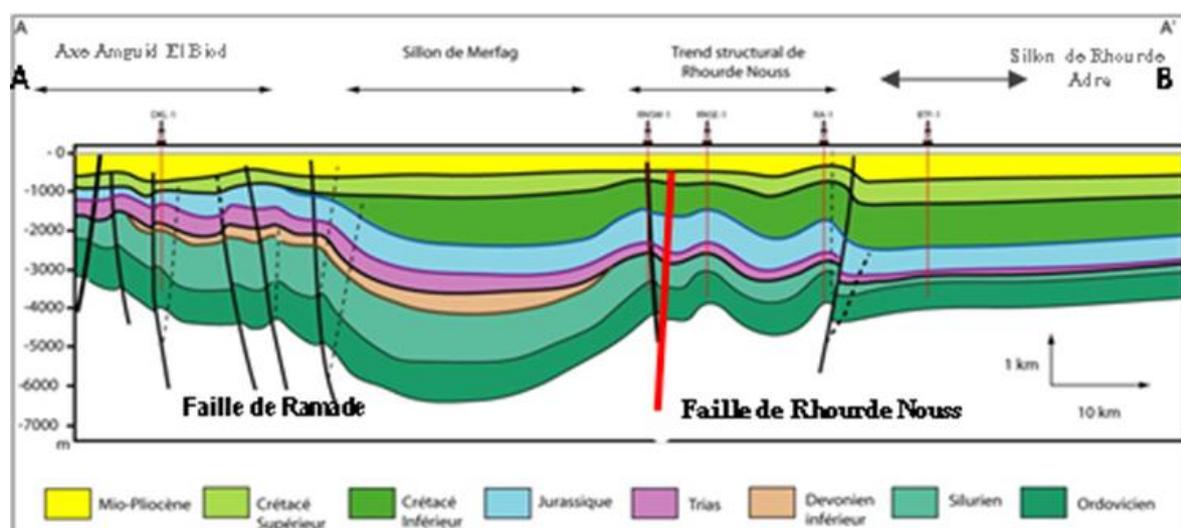


Fig.II.2: Coupe structurale recoupant le trend de Rhourde Nous.

II.2 La structure du trend de Rhourde Nous:

La faille de RN constitue un élément structural majeur de la partie SW du Bassin de Berkine. A l'échelle du bassin, cette faille représente la partie sud d'un trend structural régional majeur de direction NE-SW qui se prolonge sur plusieurs centaines de kilomètres jusqu'à la frontière algéro-tunisienne (région d'el Borma). Deux directions majeures NE-SW et N-S coexistent le long de ce trend.

L'architecture actuelle de ce trend est principalement, le résultat de deux phases (Boudjemaa, 1987.):

-La phase transgressive autrichienne d'âge Crétacé inférieur (Fini Barrémien) de direction E-W.

- La phase alpine d'âge tertiaire de direction NE-SW à N-S.

Ce trend est limité par deux zones subsidentes. qui sont le sillon de Merfag à l'ouest et le sillon de Rhourde Adra à l'est. Vers le SW, il se connecte avec la faille de Ramade de direction N-S; autre élément structural majeur, rattaché au trend d'Amguid-EI Biod.

Le trend de Rhoud NOUS est formé d'un relais d'accidents majeur s'associés à des plis en échelon faiblement oblique sur cet axe. Les plis qui soulignent ce trend sont représentés au sud, par les structures d'EI Mouileh, de Draa Alla et Rhourde Nouss SW et au nord par les structures de Rhourde Nouss NE et Rhourde Hamra.

Deux orientations structurales prédominent:

-Direction subméridienne qui correspond à la direction de la faille de Ramade à l'Ouest (Fig.II.3) dont le rejet peut atteindre 2000 m, de la structure de Hamra au Sud et de la faille qui la borde sur son flanc Ouest, des structures de Rhourde Nouss Sud-Est et Rhourde Nouss, de l'accident de Hassi Chergui Gassi Touil au Nord de la zone d'étude. Ces failles présentent un caractère inverse très marqué lié à la compression crétacée. Les structures associées sont des plis de vaste dimension et d'assez forte amplitude ;

-Direction NE-SO: Plusieurs trends structuraux (Fig.II.3), présentant cette orientation recoupent la zone d'étude. Les principaux sont : le trend A reliant la bordure Nord-Ouest de Rhourde Nouss à Rhourde Hamra, l'accident B jalonné par les structures d' El Mouilah, Dra Allai, Rhourde Nouss Sud-Ouest se séparant en différentes branches au-delà de Rhourde Nouss, le trend structural C reliant Ektaïa, El Asset, Meksem, la culmination de RN 3, Rhourde Adra.

Ces accidents, dont le caractère inverse ou normal varie fréquemment le long du même plan de faille, présentent souvent des caractéristiques de décrochement, ce qui correspond ici encore à la phase compressive principale du Crétacé orienté N090, le mouvement s'étant vraisemblablement traduit par un coulissage dextre le long des accidents NE-SO. Les structures associées sont de plus faibles dimensions que précédemment mais peuvent être très

accusées. Il est à noter que certains de ces accidents ont joué en compression avec des plis associés postérieurement au Crétacé.

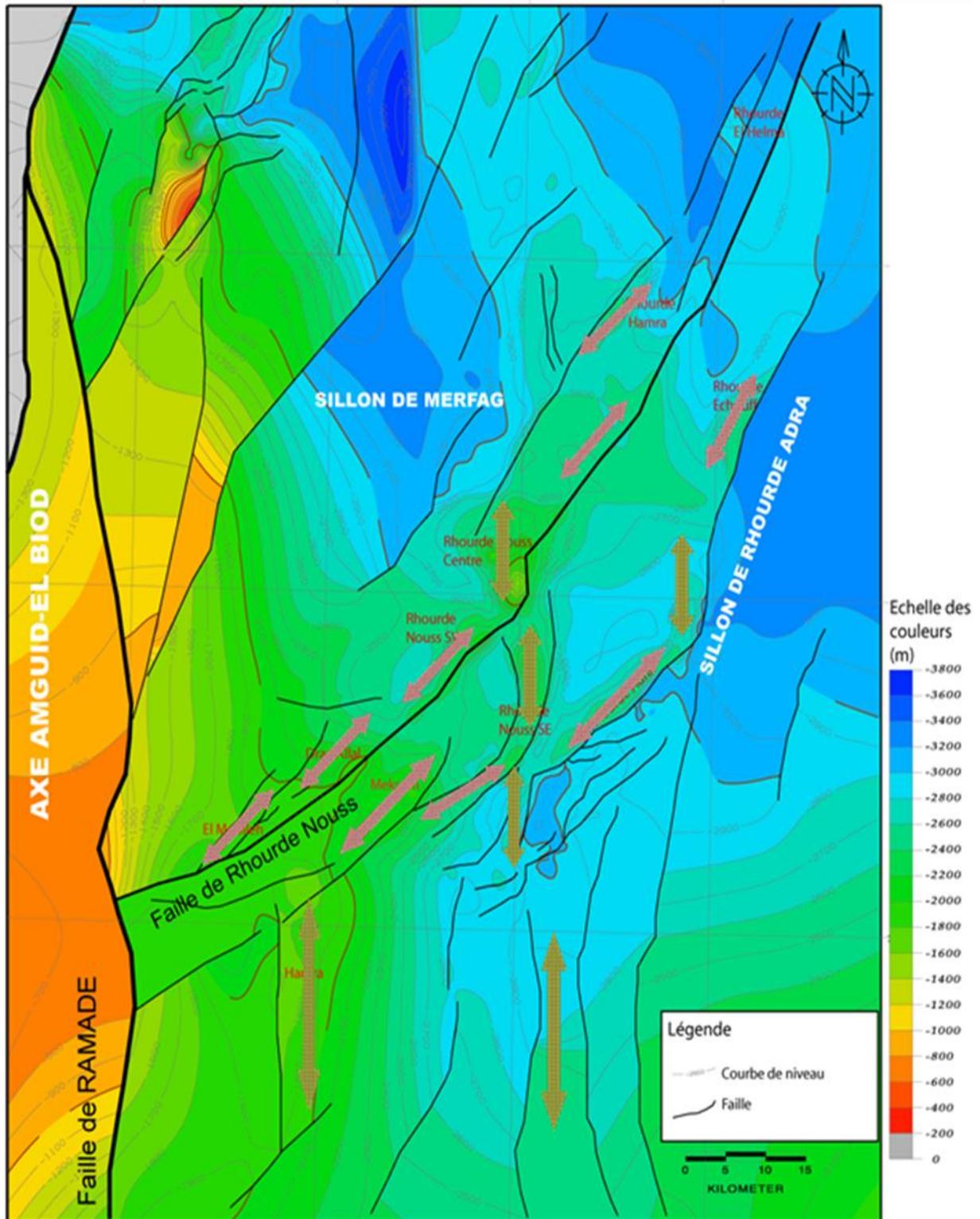


Fig.II.3: Carte structurale (isobathes) au toit de TAGS de la partie SW du bassin de Berkine.

II.3 Les grands trends structuraux: (Fig. II.4)

La région de Rhourde présente une grande complexité structurale, les études précédentes ont mise en évidence la présence de trois trends anticlinaux : En d'autres termes la région vue la grande complexité structurale, Trois trends anticlinaux s'individualise :

II.3.1 Le Trend A:

Il a une extension relativement limitée, il rejoint la bordure Nord-Ouest de Rhourde Nouss et Rhourde Harnra.

II.3.2 Le trend B:

Il a une extension régionale, il jalonne successivement les structures suivantes : El Mouileh, Dra Allai, Rhourde Nouss Sud-Est, Rhourde Nouss Centre, Rhourde Hamra Sud-Est. En allant vers le Nord le trend se ramifié en plusieurs branches.

II.3.1 Le trend C:

Il possède la même extension que le précédent mais plus ramifié, il relie les structures de El Kataia, Harnra, Meksem et Rhourde Adra.

• Suivant les trois trends structuraux, la région de Rhourde Nouss est subdivisée en trois secteurs structuraux distincts:

1) le secteur central Un étroit couloir fortement tectomisé, de 20 Km de largeur, limitée de part et d'autres par les trends B et C, il englobe le grand nombres des culminations découvertes.

2) le secteur nord-Ouest: se présente au Nord du Trend B, il s'agit d'un vaste monoclinale formé d'un axe positif secondaire lié à une faille inverse d'orientation Nord-Ouest/Sud-Est qui s'amortie rapidement vers le sillon de Marfag ou les dépôts paléozoïques sont très développés (Ordovicien 500 mètres et Siluro-Devonien à 1500 mètres).

3) le secteur Sud-Est: correspond à un monoclinale déformé (structure de Harnra, et il s'étendue du sud vers le Nord.

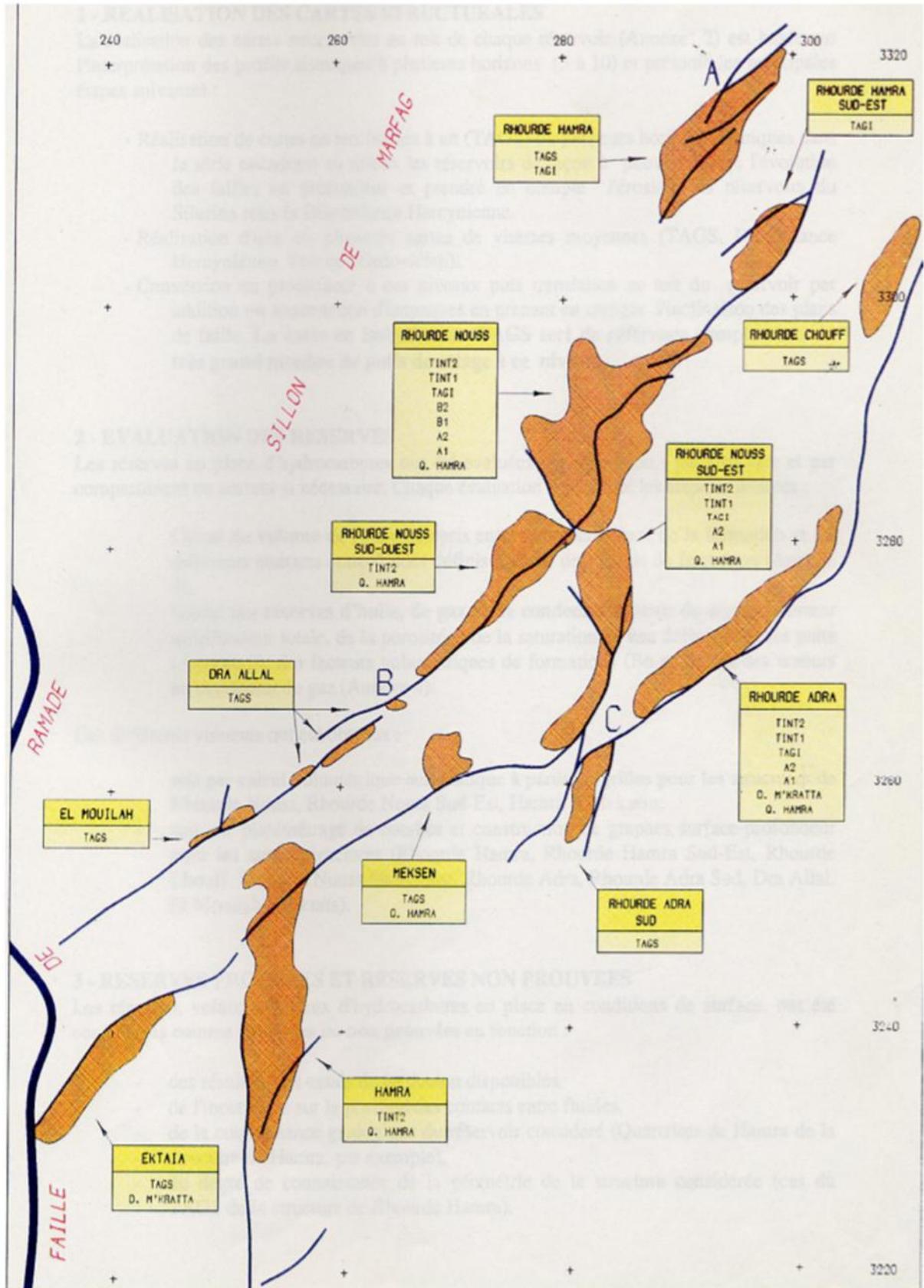


Fig.II.4: Les différents trends structuraux de la région de Rhourde Nouss.

II.4 L'histoire structurale de la région de Rhourde Nouss: (Fig.II.5, Fig.II.6).**II.4.1 Au cours de Paléozoïque:**

Un vaste monoclinal incliné vers l'Ouest a été installé de part et d'autres du secteur centre, et qui a abouti l'identification des deux autres secteurs Sud-Est et le secteur Nord-Ouest. ; Le rejet des failles majeures B et C en normal a conduit probablement à une faible structuration.

Pendant la phase hercynienne, et sous l'influence du soulèvement de la plateforme et l'érosion généralisée, la région de Rhourde Nouss est bien marquée par l'absence des termes allant du Dévonien au Carbonifère, et l'individualisation de la plupart des structures actuels suite au un jeu de décrochement dextre.

Sur le plan pétrolier ces mouvement ont participé à la dismigration des hydrocarbures Paléozoïques au niveau du réservoir en Siluro-Dévonien.

II.4.2 Au Mésozoïque:

Pendant le Trias, un basculement régional de Sud vers le Nord exprimé par l'on lap général du Trias et le rejet des failles normales des accidents B et C. Ce qui a conduit à l'apparition de la structure de Rhourde Nouss Sud-Ouest (Beicip, 1991) avec un épaissement des évaporitiques vers le Nord (Fabre, 1976) et la disparition des séries sous-jacente sur les blocs de Rhourde Nouss Sud-Est.

Le Jurassique est marqué par une variation brutale de l'épaisseur du Lias Salifère de part et d'autres des failles normales liées à l'accident majeure C. Les forts rejets concourent à l'apparition de structure Rhourde Adra et Rhourde Adra Sud

La région de Rhourde Nouss, a subi d'intenses déformations et en particulier une forte compression de la phase autrichienne au Crétacé inf (fin Barrémien) ; d'orientation proche de l'Est-Ouest et ayant réactivé les failles préexistantes B et C, accompagné par un soulèvement des blocs qui ont subi ensuite une intense érosion (Rhourde Nouss Centre, et Rhourde Nouss Sud-Ouest). Le rejet des accidents Nord-sud en inverse de la faille subméridienne de Rhourde Nouss Sud-Est a conduit à la formation de plissement (Beicip, 1991).

La figure 11 montre la cinématique de déformation au cours de Crétacé Inférieur ce qui traduit dans la région de Rhourde Nouss Centre et de Rhourde Nouss Sud-Est par des plis en

relais compressifs pris entre le décrochement dextre. Marquées dans la couverture par des plis Nord-Sud ainsi que des failles inverses Nord-Sud.

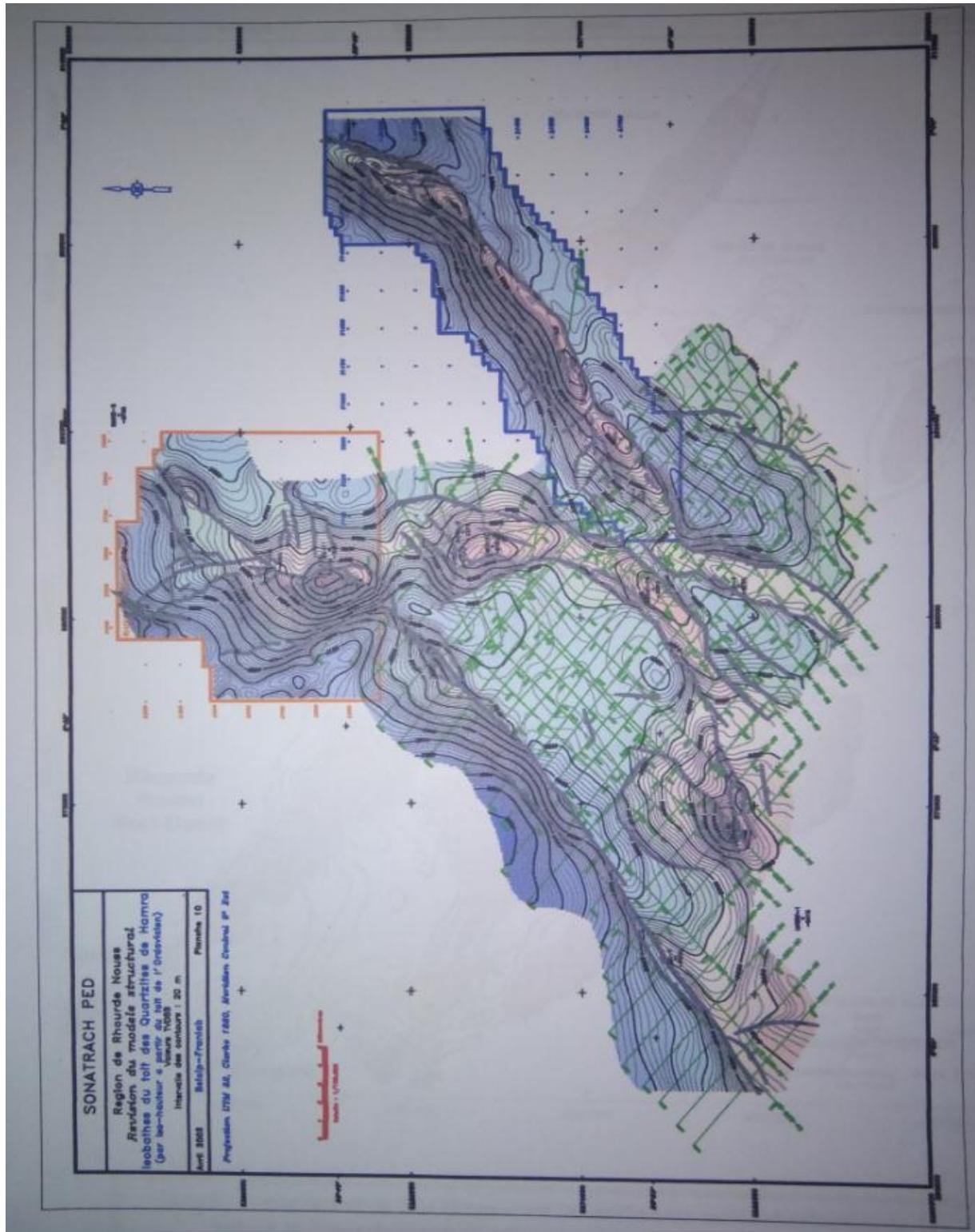


Fig.II.5: Carte en isobathe au toits des quartzites de hamra (BEICIP/Sonatrach PED,2002).

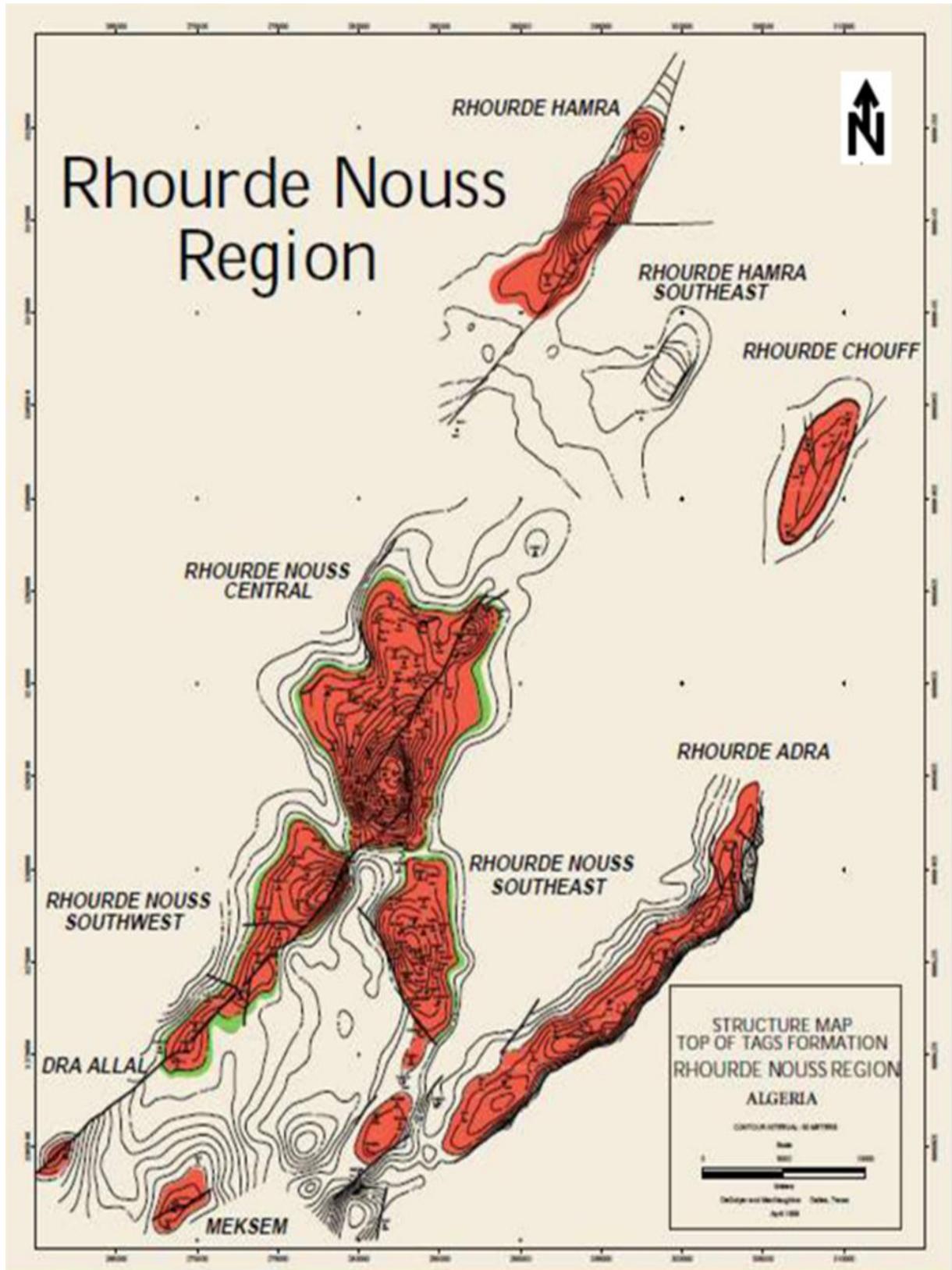


Fig.II.6: Carte au toit du TAGS montrant les différentes unités structurales de la région de Rhourde Nouss. (De Galyer et Mac Naughton, Avril 1998).

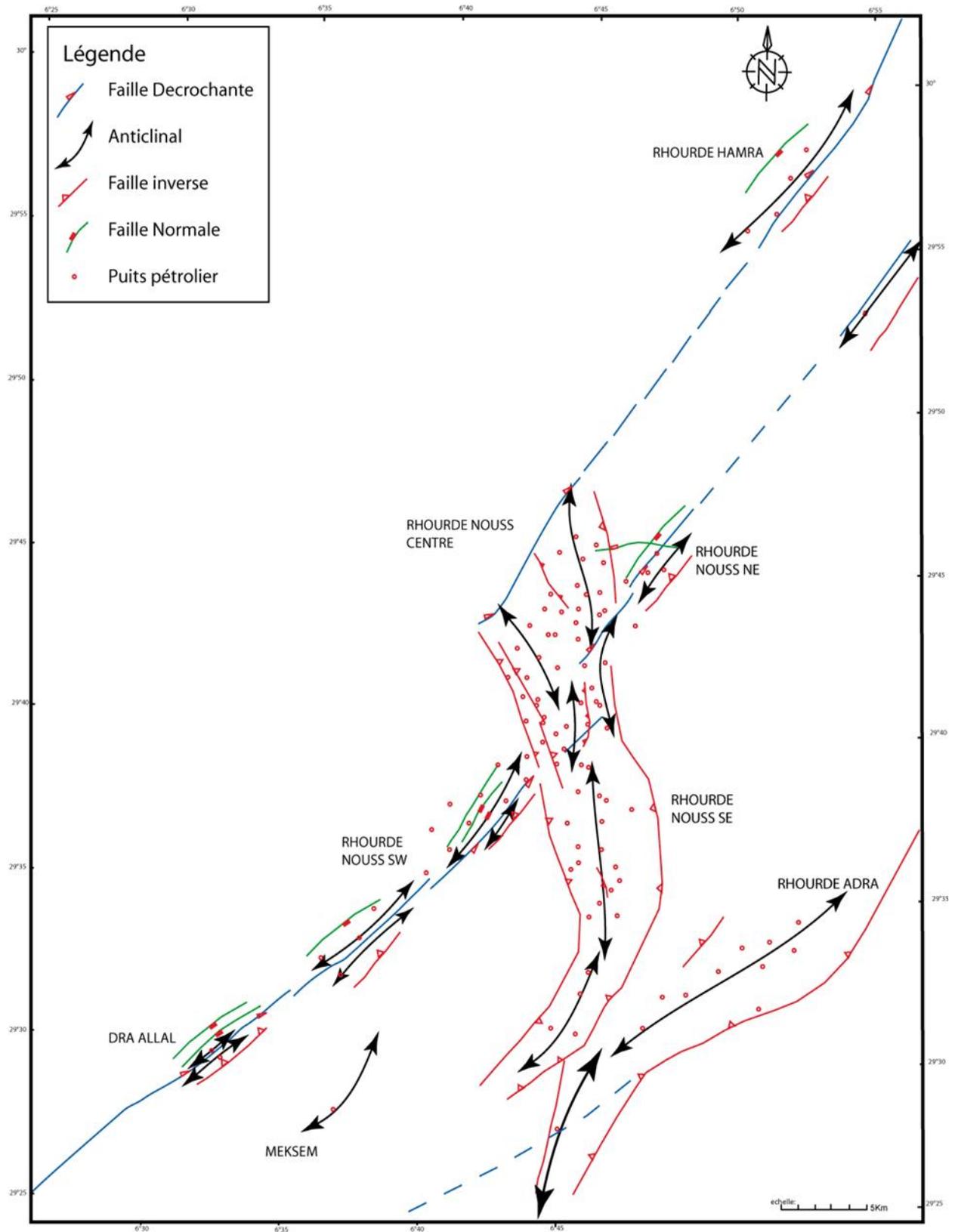


Fig.II.7: Cinématique de la déformation de la region de Rhourde Nous au cours du Crétacé inferieur (Sonatrach, 2000).

Sur le plan pétrolier, les structures principales de la région ont été fermées. En parallèle, le drainage et le piégeage des hydrocarbures ont lieu dans le sillon de Marfag et la partie Sud-est de Berkine, de même que la migration des hydrocarbures dans la région de Rhourde Nouss.

II.4.3 Au Cénozoïque:

Au cours du Tertiaire, d'importantes déformations dues à par un basculement régional vers l'Ouest, ont engendré le rejet de la faille de Ramade. Celle-ci associée à une relaxation des principales contraintes (phase atlasique).

La série Tertiaire a été différenciée suite aux mouvements tectoniques de la phase Alpine.

Sur le plan pétrolier, une grande partie des hydrocarbures générés a été piégés dans les culminations récemment structurées ainsi une fenêtre à gaz grâce à T important flux thermique qui a été généré. La géométrie des pièges de Crétacé a été modifiée.

II.5 Les différentes unités structurales de Rhourde Nouss:

II.5.1 Rhourde Nouss Centre (RNC): (Fig.II.7, Fig.II.8).

Situé entre les trends A et C, c'est une unité structurale très complexe, elle est associée à l'intersection d'une faille inverse profonde de direction Nord-Sud et d'un accident décrochant orienté Nord-Est/Sud-Ouest.

Elle est caractérisée par une géométrie dissymétrique suivant les deux dimensions : le flanc Est est très raide associé à la faille inverse majeure, s'oppose au flanc Ouest de pendage plus régulier ; le cœur de la structure est décentré vers le Sud ou la déformation est maximale en opposition avec le flanc plus calme.

La faille inverse majeure a été traversée par le puits RN 101 qui a rencontré la série ordovicienne redoublée au niveau de Quartzites d'Hamra avec un rejet vertical de 300 mètres (et un pendage proches à 45° (Fig.II.7) ce qui traduit une zone de chevauchement ou le compartiment occidental haut recouvre le compartiment oriental bas.

La faille est clairement identifiable au niveau du toit de l'Ordovicien et du toit des Quartzites du Hamra. Elle monte dans la série avec des ramifications secondaires ; recoupe le TAGS et s'atténue dans le Lias salifère, alors que dans la partie Ouest ces failles inverses ne s'atteignent pas le TAGS (Fig.II.8).

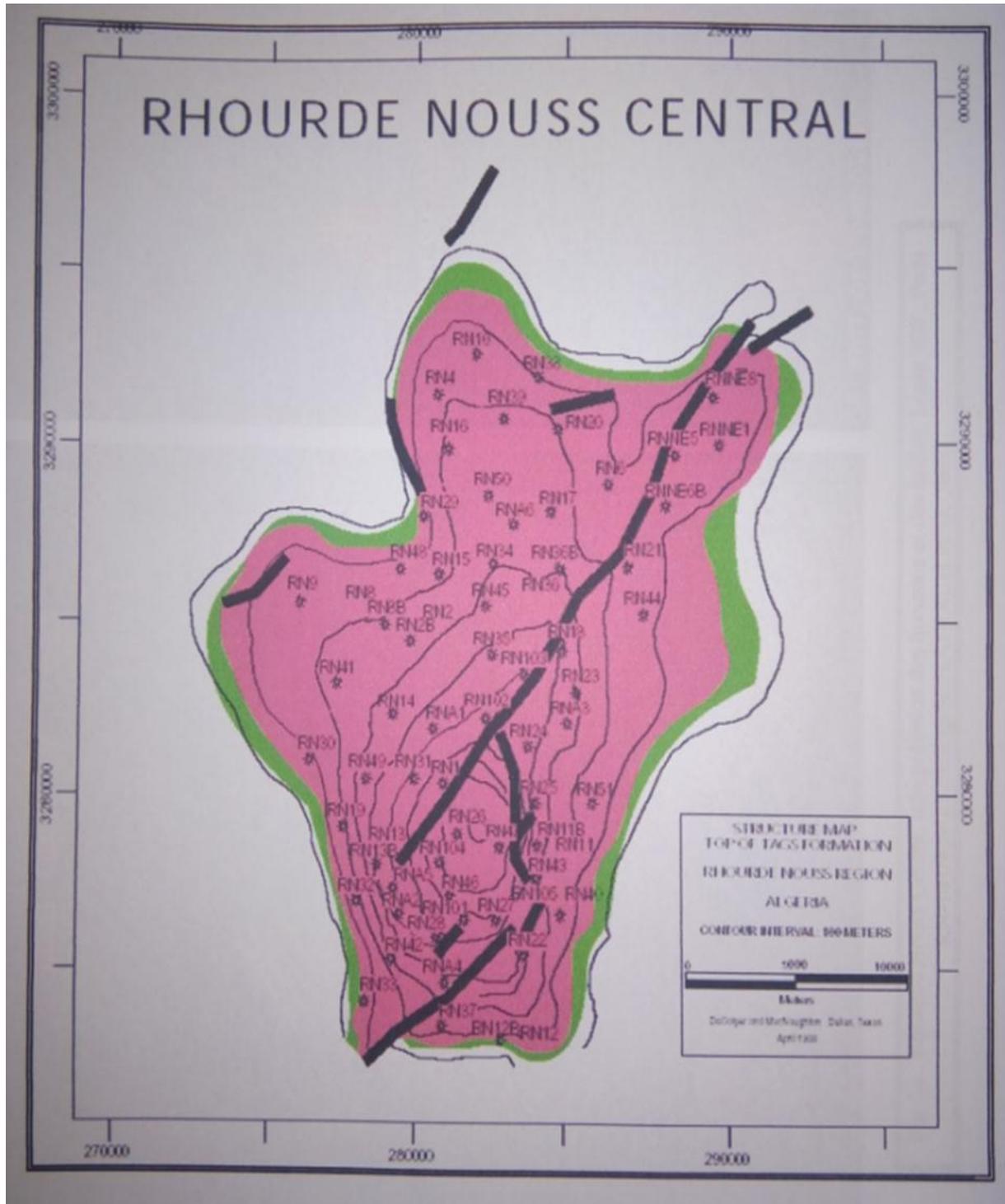


Fig.II.7: La structure de Rhourde Nous centre au toit du TGAS. (De Galyer et Mac Naughton, Août 1997).

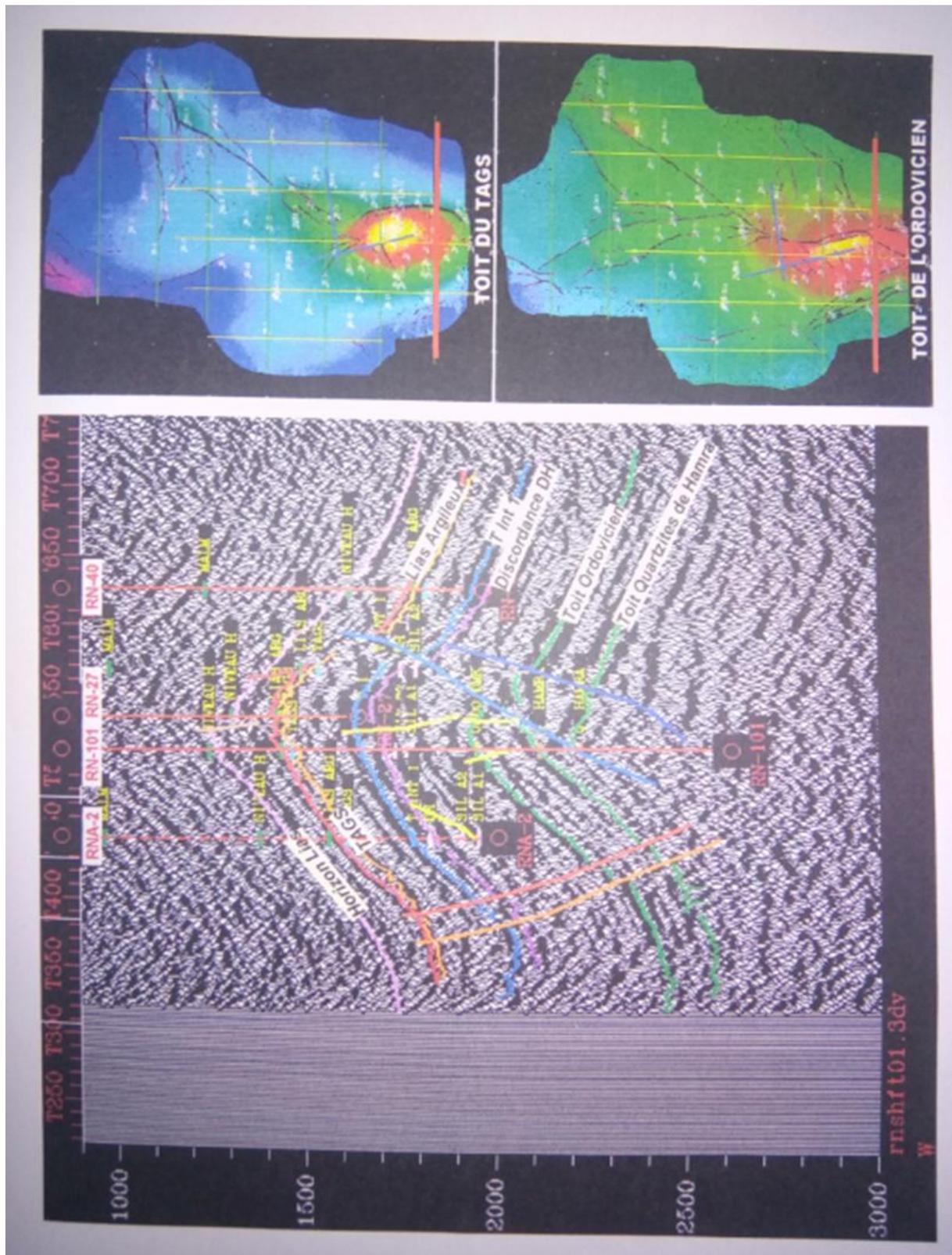


Fig.II.8: Rhourde Nouss Centre, Interprétation des horizons et des failles, Ligne 900; Puits RN-101/RN-27(Beicip / Sonatrach PED ,2002).

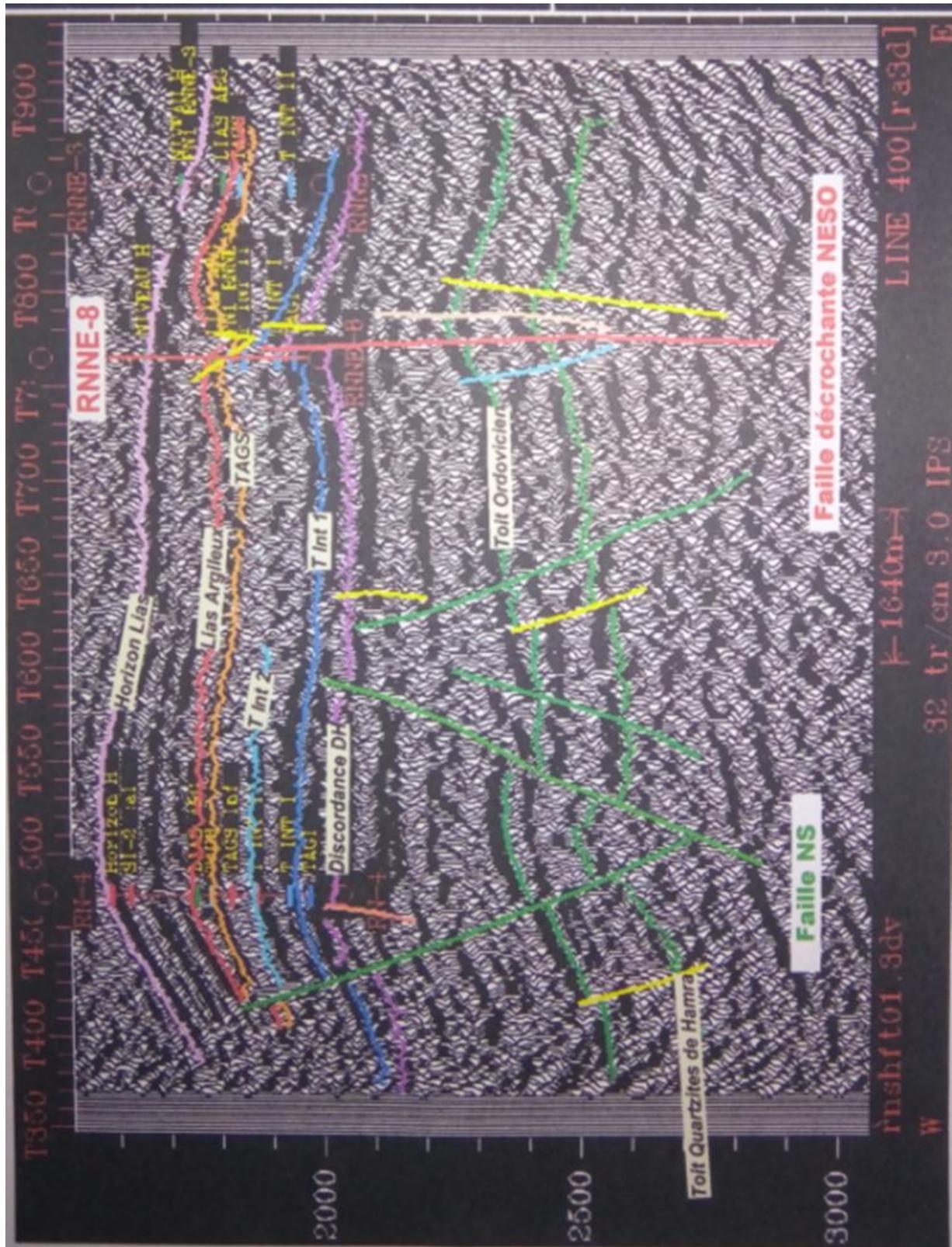


Fig.II.9: Rhourde Nouss Centre, Interprétation des horizons et des failles, Ligne 400; Puits RNNE-8 (Beicip/Sonatrach PED ,2002).

La structure se prolonge vers le Sud en direction de Rhourde Nouss Sud/Ouest et Rhourde Nouss Sud/Est.

La structure de Rhourde Nouss Centre, se situe à l'intersection des accidents orientés suivant les deux directions Nord-Sud et Nord-Est/Sud-Ouest, ce qui explique son ampleur exceptionnelle de la structure.

II.5.1.1 L'évolution géométrique de la structure:

a) A l'Ordovicien: (Fig.II.10).

On remarque la superposition de deux familles d'accidents Nord/Sud et Nord-est/Sud-ouest, avec une grande continuité de ces failles qui a permis l'individualisation 03 compartiments distincts:

-Le compartiment Occidental:

Limité au Sud au Nord par la faille inverse majeure Nord/Sud ; puis par l'accident décrochant II est caractérisé par une forte remontée vers le Sud ou les principaux réservoirs ont été reconnus. Ce compartiment culmine au toit des Quartzites d'Hamra à-2800 m au Nord.

-Le compartiment Oriental:

Traverse une faille inverse secondaire en Ordovicien, il est limité vers l'Ouest par la faille inverse Nord-Sud dont il constitue le panneau bas. Au Nord par l'accident décrochant Nord-est/Sud-ouest dont il constitue le coté haut, alors que sur son flanc Est, plusieurs failles Nord 70° à faible rejet ont été mise en évidence.

-Le compartiment Nord :

C'est le compartiment le plus bas, il présente une forme triangulaire entre deux failles majeures, une faille inverse Nord-Nord-ouest et l'accident décrochant Nord-est/Sud-Ouest.

b) Au Trias Argilo-gréseux Supérieur (TAGS): (Fig.II.11).

Les failles sont discontinues, elles sont à faible rejet, et présentent trois directions:

1. Une direction Subméridienne, dans le Sud au niveau de la faille inverse majeure.

2. Une direction Nord-Est/Sud-Ouest, qui recoupe la structure par un réseau d'accidents discontinus.

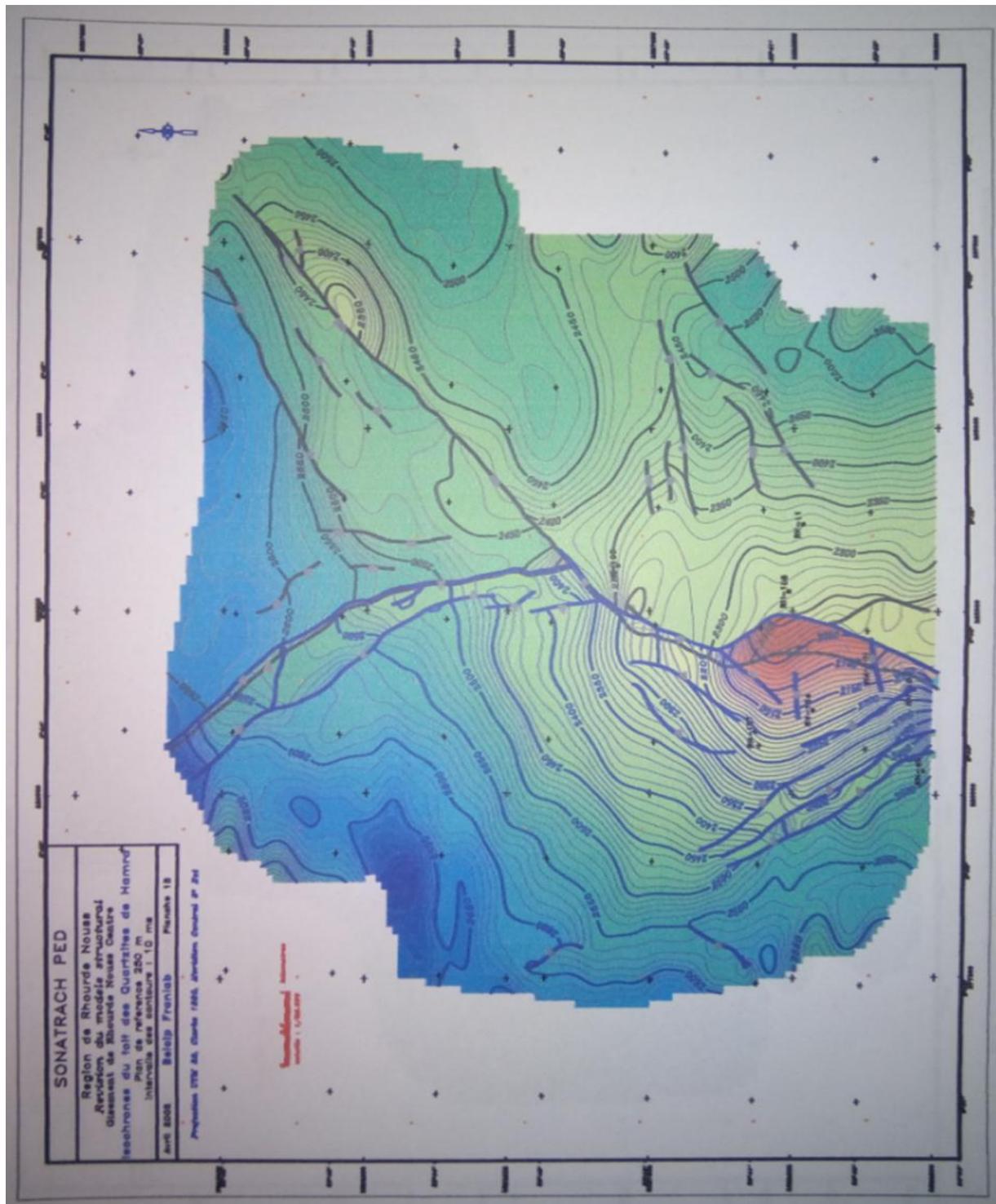
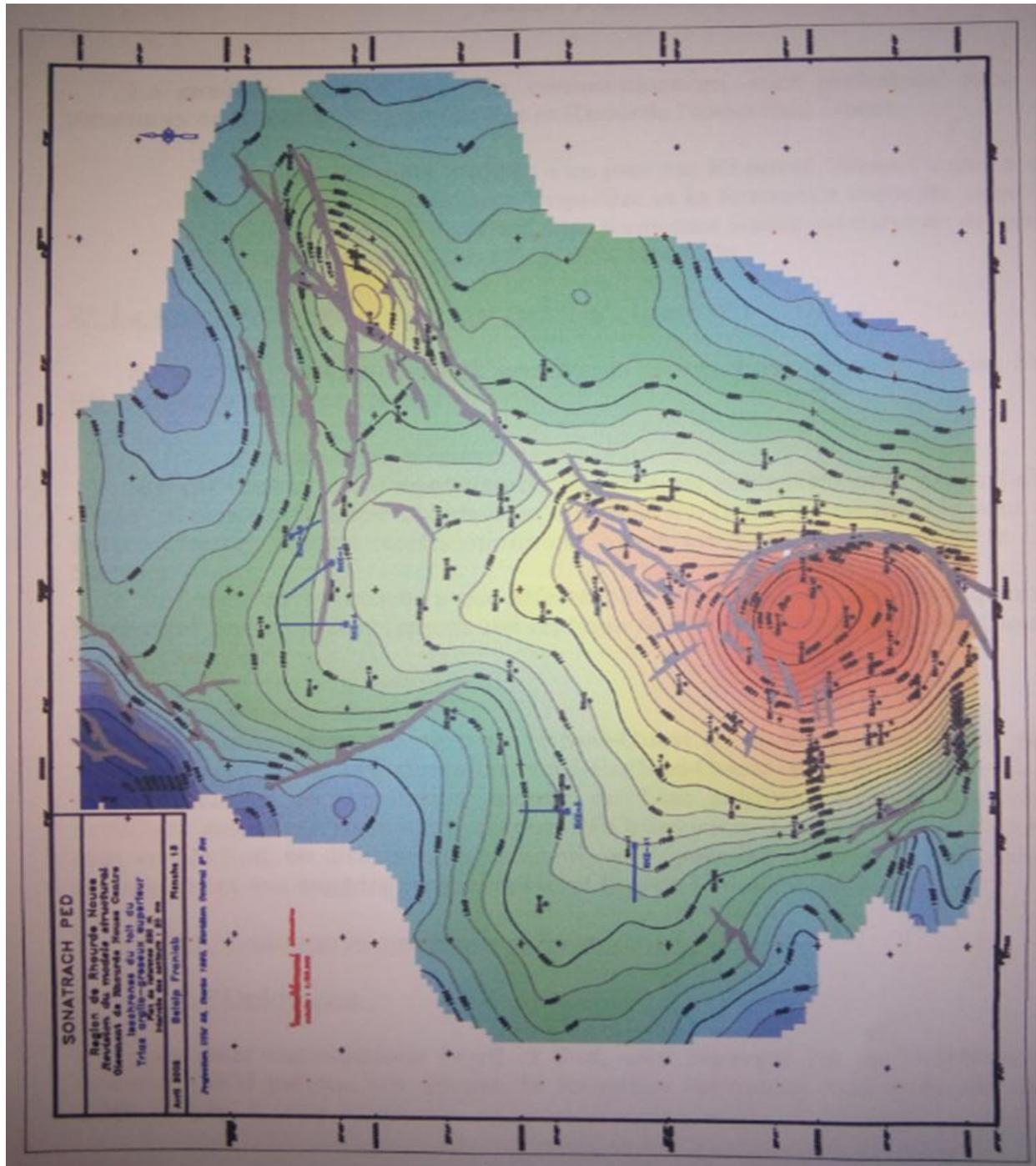


Fig.II.10: Carte en isochrone au toit des Quartzites de Hamra de la région de Rhourde Nouss (Beicip/Sonatrach PED, 2002).



❖ Tous les puits réalisés à ce jour sur Rhourde Nouss Centre n'ont pas mis en évidence l'aquifère et la fermeture verticale serait de l'ordre de 700 mètres, une fermeture isolée est mise en évidence au niveau de Rhourde Nouss Nord-Est.

II.5.2 La structure de Rhourde Nouss Sud- Est: (Fig.II.12).

Suite à une subsidence différentielle, la structure de Rhourde Nouss Sud-Est comporte deux anticlinaux:

-Un anticlinal Nord:

Le plissement est d'âge Crétacé, son axe est subméridien. Deux failles d'une orientale et l'autre occidentale affectent les flancs de ce pli. Ce sont des failles inverses à forts rejets, minimum 50 mètres s'amortissent dans le Lias Salifère.

Le cœur de la structure est affecté par une faille inverse pratiquement Nord-Sud, qui est probablement une réplique Sud de la faille inverse de Rhourde Nouss Centre.

-Un anticlinal Sud:

D'une orientation brutale vers le Sud-Ouest ou se développe un pli étroit d'âge Tertiaire, avec une direction Nord-Est/Sud-Ouest et une longueur de 2,5 Km. En raison de l'épaisseur réduite du Lias salifère, le rejet des failles bordières augmente fortement surtout à l'Ordovicien. L'anticlinal se poursuit-loin vers le Sud, en direction de Meksem, ou l'épaisseur réduite du Lias Salifère le long de cet axe suggère un jeu en Horst lors de la distension Liasique.

II.5.1.2 L'évolution géométrique de la structure : (Fig.II.12).

a) A l'Ordovicien :

Les deux culminations Nord et Sud, sont séparées par un ensellement à environ -3500 mètres, tan disque, la fermeture structural est proche du côte -3466 mètres.

- La structure principale est recoupée par plusieurs failles inverses parallèles aux failles bordières ou transverses sur le periclinal Nord. L'existence de ces failles est un facteur propice à la présence d'un dense réseau de fracture favorable à la production de ces réservoirs (Quartzites d'Hamra) profond de faibles caractéristiques pétrophysiques matricielles.

b) Au TAGS : (Fig.II.13, Fig.II.12).

Est séparée au Nord du Rhourde Nouss Centre par un étroit ensellement Nord/Sud. Les plans d'eaux entre la structure de Rhourde Nouss Centre (flanc oriental) et Rhourde Nouss Sud/Est laissent supposer que les anneaux d'huiles sont les mêmes partout, ils ne sont pas en communication structurale directe.

Vers le Sud, un ensellement secondaire à été reconnu, celui-ci sépare la structure principale de son extension Sud, mais semble insuffisant pour expliquer la différence des contacts (GOC à -2462 m et OWC à -2466 m). La présence d'intervalles argileux au sommet du réservoir peut probablement contribuer à une séparation partielle des accumulations. Cette extension tend vers Meksem en s'approfondissant rapidement et s'arrête en Lias argileux.

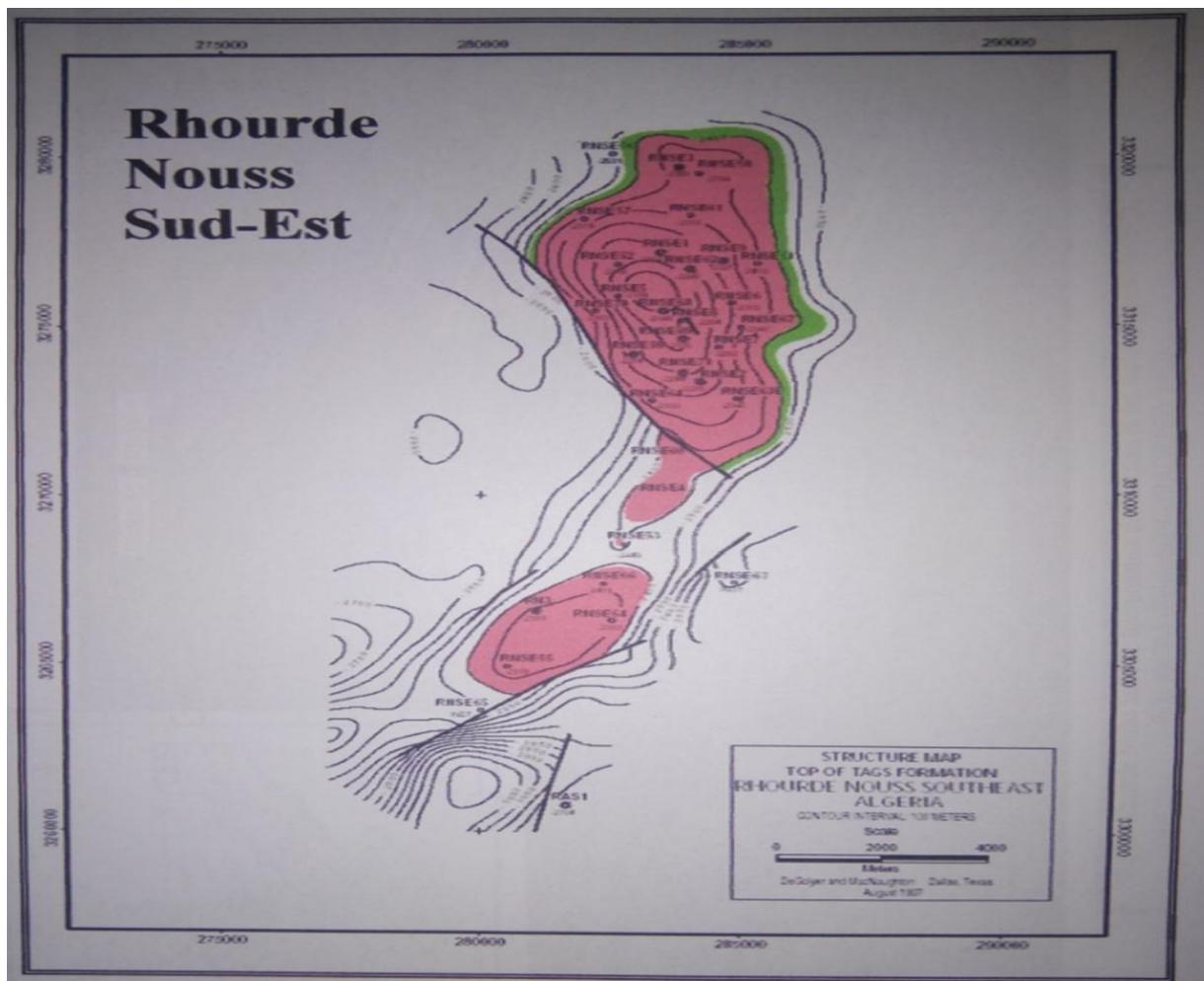


Fig.II.12: La structure de Rhourde Nouss Sud-Est au toit du TAGS (De Galyer et Mac Naughton, Août 1967).

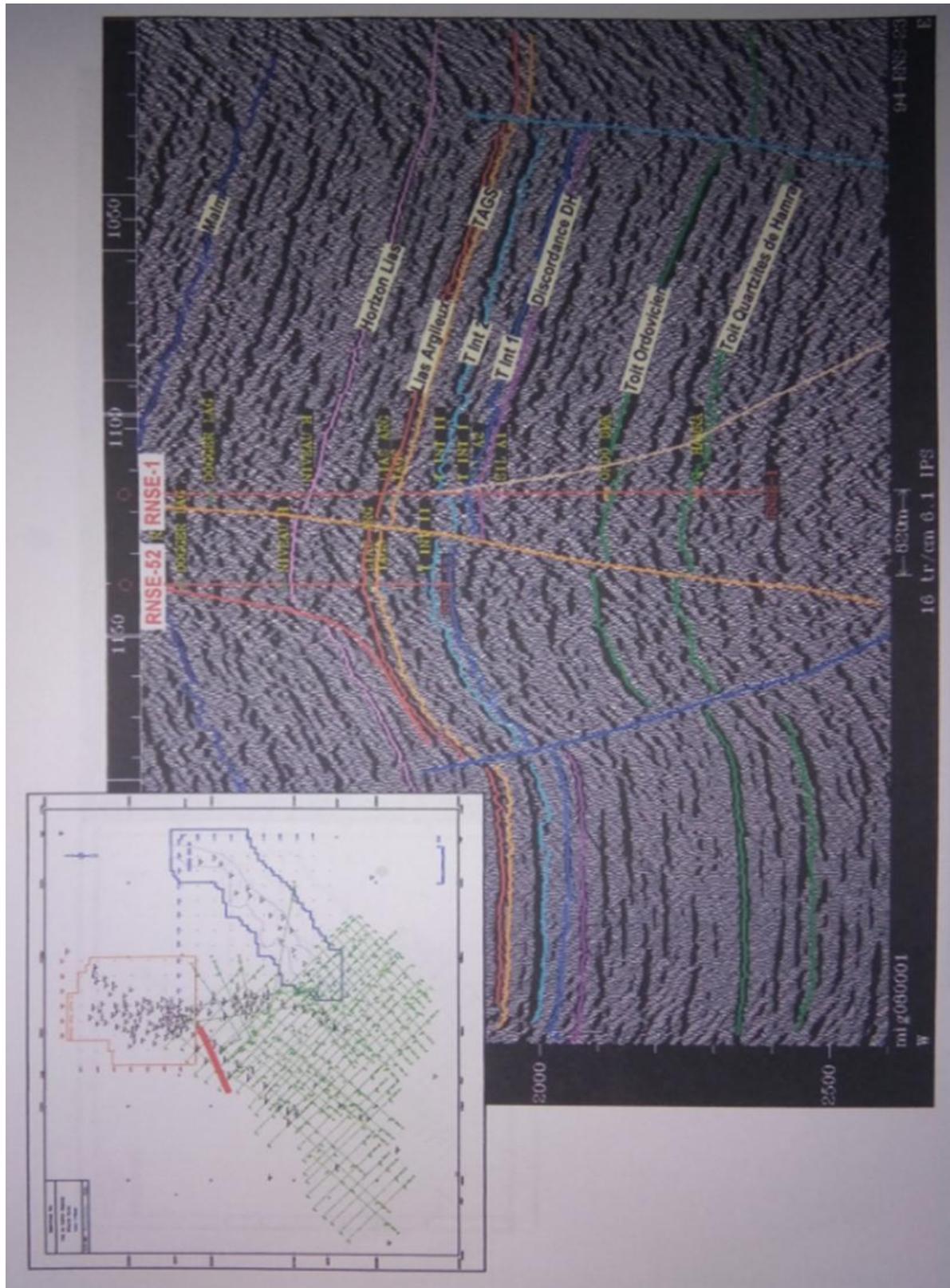


Fig.II.13: Rhourde Nous Sud Est. Interprétation des horizons et des failles; Ligne 94-RNS-23 Puits RNSE-1 (Beicip/Sonatrach PED ,2002).

II.5.3 La structure de Rhourde Nouss Sud-Ouest: (Fig.II.14).

La structure de Rhourde Nouss Sud-Ouest liée au jeu en décrochement de la faille majeure nord-Est/Sud-Ouest, qui peut être suivi en continuité de Dra Allai au Sud à Rhourde Nouss Centre, il s'agit d'une faille sub-v verticale, basse vers l'Est à fort rejet, elle est associée à des failles secondaires de glissements à faible extension, elles sont inverses à l'Ordovicien et deviennent normales dans les séries supérieures de Jurassique-Crétacé inférieur (Fig.II.15).

Alors que sur le flanc oriental très penté, il y a un décollement associé au Sel liasique et dans les séries argileuses du Trias.

On peut expliquer l'allure de cette faille par la différence de niveau d'érosion du Silurien de part et d'autre de la faille, donc cette accident préexistant dès l'Hercynien comme une faille-flexure, basses vers l'Ouest (vers le sillon de El Marfag) se présente par des pendages forts dans les séries Paléozoïques et par l'apparition rapide des termes supérieurs du Silurien sous la discordance Hercynienne.

Concernant la géométrie actuelle de la structure, elle est subdivisée en deux culminations:

-Au Nord, la principale, localisée sur le flanc Ouest de la faille, et elle est séparée du Rhourde Nouss Centre par un synclinal très profond d'orientation Nord-Nord-Ouest

-Au Sud, un appendice étroit et complexe se prolonge le long de la faille Nord-Est/Sud-Ouest dont le rejet s'atténue et s'inverse progressivement au niveau du TAGS ; avec deux plis de faible extension liée au jeu en décrochement de la faille (plis d'entraînement).

II.5.1.3 L'évolution géométrique de la structure:**a) A l'Ordovicien:**

Seule la structure principale est fermée. La dénivellation est de 500 mètres en 5 Km entre le sommet et le fond du synclinal, se qui présente une pente de 6°.

b) Au Trias Argilo-Gréseux Supérieur:

Trois culminations composent la structure, réparties de part et d'autre de la faille majeure :

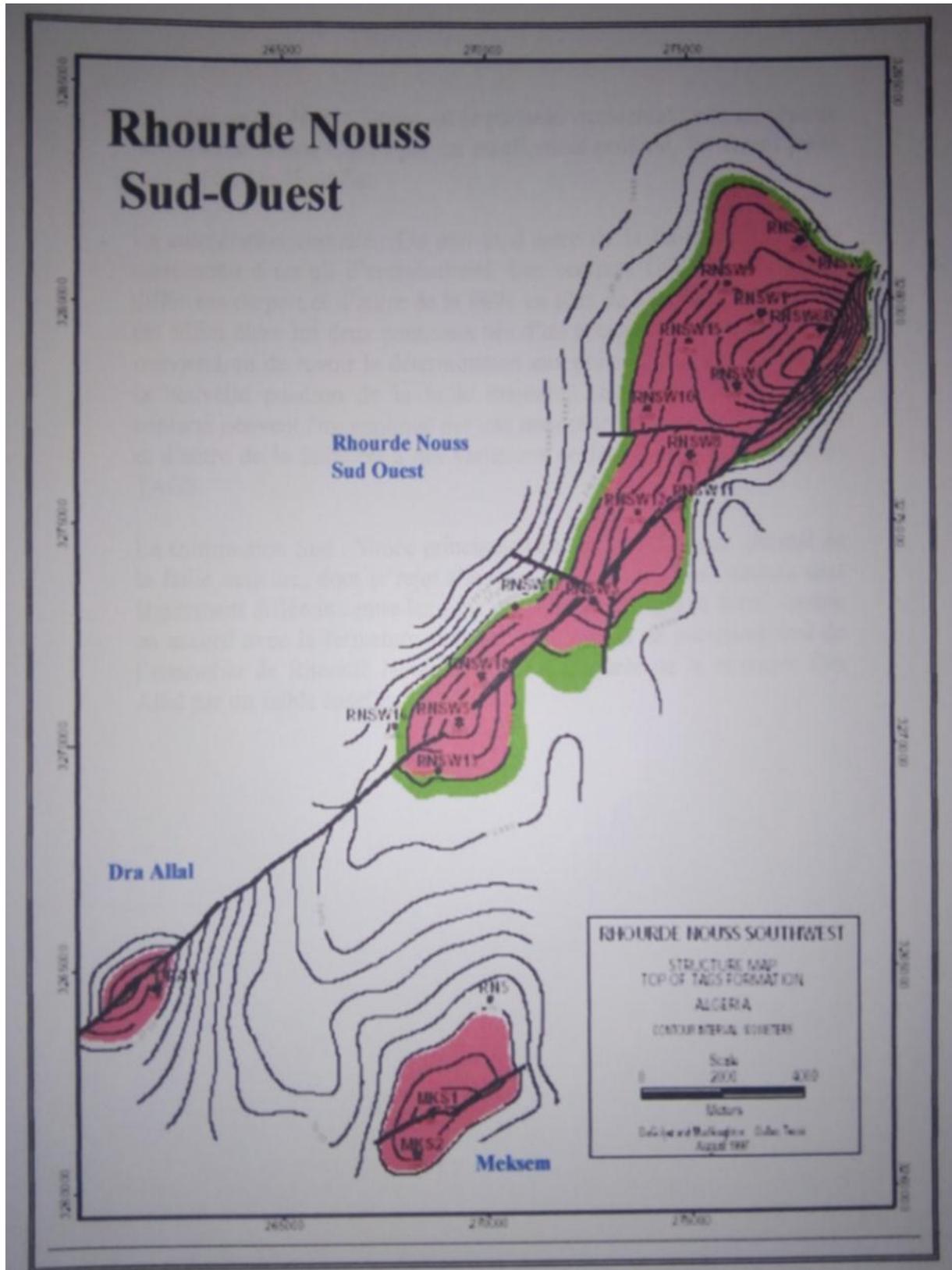


Fig.II.14: La structure de Rhourde Nous Sud-Ouest au toit du TAGS (De Galyer et Mac Naughton, Août 1997).

-La culmination Nord : Située sur le panneau occidental ; elle est séparée de Rhourde Nouss Centre par un ensellement profond, fortement penté vers le Nord le Nord-Est.

-La culmination centrale : De part et d'autre de la faille majeure, elle correspond à un pli d'entraînement. Les contacts GOC et OWC sont différents de part et d'autre de la faille en plus de l'ensellement n'a pas été défini entre les deux panneaux nés d'un accident transverse, donc il conviendrait de revoir la détermination aux puits en prenant en compte la nouvelle position de la faille majeure. Les différences entre les contacts peuvent être expliquées par une mauvaise communication de part et d'autre de la faille ou à des variations de faciès dans le sommet de TAGS.

-La culmination Sud : Située principalement sur les panneaux orientaux de la faille majeure, dont le rejet s'inverse à ce niveau. Les contacts sont légèrement différents entre les deux panneaux, alors que le WOC semble en accord avec la fermeture structurale au niveau de périclinal Sud de l'ensemble de Rhourde Nouss Sud/Ouest. Séparée de la structure Dra Allai par un faible ensellement.

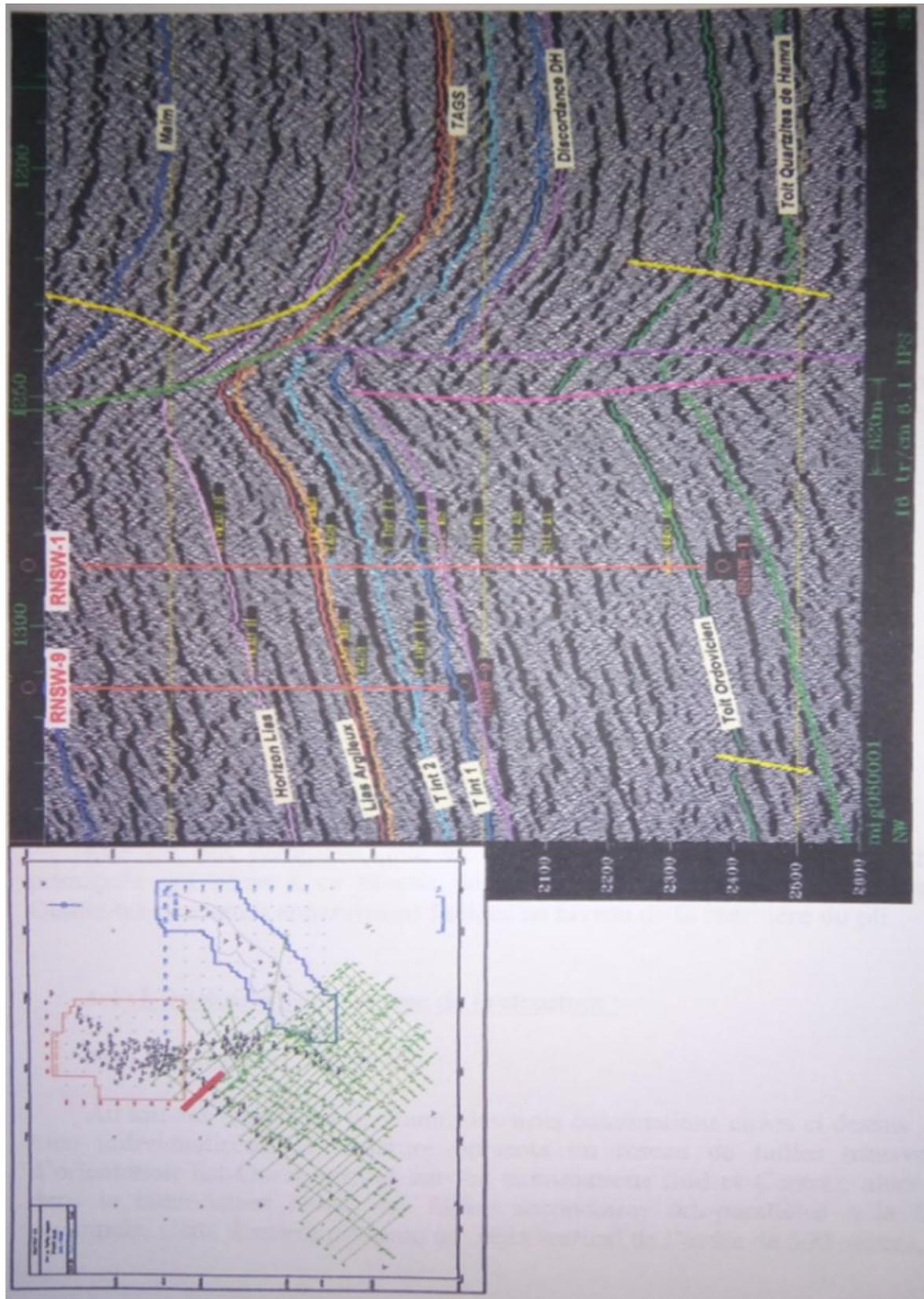


Fig.II.15: Rhourde Nous Sud-Ouest, Interprétation des horizons des failles;Ligne94-RNS-18

(Beicip/Sonatrach PED ,2002).

II.5.4 La structure de Rhourde Adra: (Fig.II.16).

Cette unité correspond à un anticlinal étroit et allongé suivant la direction Nord-Est/Sud-Ouest, elle est affectée sur son flanc oriental par une faille majeure qui conduit à une réduction de son épaisseur sur le top de la structure et un épaississement sur les flancs.

Elle comprend trois culminations principales séparées par des ensellements pouvant être associés à des accidents transverses:

-La culmination Sud: (Fig.II.17).

Elle est caractérisée par sa faible dimension, peu faillée et à pendage régulier. L'érosion des séries du Silurien Argilo-gréseux ainsi que les biseaux des unités Infra-TAGS sont observables. Le plissement affecte l'ensemble de la série y comprise les Quartzites d'Hamra qui ne sont que légèrement faillées.

-La culmination Centrale: (Fig.II.18).

Elle est séparée de la culmination Sud par un léger ensellement. On peut subdiviser la culmination centrale en deux éléments structuraux :

- Au Sud, un pli assez large mais de faible extension, les Quartzites de Hamra ne sont pratiquement pas plissées sur cette culmination.

- Au Nord, un anticlinal étroit et allongé.

-La culmination Nord : (Fig.II.19).

Elle est très complexe, due au changement de la direction de la faille principale qui passe à ce niveau de Nord 45° à Nord 20° ; alors que les Quartzites de Hamra apparaissent faillées au niveau de la charnière du pli.

II.5.1.4 L'évolution géométrique de la structure:

a) A l'Ordovicien: (Fig.II.20).

Au toit des Quartzites de Hamra les trois culminations citées ci-dessus sont bien individualisées, la structure présente un réseau de failles transverses d'orientation Est-Ouest surtout sur les culminations Sud et Centre ; alors que dans la culmination Nord, des failles

secondaires subparallèles à la faille principale. Cette dernière présente un rejet vertical de l'ordre de 500 mètres,

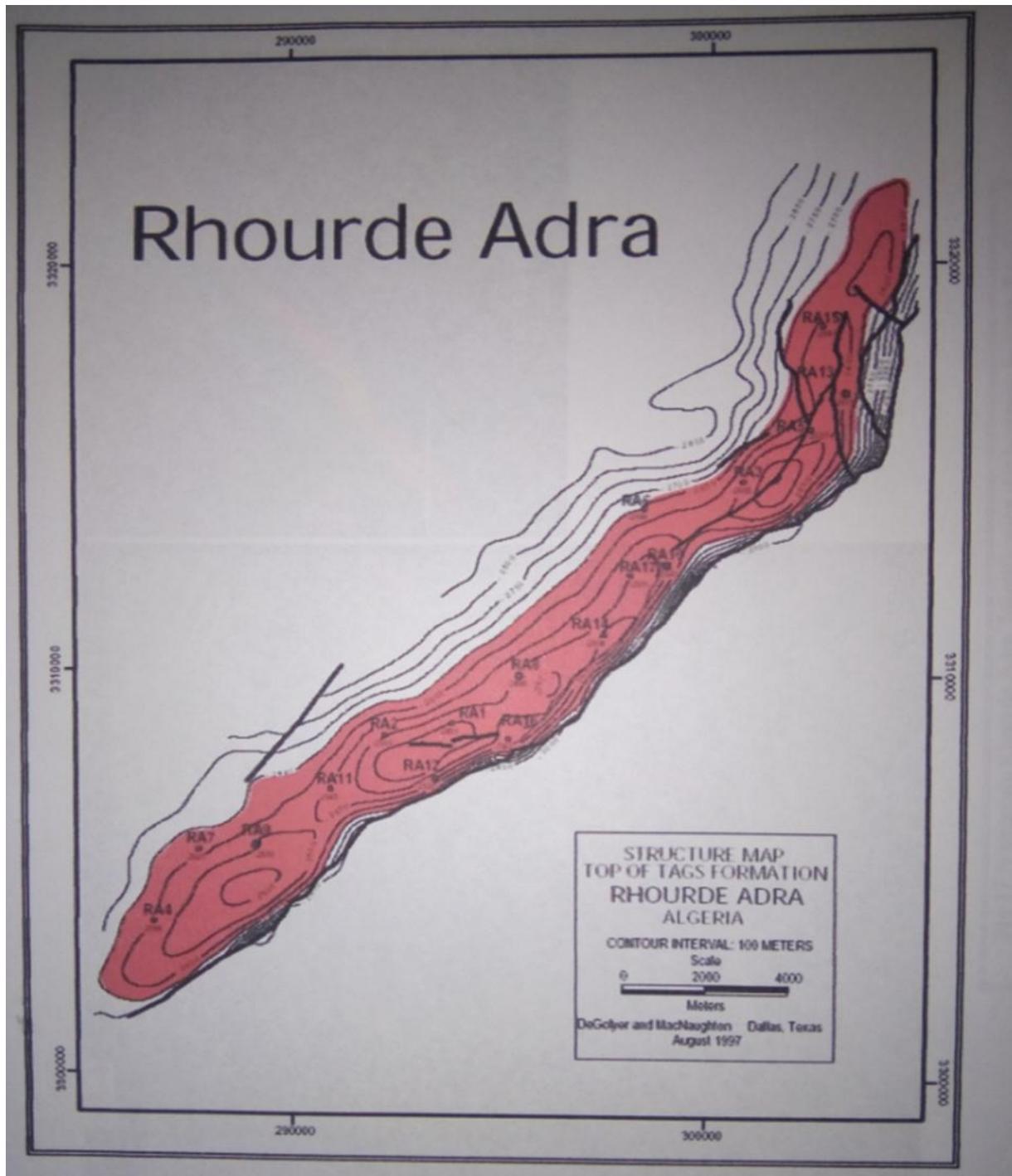


Fig.II.16: La structure de Rhourde Adra au toit du TAGS (De Galyer et Mac Naughton, Août 1997).

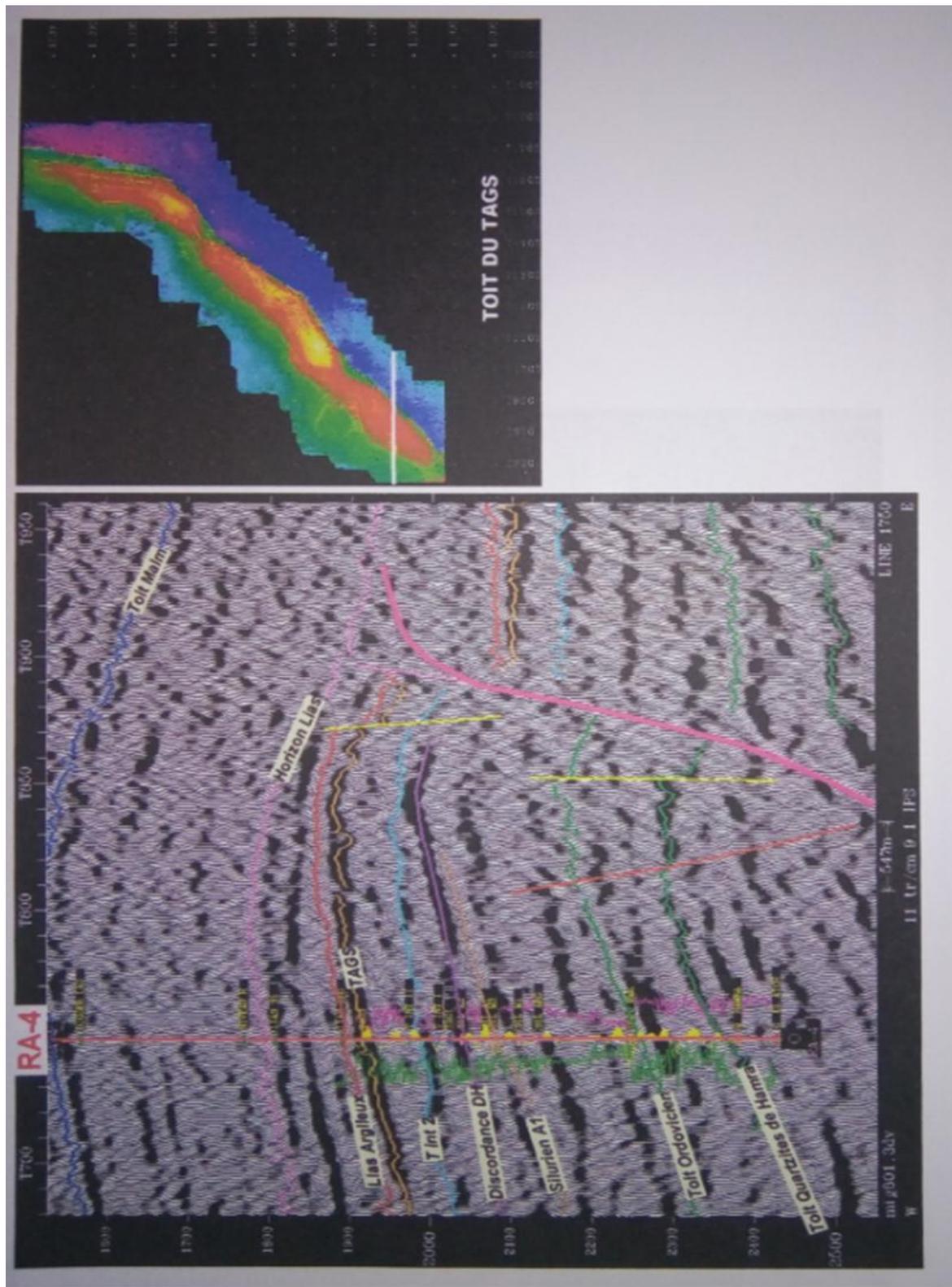


Fig.II.17: La structure de Rhourde Adra, Identification des horizons au puits RA-4; Ligne 1750 (Beicip / Sonatrach PED, 2002).

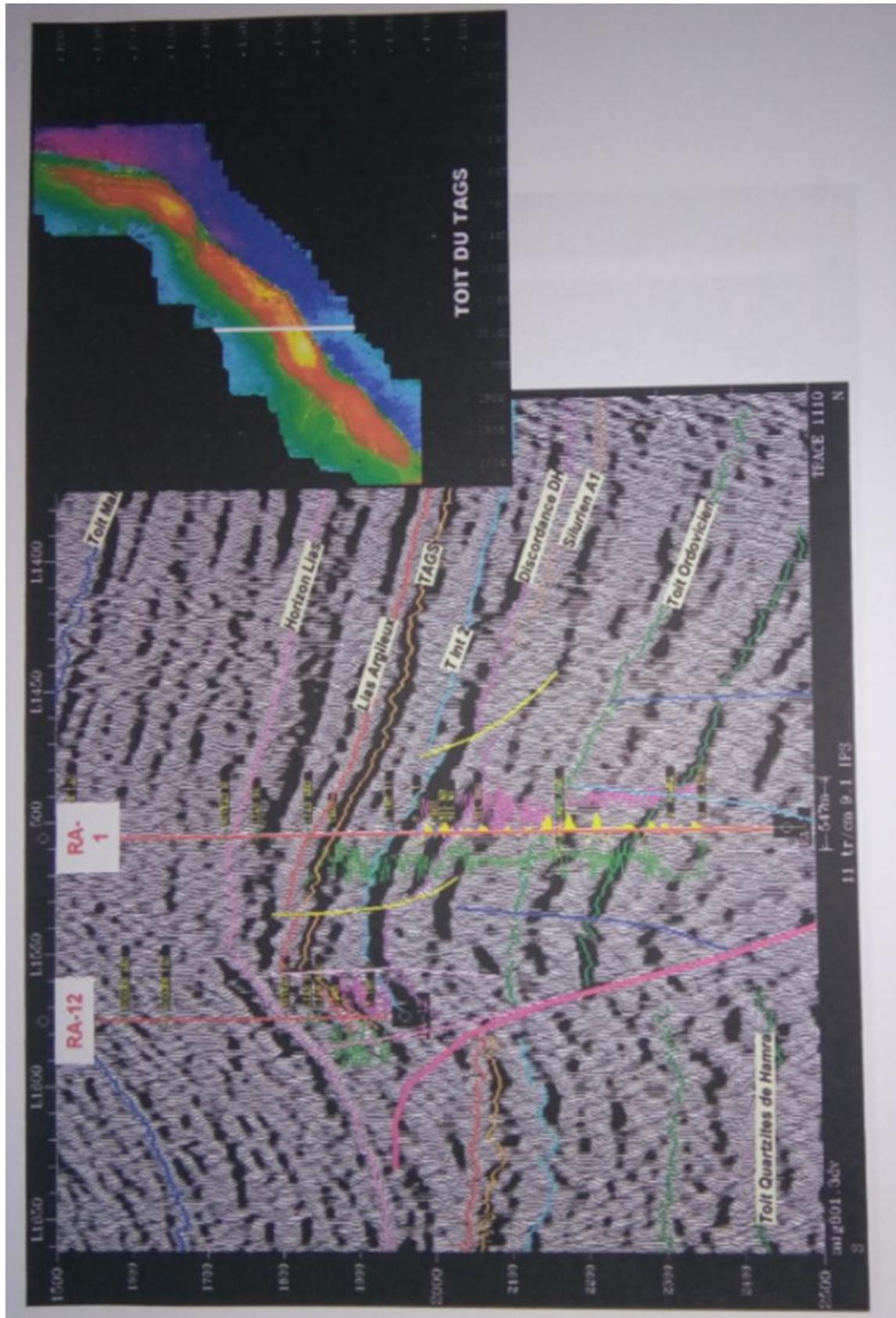


Fig.II.18: Rhourde Adra, Identification des horizons au puits RA-1; Trace1110 (Beicip/Sonatrach PED ,2002).

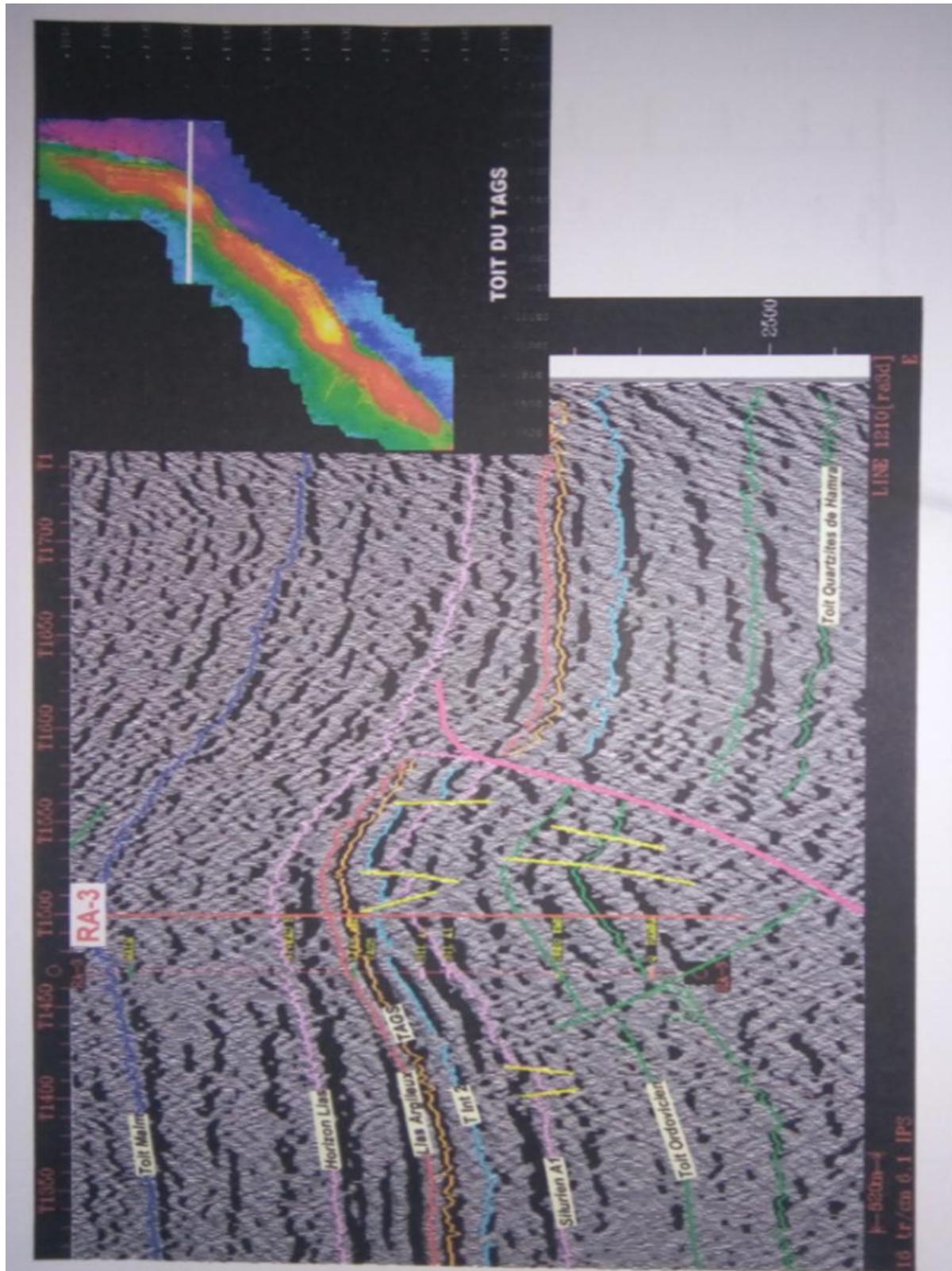


Fig.II.19: Rhourde Adra, Interprétation des horizons et des failles; puits RA-3; Ligne 1210 (Beicip/Sonatrach PED ,2002).

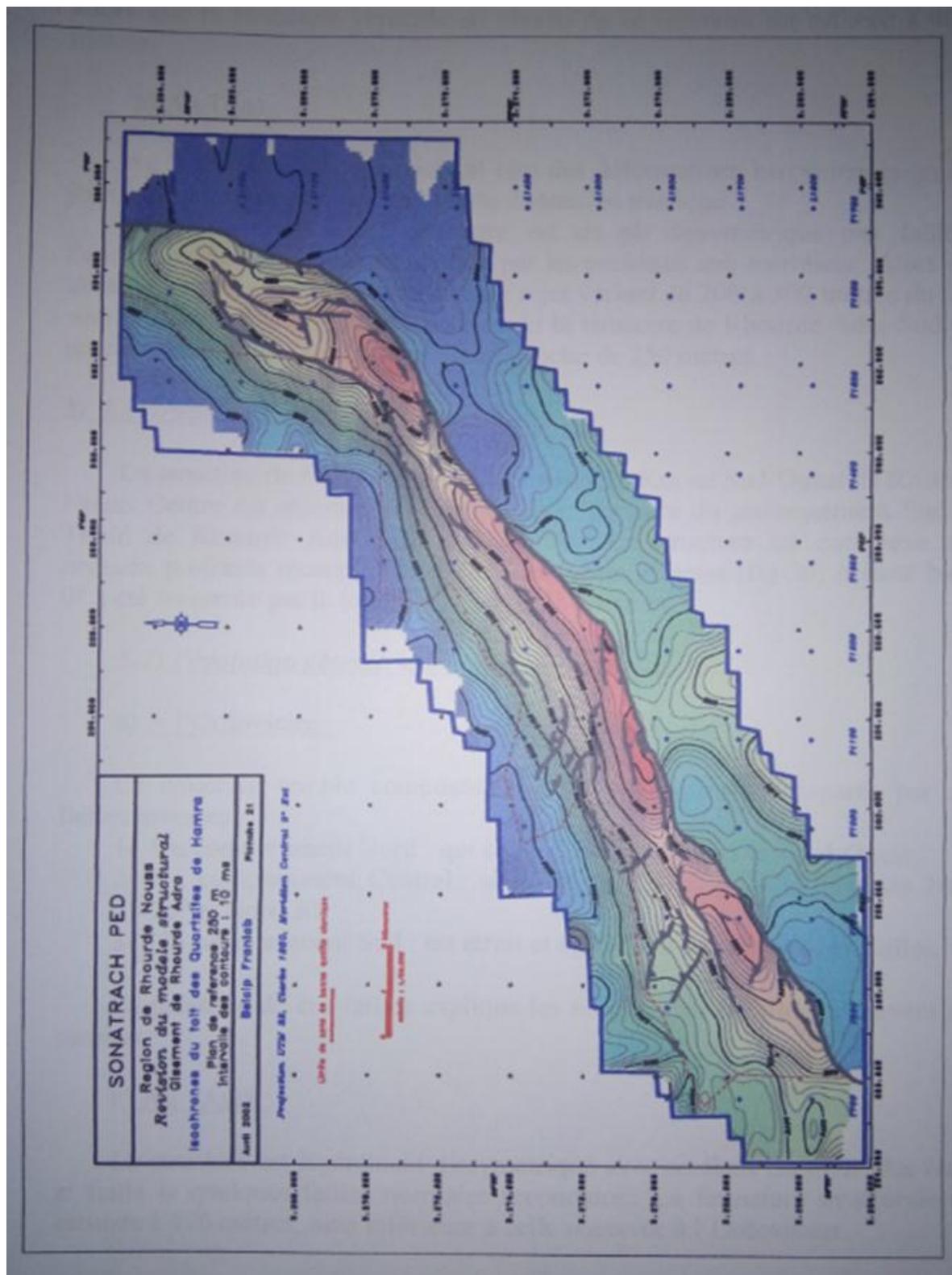


Fig.II.20: Carte en isochrone au toit des Quartzites de Hamra dans la structure de Rhourde Adra (Beicip/Sonatrach PED ,2002).

Alors que la fermeture verticale au niveau de ce réservoir est estimée à 4000 mètres.

b) Au Trias:

Au Trias, il existe un anticlinal issu des déformations hercyniennes ou des jeux en horst et graben lors de la forte distension triasique.

Au toit du TAGS, la structure est un pli dissymétrique peu faille à l'exception du préclinal Nord affecté par les accidents sub-méridiens. Alors que la faille bordière orientale conserve un rejet variant de 200 à 300 mètres du Sud vers la Nord. Elle est séparée au Sud de la structure de Rhourde Adra-Sud par un ensellement. La fermeture verticale proche de 250 mètres.

II.5.5 La structure de Meksem: (Fig.II.14).

La structure de Meksem, située à environ 25 Km au Sud-Ouest de Rhourde Nouss Centre est associée à la déformation Tertiaire du prolongement Sud du Trend de Rhourde Adra orienté Nord 70°. La structure est complexe aux niveaux profonds recoupées par plusieurs failles inverses (Fig.II.21) orienté Nord 0° a été traversée par le forage MKS-1 en Ordovicien.

II.5.1.5 L'évolution géométrique de la structure: (Fig.II.21).**a) À l'Ordovicien:**

La structure semble composée de trois compartiments, séparés par des failles inverses :

1-Un compartiment Nord: qui s'étend largement vers le Nord-Ouest.

2-Un compartiment Central: situe entre les deux failles inverses Nord 70° et Nord 30°.

3-Un compartiment Sud: est étroit et également limité par deux failles.

La présence de ces failles explique les nombreuses fractures observées sur carottes.

b) Au TAGS:

La structure est légèrement dissymétrique avec un flanc Sud-Est plus raide et Taillé et quelques failles normales secondaires. La fermeture structurale est estimée à 170 mètres, bien inférieure à celle observée à l'Ordovicien.

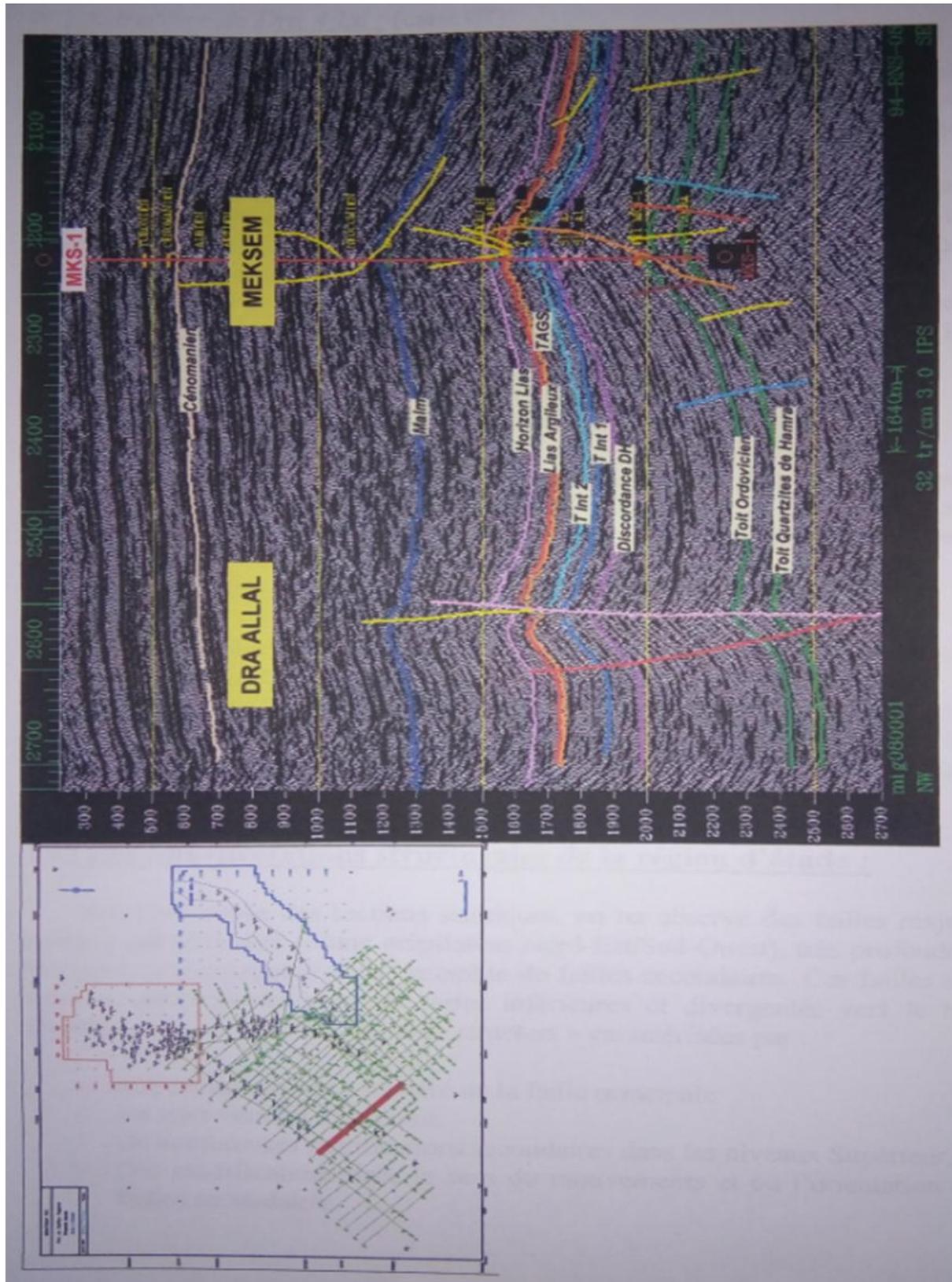


Fig.II.21:Structure de Meksem: Ligne 94-RNS-08;Puits MKS-1(Beicip/Sonatrach PED ,2002).

II.5.6 La structure de Dra Allal: (Fig.II.14)

La structure de Dra Allai se situe dans le prolongement Sud-Ouest de Rhourde Nouss Sud-Ouest le long de la faille majeure décrochante. Il s'agit d'un pli d'entraînement similaire au deux culminations secondaires de Rhourde Nouss Sud-Ouest.

A ce niveau, la faille majeure Nord-Est/Sud-Ouest est sub-verticale, et basse vers l'Ouest présentant des ramifications secondaires divergentes (flowers structure) (Fig.II.22), un second pli identique et mis en évidence un peu plus au Sud le long de la faille

On note qu'à l'Ordovicien, aucune fermeture structurale n'est mise en évidence, alors qu'elle a été définie au niveau de TAGS a une cote avoisine les — 1930 mètres.

II.5.7 La structure de Rhourde Adra Sud: (Fig.II.14).

Se situe sur le prolongement Sud de l'axe positif sub-méridien de Rhourde Nouss Centre et Rhourde Nouss Sud-Est, il s'agit d'un pli étroit, allongé et bordé par deux failles inverses, les failles Occidentales présentant un fort rejet.

II.5.1.6 L'évolution géométrique de la structure: (Fig.II.23).

Au niveau des Quartzites d'Hamra : la fermeture structurale se situe au voisinage du puits RAS-1, l'axe anticlinal se prolonge vers le sud, Au niveau du TAGS, la structure remontant régulièrement vers le Nord, en direction de Rhourde Adra avec deux failles bordières à forts rejets (entre 100 à 200 mètres pour la faille occidentale et entre 50 et 100 mètres pour la faille orientale).

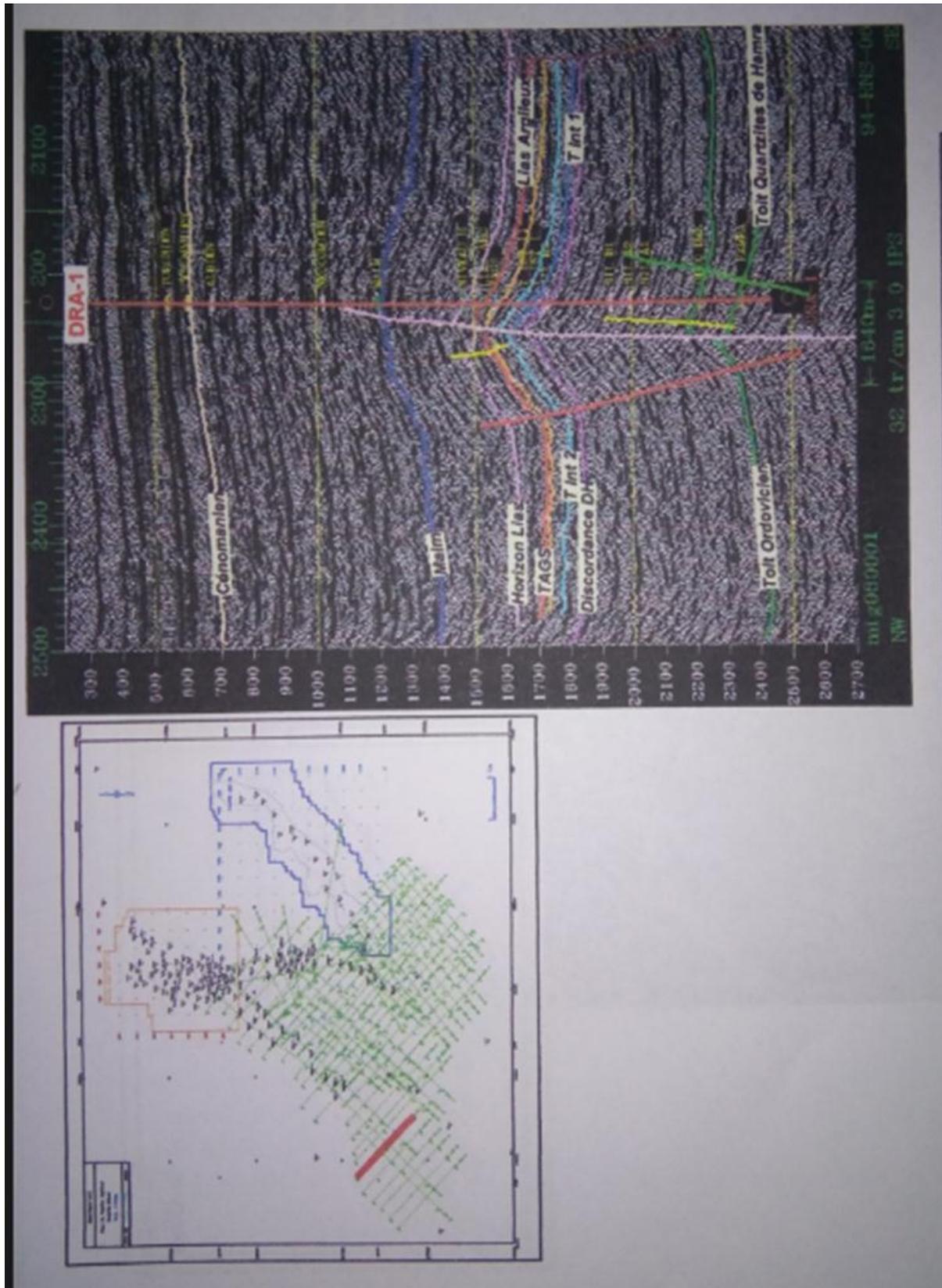


Fig.II.22: Dra Allal Interprétation des horizons des failles; Ligne94-RNS-06; Puits DRA-1

(Beicip/Sonatrach PED ,2002).

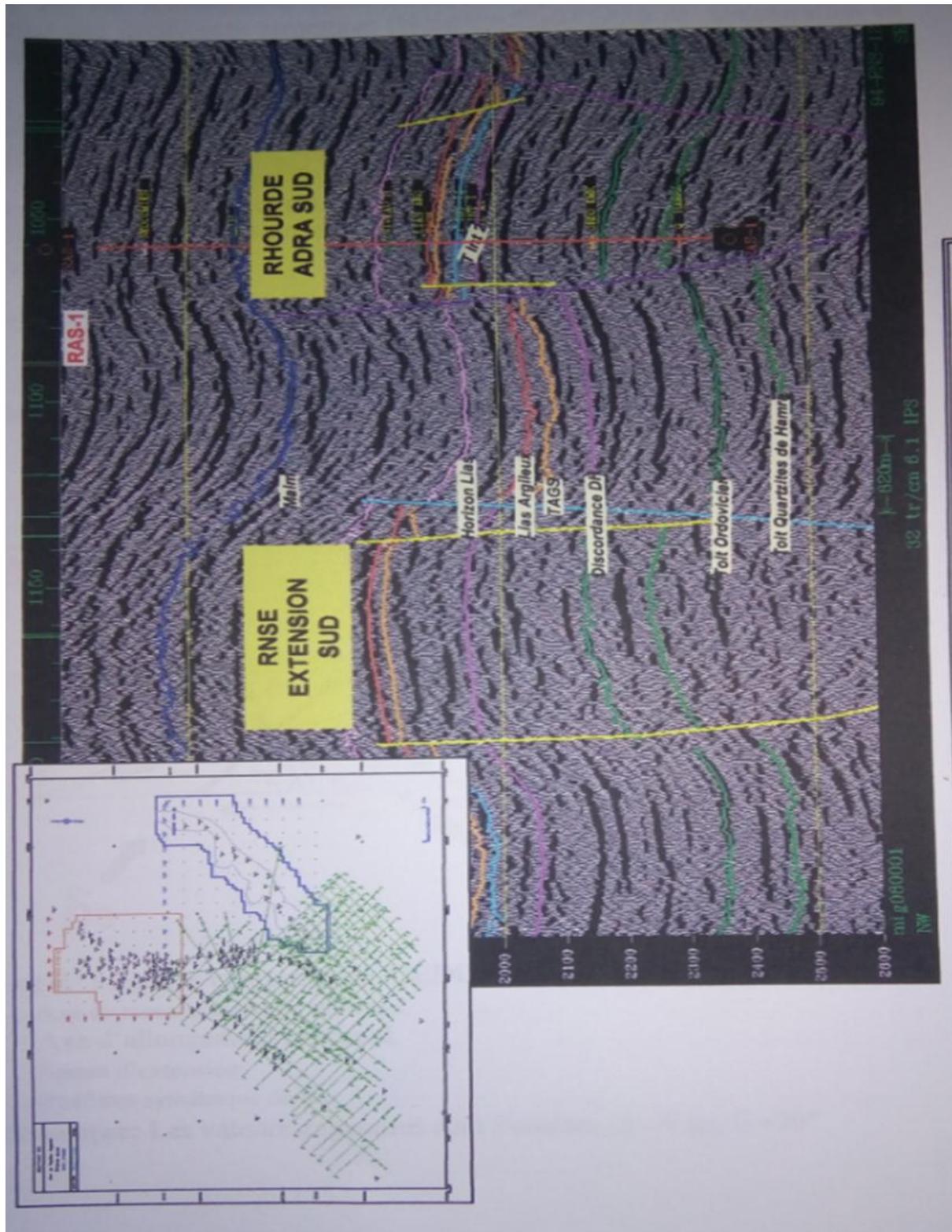


Fig.II.23: Structure de Rhourde Adra Sud: Ligne94-RNS-12; Puits RAS-1(Beicip/Sonatrach PED ,2002).

II.6 Les interprétations structurales de la région d'étude:

Sur l'ensemble des sections sismiques, on a observé des failles majeurs inversées subverticales (d'une orientation Nord-Est/Sud-Ouest), très profondes à fort rejet, accompagnées d'un ensemble de failles secondaires. Ces failles sont inverses convergentes vers les séries inférieures et divergentes vers le haut illustrant ainsi de véritable «flowers structure » caractérisées par:

- un pendage abrupt a modéré de la faille principale.
- Un rejet vertical très réduit.
- De nombreuses ramifications secondaires dans les niveaux Supérieur.
- Des modifications dans le sens du mouvements et ou l'orientation des failles secondaires.

II.6 Conclusion:

L'interprétation des profils sismiques ainsi que des cartes en isobathes de la région de Rhourde Nouss montre une forte complexité d'un point de vue structural.

En effet, de part sa position structurale haute sur le sillon de Marfag, elle a dû subir tous le évènements géologiques. Ce qui se traduit par :

- la superposition de nombreuses déformations durant le Méso-Cénozoïque.
- Présence de nombreuses structures locales.
- Individualisation en 7 anticlinaux ou structures positives, qui elle-même se retrouvent plissées en plusieurs culminations, ces structures positives sont: Rhourde Nouss Centre, Rhourde Nouss Sud-Est, Rhourde Nouss Sud-Ouest, Rhourde Adra, Rhourde Adra Sud, Meksem, et Dra Allal.
- Une structuration en culmination (structure positive) séparée par des ensellements dans la même structure est très fréquente.
- Présence des failles majeures subméridienne et d'autres Nord-Est/Sud-Ouest, accompagnées de failles secondaires de directions variables s'amortissant au Lias Salifère.

-Les failles ont subi plusieurs rejeux de filles normales à inverses.

-Le problème d'étanchéité reste posé au niveau des contacts entre les culminations ainsi que de part et d'autre des fractures.

-Les « flowers structure » sont très fréquente dans la région de Rhourde Nous.

-L'orientation globale des structures de Rhourde Nous est Nord-Est/Sud-Ouest issue d'un décrochement dextre pendant la phase hercynienne. Ce décrochement c'est le résultat de la contrainte compressif N120° au quelle le plissement des structures actuelles est survenue dans le sens de la rotation des aiguilles de la montre.

-Pendant la phase Autrichienne, un changement d'orientation de la contrainte maximale de N120° à N90° (direction subméridienne), suivi par une relaxation de cette contrainte pendant le Tertiaire avec un rejet de décrochement dextre en un décrochement sénestre (N60°) ce qui va affecter les flancs des structures.

Chapitre III: Etude pétrophysique du réservoir.**III.1 Rappel:****III.1.1 Porosité:**

C'est la capacité d'une roche réservoir à contenir des fluides. C'est le rapport du volume des vides sur le volume total de la roche, elle s'exprime en pourcentage (%).

La formule : $\Phi = V_v/V_T$;

Φ : Porosité.

V_v : Volume des vides.

V_T : Volume total des pores.

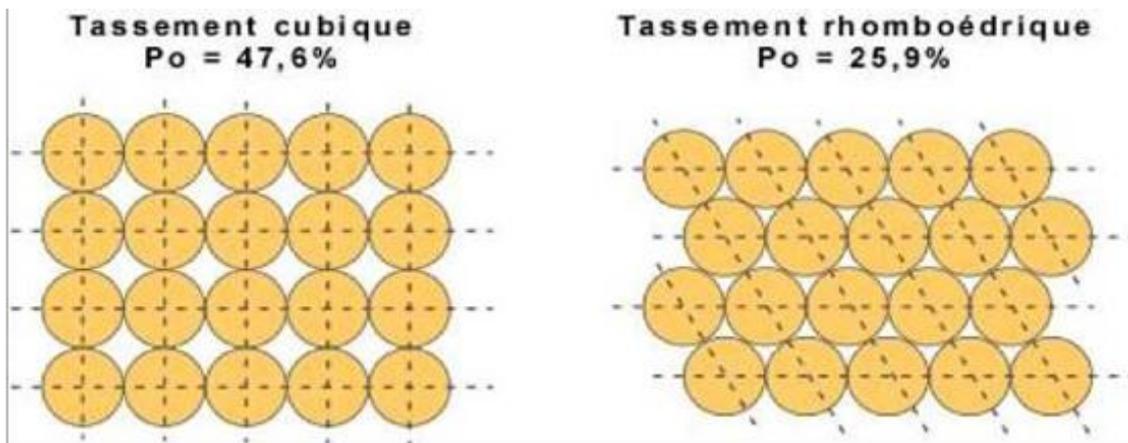


Fig.III.1: La différence de porosité entre un tassement cubique et un tassement rhomboédrique.

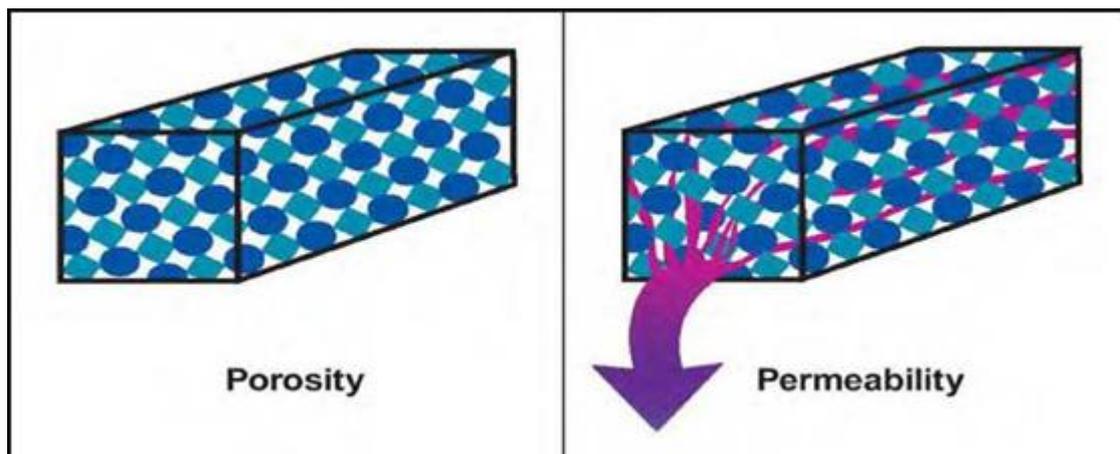


Fig.III.2: Relation entre porosité et perméabilité.

Comme on peut distinguer entre une porosité dite « utile » où les pores sont connectés, ce qui permet la circulation des fluides, et une porosité dite « résiduelle » où les vides ne sont pas connectés entre eux.

La porosité est classée comme suit:

Faible : $\Phi < 5\%$

Médiocre : $5\% < \Phi < 10\%$

Moyenne : $10\% < \Phi < 20\%$

Bonne : $20\% < \Phi < 30\%$

Très bonne : $\Phi > 30\%$.

III.1.2 Perméabilité:

C'est la capacité d'une roche à laisser circuler les fluides à travers ses pores. La perméabilité (K) est le coefficient de proportionnalité qui relie le débit (Q) d'un fluide de viscosité (p) qui passe à travers une section (S) de roche et de longueur (dl) à la chute de pression (dP) nécessaire à son passage .

Telle que $Q = K (S.dP/ p.dl)$.

L'unité de mesure utilisée en pratique est le milliDarcy (mD).

Très faible : $K < 1 \text{ md}$

Faible : $1 < K < 10$ md

Médiocre : $10 < K < 50$ md

Moyenne : $50 < K < 200$ md

Bonne : $200 < K < 500$ md

Excellente : $K > 500$ md.

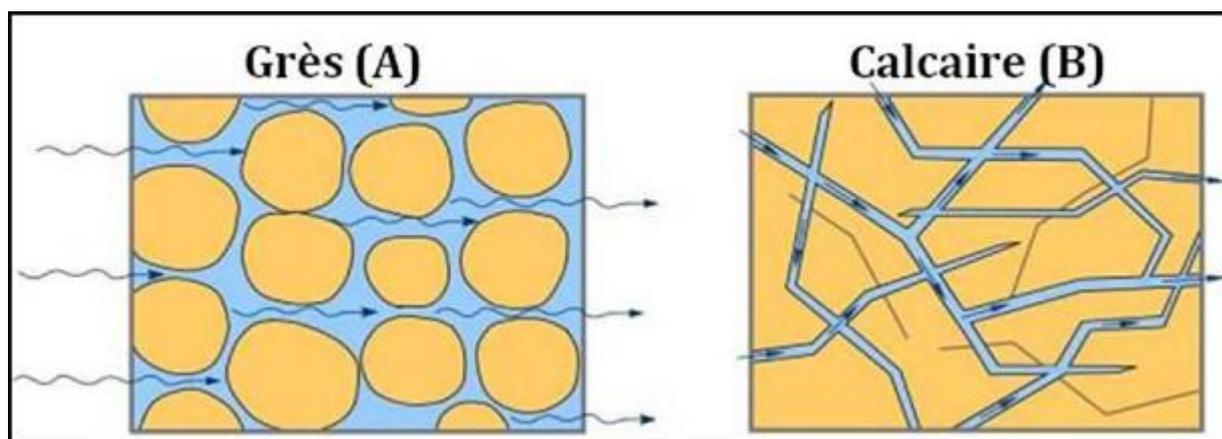


Fig.III.3: Les différentes perméabilités selon le type de roche.

A : Perméabilité inter particulaire.

B : Perméabilité de fractures.

III.2 Les qualités des réservoirs du bassin de Berkine:

III.2.1 Les Roches mères:

Les deux principales roches mères reconnues dans le bassin de Berkine sont les argiles du Silurien inférieur et du Dévonien supérieur (Frasnien-Famennien).

III.2.1.1 Roche mère silurienne:

Le Silurien argileux est présent sur le quasi-totalité du bassin de Berkine à l'exception des parties Nord et Ouest où il est érodé. Il est considéré comme la principale roche mère, avec de C.O.T allant à 3,5 % jusqu'à 17 % et des S2 de 7.5 à 61 kg/t. Roche.

La partie basale de cette formation, riche en carbone organique, d'une épaisseur régionale qui varie de 10 à 25 m avec une zone de forte réduction avec le haut de Maouar et un très net

épaississement au Sud-Est ou elle peut atteindre 125 m, est la principale source de génération d'hydrocarbures.

D'après les données géochimiques, cette matière organique est du Kérogène de type II.

III.2.1.2 Roche mère dévonienne:

Le Dévonien Supérieur (Frasnien-Famennien) n'est présent que sur la partie centrale du Bassin. Son domaine d'extension étant lié à l'érosion sous l'effet de la discordance hercynienne. La zone radioactive du Frasnien riche en carbone organique varie de 50 mètres d'épaisseur sur le môle d'Ahara à 200 m au Nord du bassin.

Elle présente un C.O.T variant de 2,5 % à 6,6 % et de S2 allant jusqu'à 40 kg HC11 Roche. D'après les données géochimiques, cette roche mère est d'un kérogène de type IL

III.2.1.3 Autres roches mères:

➤ Le Carbonifère:

Il présente quelques niveaux argileux, la matière organique est de type III favorable à la génération de gaz.

➤ L'Ordovicien:

Les argiles microconglomératiques, les argiles d'Azzel et les argiles d'El Gassi, présentent elles aussi des niveaux à caractéristiques de roche mère.

Un domaine à alimentation favorable à partir du Ordovicien La structure régionale étant monoclinale cela ne favorise nullement la concentration des hydrocarbures.

III.2.2 Roches couvertures:

La roche couverture dans le réservoir des Quartzites de Hamra est assurée par les lits d'Argiles fins dans le même réservoir ou bien par les lits d'argile noire du réservoir d'El Gassi.

III.3 Les systèmes pétroliers de la région de Rhourde Nous:

Le système pétrolier principal est admis comme éteint lié à l'association des roches mères du Silurien basal, des pièges de forte amplitude générés par les mouvements autrichiens, des réservoirs du Trias et du Silurien Argilo-gréseux et de T excellente couverture de l'ensemble, constituée par les évaporites du Lias. Les pièges sont supposés avoir été mis en charge par les migrations latérales longue distance provenant de l'Ouest et du Nord et, possiblement, et verticalement à travers les failles. Un système secondaire est associé au réservoir profond des Quartzites.

Les gisements de la zone d'étude produisent de l'huile et du gaz riche en condensât à partir de différents intervalles réservoir pouvant être groupés en trois ensembles.

-Des réservoirs du TAGS : les plus potentiels.

-Des réservoirs du TAGI et Trias intermédiaire ainsi que les différentes unités du Silurien : d'intérêt secondaire.

- Des Réservoirs des Quartzites d'Hamra : d'intérêt tertiaire.

III.3.1 Le réservoir du Trias Argilo-gréseux Supérieur (TAGS):

C'est le réservoir principal; son épaisseur varie entre 100 et 200 mètres dans le secteur et il peut être subdivisé en un ensemble inférieur constitué de Grés grossiers et continus de type réseau de chenaux fluviaux en tresse et un ensemble supérieur plus discontinue et plus argileux de type réseaux à tendance méandrique.

La porosité est comprise entre 15 et 20 % avec des valeurs de perméabilité atteignant fréquemment 1 Darcy.

III.3.2 Le réservoir Infra-TAGS:

Cette nomenclature qui contient Les réservoirs du Trias Argilo-gréseux Inférieur, le Silurien qui lui est composé par les unités B2, B1, A2, A1, M2, M1, est spécifique à notre zone d'étude.

Cette infra-TAGS est organisée en réseaux de chenaux présentent des caractéristiques moins homogènes et de moins bonne qualité ; il s'agit des réservoirs du Trias intermédiaire et de

Trias Argilo-gréseux Inférieur dont les porosités sont généralement comprises entre 5 et 15 % et les perméabilités sont inférieures à 10 milly-Darcy.

Ces réservoirs reposent en discordance par l'intermédiaire de la Discordance hercynienne. Par ailleurs dont le meilleur réservoir dans le Silurien se situe dans les unités A2 et A1 qui sont formé par des barres gréseuses. La hauteur utile peut atteindre 50 mètres avec une porosité comprise entre 10 et 15 %.

III.3.3 Réservoirs profonds du Cambro-Ordovicien:

Ils sont constitués par la Dalle de M'Krata et surtout les Quartzites d'Hamra dont l'intérêt est lié à leur épaisseur importante qui varie entre 200 à 250 mètres, ainsi qu'à leur fracturation intense.

III.4 Les types des hydrocarbures:

Les hydrocarbures connus dans la région de Rhourde Nouss sont :

- 1- De l'huile et du gaz a condensât dans le TAGS et infra-TAGS de Rhourde Nouss Centre.
- 2- Du gaz a condensât dans le TAGS et l'infra-TAGS de Rhourde Adra.
- 3- De l'huile et du gaz à condensât dans le TAGS de Rhourde Sud-Est et Rhourde Nouss Sud-Ouest.
- 4- De l'huile dans l'infra-TAGS de Rhourde Nouss Sud-Est (Trias et Silurien A).
- 5- Du gaz à condensât et un peu d'huile dans les Quartzites de Hamra de Rhourde Nouss Centre, Rhourde Nouss Sud-Est et Sud-Ouest de Rhourde Adra et de Meksem.

III.5 Les données pétrophysiques:

Le faciès de la formation des Quartzites de Hamra est caractérisé par des aspects typiques, constitués de grains de Quartz liés par un ciment siliceux qui représente des porosités et perméabilités matricielles très petites. Cependant les tests réalisés sur ces réservoirs des secteurs de Rhourde Nouss Centre, Sud-Est, Sud-Ouest et Rhourde Adra ont montré des résultats de production positifs.

Sur environ 160 puits disponibles sur la zone d'étude, dont environ une trentaine ont atteint les objectifs Silurien et 24 les réservoirs profonds seuls les puits RNSE-63 et RNSE-65 n'atteignent pas le TAGS. Ces forages se répartissent de la manière suivante:

- 80 puits sur Rhourde Nouss Centre.
- 7 puits sur Rhourde Nouss Nord-Est.
- 37 puits sur Rhourde Nouss Sud-Est.
- 18 puits sur Rhourde Nouss Sud-Ouest.
- 18 puits sur Rhourde Adra.
- 3 puits sur Meksem.
- 2 puits isolés (DRA-1, RAS-1).

24 puits dans la région de Rhourde Nouss ont été analysés au-dessus de l'Ordovicien, 19 puits ont atteint le réservoir des Quartzites de Hamra, 3 puits ont atteint l'Ordovicien au-dessus des Quartzites de Hamra. Ces puits ont été forés entre 1962 et 1998.

III.5.1 Les données de carotte:

Très peu de données de carottes sont disponibles sur le réservoir des quartzites de Hamra, appart les données de perméabilités de carottes de quelques puits récapituler dans le tableau 02.

On remarque une hétérogénéité dans la perméabilité carotte dans la formation des Quartzites de Hamra, qui présentent un minimum de 03 MD dans le puits RNSE-1 et un maximum de 59 MD dans le puits de RNSE-9 ; mais la moyenne tourne entre 20 et 40 MD.

Si on peut lier les distributions de cette perméabilité en fonction de la position des puits par rapport à l'approximé des grandes accidents et les failles secondaires ; on peut conclure que cette distributions n'est aléatoire, ou ont n'a des valeurs les plus importants se situe proximité des failles à l'égare des puits RNSE-9 ; par contre les valeurs les petites sont lointaines des failles à l'exemple du Puits RNSE-.

Puits	TINT1	TAGI	B2	B1	A2	A1	Anti-Ouargla	Quartzites de Hamra
RN-1					16.50	15.88		
RN-2	8.75	33.00	25.25		11.88	1.13		
RN-4	13.00							
RN-11		9.38					1.00	32.88
RN-101					15.5	7.88	14.13	17.63
RN-102	0.88	33.88						
RN-103		38.25				8.25		13.25
RN-104		25.88			16.5	10.88		
RN-105		16.25		32.00				
RN-106		22.63						
RN-107	13.38	0.63						
RNA-1				8.13	42.13	27.38		
RNA-3				24.88	38.88			
RNA-4				0.50	39.38	5.75		
RNA-5	12.88	15.38			17.88			
RNA-8	30.63	18.75			26.13	10.38		
RHSE-2		52.75	7.88	12.25	6.88	1.88		
RNNE-2	12.25	8.88		2.38	8.38		39	20.38
RNSW-3							14.25	
RNSE-1		14.00			31.50	41.88		3.00
RNSE-2	6.13	0.13			21.13	5.25		
RNSE-3	19.33	15.00			28.75			
RNSE-4	23.50	0.88			6.38			
RNSE-5	11.38	12.75			17.88			
RNSE-6	6.38	4.50			13.88	12.5		
RNSE-8	8.88				30.00	23.50	16.75	46.38
RNSE-9	16.00	14.25			1.75	17.88		59.88
RA-4	1.25	3.25			26.75		12.88	40.75
RN-2Bis	18.63	12.00	3.75					
MKS-1	29.50	5.00			22.63	17.00		
DRA-1	18.50	8.63	8.63	22.25			10.50	

Tab.III.2: La perméabilité des carottes dans les formations Infra-TAGS et l'Ordovicien.

III.5.1.1 Les cartes isoperméabilités:

A partir des données perméabilité mesuré sur carottes, on na tracée la carte en isoperméabilité superposée sur la carte structurale de la région de Rhourde Nouss. Cette carte été tracée en fonction:

Les failles (en noir) la perméabilité moyenne = 20MD;

En rose la perméabilité moyenne = 2 MD;

En Bleu la perméabilité moyenne = 0.2 MD.

Sensibilité tirées du testes des puits de RN-108, RNSW-19, RNSW-21.

Ce qui ressort de cette carte en isoperméabilité (Fig.III.3), c'est une distribution de la perméabilité qui suive l'allure des failles, présentant des valeurs importantes de part et d'autres des accidents (supérieur à 20 MD). Ces valeurs diminue en plus en plus ont éloignant de ces accidents.

Cependant une relation très étroite ressort de cette distribution, qui témoigne de l'inférence des accidents dans la distribution des microfissures, elle-même assure la bonne qualité de perméabilité.

Même chose pour la porosité, elle augmente aux tours des accidents et se diminue de part et d'autres en éloignant de ces fractures.

Le réservoir des Quartzites de Hamra explique le comportement plastique des quartzites en face des contraintes, qui se développe un réseau de fracture qui améliore la porosité et la circulation des fluides et des gaz.

De fait ressort, que la porosité secondaire est issue dans sa majorité des fractures résultantes de la structuration intense et de la pression géostatique qui à rôle secondaire.

Cette distribution des qualités pétrophysique nous permis de mieux appréciée le système de drainage des hydrocarbures pour mieux exploiter.

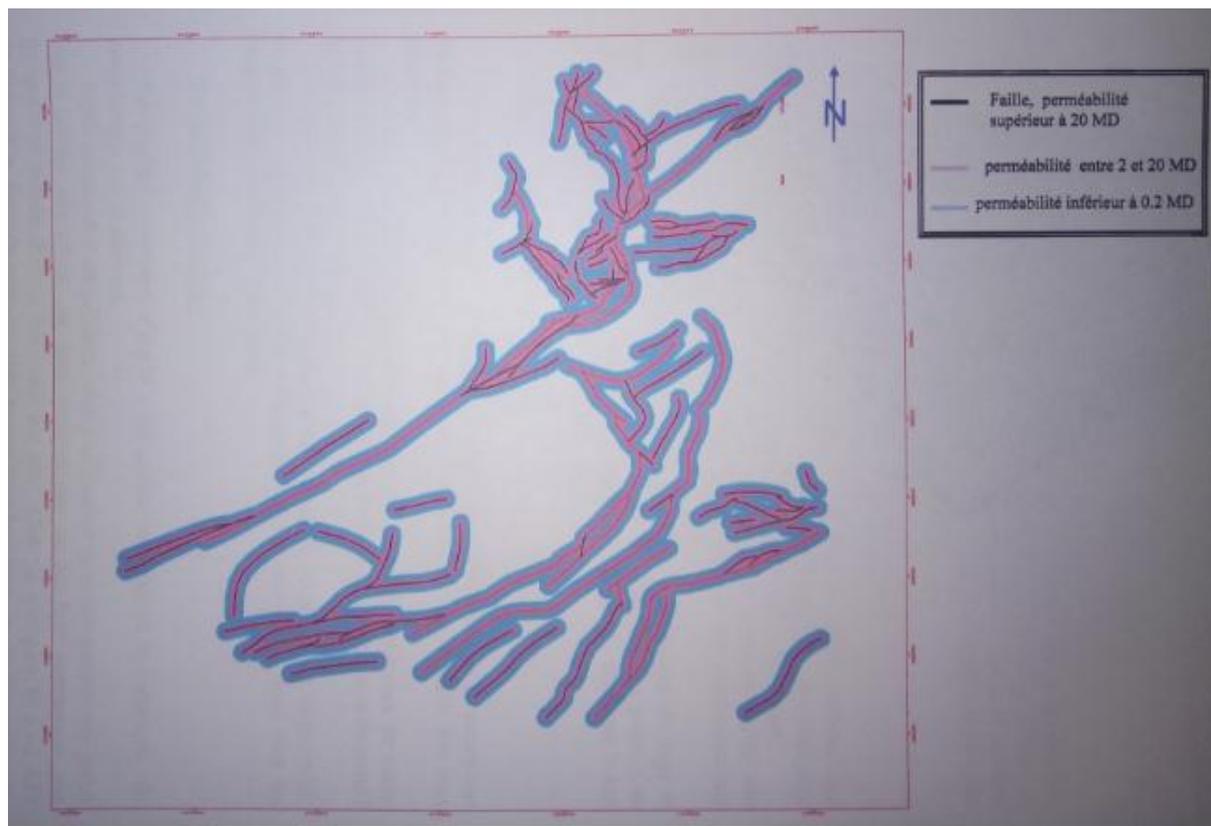


Fig.III.3: Carte en isoperméabilité au réservoir des Quartzites de Hamra superposé sur la carte structurale de la région de Rhourde Nouss. (Sonatrach/PED, 2004).

III.5.2 Les données électriques:

A partir des données de diagraphie, on va essayer de ressortir les qualités pétrophysiques, à savoir la porosité, le volume d'argile, la saturation d'eaux, et d'autres paramètres pour un but de calculer les réserves en place et estimer l'importance de telle réservoir. Avant passer au calculs pétrophysiques, les données diagraphiques doivent être normalisés.

III.5.2.1 La normalisation des logs diagraphiques:

Dans l'Ordovicien, les logs du sonique et du neutron sont disponibles dans l'ensemble des puits (18 puits), Alors que 3 types de diagraphies essentiels sont disponibles pour tous les puits, c'est le gamma ray, résistivité, et le caliper.

Une partie de la préparation des données passait en revue la qualité des logs. Ce processus exige de nombreuses modifications et des normalisations aux données de log mesurées.

Des méthodologies sont employées pour corriger les données de logs et pour énumérer les changements cruciaux qui ont été faits sur des puits. Ces méthodes sont employées que pour les logs neutron et soniques ; alors que le log densité n'a pas été employée dans cette analyse.

III.5.3 Les calculs pétrophysiques:

Les calculs du volume d'argile, de la porosité effective et de la saturation d'eaux pour la formation de Quartzites de Hamra sont faites à partir des logs corrigées.

A partir de ces paramètres calculés, des mesures sur les bancs de sable propre à chaque intervalle de 1/8 de mètres en utilisant les paramètres de cutoff qui sont dans la base de données.

Cette base de donnée est utilisée pour les calculs du sable net, la porosité, la saturation d'eaux, et le calcul volumétrique du réservoir ; et donc tous les calculs des qualités pétrophysiques.

III.5.3.1 Volume d'argile:

En général, le volume d'argile a été estimé en utilisant la technique de cross section sonie-neutron.

Cette technique a été préférée, sans l'utilisation de rayon gamma-ray parce que il montre des effets de forts minéralogie, ou les logs gamma-ray ont typiquement montré dans la formation des grés Ouargla quelques 30 à 40 API de plus que la ligne de base du sable propre dans la formation des Quartzites de Hamra et ils peuvent présenter jusqu'à 100 API de plus dans les derniers 20 mètres du sommet du la formation des grés de Ouargla.

Les calculs des volumes d'argiles sont mentionnés dans le tableau (Tab.III.3).

A partir de ces résultats des diagrammes ont été faite pour montrer le degré de propreté des sables des quartzites de Hamra et le taux d'argiles.

La figure 44 et 45 montres que le degré de propreté des grés du réservoir des Quartzites de Hamra est très élevé, il peut aller jusqu'à 100 % de grés propres comme le cas dans le puits RNSE-8 ; alors que la moyenne tourne au tour des 90 %.

Par contre le volume d'argile par rapport à l'épaisseur totale du réservoir est insignifiant matérialisée sous forme des lits d'épaisseurs réduits ou bien des ciments secondaires et des galets.

III.5.3.2 La Porosité:

Les logs de porosité ont été comparés et évalués à partir d'une bande de comporte 3 types de diagraphies de porosité (sonic-neutron-porosité).

Dans la formation des Quartzites de Hamra, les logs densités sont généralement inutilisables en raison des problèmes de la rugosité du forage et de la perte de contact de garniture due à l'ovalité ou tous les deux.

Des cross section de sonic-neutron-porosité dans les Quartzites de Hamra sont montrés sur la figure 46, ou Les données de porosité se trouvent en générale sur la ligne grés avec des valeurs moyenne varie entre 2 et 5 % ce qui confirme le potentiel médiocre de la porosité matricielle.

III.5.3.3 Les cutoff:

Les qualités pétrophysiques (volume d'argile, porosité, saturation d'eaux) sont a pouvoir calculé a partir du minimum d'épaisseur des lits de sable propre.

Le sable net n'a pas employé le paramètre du cutoff de la saturation d'eau directement Considérant que la formation des quartzites de Hamra est fracturées, les paramètres de cutoff étaient comme suit :

Argile % : 25

Porosité % : 0.1

SW % .50

Epaisseur m : 0.5 mètres.

Des résultats d'addition sont présentés dans le tableau (Tab.III.3).

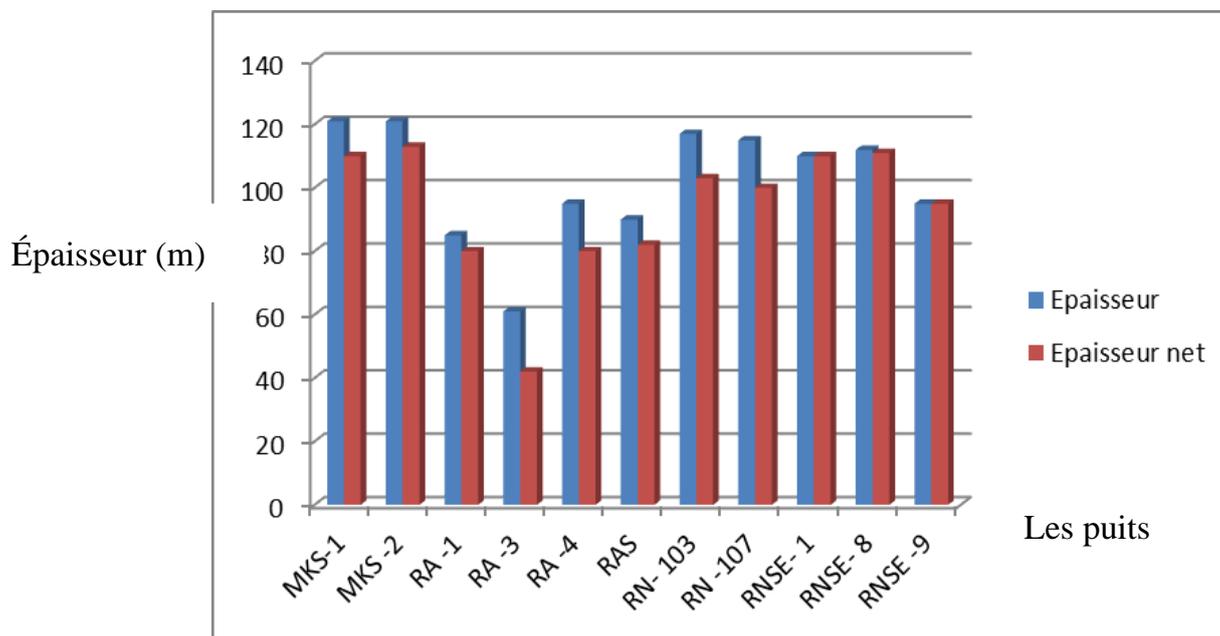


Fig.III.4: Histogramme montrant le taux d'argile dans le réservoir des Quartzites de Hamra des puits forés.

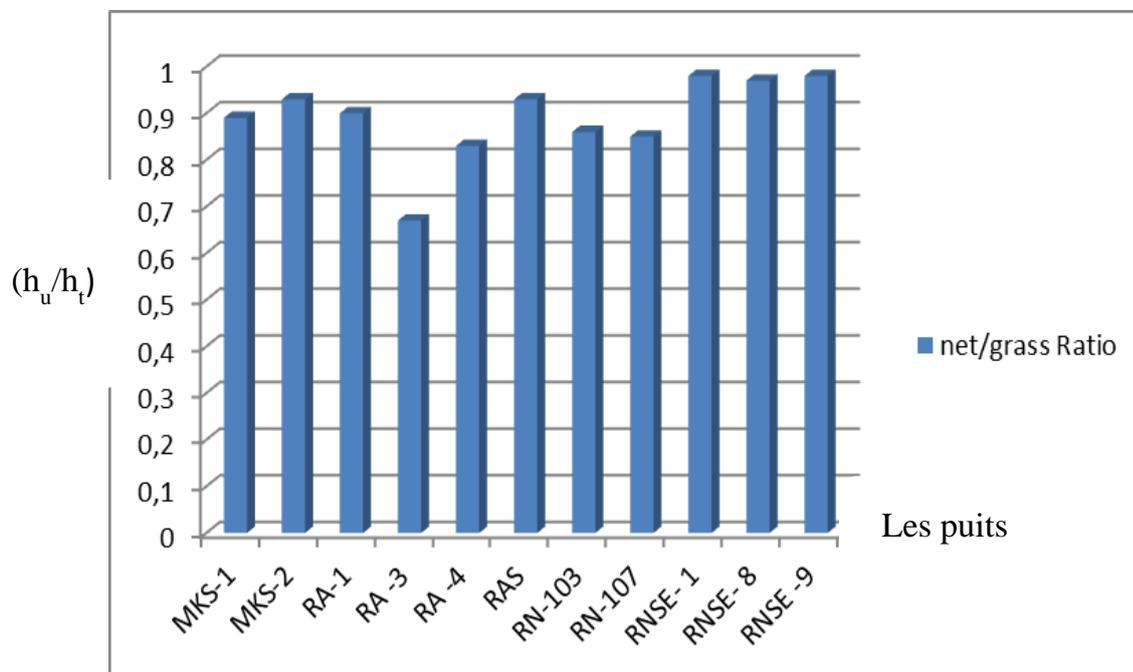


Fig.III.5: Histogramme montrant le degré de propreté des grés du réservoir des Quartzites de Hamra.

puits	X	Y	Toit	Mur	l'épaisseur	l'épais. Net	net/épais. Ratio	Pro. Moy	SW
MKS-1	268609,47	3261728,25	3443,5	3566,9	123,4	111,4	0,903	0,032	0,257
MKS-2	268360,34	3260791,25	3515,4	3638,1	122,8	114,6	0,943	0,03	0,259
RA-1	293500	3271800	3593,3	3680,8	87,5	81,1	0,927	0,036	0,149
RA-3	300914,5	3277458,25	3773,8	3837,5	63,8	44,1	0,692	0,031	0,244
RA-4	286516,03	3266606,64	3850,5	3946,8	96,3	81	0,842	0,033	0,267
RN-11	283687,52	328436,86	3760,5	4005				0,034	
RN-42	280300	3280700	3988,4					0,039	
RN-103	283123,563	3288066,25	3691,1	3810,8	119,6	106	0,886	0,037	0,114
RN-106	281450,5	3282899,75	3428,1					0,4	0,128
RN-107	280849,875	3285651,25	3405	3520,5	115,5	101,8	0,881	0,031	0,156
RN-108	282774,281	3285065,5	3653					0,013	0,257
RNNE-2	290910,46	3297091,69	4030,9					0,034	0,267
RNSE-1	283436,01	3277134,58	3583,6	3694,4	110,8	110,8	1	0,047	0,455
RNSE-8	283850,57	3275149,43	3503,9	3619,3	115,4	114,4	0,991	0,044	0,155
RNSE-9	284643,89	3276888,89	3678,8	3776,1	97,4	97,3	0,999 J	0,043	0,151

Tab.III.3: Les résultats des calculs pétrophysiques du réservoir des quartzites de Hamra.

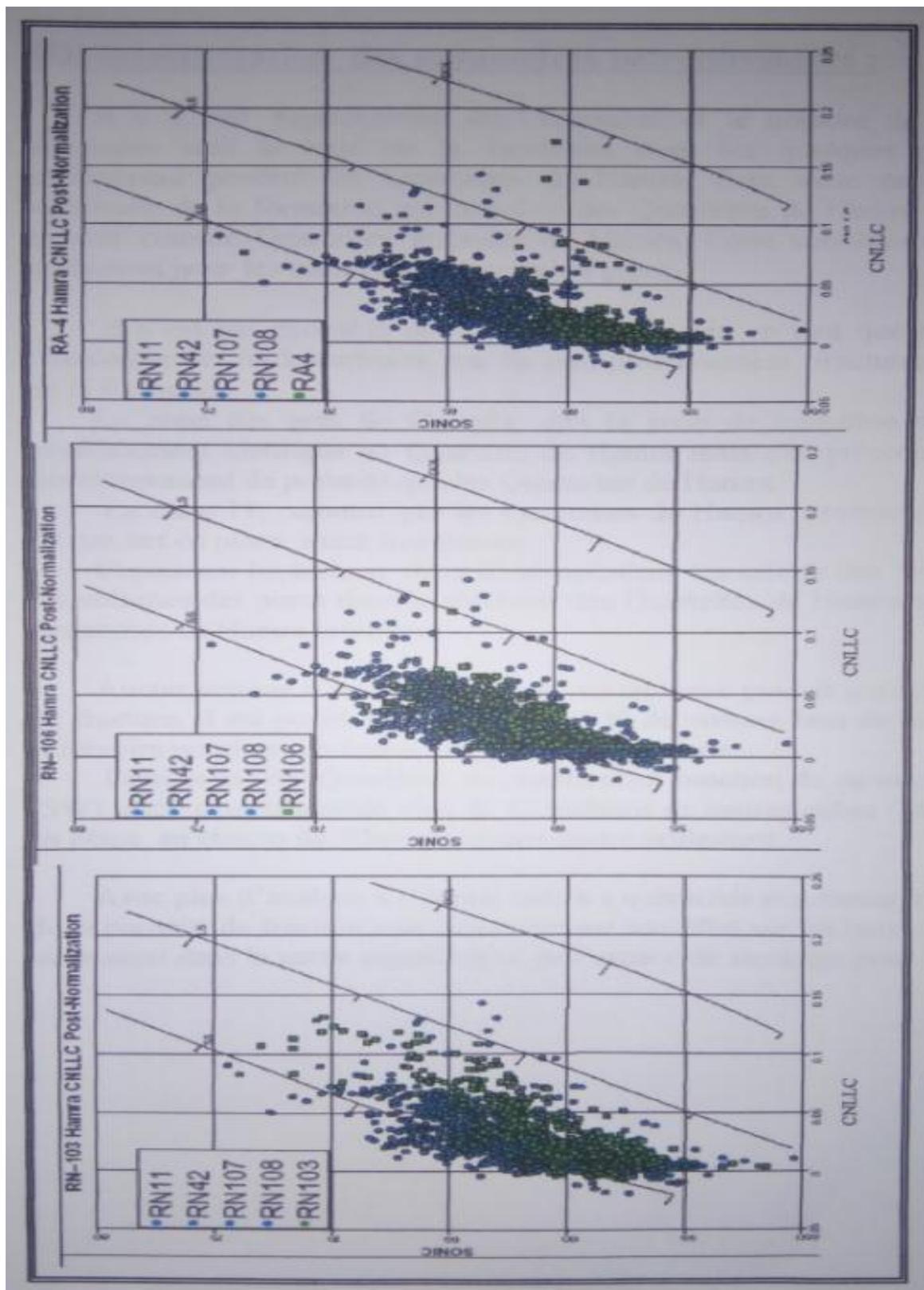


Fig.III.6: Cross plot composite typique sonic/neutron dans les puits RN-11, RN-42, RN-103 RN-106, RN-107, RN-108, RA-4 dans le reservoir des Quartzites de Hamra dans la région de Rhourde Nouss (De Galyer et Mac Naughton, Juin 1999).

III.6 Interprétation des paramètres pétrophysiques:

Il y a une augmentation de l'épaisseur et le nombre de lits d'argiles intercalés vers la base de la formation dans les quelques puits qui ont entièrement pénétré les Quartzites de Hamra. Pour cette raison, la partie inférieure de la formation est détachée des Quartzites de Hamra principales et reporté comme Quartzites inférieur de Hamra. Cette subdivision est utilisée seulement pour les calculs des réserves en place.

Il n'est pas probable que ces argiles agissent en tant que barrières pour circulation des hydrocarbures, car ils sont probablement fracturés avec le reste de la formation

La zone des grés de Ouargla, dite la zone de transition de Quartz est généralement identique au Quartzite de Hamra mais elle présente un meilleur développement de porosité que les

Dans le cas des Quartzites de Hamra et en fonction de la saturation d'eaux (SW), ceci peu représenté plus de 12 millions de mètres cubes (MMm³) du gaz en place au champ de Rhourde Nouss centre seulement.

Avec plus d'analyse à l'avenir aidera à quantifiés et à mesurer l'importance de la porosité de fracture non seulement sur son effet sur les taux de production mais aussi dans la partie significative de l'espace de stockage pour le gaz.

III.7 Estimation des volumes des réservoirs de la région:

Champ	TAGS (10 ⁶ m ³)	Infra-TAGS (MTm ³)	Quartzite hamra (10 ⁶ m ³)	Totale (10 ⁶ m ³)
Rhourde Nouss centre	165,949	29,223	28,879	224,051
Rhourde Nouss Sud-Ouest	53,950	3,155	-	57,106
Rhourde Nouss Sud-Est	52,591	959	61,172	114,723
Rhourde Adra	33,176	496	-	33672
Le complexe de Rhourde Nouss	305,666	33,833	90,051	429351

Tab.III.4: Les volumes originaux prouvé et probable du gaz en place.

champ	TAGS (10 ⁶ m ³)	Infra-TAGS (10 ⁶ m ³)	Quartzite Hamra (10 ⁶ m ³)	Totale
Rhourde Nouss centre	165,949	31,735	28,879	223363
Rhourde Nouss Sud-Ouest	53,950	7,428	-	61378
Rhourde Nouss Sud-Est	52,591	959	63,258	116,809
Rhourde Adra	33,176	629	37,253	71,058
Le complexe de Rhourde Nouss	305,666	40,751	129391	475,808

Tab.III.5: Les volumes originaux prouvé, probable et possible du gaz en place.

III.8 Conclusion:

La perméabilité et la porosité de carottes présente une hétérogénéité dans la distribution. Cependant les cartes en isoporosité et isoperméabilité montrent une relation très étroite avec la position vis-à-vis des accidents. Ce qui confirme la contribution et l'effet de la structuration intense d'une part de la fracturation du réservoir et d'autre part de F enrichissement des qualités pétrophysiques.

Les diagraphies peuvent elles aussi nous renseigner sur les qualités pétrophysiques. Mais les résultats obtenus sur carottes reste les plus crédibles, car les corrections sur les diagraphies ont montrée de combien ces acquisitions peuvent être erronées.

Les calculs pétrophysiques ont montré:

- Un volume d'argile très réduit, avec un pourcentage qui ne dépasse pas les 10%. En revanche les grés des Quartzites de Hamra sont des grés propres.
- Une porosité Matricielle varie entre 0.025 et 0.044 pour cent, qui confirme son potentiel médiocre.
- Les saturation d'eaux varie entre 0,14 à 0.25 % à travers les déférentes structures du champ de Rhourde Nouss.

On peut dire que le réservoir des Quartzites de Hamra à un mode de production issue essentiellement de fracturations naturelles. La porosité de fracture contribue avec un taux de 2 à 4 % à la porosité matricielle ce qui améliore la perméabilité et la circulation des fluides.

Les structures de Rhourde Nouss Centre, Rhourde Nouss Sud-Ouest, Rhourde Nouss Sud-Est, Rhourde Adra, et Meksem présente des fermetures structurales au niveau des quartzites de Hamra.

Les réserves en place du gaz dans le réservoir des Quartzites de Hamra sont très importantes avec plus de 129 milliards m³ en place sans compter les réserves issues de la fracturation naturelle qui contribue importantes quantités, ce qui donne d'impressionnant potentiel.

Pour mieux connaître et mieux exploiter ces réserves, un certain nombre de méthodes doivent être abordées.

Conclusion générale

Conclusion générale:

La région de Rhourde Nouss couvre dans sa globalité une superficie de 10 000 km². Alors que la zone d'étude s'étend sur environ de 2000 km² et correspond essentiellement aux champs de Rhourde Nouss Centre, Rhourde Nouss Sud-Est, Rhourde Nouss Sud-Ouest, Rhourde Adra, Rhourde Adra Sud, Dra Allai, et Meksem.

Deux directions Nord-Sud et Nord- Est/Sud-Ouest dominant la région de Rhourde Nouss, caractérisée par sa grande mobilité et ayant fortement rejoué lors des différentes contraintes tectoniques qui se sont succédées au cours des temps géologiques.

L'histoire de la région a débuté à l'Hercynien avec une phase compressive N120° qui à l'origine des structures que l'on connaît actuellement.

Au Crétacé, durant la compression Autrichienne orienter Est-Ouest et principale phase de création des pièges dans ce secteur ; les failles préexistantes de direction Nord-Est/Sud-Ouest en décrochement dextre.

Au cours du Tertiaire, d'importantes déformations à la phase Atlasique ont affecté le secteur en particulier le long de l'axe Nord-Est/Sud-Ouest de Rhourde Adra.

Les accidents subméridiens ont alors rejoué en décrochement senestre, et la géométrie des pièges créacés a été modifiée.

L'interprétation des profils sismiques ainsi que des cartes en isobathes ont largement montrée la complexité de la structure de Rhourde Nouss. Ceci est rendu d'autant plus facile par sa position haute sur le sillon de Marfag.

On assiste à une superposition des nombreuses déformations au Méso-Cénozoïque. Ce qui va créer des anticlinaux au nombre de 7 séparées par des ensellements.

La phase Hercynienne N 120° sera marquée par un décrochement dextre engendrant des plissements.

La phase Autrichienne va reprendre ces accidents selon une direction Est-Ouest (N 90°).

Le faciès des Quartzites de Hamra est formé par des grès propres, avec des grains arrondis à sub-arrondis présentant des contacts concavo-convexes, et un ciment siliceux.

Conclusion générale

Le milieu de dépôt du réservoir des Quartzites de Hamra est un milieu tidal ou Faction du courant de marée prédominante.

Le réservoir des Quartzites de Hamra, est caractérisé par une épaisseur utile assez importante qui varie entre 150 et 250 mètres et une continuité dans l'espace des corps gréseux.

Les calculs pétrophysiques montrent que les quartzites de Hamra sont des grés propres à volume d'argile réduit (ne dépassant les 10 %).

Les qualités de la porosité matricielle (varie entre 2 à 4%) et la saturation en eau confirment un potentiel médiocre ce qui explique que le mode de production est issue et enrichie en partie par la fracturation naturelle. Celle-ci va améliorer la perméabilité et la circulation des fluides.

Les réserves en place sont assez important surtout le gaz, ou l'apport de la fracturation naturelle est estimé à 12 Millions de MM3 de gaz en place dans la structure de Rhourde Nouss seulement.

Références bibliographiques

Références bibliographiques:

- BEICIP-SONATRACH (1990)** (volumes I, II, III, et IV): Evaluation réservoirs du champ de Rhourde Nouss.
- BEICIP-SONATRACH (1991)**: Bassin de Ghadamès. Evolution pétrolière.
- BEICTP/SONATRACH II (2002)**: révision structurale de la région de Rhourde Nouss.
- Boudjmaa.A (1987)**: Evolution structural du bassin pétrolier Triasique du Sahara oriental (Algérie). Thèse de doctorat; université du Paris XI.
- Chaouche.A (1992)**: Document SONATRACH. Genèse et mise en place des hydrocarbures dans le bassin de l'Erg Oriental (Sahara Algérienne).
- DeGolyer & MacNaughton-SONATRACH (1999)**: "Report on a Reservoir Engineering of Study of Certain Fields of the Rhourde Nouss Region-Algeria.
- Djdjeli. M et HellaL C (1996)**: Synthèse géologiques sur le modèle de dépôt de Trias argilo-gréseux dans le bassin de Berkine (Rapport interne Sonatrach).
- Kadi.B & Mouaici.R & Lemouari.A (2001)**: Etude du Silurien argilo-gréseux de Berkine et de la province Sud-Est Triasique. (Rapport interne SONATRACH).
- Rossi. C (2001/2002)**: Daigegesis, provenance and reservoir quality of Triasique TAGI sandstones home Ourhoud field, Berkine (Ghadamès) bassin Algeria.
- Sonatrach (rapport interne) (2000)**: « Structure de Rhourde Nouss Central, Réservoir Trias Argilo-Gréseux Supérieur, Historique du forage horizontal et Incertitudes liées au développement de Vanneau d'huile ».
- Tourqui. A (1999)**: Redéfinition de la destruction du potentiel restant à explorer dans le bassin de Berkine.
- Turner. P (2001)**: Sequence stratigraphic and sedimentology of the late Triassic TAGI (bloc 401- 402, Berkine bassin Algeria) (Rapport-ANADARKO).
- Vialon.P & Ruhland.M & Grolier.J (1976) : Eléments de tectonique Analytique (edition Masson).