



République Algérienne Démocratique et Populaire
ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



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

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GEOLOGIE

Option : Géologie des bassins sédimentaires

Thème :

**Caractérisation sédimentologique, pétrographique et
diagenétique du Trias argileux gréseux inférieur
(TAGI) dans la région de Touggourt Est**

Proposé par :

Melle Guenifi A.

Présenté par :

Mr Hallalel Wassim

Mr Hamdad Belkacem

Soutenu publiquement, le 10/10/2022 devant le jury :

Mr KARDACHE R. MCA, UMMTO

Président

Mr BRAHMI B. MAA, UMMTO

Promoteur

Melle GUENIFI A. Ingénieur, Sonatrach

Co-promotrice

Mr AMROUCHE F. MAA, UMMTO

Examineur

Mr ACHOUI M. MAA, UMMTO

Examineur

Année universitaire : 2021/2022

Remerciements

Tout d'abord nous remercions Dieu qui nous a permis de réaliser ce modeste labeur.

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce projet, tout d'abord Mlle A. GUENIFI, notre encadrante au niveau de la Division Petroleum Engineering et Développement de la SONATRACH et également Mr M. NEGAB et Mme BELARBI qui nous ont apporté leur assistance du début à la fin de la confection de ce mémoire.

On tient à saluer tous nos camarades de la promotion en Géologie des Bassins Sédimentaires.

Bien-sûr nous tenons à remercier nos deux familles, celles qui nous ont encouragées, aidées et donné la motivation nécessaire pour mener à terme ce mémoire, même dans les moments de doute et de stress.

Sommaire

Chapitre I : Généralités sur la zone d'étude

I Cadre régional	1
I.1 Situation géographique.....	1
I.2 Situation géologique.....	2
I.2.1 Cadre géologique global.....	2
II Cadre local	5
II.1 Description de la zone d'étude	5
II.1.1 Cadre structural	5
III Aperçu lithostratigraphique	8
IV Système pétrolier.....	12
IV.1.1 Roche mère et migration	12
IV.1.2 Les réservoirs	13
IV.1.3 Couvertures	13
IV.1.4 Les pièges	14
IV.1.5 Timing	14
V Conclusion.....	14

Chapitre II : Etude sédimentologique

Introduction	15
I Notions de sédimentologie.....	15
I.1 Les milieux de dépôts.....	16
I.1.1 Milieu de dépôts fluviatile.....	16
I.1.1.1 Sédimentation des réseaux à méandres.....	18
I.1.1.2 Sédimentation des rivières anastomosées	18
I.1.1.3 Les dépôts fluviatiles en tresses	19
I.1.1.4 Les dépôts de plaine d'inondation	20
I.1.2 Les dépôts marins.....	20
II Application sédimentologique et diagraphique	21
II.1 Lithofaciès et leur association aux milieux de dépôts.....	22

II.1.1	Classification des lithofaciès selon la méthode de Miall (1978/1988).....	22
II.1.2	Association des lithofaciès et interprétation des milieux de dépôt	23
II.1.2.1	Association des lithofaciès de la plaine alluviale	23
II.1.2.2	Association des lithofaciès de la plaine d'inondation.....	27
II.2	Notions diagraphiques.....	33
II.2.1	Les Diagraphies.....	33
II.2.2	Classifications des diagraphies.....	33
II.2.2.1	Diagraphies Nucléaires	33
II.2.2.1.1	La radioactivité naturelle ou Gamma Ray	34
II.2.2.2	Diagraphies des neutrons (Indice d'Hydrogène)	34
II.2.2.3	Diagraphies acoustiques (Log sonique).....	35
II.2.2.3.1	Log sonique.....	35
II.2.3	Stratigraphie séquentielle	36
II.2.4	Notions d'électro-facies et d'électro-séquence	37
II.3	Découpage séquentiel.....	38
II.3.1	Description du substratum paléozoïque : (3981-3968m)	39
II.3.2	Formation du Trias argileux gréseux inférieur (3889-3931m).....	40
II.3.3	Les corrélations	43
II.3.3.1	Commentaire du profil (NE-SO)	43
II.3.4	Commentaire de la Carte Isopaques :.....	46
III	Conclusion.....	47

Chapitre III : Etude Pétrographique et Diagenétique

	Introduction	48
I.1	Analyse des microfaciès	48
I.1.1	Microfaciès observés.....	48
I.1.1.1	Microfaciès A (4011.5 - 4004.8 mètres).....	49
I.1.1.2	Microfaciès B (4003.5 – 3987.5 mètres)	49
I.1.1.3	Microfaciès C (3965 – 3949.5 mètres)	50
I.2	Description pétrographique	50
I.2.1	Dans le Trias argileux-gréseux inférieur (T.A.G.I).....	50

I.2.1.1	Les composants détritiques	50
I.2.1.2	Les composants authigènes	51
I.2.2	La porosité	52
I.2.2.1	La porosité intergranulaire (primaire)	52
I.2.2.2	La porosité de dissolution	52
I.2.2.3	La porosité fissurale	53
I.2.2.4	La porosité totale estimée	53
I.2.3	Les milieux de dépôts	53
II	La diagenèse	54
II.1	Les différents stades Diagenétiques	54
II.1.1	La Syndiagenèse (diagenèse précoce)	54
II.1.2	L'Anadiagenèse (diagenèse d'enfouissement)	54
II.1.3	L'Epidiagenèse (diagenèse tardive)	54
II.2	Les mécanismes de la diagenèse	54
II.2.1	La compaction	55
II.2.2	La cimentation	55
II.2.3	La recristallisation	55
II.2.4	Le remplacement (épigénèse)	55
II.2.5	La dissolution	56
II.2.6	Les stylolithes	56
II.2.7	Les figures de dissolution	57
II.2.8	Les fissures	57
II.3	Les phénomènes diagenétiques observés	57
II.3.1	La compaction	57
II.3.2	La cimentation	57
II.4	Séquence diagenétiques du Trias argileux gréseux inférieur	59
III	Conclusion	61

Tables des figures

Chapitre I : Généralités sur la zone d'études

Figure I- 1 : Situation géographique de la région de Touggourt sur la carte géographique du Nord Maghreb.	1
Figure I- 2 : carte géologique qui montre la position de la région d'étude au sein des grand ensembles géologique de l'Algérie (Rapport SONATRACH).	2
Figure I- 3 : Carte géologique de la région du bassin de Ghadames (Goudarzi (1980) ; Sonatrach & Schlumberger (1995)).	4
Figure I- 4 : Positions des puits dans la région de Touggourt (rapport Sonatrach).	5
Figure I- 5 : Carte en isobathes : (A) au toit de la Discordance Hercynienne au toit, (B) au toit du Trias série inférieure (rapport Sonatrach).	6
Figure I- 6 : Section sismique X Line 1600 de direction NE – SO passant par les puits RAA-2 et RAA3 (rapport Sonatrach).	7
Figure I- 7 : coupe structurale orienté SO-NE (A), écorché relatif à la Discordance Hercynienne (B) (rapport Sonatrach).	7
Figure I- 8 : carte des épaisseurs du silurien dans la plateforme saharienne (Rapport Eni). ...	13
Figure I- 9 : illustration montrant un piège mixte typique (rapport Sonatrach).	14

Chapitre II : Etude sédimentologique

Figure II- 1 : différents milieux d'une même entité géographique (Beauchamp, 2012).	16
Figure II- 2 : Spectre continu des systèmes de dépôt fluviaux et leurs caractéristiques (Selley, 1976 Modifiée).	17
Figure II- 3 : Dépôts dans un méandre. (J. Beauchamp, 2012).	18
Figure II- 4 : Sédimentation d'une rivière anastomosée (J. Beauchamp, 2012).	19
Figure II- 5 : Les principaux types de barres fluviales, (1) Chenal droit, (2) Chenaux en tresse (J. Beauchamp, 2012).	20
Figure II- 6 : Zonation des milieux littoraux (Jacques Beauchamp, 2005).	21
Figure II- 7: localisation des puits utilisé pour l'étude dans la région de Touggourt-Est.	21
Figure II- 8 : Photos de carottes montrant les différents lithofaciés rencontrés dans un chenal actif.	24

Figure II- 9 : Photos de carottes montrant les différents lithofaciès rencontrés dans une barre d'accrétion latérale.....	25
Figure II- 10 : Photos de carottes montrant les différents lithofaciès rencontrés dans les levées	27
Figure II- 11 : Photos de carottes montrant les différents lithofaciès rencontrés dans les faciès de débordement.	28
Figure II- 12 : Photos de carottes montrant les différents lithofaciès rencontrés dans les chenaux abandonnés.....	29
Figure II- 13 : Photos de carottes montrant les différents lithofaciès rencontrés dans les paléosols.	30
Figure II-14: Principe de fonctionnement de l’outil de diagrapie GR (A) et exemple d’enregistrement et d’interprétation lithologique (B) (Rapport Schlumberger).	34
Figure II- 15: Schéma montrant le principe de fonctionnement de la sonde neutrons (Beghoul, 2013).....	35
Figure II- 1: Principe de fonctionnement de l’outil sonique (Rapport Schlumberger)	36
Figure II- 17 : Classification des électroséquences d'après la forme des courbes de Gamma ray (Bachiana, 2011).	38
Figure II- 18 : log diagrapique de puits RAA-3 (signal GR).	39
Figure II- 19 : formation de l’ordovicien (puits RAA-3).	40
Figure II- 20 : Découpage séquentielle du Trias inférieure dans le puits RAA-3.....	42
Figure II- 21 : Profil de corrélation sur la carte en isopaque au toit du TAGI.	43
Figure II- 22 : corrélation des puits N-RAA-1, RAA-2, RAA-1, RAMA-1, HBHJ-1.....	45
Figure II- 23 : Carte isopaque du trias argileux gréseux inférieure.....	46

Chapitre III : Etude Pétrographique et Diagenétique

Figure III - 1 : Classification QFR des échantillons de la Série inférieure (D’après le diagramme de FOLK, 1968).	48
Figure III - 2 : Log pétrographique des composants en fonction des profondeurs d’un puits de la zone d’étude (rapport Sonatrach).	52
Figure III - 3 : Représentation des phénomènes de cimentation et compaction (Bourque, 2010).....	55
Figure III - 4 : diagénèse des roches détritiques siliceuses (Beauchamp, 2005).....	56
Figure III - 5 : les types de stylolithes rencontrés dans les dépôts (Laronne, 2014).	57
Figure III - 6 : Séquence diagenétique du réservoir du TAGI.....	60

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Le tableau montre le diachronisme des formations triasiques (rapport Sonatrach).....	11
Tableau II- 1 : Caractéristiques principales des lithofaciès et interprétation des milieux de dépôt.	22

Résumé :

La découverte d'huiles et de gaz au niveau des réservoirs triasiques à Touggourt-Est fait qu'on porte un intérêt particulier à l'étude de cette zone.

La présente étude a pour objectif d'étudier les caractéristiques sédimentologiques, pétrographiques et diagenétiques du réservoir du Trias Argileux Gréseux Inferieur (T.A.G.I) dans la partie Est de Touggourt.

Pour cela, nous avons établi :

- Une étude sédimentologique basée essentiellement sur la description des carottes, interprétation des diagraphie et analyse des milieux de dépôts.
- Une étude pétrographique basée sur l'étude des lames minces.
- Une étude diagenétique.

Les résultats obtenus montrent que le réservoir du T.A.G.I présente un intérêt en hydrocarbures avec de bons paramètres pétrographiques et diagenétiques.

Mots clés : Touggourt-Est, T.A.G.I, caractéristiques sédimentologique, carottes, diagraphique, hydrocarbures, pétrographique, diagenétique.

Abstract:

The discovery of oils at the Triassic reservoirs in Touggourt-Est led to a particular interest in the study of this area.

The objective of this study is to study the sedimentological, petrographic and diagenetic characteristics of the reservoir of the T.A.G.I in the eastern part of Touggourt.

To this end, we have established:

- A sedimentological study based essentially on the description of cores, diagraphic study and analysis of deposition media.
- A petrographic study.
- A diagenetic study.

The results obtained by the exploitation of diagraphic, petrographic and diagenetic data show that the T.A.G.I reservoir is an interesting site with, good petrographic and diagenetic parameters.

Keywords : Touggourt-Est, T.A.G.I, sedimentological, characteristics, cores, diagraphic, oils, petrographic, diagenetic.

Introduction Générale

Problématique et objectif de travail :

L'exploitation des hydrocarbures en Algérie et particulièrement dans le domaine pétrolier a été méticuleusement entreprise depuis la découverte du pétrole au Sahara (Algérie) dans les années 1950.

La demande croissante en énergie et particulièrement en hydrocarbures est telle que Sonatrach est obligé de s'intéresser à de nouveaux champs propices à l'exploitation au vu de l'épuisement graduel des ressources d'énergie classique mais aussi des gisements de pétrole surexploités, Sonatrach s'intéresse particulièrement aux bassins de la plateforme saharienne et davantage à ceux de Touggourt qui se trouve précisément à la périphérie Nord-Est de Hassi Messouad. Situé au sud-sud-est d'Alger, à l'ouest de la frontière tunisienne dans un environnement pétrolier très favorable et compte tenu de sa position contiguë au gisement de Hassi Messaoud, le champ de Touggourt présente un intérêt tout particulier. Ce dernier est confirmé par la mise en place d'un puits délinéation, réalisé en mars 2022 dans le périmètre de Touggourt Est au niveau de la série inférieure du Trias.

La présence des hydrocarbures dans ce nouveau champ, non étudié, nécessite une bonne connaissance de la géologie de subsurface de ces gisements, en l'occurrence, l'aspect sédimentologique et pétro-physique du réservoir du Trias argilo-gréseux du champ de Touggourt-Est.

C'est dans cette optique que rentre la présente étude, dont l'objectif principale est d'étudier les caractéristiques sédimentologiques du réservoir du Trias argilo-gréseux dans la région Touggourt-Est et de savoir si l'intérêt porté à cette zone est justifié.

Pour répondre à cette problématique, trois chapitres ont été élaborés :

Premier chapitre :

Aperçu générale porter sur la région Touggourt comprennent sa situation géographiques, limite géologique ainsi le cadre structural et le système pétrolier.

Deuxième chapitre :

Basé sur les descriptions des carottes et leurs interprétation, découpage séquentielle du puits de référence, la classification des lithofaciès et aux corrélations des puits étudiés ainsi que le commentaire de la carte isopaque.

Troisième chapitre :

Analyse pétrographique et de la composition minéralogique des réservoirs et de l'impact des phénomènes diagenétiques sur les qualités réservoirs.

Chapitre I
Généralités sur la zone
d'études

I Cadre régional

I.1 Situation géographique

La région de Touggourt se trouve au nord de Hassi Messaoud au sein du Sahara algérien (figure I-1). Elle fait partie de la plateforme saharienne précisément au niveau de la province septentrionale. Elle est située à la limite nord du grand erg oriental, à 660 km en sud-est d'Alger, à 160 km au nord-est de Ouargla et à 225 km au sud de Biskra. Cette région s'étend sur une superficie de plus 216km², elle est localisée entre les méridiens 6° 4' 42.637" E, et les parallèles 33° 5' 58.588" N.

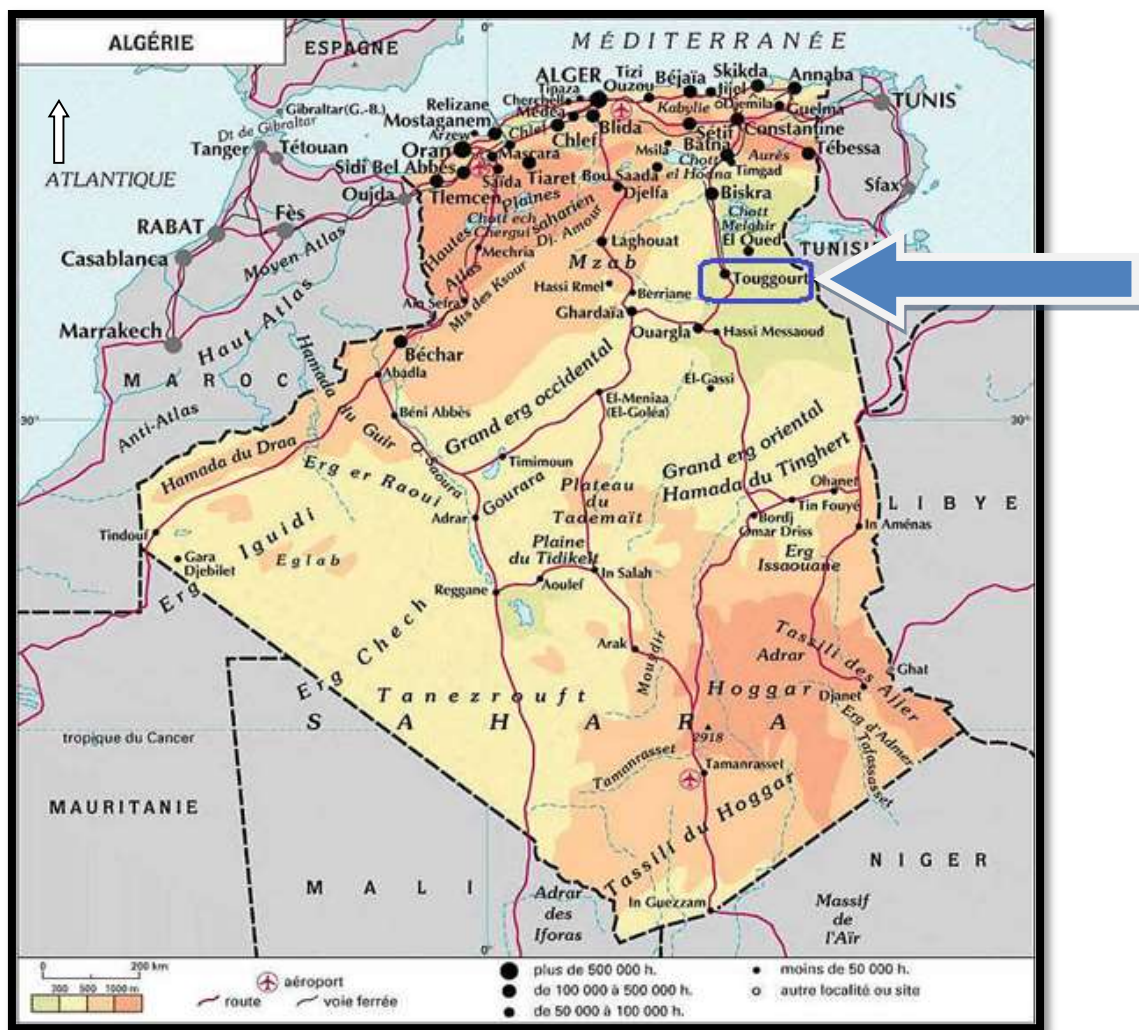


Figure I- 1 : Situation géographique de la région de Touggourt sur la carte géographique du Nord Maghreb.

I.2 Cadre géologique

I.2.1 Cadre géologique global

Le périmètre de Touggourt se localise entre trois (3) structures géologiques importante qui sont Hassi Messaoud (El Biod) au sud et le bassin de Berkine (Ghadames) au sud-est et le bassin d'Oued Mya à l'Ouest (figure I-2).

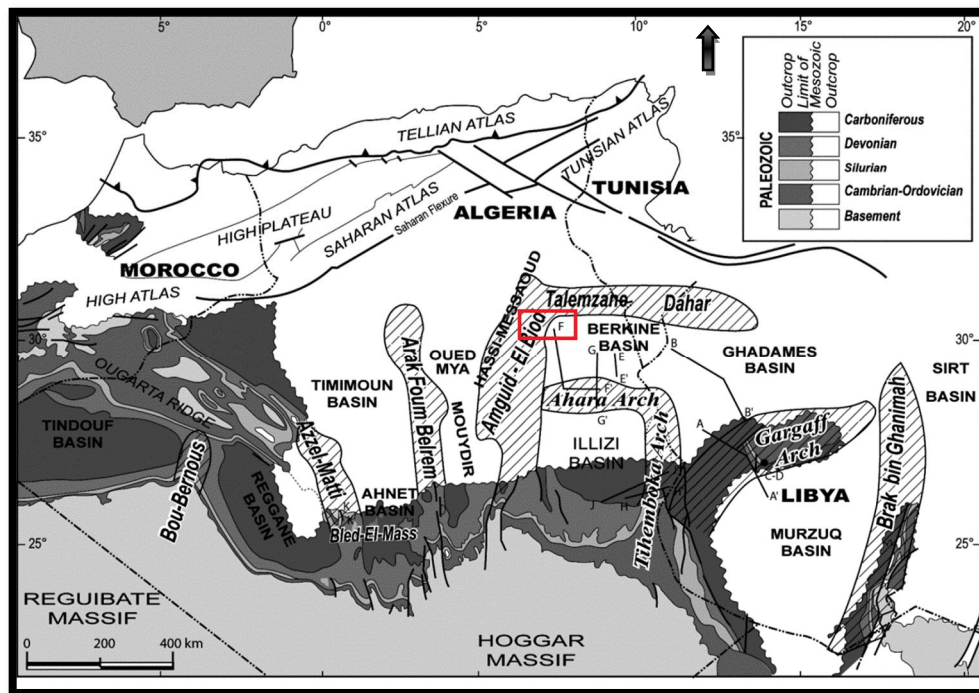


Figure I- 2 : carte géologique qui montre la position de la région d'étude au sein des grand ensembles géologique de l'Algérie (Rapport SONATRACH).

La région se situe plus exactement dans le prolongement Nord de l'axe positif d'Amguid El Biod, élément tectonique majeur de direction subméridienne, actif tout au cours de l'histoire géologique avec une série Paléozoïque profondément érodée par la discordance hercynienne. Au sud, cet axe se prolonge en continuité jusqu'aux affleurements des Tassilis et du massif du Hoggar par le Mole d'Amguid-El Biod proprement dit (figure I-3).

Plusieurs axes structuraux sont clairement individualisés dans la région de Hassi Messaoud et ses périphéries et délimitent des domaines distincts ; on citera notamment :

- A l'Est, le trend positif de Hassi Touareg - Mesdar - Rhourde el Baguel, composé de structures de forte amplitude générées lors de la transpression d'âge crétacé (Phase Autrichienne) et réactivées durant les phases du Cénozoïque ; cet axe sépare la zone d'étude du bassin de Berkine à l'Est, où les séries du Paléozoïque se complètent progressivement sous le Trias.

- Au centre, l'axe positif de El Gassi - El Agreb – Hassi Messaoud : cet élément majeur correspond régionalement à la zone d'érosion maximale des séries Paléozoïques, est constitué d'un ensemble de pièges structuraux de plus faible amplitude que le trend oriental. Cet axe est marqué par l'absence totale de Silurien roche mère. Dans la moitié Nord il est séparé de l'axe précédent par le sillon de Dorbane marqué par une forte subsidence au cours du Trias-Lias dont la puissance atteint 1700m.
- Plus à l'Ouest la dépression de l'Oued Mya est soulignée par la préservation de la série Siluro-Dévonienne sous le Trias et correspond à une vaste structure de type synclinal entre les moles d'Hassi R'Mel à l'Ouest et d'Hassi Messaoud à l'Est.
- Vers le Nord, la zone est bordée par les Mômes de Talemzane et de Dahar, où l'érosion hercynienne atteint régionalement le Cambro-Ordovicien et localement le Socle.

Cette paléo zone haute d'orientation E-W s'étend depuis Hassi R'Mel à l'Ouest jusqu'en Tunisie à l'Est et est parfois appelée par certains auteurs (Voute de Tlirhemt) ou (Bombement de Djemaa-Touggourt).

Trois phases tectoniques ont affecté la région d'étude, la première phase est hercynienne qui a provoqué un soulèvement régional et l'érosion de tous les dépôts paléozoïques . Cette érosion est plus prononcée au centre de Hassi Messaoud par rapport à ses périphéries où même l'Ordovicien inférieur est érodé.

Le rifting triasique qui a réactivé les failles hercyniennes d'orientation NE-SW. Cette phase de rifting est accompagnée par l'éruption de roches ignées au top des niveaux de formations érodées. La troisième phase tectonique est celle du crétacé qui provoque une inversion des jeux de failles NNE-SSW et un tilting des bassins.

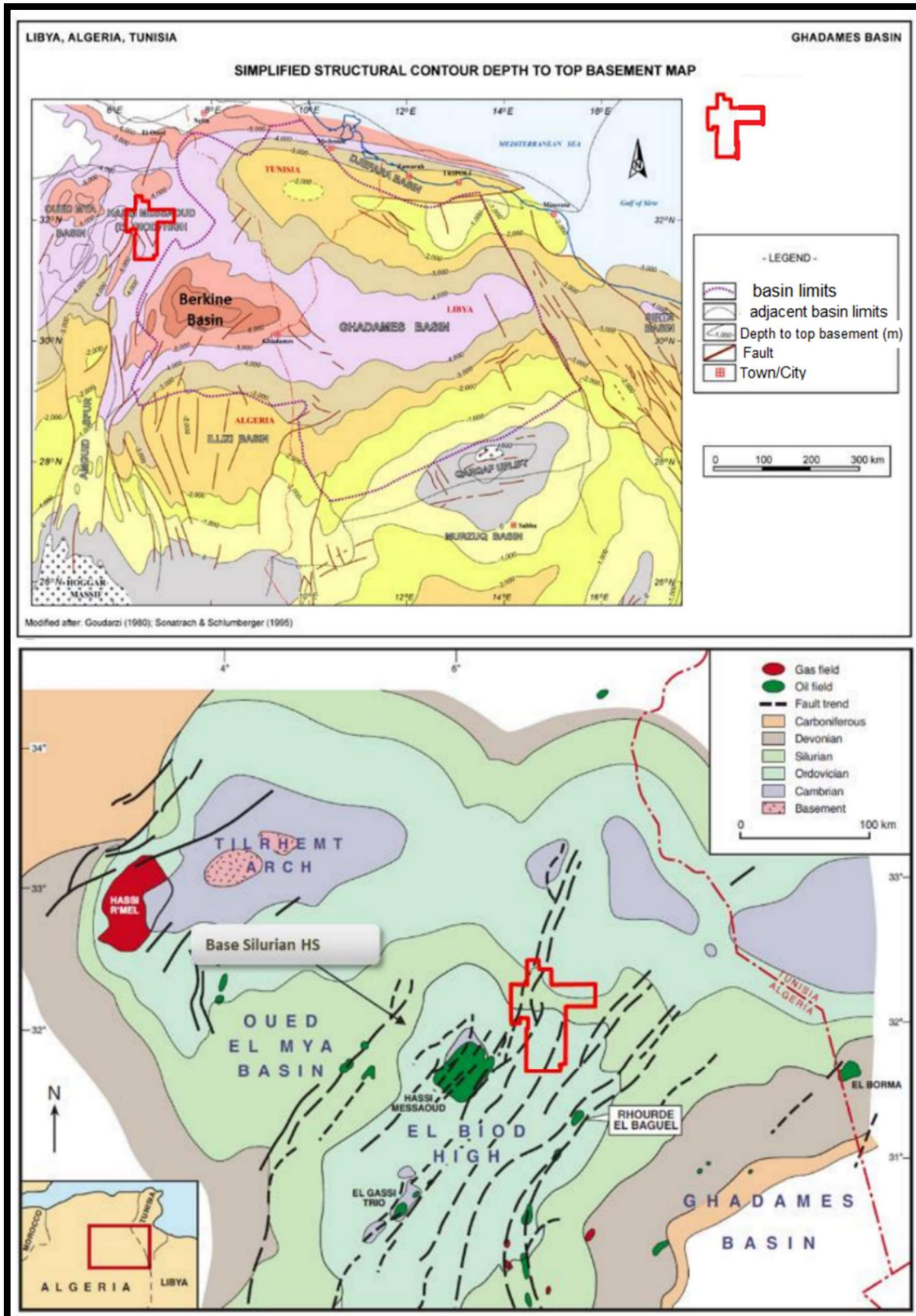


Figure I- 3 : Carte géologique du bassin de Ghadames (Goudarzi (1980) ; Sonatrach & Schlumberger (1995).

II Cadre local

II.1 Description de la zone d'étude

Touggourt Est se trouve, à 65Km au Nord-est de gisement de Rhourde Chegga, et à 10km et 28km à l'Est des gisements de Bir Sbâa (BRS) et de Mouia Ouled Messaoud (MOM) et à l'Ouest de Hassi Bir Rekaiz.

On dénombre de nombreux champs pétrolifères dont les champs DAD et RAA, qui sont par ailleurs toujours en activité (figure I-4).

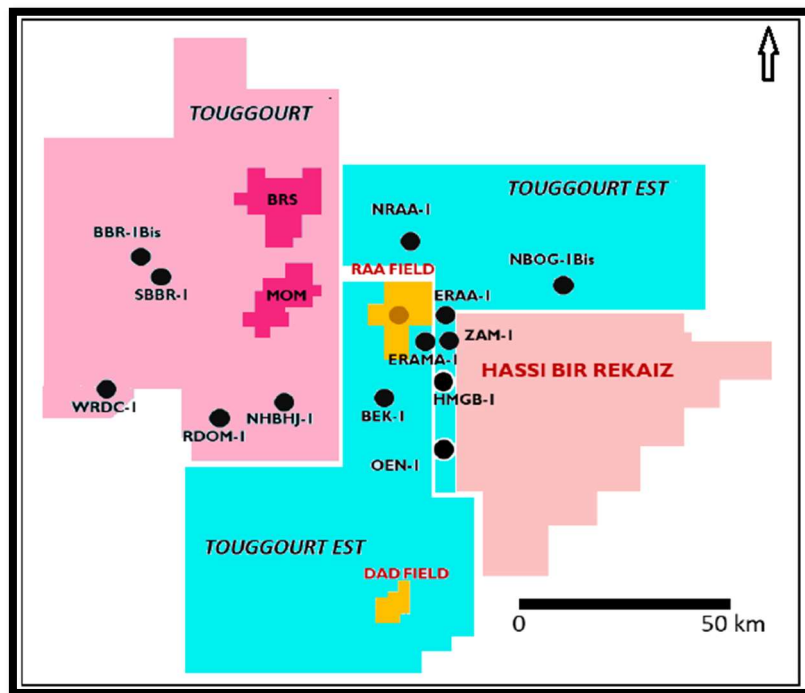


Figure I- 4 : Positions des puits dans la région de Touggourt (rapport Sonatrach).

II.1.1 Cadre structural

La cartes en isobathes au toit de la discordance hercynienne (figure I-5 ; A) et du trias série inférieure (Figure I-5 ; B) de la campagne sismique 3D RAA, montre une tectonique assez complexe matérialisée par des accidents à prédominance NE – SO qui sont importants et continues ou en échelons et ceux NO – SE a jeu dextre qui décalent les linéaments précédents.

Ces accidents donnent l'aspect de structures en forme de blocs, les deux figures montrent que les accidents orientés NE-SO ont une longueur plus importante car elles représentent le prolongement du mole d'Amguid- El biod, matérialisé par des grands accidents dans la même direction.

Cependant ceux qui prennent la direction NO-SE sont de petites longueurs.

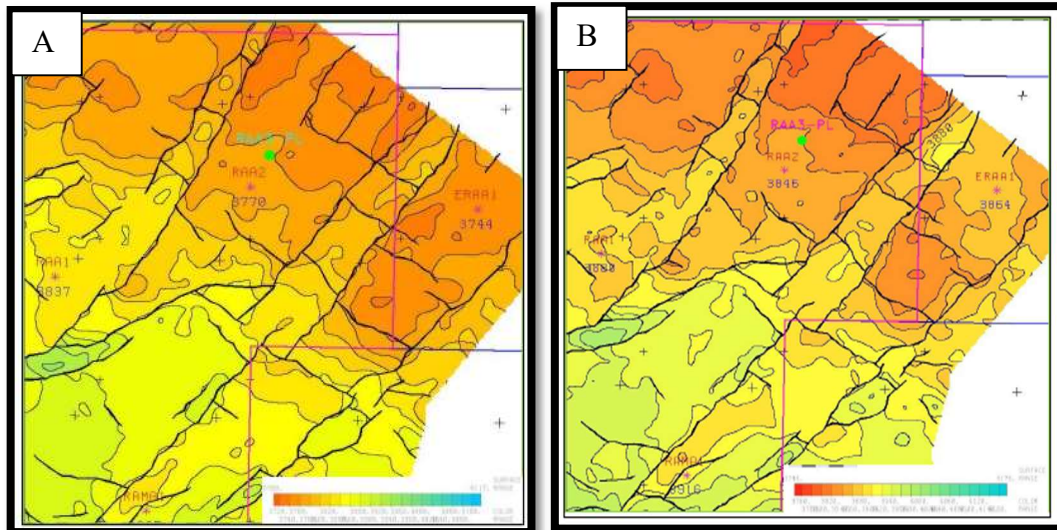


Figure I- 5 : Carte en isobathes : (A) au toit de la Discordance Hercynienne au toit, (B) au toit du Trias série inférieure (rapport Sonatrach).

La coupe sismique X line 1600 NE-SO passant par les puits RAA-2 et RAA-3, montre quatorze (14) failles verticales qui ont été tracées (figure I-6).

- Cinq (05) failles qui n'affectent que les formations de mésozoïques.
- Neuf (09) failles affectent les formations de paléozoïques et mésozoïques.

La région d'étude est l'une des zones les plus complexe au niveau structural dans la plateforme saharienne, elle a enregistré plusieurs épisodes de plissements et soulèvements au cours du paléozoïque (figure I-7) et du mésozoïque, on retrouve notamment des anticlinaux observés sur la totalité de la coupe qui sont encadrés par des failles normales et des failles inverses et verticales de direction NE - SO.

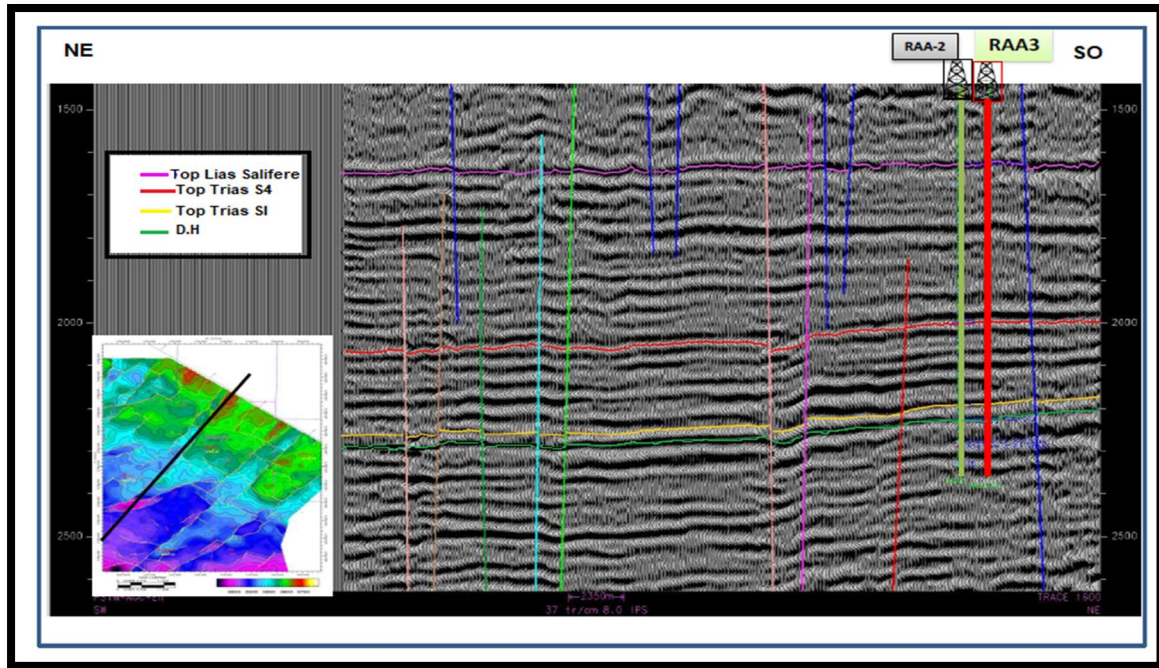


Figure I- 6 : Section sismique X Line 1600 de direction NE – SO passant par les puits RAA-2 et RAA3 (rapport Sonatrach).

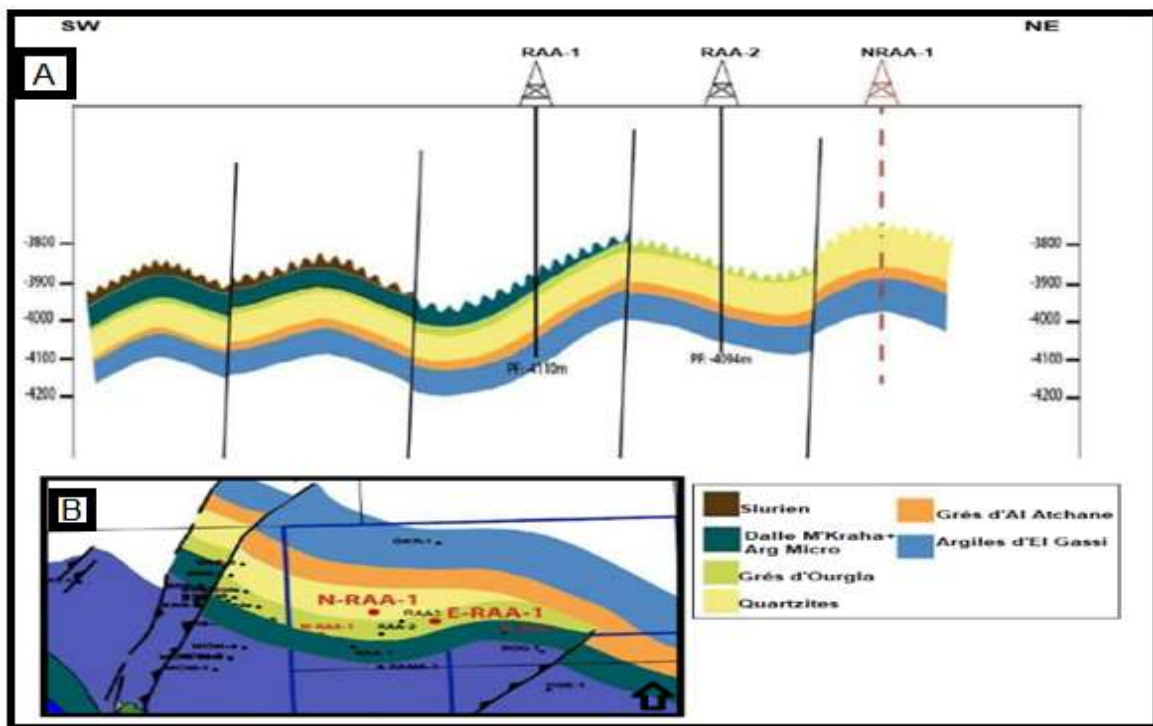


Figure I- 7 : Coupe géosismique orientée SO-NE (A), écorché relatif à la Discordance Hercynienne (B) (rapport Sonatrach).

III Aperçu lithostratigraphique

La région de Touggourt n'ayant pas d'aperçu lithostratigraphique prédéfini en raison des études d'exploration non achevées, on a préféré utiliser celle d'Amguid Messaoud qui présente une continuité vers le Nord (WEC, 2007).

A. Le Cambrien

De bas en haut, il comprend :

La zone R3 est principalement constituée par des grès grossiers conglomératiques à la base avec un ciment argilo-dolomitique, surplombé par la zone R2 qui a une granulométrie plus fine, avec un ciment plus argileux (Kaolinite).

L'unité Ra qui se trouve au-dessus de R2 est représentée par des grès anisométriques, parfois micro-conglomératiques, siliceux à silico-quartzitiques, de couleur grise blanche à blanc ; avec des intercalations de joints d'argile grise, indurée, silteuse, micacée et feuilletée, soulignées par des traces d'illite et la présence de Tigillites.

Au sommet on a l'unité Ri est formée de grès isométriques fins à moyens, siliceux à silico-quartzitiques localement durs, intercalés de passées d'argile noire, indurée, silteuse et micacée avec une abondance de Tigillites; ainsi que des traces de pyrite et de lignite.

Les zones d'alternances sont des zones où les lits d'argile noire indurée, silteuse et micacée, s'alternent avec des grès clairs, fins à très fins, silico-quartzitiques, durs avec une abondance de Tigillites. Ces alternances caractérisent un milieu deltaïque.

B. L'Ordovicien

L'Ordovicien se présente en une méga séquence issue d'une influence marine dans la région, les seuls termes épargnés par L'érosion post-hercynienne sont de bas en haut :

Les argiles d'El Gassi

Cette formation correspond à des argiles noires, silteuses avec de très rares passées de grès glauconieux. Elles sont considérées comme roche mère possible dans la région du fait de leurs caractéristiques géochimiques. Cette formation est mise en place dans un milieu marin peu profond (plateforme).

Les grès d'El Atchane

Ce sont des grès quartzitiques blancs, fins à très fins feldspathiques et glauconieux. Les grès d'El Atchane correspondent à un milieu marin peu profond (zone intertidale) à influence fluviale.

Les quartzites de Hamra

Elles sont constituées de grès quartzitiques fins à moyens, le plus souvent fissurés. Ces dépôts sont constitués de quartzites fins, compacts fissurés, à rares intercalations d'argiles silteuses micacées et indurées avec de nombreuses Tigillites. Les quartzites sont datés grâce

à la palynologie. Les Quartzites de Hamra se déposent dans un milieu marin de type upper Shoreface.

Les grès de Ouargla

Ils sont constitués de grès fins, quartzitiques intercalés de silts et d'argile. Cet ensemble est plus ou moins conservé à l'Ouest et au Nord-Est de la région. Les différents ensembles paléozoïques qui viennent ensuite (du Silurien au Carbonifère) sont complètement érodés.

C. Le Mésozoïque

Le Mésozoïque est représenté par des dépôts continentaux et lagunaires qui reposent en discordance sur les formations des paléozoïques, il comprend de bas en haut les termes suivants :

A. Le Trias

Il repose en discordance sur les sédiments paléozoïques. Il est constitué de trois parties lithologiques. Il est productif dans quelques régions, on distingue :

Le Trias argilo-gréseux

Il est représenté par des dépôts clastiques, continentaux. Il est caractérisé par des variations latérales et verticales de faciès. Il constitue le premier remplissage des paléo-vallées paléozoïques.

Le Trias éruptif

Il est caractérisé par des coulées basaltiques interstratifiées au sein des formations détritiques du Trias.

Les unités T1 et T2

Ce sont des termes argilo-gréseux qui correspondent aux principaux réservoirs de la région.

Le Trias argileux

Il est épais de 113 mètres, constitué d'argiles dolomitiques ou silteuses intercalées de bancs de sel.

Le Trias salifère S4

Sel blanc, rose, hyalin, translucide et Il est constitué par une alternance d'argile brun rouge à gris clair. Ce niveau marque la première période de dépôts évaporitiques à l'échelle de la province triasique.

Une comparaison entre la lithostratigraphie et la nomenclature des séquences montre le diachronisme des formations triasiques à travers différente région de la partie Est de la plateforme saharienne (Tableau I -1).

B. Le Jurassique

Il s'agit d'une série lagune marine à dominante évaporitique devenant argilo-gréseuse dans sa partie supérieure. On distingue de bas en haut ;

Le Lias

C'est essentiellement une anhydrite blanche à passées d'argile grise à gris vert, parfois brune, dolomitique et de dolomie microcristalline beige et dure.

Le Dogger

Il est subdivisé essentiellement en deux séries :

Le Dogger lagunaire est une succession de niveaux d'anhydrite de couleur blanche pulvérulente et de dolomie grise, parfois blanche microcristalline et moyennement dure.

Le Dogger argileux est Formé des argiles bariolées, tendre, silteuse, en alternance avec quelques niveaux gréseux gris blancs et quelques rares passées dolomitiques.

Le Malm

C'est une intercalation d'argile brune silteuse, avec des niveaux de grès fins, gris à blanc ciment argileux et quelque rares bancs de dolomie microcristalline.

C. Le Crétacé

Le Néocomien

C'est une série argilo-carbonatée grise à gris vert, tendre et silteux avec quelques passées de grès fins à moyens blancs, silto-carbonatés, localement glauconieux intercalés, de rares passées de dolomie microcristalline.

Le Barrémien

Il est formé par une alternance de grès fins à moyens, parfois grossiers, bien classés ; friables et d'argiles vertes brunes ainsi que des niveaux de dolomie microcristalline.

L'Aptien

C'est un niveau bien individualisé, formé par une barre dolomitique, microcristalline, de couleur blanche à beige, avec des passés de marne gris verdâtre induré.

L'Albien

Il est constitué de grès fins à moyens rarement grossiers, friables, parfois argileux avec des passées de dolomie brunâtre microcristalline dure.

Le Cénomaniens

Il est formé de bancs d'anhydrite blanche, pulvérulente cristalline en alternance avec des niveaux de dolomie beige à gris et quelques passées d'argile grise verdâtre.

Tableau I-1 : Le tableau montre les variations latérales des formations triasiques (rapport Sonatrach).

THIS STUDY			FROM LITERATURE AND MASTER LOGS								
AGE	LITHO.	SEQUENCES	HASSI R'MEL	OUED MYA	DJEMAA TOUGGOURT	NORTH BERKINE EL BORMA	CENTRAL BERKINE GHADAMES	SOUTH BERKINE GHADAMES	ZARZAITINE OUTCROPS		
LIAS	B		B	B	B	B	B	B			
HETTAN GIAN	EVAPORITIC		SALIFERE	SALIFERE		SALIFERE TRIAS ARGILEUX SUP.	SALIFERE TRIAS ARGILEUX SUP.	SALIFERE TRIAS ARGILEUX SUP.	ZARZAITINE SUPERIEUR		
	D2		D2	D2	D2						
RHAETIAN	INFRA-D2 EVAPORITES	SEQ.8	ARGILO-SALIFERE	ARGILO-SALIFERE S4	ARGILO-SALIFERE	S3	SALIFERE S4	TRIAS ARGILO - GRESEUX SUP.TAGS	ZARZAITINE INFERIEUR		
TO NORIAN		SEQ.7	A	T2	S4	TRIAS CARBONATE	TRIAS CARBONATE	TRIAS CARBONATE			
	SEQ.6	B	T2								
	SILICI - CLASTIC SERIES	SEQ.5	C	T1	T1	TRIAS GRESEUX	Gres NEZLA TRIAS ARGILO-GRESEUX INFERIEUR TAGI	TRIAS GRESEUX INTERMEDIAIRE	NON DEPOSITION		
UPPER CARNIAN		SEQ.4	SERIE INFERIEURE	T1							
		SEQ.3		SERIE INFERIEURE	SERIE INFERIEURE						
CARNIAN		SEQ.2									
UPPER LADINIAN ?		SEQ.1	NON DEPOSITION								

Le Turonien

Il est représenté par des calcaires blancs, crayeux, localement dolomitiques et quelques passées d'argile brune plastique à la base.

Le Sénonien

Il se subdivise en trois parties :

Le Sénonien salifère qui est formé de bancs de sel massif translucide, microcristallin, intercalés de bancs d'anhydrite joints d'argile moyennement dur.

Le Sénonien lagunaire qui est constitué des niveaux d'anhydrite blanche, cristalline ; intercalés de bancs de dolomie et de lits d'argile légèrement silteuse indurée.

Le Sénonien carbonaté qui est formé des niveaux de dolomie claire, cristalline, parfois vacuolaire, passant par endroits à calcaires dolomitiques gris argileux.

Le cénozoïque

- **L'Éocène** : C'est une formation carbonatée représentée par des calcaires dolomitiques cryptocristallins avec des nodules de silex.
- **Le Moi-pliocène** : Constitué de sable jaunâtre moyen à grossier, silto carbonaté, intercalé de lits d'argile grise verte et de calcaire dolomitique microcristallin tendre à induré.

IV Système pétrolier

Le périmètre Touggourt-Est est situé dans un environnement pétrolier très favorable, ce dernier est défini par la roche mère, le réservoir, la couverture, le piège et la migration, le tout est contrôlé par le timing qui est la phase cruciale.

Des processus d'expulsion, migration et d'accumulation leur sont nécessaires pour l'emménagement des hydrocarbures dans des pièges, structuraux et/ou stratigraphiques qui doivent être mis en place avant la phase d'expulsion des hydrocarbures, qui est impérative pour leur remplissage.

IV.1.1 Roche mère et migration

La principale roche mère connue sur toute la plate-forme saharienne reste les argiles radioactives du Silurien, dont le potentiel pétrolier est assez important. Cette roche mère est à l'origine du remplissage des réservoirs ordoviciens et triasiques de la région (figure I- 8).

La migration des hydrocarbures dans cette zone s'effectue le long de la discordance hercynienne et à travers les grés du Trias, ainsi que les failles.

Le remplissage de la structure de l'est Touggourt se fera selon les mêmes mécanismes qui ont régies la mise en place des huiles dans les structures de Hassi -Messaoud.

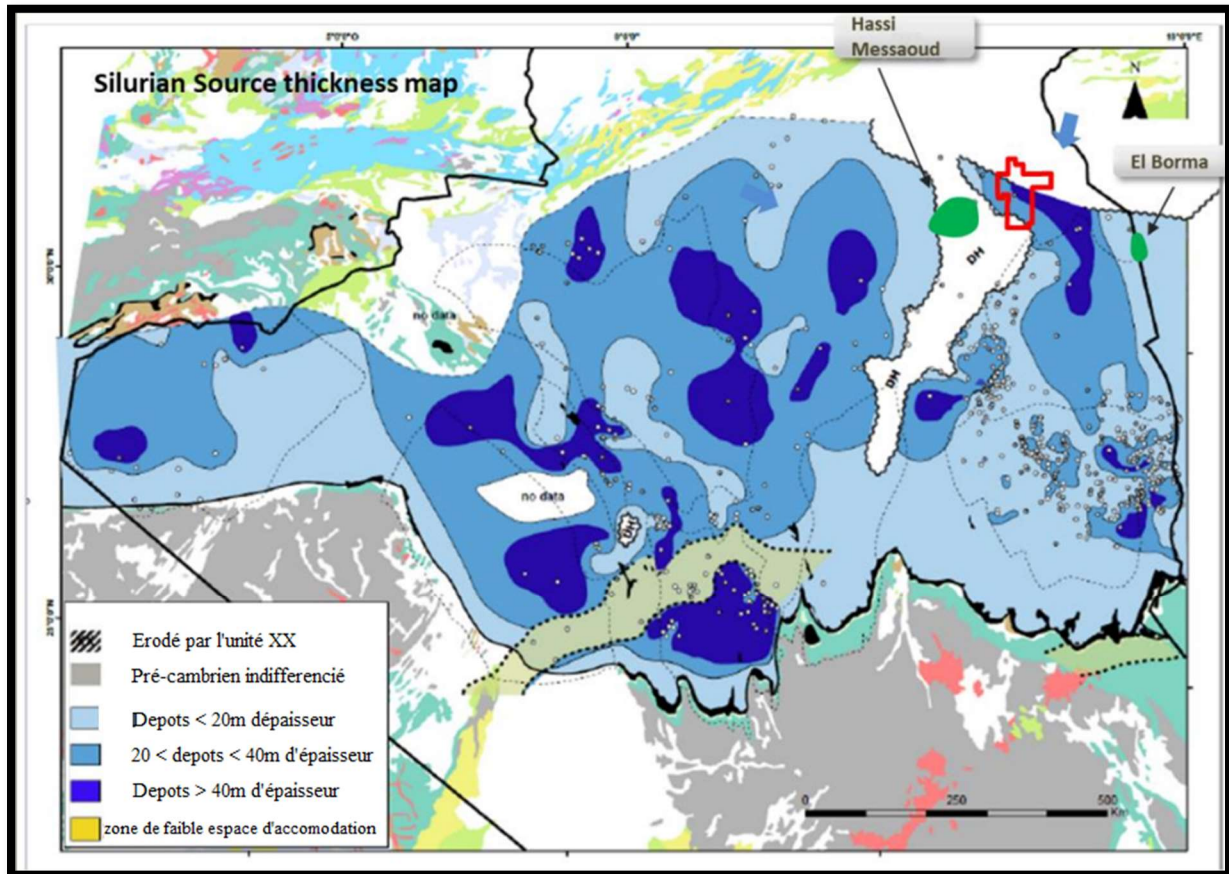


Figure I- 8 : carte des épaisseurs du silurien dans la plateforme saharienne (Rapport Eni).

IV.1.2 Les réservoirs

Une roche réservoir est une roche suffisamment poreuse et perméable, Capable de contenir et laisser circuler des hydrocarbures. Il s'agit des grès, sables, carbonates, dolomites ou des roches fracturées. La porosité des roches réservoirs est comprise en général entre 5 à 30% du volume total de la roche.

Dans la région d'étude les principaux réservoirs potentiels à hydrocarbures sont ceux du trias série inférieure (ce sont des grès gris blancs à gris clair, rarement à gris sombre moyens à grossiers silico-argileux moyennement consolidés), avec une épaisseur de 65m et d'une porosité 10%.

IV.1.3 Couvertures

La couverture régionale est assurée par les argiles micro-conglomératiques pour les réservoirs ordoviciens, alors que localement les argiles du Trias argileux inférieur constituent une couverture pour le réservoir Triasique.

IV.1.4 Les pièges

Le piégeage des hydrocarbures dans la région de Touggourt-est est un piège mixte de type structural et stratigraphique présentant une structuration hercynienne avec une composante mésozoïque autrichienne de moindre importance (figure I- 9).

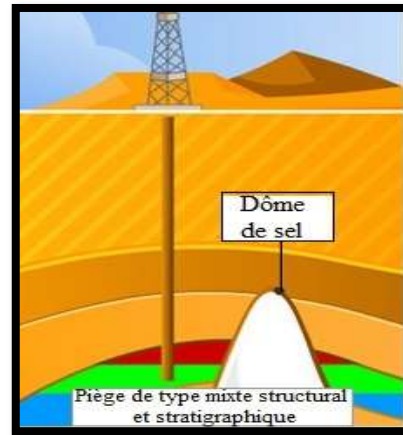


Figure I- 9 : Illustration montrant un piège mixte typique (rapport Sonatrach).

IV.1.5 Timing

Il reste le point critique de tout système pétrolier, afin de pouvoir accumuler des hydrocarbures dans un réservoir une succession chronologique doit être respectée :

- Dépôt, préservation et enfouissement de la roche mère.
- Dépôt de la roche réservoir.
- Dépôt d'une couverture étanche.
- Maturité de la roche mère.
- Formation de la structure (piège).
- Expulsion.

V Conclusion

Touggourt-Est se trouve en bonne position structurale au vu des accidents importants de direction NE-SW, qui sont la prolongation de ceux affectant les formations de du bassin de Hassi Messaoud, ce qui facilite le passage des hydrocarbures entre les formations. On rajoute à cela les phases de plissement qui forment des anticlinaux et les roches imperméables se trouvant au sommet du Trias argileux gréseux inférieur qui sont propices à la formation et aux piégeages des hydrocarbures.

Ces constats nous réconfortent dans l'idée de mener un travail sur le réservoir du Trias argileux gréseux inférieur qui constitue le centre d'étude du présent mémoire qui s'appuie essentiellement sur des résultats obtenus à partir de la mise en œuvre des différentes méthodes sédimentologiques, diagraphiques, pétrographiques et diagenétique. Ces dernières seront développées dans les chapitres suivants.

Chapitre II
Etude sédimentologique

Introduction

L'étude entreprise sur les formations de la région de Touggourt-Est requiert l'application de nombreuses méthodes, qui sont d'ordre sédimentologique, telles que la description des carottes et d'ordre géophysique à savoir les diagraphies.

Dans ce chapitre, la combinaison de ces différentes méthodes appliquées a permis d'analyser les formations qui constituent la série inférieure du trias, puis la détermination des différents mécanismes de dépôt ayant contribué à la mise en place de ces formations, et enfin la reconstitution paléogéographique des environnements de dépôt caractérisant la région de Touggourt Est.

I Notions de sédimentologique

Faciès

La notion de faciès correspond à la description de l'ensemble des caractères lithologique (lithofaciès) et paléontologique (biofaciès). Cependant cette notion est très souvent utilisée dans un sens interprétatif (génétique), qui fait alors référence au mécanisme de dépôt et le milieu ou l'environnement de dépôt (Cojan, Renard 2021).

Séquence sédimentaire

Ensemble de niveaux sédimentaires de natures différentes se succédant dans un ordre déterminé, habituellement limité au mur et au toit par des discontinuités stratigraphiques. Son ordonnance peut traduire soit un mécanisme de sédimentation particulier (eg. Des séquences sédimentaires de flysch), soit une histoire sédimentaire caractéristique (eg. Séquence transgressive, dans laquelle des dépôts littoraux passent vers le haut à des dépôts plus profonds). Mais Lombard a montré, dès 1956, qu'il ne fallait pas considérer une série sédimentaire comme une simple superposition de termes lithologiques mais comme une succession de termes déposés dans un continuum. Ainsi chaque niveau (chaque faciès) est à étudier en fonction de celui qui le précède et de celui qui le suit. L'analyse séquentielle essaie donc de définir des séquences de références idéales traduisant les enchaînements théoriques logiques des (micro)faciès (séquences virtuelles). On compare ensuite les séquences réelles observées dans la nature à la séquence virtuelle ainsi définie.

Si l'analyse séquentielle est un moyen très performant pour décrire l'évolution des séries sédimentaires, il faut insister sur ses limites :

- Il ne sortira rien d'une analyse séquentielle qui ne soit pas inscrit dans la séquence virtuelle. La démarche scientifique se fait lors de la définition de la séquence virtuelle, le reste n'est que représentation graphique. Si la succession définie dans la séquence virtuelle est fautive, tous les résultats seront erronés.

- Il n'existe pas de séquence virtuelle universelle, il convient, pour chaque nouvelle étude, de redéfinir une séquence adaptée.

I.1 Les milieux de dépôts

Les éléments destinés à former un sédiment sont généralement transportés à l'état solide ou en solution. Ils se déposent ensuite dans un milieu de sédimentation. Un milieu de sédimentation est une unité géomorphologique de taille et de forme déterminée où règne un ensemble de facteurs physiques, chimiques et biologiques suffisamment constants pour former un dépôt caractéristique ; exemples : milieu lacustre, milieu deltaïque. Cette définition reste vague quant à la taille d'un milieu : on parle souvent de milieu continental, mais celui-ci comprend les milieux torrentiels, fluviaux, lacustres, etc. à l'opposé, différents milieux peuvent être regroupés en unités spatialement plus grandes : un bassin sédimentaire regroupe les différents milieux d'une même entité géographique dont les sédiments ont des caractères communs, notamment, l'origine, l'âge, etc... (J. Beauchamp, 2012) (Figure II-1).

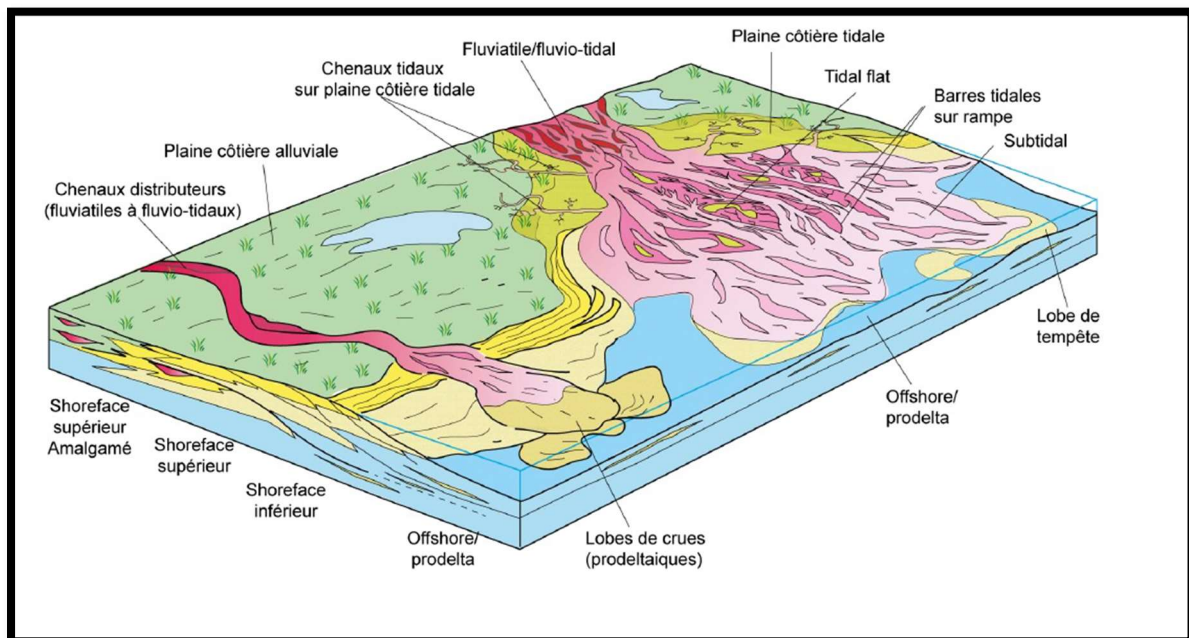


Figure II- 1 : différents milieux d'une même entité géographique (Beauchamp, 2012).

I.1.1 Milieu de dépôts fluvial

En milieu continental, les rivières et les fleuves constituent les principaux agents dynamiques responsables de la collecte des particules détritiques issues de l'altération et de l'érosion, puis de leur transport jusque dans les bassins lacustres et marins. L'extension latérale des dépôts fluviaux n'est importante que dans les plaines alluviales aux reliefs aplanis, et dans certaines dépressions côtières. La préservation des sédiments fluviaux est favorisée dans les zones de forte subsidence et accumulation, comme à la périphérie immédiate des océans en expansion ou dans les bassins versants intra - montagneux bordés de failles. L'abondance des faciès sableux, l'hétérogénéité lithologique fréquente et les

accumulations organiques prédisposent les dépôts fluviatiles enfouis au piégeage des hydrocarbures, à l'existence de gîtes uranifères et de gisements de charbons.

La morphologie fluviatile est dominée par le développement de chenaux, qui occupent les lits mineur et majeur de la plupart des cours d'eau. La forme des chenaux varie depuis le type rectiligne à dynamique modérée et remplissage sédimentaire fin jusqu'aux types anastomosés (en tresse) instables, à flot rapide, bancs longitudinaux et dépôts grossiers (cf. Miall, 1978 ; Walker & Cant in Walker, 1984).

Le type de réseau dépend essentiellement de la pente, de la charge transportée, de la stabilité des rives (rôle stabilisant de la végétation). Tous les intermédiaires existent. Une même rivière change de type de sa source à son embouchure. Le réseau est généralement en tresse en amont et à méandres en aval. Les réseaux droits sont rares. Les réseaux anastomosés sont observés dans les zones subsidentes de climat humide. Les réseaux en tresse et méandriformes sont les plus fréquents (figure II- 2).

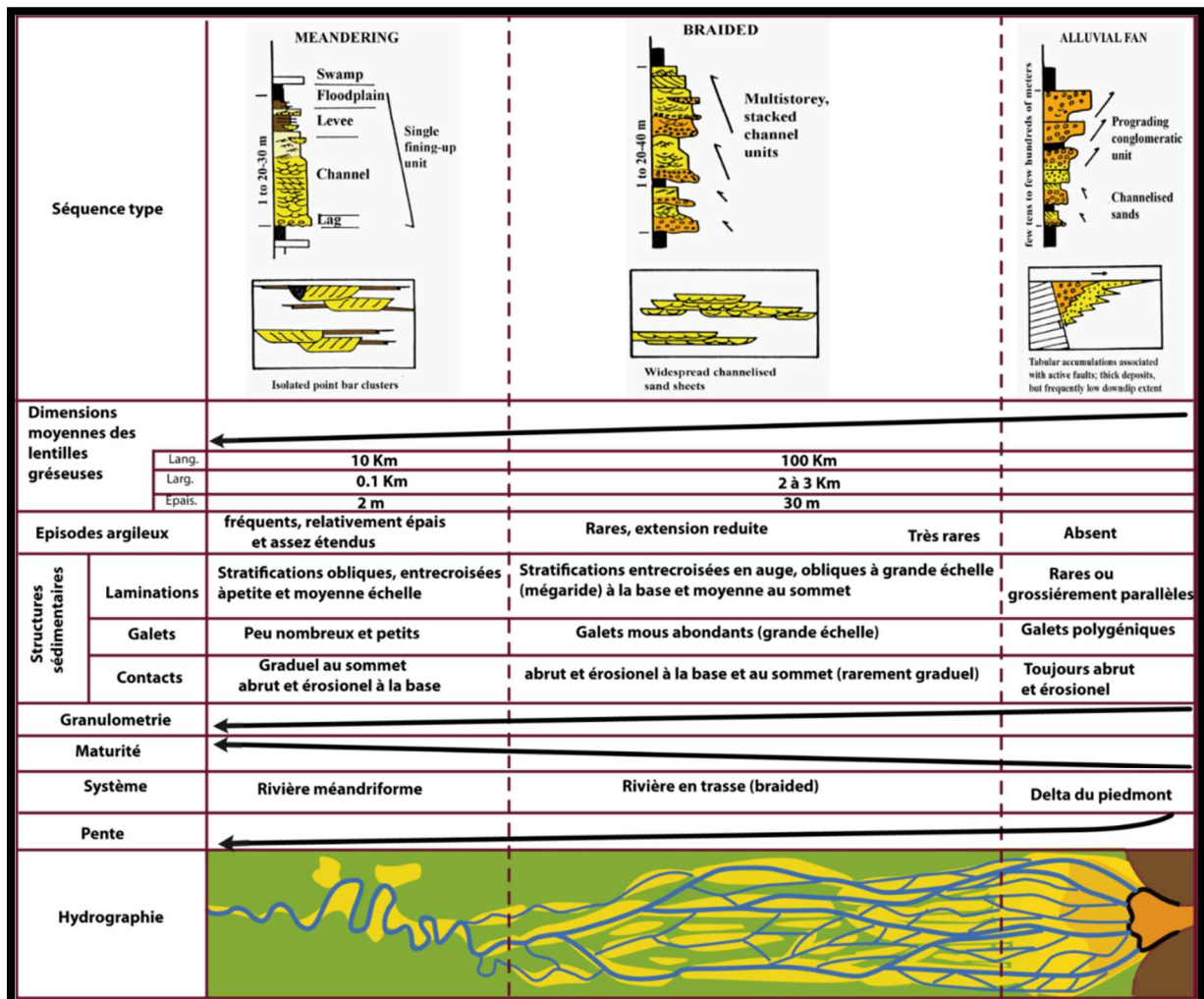


Figure II- 2 : Spectre continu des systèmes de dépôt fluviatiles et leurs caractéristiques (Selley, 1976 Modifiée).

I.1.1.1 Sédimentation des réseaux à méandres

La sédimentation se fait sur la rive convexe sous forme d'une barre de méandre. La barre s'accroît latéralement en même temps que la migration du méandre (accrétion latérale). Elle est constituée de sable disposé en litage oblique de grande taille (litage epsilon). Le fond du chenal est pavé de galets (channel lag). Le chenal est bordé par des levées qui le séparent de la plaine d'inondation couverte de dépôts fins. Si une levée est crevée pendant une crue, des sables se répandent dans la plaine d'inondation sous forme d'un microdelta de crevasse (crevasse splay). Les séquences de rivières à méandre sont positives : elles débutent par un pavage de galets et se terminent par des limons de plaine d'inondation montrant des traces de sols et de végétation (figure II-3).

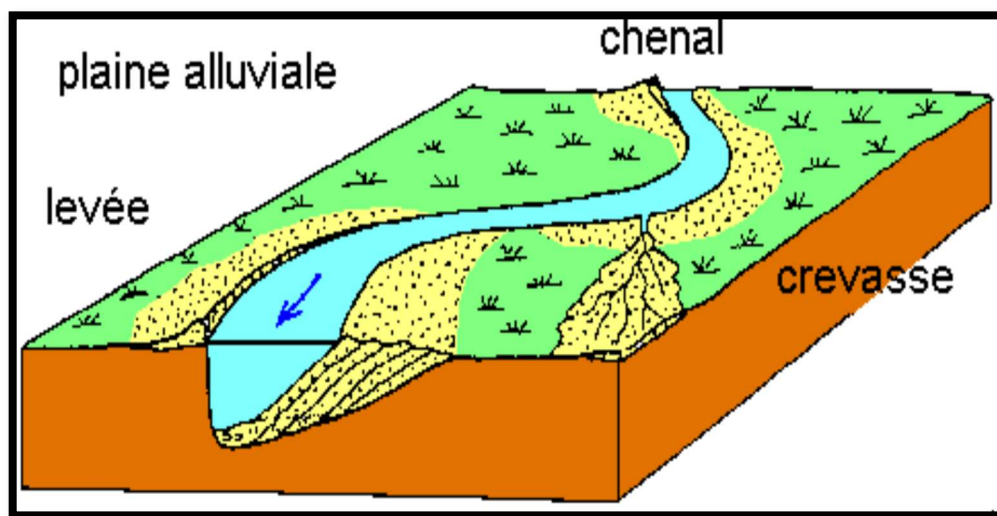


Figure II- 3: Dépôts dans un méandre. (J. Beauchamp, 2012).

I.1.1.2 Sédimentation des rivières anastomosées

Les chenaux anastomosés divaguent peu dans la plaine alluviale qui est fréquemment inondée ; elle est couverte de marécage ; la végétation est abondante. La vitesse de l'eau est faible, les sédiments sont fins et riches en matière organique. Les remplissages de chenaux se distinguent par des galets et des graviers formant des corps à accrétion verticale (rôle de la subsidence) (figure II- 4).

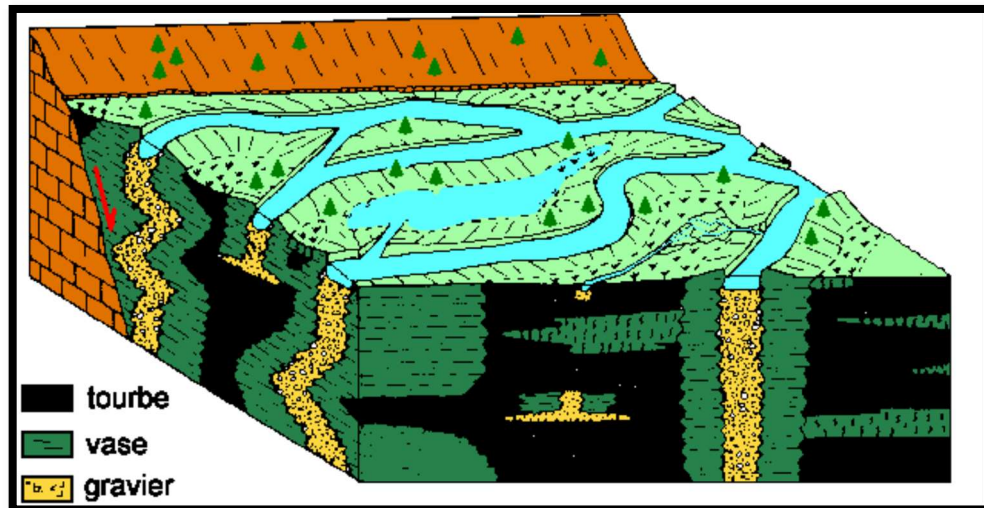


Figure II- 4 : Sédimentation d'une rivière anastomosée (J. Beauchamp, 2012).

I.1.1.3 Les dépôts fluviaux en tresses

Ils sont liés aux environnements subarides en liaison avec les averses. La sinuosité des chenaux est faible. Ils sont souvent étalés et subdivisés en chenaux secondaires séparés par des barres. Les chenaux sont remplis de dépôts clastiques grossiers souvent graveleux tandis que les barres sont sableuses. Les graviers et les galets sont jointifs et liés, contrairement aux cônes alluviaux, leur composition dépend de la source d'apport. Les silts correspondent aux chenaux abandonnés.

Les principaux minéraux dans ce système sont présentés par le Quartz, les Feldspaths et les Micas, la matière organique est rare à absente, cela implique des conditions très oxydantes, les galets d'argiles sont rares.

Le classement est mauvais à moyen, les grains arrondis sont rares.

Les structures les plus fréquentes sont des rides asymétriques à petites échelles, le contact basal est une surface érosive.

Les séquences granodécroissantes (Fining-up Ward) sont mieux développées dans les chenaux abandonnés où la granulométrie décroît vers le haut de la séquence en sens inverse du classement. Cependant, il peut y avoir des intercalations de grès fins et des grès grossiers (figure II-5).

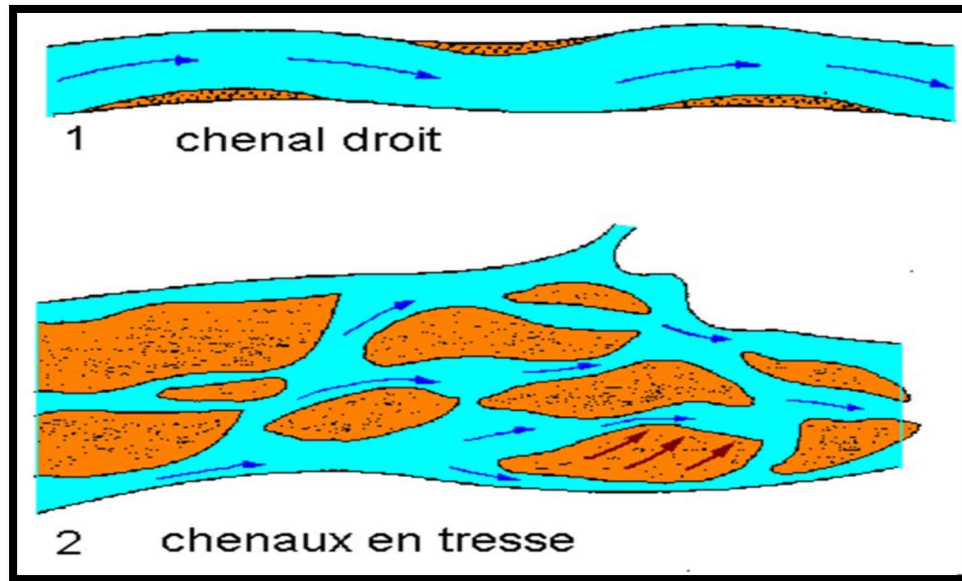


Figure II- 5 : Les principaux types de barres fluviales, (1) Chenal droit, (2) Chenaux en tresse (J. Beauchamp, 2012).

I.1.1.4 Les dépôts de plaine d'inondation

La plaine d'inondation est caractérisée par des niveaux argileux fins alternant avec de rares décharges gréseuses généralement peu épaisses.

La pédogenèse est fréquente et elle est liée à des sols hydromorphes dont le fonctionnement est lié aux variations de la nappe phréatique. On note la présence de matière organique en climat humide et de gypse sous climat aride à semi-aride.

I.1.2 Les dépôts marins

Le domaine littoral s'étend entre les plaines, dunes ou falaises côtières, et les fonds marins situés à une dizaine de mètres de profondeur. Marqué par de très grandes variations morphologiques, hydrologiques, hydrochimiques et biologiques selon le lieu et selon la saison, il dépend avant tout de l'influence des vagues et des marées (Chamley 1988).

Les sédiments qui se déposent sont principalement de natures silico-clastiques plus rarement carbonatés (figure II-6).

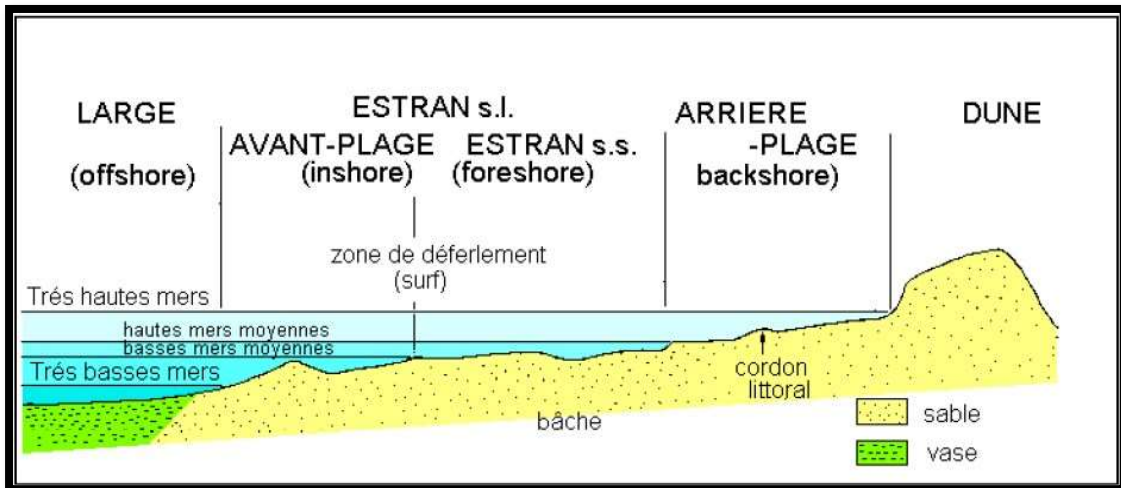


Figure II- 6 : Zonation des milieux littoraux (Jacques Beauchamp, 2005).

II Application sédimentologique et diagraphique

L'étude sédimentologique est basée sur l'interprétions des résultats acquis sur différents puits à savoir se trouvent à Touggourt Est (figure II-7) (annexes 1 et 2).

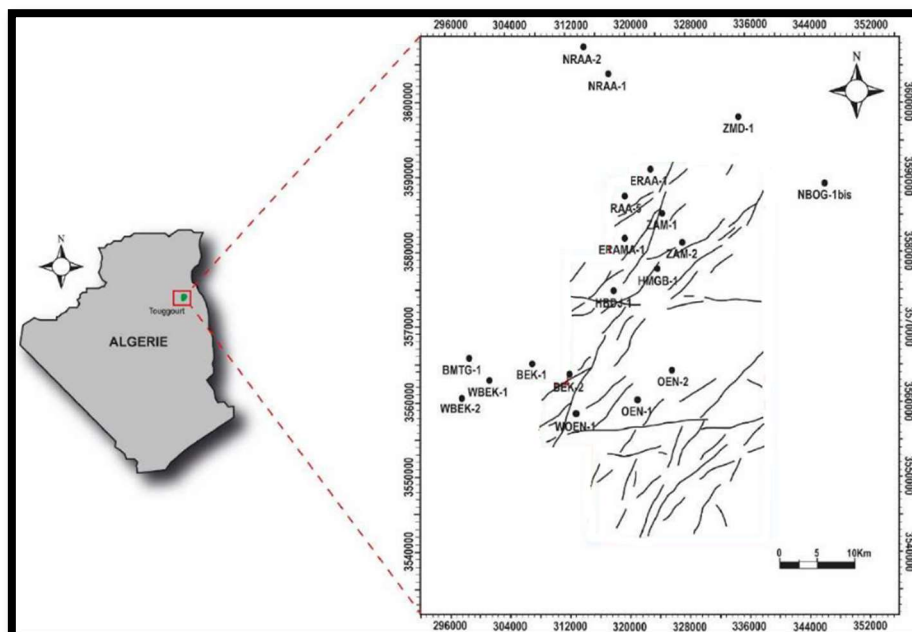


Figure II- 7: localisation des puits utilisé pour l'étude dans la région de Touggourt-Est.

II.1 Lithofaciès et leur association aux milieux de dépôts

II.1.1 Classification des lithofaciès selon la méthode de Miall (1978/1988)

Les lithofaciès sont un outil fondamental dans la description et l'interprétation sédimentologique des sédiments. Ils sont définis sur la base d'attributs sédimentaires physiques et texturaux (lithologie, structures sédimentaires, discontinuités sédimentaires, présence d'éléments particuliers tels que les débris charbonneux, nodules d'évaporites, etc...).

Au total, vingt (20) lithofaciès ont été définis dans les puits étudiés (figure II-11), dans le périmètre de Touggourt-Est et codifiés selon la terminologie de (Miall 1996) (tableau II- 1).

Code de facies	LITHOFACIES	ENVIRONNEMENTS DE DÉPÔT
P	Paléosol (concrétions carbonatées coalescentes)	Dépôt pédogénétisé (Plaine d'inondation).
Fm	Argile massive plus ou moins silteuse, présentant un débitage en agrégat	Plaine d'inondation humide ou aride
Fsm	Silt argileux massif	Levée / Plaine d'inondation
Fsr	Argile Silteuse à ride de courant	Levée / Plaine d'inondation
Fl	Argile silteuse à structures laminaires, débris charbonneux	Plaine d'inondation humide / Lacustre
Sp	Grès à stratifications obliques planes	Barre de chenal fluviale / Tidal
St	Grès à stratifications entrecroisées en auges	Chenal fluviale / Tidal
Stg	Grès à stratifications entrecroisées en auges à granules de quartz (millimétriques)	Chenal fluviale actif
Sl	Grès à stratifications obliques planes faiblement inclinées	Barre de chenal fluviale
Sm	Grès massifs (sans structures apparentes), rip up argileux	Barre de chenal fluviale/chenal actif
Sr	Grès à rides de courant	Levée / Crevasses Splays
Gt	Conglomérat à stratifications obliques en Auges	Chenal fluviale actif/torrentiel
Gm	Conglomérat isolé dans une plaine d'inondation	Ecoulement en masse sans chenalisation marquée
Cg	Conglomérat à éléments mono ou polygéniques sans structures apparentes	Pavage de fond de chenal ou Lag
Sh	Grès à stratifications planes horizontales	Barre de chenal fluviale/Levée
H	Rhythmites tidales (Facies Hétérolithique) : alternances de grès, silt, argile faiblement bioturbée	Environnement marin Shoreface/ Marin peu profond à influence tidale
Srw	Grès à rides d'oscillation tidale « tide wave »	
Srb	Grès à structures wavy bedding bioturbé	
Fo	Argile silteuse à structure laminaire parfois discontinue ou lenticulaire, pyrite, plus ou moins bioturbé	
Sb	Grès intensément bioturbé	

Tableau II- 1 : Caractéristiques principales des lithofaciès et interprétation des milieux de dépôt.

II.1.2 Association des lithofaciès et interprétation des milieux de dépôt

Les associations de lithofaciès sont des assemblages de lithofaciès spatialement et génétiquement liés, ces dernières sont distinguées comme les principales composantes d'une succession sédimentaire (Collinson, 1996).

Les liens et les regroupements des lithofaciès adjacents, sont fondamentaux pour l'interprétation des environnements de dépôts et leurs successions (Miall, 1977).

L'étude a permis d'identifier sept (07) associations de lithofaciès du Trias argilo-gréseux regroupées en deux grandes entités, appartenant à la plaine alluviale et à la plaine d'inondation.

II.1.2.1 Association des lithofaciès de la plaine alluviale

A. Chenal actif

Ce type de remplissage est caractérisé par une association des lithofaciès **Cg, Gt, Stg, St, Sp, Sh, Sl** et **Sr**.

Il présente des séquences grano-décroissantes à base souvent érosives matérialisées par des conglomérats, composés d'éléments polygéniques (galets d'argiles de taille millimétrique à centimétrique, de couleur noir ou verdâtre, parfois, oxydées, des galets quartzeux et des nodules d'anhydrites ou carbonatés.

L'épaisseur de la base érosive peut atteindre le demi-mètre. Surmonté par des grès grossiers, de couleur gris, qui deviennent fins au sommet.

Les structures sédimentaires les plus représentatives sont ; les stratifications entrecroisées en auges granulées **Stg** et **St** (figure II-8).

Le remplissage total du chenal actif résulte du processus d'empilement et de déplacement latéral de plusieurs barres de chenaux, soulignés par des contacts érosifs (Miall, 1986 ; Hornung, 1999) (Planche01).

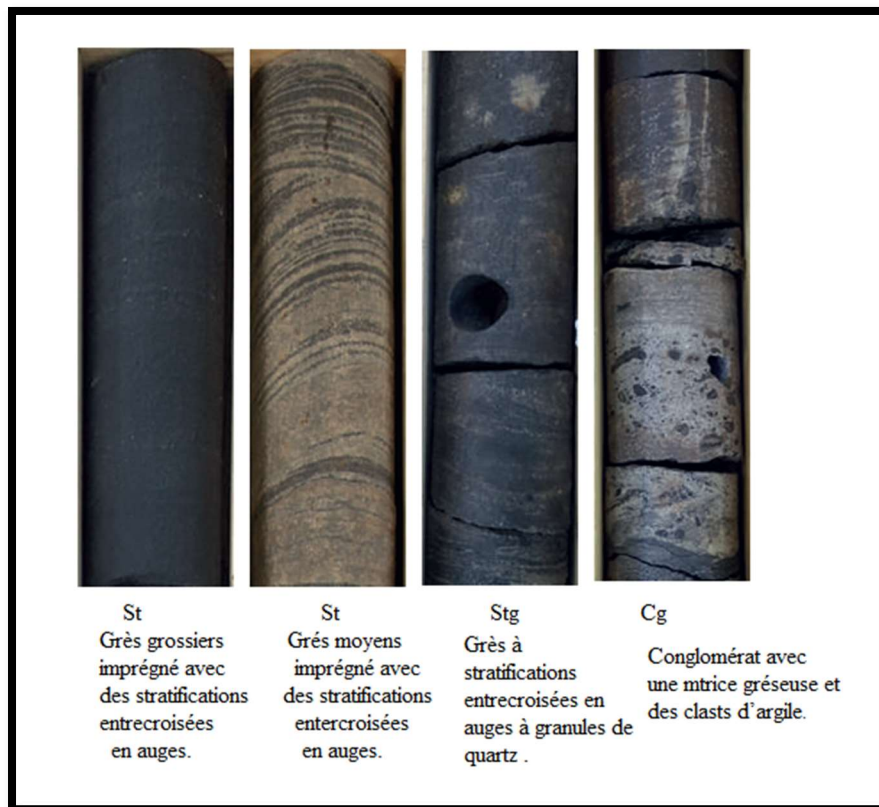


Figure II- 8 : Photos de carottes montrant les différents lithofaciés rencontrés dans un chenal actif.

B. Barre d'accrétion latérale (point bar)

Caractérisée par une association des lithofaciés **St**, **Sp**, **Sh**, **Sl** et **Sr**, présentant des séquences grano-décroissantes. Les grès sont de couleur gris à gris beige, fins à très fins, parfois moyens, caractérisés par des structures sédimentaires de type ; stratifications obliques planes **Sp**, faiblement inclinées **Sl** et horizontales **Sh** (figure II-9).

On peut distinguer deux parties dans cette entité : la partie basale qui constitue une séquence grano-décroissante, débutant par des grès grossiers, à stratifications entrecroisées en auges, surmontés par des stratifications obliques planes et se terminent par des stratifications horizontales.

Par contre, la partie sommitale est composée de grès fins présentant des stratifications horizontales, évoluant à des rides de courants bien développées (Planche02).

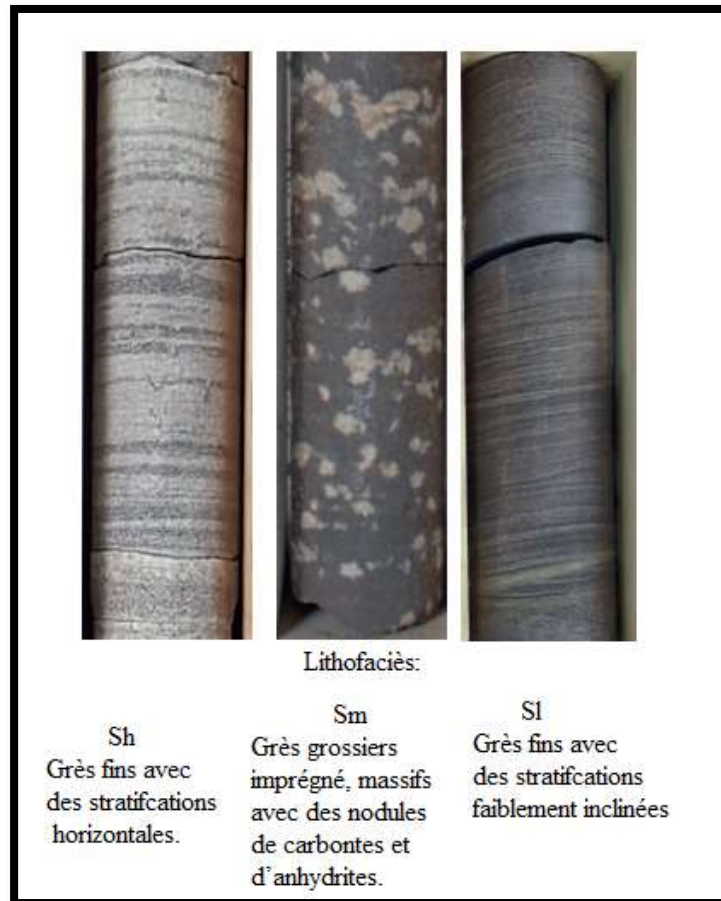


Figure II- 9 : Photos de carottes montrant les différents lithofaciès rencontrés dans une barre d'accrétion latérale.

II.1.2.2 Association des lithofaciès de la plaine d'inondation

La plaine d'inondation comprend plusieurs faciès dont :

A. Les levées

Caractérisées par une association de lithofaciès **Sl**, **Sh**, **Sr** surmontés par des faciès argileux **Fsr**, **Fsm**, et **Fl** (figure II-10).

Les grès sont de couleur gris à gris beige, fins à très fins, parfois, oxydés, présentant, localement, des traces de racines. L'épaisseur des barres peut atteindre les deux mètres (Planche02).



Figure II- 10 : Photos de carottes montrant les différents lithofaciès rencontrés dans les levées.

B. Les faciès de débordement (Crevasse splay)

Ce type de sous environnement est caractérisé par une association de lithofaciès **Fm**, **Fl**, **Fsm** surmontée par **Sl** et **Sr** (figure II-11).

La caractéristique principale de ces dépôts est la séquence grano-croissante. Son épaisseur est de quelques centimètres jusqu'à un mètre.



Figure II- 11 : Photos de carottes montrant les différents lithofaciès rencontrés dans les faciès de débordement.

C. Les chenaux abandonnés

Le remplissage de cet élément correspond aux lithofaciès **Gm, St, Sr, Fl, Fm** et **Fsm** (figure II-12).

La partie basale débute souvent par une surface érosive, composée d'un conglomérat isolé, à matrice argileuse oxydée qui se forme dans la plaine d'inondation, surmontée par des grès très fins à structures sédimentaires de type rides de courants chevauchantes et se termine par des argiles verdâtres à rougeâtres pédogénétisées. Son épaisseur est faible de quelques centimètres (planche 03).



Figure II- 12 : Photos de carottes montrant les différents lithofaciès rencontrés dans les chenaux abandonnés.

D. La plaine d'inondation au sens strict

Caractérisée par une association des lithofaciès **Fl**, **Fm** et **Fsm** (figure II- 11).

Ce sont des argiles massives, indurées et silteuse, de couleur verte ou rougeâtre, oxydée, renfermant quelques traces de racines ou bien des spots de marmorisation. Les argiles peuvent se débiter en feuillets. Les épaisseurs sont variées et peuvent atteindre deux mètres.

E. Les paléosols

Ils comprennent les faciès argileux, modifiés par les processus pédogénétiques et souvent caractérisée par le lithofaciès **P** (figure II-13).

Les faciès sont composés d'argiles brun rouges, pourpres ou verdâtres à sombre, présentant des traces de racines et des fentes de dessiccation et les figures de glissement.

Ainsi on distingue :

- Les paléosols de couleur brun rouge, immatures.
- Les paléosols de couleur rouge et verdâtre à concrétions carbonatées et sulfatés qui indiquent une certaine maturité, et souvent ils se développent dans un climat semi-aride à aride.

Généralement, ce sont des marqueurs d'arrêt de sédimentation qui constitue des discontinuités locales. Les paléosols sont bien développés, généralement, dans TAGI (Planche 01,02).



Figure II- 13 : Photos de carottes montrant les différents lithofaciès rencontrés dans les paléosols.

Planche 02 : Barre d'accrétion latérale, dépôt de débordement et plaine d'inondation, dans un système fluvial méandrique. Puits SBEK-1, Cr 01.

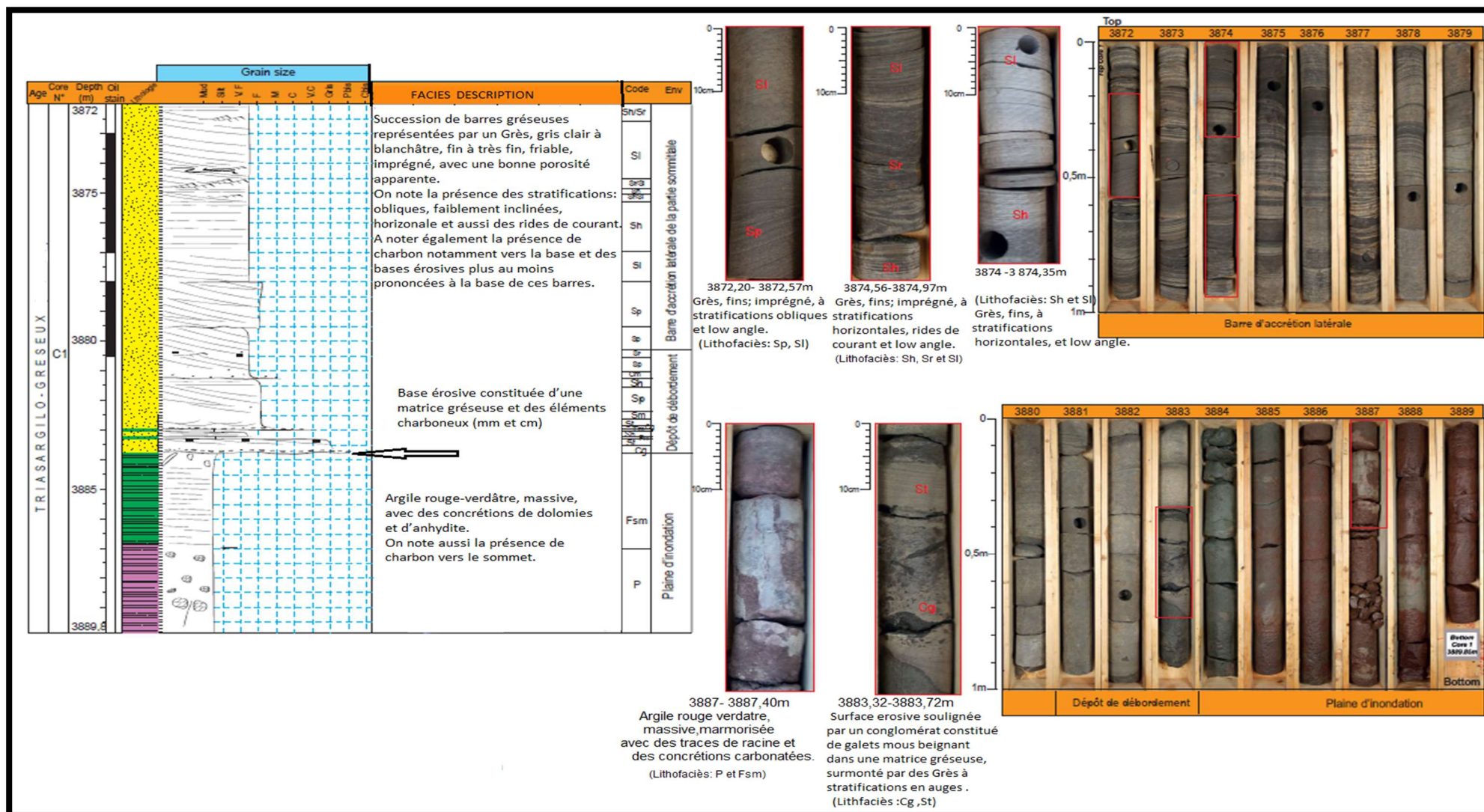
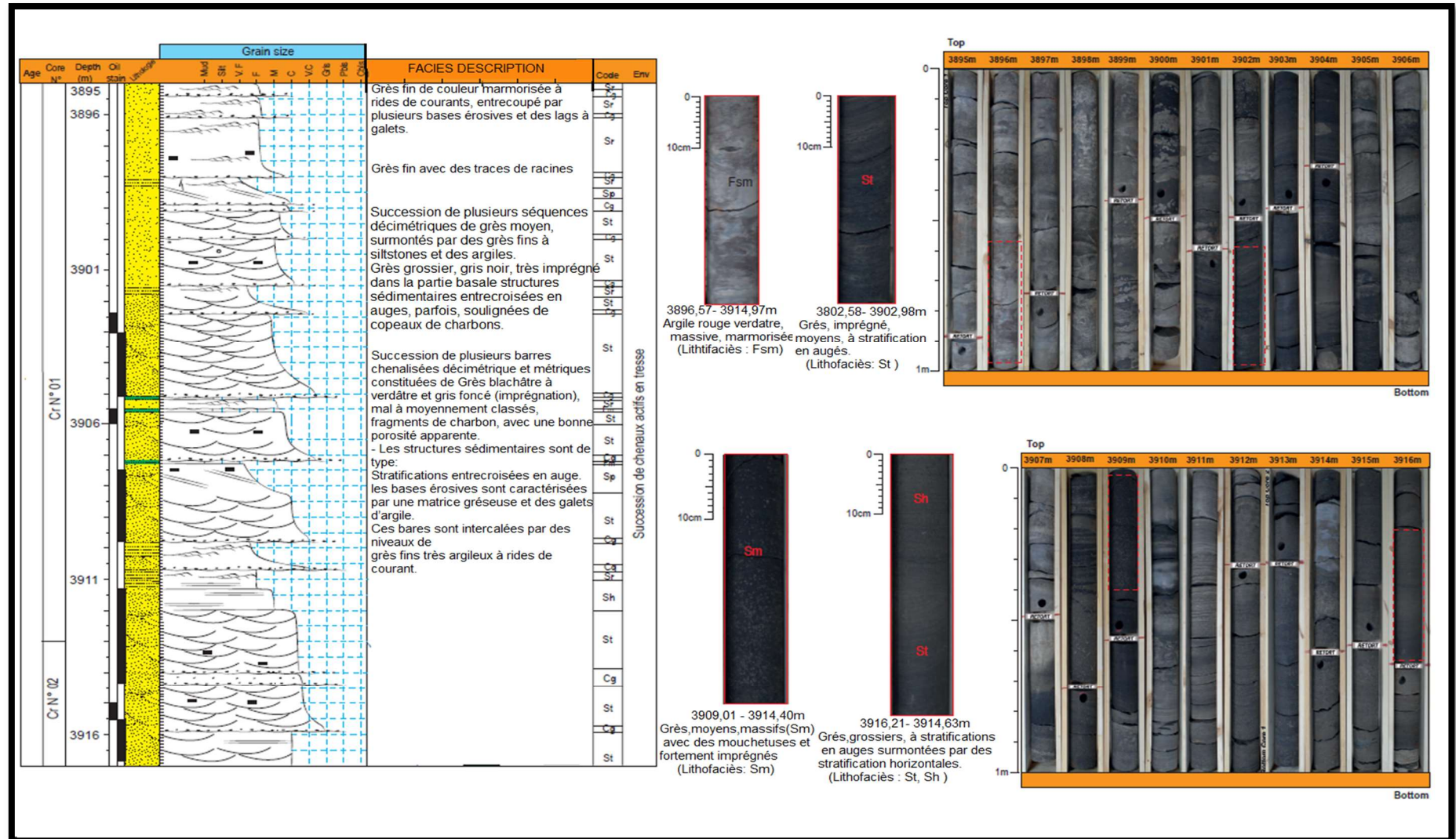


Planche 03 : Succession de chenaux actifs dans un système fluvial en tresse. Puits OEN-1, Cr 01.



II.2 Notions diagaphiques

II.2.1 Les Diagraphies

L'enregistrement des paramètres diagraphiques est effectué pendant la remontée de l'outil ou la sonde dans le puits (ouvert ou tubé) et on distingue dans ce cas deux types de diagraphies :

- Les Diagraphies différées (Wireline Logging) : Réalisées lors d'un arrêt ou en fin de forage.
- Les diagraphies instantanées (Logging While Drilling) : Réalisées pendant le forage. (Caritg et al., 2016).

But des diagraphies

Les principaux objectifs des mesures diagraphiques sont les suivants (Serra, 1984) :

- Estimer les saturations en eau et en hydrocarbures des réservoirs traversés.
- Détermination des caractéristiques du puits de forage.
- Repérer les couches productrices des couches isolantes (non-productrices).
- La corrélation entre différents puits.

II.2.2 Classifications des diagraphies

Les diagraphies peuvent être subdivisées en quatre groupes selon les paramètres et propriétés physiques utilisés dans leurs principes physiques :

- Diagraphies nucléaires. (Gamma Ray, neutron, Polarisation Spontané)
- Diagraphies acoustiques. (Sonique)
- Diagraphies électriques. (Résistivité)
- Diagraphies auxiliaires. (Caliper)

II.2.2.1 Diagraphies Nucléaires

Les diagraphies font un usage intensif de la mesure de la radioactivité dans les forages, les logs nucléaires ont en effet un grand avantage, ils peuvent être enregistrés en trous ouverts ou tubés, vides ou remplis de n'importe quel type de fluide. (Chapellier et Mari, 2004).

II.2.2.1.1 La radioactivité naturelle ou Gamma Ray

Le rayonnement gamma naturel provient de la désintégration des noyaux radioactifs contenus dans les roches. Les principaux radioéléments sont : le Potassium ^{40}K , le Thorium ^{232}Th et l'Uranium ^{238}U .

Cette diagraphie mesure à l'aide d'un compteur à scintillation descendu au bout d'un câble, le rayonnement gamma naturel émis par les formations traversées par le forage. Le compteur mesure le nombre d'impulsions radioactives par unité de temps (cps : coup/sec) (Ahmadi, 2010). En diagraphie pétrolière, l'unité de mesure utilisée est l'API (American Petroleum Institute) (Chapellier et Mari, 2004) (figure II-14).

Comme toute opération de mesure cette diagraphie a plusieurs applications qui sont :

- Estimation du pourcentage d'argile (Vsh) dans les couches réservoirs.
- Établir les corrélations entre sondages et la détection de discordances.
- Évaluation de la teneur ou la concentration en minéraux radioactifs.
- Détermination de la lithologie, en établissant un profil lithologique vertical.

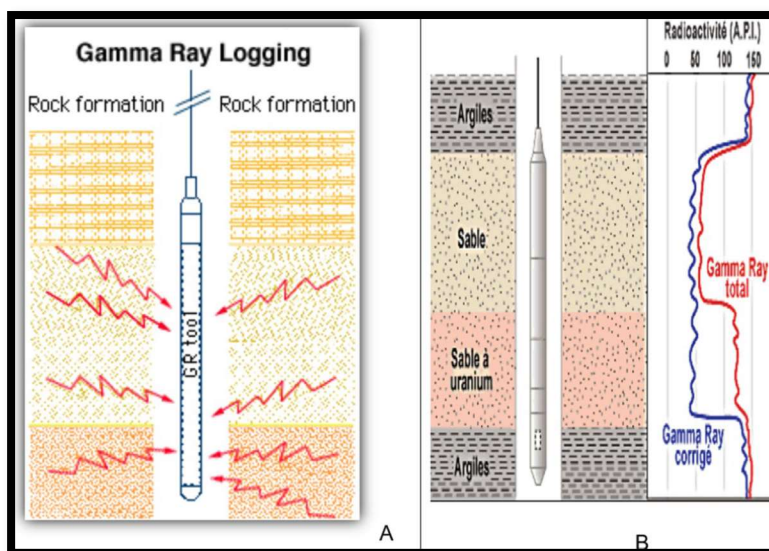


Figure II-14: Principe de fonctionnement de l'outil de diagraphie GR (A) et exemple d'enregistrement et d'interprétation lithologique (B) (Rapport Schlumberger).

II.2.2.2 Diagraphies des neutrons (Indice d'Hydrogène)

Lorsqu'on soumet une formation à un bombardement de neutrons rapides, plusieurs types d'interactions neutrons-noyaux peuvent prendre naissance. L'évaluation qualitative de ces phénomènes peut renseigner sur le contenu atomique de la formation.

Les formations sont bombardées par des neutrons de haute énergie produits par une source radioactive (figure II-15). Pendant leur migration dans la formation, ces neutrons font l'objet de deux effets consécutifs complémentaires :

- Un ralentissement dû aux collisions avec les atomes constituant le milieu.
- Une perte d'énergie par ces collisions successives, on dit qu'ils sont thermalisés lorsque leur énergie devient inférieure à 0.025 eV, ils seront alors capturés, principalement, ce sont les atomes d'hydrogène qui sont responsables de cette perte d'énergie.

La diagraphie neutronique et donc, la mesure de l'indice d'hydrogène, est utilisée pour :

- La définition de la lithologie en combinaison avec d'autres diagraphies.
- La mesure de la porosité.
- La différenciation des zones à gaz, des zones à huiles ou à eau.

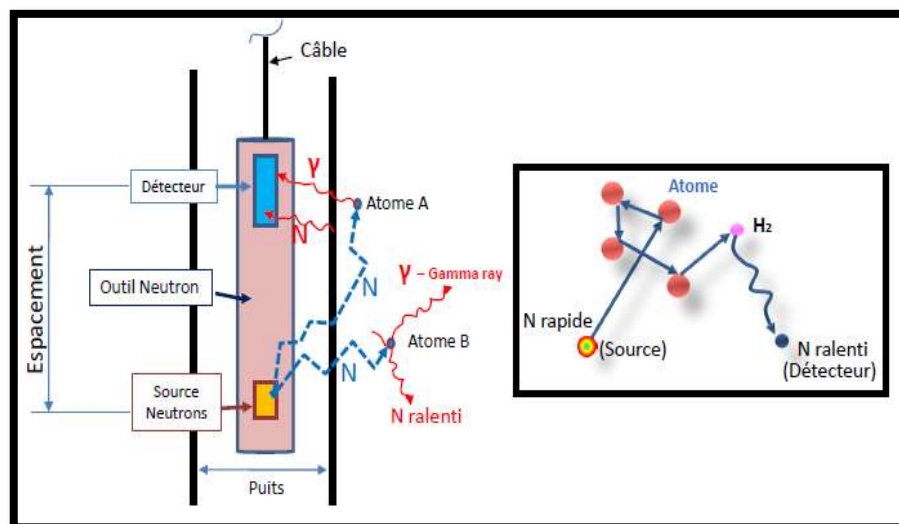


Figure II- 15: Schéma montrant le principe de fonctionnement de la sonde neutrons (Beghoul, 2013).

II.2.2.3 Diagraphies acoustiques (Log sonique)

II.2.2.3.1 Log sonique

Le log sonique est basé sur l'étude de la propagation d'ondes acoustiques dans les roches générées par l'outil sonique. La détermination de la vitesse de propagation de ces ondes et de leur atténuation apporte des renseignements sur les propriétés mécaniques des roches traversées. La propagation d'ondes acoustiques dépend en effet des propriétés élastiques des formations composant le sous-sol (Figure II-16).

Il se mesure grâce à l'émission d'une onde de compression (P) et l'enregistrement de la différence des temps de transit (ΔT) entre les récepteurs (R1, R2) situés à une distance donnée de l'émetteur E (3 à 5 pieds) qui sont compris dans la sonde BHC (Bore Hole Compensated). Le temps de transit ΔT se mesure en microsecondes par pied ($\mu\text{s}/\text{pied}$). Le paramètre calculé à partir des mesures de ΔT est la vitesse de propagation des ondes P.

Cette diagraphie a plusieurs applications qui sont :

- Corréler la lithologie d'un sondage à l'autre.
- Détermination de la porosité.
- Détermination des propriétés mécaniques de la formation.
- Analyse des fractures.
- Vérification de la cimentation.

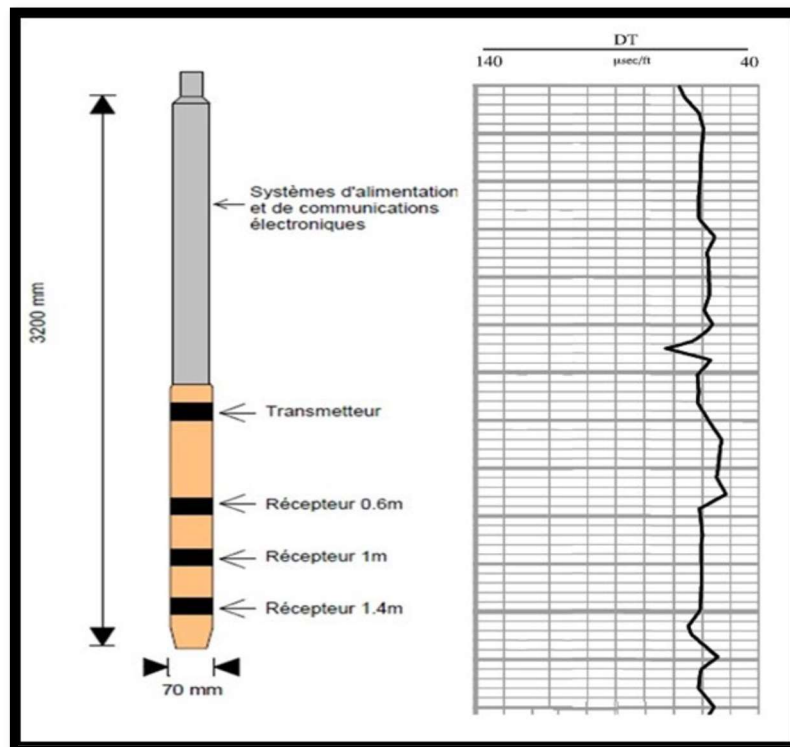


Figure II- 16: Principe de fonctionnement de l'outil sonique (Rapport Schlumberger).

II.2.3 Stratigraphie séquentielle

La stratigraphie séquentielle c'est une démarche qui fournit un cadre d'étude aux éléments de tout environnement de dépôts, facilitant ainsi la reconstitution paléogéographique des environnements et la prédiction des faciès lithologiques. Elle s'intéresse plus précisément à l'organisation des strates en relation avec les fluctuations cycliques du niveau de la mer.

Les modèles d'empilements stratigraphiques permettent de déterminer l'ordre dans lequel les strates se sont établies et expliquent les relations géométriques et structurales intrinsèques de ces strates. La stratigraphie séquentielle s'appuie sur trois concepts primordiaux : la séquence, la paraséquence et les cortèges sédimentaires (Catuneanu, 2011).

La méthode de la stratigraphie séquentielle donne des résultats optimums quand sont intégrées des informations en provenance des sources multiples (sismiques, affleurements, carottes, diagraphies de forage, biostratigraphie, magnétostratigraphie, etc.). Toutes ces données ne sont pas disponibles pour toutes les études, c'est un facteur limitant la résolution des modèles de stratigraphie séquentielle. Par exemple : un bassin pétrolier onshore mature peut offrir un jeu complet de données tandis qu'un bassin offshore peut n'être interprété qu'avec de la sismique (Bacchiana, 2011).

La stratigraphie séquentielle est maintenant communément utilisée comme une approche moderne à l'analyse stratigraphique intégrée, combinant des données de tous les autres types de stratigraphie ainsi que d'autres disciplines.

II.2.4 Notions d'électro-facies et d'électro-séquence

L'électro-faciès est défini différencier comme "un ensemble de réponses diagraphiques qui caractérise un banc et permet de le de ceux qui l'entourent" (Serra, 1979).

Le concept d'électro-séquence est basé sur l'observation d'évolutions progressives en fonction de la profondeur de certains paramètres diagraphiques. Ainsi dans les formations argilo-sableuses, les réponses diagraphiques peuvent être reliées au pourcentage d'argile et à la granulométrie. On pourra en déduire l'énergie du dépôt.

Une électro-séquence est définie comme un "intervalle de profondeur présentant une variation progressive et continue entre deux valeurs extrêmes du paramètre diagraphique mesuré, dessinant une rampe" (Serra, 1979).

La forme des courbes diagraphiques, l'allure des contacts inférieurs et supérieurs des électro-bancs ont permis d'établir une classification des électro-séquences (figure II-17).

On distingue :

- La forme en cylindre : caractérise les lits de chenaux en tresses ou le domaine de plage.
- La forme en entonnoir : caractérise les dépôts de front du delta et de crevasse splay ou un milieu de barres (dépôts progradants).
- La forme en cloche : relative aux dépôts de chenaux fluviaux et deltaïques ou aux chenaux de marée (dépôts transgressifs).
- La forme en œuf : forme caractéristique des dépôts deltaïques régressifs à transgressif, dépôts de cône de déjection, etc.
- La forme en dents de scie : relative aux dépôts de la plaine alluviale, dépôts de talus (de pente), etc.

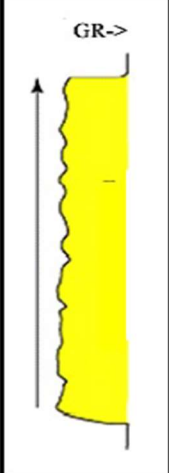

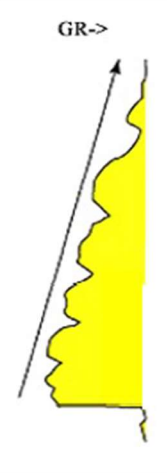
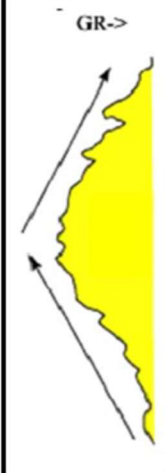
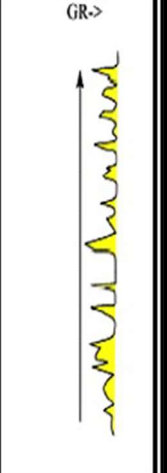
La forme	Cylindrique	Entonnoir	Cloche	Œuf (ovale)	Dent de scie
Approvisionnement en sédiment	aggradation	progradation	Rétrogradation	Progradation et rétrogradation	Aggradation
Tendance GR					

Figure II- 17 : Classification des électroséquences d'après la forme des courbes de Gamma ray (Bachiana, 2011).

II.3 Découpage séquentiel

La description des carottes et l'interprétation du signal Gamma Ray permet la subdivision de la formation du trias argileux gréseux inférieur qui se dépose sur la Discordance hercynienne qui est la coupure majeure entre le Paléozoïque et le Trias.

Ce cycle orogénique a mis en contact l'ordovicien (grés d'Ouargla) et le Trias inférieur argileux gréseux.

Le découpage séquentiel fait sur le puits RAA-3 (puits de référence) permet :

- La subdivision de la formation du trias argilo-gréseux inferieur du puit RAA-3 en membres grâce à la description des carottes, au log synthétique et au signal Gamma Ray.
- La description de la formation du Trias argilo-gréseux et de sa base composée des grés de Ouargla.
- La définition de son milieu de dépôt.

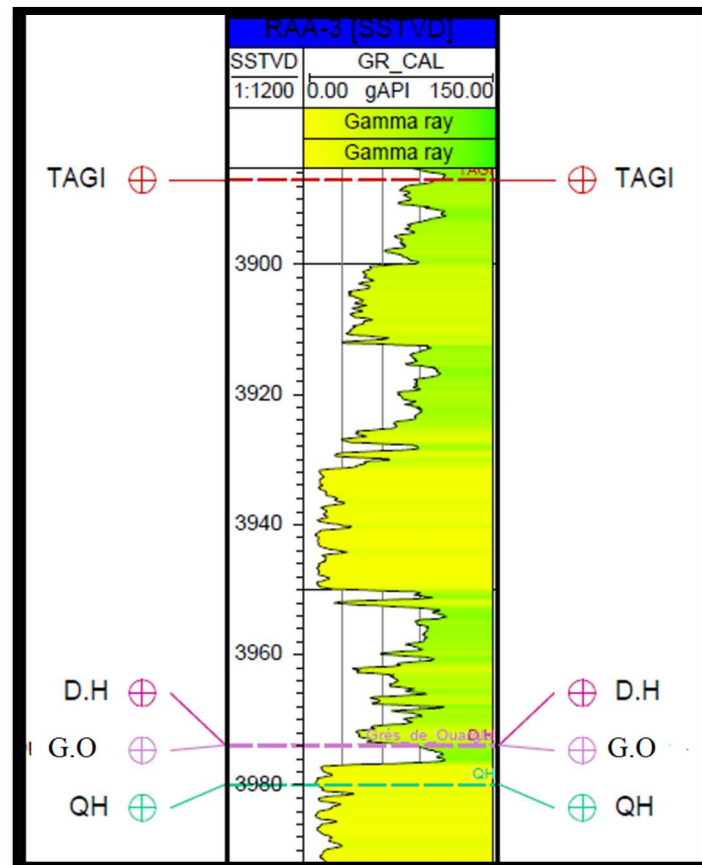


Figure II- 18 : log diagraphique de puits RAA-3 (signal GR).

II.3.1 Description du substratum paléozoïque : (3981-3968m)

Epais de 13m, ce membre est composé de plusieurs séquences qui nous renseignent sur ses facies et structures.

L'analyse électroséquentielle et l'allure du Gamma Ray révèlent une courbe qui indique une forme en cloche. On a une signature grano-décroissante (figure II-18).

La description de carottes nous renseigne sur la présence de grés fins à moyens, stratifiés, cimentés et bioturbés, puis on a une alternance de grés qui vont de moyens à grossiers et au sommet on retrouve des argiles massives sans bioclastes, limite par discontinuité érosive (figure II-19).

Ces facies appartiennent à un milieu marin marqué par la présence de structures laminaires skolithos et stratifications obliques... ; résultant d'un régime transgressif qui part d'un milieu littoral proche du rivage Shoreface à l'Offshore.

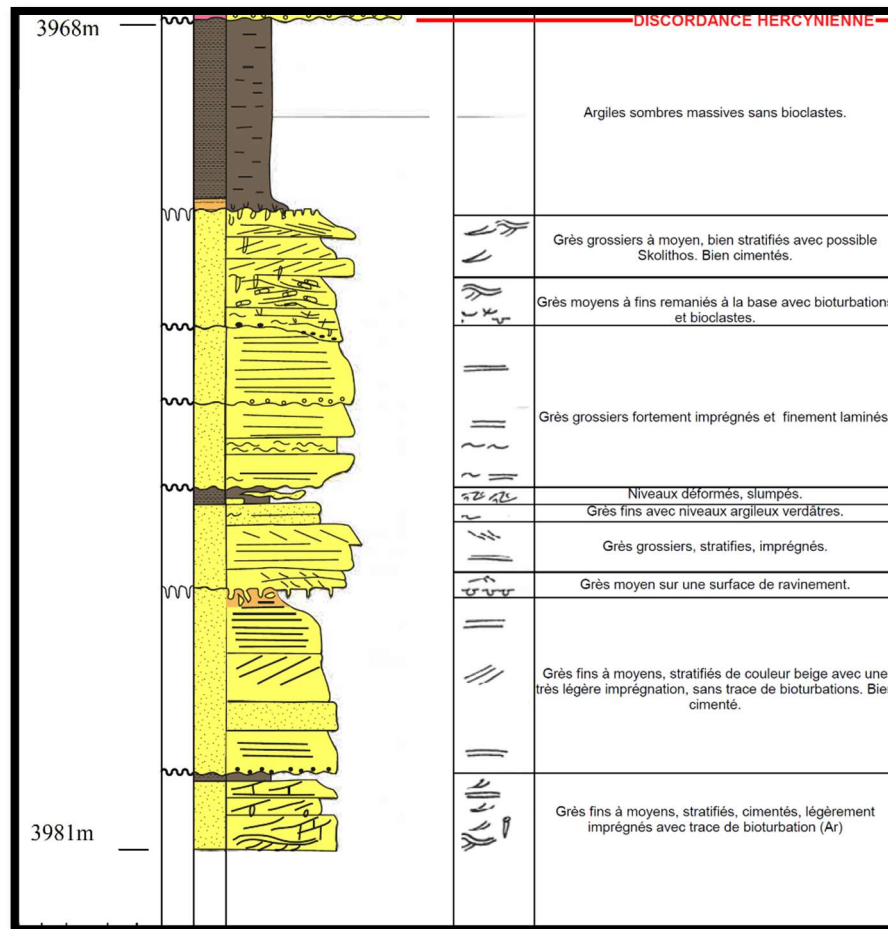


Figure II- 19 : formation de l'ordovicien (puits RAA-3).

II.3.2 Formation du Trias argileux gréseux inférieur (3889-3931m)

La série TAGI présente une épaisseur de 79m, ses termes sont limités par la discordance hercynienne à la base (discontinuité érosive).

Les réponses diagraphique Gamma Ray affiche une forme à dents de scie et cylindrique puis en cloche qui montre les variations des environnements de dépôts caractérisé par des séquences d'ordre deux positives (figure II-18).

La description des carottes et le log synthétique sont subdivisés en trois (3) membres (figure II-20) :

Membre 1 (3967 – 3944m) : c'est la base de la série inférieure, elle commence par un intervalle microconglomératique bréchique avec lithoclastes argileux de remaniement, au-dessus on retrouve une alternance d'argiles rougeâtres et verdâtre au sommet et de silts rougeâtres stratifiés et indurés à rides 3D.

Membre 2 (3944 – 3905m) : on a un banc de grés grossiers à moyens avec des drapages et argiles silteuses (Verdâtres) qui se dépose sur une base érosive, coiffés par des grés grossiers laminés qui évoluent en grés très grossiers de couleur beige parfois cimentés avec présence de galets surplombés par des intervalles silto-argileux intercalées par des bancs de grés moyen beige et au sommet un intervalle silto-argileux blanc induré.

Membres 3 (3905 – 3889m) : on a des argiles rouges massives avec quelques niveaux marmorisés à la base et des concrétions dolomitiques (nodulaires) qui se dépose sur une base altérée (paléosol), surplombés par des grés moyens à très fins silteux contenant beaucoup de rides 3D et quelques drapages argilo-silteux, le sommet est caractérisé par argiles rouges massives avec traces de racines.

Interprétation

Ces faciès appartiennent à un milieu fluviatile de différents milieux de dépôts à des séquences d'ordre deux et des discontinuités érosives rencontrés dans la formation du TAGI qui commencent par une plaine d'inondation avec des dépôts de débordement qui évolue en chenal en tresses de forte énergie qui passe vers un milieu de faible énergie représenté par un chenal méandrique qui se termine par des limons de plaine d'inondation.

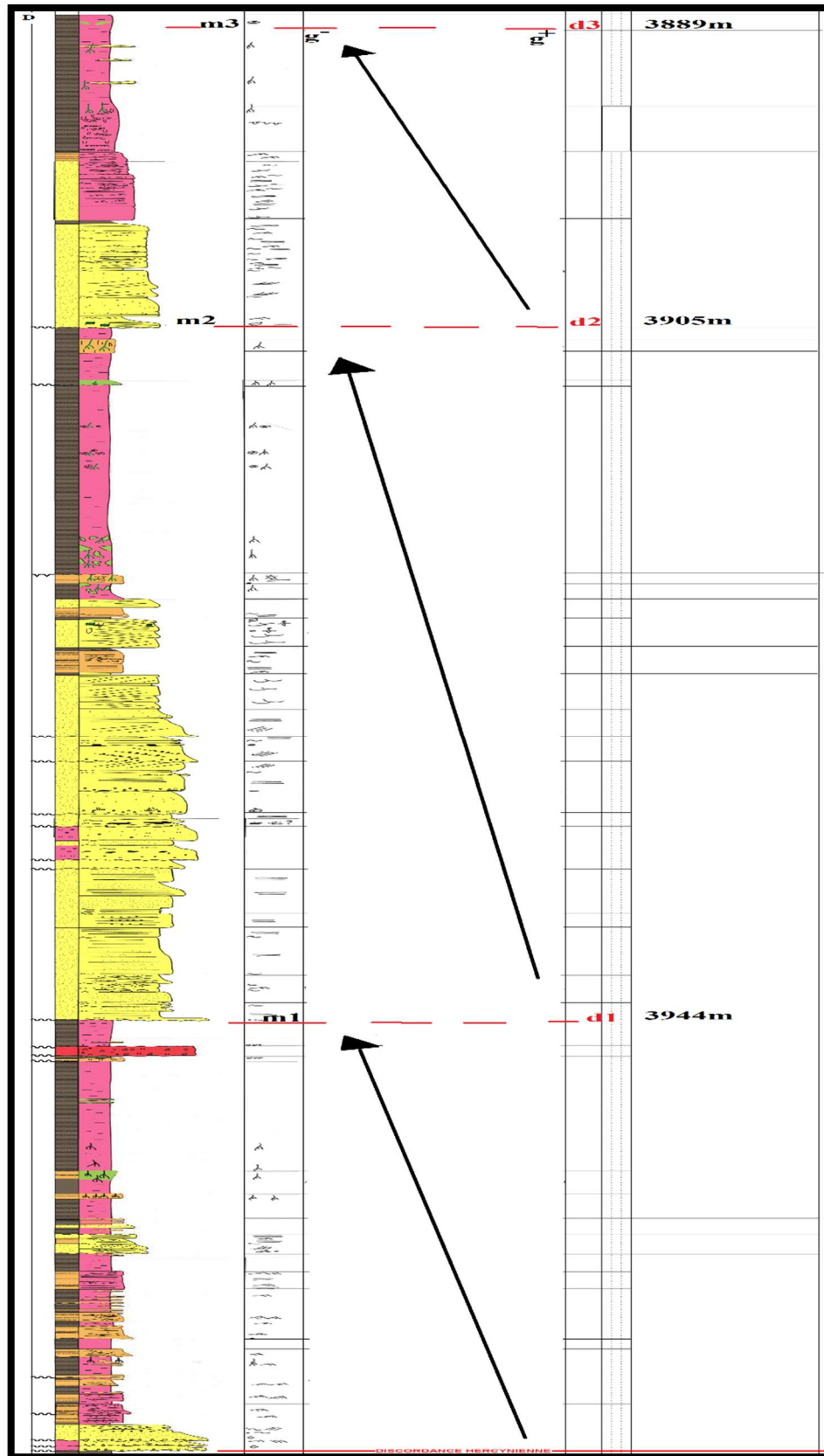


Figure II- 20 : Découpage séquentielle du Trias inférieure dans le puits RAA-3

II.3.3 Les corrélations

La corrélation de la formation triasique (T.A.G.I), est basée sur les données diagraphiques des puits corrélés.

Un profil (NE-SO) passant par les puits suivants : N-RAA-1, RAA-2, RAA-1, RAMA-1 et HBHJ-1 a été réalisé. (Figure II-21)

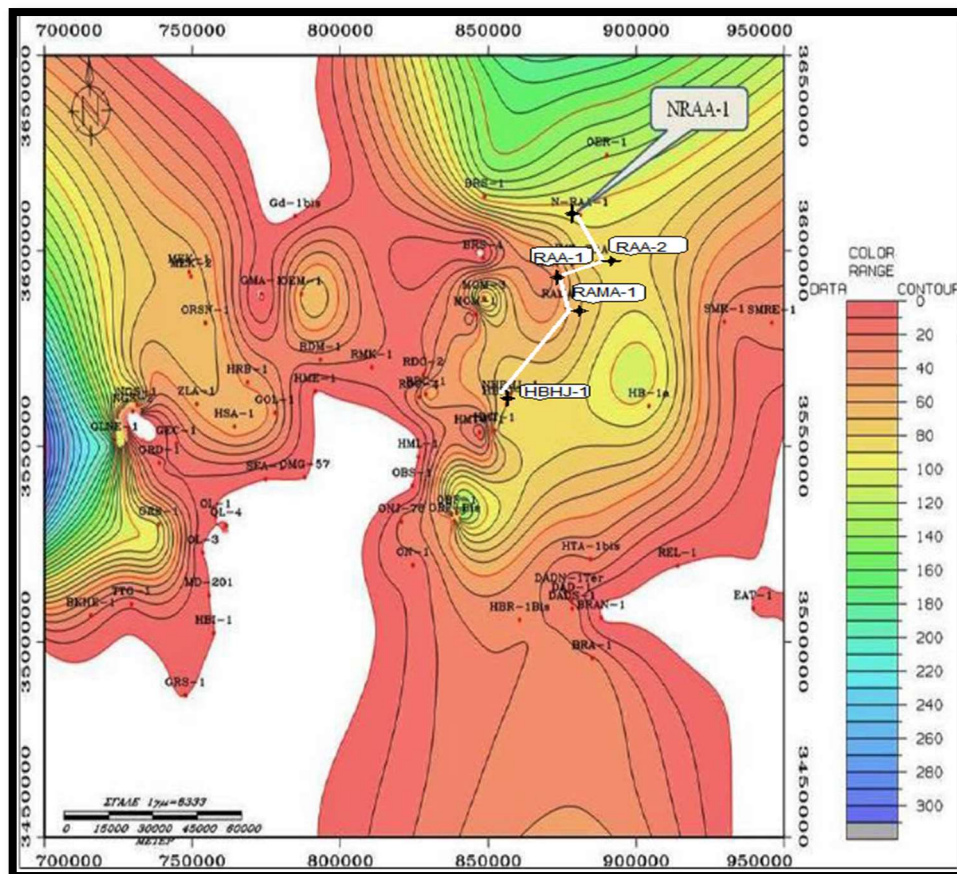


Figure II- 21 : Profil de corrélation sur la carte en isopaque au toit du TAGI.

II.3.3.1 Commentaire du profil (NE-SO)

Le paléozoïque dans la région de Touggourt Est (secteur d'étude) est représenté par des formations ordoviciennes affectées en partie par l'érosion et qui décroît en allant vers le Sud-ouest, on le remarque au niveau du puits HBHJ-1. Vers le Nord-est, elle s'intensifie au niveau du puits NRAA-1 (figure II-22).

Le trias repose sur les grès d'Ouargla sur le flanc N-E de la coupe au niveau du puits NRAA-1, RAA-2, au centre il repose sur l'argile micro-conglomératique au niveau du puits RAA-1, et en allant vers le S-O il repose sur le Silurien comme aperçu au niveau des puits RAMA-1 et HBHJ-1.

La couverture mésozoïque est formée par les dépôts triasiques (T.A.G.I, RE, T1+T2, T.A.I, S4). L'épaisseur totale des dépôts triasique est plus importante au centre de la coupe en comparaison des autres puits voisins, ces dépôts se situent entre RAA-1 et RAMA-1 ou l'épaisseur est comprise respectivement entre 460m et 480m, dans les autres puits l'épaisseur est de : NRAA-1 : 380m ; RAA-2 : 390m ; HBHJ-1 : 400m.

Les dépôts du T.A.G.I sont d'origine fluviatile et à sa base on a des grès grossiers ou des argiles rouges comme on peut le voir dans le puits, NRAA-1.

Au sein du Trias argileux gréseux inférieur, les dépôts peuvent être des grès grossiers, moyens et /ou grès fins sont probablement silicifiés avec des structures laminaires, des stratifications et des rides et contenant des passages d'argiles rouges et quelques niveaux silteux.

Le T.A.G.I est coiffée par le trias éruptif au centre de ce profil il est visible au niveau du puits RAA-1 en comparaison aux extrémités de la coupe où il n'est pas visible, elles sont directement coiffées par le trias T1+T2 qui est visible au niveau du puits HBHJ-1.

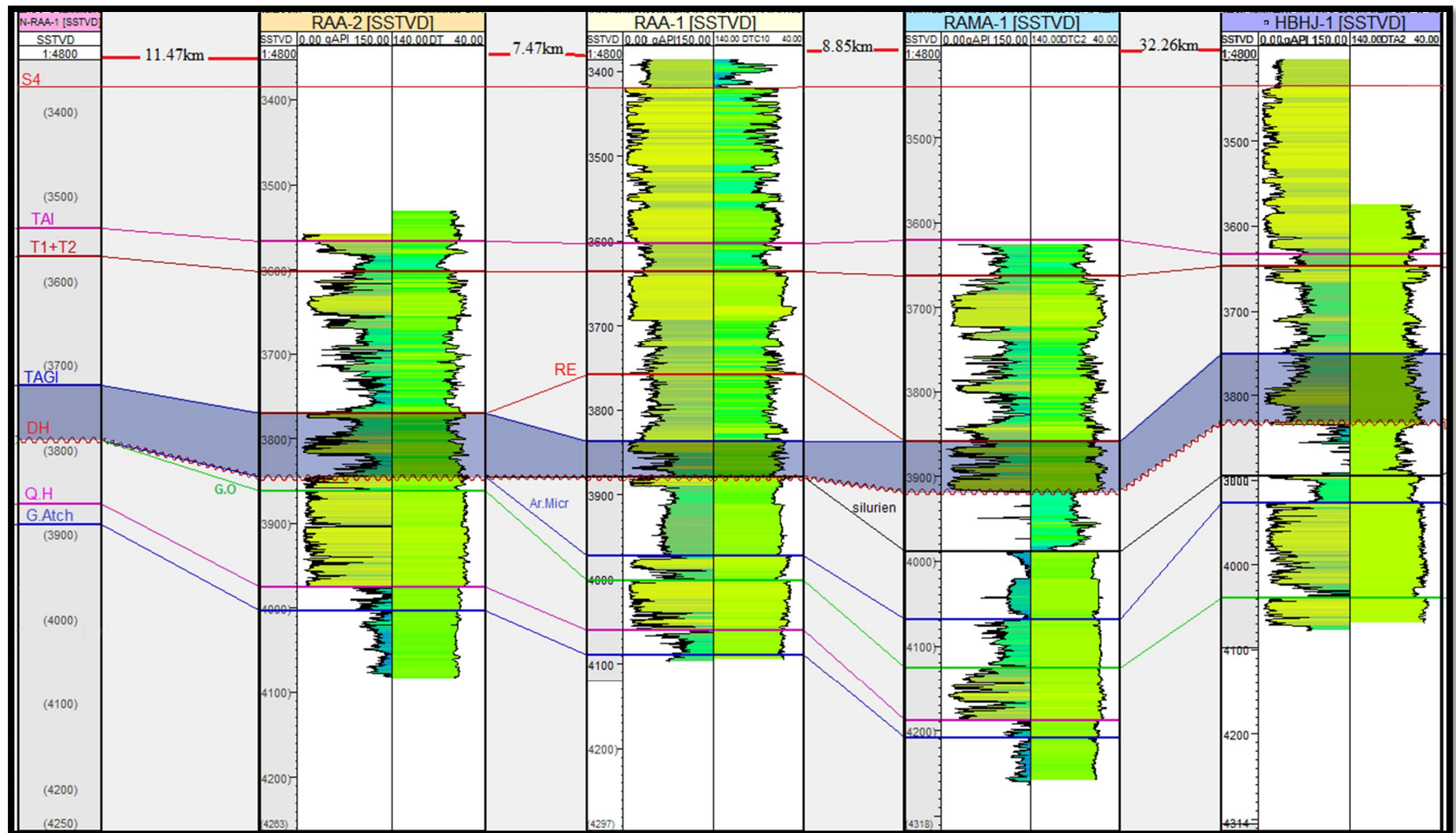


Figure II- 22 : corrélation des puits N-RAA-1, RAA-2, RAA-1, RAMA-1, HBHJ-1.

II.3.4 Commentaire de la Carte Isopaques :

Le Trias montre des dépôts centres suivant un axe orienté Nord-est Sud-ouest passant par les puits E-RAA-1, RAA-3, RAA-2, RAA-1 et S-RAA-1 (figure II-23).

En allant vers le Nord-est le trias argileux gréseux inférieur est de plus en plus épais jusqu'à atteindre une épaisseur de 100m au niveau du puits E-RAA-1 se qui s'explique par la présence une vallée hercynienne d'où l'implantation de ces puits (des dépôts chenaux fluviale), alors que vers le Sud-ouest T.A.G.I s'amincit jusqu'à atteindre une épaisseur qui est deux fois moins importante qu'au NE, on le remarque au niveau du puits S-RAA-1 avec : 40m d'épaisseur.

On remarque qu'en allant vers l'Ouest et le Sud-Ouest de la carte les épaisseurs augmentent à nouveau ce qui implique que les dépôts se sont accumulés d'une manière constante pendant une plus longue durée dans cette partie de la zone d'étude.

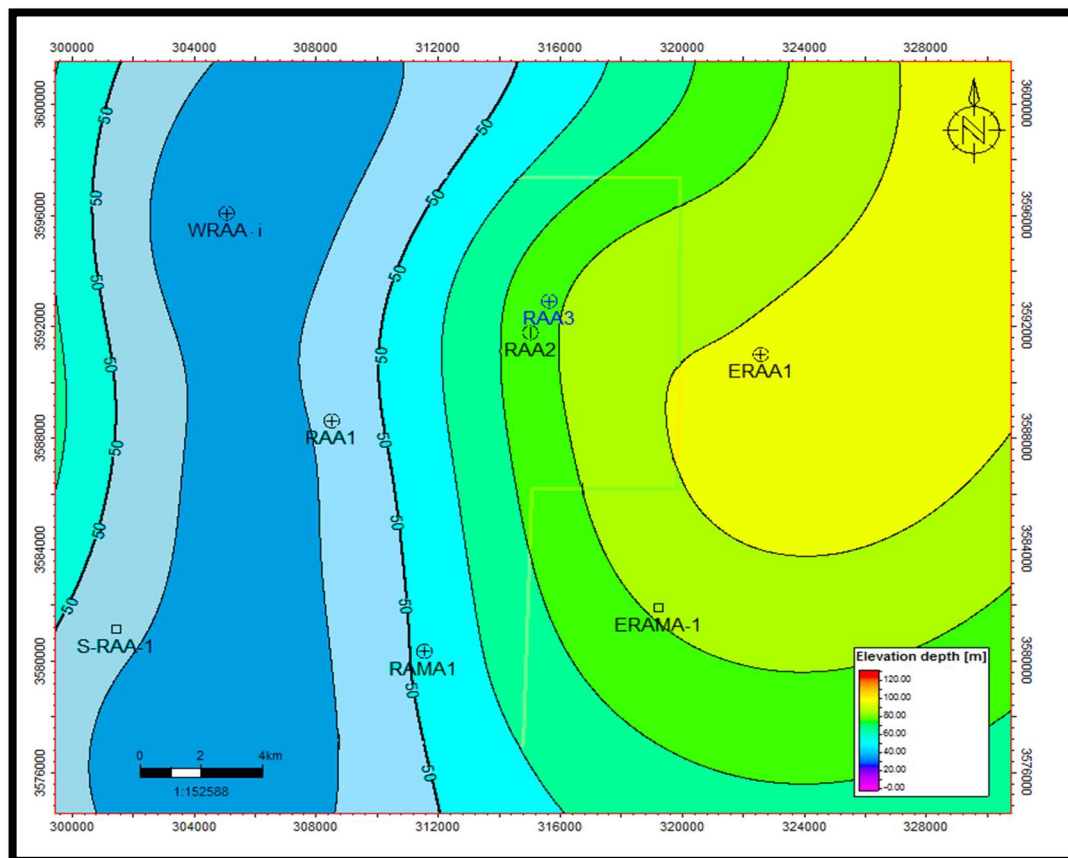


Figure II- 23 : Carte isopaque du trias argileux gréseux inférieure.

III Conclusion

La méthodologie suivie, à savoir ; l'étude des carottes, l'analyse des diagraphies, l'interprétation d'électro facies, la classification des lithofaciès, l'analyse de la carte isopaque des puits ainsi que la corrélation de ces dernières se trouvant dans périmètre Touggourt Est a permis de conclure que :

L'évolution latérale de la base du Trias argileux gréseux inférieur dans la zone d'étude est influencée par une importante érosion qui a intensément érodé le paléozoïque au NE, celle-ci est liée à l'orogénèse hercynienne.

Les dépôts observés dans le TAGI dans la région d'étude, constituent des réservoirs ayant une nature et une extension qui dépendent de la paléo-topographie hercyniennes et des faciès fluviaux à grés fins à très grossiers avec des passages argileux silteux, ils se sont accumulés d'une manière constante et avec plus de stabilité vers le NE et SO, alors qu'au centre on constate un arrêt d'accumulations de dépôts plus fréquent lié aux fluctuations fréquentes du régime d'écoulement.

Le Trias éruptif est dit coulées basiques liées à la distension triasique, elle-même induite par l'ouverture de la tethys.

Le milieu de dépôt qui ressort de cette étude est continental, il est représenté par des dépôts fluviaux, qui sont :

- Dépôts de chenaux fluviaux actifs.
- Barre d'accrétion latérale (point bar).
- Dépôts de débordement (crevasse splay).
- Dépôts de Levées.
- Dépôts de plaine d'inondation au sens stricte.
- Les chenaux abandonnés.
- Les paléosols.

Chapitre III
Etude pétrographique et
diagenétique

Introduction

Dans le cadre de cette étude de caractérisation pétrographique et diagenétique des réservoirs du TAGI dans la région de Touggourt Est, une description a été faite grâce aux lames minces qui ont été confectionnées à partir des échantillons prélevés au niveau des puits traversant cette formation.

Il est à noter que l'accès aux lames minces est restreint aux ingénieurs de la Sonatrach à cette étape d'exploitation, tant que le rapport finale n'est pas achevé.

Cependant, les tableaux et logs pétrographiques qui synthétise l'ensemble des observations microscopiques sur ces lames minces a été mis à notre disposition.

I.1 Analyse des microfaciès

I.1.1 Microfaciès observés

L'étude pétrographique des lames minces a montré que la composition minéralogique est presque similaire pour la majorité des échantillons étudiés, bien que les pourcentages des composants varient.

D'un point de vue texturale, la majorité des échantillons étudiées contiennent moins de 15% de matrice argileuse et sont considérés comme des grès propres (Arénites), seulement une partie de ces échantillons contiennent plus de 15% de matrice argileuse et sont considérés comme des grès wack.

Sur le plan maturité minéralogique, les échantillons étudiés présentent une maturité minéralogique très élevée et sont considérés comme des quartzarénites (figure III- 1).

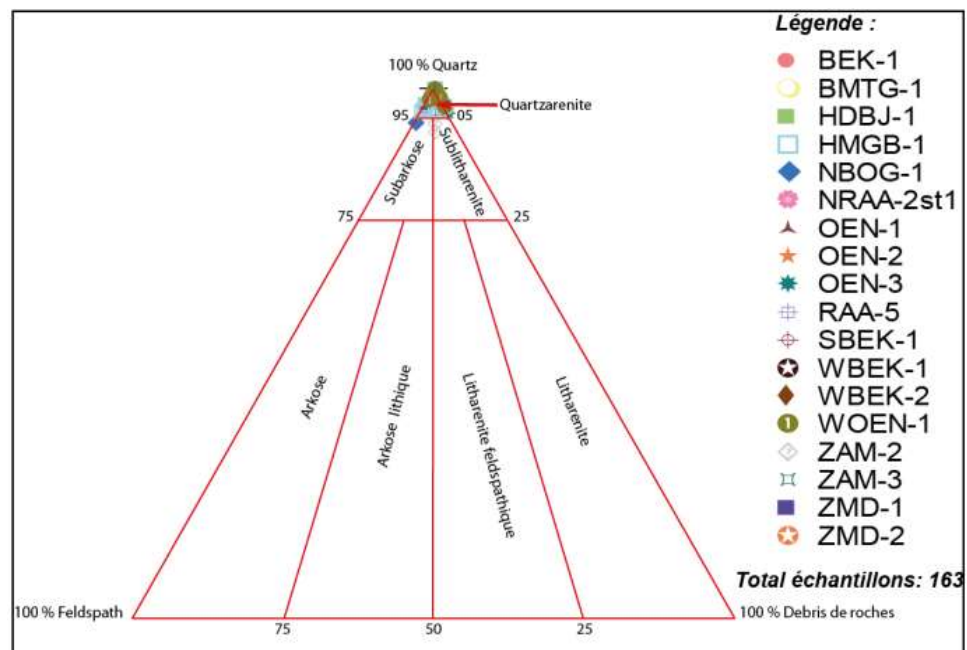


Figure III - 1 : Classification QFR des échantillons de la Série inférieure (D'après le diagramme de FOLK, 1968).

I.1.1.1 Microfaciès A (4011.5 - 4004.8 mètres)

Il présente des grains de quartz détritiques monocristallins qui représentent 74% à 81% du volume total de la roche (annexes 3 et 4).

Ils ont une morphologie sub-anguleuse à sub-arrondis, avec une granulométrie qui varie entre 0.6 et 1.1 mm, les contacts sont droits et localement concavo-convexe sous l'effet de la compaction, dans de rares cas ils peuvent être ponctuels, le classement va du très mal classé à bien classé.

On a une porosité intergranulaire et une porosité de dissolution/lessivage partielle omniprésente quant à la porosité fissurale, elle est belle et bien présente, mais se fait rare dans ce microfaciès, leur ordre d'abondance est de 1.

La porosité totale estimée varie entre 3-12%.

-Les ciments sont représentés par :

- **Une fraction argileuse (2-10%)** : de composition variable, on retrouve de l'illite et de la kaolinite au contact des grains (en pore filling) et un peu plus rarement de la chlorite, leur ordre d'abondance est de 1.
- **Silice secondaire en surcroissance** : son taux de présence varie entre 4% et 10%.

On a des traces d'oxydes de fer, de bitume, mais aussi d'anhydrite qui peuvent atteindre 14% à la base de l'intervalle et des traces de pyrite qui atteignent les 2% au sommet de ce dernier.

I.1.1.2 Microfaciès B (4003.5 – 3987.5 mètres)

Ce microfaciès montre des grains de quartz détritiques monocristallins qui représentent 71% à 83% du volume total de la roche.

Ils ont une morphologie sub-anguleuse à sub-arrondis, avec une granulométrie qui peut être fine et atteindre des tailles grossières, les contacts sont droits et localement concavo-convexe sous l'effet de la compaction, quant aux contacts ponctuels ils sont plus fréquents, le classement va du mal classé à bien classé.

La porosité totale estimée varie entre 5-10% et elle est constituée d'une porosité intergranulaire et une porosité de dissolution/lessivage partielle omniprésente, en ce qui concerne la porosité fissurale, elle est belle et bien présente mais se fait plus rare dans ce microfaciès, leur ordre d'abondance est de 1.

-Les ciments présents dans ce microfaciès sont :

- **Silice secondaire en surcroissance** : son taux de présence varie entre 1% et 8%.
- **Une fraction argileuse (1-13%)** : malgré la présence de la kaolinite au contact des grains (en pore filling) et de la chlorite, le ciment est plus souvent illitique, leur ordre d'abondance est toujours de 1.

On a des traces d'oxydes de fer sur la totalité du microfaciès, mais aussi des traces de pyrite qui se font bien plus rares, en ce qui concerne le bitume et l'anhydrite ils atteignent les 5% et 8% du volume total de la roche.

I.1.1.3 Microfaciès C (3965 – 3949.5 mètres)

Les grains de quartz détritiques monocristallins varient entre 57% à 74% du volume total de la roche.

Ils ont la même morphologie que les microfaciès précédents (A ; B), avec une granulométrie qui va du moyen à grossier, les contacts sont droits et localement concavo-convexe sous l'effet de la compaction, quant aux contacts ponctuels ils sont assez fréquents, on a même des contacts suturés bien qu'ils soient rares, le classement va du mal classé à très bien classé.

La porosité totale estimée varie entre 2-15% et elle est constituée d'une porosité intergranulaire et une porosité de dissolution/lessivage partielle omniprésente, en ce qui concerne la porosité fissurale, elle est belle et bien présente, mais elle est très rare dans ce cas, leur ordre d'abondance est de 1.

Les ciments sont représentés par :

- **Une fraction argileuse (1-22%)** : on trouve une composition changeante, entre la kaolinite (en pore filling) et l'illite, ce dernier est plus présent, leur abondance est toujours de 1. Pour ce qui est de la chlorite, son ordre d'abondance atteint 3 sur une partie du microfaciès.
- **Silice secondaire en surcroissance** : son taux de présence varie entre 1% et 8%.

On a des traces d'oxydes de fer qui atteignent les 1% de volume, quant à la pyrite elle va de 1 à 2%, en ce qui concerne le bitume et l'anhydrite, ils atteignent les 2% et 15% du volume total de la roche respectivement, on a aussi des fragments de roches qui font leur apparition avec un faible pourcentage de 1-2%.

I.2 Description pétrographique

I.2.1 Dans le Trias argileux-gréseux inférieur (T.A.G.I)

I.2.1.1 Les composants détritiques

A. Le Quartz

Le quartz monocristallin est le constituant principal, il représente 10% à 87% du volume total de la roche, seuls quelques grains sont polycristallins, avec une distribution très aléatoire. La granulométrie est souvent moyenne, parfois grossière et rarement fine.

Les grains de quartz sont sub-anguleux à sub-arrondis, bien classés, avec des contacts dominants droits et concavo-convexes, traduisant un degré de compaction significatif (figure III - 2) (annexes 3 et 4).

B. Feldspaths

Ils sont rares et représentent moins de 4% du volume total de la roche dans les puits étudiés.

C. Fragments de roches

Ils sont très rares et ne dépassent pas les 2% du volume total de la roche.

D. Les micas

Ils sont généralement représentés uniquement par de la muscovite souvent altérée en illite. Leurs teneurs ne dépassent pas les 4% du volume total de la roche.

I.2.1.2 Les composants authigènes

E. Silice secondaire en surcroissance

La silice secondaire est omniprésente dans tous les intervalles étudiés avec des proportions importantes qui peuvent atteindre les 25% dans certains puits.

F. La pyrite

Ils sont rares avec un pourcentage très faible.

G. Oxydes de fer

L'un des rares minéraux authigènes à être occasionnellement rencontrés dans certains échantillons avec un pourcentage très faible.

H. L'anhydrite

Le ciment anhydritique est retrouvé de façon constante dans les puits étudiés avec un pourcentage qui atteint les 15% dans quelques puits.

I. L'argile

L'argile authigène est considérablement représentée sur tous les niveaux, avec des proportions variables, peut atteindre les 25% voire dépasser ce pourcentage.

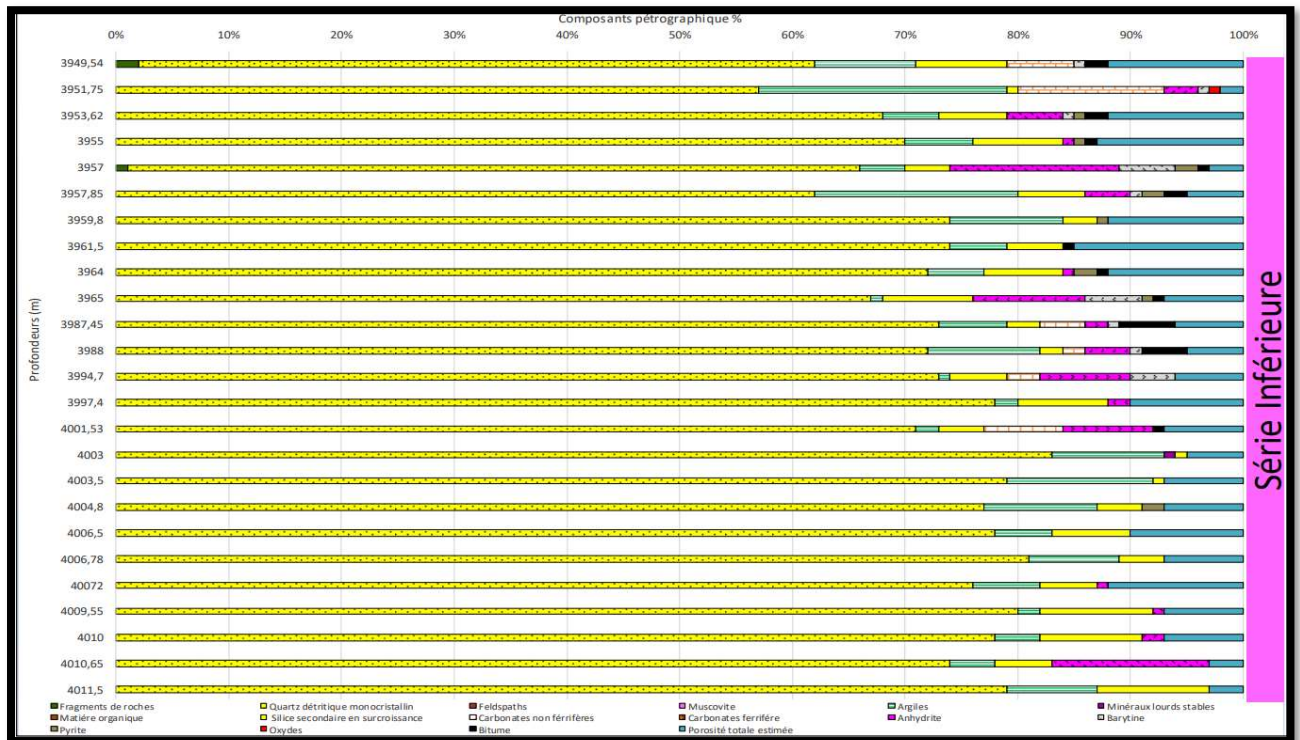


Figure III - 2 : Log pétrographique des composants en fonction des profondeurs d'un puits de la zone d'étude (rapport Sonatrach).

I.2.2 La porosité

La porosité est la fraction du volume d'une roche non occupée par les éléments solides (O. SERRA et al 2000), elle est définie aussi comme étant le rapport du volume des vides sur le volume total de l'échantillon. Il existe différents types de porosité.

I.2.2.1 La porosité intergranulaire (primaire)

La porosité primaire peut atteindre 20% dans certains échantillons. Ces proportions élevées de porosité sont souvent liées aux faciès qui présentent un espace intergranulaire élevé et qui était par la suite préservé des cimentations siliceuses par le biais d'un développement d'un revêtement chloriteux autour des grains de quartz détritiques et la mise en place des hydrocarbures qui ont stoppé la silicification des grains de quartz (annexes 3 et 4).

I.2.2.2 La porosité de dissolution

C'est une porosité qui résulte de la dissolution de différents ciments silicieux, argileux et anhydritique ou autre.

Cette porosité est assez fréquente dans les puits étudiés, son abondance est d'ordre 1, et est présente dans tous les microfaciès ce qui est lié à la dissolution d'un ciment argileux.

I.2.2.3 La porosité fissurale

Cette porosité est rare par rapport aux autres porosités, ces fissures sont parfois vides ou alors colmatées par un ciment, l'abondance de cette porosité est d'ordre 1 et existe dans les microfaciès A, B et C, et seulement à la base de la série inférieure de ce dernier.

Ce réseau de fissures est certainement lié aux nombreux événements tectoniques qu'a subi la région.

I.2.2.4 La porosité totale estimée

Son estimation au niveau des puits étudiés varie entre 1% et 15% au dépend de la profondeur du Trias argileux gréseux inférieur, le pourcentage de celle-ci a tendance à baisser en fonction de la profondeur, plus c'est profond plus cette porosité décroît.

I.2.3 Les milieux de dépôts

J. Association Grés/Silt

Ce groupement est un assemblage de siltstones et de grés, ces ensembles sont organisés en séquence décroissante et même croissante se terminent par des niveaux carbonatés ou par des horizons de pédogenèse (traces de racines même si la végétation semble rare), des nodules pyritiques et anhydritiques ont été observés sur les carottes.

Interprétation

Cette association constitue des ensembles gréseux qui forment la plus grande part des formations triasiques. Ces ensembles s'organisent en séquences grano et strato décroissantes avec une surface basale érosive, la suite logique de l'évolution verticale est à dominance silteuse.

K. Association Silt/Argile

Cette association est un assemblage de siltstones et d'argiles brun-rouge, ces ensembles sont organisés en séquence granocroissante et même granodécroissante se terminent par des croûtes carbonatées ou par des horizons de pédogenèse (traces de racines même si la végétation semble rare), de nodules pyritiques et anhydritiques ont été observés sur les carottes.

Interprétation

Ces ensembles fins caractérisent la plaine d'inondation qui est développées lors de grandes crues répétées. La présence de croûte carbonatée et de niveaux pédogenétiques indique des phases d'interruptions de la sédimentation sous un climat semi-aride. Les nodules d'anhydrite témoignant de l'installation d'une Sebkha.

II La diagenèse

La reconstitution de la chronologie des phases diagenétiques c'est-à-dire l'étude de la chronologie des ciments et transformations qui se produisent depuis le dépôt, est une étude qui permet de comprendre ce qui a affecté les faciès étudiés et elle est basée uniquement sur l'analyse pétrographique sous microscope optique polarisant.

Pour cela, il est indispensable de retracer cette évolution, afin de mieux caractériser les réservoirs du Trias argilo-gréseux inférieur dans la région de Touggourt Est.

II.1 Les différents stades Diagenétiques

Il existe fondamentalement trois phases de la diagenèse (O.Serra, 1985), Chacune correspond à une zone diagenétique :

II.1.1 La Syndiagenèse (diagenèse précoce)

Durant cette phase les sédiments se transforment en roche cohérente (Lithification). Elle correspond aux premiers changements dus à l'augmentation du PH à la suite de l'activité bactérienne puis à l'expulsion des eaux connées.

La diagenèse précoce n'affecte que quelques dizaines de mètres de sédiments correspondant à la zone Eogénétique.

II.1.2 L'Anadiagenèse (diagenèse d'enfouissement)

Elle correspond à la phase de compaction, accompagnée par les phénomènes de pression-dissolution. L'expulsion des eaux interstitielles conduit généralement à des réductions de porosités. Cette phase de diagenèse, liée à l'enfouissement, affecte plusieurs centaines voire plusieurs milliers de mètres de sédiments.

Elle correspond à la zone Mésogénétique.

II.1.3 L'Epidiagenèse (diagenèse tardive)

À la suite de l'émergence des sédiments enfouis, par la tectonique, ces derniers subissent des conditions d'altération superficielle par les eaux interstitielles après la pénétration des eaux météoriques ou d'eaux douces. Il se produit des phénomènes d'oxydation, de dissolution et de cimentation en milieu acide par dégradation des argiles préexistantes.

Le niveau où commence l'altération superficielle correspond à la zone Télégénétique.

II.2 Les mécanismes de la diagenèse

Les phénomènes diagenétiques se font suivant un nombre important de mécanismes et cela par des processus physiques et chimiques, ils peuvent être résumés comme suit :

II.2.1 La compaction

Au cours de l'enfouissement et sous l'effet du poids des sédiments sus-jacents, elle s'opère par une réduction du volume des sédiments par diminution des espaces poreux, l'expulsion des fluides interstitiels, augmentation de la densité et multiplication des points de contacts entre les grains ce qui entraîne une déformation des minéraux ductiles (figure III- 3).

L'intensité de ce mécanisme entraîne la stylolitisation.

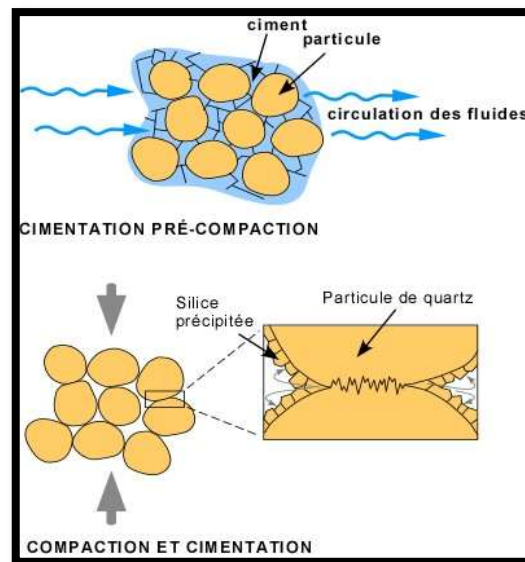


Figure III - 3 : Représentation des phénomènes de cimentation et compaction (Bourque, 2010).

II.2.2 La cimentation

Elle correspond à une précipitation des minéraux dans les espaces poreux pouvant dériver du sédiment lui-même d'abord dissous puis redéposé ou bien provenir d'une précipitation des sels dissouts dans les eaux interstitielles ou de circulation. (Figure III- 3).

Cette cimentation entraîne une perte de porosité, elle peut être précoce ou tardive.

II.2.3 La recristallisation

Elle se développe avec l'enfouissement. Ce phénomène provoque un changement de la texture de la roche, sans modification de la minéralogie. Il se fait par croissance des cristaux au détriment des plus fins qui disparaissent.

II.2.4 Le remplacement (épigénèse)

Ce processus implique une modification de la minéralogie et parfois la cristallinité du minéral précurseur sans changement de structure, cette modification est liée à l'introduction des fluides interstitiels qui interagissent avec les solides présents tendant ainsi vers l'équilibre de la roche.

Le remplacement peut se produire à l'état solide ou après une phase de dissolution (pseudomorphose).

II.2.5 La dissolution

Elle contribue à l'amélioration des propriétés pétro-physiques, c'est un phénomène post-cimentation. Sous l'effet de certaines conditions de pression et de température, les éléments présents, se trouvent en déséquilibre avec les fluides interstitiels, d'où la rupture de l'équilibre chimique qui provoque cette dissolution (figure III- 4).

Ce phénomène est à l'origine d'une porosité secondaire de dissolution qui est causée par des eaux acides qui ont deux origines :

- Eaux météoriques acides chargées en CO₂ ou basiques contribuant à la dissolution des silicates.
- Eaux connées enrichies en acide organique produit lors de la maturation de la matière organique.

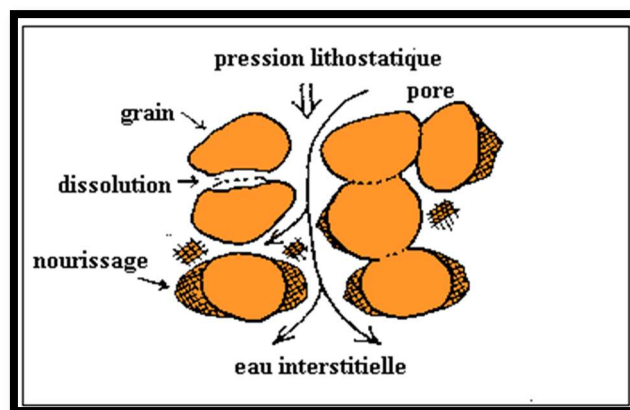


Figure III - 4 : diagenèse des roches détritiques siliceuses (Beauchamp, 2005).

II.2.6 Les stylolithes

C'est un phénomène qui résulte de la pression-dissolution. Ils sont soulignés par des argiles ou d'oxydes de fer (figure III- 5).

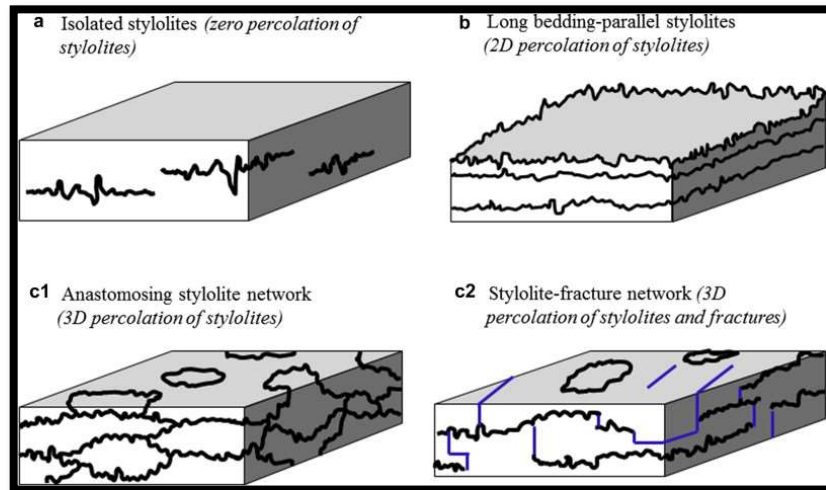


Figure III - 5 : les types de stylolithes rencontrés dans les dépôts (Laronne, 2014).

II.2.7 Les figures de dissolution

Ce sont des pores secondaires résultant de la dissolution des minéraux (argiles) reconnaissables grâce à la coloration au bleu de méthylène.

II.2.8 Les fissures

Ce sont des structures diagenétiques dues le plus souvent à la tectonique. Elles peuvent être ouvertes ou colmatées.

II.3 Les phénomènes diagenétiques observés

II.3.1 La compaction

Nous avons constaté que dans le TAGI les phénomènes de compaction mécano-chimique sont présents dans les puits étudiés et ils se manifestent par le contact entre les grains de quartz (concavo-convexe et droit) et par la présence de stylolithes, qui sont le résultat de la pression-dissolution, sans oublier l'enfoncement progressif sous l'effet principal du poids des dépôts sus-jacents.

II.3.2 La cimentation

Les argiles reconnues grâce à l'analyse microscopique pour le puits étudié sont l'Illite et la Kaolinite. Le ciment illitique est mieux représenté, la Kaolinite est présente en plus faible proportion « selon MILLOT (1964) », la fraction argileuse provient de deux origines possibles :

L. Une origine détritique

Le milieu de sédimentation a reçu ces argiles des continents par érosion des roches sédimentaires.

M. Une origine diagenétique

Le changement des conditions du milieu peut induire à un changement de la composition minéralogique.

Il y a deux types de diagenèse :

➤ La diagenèse précoce

Les minéraux argileux peuvent subir des transformations diagenétiques contemporaines de la sédimentation, exemple :

illitisation et silicification des débris micacés.

➤ La diagenèse tardive

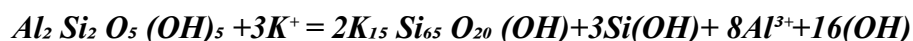
Ce sont des transformations tardives liées à l'enfouissement maximal et aux effets de pression et de température qui peuvent transformer les minéraux argileux, exemple :

La cristallinité de l'Illite augmente avec la profondeur « (DENOYER DE SEGONZAC, 1964) »

❖ L'Illite

La formation de l'Illite nécessite un approvisionnement suffisant en K^+ , Al^{3+} et Si^{4+} qui peuvent dériver de la dissolution des Feldspaths potassiques ou bien simplement par une illitisation de la Kaolinite sous l'influence des eaux salées du Trias supérieur favorisée par la présence du potassium.

Cette illitisation s'opère de la manière suivante :



❖ La Kaolinite

La formation de la Kaolinite est favorisée par les eaux acides. Ces eaux acides proviennent de la diagenèse de la matière organique contenue dans les argiles qui libèrent le CO_2 . La Kaolinite peut provenir également de la dissolution des Feldspaths, due à l'action des eaux météoriques ou les eaux du milieu fluvial.

II.4 Séquence diagenétiques du Trias argileux gréseux inférieur

Les observations pétrographiques et celles faites au microscope optique polarisant des lames minces ont permis d'établir une chronologie générale de la mise en place des différents ciments :

❖ Stade de diagenèse précoce

Dans ce stade les grains de quartz monocristallins détritiques sont tous liés par un ciment argileux détritique originel (Kaolinite).

En premier lieu, c'est le ciment siliceux de nourrissage précoce (primaire). Cette Silice va colmater partiellement les pores initiaux.

❖ Stade de diagenèse tardive

Ce stade est caractérisé par le phénomène de compaction d'abord mécanique aboutissant à un réarrangement textural. Ensuite sous l'effet de l'enfouissement progressif et l'augmentation de la température et l'enrichissement des eaux interstitielles en SiO_2 par l'altération des Feldspaths, favorise la précipitation du ciment siliceux tardif (secondaire) qui est en surcroissance autrement dit, la formation de la Silice intergranulaire.

Au cours d'une phase de diagenèse encore plus tardive, et en dehors de l'Illite détritique déjà présente, sous l'influence des eaux salées et la dissolution des Feldspaths potassiques, l'illitisation de la Kaolinite et Micas (Muscovite) se produira.

La transformation des argiles libère les ions Fe^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} . Ainsi, la Chlorite peut provenir de la dégradation de l'Illite en milieu riche en Mg^{2+} , Par la substitution des ions K^+ par Mg^{2+} et donne une Chlorite diagenétique (Lucas, 1967).

La mise en place de l'anhydrite qu'on retrouve dans les microfaciès A, B et C, se fait à partir de solutions concentrées.

L'oxyde de Fer observé dans le microfaciès C, est associé aux argiles intergranulaires, et précipite dans des conditions oxydantes tardives. Et finalement, la disposition du ciment bitumineux pyritisé tardif et rare, est liée à des conditions confinées réductrices. Ce dernier est le résultat de la formation et la circulation des hydrocarbures (figure III- 6).

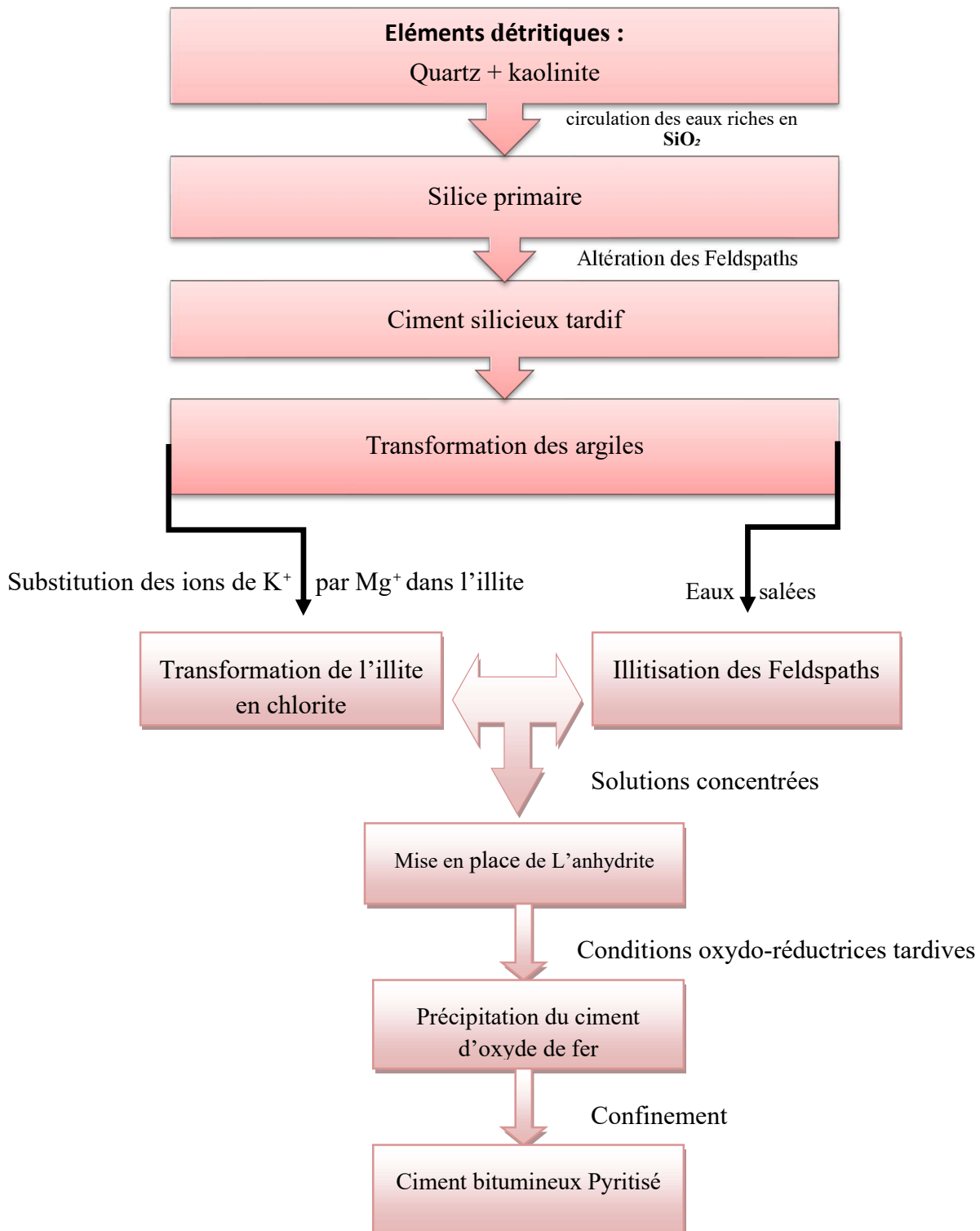


Figure III - 6 : Séquence diagenétique du réservoir du TAGI.

III Conclusion

Les observations au microscope optique polarisant des lames minces ont permis de conclure que le réseau poreux est moyen à bon, il est représenté essentiellement par une porosité primaire.

Les processus diagenétiques majeurs qui ont détérioré drastiquement les qualités réservoirs des sédiments étudiés sont :

- La compaction mécano-chimique,
- Le développement et la précipitation de la silice secondaire en surcroissance,
- La précipitation des carbonates en remplissage des pores et la précipitation des sulfates (anhydrite).

Auxquelles vient s'ajouter le bitume en remplissage des pores qui est considéré comme une phase tardive et qui a contribué dans la détérioration de la porosité primaire.

En revanche les processus qui ont contribué à la préservation des qualités du réservoirs et des phases de cimentations ultérieures sont :

- Le développement d'un revêtement chloriteux autour des grains de quartz
- La mise en place des hydrocarbures qui ont stoppé la silicification

Ces processus ont permis ainsi la préservation d'une bonne porosité primaire.

Références bibliographiques

Ait-Salem, H., (1990) : Le Trias détritique de l'Oued Mya (Sahara algérien) : sédimentation estuarienne, diagenèse et orogénèse, potentialités pétrolières. Thèse doctorat Sciences de la Terre. Université Claude Bernard -Lyon 1- Français.

Ahmadi, R., (2010) : Diagraphie et évaluation des réservoirs. Cours, Département de Génie-Géologie, Option : Géoressources, Ecole National d'Ingénieurs de Sfax- Maroc.

Bertrand, Jean-Pierre., (1968) : Cours de pétrographie appliquées à l'étude des problèmes pétroliers (Tome I) ; édition : TECHNIP. Paris.

Bacchiana, C., (2011) : Les fondamentaux de la stratigraphie séquentielle, IFP Training, <https://www.ifptraining.fr/notre-groupe.html>

Beghoul, M.S., (2013) : Les diagraphies différées : interprétation pétrophysique et géologique, IAP – Sonatrach.

BEAUCHAMP, J., (1997) : Maintien du trait de côte et accès aux ports sur le littoral picard. Actes Colloque INTERREG, St Valery/Somme, Université Picardie Jules Verne.

BEAUCHAMP, J., (2005) : cours de sédimentologie, Université de Cergy Pontoise.

Bourque P.A (2010) : Un cours d'introduction et de culture scientifique en Sciences de la Terre, chapitre 2.2.2, Pierre-André Bourque et l'université de Laval.

CATUNEANU, O. (2011): Sequence stratigraphy methodology and nomenclature Manuscript, Gebrüder Borntraeger, Stuttgart, Germany, 245p.

CATUNEANU, O. (2006) : Principals of sequence stratigraphy. Department of Earth and Atmospheric Science. University of Alberta. Canada.

Chamley, H. (1988) : Les milieux de sédimentation, BRGM (Editions), Ouvrage de 174 p.

Chamley, H. et Deconinck, Jf., (2011) : Bases sedimentologiques, 3ème édition, Dunod, 224p.

Chapellier, D. et Mari, J.-L., (2004) : Cours online de géophysique. Institute de Géophysique, Université de Lausanne, Institut française de Pétrole (IFP).

Delalex, J., (2017) : Diagraphies différées et interprétation. Reservoir Engineering, ENSPM Formation Industrie - IFP Training.

Eni (2021) : Rapport d'étude de Touggourt

Hornung, J. (1999): Reservoir and aquifer characterization of fluvial architectural elements: Stubensandstein, Upper Triassic, southwest Germany, Sedimentary Geology, Volume 129, Issue 3, p. 215-280.

Laronne, L., Ben-Itzhak, E. Aharonov, Z. Karcz, M. Kaduri, R. Toussaint., (2014): Sedimentary stylolite networks and connectivity in limestone: Large-scale field observations and implications for structure evolution, *Journal of Structural Geology*, HAL Science ouverte. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00961075v2>

Louaguenouni, F (2021): Rapport sonatrach de l'étude sédimentologique.

Miall A. D., (1978): *Fluvial Sédimentologie*, Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 5, Calgary, 858p.

Miall, A. D., (1996): *The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology*, Springer Berlin, Heidelberg, 582p.

MIALL, A.D., (1997): *The Geology of stratigraphic sequences*, Cambridge University Press, 435p.

MIALL A.D., (1999): *Principles of Sedimentary Basin Analysis*, 3rd updated and enlarged Edition, Springer Berlin Heidelberg, 616 p.

Schlumberger, (1996): *Introduction to Open Hole Logging*, 208p.

Selley, R. C., (1976): *An Introduction to Sedimentology*, Academic Press Inc, London, 408p.

Serra, O., (1979) : *Diagraphies différées (bases de l'interprétation)*, Tome 1 : Acquisition des données diagraphiques, BRGM (Editions), Elf-Aquitaine, 324p.

Serra, O., (1984): *Fundamentals of well log interpretation: The Interpretation of Logging Data*, Elsevier Science Ltd, Amsterdam.

Sonatrach (2015) : Rapport d'implantation du puits NRAA-1

Sonatrach (2016) : Rapport d'implantation du puits RAA-3.

Sonatrach (2018) : Rapport d'implantation du puits vertical RDC.

Sonatrach (2021) : Rapport pétrographique et diagenétique des échantillons de l'ordovicien et du Trias du périmètre de Touggourt Est.

WEC, (2007): Well evaluation conference Algeria. Document de Sonatrach et Schlumberger.

Walker, G., (1984) : *Facies models (Geoscience Canada reprint series)*, Geological Association of Canada Publications, Business and Economic Service ; 2nd edition, 317p.

Annexe 01

Les différents logs synthétiques des puits

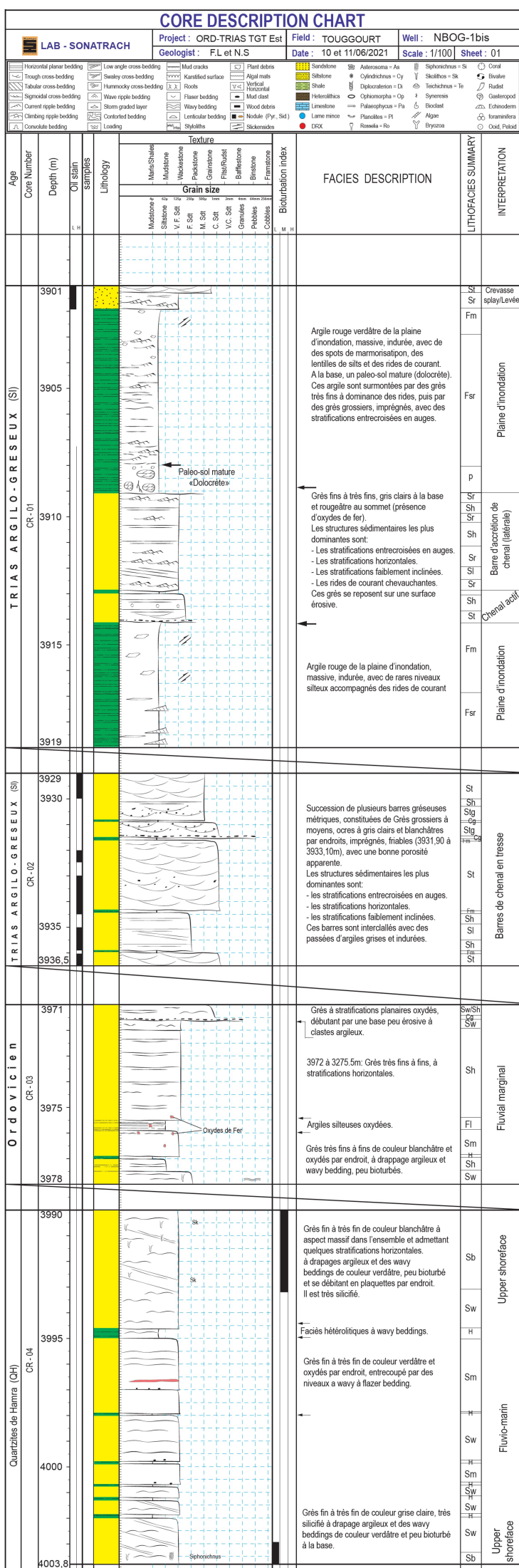
RAA-3, BMTG-1, NBOG-1, OEN-3, SOEN-1,
ZMD-1.

CORE NUMBER	BOXES	DEPTH (meter)	LOG STAINING	SAMPLES	SURFACES	LITHOLOGY	GRAIN SIZE & SEDIMENTARY STRUCTURES	SEDIMENTARY STRUCTURES	DESCRIPTIONS, COMMENTS AND INTERPRETATIONS	BIOTURBATION			DEPOSITIONAL ENVIRONMENT	AGE UNIT
										ichnofossil	intensity	T. M. S.		
3889														
1									Argiles rouges massives avec traces de racines et quelques crachés gréseux blancs.				PLAINE D'INONDATION	TRIAS - SERIE INTERMEDIAIRE
2														
3														
4														
5														
6														
7									Intervalle silto-argileux rouge très bioturbé par Scoyenia.	Sy			PLAINE D'INONDATION BIOTURBEE (MARECAGE)	
8														
9														
10									Grès très fins à silts, beaucoup de rides 3D et quelques drapages argilo-silteux. Couleur rouge prononcée.					
11														
12														
13														
14									Grès moyens à fins de couleur beiges clairs, beaucoup de rides et de litages plans. Drapages argileux.					
15														
16														
17														
18									Argiles rouges brunâtres.				PLAINE D'INONDATION	
19									Intervalle silto-argileux blanc induré avec rhizo-concrétion.				SOL	
20									Argiles rouges brunâtres.					
21									Silts à argiles vertes.					
22														
23									Argiles rouges massives avec quelques niveaux marmorisés à la base et des concrétions dolomitiques (nodulaires).				PLAINE D'INONDATION	
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														
31														
32														
33														
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41									Grès grossiers à moyen, bien stratifiés avec possible Skolithos. Bien cimentés.	Sk			MIDDLE SHOREFACE	
42									Grès moyens à fins remaniés à la base avec bioturbations et bioclastes.	Pa				
43									Grès grossiers fortement imprégnés et finement laminés.	Pa			UPPER SHOREFACE	
44									Niveaux déformés, slumpés.					
45									Grès fins avec niveaux argileux verdâtres.					
46									Grès grossiers, stratifiés, imprégnés.				SHOREFACE	
47									Grès moyen sur une surface de ravinement.					
48										Ind.				
49									Grès fins à moyens, stratifiés de couleur beige avec une très légère imprégnation, sans trace de bioturbations. Bien cimenté.				UPPER SHOREFACE TO MIDDLE SHOREFACE	
50									Grès fins à moyens, stratifiés, cimentés, légèrement imprégnés avec trace de bioturbation (Ar)	Ar			SHOREFACE	
51														

DISCORDANCE HERCYNienne

TRIAS - SERIE INFERIEURE

ORDOVICIEN INDIFFERENCIE - GRES DE OUARGLA?



CORE DESCRIPTION CHART

DLAB - SONATRACH

Project : ORD-TRIAS TGT Est

Field : TOUGGOURT

Well : EON-3

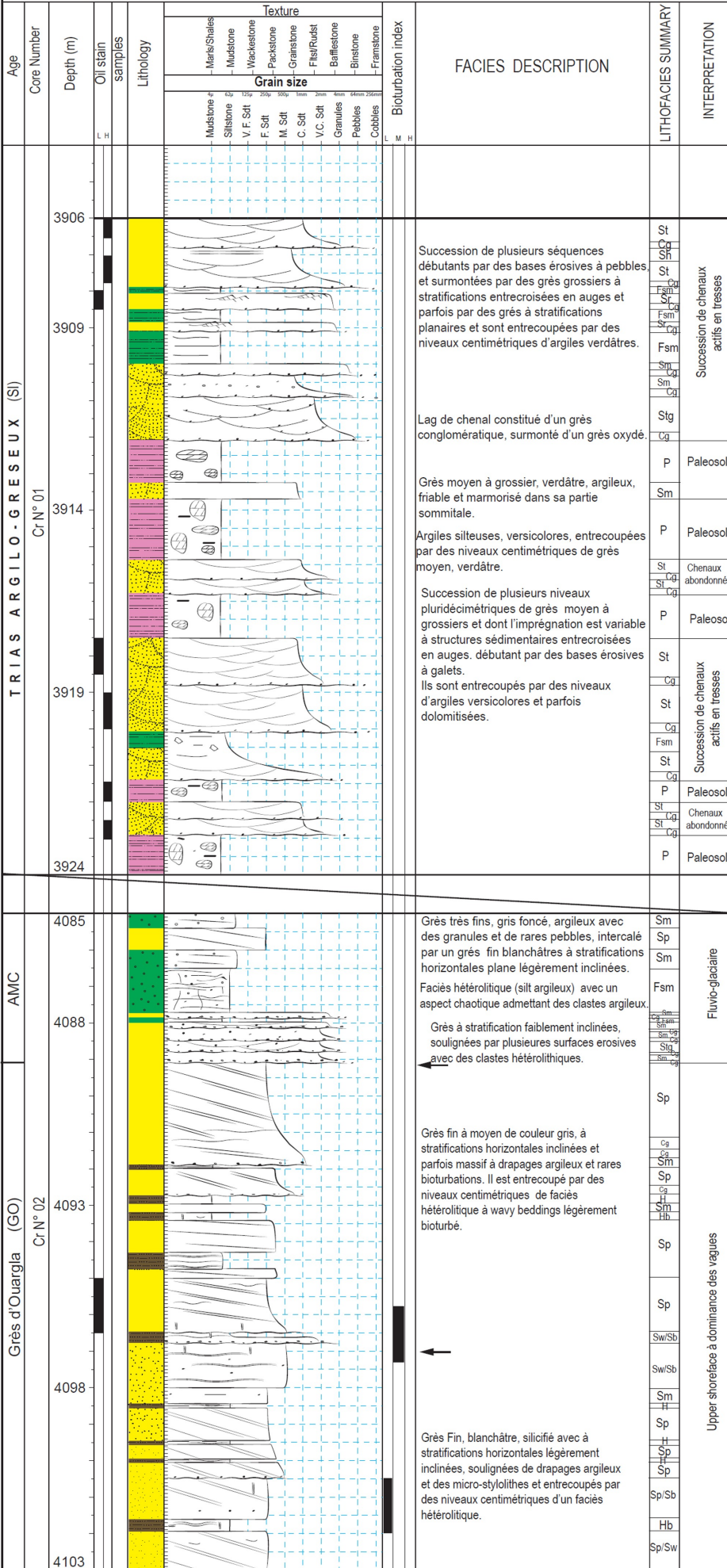
Geologist : N. SAIGHI

Date : /12/2021

Scale : 1/100

Sheet : 01

Horizontal planar bedding	Low angle cross-bedding	Mud cracks	Plant debris	Sandstone	Asterosoma = As	Siphonichnus = Si	Coral
Trough cross-bedding	Swaley cross-bedding	Karstified surface	Algal mats	Siltstone	Cylindrichnus = Cy	Skolithos = Sk	Bivalve
Tabular cross-bedding	Hummocky cross-bedding	Roots	Vertical Horizontal	Shale	Diplocraterion = Di	Teichichnus = Te	Rudist
Sigmoidal cross-bedding	Wave ripple bedding	Flaser bedding	Mud clast	Heterolithics	Ophiomorpha = Op	Syneresis	Gastropod
Current ripple bedding	Storm graded layer	Wavy bedding	Wood debris	Limestone	Palaeophycus = Pa	Bioclast	Echinoderm
Climbing ripple bedding	Contorted bedding	Lenticular bedding	Nodule (Fyr., Sid)	Lame mince	Planolites = Pl	Algae	foraminifera
Convolute bedding	Loading	Stylolites	Slickensides	DRX	Rosella = Ro	Bryozoa	Ooid, Peloid



Annexe 02
Photos de carottes du puits
SOEN-1

سوناطراك



SONATRACH

ACTIVITE EXPLORATION & PRODUCTION
DIVISION LABORATOIRES
DIRECTION LABORATOIRES & CAROTHEQUE CENTRALE
DEPARTEMENT CAROTHEQUE CENTRALE
SERVICE IMAGERIE & CT SCANNING
HASSI MESSAOUD

SONATRACH/DIVISION EXPLORATION

Puits : Sud Oglet En Nasser-1 Sigle : SOEN-1

Permis : Touggourt Est II Bloc: 415b - 424c

Depth Interval: 3892.00 - 3896.00 m



سوناطراك



SONATRACH

ACTIVITE EXPLORATION & PRODUCTION
DIVISION LABORATOIRES
DIRECTION LABORATOIRES & CAROTHEQUE CENTRALE
DEPARTEMENT CAROTHEQUE CENTRALE
SERVICE IMAGERIE & CT SCANNING
HASSI MESSAOUD

SONATRACH/DIVISION EXPLORATION

Puits : Sud Oglet En Nasser-1 Sigle : SOEN-1

Permis : Touggourt Est II Bloc: 415b - 424c

Depth Interval: 3896.00 - 3900.00 m



سوناطراك



SONATRACH

ACTIVITE EXPLORATION & PRODUCTION
DIVISION LABORATOIRES
DIRECTION LABORATOIRES & CAROTHEQUE CENTRALE
DEPARTEMENT CAROTHEQUE CENTRALE
SERVICE IMAGERIE & CT SCANNING
HASSI MESSAOUD

SONATRACH/DIVISION EXPLORATION

Puits : Sud Oglet En Nasser-1 Sigle : SOEN-1

Permis : Touggourt Est II Bloc: 415b - 424c

Depth Interval: 3900.00 - 3904.00 m



سوناطراك



SONATRACH

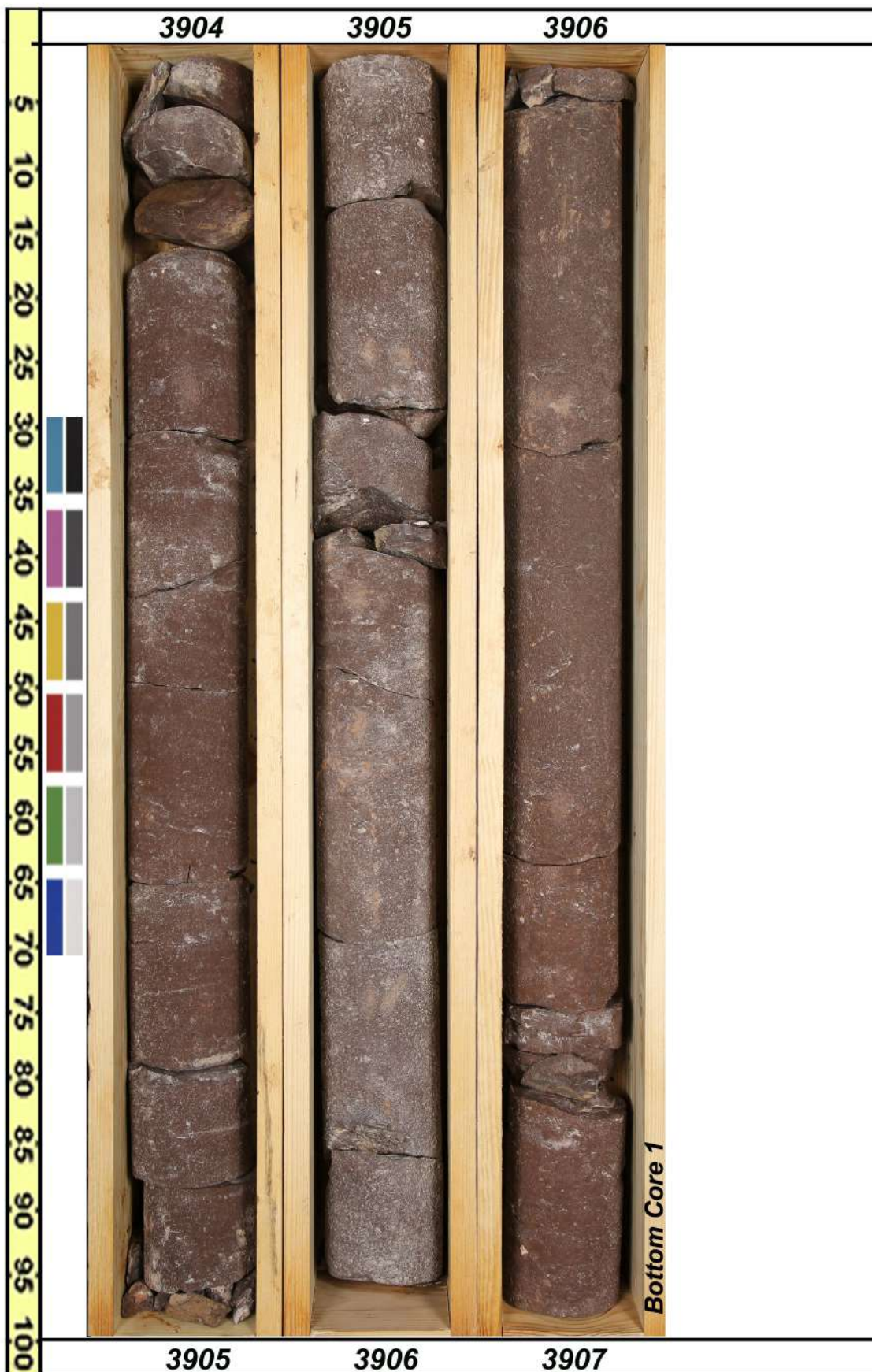
ACTIVITE EXPLORATION & PRODUCTION
DIVISION LABORATOIRES
DIRECTION LABORATOIRES & CAROTHEQUE CENTRALE
DEPARTEMENT CAROTHEQUE CENTRALE
SERVICE IMAGERIE & CT SCANNING
HASSI MESSAOUD

SONATRACH/DIVISION EXPLORATION

Puits : Sud Oglet En Nasser-1 Sigle : SOEN-1

Permis : Touggourt Est II Bloc: 415b - 424c

Depth Interval: 3904.00 - 3907.00 m



Annexe 03

Tableaux des résultats des
analyses pétrographiques

PUITS	Unités	Carotte	Granulométrie (mm)										Texture										Pétrographie (%)																								
			Profondeur (m)	G.Max		G.Moy	Mode	Classement	Morphoscopie	Contacts					IGV	Fragments de roches	Quartz détritique polycristallin	Quartz détritique monocristallin	% Silice secondaire en surcroissance		Feldspaths		Micas		Argiles										Type de porosité												
				A	F					R	R	Suturé	% Total	Remarques					% total	Orthoclase	Plagioclase	Muscovite	Biotite	Minéraux lourds stables	% Total des argiles	Kaolinite en Pore-Filling	Chlorite	Illite	Remarques			Matière organique	Carbonates ferrifère (Sidérite / Fe-dolomite)	Carbonates non ferrifères	Anhydrite	Barytine	Pyrite	Oxydes	Bitume	Oolites	Micro-styrolithes	Intergranulaire	Dissolution/lésvage partielle et moidique	Micro-Fracture	% Porosité totale estimée	Micro-fracture	Quartz fissuré
																													en remplissage des pores	Autour des grains de quartz	Calstes																
NRAA-2st1	TRIAS	Série inférieure	T1	Cr 01	3804,9	0,350	0,225	Fin	UM	TB	SA/SR	A	F	R	R			54	12					Tr	10	*	*		*	1		25	1	1	2	Tr			*	*		1					
					3852,44	0,875	0,375	Moy	UM	B	SA/SR		A		F	R			66	5			Tr		Tr	10	*	*		*	6		1		Tr	Tr			*	*		12					
					3853,69	0,500	0,250	Fin	UM	B	SA/SR		A	p	F	R			66	5		Tr			Tr	24	*	*		*	3		Tr	Tr					*	*		2					
					3854,5	0,450	0,225	Fin	UM	B	SA/SR	p	A	R	F				64	10		2		Tr	Tr	15	*	*		*	2		1			Tr				*	*		6				
					3856,52	0,600	0,350	Fin à moy	UM	B	SA/SR		A	R	F				65	2				Tr		7	*	*		*		1			Tr				*	*		15					
					3858,45	1,000	0,600	Moy à Gross	UM	B	SA/SR	p	A	R	F				72	1		Tr		Tr		3	*	*		*	1		7	1		Tr			*	*		15					
					3860,56	0,800	0,450	Moy	UM	My	SA/SR		A	F	R				72	3					Tr	4		*		*	8		Tr	Tr					*	*		13					
					3862,16	1,100	0,580	Moy à Gross	UM	TB	SA/SR	A	R	F	R				52	2						3		*			1		42		Tr				*			Tr					
					3864,96	0,850	0,480	Moy	UM	B	SA/SR		A	F	R				62	5					Tr	15	*	*		*	7		3	1		Tr			*	*		7					
					3865,42	0,750	0,500	Moy	UM	TB	SA/SR	R	A	R	F				67	3						1					5	2		14	5		Tr			*	*		3				

Légende

Granulométrie
 Silt: Siltstone
 Moy: Moyen
 Gros: Grossier

Classement
 TM: Très mal classé
 M: mal classé
 My: moyennement classé
 B: bien classé
 TB: Très bien classé

Arrondie
 SR: sub-arrondi
 R: arrondi
 SA: sub-anguleux
 AN: anguleux

Fréquence
 A: abondant
 F: fréquent
 P: présent
 R: rare
 Tr: Traces
 *: ordre d'abondance

Tableau 01 : Résultats pétrographiques des échantillons du puits NRAA-2st1

Annexe 04

Log des résultats des
analyses pétrographiques

Log pétrographique en fonction de la profondeur du puits NRAA-2st1

Composants pétrographique %

0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%

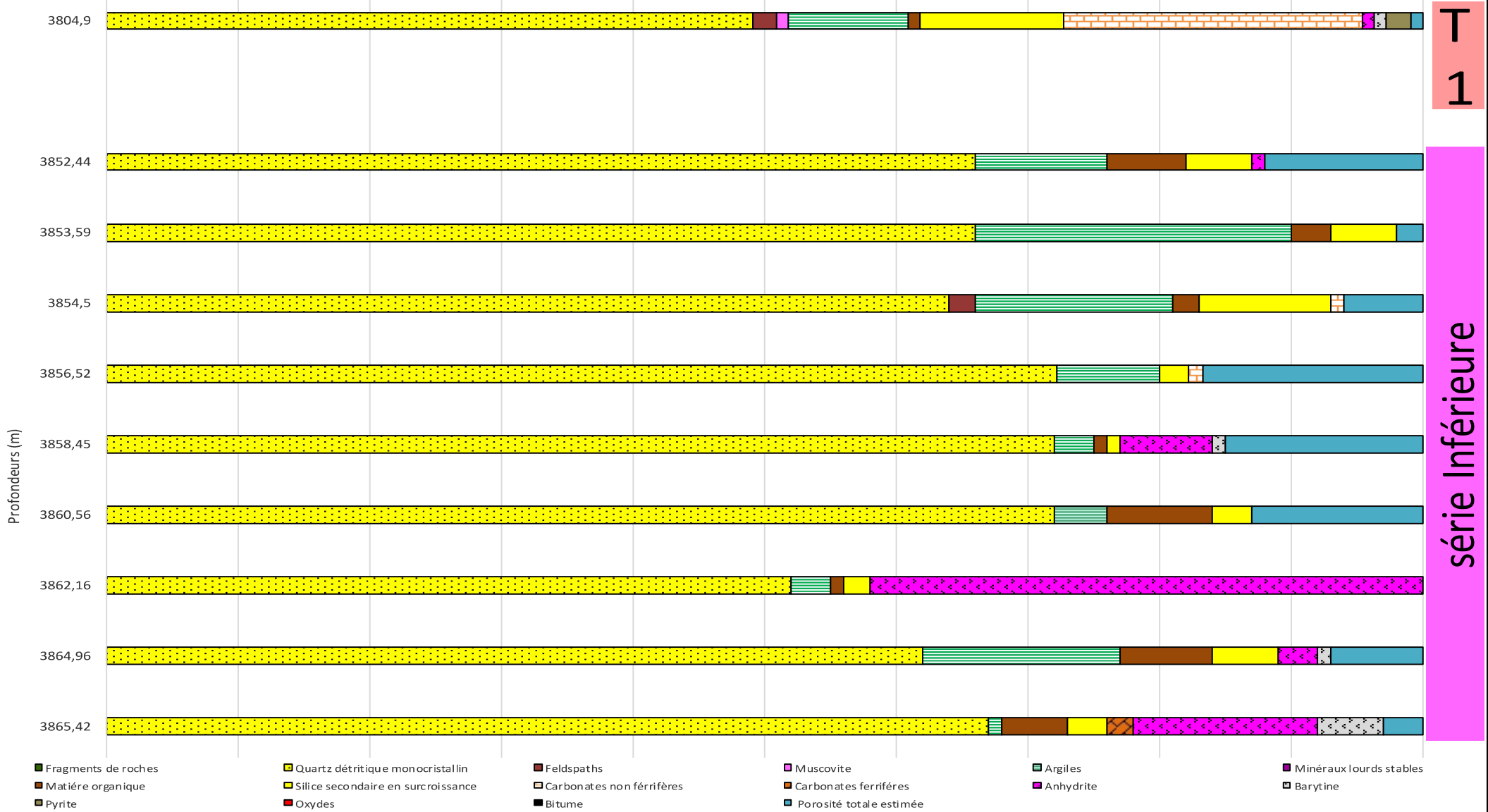


Fig 01 : Log pétrographique en fonction des profondeurs du puits NRAA-2st1

Log pétrographique en fonction de la profondeur du puits HDBJ-1

Composants pétrographique %

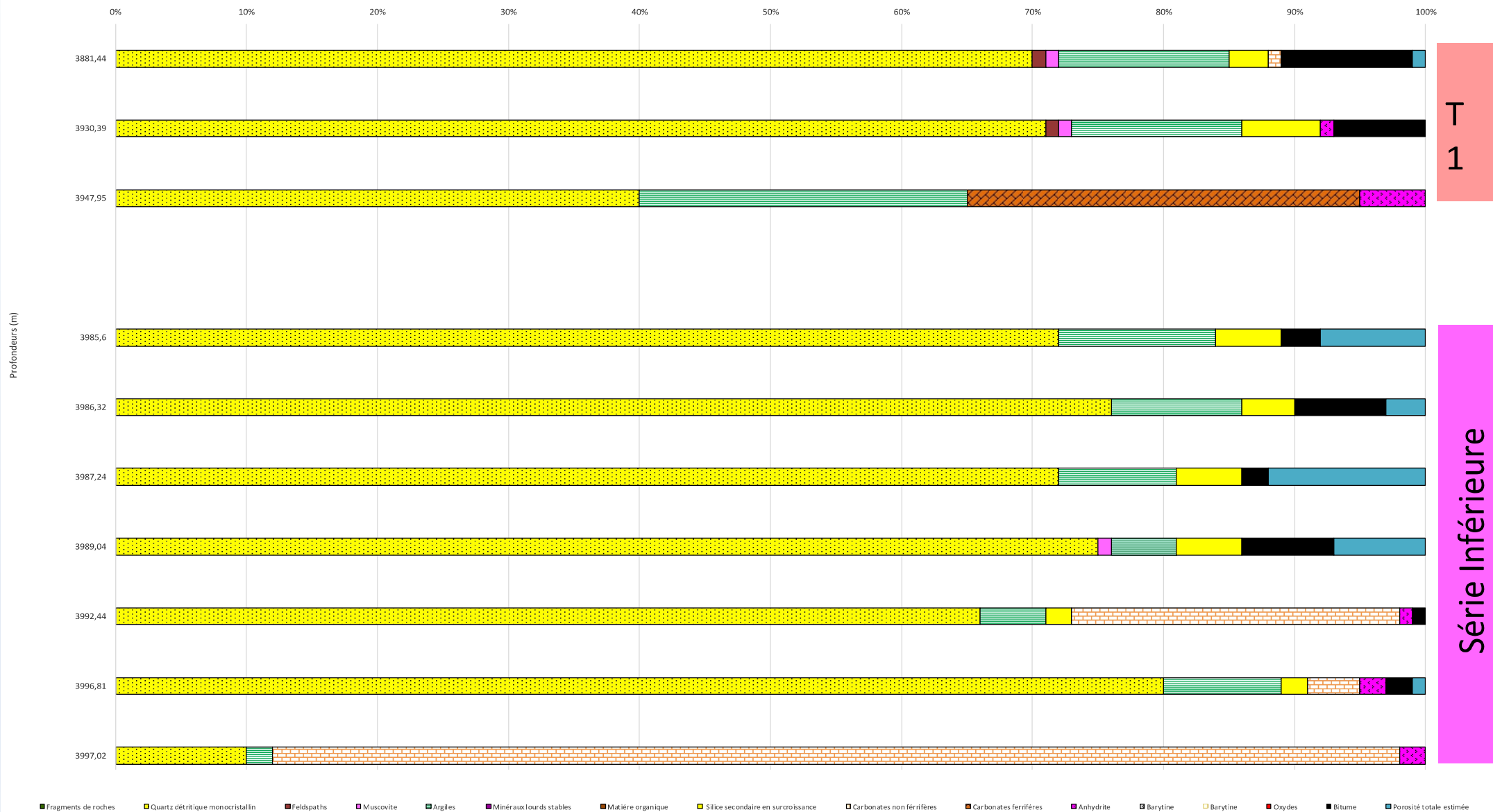


Fig 02 : Log pétrographique en fonction des profondeurs du puits HDBJ-1

Log pétrographique en fonction de la profondeur du puits ZMD-1

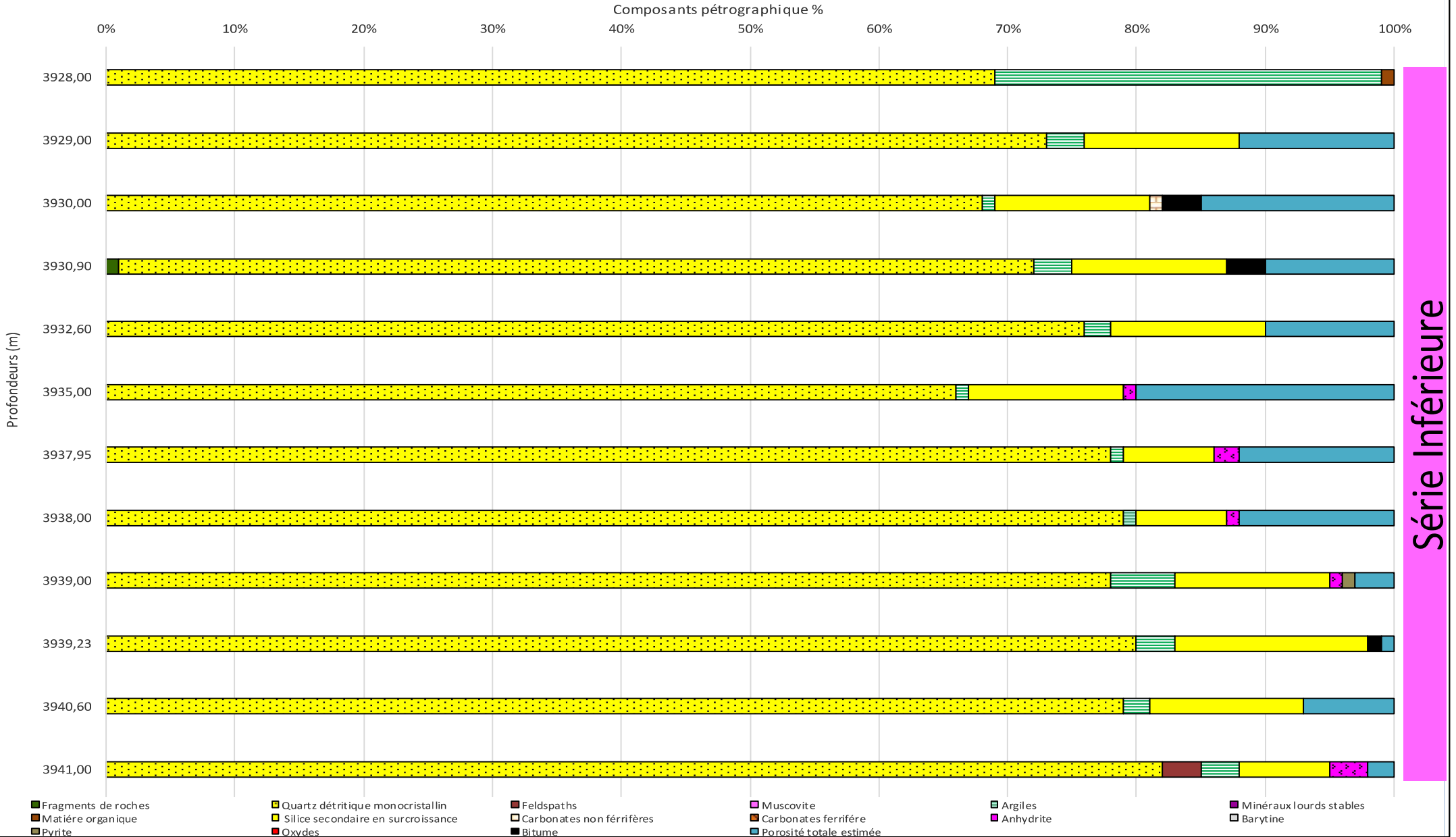


Fig 03 : Log pétrographique en fonction des profondeurs du puits ZMD-1

Log pétrographique en fonction de la profondeur du puits RAA-5

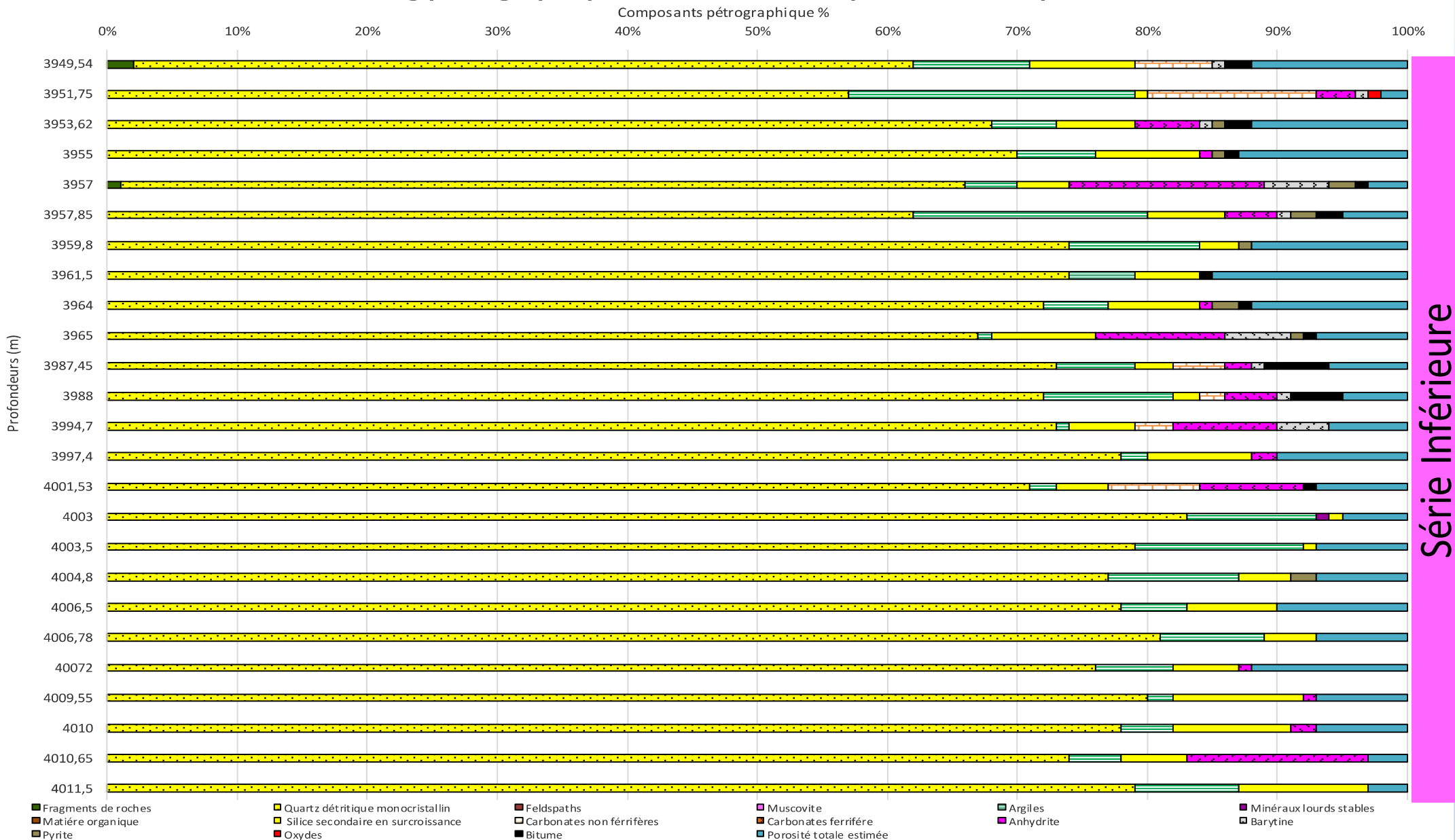


Fig 04 : Log pétrographique en fonction des profondeurs du puits RAA-5

Log pétrographique en fonction de la profondeur du puits ZMD-2

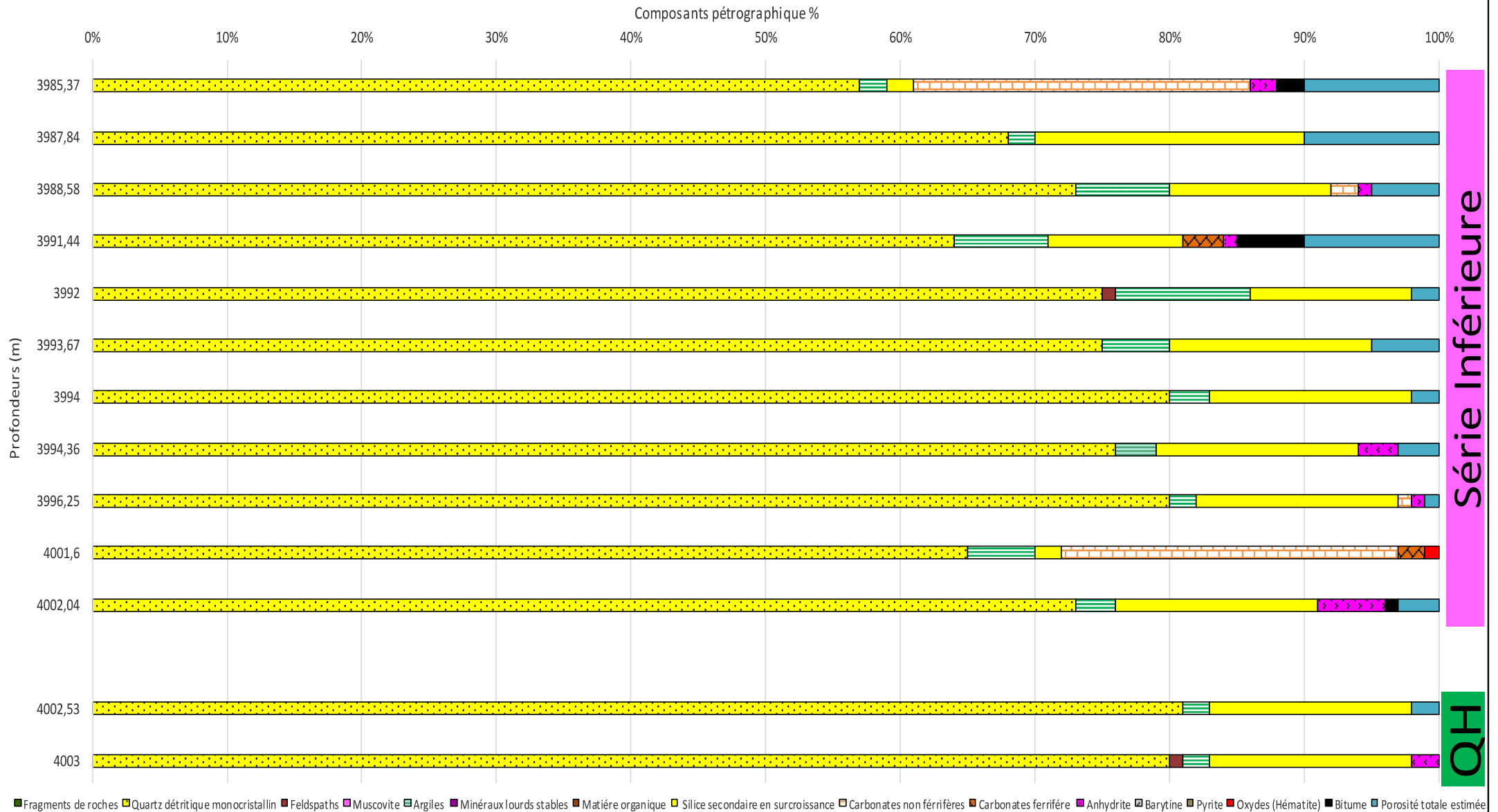


Fig 05 : Log pétrographique en fonction des profondeurs du puits ZMD-2