

Avant-propos

Dès l'Année 2007, j'ai eu, la chance d'être parmi une équipe des géologues, en tant qu'Ingénieur stagiaire, dans le domaine pétrolier avec la compagnie de service BAKER HUGHES sur des chantiers d'exploration dans la région In Salah, bassin d'Ahnet ; chantier ENF19 ; projet BP/STATOIL/SH.

Avec un background purement théorique, j'étais intrigué par l'enregistrement des taux de gaz assez importants face à des formations argileuses !? J'ai demandé des explications au superviseur-géologue, responsable du site sur ce phénomène, il a attribué cela aux poches des gaz dans les lentilles gréseuses englobées par les argiles, un autre géologue m'a expliqué autrement, ce sont probablement, des gaz de la roche mère, et que ces types de réservoirs sont déjà exploités aux États-Unis, j'ai bien aimé le sujet et à partir de là j'ai commencé à me documenter sur les gaz existant dans les argiles et l'idée de préparer une thèse dans ce sens, est née.

Deux ans plus tard, je suis revenu à l'université pour faire des études supérieures en géologie. En l'an 2012, ce projet fut présenté à mon directeur de thèse, Monsieur Hassini Messaoud , Professeur à l'université de Kasdi Merbah Ouargla, qui a accepté de diriger mes recherches reliées au gaz de schiste en qualité de directeur de thèse.

Au cours de la réalisation de ce projet, j'ai rencontré beaucoup d'obstacles, au point que j'ai pensé à un moment donné, d'y renoncer définitivement; mais l'appel du devoir au nom de mon pays, ainsi que la polémique médiatique qui a semé des idées aléatoires sur les gaz de schistes au public, m'ont poussé à m'attacher d'avantage à ce thème pour éclaircir cette question et pouvoir défendre ce nouveau projet par un travail rigoureux sur l'évaluation et la caractérisation desdites ressources.

Le sujet donc, est intitulé caractérisation et évaluation des schistes de silurien dans le bassin d'Ahnet, région In Salah. Ce thème a l'air d'être un vrai défi pour un stagiaire au début de sa carrière, mais sa persévérance et sa détermination lui ont permis de répondre à toutes les questions formulées en dépit de tous les obstacles et entraves rencontrés au long du parcours.

Remerciements

Tout d'abord, je souhaite adresser mes remerciements les plus chaleureux aux personnes qui m'ont apporté leur aide et ont contribué de près ou de loin, à l'élaboration de ce travail .

Avant toute chose, louange à Dieu le tout puissant, qui m'armé de courage, de force et de volonté pour mener ce modeste travail à terme.

Comme j'adresse mes plus sincères remerciements à mes chers parents, ainsi que ma femme qui m'ont apporté leur aide et leur soutien tout au long de la réalisation de ce travail.

Je tiens également, à remercier vivement et profondément, Monsieur le Professeur HACINI Messaoud, en sa qualité de père de la géologie à l'université d'Ouargla, pour avoir semé la confiance en moi et renforcé l'esprit de défi et d'autonomie à gérer mon projet de thèse avec quiétude. En ouutre, je lui témoigne toute ma gratitude qui traduit ce sentiment de dévouement que ressent un élève envers son Maître pour son humanisme, sa patience, son orientation et sa détermination à vouloir transmettre son savoir aux générations futures, notamment à l'Université d'Ouargla.

Egalement à Monsieur Segni Laâdjal, Professeur à l'université de Kasdi Merbah Ouargla, pour son aide précieuse en matière d'interprétation des spectres de l'infrarouge et du chromatogramme

Mes vifs remerciements à Madame Fatima Laggoune, Professeur à l'institut des sciences de la terre d'Orléans, France, et directrice de laboratoire CNRS, pour m'avoir accueilli dans son laboratoire pendant une courte durée qui m'était d'un

grand apport sur le plan scientifique. Ainsi que Monsieur IZOTO, Professeur à l'Université de Kazan, Russie, pour avoir assuré dans un premier temps, la co-direction de cette thèse.

Ce travail n'aurait pas été possible sans le soutien moral et les orientations intelligentes de Monsieur Arbi Atia, Docteur à l'Université de Kasdi Merbah Ouargla.

Je veux également, remercier Monsieur Pr Ahmed Bouterfaia, Recteur de l'université de Msila pour m'avoir aidé à accéder aux laboratoires de recherche pour les analyses de DRX, sans oublier Monsieur Mourad Korichi, Professeur et Vice recteur à l'université de Kasdi Merbah, Ouargla, qui a m'a été d'un grand appui en matière de choix bibliographie, notamment qu'il m'a toujours, ouvert ses portes pour discuter toutes les questions relatives à ce sujet.

Comme j'exprime ma reconnaissance à Monsieur Pr.Tidjani Mohamed Khames, Ex-Recteur de l'université Kasdi Merbah Ouargla.

A toutes les personnes avec lesquelles j'ai changé les idées au cours de la réalisation de cette thèse, notamment les sieurs: Melouah Walid, Rabah Kechiched, Mazzouzi Monaam, Ameer zaimeche Ouafi, Merzouk Zatout ; des enseignants chercheurs a l'université de Kasdi Merbah Ouargla

Mes vifs remerciements à Monsieur KIDARI Djamel et Salah Boufenchouch cadre supérieur à la division exploration Sonatrach, ainsi que Monsieur Hlassa younes, doctorant à l'université de Kasdi Merbah Ouargla, pour son aide en matière de documentation.

Je tiens aussi, à remercier tout le staff de l'institut de technologie, université kasdi merbah, ouargla, et les enseignants du Département des Sciences de la Terre.

J'exprime ma profond respect et ma parfaite considération aux Professeurs Mohammed DJEDDI, Mohammed Said BENZAGOUTA et Imed Eddine NEZLI qui nous ont honoré par leur adhérence aux membres de jury.

Et enfin, j'ai une pensée particulière à Monsieur Jeffrey Aldrich, vice-président de MHA Petroleum Consultant, Texas Université, pour ses orientations positives, notamment en matière d'évaluation des ressources non conventionnelles.

Dédicace

À mes chers parents qui sont la clef de tous mes succès,

Leurs prières et bénédiction sont toujours, source de force et de soutien au cours de mon parcours scientifique. les mots me font donc, défaut pour leur rendre justice vu leurs grands sacrifices depuis ma naissance à l'âge adulte.

A ma femme, cet âme généreuse qui par son sens de partage et de soutien, a su toujours me reconforter dans les moments les plus pénibles.

À mes adorables enfants: ASSIL, BADIS, SERINE.

À mes grands-parents, que Dieu leur procure santé et longue vie.

A mes beaux parents, que Dieu les protège de tout malheur

À tous mes oncles et tantes maternelles et paternelles

À toute la famille Kadri et Assami

À tous les scientifiques

À la mémoire de mon grand-père paternel et ma tante, que Dieu les accueille en son vaste paradis.

Résumé

Le développement économique à l'échelle mondiale dépend essentiellement de l'énergie ; soit fossile comme les hydrocarbures ou bien renouvelable comme ; nucléaire, éolienne, solaire), les constatations de L'évolution de la demande universelle de l'énergie, depuis le 18^{ème} siècle confirme que une nouvelle source d'énergie ne jamais remplacer une ancienne source.

à travers cette thèse on essayera de répondre à des questions précieuses liées à l'exploration des gaz de schiste de silurien :

- 1) Comment identifier les intervalles hot shale ou bien potentielles zones ?
- 2) Quelles sont les caractéristiques des schistes des potentielles zones dans le silurien ?

L'application de L'approche d'évaluation des réservoirs non conventionnelle proposée par Kadri.M.M.,Hacini.M.,(2017), sur le périmètre d'étude SHALE PLAY montre que la base de silurien c'est la zone potentielle susceptible de renfermer des gaz facilement récupérables.

Dans le but de la caractérisation et l'identification de ces zones d'intérêt économique des échantillons provenant de sondage 3 sélectionné après l'évaluation ont été étudiés par les méthodes de DRX, infrarouges, et de géochimie organique moderne avec l'interprétation des diagraphies et des gaz ratio, les principaux résultats sont :

- les schistes à gaz sont en majeure partie attribués à Illite avec une progression de cristallisation vers la base
- La matière organique est de type III, continental, d'âge Ordovicien.
- Le découpage électrostratigraphique du silurien montre la présence de deux séquences sur tous les plans
- Les zones potentielles peuvent être identifiées directement sur le log électrique du gamma spectroscopie et de résistivité avec des seuils minimaux des résistivités de l'ordre de 10ohm-m et 08 ppm pour les teneurs en uranium

Mots-Clés : Bassin d'Ahnet, schistes siluriens, Protocole d'évaluations, caractérisations, identification, Potentielles zones

Abstract

The economic development worldwide depends essentially on energy ; fossil like hydrocarbons or renewable as; Nuclear, wind, solar), the universal evolution of energy need since the 18th century confirm that a new source of energy has never replaced an old source.

Through this thesis we will try to give answer for a a precise questions related to the exploration of silurian shale gas:

1) How to identify Hot Shale spots or potential zones?

2) What are the characteristics of potential shale in the Silurian formation?

The application of the unconventional reservoir evaluation approach proposed by Kadri.MM, Hacini.M., (2017), on the study area SHALE PLAY, shows that the potential interval in the silurian formation located in the bottom, with dry gas prone easily recoverable.

In the face of the characterization and identification study of these economic interest intervals, samples from well 3 was selected Have been studied using ; DRX, infrared, and modern organic geochemistry, log analysis and Gas ratio, the main results are:

- Shales gas are mainly attributed to Illite with a progression crystallization towards the bottom
- Organic matter is type III, continental, Ordovician age.
- Electrostratigraphic division of the Silurian shows the presence of two sequences
- Potential interval can be identified directly on the electrical log with minimal set point of resistivities in order of 10ohm-m and 08 ppm for the contents of uranium

Keywords: Ahnet Basin, Silurian Shale, Protocol Assessments, Characterizations, Identification, Potential intervals

ملخص

التنمية الاقتصادية في جميع أنحاء العالم تعتمد أساسا على الطاقة أحفورية كانت مثل البترول أو متجدد مثل النووي الرياح والطاقة الشمسية) ونتائج تطور الطلب العالمي للطاقة منذ القرن 18 يؤكد أنه و لا مصدر جديد للطاقة استطاع ان يحل محل مصدر القديم.

من خلال هذه الأطروحة سنحاول الإجابة على اسئلة اساسية متعلقة بعمليات استكشاف الغاز الصخري:

كيفية التعرف على المجالات المحتمل انها تحوي الغاز الصخري ؟

ما هي خصائص المجالات المحتمل انها تحوي الغاز الصخري ؟

تطبيق منهج تقييم الخزانات الغير تقليدية المقترح من قبل قادري.م.م, حسيني.م(2017) , تبين انه قاعدة السيلورية هي المنطقة المحتمل انها تحوي الغاز الصخري القابل للاستخراج بسهولة.

من اجل معرفة الخصائص وتحديد هذه المناطق التي تعتبر ثروة اقتصادية تمت معاينة بعض عينات الطين الصخري باستخدام طرق التحاليل الكيميائية و الجيوكيميائية مع تفسير التسجيلات الكهربائية والعلاقة بين الغازات الصادرة من الصخور.

النتائج الرئيسية المحصلة عليها يمكن تلخيصها فيما يلي:

1. المجالات التي تحوي الغاز الصخري تنسب الي معدن البيت

2.المادة العضوية المضمحلة في الصخر الطيني من النوع 3 قارية ترجع للزمن الجيولوجي اوردوفيزينة

3. التقطيع الكهرو-طبيقي للمجال السيليلوري يظهر وجود سلسلتين على جميع المستويات

4. المجالات التي تحوي الغاز الصخري يمكن تحديدها مباشرة عند قراءة التسجيل الكهربائي للصخور مع عتبات الحد الأدنى للمقاومية و كمية اليورانيوم في حدود 10 أوم-م و08 جزء في المليون علي التوالي

الكلمات الرئيسية: حوض احنت, الطين السيليلوزي, منهج, تقييم الخزانات, خصائص, التعرف, المجالات الثمينة

Sommaire

	Page
Avant-propos	01
Remerciements.....	02
Dédicace.....	05
Résumé.....	06
Abstract.....	07
ملخص.....	08
Sommaire.....	09
Liste des figures.....	12
Liste des tableaux.....	16
Introduction Générale.....	17
<i>Chapitre I. Géologie Régionale et Locale</i>	<i>24-45</i>
1. La géologie régionale de la Zone d'étude	24
1.1. Situation Géographique et Géologique du Bassin de L'Ahnet	24
1.2. Paléo-Géodynamique du bassin de L'Ahnet	27
1.2.1. L'événement Pan-Africain	27
1.2.2- La distension Cambro-Ordovicien:	27
1.2.3. Glaciation Cambrienne-Ordovicien	29
1.2.4 .Le Silurien	29
1.2.5 .Le Dévonien	31
1.2.6. Le Carbonifère	31
2. la géologie locale de la Zone d'étude	33
2.1- Description lithos stratigraphiques	34
A. Paléozoïque	34
A.1.Ordovicien	34
A.2. Silurien	36
A.3. Dévonien	36
A.4.Carbonifère	39
B.Mésozoïque	39
B.1.Continental intercalaire	39

3. Interprétations des Coupes géologiques	39
4. Système pétrolier	43
<i>Chapitre II. Les Potentialités des Gaz de Schistes en Algérie</i>	46-55
1. Introduction	46
2. Classification des ressources pétrolières	47
3. L'évaluation des Potentialités gaz de schiste en Algérie	50
3.1. Les paramètres physiques	50
3.2. Propriétés des Réservoirs	50
<i>Chapitre III. Évaluations des Schistes de Silurien</i>	56-91
1. Introduction	56
2. Méthodes d'évaluation des Schistes	56
2.1. Richesse en matière organique COT	56
2.1.1. La méthode $\Delta\text{Log R}$	56
2.2. La Maturité thermique	58
2.2.1. Les Techniques des Gaz Ratio	60
3. Protocole d'évaluation des schistes	61
4. Application du protocole d'évaluations	62
5. Synthèse d'évaluation du périmètre SHALE PLAY	85
<i>Chapitre VI. Caractérisations des schistes potentiels</i>	92-130
1. Introduction	92
2. Méthodes et Moyen analytiques de la Caractérisation	96
2.1. Identification minéralogique par le Diffractomètre des rayons X	96
Principe	
2.2. Identification des fluides piégés	97
2.2.1. Spectroscopie infrarouge	97
2.2.2. Chromatographie	97
2.3. Caractérisations Géochimique	99
2.3.1. Pyrolyse ROCK-EVAL	99
3. Caractérisation qualitative des gaz piégés	101
4. L'identification Minéralogique	105
5. Caractérisation Géochimique	107
5.1. Quantité de la matière organique	107
5.2. Type d'hydrocarbures	108

5.3. Origine de la matière organique	108
5.4. Maturité thermique	109
5.5. Caractérisations de la fraction soluble	110
6. Caractérisations electrostratigraphique	114
6.1. Le découpage du silurien selon leur potentialité	114
6.2. Le découpage séquentiel du silurien	114
6.3. Le découpage lithologique	115
7. Synthèse de la caractérisation des schistes potentielle de silurien	117
7.1. L'identification électrique du potentielle zone	120
<i>Conclusion Générale et recommandations</i>	131-136
Bibliographie.....	137-142
Annexes.....	143-159
Annexe 1	143-150
Annexe 2	151-154
Annexe3	155-159

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ DE KASDI MERBAH OUARGLA



FACULTÉ DES HYDROCARBURES, DES ENERGIES
RENOUVELABLE ET DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE
L'UNIVERS



DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

THESE

PRÉSENTE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE DOCTORAT EN SCIENCES

Présenté par :

Mr : KADRI Mohamed Mehdi.

THÈME

***EVALUATIONS ET CARACTERISATIONS
DES SCHISTES DU SILURIEN
DANS LE BASSIN D'AHNET***

Soutenu publiquement le : 07/10/2017.

Devant le jury d'examen :

HACINI Messaoud

Pr. Univ. KASDI MERBAH OUARGLA

Encadreur

NEZLI Imed Eddine

Pr. Univ. KASDI MERBAH OUARGLA

Président

DJEDDI Mohammed

Pr. Univ. HOUARI- BOUMEDIENE ALGER

Examineur

BENZAGOUTA M^{ed} Said

Pr. Univ. L'ARBI BEN M'HIDIOUM EI BOUAGHI

Examineur

Année Universitaire : 2016/2017

Liste des Figures

Numéro de la figure	Titre	Page
Figure 01	Schéma Explicative de la différence entre un Réservoir Conventionnels et non conventionnel	19
Figure 02	Résumé de l'exploitation des gaz de schistes	19
Figure 03	Evaluations des Ressource Gaz et huile de schiste dans le monde	21
Figure 04	Méthodologie adoptée dans la thèse	23
Figure 05	Photo du Déserte de L'Ahnet	24
Figure 06	Les Grandes Ensembles Géologique du Sahara Centrale et Occidentale	25
Figure 07	Carte des Bassin Sédimentaire du Sahara Algérienne	26
Figure 08	Coupe Schématique de la surface Infratassilienne	28
Figure 09	Paléogéographie du monde au début du Cambrien	28
Figure 10	Schéma illustre la formation de la chaine Taconienne	29
Figure 11	Paléogéographie du monde au début du Silurien	30
Figure 12	Paléogéographie du monde a la fin du Silurien	30
Figure 13	Paléogéographie du monde a la fin du Dévonien	32
Figure 14	Paléogéographie du monde a la fin du Carbonifère	32
Figure 15	Carte de Positionnement des Puits d'étude Dans le périmètre SHALE PLAY	33
Figure 16	Carte en Isobathe au toit de l'ordovicien	35
Figure 17	Carte en Isopach du Silurien	37
Figure 18	Carte en Isobathe au toit de Silurien	37
Figure 19	Carte en Isopach du Dévonien	38
Figure 20	Carte en Isobathe au toit de Dévonien	38
Figure 21	Carte en Isopach du Carbonifère	40
Figure 22	Carte en Isopach du Continentale Intercalaire	40
Figure 23	Les axes des coupes Géologique	41
Figure 24	Coupe géologique schématique NW-SE du périmètre d'étude	42
Figure 25	Coupe géologique schématique NE-SW du périmètre d'étude	42
Figure 26	Log Stratigraphique synthétique du périmètre d'étude	45
Figure 27	Schéma de classification des ressources pétrolière	48
Figure 28	Les Potentialités mondiale en gaz de schistes	49
Figure 29	Histogramme de Variation des épaisseurs Riche en Matière organique	51

Figure 30	Histogramme Des Profondeurs de Silurien À travers les Bassins Algérien	51
Figure 31	Histogramme De variation des TOC À travers les Bassins Algérien	52
Figure 32	Histogramme De variation des Ro a travers les Bassins Algérien	52
Figure 33	L'adsorption Isothermes de méthane et de dioxyde de carbone	54
Figure 34	Les Potentialités locale en gaz de schistes Total en place	55
Figure 35	Les Potentialités locale en gaz de schistes Récupérables	55
Figure 36	Chaine d'acquisition des donné de gaz	59
Figure 37	La Genèse des Hydrocarbures	59
Figure 38	Charte d'interprétations des Gaz Ratio	61
Figure 39	Log d'évaluation Du Puits 1(a)	64
Figure 40	Log d'évaluation Du Puits 1(b)	65
Figure 41	Caractérisations des fluides de réservoir (Puits1)	66
Figure 42	la Variation des Taux de Gaz en fonction De la profondeur dans le Puits1	66
Figure 43	Log d'évaluation du Puits 2	68
Figure 44	Caractérisations des fluides de réservoir (Puits2)	69
Figure 45	la Variation des Taux de Gaz en fonction De la profondeur dans le Puits 2	69
Figure 46	Log d'évaluation du Puits 3(a)	71
Figure 47	Log d'évaluation du Puits 3(b)	72
Figure 48	Caractérisations des fluides de réservoir (Puits3)	73
Figure 49	la Variation des Taux de Gaz en fonction De la profondeur dans le Puits 3	73
Figure 50	Log d'évaluation du Puits 4(a)	75
Figure 51	Log d'évaluation du Puits 4(b)	76
Figure 52	Caractérisations des fluides de réservoir (Puits4)	77
Figure 53	la Variation des Taux de Gaz en fonction De la profondeur dans le Puits 4	77

Figure 54	Log d'évaluation du Puits 5	79
Figure 55	Caractérisations des fluides de réservoir (Puits5)	80
Figure 56	la Variation des Taux de Gaz en fonction De la profondeur dans le Puits 5	80
Figure 57	Log d'évaluation du Puits 6 (a)	82
Figure 58	Log d'évaluation du Puits 6 (b)	83
Figure 59	Caractérisations des fluides de réservoir (Puits6)	84
Figure 60	la Variation des Taux de Gaz en fonction De la profondeur dans le Puits 6	84
Figure 61	carte en Isopach des Intervalles Radioactive Dans le Périmètre SHALE PLAY	87
Figure 62	carte en Isopach des Intervalles Riche en Matière Organique Dans le Périmètre SHALE PLAY	88
Figure 63	Variation de TOC en fonction Gamma Ray(P1.P3.P4.P6)	89
Figure 64	carte en Isopach des Intervalles a Gaz Sec dans Le Périmètre SHALE PLAY	91
Figure 65	Structure des minéraux Argileux	93
Figure 66	Principe de L'ionisation	98
Figure 67	Résultats d'Analyse Chromatographique du Puits 1	101
Figure 68	Résultats d'Analyse Chromatographique du Puits 2	102
Figure 69	Résultats d'Analyse Chromatographique du Puits 6	102
Figure 70	Résultats d'Analyse Chromatographique du Puits 4	103
Figure 71	Résultats d'Analyse Chromatographique du Puits 5	103
Figure 72	Résultats d'Analyse Chromatographique du Puits 3	104
Figure 73	Variation des Taux de Methane a travers Les puits du périmètre SHALE PLAY	104
Figure 74	Les assemblages minéralogiques Des schistes de silurien (Puits3)	105
Figure 75	Corrélations entre TOC calculées et TOC mesurées Des schistes de silurien (Puits3)	107
Figure 76	Diagramme IH-OH des échantillons de la zone potentielle	108
Figure 77	Les indication de La Maturité Thermique en fonction du l'indice de production	109
Figure 78	composition de la matière organique	110

Figure 79	Spectre Infrarouge de l'échantillon 1	112
Figure 80	Spectre Infrarouge de l'échantillon 2	112
Figure 81	Chromatogramme de l'échantillon 1	113
Figure 82	Les Séquences (a)transgressives et (b) régressive	115
Figure 83	découpage électro-stratigraphique	116
Figure 84	Corrélation de la variation du rapport TH/K en fonction du rapport Kaolinite/illite	118
Figure 85	Corrélation de la variation du rapport TH/U en fonction du rapport Kaolinite/illite	118
Figure 86	Log de spectroscopie Gamma	119
Figure 87	Corrélation de la variation du rapport K/U en fonction du rapport Kaolinite/illite	121
Figure 88	Corrélation de la variation de l'Uranium en fonction de l'illite	121
Figure 89	Corrélation de la variation de TOC en fonction de La resistivité(Puits1)	122
Figure 90	Corrélation de la variation de TOC en fonction de l'Uranium (Puits1)	122
Figure 91	Corrélation de la variation de TOC en fonction de La resistivité(Puits3)	123
Figure 92	Corrélation de la variation de TOC en fonction de l'Uranium (Puits3)	123
Figure 93	Corrélation de la variation de TOC en fonction de La resistivité(Puits4)	124
Figure 94	Corrélation de la variation de TOC en fonction de l'Uranium (Puits4)	124
Figure 95	Corrélation de la variation de TOC en fonction de Les résistivités (Puits5)	125
Figure 96	Corrélation de la variation de TOC en fonction de l'Uranium (Puits5)	125
Figure 97	Corrélation de la variation de TOC en fonction de Les résistivités (Puits6)	126
Figure 98	Corrélation de la variation de TOC en fonction de l'Uranium (Puits6)	126
Figure 99	Carte de distrubition des valeurs de resistivité dans le périmètre d'étude	129
Figure 100	Carte de distrubition des Teneurs en Uranium dans le périmètre d'étude	130

Liste des Tableaux

Numéro du Tableaux	Titre	Page
Tableau 01	les épaisseurs de silurien	85
Tableau 02	les épaisseurs des zones Radioactives de silurien	86
Tableau 03	les épaisseurs des zones Riche en matière Organique de silurien	86
Tableau 04	les épaisseurs des zonesA gaz sec dans le silurien	91
Tableau 05	les Paramètre calculés de Rock eval	100
Tableau 06	les Résultats d'analyse minéralogiques	106
Tableau 07	les Paramètre d'identification électriques	127
Tableau 08	les Valeurs régionale de Résistivités	128
Tableau 09	les Teneurs régionale en Uranium	128

1. Introduction

L'immense développement de la société en énergie à travers le monde n'a pu se produire que grâce à l'utilisation massive des ressources non renouvelables telle que le charbon et le pétrole, sans aucun doute les hydrocarbures sont notre source de vie et avec la consommation progressive les gens commencent à s'inquiéter sur l'avenir si un jour ces réservoirs conventionnels qui renferment ces ressources échappons leur dernier goûté, en parallèle des progrès significatifs marqués au début des années 2000 qui ont permis l'augmentation du taux naturel de la production qui est à l'origine de l'exploitation du Gaz de schiste (shale gaz) et le perfectionnement des techniques opérationnelles se poursuivent toujours.

L'exploration et l'exploitation de ces ressources non conventionnelles ont connu une révolution dans l'industrie pétrolière à l'échelle universelle avec le lancement d'énorme projet gaz de schiste dans les quatre coins du monde ou l'Algérie fait partie.

Le bassin de l'Ahnet situé dans la région sud- Ouest de la plateforme saharienne algérienne, il est relativement bien connu par les travaux d'exploration qui y ont été consentis, les nombreuses études géochimiques réalisées sur ce bassin ont démontré que les argiles radioactives " Hot Shales " du silurien et du dévonien supérieur, notamment le frasien, constituent les principales roches-mères qui alimentent les réservoirs conventionnels en matière hydrocarbure connus à travers la plateforme saharienne

qu'entend-on par réservoirs conventionnels et non conventionnels ?

Sur le plan système pétrolier on peut facilement comprendre la différence entre ces deux termes, sachant qu'un système pétrolier d'une région quelconque est composé de trois (03) principaux compartiments (Fig.1) :

- **Roche mère** : c'est elle qui génère les hydrocarbures
- **Roche Réservoir** : le lieu d'accumulation des hydrocarbures après la migration primaire.
- **Roche couverture** : c'est la roche qui assure l'étanchéité et empêche la dis – migration.

Introduction Générale

Le système pétrolier d'un réservoir conventionnel est identifié par ces trois compartiments (Roche mère, Réservoir et Couverture) par contre un réservoir non conventionnel reconnu par le double rôle au moins d'un seul compartiment (Eg. Roche mère c'est elle la roche réservoir et couverture en même temps, pas de migration).

L'industrie pétrolière nomme conventionnelles les gisements de gaz contenus dans des roches perméables ; leur exploitation se faisant assez facilement. Elle nomme non conventionnels tous les autres et la limite entre les deux notions évolue au cours du temps avec les progrès de la technologie.

On distingue ainsi quatre grands types de Réservoirs non conventionnels (Kalaydjian.F., Goffé.B., 2012) :

- **les gaz de schistes (Shale Gas)** qui sont des gaz restés dans la roche mère et qui n'ont pas été expulsés. En effet, les roches mères argileuses étant peu perméables, une partie du gaz généré ne parvient jamais à sortir de la roche ; c'est cette fraction qui est recherchée ;
- **Le gaz de houille (Coalbed Methane ou Coal Seam Gas)** aussi connu sous le nom de grisou ; il s'agit là encore de méthane resté piégé dans sa roche mère, mais celle-ci est de type charbonneux ;
- **Les gaz de réservoirs compacts (Tight Gas)** qui, échappés de la roche mère, se sont accumulés dans des réservoirs extrêmement peu perméables ;
- **Les hydrates de gaz**, qui sont une association cristallisée d'eau et de méthane. Ils se forment hors des systèmes pétroliers, dans certaines conditions de température et de pression, sous le fond des océans et dans les régions polaires ; leur instabilité est le principal frein à leur exploitation.

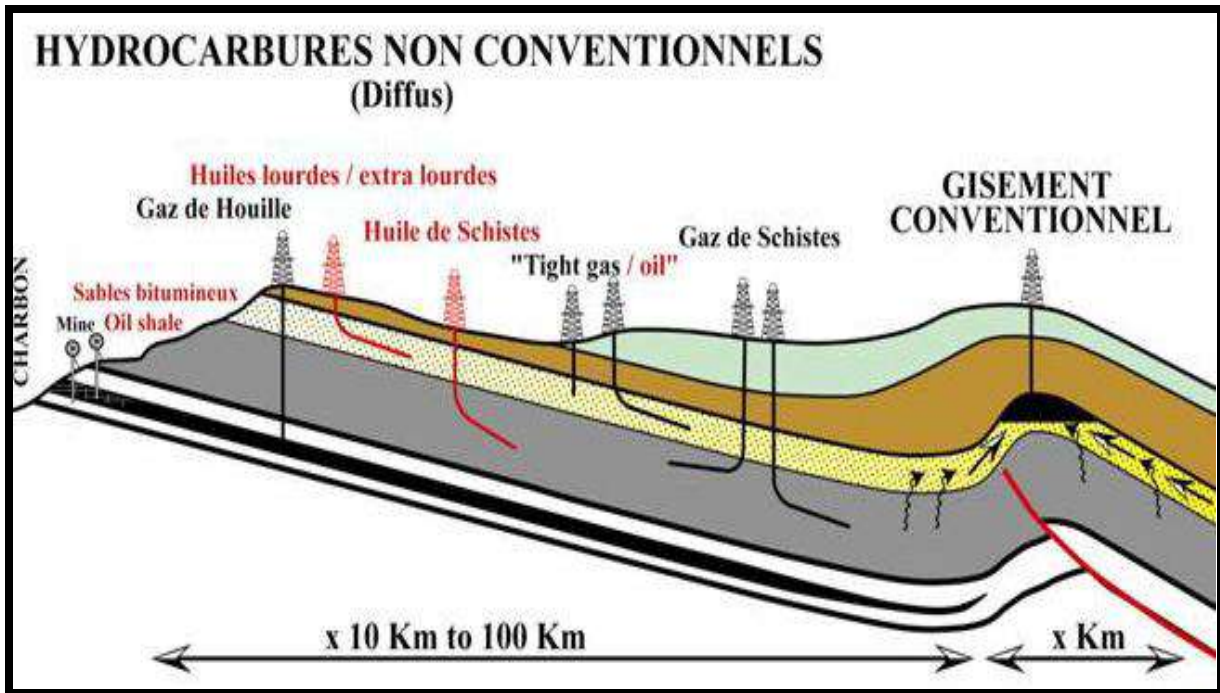


Figure.1- Schéma Explicative de la différence entre un Réservoir Conventionnels et non conventionnel (Kaced. M.,2013)

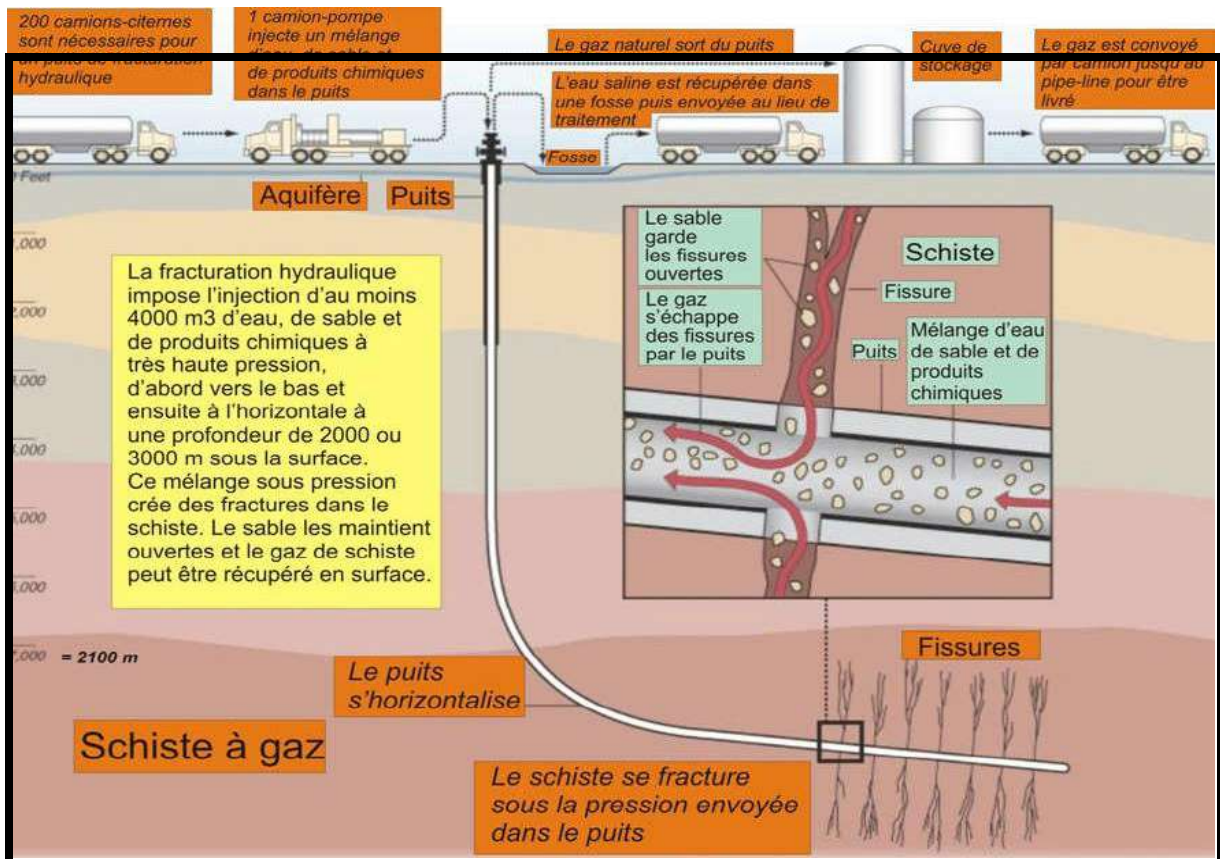


Figure.2- Résumé de l'exploitation des gaz de schistes (Kalaydjian.F.,Goffé.B.,2012)

2. Thématique scientifique développée

L'évaluation des réserves dans les réservoirs schisteux (shale Réservoir) par différentes compagnies et organismes internationaux parait très encourageant :

- L'organisme (**International Ressources avancé- ARI**) dans son dernier rapport en 2013 pour le ministère de l'Énergie, l'information et l'administration (EIA) des États-Unis à placer l'Algérie en quatrième position en terme de Ressources techniquement récupérées (tab.1).
- Wood McKenzie, en septembre (2009) a déclaré qu'en Algérie le silurien (Hot shale) renferme 500Tcf de gaz en place.
- DeGolyer & MacNaughton, (2010) 3409 Tcf de gaz en place dans les Hot shale du Silurien à travers la plate-forme saharienne entière à partir de laquelle plus de 644 Tcf serait techniquement récupérables.
- en avril 2010 PETRENEL annonce que les réserves prouvées en gaz de schistes en l'Algérie sont de l'ordre de 4000Tcf dans le silurien et le frasnien.

Mais il faut prendre en considération les dépenses à fournir pour la réalisation des forages gaz de schiste et leur exploitation, Notons que des techniques avancées en forage comme le forage horizontal sont indispensables pour balayer toute l'extension latérale des potentielles zones et les techniques de fracturation pour la récupération des hydrocarbures piégés (fig.3)

Ce sujet de thèse se rattache à la thématique scientifique Caractérisations et évaluations des Schistes de silurien dans le bassin de l'Ahnet, Algérie.

À travers cette thèse on essayerons de répondre à des questions précieuses liées à l'exploration des gaz de schiste :

- **Comment identifier les intervalles hots Shale ou bien potentielles zones ?**
- **Quelles sont les caractéristiques des schistes des potentielles zones dans le silurien ?**

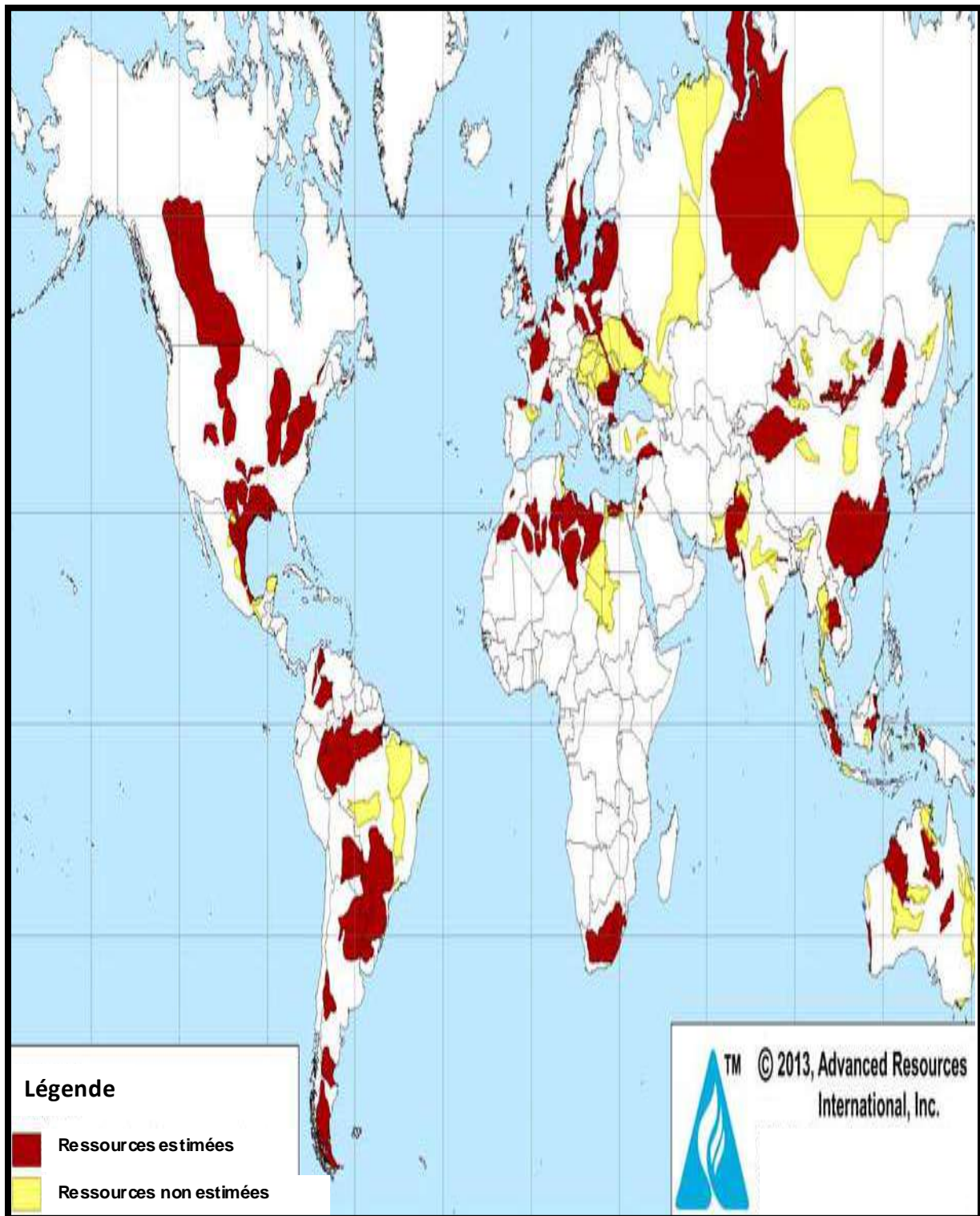


Figure.3- Evaluations des Ressource Gaz et huile de schiste dans le monde

(Advanced Resources International.,2013)

Cette thèse est structurée en quatre principaux chapitres articulés comme suite :

Chapitre 1 : Aperçus sur la Géologie régionale et locale

Dans la partie géologie régionale ; on essaye de cadrer les différents événements paléo géodynamiques affectant la plate forme saharienne qui ont donné naissance aux différentes structures géologiques et bassins tel que le bassin de l'ahnet.

Dans la partie géologie locale ; basons sur les données lithostratigraphique de 14 puits forés dans le bassin qui vont nous délimiter un périmètre qu'on va le nommer périmètre SHALE PLAY ;

L'interprétation des cartes en isopach et isobathe nous a permis de projeter les différents événements géodynamiques affectant le bassin de l'ahnet sur notre périmètre d'étude.

Chapitre 2 : Les Potentialités des Ressources non conventionnelles en Algérie

À travers ce chapitre on essaye de donner une idée générale sur les critères de classement des ressources pétrolières en générale selon l'Association américaine des géologues pétroliers (**AAPG**), **SPE** et **WPC** et une évaluation des potentialités en gaz de schiste à travers les bassins Algérie en utilisant les données publiées dans le rapport de la société (Advanced Resources International).

Chapitre 3 : Évaluations des Schistes de Silurien

Dans ce chapitre on va suivre un protocole proposé par Kadri.M.M., et Hacini.M pour l'évaluation de ce genre de réservoir avec l'intégration des données de gaz et de diagraphie pour la détermination des zones potentielles dans une section verticale.

Pour l'évaluation 6 puits ont été sélectionnés de telle façon de couvrir les quatre régions du périmètre d'étude.

Chapitre 4 : Caractérisations des Schistes potentiels de silurien

Après l'évaluation et la localisation des intervalles potentiels, des échantillons ont été prélevés dans ces zones pour procéder aux analyses au laboratoire pour ;

- L'identification minéralogique des schistes potentiels
- L'identification chimique des fluides piégés dans les schistes
- Type de la matière organique
- Le découpage électrostratigraphique
- L'identification électrique des schistes potentiels

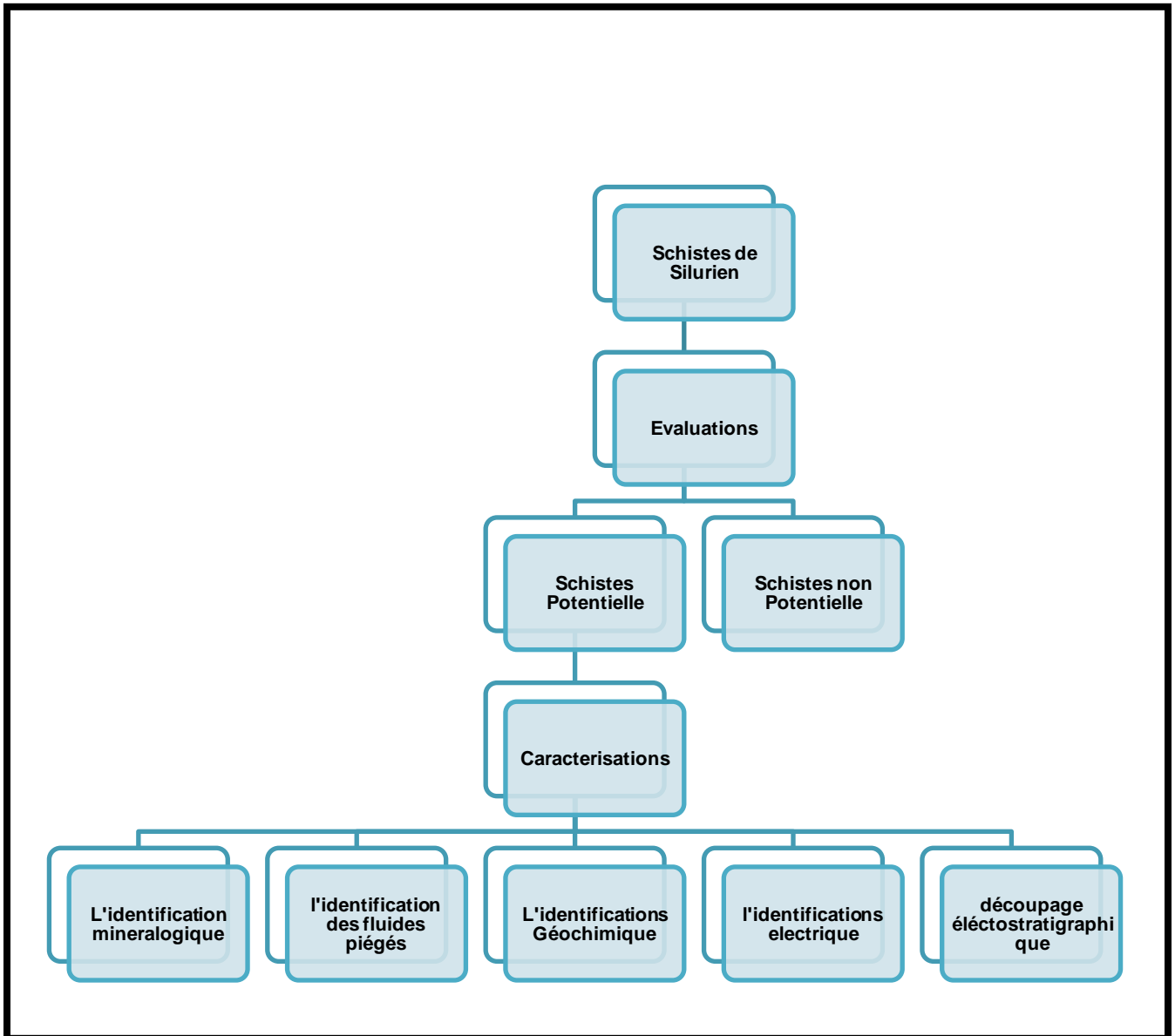


Figure.4- Méthodologie adoptée dans la thèse

1. La géologie régionale de la Zone d'étude

1.1. Situation Géographique et Géologique du Bassin de L'Ahnet

sur la carte des grands ensembles géologiques du Sahara occidental et central (fig.6), il est clairement visible que la structuration du bassin de l'Ahnet elle a été affectée par l'événement Pan africain, et les sédiments qui le rempliraient sont de l'origine du socle cristallophyllienne qui affleurant en bouclier targui ou Hoggar qui est en majeure partie algérien.

Elle s'étend sur une superficie de 75.000Km², limité géographiquement par les coordonnées suivantes:

1° 0' -1" -1" – 3° 0' -1" -1" de longitude Est

24° 0' -1" -1" – 27° 0' -1" -1" de latitude- Nord.

De point de vue géologique le bassin de l'Ahnet est limité par

- Au Nord par **le plateau du Tidikelt**, qui le sépare du **bassin de Timimoun**,
- A l'Est par **l'axe Idjerane-Arak** qui le sépare du **bassin de Mouydir**.
- Vers l'ouest par **l'axe Bled El Mass-Azzel-Matti**, qui l'individualise du **bassin de Reggane**
- Au sud le grand **Hoggar**

il est considéré comme une des provinces gazières les plus prolifiques du Sahara algérien, caractérisé structurellement par des failles de directions ; N-S à NNW-SSE et NE-SW, ces failles sont particulièrement développées dans les zones bordières du bassin (*Kracha.N., 2011*).



Figure.5- Photo du Désert de L'Ahnet

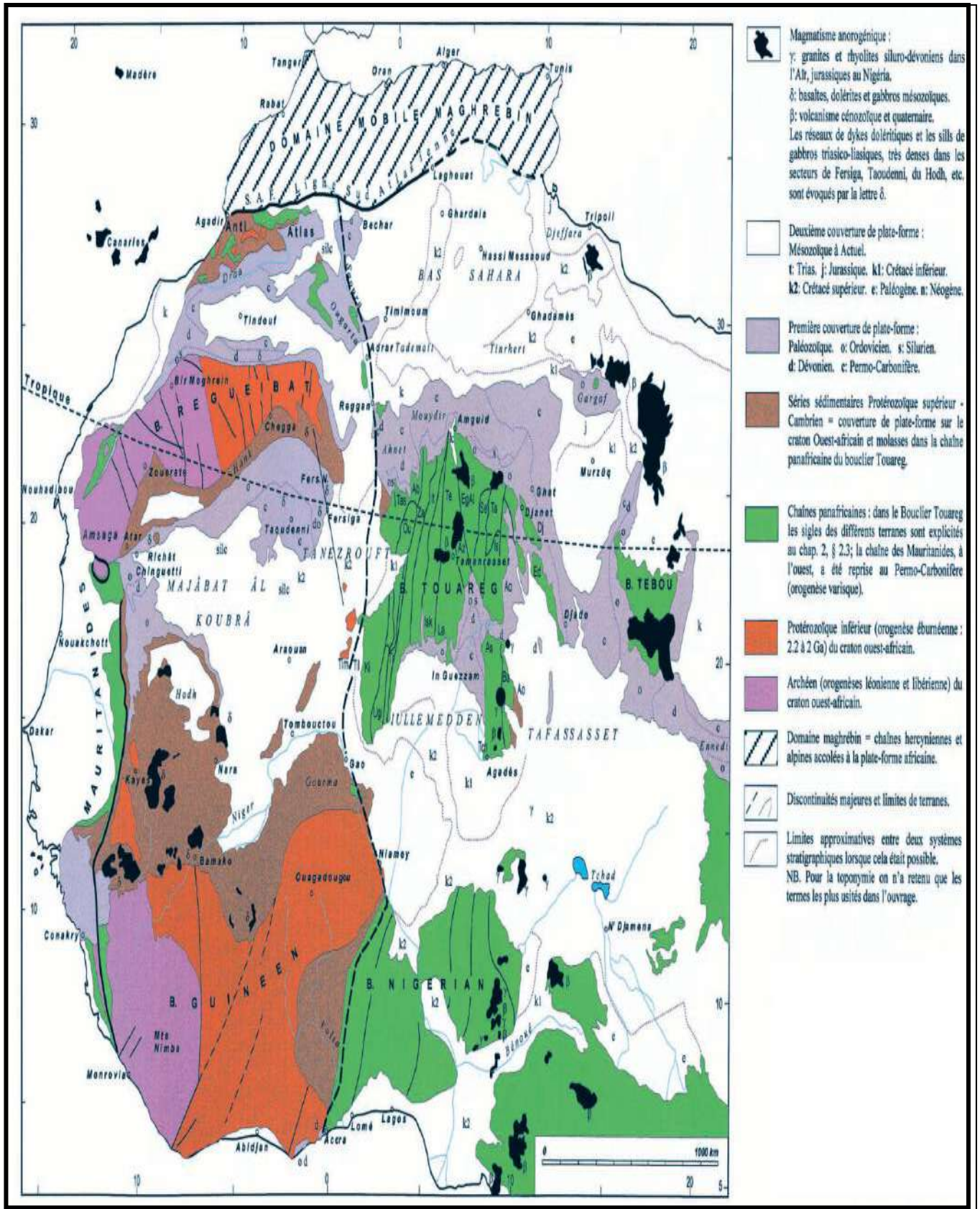


Fig.6- Les Grandes Ensembles Géologique du Sahara Centrale et Occidentale

(Jean Fabre.2005)

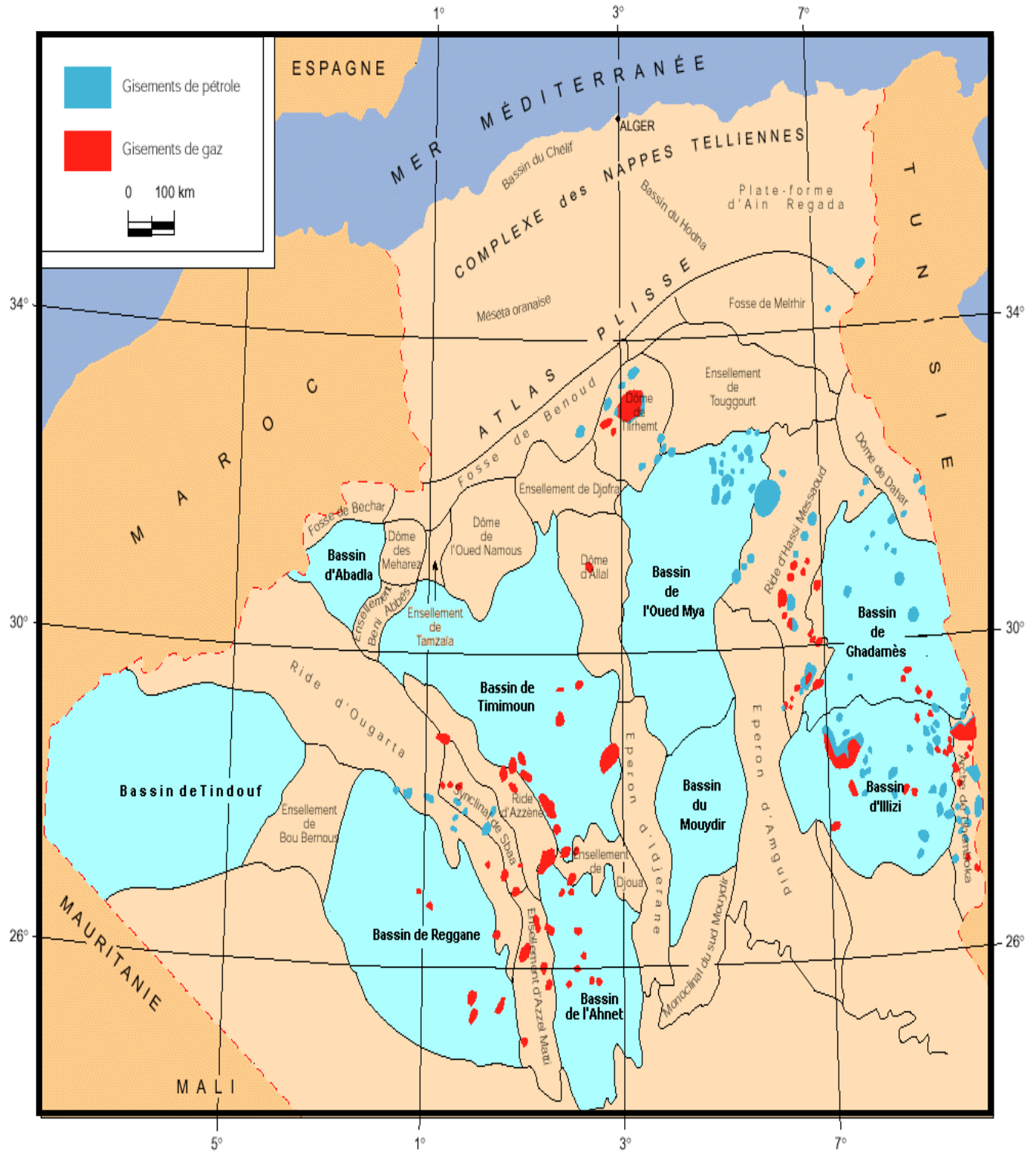


Figure.7- Carte des Bassin Sédimentaire du Sahara Algérienne (Wec.2007)

1.2. Paléo-Géodynamique du bassin de L'Ahnet

1.2.1. L'événement Pan-Africain

Le cycle orogénique panafricain manifesté par une collision continentale entre le craton ouest-africain et l'Hoggar de l'Est, au Sud par le bouclier du Benin-Nigeria Se qui a donné naissance à des grandes structures montagneuses, comme la chaîne de l'Ougarta à l'ouest qui ont été exposées aux agents d'érosion, les produits de dislocation sont l'origine des séries pourprées de l'Ahnet d'âge cambrien.

L'histoire panafricaine du bouclier targui se termine au Cambrien par une longue période de pénéplanation (fig.8) qui façonne une immense surface très plane, inclinée au Nord : c'est la surface infratassilienne (*Houria Mezlah.2007*).

1.2.2- La distension Cambro-Ordovicien:

A la fin du précambrien et au début du cambrien à l'échelle de Rodina des continents commencent à se détacher (LAURENTIA, SIBERIA, BALTICA), c'est le phénomène de divergence qui est le moteur de ce mouvement, la masse continentale qui reste appelée GONDWANA qui englobe le précambrien de l'Afrique.

Le prolongement de la divergence mène à la création d'un océan appelé IAPETUS qui sépare le GONDWANA de LAURENTIA (fig.9), vers la fin du Cambrien la marge sud du LAURENTIA se convertit d'une marge passive calme vers une marge active créant des arcs insulaires, l'émission volcanique couvre la marge passive du Gondwana qui englobe l'Afrique bien mise en évidence dans de nombreuses régions sahariennes comme dans les bassins de Berkine et d'Ilizi et la région de Hassi Messaoud (*Kracha.N., 2011*).

C'est le début de la fermeture d'Iapetus. Au sud, des petites masses continentales disloquées du Gondwana amorçaient sa migration vers le nord, Cette convergence demeure jusqu'à la fin de l'ordovicien, L'arc volcanique insulaire qui se trouvait au large de Laurentia rentre en collision avec la marge continentale de Laurentia (fig.10) : une chaîne de montagnes taconnienne s'est formée (Scotese, 2001). Il s'agit d'une collision de type lithosphère océanique contre lithosphère continentale pour former une chaîne de montagnes immature.

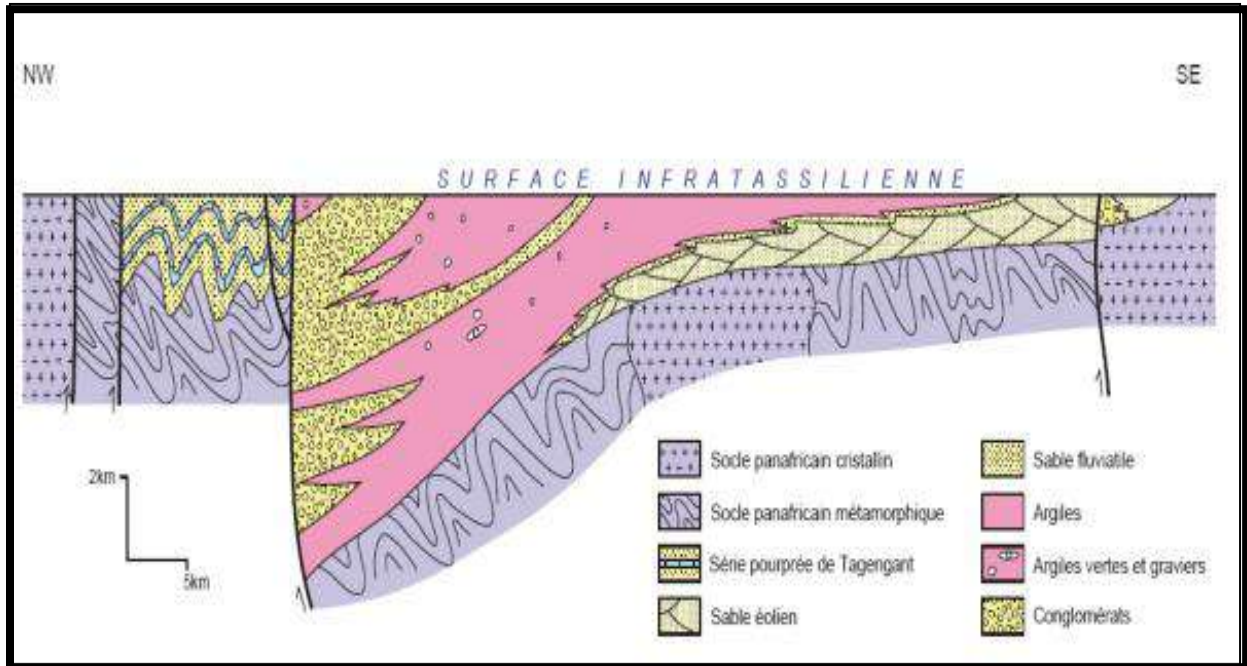


Figure.8- Coupe Schématique de la surface Infratassilienne

(Kracha.N., 2011)..

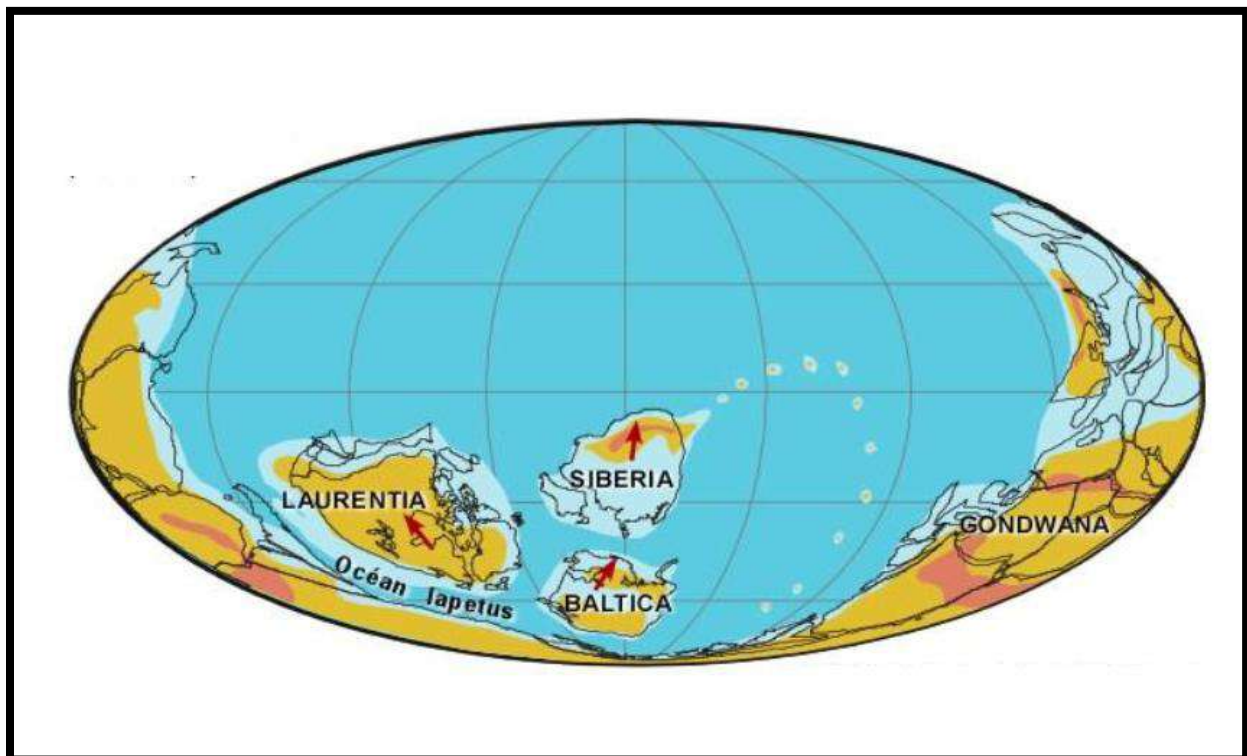


Figure.9-Paléogéographie du monde au début du Cambrien d'après

(R.Scotese.,2001)

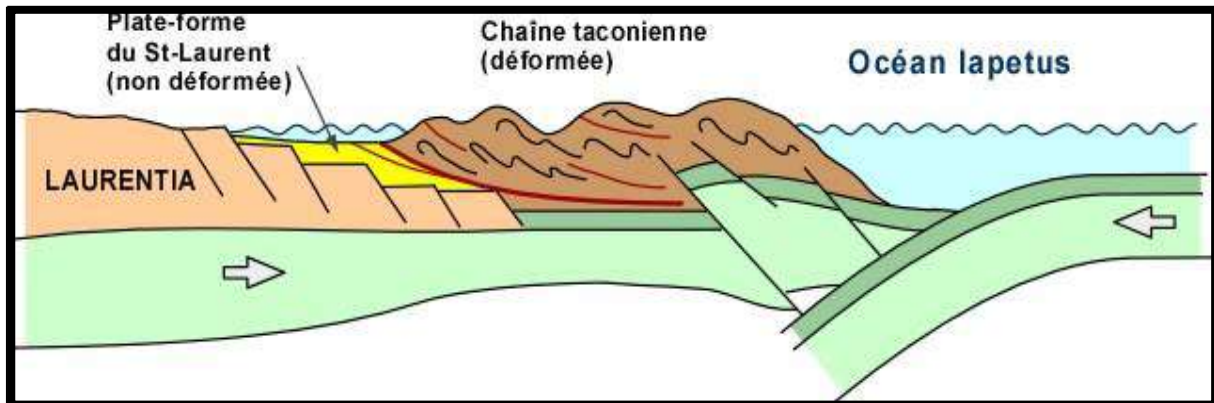


Figure.10-Schéma illustre la formation de la chaîne Taconienne
(R.Scotese.,2001)

1.2.3. Glaciation Cambrienne-Ordovicien

La plate forme saharienne regroupée dans le méga continent Gondwana a connus des glaciations qui se sont manifestées au cours de l'infraCambrien jusqu'au Cambrien supérieur, les traces de tillite et les moraines rencontrées dans les molasses de la marge septentrionale de l'Afrique sont témoins .

Vers la fin de l'ordovicien un changement climatique brusque s'est manifesté en allant d'un climat chaud vers un climat froid et sec, la cause la plus probable ce sont des cendres volcaniques émis dans l'atmosphère par les volcans actifs dans cette époque réduisant le rayonnement solaire, une bonne partie des calottes glaciaires recouvrant le sahara actuelle (Fabre, 2005)

1.2.4 .Le Silurien

Le début du silurien est marqué par une transgression marine résultant de fonte de L'inlandsis trace de la glaciation ordovicienne entraînant la sédimentation des argiles noires charbonneuses riches en matière organique a Graptolite (Boudjema, 1987) en parallèle l'océan IAPETUS poursuit ça fermeture, le continent BALTICA avec le chaînon AVALONIA amorçant vers le continent LAURENTIA, l'espace océanique entre le continent BALTICA et le GONDWANA a été nommé Océan RHEIQUE(fig.11)

Mise a part les phases de transgression marine tardive aucun événement ne peut être marqué durant le silurien au continent GONDWANA (Afrique), L'équilibre a été bouleversé a la fin de silurien. BALTICA et LAURENTIA rentrent en collision est

s'amorçait au sud, GONDWANA migrait vers le nord ce charriage conduit a la fermeture de l'océan IAPETUS (WEC 2007) (fig.12).

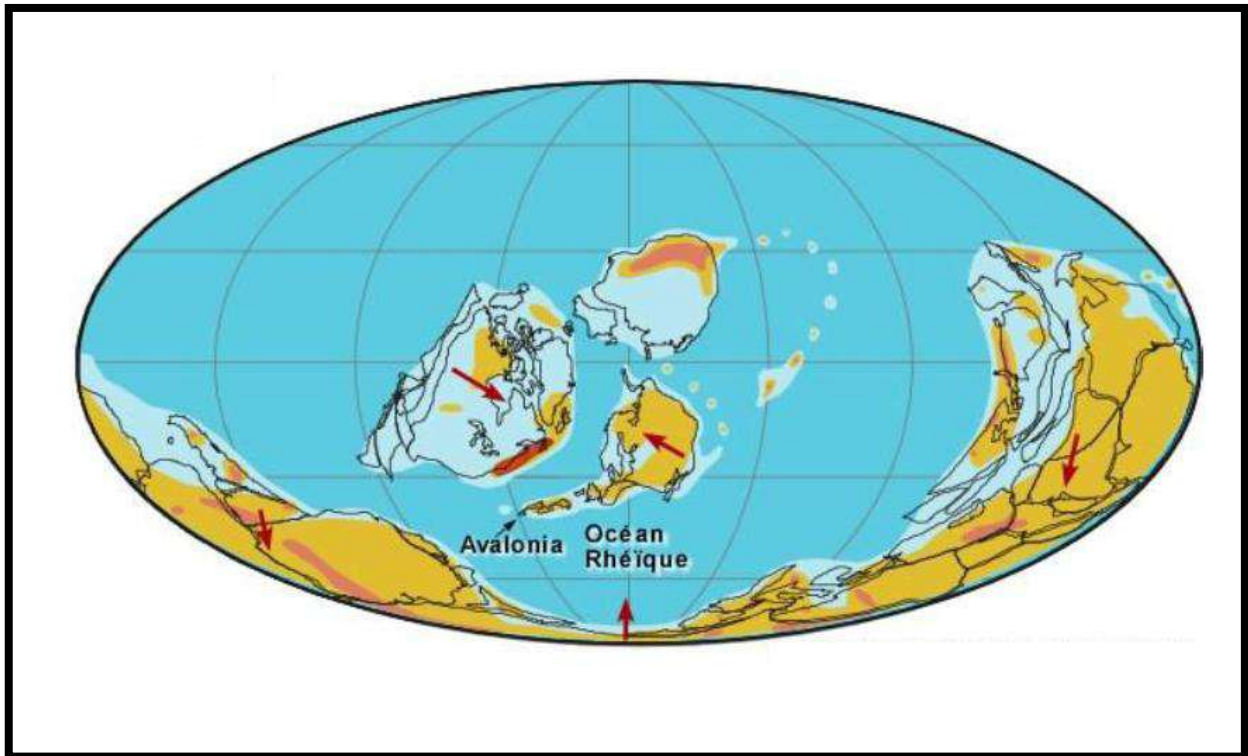


Figure.11-Paléogéographie du monde au début du Silurien
(R.Scotese.,2001)

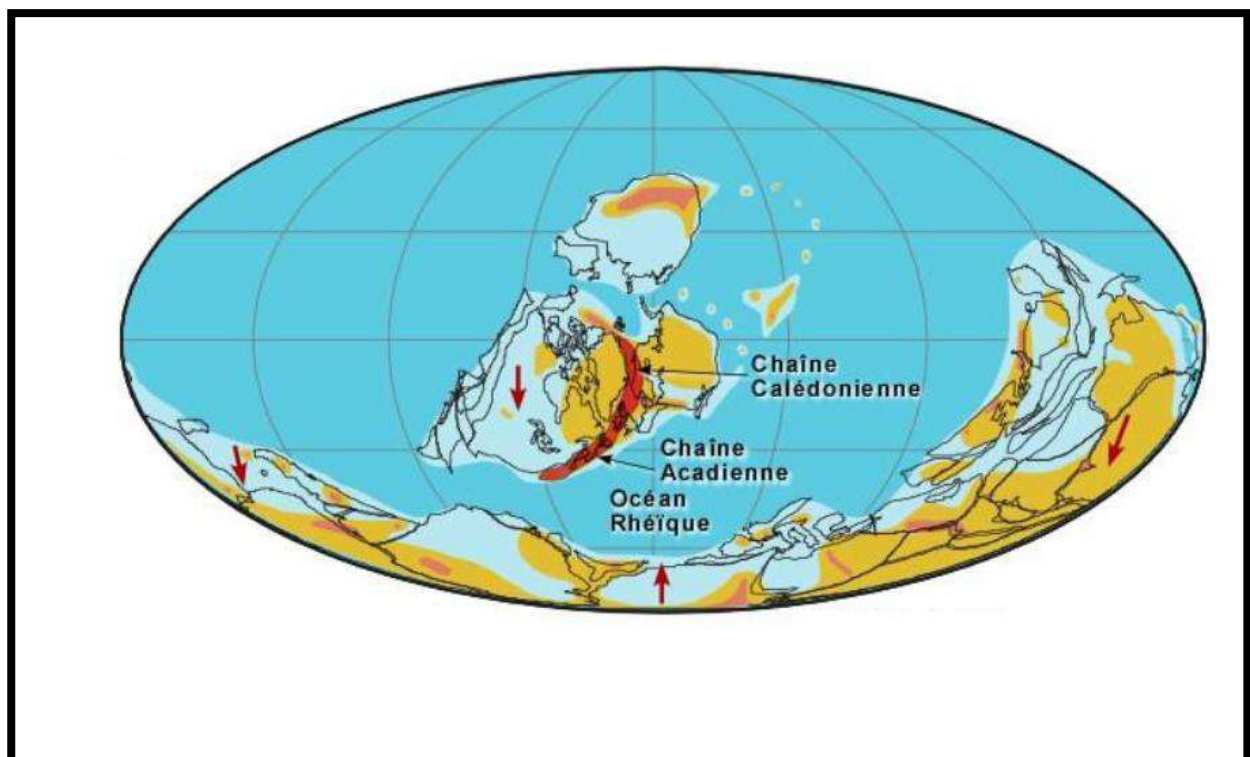


Figure.12-Paléogéographie du monde à la fin du Silurien
(R.Scotese.,2001)

1.2.5 .Le Dévonien

Le regroupement des continents et la fermeture de l'océan IAPETUS vers la fin du silurien se poursuit au début de Dévonien, cette suture a donné naissance aux chaînes calédoniennes au nord et Aacadienne au sud entre le Groenland et la Scandinavie. Au sud, l'océan Rhéïque se refermait progressivement entre GONDWANA et le nouveau continent LAURENTIA-BALTICA (R.Scotese.,2001) .

L'empreinte de la phase Calédonienne sur le continent GONDWANA marqué par les mouvements épirogéniques de soulèvement par conséquent le passage d'un milieu marin peu profond du silurien vers un milieu continental au dévonien inférieur suivi par une phase érosives qui a aplani toutes les structures et les reliefs avec des ampleurs qui peuvent attendre même le socle (Boudjema, 1987)

Au milieu de Dévonien et jusqu'au dévonien supérieur tous les masses continentales rejoignent , l'océan Rhéïque presque fermé, la collision entre ces blocs est l'origine de l'orogénèse calédonienne est Hercynienne (Mauritanide) et des Appalaches(Fig.13).

1.2.6. Le Carbonifère

C'est au coure du carbonifère que la suture entre les continents a été bien déterminée avec la formation du mega-continent la Pangée (fig.14) a cause de l'immense régression marine, les reliefs hercyniens sont face aux agents d'érosion qui ont contribué à la configuration actuelle des bassins algériens.

Dans le bassin de l'Ahnet, la majorité du Carbonifère a été affecté par la phase érosive Hercynienne

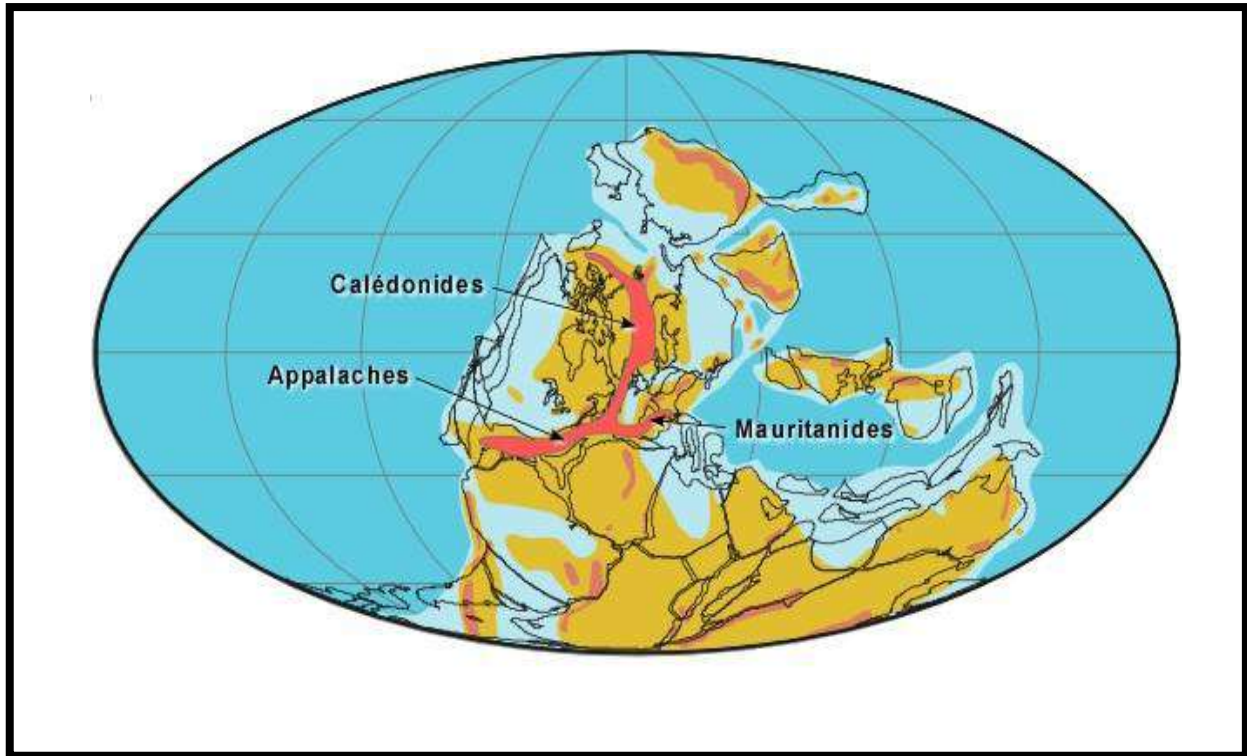


Figure.13-Paléogéographie du monde a la fin du Dévonien
(*R.Scotese.,2001*)

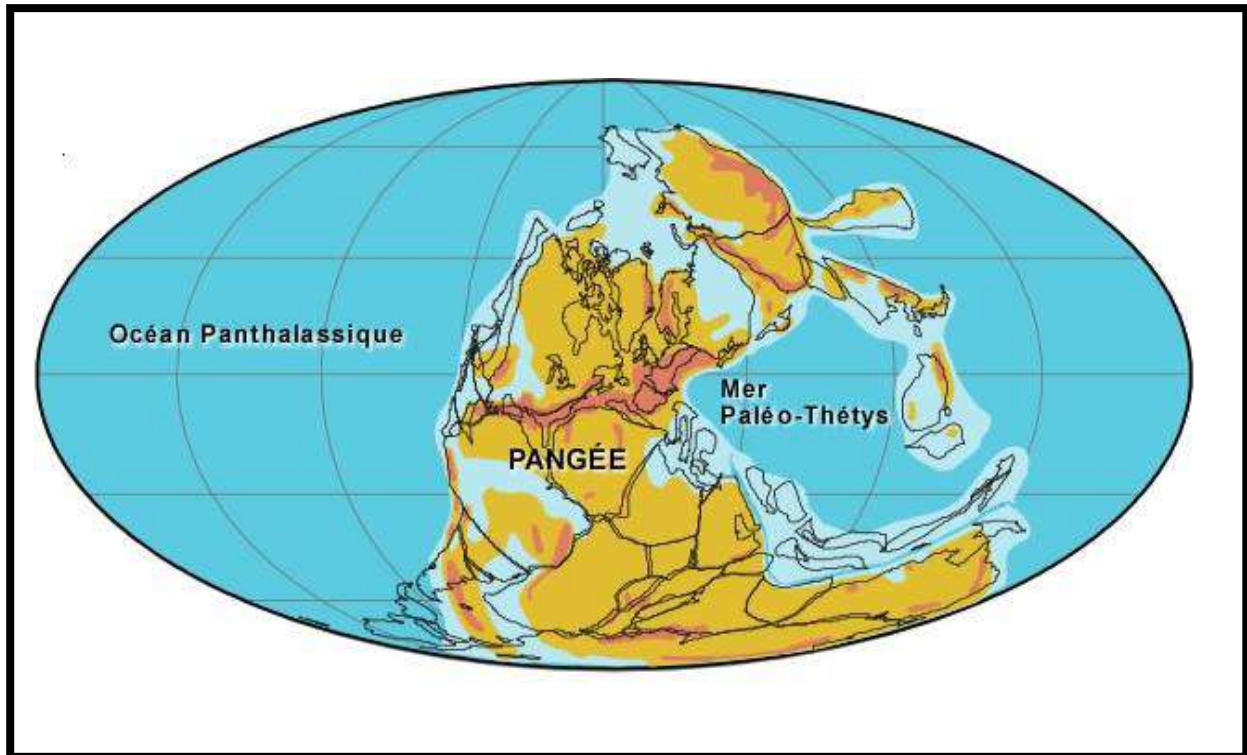
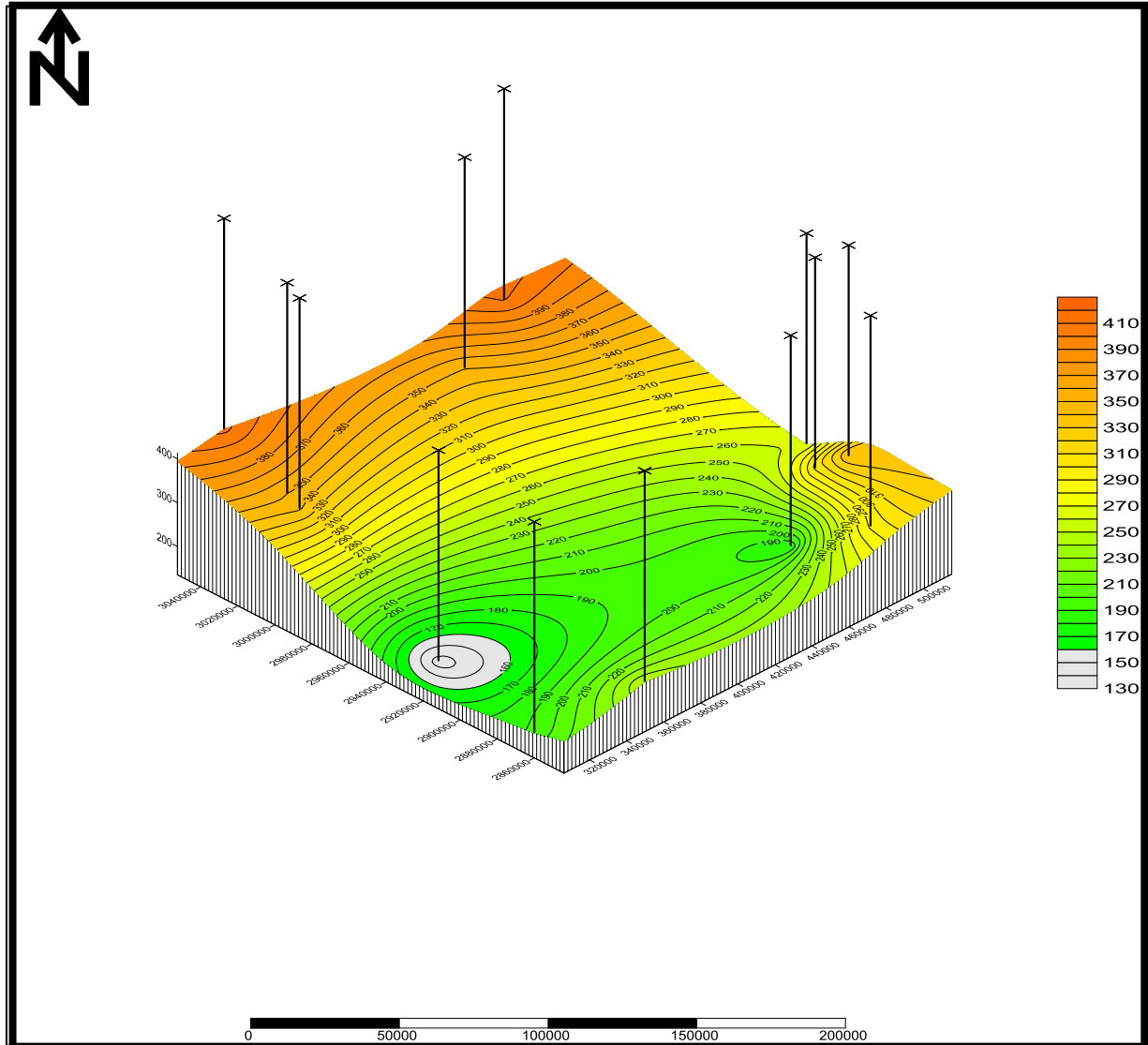


Figure.14-Paléogéographie du monde a la fin du Carbonifère
(*R.Scotese.,2001*)

2. la géologie locale de la Zone d'étude

Pour étudier la géologie locale, on a sélectionné 13 puits réalisés dans le bassin de l'Ahnet, le périmètre d'étude nommer **SHALE PLAY**.



**Figure.15- Carte de Positionnement des Puits d'étude
Dans le périmètre SHALE PLAY**

2.1- Description lithos stratigraphiques

Les forages réalisés sur le périmètre d'étude SHALE PLAY ont traversé une série de dépôts représenté par des terrains d'âge mésozoïque qui repose en discordance sur des terrains d'âge Paléozoïque.

La description des échantillons récupéré durant le forage sous microscope binoculaire nous a permettez de synthétiser une colonne lithostratigraphique du périmètre SHALE PLAY.

La structure en surface (fig.15) a la forme d'un demi-synclinal, les puits positionnés dans le Nord et Sud-Est sont pratiquement soulevés par rapport au puits positionné dans le Sud et le Sud-Ouest

A. Paléozoïque

A.1.Ordovicien

L'étude lithostratigraphique basée essentiellement sur des données de forage, et vu que les puits d'étude ont été réalisés pour atteindre les objectifs principaux qui sont les grés de quartzite de Hamar de l'Ordovicien alors on s'est retrouvé limité avec les décisions d'arrêts de forage qui sont avant le top du cambrien dans l'ensemble des puits.

L'Ordovicien dans le périmètre SHALE PLAY matérialisé par des débris clastiques continentaux avec la prédominance des Grés gris blanc a blanc, transparent a translucide, très fin à fin, silicoquartzitique à quartzitique, compact, très dur. Avec de fines passées d'Argile noire indurée, silteuse, légèrement feuilletée avec Trace de pyrite et grains de quartz translucide.

La carte en isobathe au toit de l'ordovicien (fig.16) montre que notre périmètre d'étude a la fin de l'Ordovicien a été modelé en formant des plis a axe N-S suivi par des soulèvements bien visibles dans la partie sud. C'est l'empreinte de la phase compressive taconique (*Boudjema, 1987 ;S.Beuf et al,1971*).

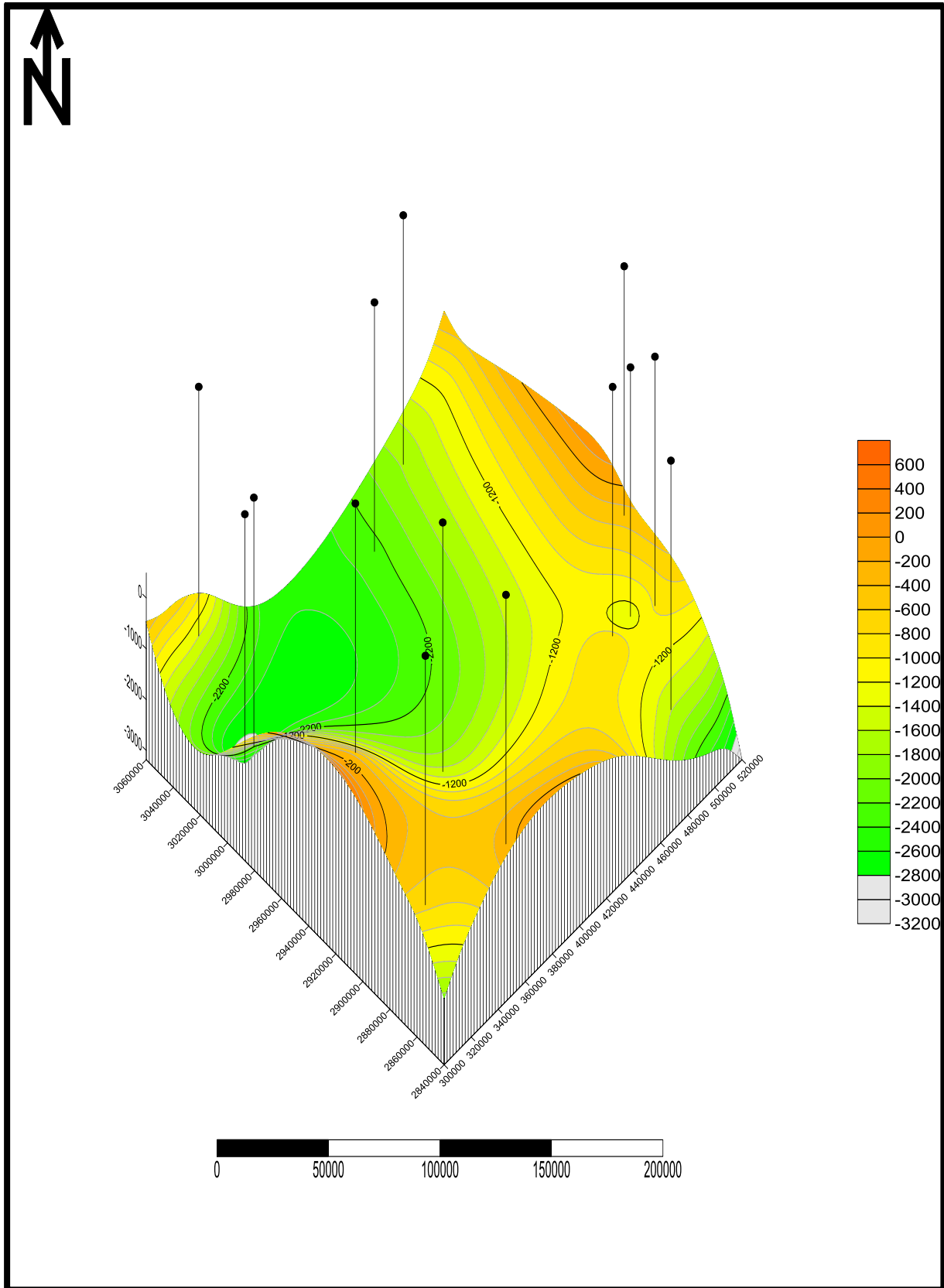


Figure.16-Carte en Isobathe au toit de l'ordovicien montrant la structure du périmètre d'étude avant la sédimentation du silurien

A.2. Silurien Ep ; 250m-996m

La série sédimentaire du Silurien matérialisée par des Argiles gris-noir à noire, induré, micacée, silteuse, légèrement feuilletée, carbonneuse et pyriteuse avec rares passées de Grès blanc, translucide, fin à moyen, subarrondi à subanguleux, siliceux à silicoargileux, moyennement dur à friable et de Calcaire blanc, microcristallin, moyennement dur et gris-blanc, tendre, argileux.

Les épaisseurs du Silurien configurées dans une carte en Isopach (fig.17) sont particulièrement importantes avec une tendance progressive du NW vers le SE, les faibles épaisseurs sont observées à l'extrême SW, les variations des d'épaisseur due essentiellement à l'irrégularité topographique à la fin de l'ordovicien causée par la font des calottes glaciaires (Boudjema, 1987).

Sur le plan structural la carte en isobathe au toi de Silurien montre qu'il n`ya pas un événement marquant et la structure a gardé le même modèle hérité de l'ordovicien.

A.3. Dévonien Ep ; 0m-1659m

La série du dévonien dans le périmètre d'étude a un caractère continental et marin à la fois, représentée par des intercalations d'Argile gris foncé à noire, indurée, fortement silteuse, micacée, feuilletée, carbonatée et Grès blanc, fin à moyen, subarrondi à subanguleux, siliceux à silicoquartzitique, dur, localement gris-blanc à gris sombre, fin à moyen, parfois grossier, silicoargileux avec passé de Calcaire gris blanc, argileux, tendre et cristallin.

Le passage fin silurien début Dévonien marqué par la prédominance d'un dépôt détritique, c'est le matériel de l'orogénèse calédonienne cause du soulèvement presque total du périmètre d'étude (fig.20) qui a subi par la suite une période érosive cette dernière qui nivelle toute la structure qui atteinte parfois le silurien.

Les épaisseurs du Dévonien s'étendent vers le nord suivant le basculement causé par les mouvements épirogéniques et la phase compressive calédonienne (Boudjema, 1987 ;S.Beuf et al,1971).

les surfaces d'érosion marquée par l'absence complète des séries Dévoniennes dans le périmètre et la structure à la fin de Dévonien corrélativement à celle du Silurien, nous a mené à conclure que cette période a connus une instabilité sur le plan sédimentaire et structural.

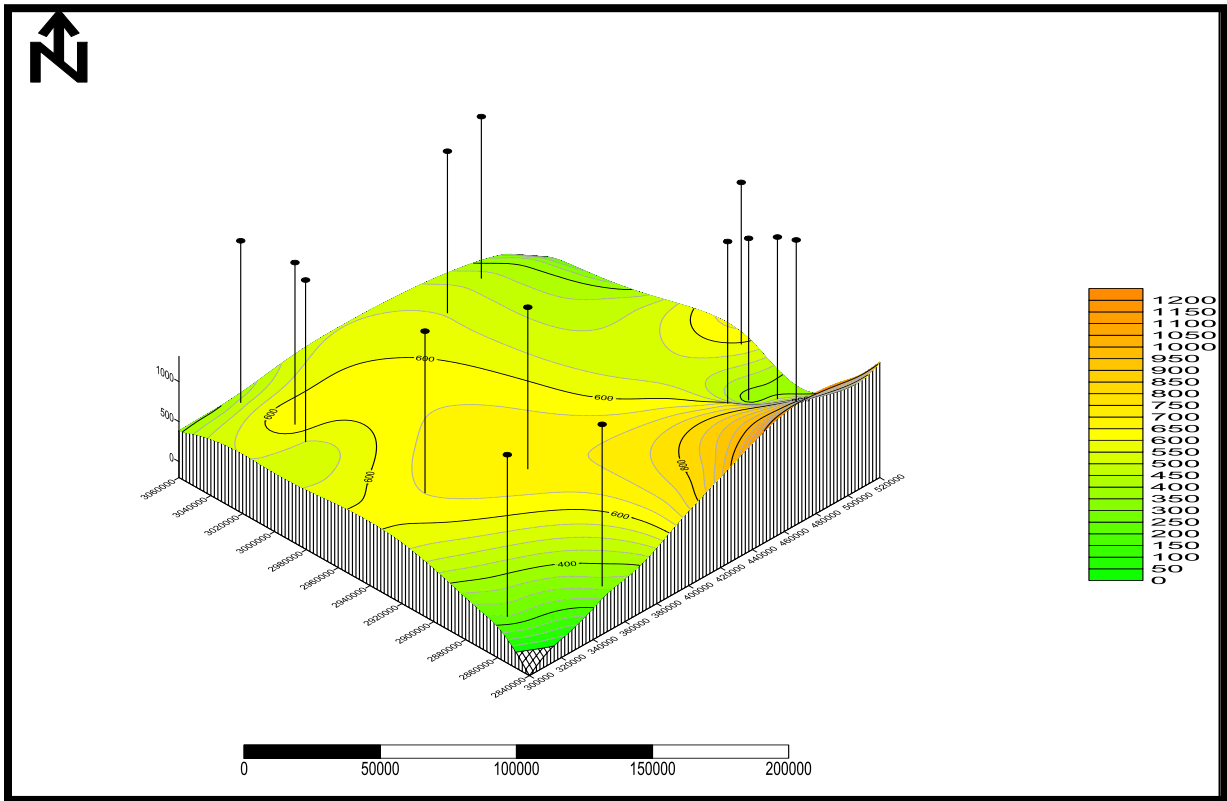


Figure.17- Carte en Isopach du Silurien montrant la variation des épaisseurs dans le périmètre d'étude

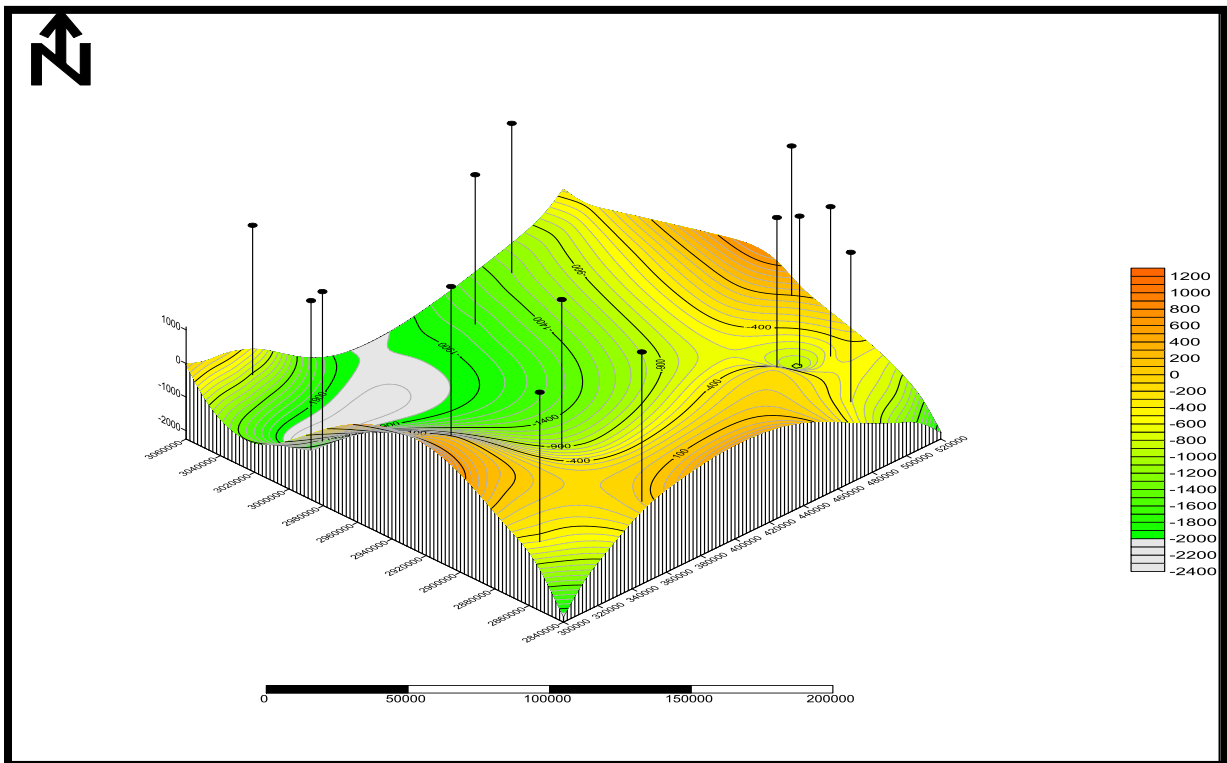


Figure.18- Carte en Isobathe au toit de Silurien montrant la structure du périmètre d'étude avant la sédimentation du Devonien

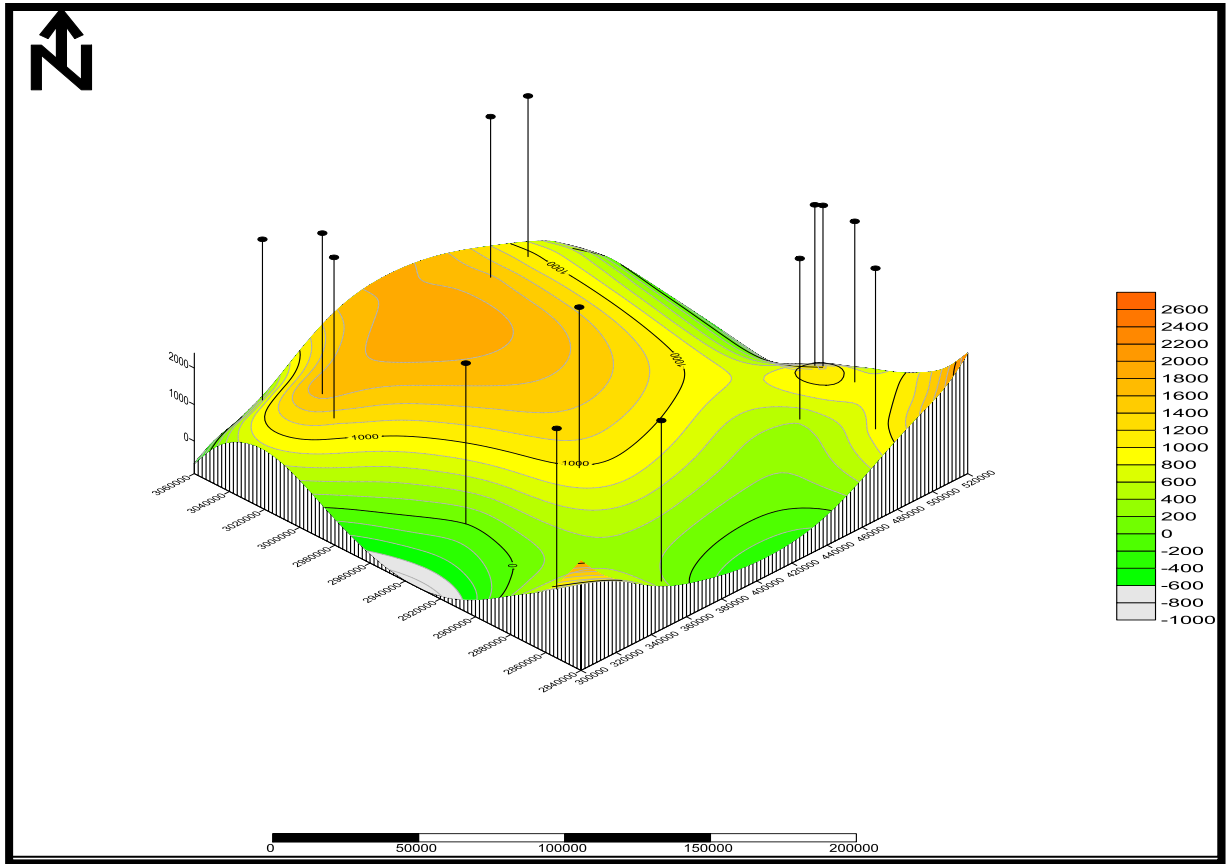


Figure.19-Carte en Isopach du Dévonien montrant la variation des épaisseurs dans le périmètre d'étude

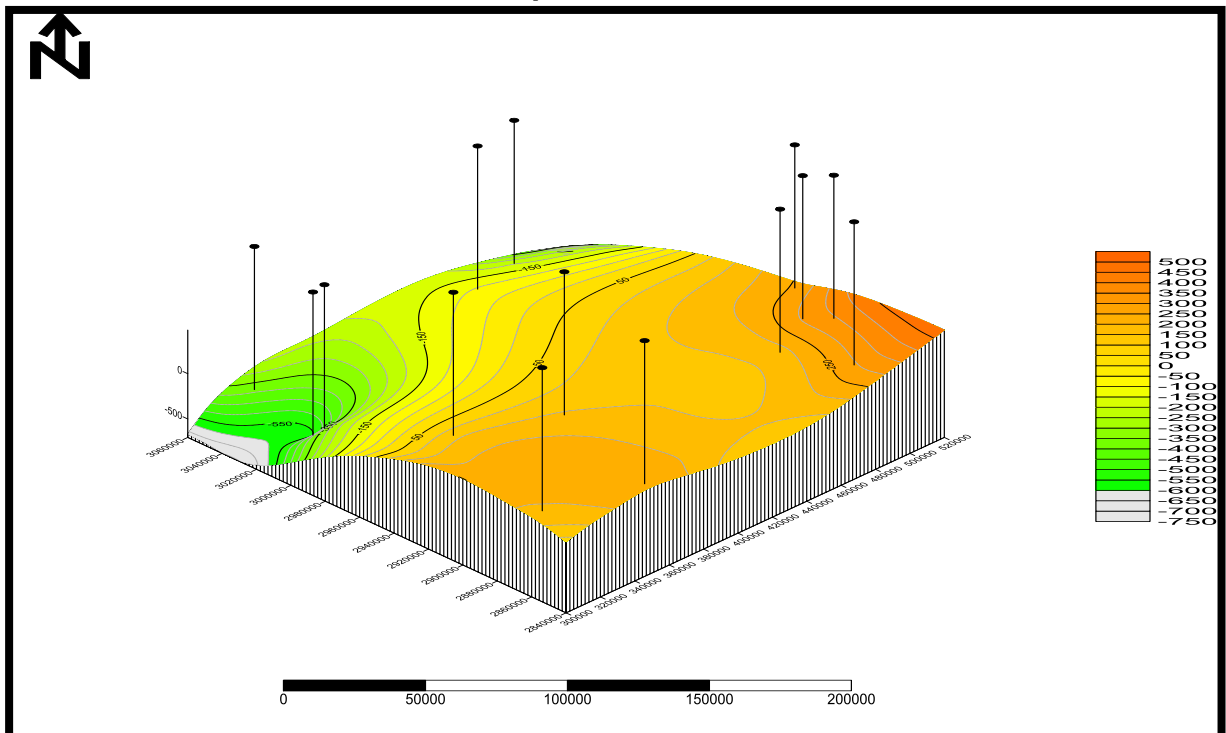


Figure.20- Carte en Isobathe au toit de Dévonien montrant la structure du périmètre d'étude avant la sédimentation du Carbonifère

A.4. Carbonifère Ep ; 0m-290m

Le carbonifère dans le périmètre d'étude et dans le bassin de l'Ahnet est presque complètement érodé par la discordance Hyrcanienne les formations rencontrées attribuées au carbonifère figurant dans la partie NW du périmètre (fig.21) ce sont des Argiles grises à gris sombre, localement verdâtre, silteuses, micacées, tendres et pâteuses, avec passées de Grés blanc beige, fins à moyen, arrondi à subarrondi, siliceux, légèrement carbonaté, moyennement dur.

B. Mésozoïque

B.1. Continental intercalaire Ep ; 0 m -791 m

La carte en isopach de continentale intercalaire, subdivise notre périmètre d'étude en deux parties.

- **Partie Sud** : dans cette zone tout le mésozoïque a été érodée, l'affleurement reviens aux formations d'âge paléozoïque
- **Partie Nord** : les terrains d'âge mésozoïque commencent à affleurer progressivement en allant vers le nord matérialiser par des Sables blanc jaunâtre, fin à moyen, parfois grossier, transparent à translucide, arrondi à subarrondi, friable. Avec passées d'Argile rosâtre à rougeâtre, silteuse, tendre et pâteuse et fine passées de Grés blanc beige, fins à très fin, siliceux à silicoargileux, moyennement dur.

Les coupes traversant les puits du périmètre localisée au Nord-Est/Ouest vers les puits du Sud-Est/Ouest fondée sur un concept de relier les toits et les murs de chaque formation rencontre durant le forage, d'un puits à l'autre. En gardant les mêmes distances du profil qu'est de l'ordre de 250 km (fig.23) les profondeurs finales varient d'un puits à l'autre en fonction des objectifs pétroliers.

3. Interprétations des Coupes géologiques

3.1. Coupe NW-SE : les formations sont préservées dans la partie Nord où on a rencontré le carbonifère, le mésozoïque représenté par le continentale intercalaire, le Silurien est profond, l'épaisseur elle n'est pas vraiment importante par rapport au Sud, cet amincissement il est probablement dû à l'immense série Dévonienne conjointement avec les contraintes tectoniques calédoniennes. En allant vers le sud la phase érosive qui a suivi l'orogénèse hyrcanienne a laissé une grande empreinte, le mésozoïque et le carbonifère complètement érodé, localement le dévonien, on constate aussi une progression dans les épaisseurs du silurien avec maintien dans le reste de la partie sud du périmètre d'étude.

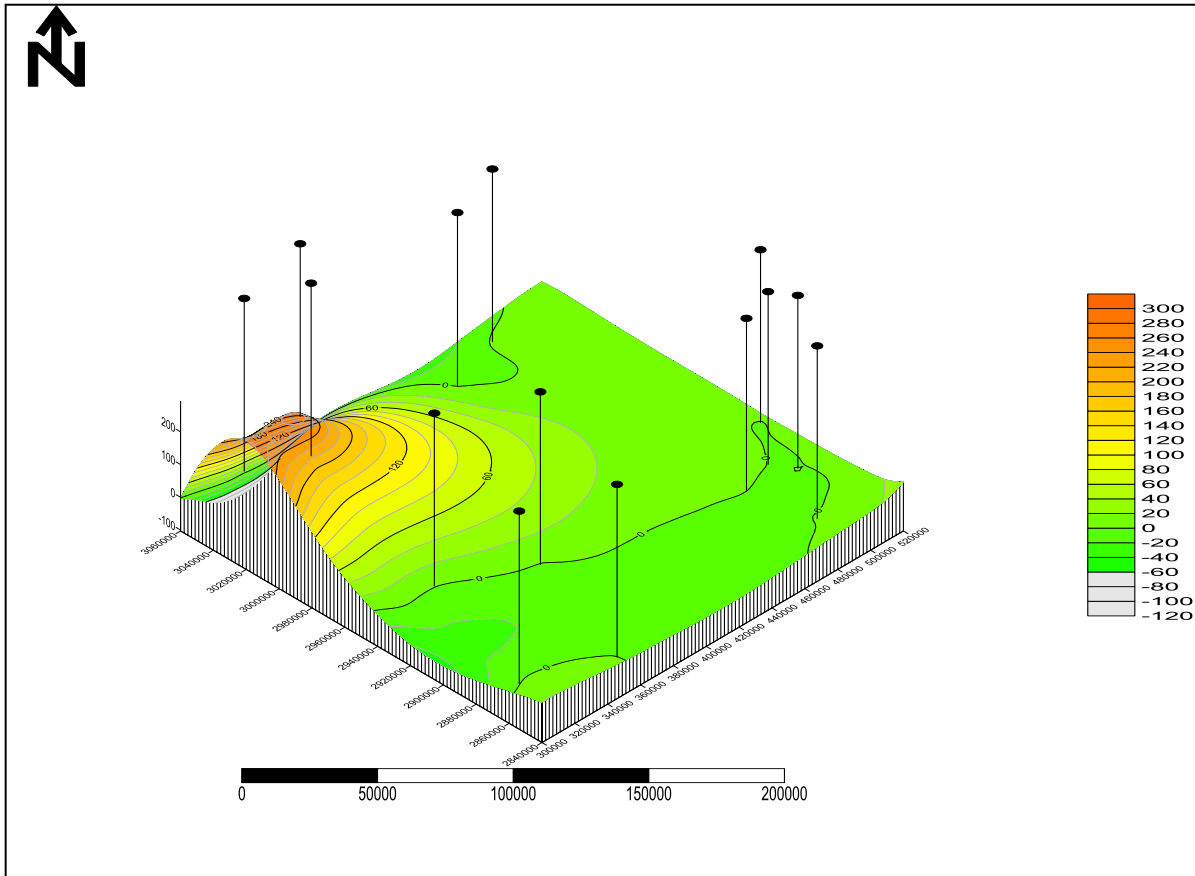


Figure.21- Carte en Isopach du Carbonifère montrant la variation des épaisseurs dans le périmètre d'étude

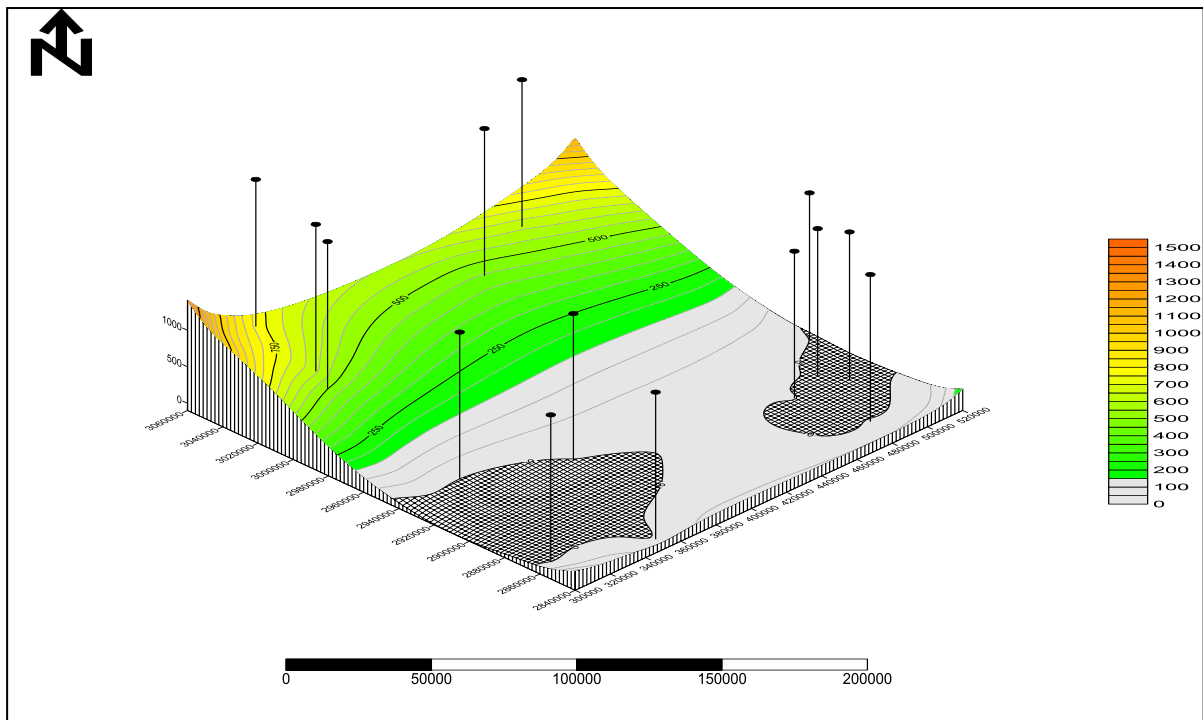


Figure.22-Carte en Isopach du Continentale Intercalaire montrant la variation des épaisseurs dans le périmètre d'étude

3.2. Coupe NE-SW :

Les formations rencontrées en surface sont d'âge mésozoïque représentées par le continentale intercalaire qui repose en discordance sur le Dévonien, on constate aussi que le même scénario se répète, plus en allons vers le sud plus le mésozoïque se disparaît sous l'effet de l'érosion post-hercynienne, les contraintes sont beaucoup moins ressenties, les épaisseurs du silurien et du dévonien prend une allure régressive vers le sud.

Comme conclusion les événements marquants dans notre périmètre d'étude sont :

- La compression cambro-ordovicienne
- L'orogénèse calédonienne
- Discordance hercynienne

La direction des enjeux structural a toujours suivi les orientations des phases compressives N-S, NW-SE du cambro- Ordovicien selon les coupes schématiques (fig24-25) en deux directions, l'une parallèle à la direction des contraintes régionale es l'autre divergente.

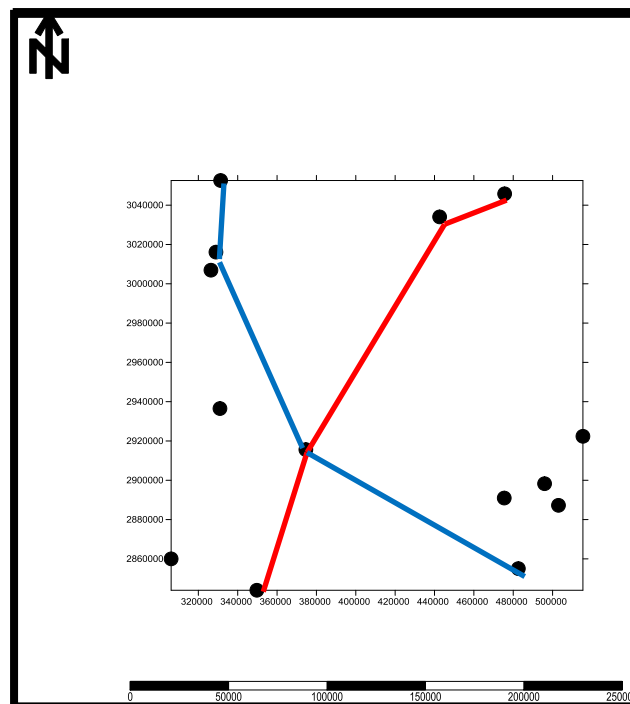


Figure.23- Les axes des coupes Géologique

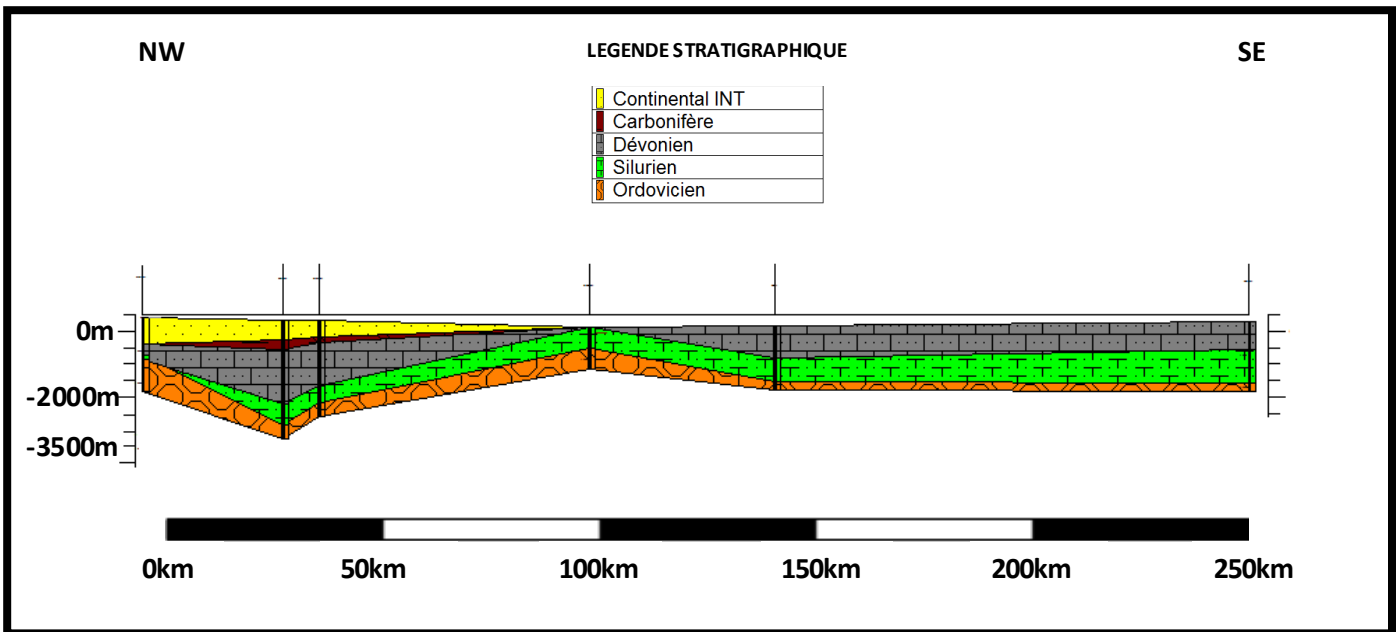


Figure.24- Coupe géologique schématique NW-SE du périmètre d'étude montrant les différents formations rencontrées

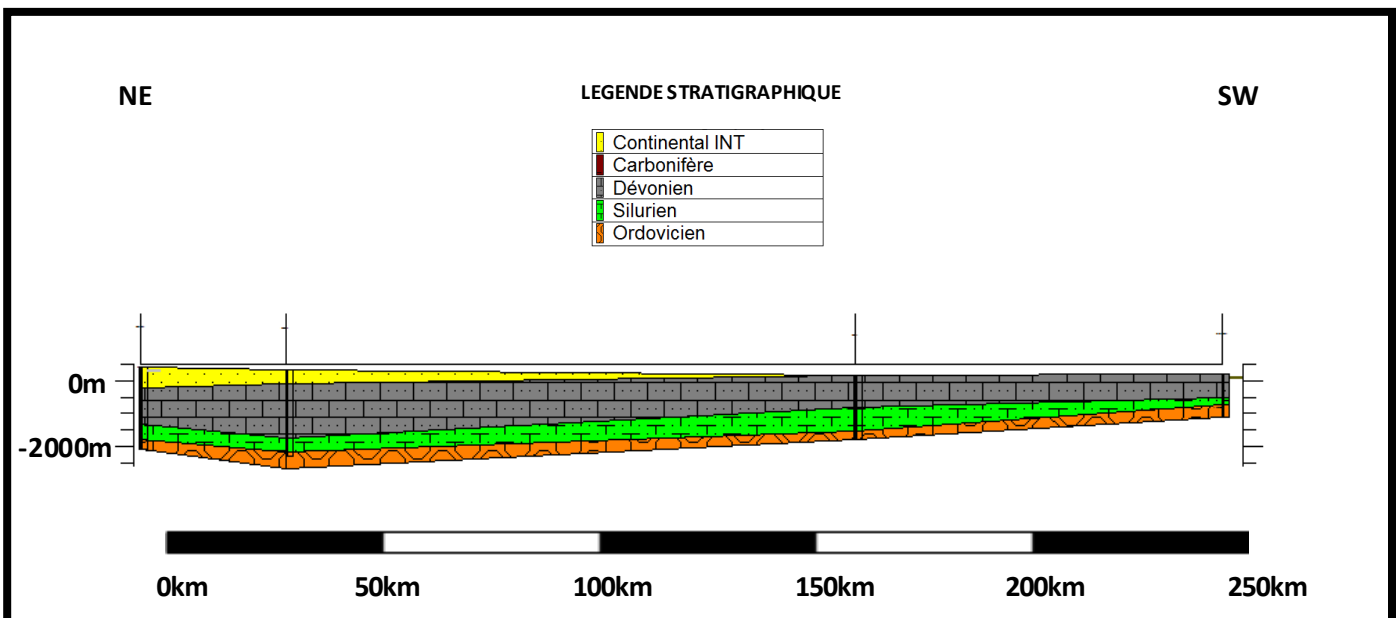


Figure.25- Coupe géologique schématique NE-SW du périmètre d'étude montrant les différents formations rencontrées

4. Système pétrolier

4.1. Roches-réservoirs

4.1.1. Réservoirs Conventionnels

4.1.1.1. Les réservoirs du Dévonien

A. Réservoir Emsien :

Ce réservoir est composé de Grès blanc à gris blanc, siliceux à silicoargileux, compact, dur à moyennement dur et brunâtre, siliceux à silicoquartzitique, compact, dur avec rares passées d'Argile grise a gris sombre, tendre a indurée, légèrement feuilletée, silteuse.

Les caractéristiques petrophysiques sont acceptables avec une porosité de l'ordre de 9 % à 11 %, les perméabilités sont faibles de 0.01mD à 4.8mD (rapport Sonatrach). Résultats de teste réaliser dans ce niveau sont encourageant

B. Réservoir Siegénien :

Ce réservoir est composé de grès blanc a gris-blanc, translucide, localement gris-fonce, fin, subarrondi a subanguleux, siliceux à silicoquartzitique, dur, avec fines passées d'argile grise a gris-noir, induré, micacé, légèrement feuilleté, fortement silteuse.

Les porosités sont de l'ordre de 7.6 % mais les perméabilités sont faibles avec une moyenne de 1.10mD (rapport Sonatrach 2012).

C. Réservoir Gédinnien :

C'est une alternance de: Grès blanc, fin a moyen, subarrondi a subanguleux, siliceux a silicoquartzitique, dur, localement gris-blanc a gris sombre, fin a moyen, parfois grossier, silicoargileux, pyriteux par endroits, moyennement dur, et Argile grise, gris sombre, induré, fortement silteuse, micacé. rares grains de quartz isolés, et trace de pyrite les porosités sont de l'ordre de 8 % avec des valeurs qui peuvent atteindre parfois plus de 20.5 %, les perméabilités sont en moyenne de 2.29mD (rapport Sonatrach).

4.1.1.2. Les réservoirs de l'Ordovicien

L'Ordovicien est composer de quatre (04) principaux réservoirs :

A. La Dalle de M'Krata : composer de Grés gris blanc a blanc, translucide, fin a moyen, parfois grossier, subanguleux a subarrondis, quartzitique, compacte, très dur. Elle représente un réservoir très potentiel les porosités sont faible ne dépassent pas les 6 % ainsi les perméabilités sont faibles ce réservoir débite par fracturation.

B. Les Grès d'El Goléa

Se sont des Grès blancs, translucides, localement gris clair, très fin à moyen, par endroits grossier, subanguleux à subarrondis, siliceux, dur. Argile grise à gris noire, indurée, silteuse, micacée, parfois feuilletée, localement pyriteuse. Grès très fin, voir des Silstones, micacés, friable à moyennement consolidés. Argile gris sombre, feuilleté, micacé, tendre, légèrement pâteux.

C. Les Grès d'Oued Saret

Matérialiser par des Grès blancs, gris, beiges, fins à moyen, parfois grossiers, siliceux à silicoargileux, par endroits silicocarbonaté, dur à moyennement dur avec rares fines passées d'argile noire, indurée, silteuse, micacée. Traces de pyrite et galet de quartz beige. Les caractéristiques pétrophysiques sont médiocres, les porosités ne dépassent pas les 4% et la perméabilité est inférieure à 0.01 mD (rapport Sonatrach 2012).

D. Les Quartzites de Hamra

Il est composé de Grès gris-blanc à blanc, translucide, quartzitique, compact, très dur. Les porosités sont de l'ordre de 3 à 6% et les perméabilités sont inférieures à 0.1 mD.

4.2. Roche Couvertures

La couverture pour les réservoirs du Dévonien inférieur est assurée par les argiles du Frasnien -Famennien ainsi que les assises argileuses intermédiaires, situées entre les bancs de grès.

Pour l'Ordovicien se sont les argiles du Silurien particulièrement, pour les quartzites de Hamra les argiles de l'ordovicien (Azzel) assurent la couverture.

La couverture horizontale est assurée par les failles et les changements de faciès locaux (Rahmani.A., 2002).

4.1.2. Roche mère et Réservoirs non conventionnels

A. Frasnienne

La roche mère réservoir, Frasnienne composée d'Argile grise foncée à noire, silteuse, carbonatée avec rares passées de Calcaire gris blanc, argileux, tendre. Présence Pyrite avec prédominance de la fraction argileuse. Les analyses géochimiques de laboratoires indiquant une bonne richesse en matière organique avec des COT moyens de l'ordre de 4 à 5%.

B. Silurien

Déjà décrit dans la partie géologie locale. Les analyses géochimiques révèlent une richesse en matière organique entre 2% et 4%. (Rahmani. A.,2012)

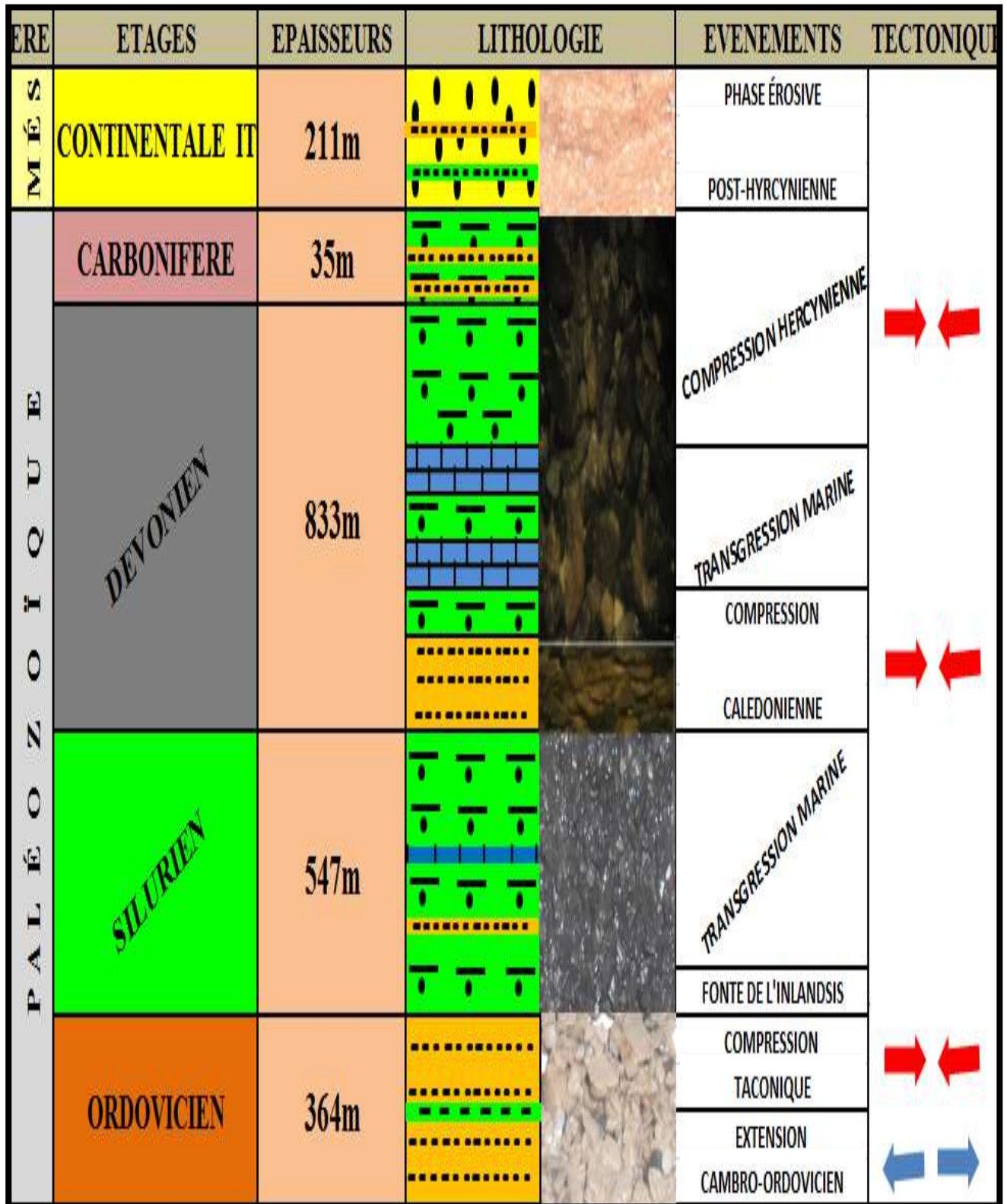


Figure.26- Log Stratigraphique synthétique du périmètre d'étude (modifié par Kadri et Hacini,2017)

1. Introduction

Le pétrole est une substance chimique carbonique en phase gazeuse, liquide ou solide est peut contenir aussi des composés non carboniques comme le dioxyde de carbone, l'azote, le sulfure d'hydrogène et le soufre, les ressources pétrolières englobent toutes les quantités piégées dans les réservoirs souterrains et peut importe qu'elles s'oyant récupérable ou non récupérable, découverte ou non découverte plus les quantités déjà produites.

Les potentialités des gaz et huiles de schiste dans le monde sont évaluées et estimées par la société (Advanced Resources International) qui travaille pour le ministère de l'Énergie des États-Unis depuis 1980 sur les ressources non conventionnelles.

Un système de gestion des ressources pétrolières offre une approche cohérente pour l'estimation des quantités des hydrocarbures dans leur emplacement (réservoirs) qui peuvent être récupérées et commercialiser par la suite ainsi l'évaluation des projets de développement, mais le développement de la technologie à travers les Années a mené de récupéré des volumes qui ont été considérés dans le passé comme ressource non récupérable donc il n'était pas estimé et considéré auparavant.

Les efforts internationaux pour l'uniformisation des termes ressources pétrolière et leur estimation commencent dès les années 1930 axées sur les réserves prouvées. La Société Petroleum Évaluation **engineering (SPEE)**, a publié des définitions pour toutes les catégories de réserves en 1987. La même année, Le **World Petroleum Council (WPC)** travaillant de façon indépendante, publiée des définitions réserve qui était très similaire.

En 2000, l'**Association américaine dès géologues pétroliers (AAPG)**, **SPE** et **WPC**, élaborons conjointement un système de classification pour les Ressources.

2. Classification des ressources pétrolières

2.1. Quantités totales des Hydrocarbures initialement en place

C'est des volumes estimés dans des sites explorés déjà plus les quantités estimées dans les accumulations à découvrir, c'est l'équivalent de la notion des ressources totales.

2.1.1 Quantité des hydrocarbures initialement découverte en place

C'est des quantités estimées, à une date donnée, contenu dans des terrains déjà explorés qui sont prêts à entamer la phase production.

2.1.2.1 Production des Hydrocarbures

C'est les quantités qui ont été déjà récupérées à une date donnée. Bien que toutes les ressources récupérables soient estimées (vendus ou non vendus), la production elle est mesurée en fonction du facteur vente qui dépend du prix du baril dans le marché.

2.1.2.2 Les Réserves

Sont des quantités qui devraient être récupérables par l'application d'un projet de développement dans des terrains déjà explorés.

Les réserves sont classées selon le niveau de certitude associé aux estimations et peuvent être sous classés en fonction de l'activité et modération du projet.

2.1.2.3 Les Ressources contingentes

Sont des quantités estimées, à une date donnée, pouvant être récupérées, mais les projets de développement appliqués ne sont pas murs pour le développement commercial dû à plusieurs raisons ; par exemple, l'inexistence d'un marché viable, ou lorsque les techniques de récupération commerciale dépendent d'une technologie en cours de développement ou lorsque l'évaluation de l'accumulation est insuffisante pour l'évaluation et l'estimation.

Les ressources contingentes sont classées selon le niveau de certitude associé aux estimations et peuvent être sous-classes en fonction de leur maturité et/ou de leur statut économique.

2.1.2.4 Les Réserves irrécupérables

Ce sont des quantités estimées et prouvées, mais qui ne peuvent pas être considérées dans un projet de développement à une date donnée.

2.1.2. Quantité des hydrocarbures initialement non découverte en place

C'est des quantités estimées, contenues dans des sites à découvrir ou a explorer dans le future, subdiviser en deux majores classe

2.1.2.1 Les Ressources prospectives

Sont des quantités estimées, dans des terrines non explorées qui pouvant être probablement récupérable par l'application des projets de développement futur. Les ressources prospectives ont à la fois une chance de découverte et une chance de développement.

2.1.2.2 Les ressources non récupérables

C'est des quantités des hydrocarbures découverts ou non découvertes initialement en place qui n'est pas recouvrable, une partie de ces quantités pourrait devenir recouvrable avec le développement technologique; le reste ne peut jamais être récupérable.

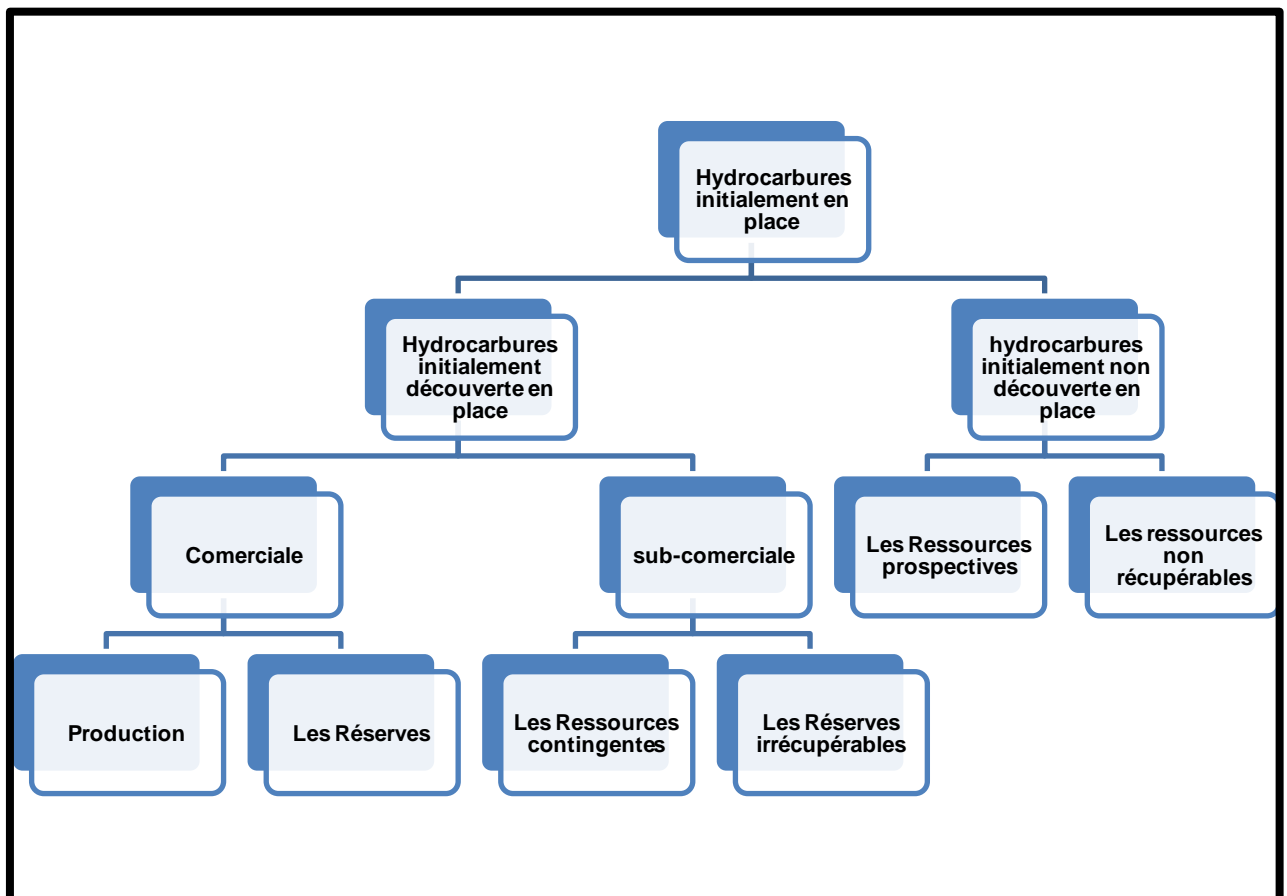


Figure.27- Schéma de classification des ressources pétrolière (ARI 2013)

Les Potentialités des Gaz de Schistes en Algérie

Les schistes constituent les réservoirs non conventionnels dans le bassin de l'Ahnet sont attribuer aux Argiles siluriennes et frasnienne et cela elle est généraliser sur tous les bassins algériens ; Reggane, Timimoun, Moydir, Berkin, Tindouf, Illizi.

L'évaluation et l'estimation des ressources, élaborée par ARI en Algérie a révélé que les bassins algériens renferment une totalité de 3419 Tcf de gaz en place avec un taux de récupération de l'ordre de 20% l'équivalent de 707Tcf.

À l'exception de Timimoun et Mouydir, les bassins algériens renferment 121 billions de barils d'huiles et condensat dans les schistes, 5,7 billions de barils sont récupérables techniquement (5%).

Ces quantités mettront l'Algérie en quatrième position en terme de ressource récupérable techniquement et troisième en total gaz en place (fig.28) mais sont des ressources prospectives qui nécessite un plan de développement bien défini et un nombre important de puits de reconnaissances pour récolter plus de donnés et confirmé ces potentialités.

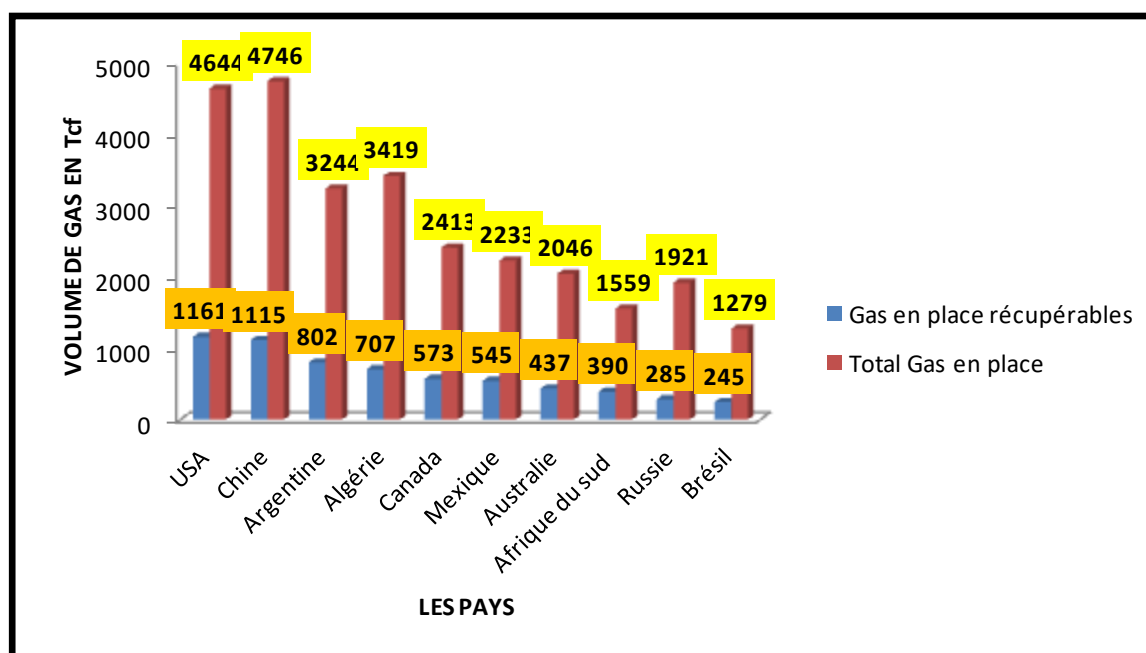


Figure.28- Les Potentialités mondiale en gaz de schistes (ARI 2013)

3. L'évaluation des Potentialités gaz de schiste en Algérie

L'évaluation des potentialités des ressources non conventionnelle dépend essentiellement des paramètres physiques, géochimique, caractéristiques du réservoir et les volumes d'hydrocarbures.

3.1. Les paramètres physiques

3.1.1. L'épaisseur de l'intervalle riche en matières organiques

Ce sont des intervalles déterminer en fonction de la quantité totale de la matière organique (TOC) présente dans la roche

D'après l'histogramme de distribution des épaisseurs riche en matière organique à travers les bassins algériens en constate que l'intervalle le plus épais rencontré dans le bassin de l'Ahnet qui est de l'ordre de 330ft suivi par le bassin de Reggane avec une épaisseur de 230ft, les intervalles les plus minces sont de l'ordre de 60 ft rencontrés dans le bassin de Mouydir et Tindouf.

3.1.2. La Profondeur

La profondeur des schistes c'est un paramètre très important du point de vue potentiel pétrolier, les fluides renfermés dans des formations localisées a des profondeurs inférieures a 1000 m ont une faible pression ce qui va influencer automatiquement sur les taux de récupération, en plus l'énorme quantité d'eau existantes dans les fissures naturelles, supérieur a 3000 m les paramètre petrophysique et spécialement la perméabilité va être influencé directement.

D'après les histogramme (fig29-3031-32) , les bassins d'ahnet, Illizi, Mouydir répondent au critère d'un bassin susceptible pour l'exploitation des gaz de schiste, ou le silurien a été rencontré a des profondeurs moyennes respectivement de l'ordre de ; 2438 m, 1524 m, 1981 m. Dans les autres bassins le silurien il est plus profond que 3000 m

3.2. Propriétés des Réservoirs

3.2.1. Total Organique Carbone (TOC)

Un bassin prospectif doit avoir un minimum de TOC de l'ordre de 2 %, ce paramètre il peut être mesuré au laboratoire ou bien estimé en utilisant les données de diagraphie, D'après l'histogramme des valeurs de TOC des schistes de Silurien dans les sept bassins on constate que tous les bassins répondent au critère.

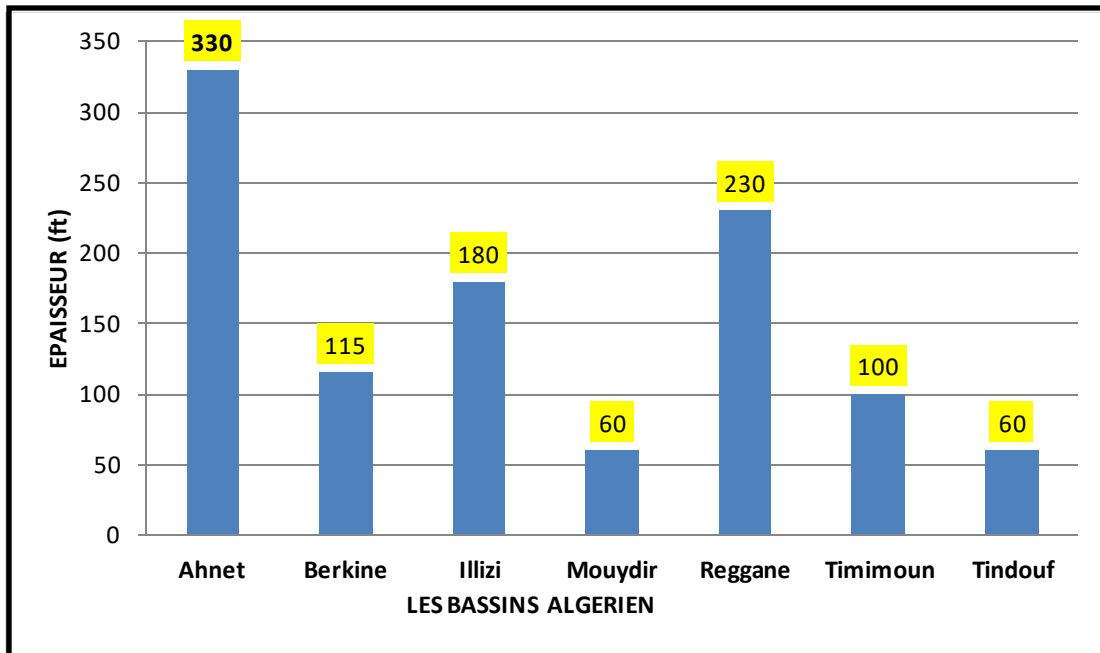


Figure.29- Histogramme de Variation des épaisseurs Riche en Matière organique (ARI 2013)

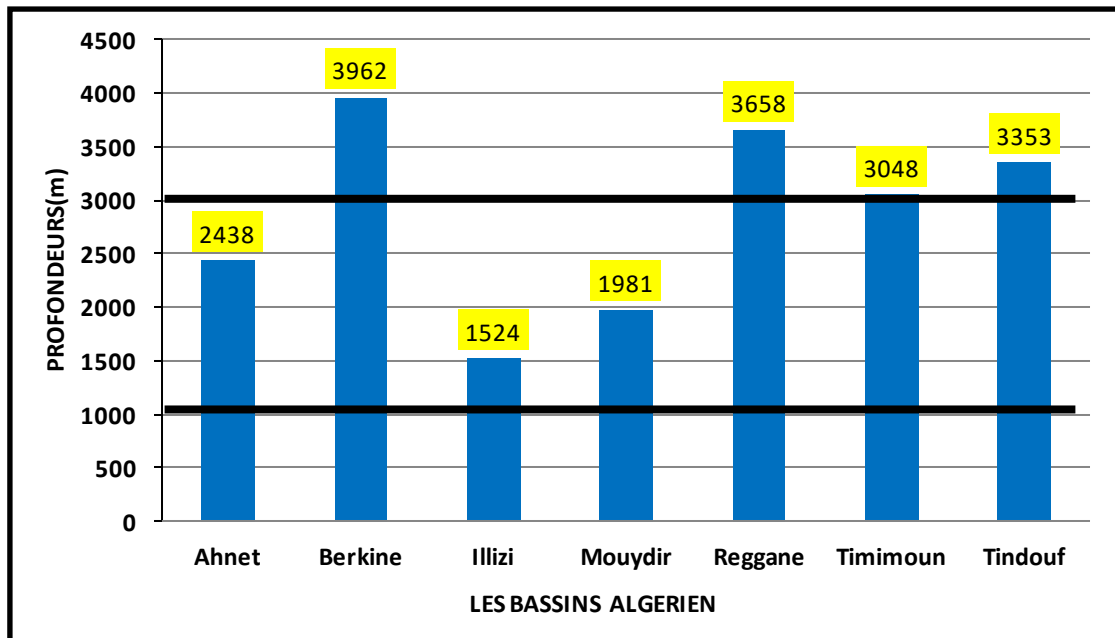
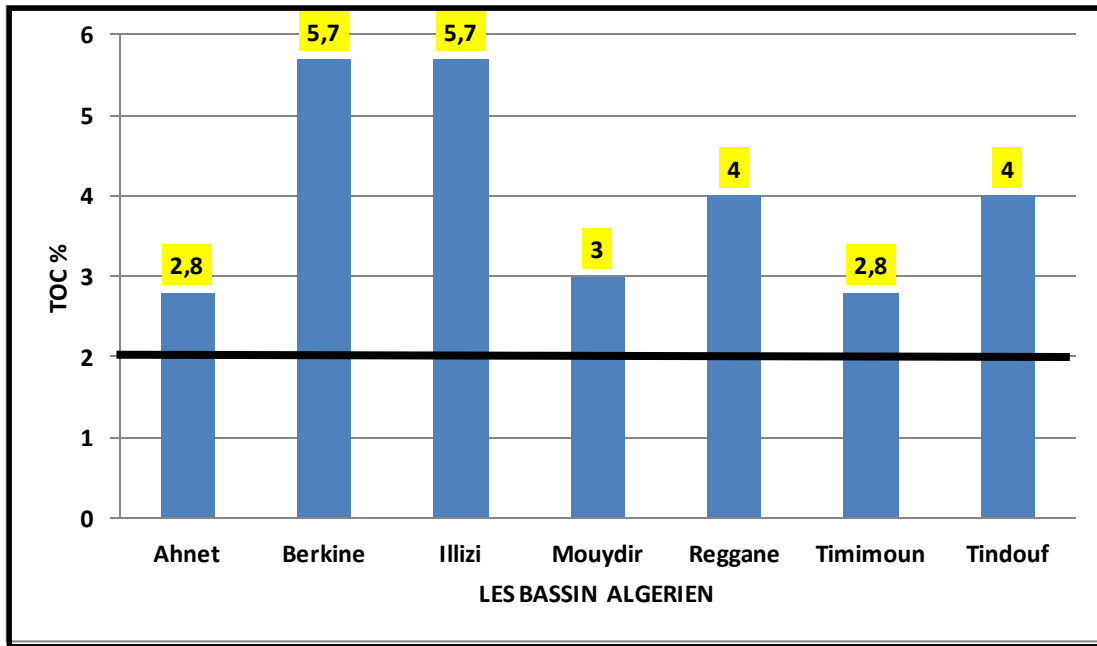
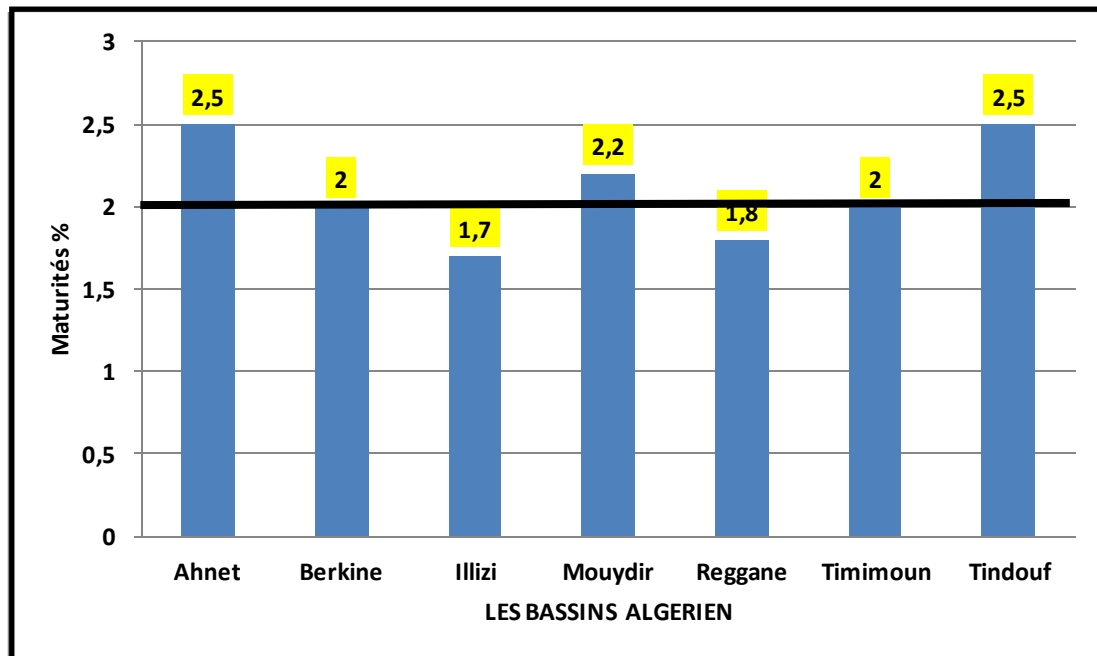


Figure.30- Histogramme Des Profondeurs de Silurien À travers les Bassins Algérien (ARI 2013)



**Figure.31- Histogramme De variation des TOC
À travers les Bassins Algérien (ARI 2013)**



**Figure.32- Histogramme De variation des Ro
a travers les Bassins Algérien (ARI 2013)**

3.2.2. La Maturité thermique :

Ce sont les degrés de température auquel une formation a été exposée pour décomposer la matière organique en hydrocarbures, La réflectance de certains types de minéraux (R_o %) est utilisée comme indication de Maturité thermique, pour un R_o % supérieur 2 % cela signifie que la matière organique est mature en stade de gaz sec, entre 2 % et 1 % stade de gaz humide, les zones potentielles dans les schistes doivent avoir une matière organique mature en stade gaz sec.

La représentation graphique des valeurs moyennes de la réflectance des formations siluriennes à travers les bassins indique qu'à l'exception de illizi et Reggane ou la maturité est au stade gaz humide les autres bassins sont tous au stade gaz sec.

3.2.3. Les ressources

Dans les réservoirs non conventionnels type schiste présentent des caractéristiques très variables (porosité, perméabilité, minéralogie, gaz content et pression). Le gaz se trouve en deux formes :

- **Gaz libre**

Contenu dans la porosité de la matrice (couches de silt ou de grès intercalé dans les schistes) et dans le réseau naturel de fractures, la quantification de ce type de gaz basé sur quatre paramètres ; pression, Température, Porosité et L'épaisseur de l'intervalle riche en matière organique.

- **Gaz adsorbé**

Ces une interaction moléculaire avec une surface solide (la matière organique, surface des pores) accompagnée avec une génération de chaleur (processus exothermique) donc plus de gaz existe plus la Chaleur elle est dégagée.

Le principe de quantification de ce type de gaz fondé sur L'isotherme de Langmuir (fig.33) représenté par une courbe d'équilibre des gaz adsorbé en fonction de la pression du réservoir

D'après la courbe (fig.33) on constate que lorsque les pressions sont basses, une forte capacité d'absorption se manifeste qui progresse proportionnellement avec la pression de réservoir jusqu'à la saturation ou l'absorbance tend à être stable lorsque la pression tombe en dessous de la pression critique de désorption, le gaz de schiste commence à se libéré. Ce phénomène a été prouvé par des études sur la Coal bed Methan (Ma, 2008; Wang, 2009)

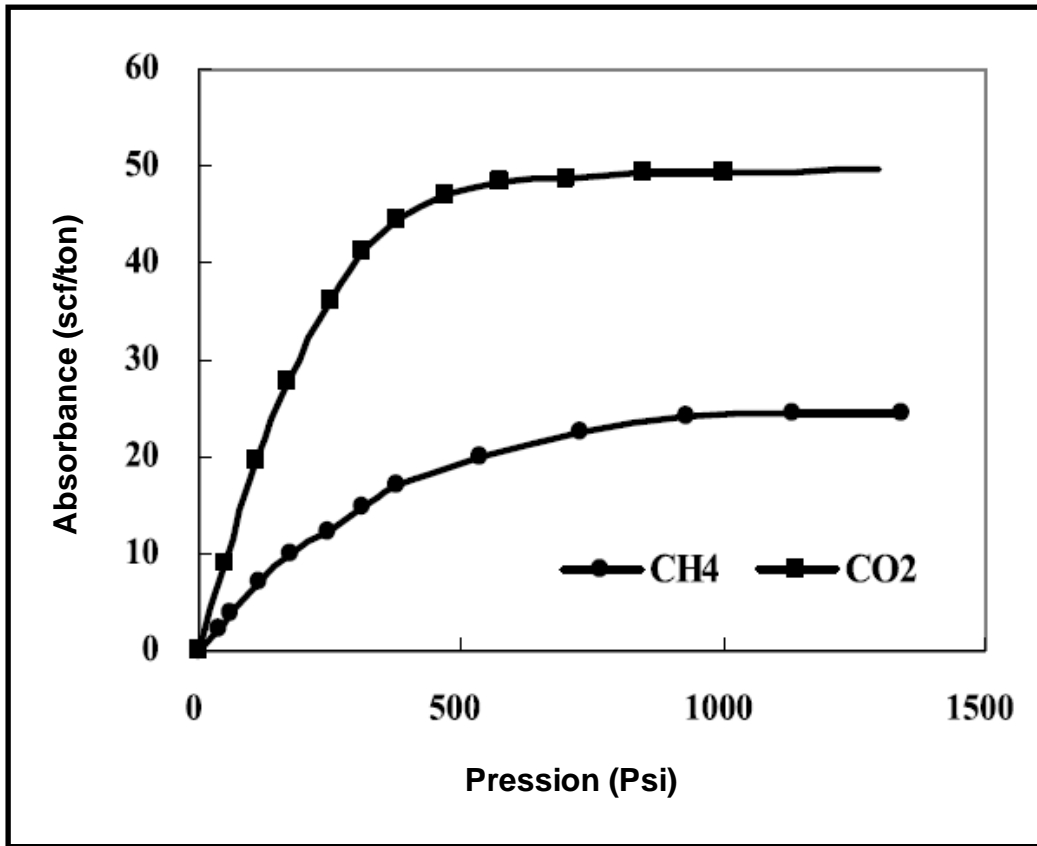


Figure.33- L'adsorption Isothermes de méthane et de dioxyde de carbone(Ma, 2008; Wang, 2009).

D'après L'histogramme des Potentialités locales(fig.34) on constate que le bassin de Berkine est le plus potentiel avec une quantité de gaz en place de l'ordre de 601tcf, suivi par Reggane et Timimoun(464 tcf et 255 tcf), Ahnet en quatrième position avec un volume en place de l'ordre de 256tcf, les quantités minimales sont comptées dans le bassin de Mouydir, le même classement a été maintenu pour les quantités récupérables

Pour un classement étudié, des potentialités en Algérie en vue d'installation de futur projet de développement , plusieurs paramètres doivent être combinés : les quantités en place ou bien récupérables, comme les propriétés des réservoirs et ces paramètres physiques.

Les Potentialités des Gaz de Schistes en Algérie

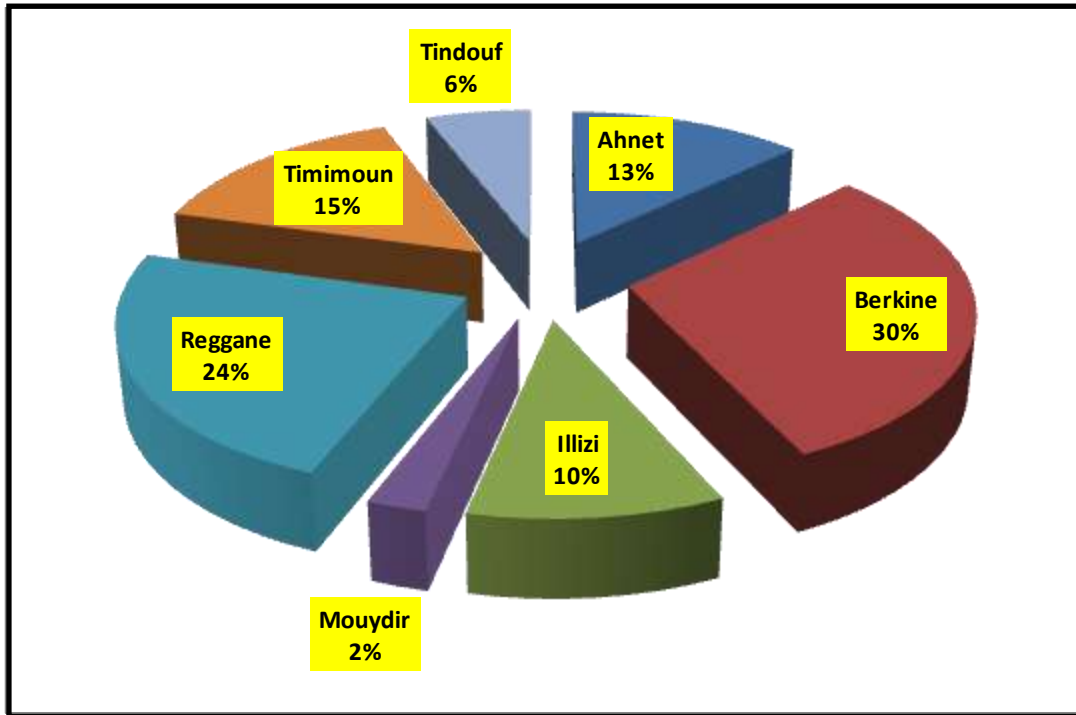


Figure.34- Les Potentialités locale en gaz de schistes
Total en place (ARI 2013)

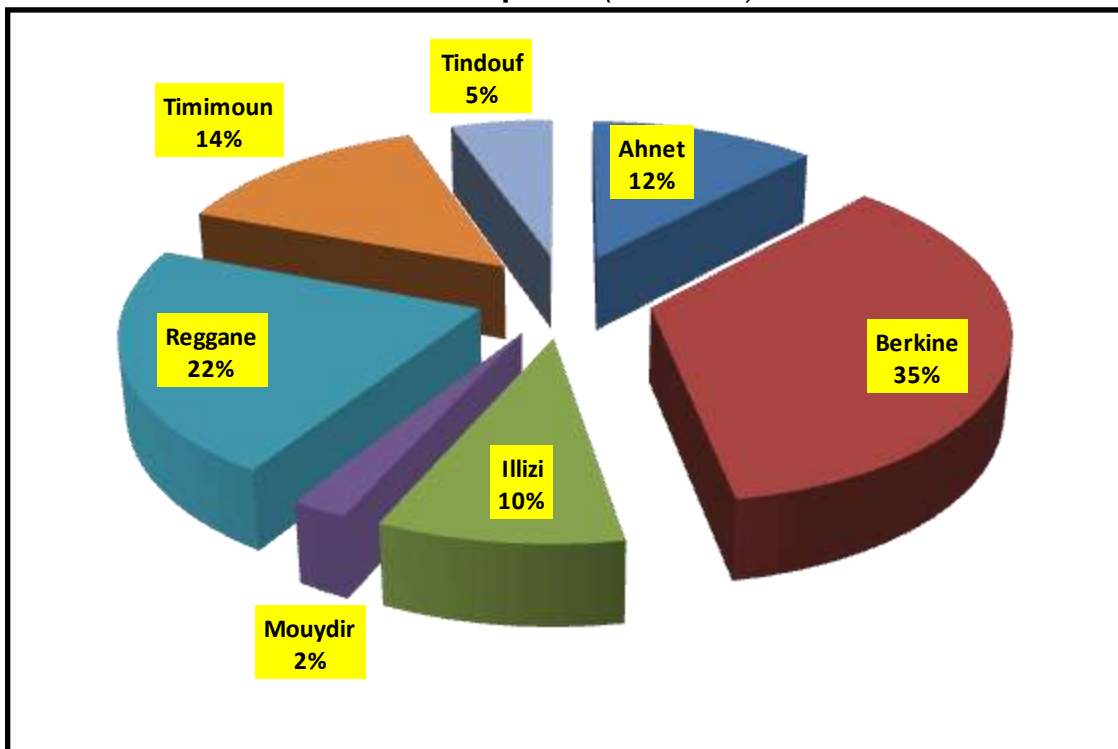


Figure.35- Les Potentialités locale en gaz de schistes
Récupérables (ARI 2013)

1. Introduction

Les nombreux puits réalisés dans le bassin de l'Ahnet ont montré que il ya des niveaux dans la série du Silurien, marqués par des indices de gaz importants dans la boue de forage,.

Les schistes possèdent une portion de la fraction minérale (silice SiO_2), l'eau et de la matière organique, cette dernière elle est exprimée en TOC (total organique carbone).

L'évaluation des réservoirs non conventionnels (schistes) baser essentiellement sur les paramètres suivants :

1. Épaisseur de l'intervalle riche en matière organique.
2. Richesse en COT
3. le degré de maturation de la matière organique (fenêtre gaz sec).
4. Fenêtre optimale en termes de profondeur (potentielle zone).

2. Méthodes d'évaluation des Schistes

2.1. Richesse en matière organique COT

La classification des roches mère par ordre de potentialité de générer des hydrocarbures selon (Peters.K.E.,Cassa. M.R.,1994) montre qu'une roche qui contiens moins de 0.5%TOC elle est considérée comme roche incapable de générer des hydrocarbures, entre 0.5 %- 1 % et 1 %-2 % un faible et équitable potentiel respectivement et entre 2 % et 5 % une bonne richesse en matière organique, plus de 5 % de TOC une excellente.

Selon notre étude le paramètre COT a été calculé par la méthode $\Delta\text{Log R}$, c'est une technique qui a été développée et tester a Exxon/Esso au début de 1979, depuis la méthode a été appliquée et adopté par d'autres compagnies et utiliser dans l'industrie pétrolière.

2.1.1. La méthode $\Delta\text{Log R}$

L'application de cette technique est de mettre en combinaison essentiellement deux paramètres de diagraphie (sonique/résistivité), respectons les directives suivantes :

- Les courbes, sonique et résistivité sont interpolées on respectant l'échelle (100 $\mu\text{sec/ft}$) qui correspond a deux cycles sur l'échelle logarithmique de la résistivité.

- Les intervalles qui se localisent dans la zone d'interpolation (**line de base**) des deux courbes sont pauvres en matière organique et le TOC tend vers la valeur minimale (Pessay, 1990).
- Les intervalles riches en matière organique sont facilement déterminés par la séparation entre les courbes.
- Il faut déterminer les valeurs de résistivité et de sonique à la line de base.

La séparation entre la résistivité et le sonique correspond à $\Delta \text{Log R}$ d'où vient la nomination de cette technique, cette valeur empirique peut être mesurée à n'importe quels intervalles, elle a une relation linéaire avec la richesse en matière organique représentée par le paramètre TOC (Pessay, 1990), donc les valeurs de la séparation sont convertibles en TOC prenant en considération le niveau de degré de métamorphisme (LOM) qui peut être déterminé directement sur la charte établie par Hood et Al, 1975, L'expression algébrique pour calculer la séparation entre la résistivité et le sonique est :

$$\Delta \text{Log R Sonique} = \log_{10} (R/R_{\text{line de base}}) + K \times (\Delta t - \Delta t_{\text{line de base}})$$

$\Delta \text{Log R sonique}$: valeur de la Séparation

R: la valeur de la résistivité à un intervalle donné

R_{line de base}: valeur de la résistivité à la zone d'interpolation

Δt : la valeur de sonique pour un intervalle donnée

$\Delta t_{\text{line de base}}$ valeur de sonique à la zone d'interpolation

K: Est un facteur d'échelle dépendant de log de porosité

K = -0.02 pour le sonique, 2.5 pour la densité et 0.04 pour le neutron logs

À partir des valeurs de $\Delta \text{Log R}$ on peut calculer le TOC, prenons en considération la valeur du degré de maturité régionale de la matière organique dans le silurien du bassin de l'Ahnet selon l'équation suivante;

$$\text{TOC} = (\Delta \log R) \times 10 (2.297 - 0.1688 \times \text{LOM}) \text{ (Pessay, 1990)}$$

2.2. La Maturité thermique

La maturité thermique comme définition est l'état de dégradation de la matière organique en fonction de la profondeur d'enfouissement avec l'augmentation de la pression litho stratigraphique et le gradient géothermique, elle a un rôle primordial dans la formation des hydrocarbures (Hood et al, 1975), la maturité dans notre étude elle est déterminée par les techniques des gaz ratio (Haworth et al. 1985) en utilisant les enregistrements des analyses des gaz par chromatographe durant le forage, ces fluides proviennent des formations géologiques traverser.

L'idée d'utiliser ces techniques à pour objective de minimiser le cout et gagné du temps du déplacement des échantillons au laboratoire pour des analyses lourdes couteuses comme la vitrinite et l'altération thermique, et l'usage il parait très utile surtout avec le lancement des projets gaz de schiste à travers le monde surtout que la maturité est un paramètre clef dans l'évaluation des schistes.

Auparavant ces techniques sont utilisés dans les réservoirs conventionnels pour caractériser les fluides de réservoir et déterminer les zones de contact, toujours dans la même logique on a essayé d'utiliser les caractères des fluides renfermés pour avoir une idée sur l'état de maturité de la matière organique qui est la source de ces fluides, qui peut être décrite en général par cinq étapes successives(Hood et al, 1975),:

- l'enfouissement de la matière organique dans des formations sédimentaires type qui assure un mieux confiné, réducteur qui va activé l'activité bactérienne (anaerobique) c'est le stade de la dégradation biogénique.
- Avec l'enfouissement souterrain, en passe au stade de dégradation thermique gouverné par la pression lithologique et le gradient géothermique, avec l'augmentation progressive de température, des molécules de pétrole se forme (fenêtre à huile)
- Migration des hydrocarbures vers une roche-réservoir perméable poreuse
- Avec l'augmentation des paramètres précités en allons en profondeur en assiste a la formation des fenêtrés a gaz.
- La carbonisation c'est la transformation progressive de la matière organique en charbon.

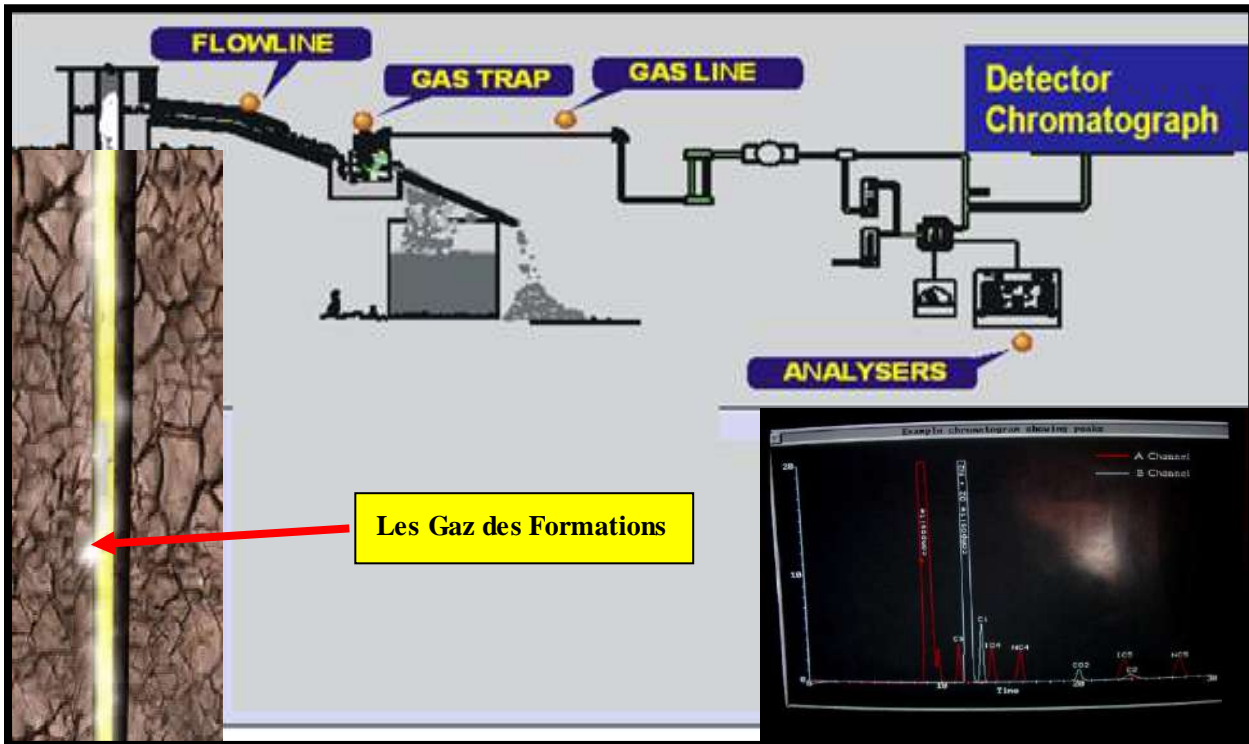


Figure.36- Chaîne d'acquisition des données de gaz
(Sonatrach., Schlumberger 2007)

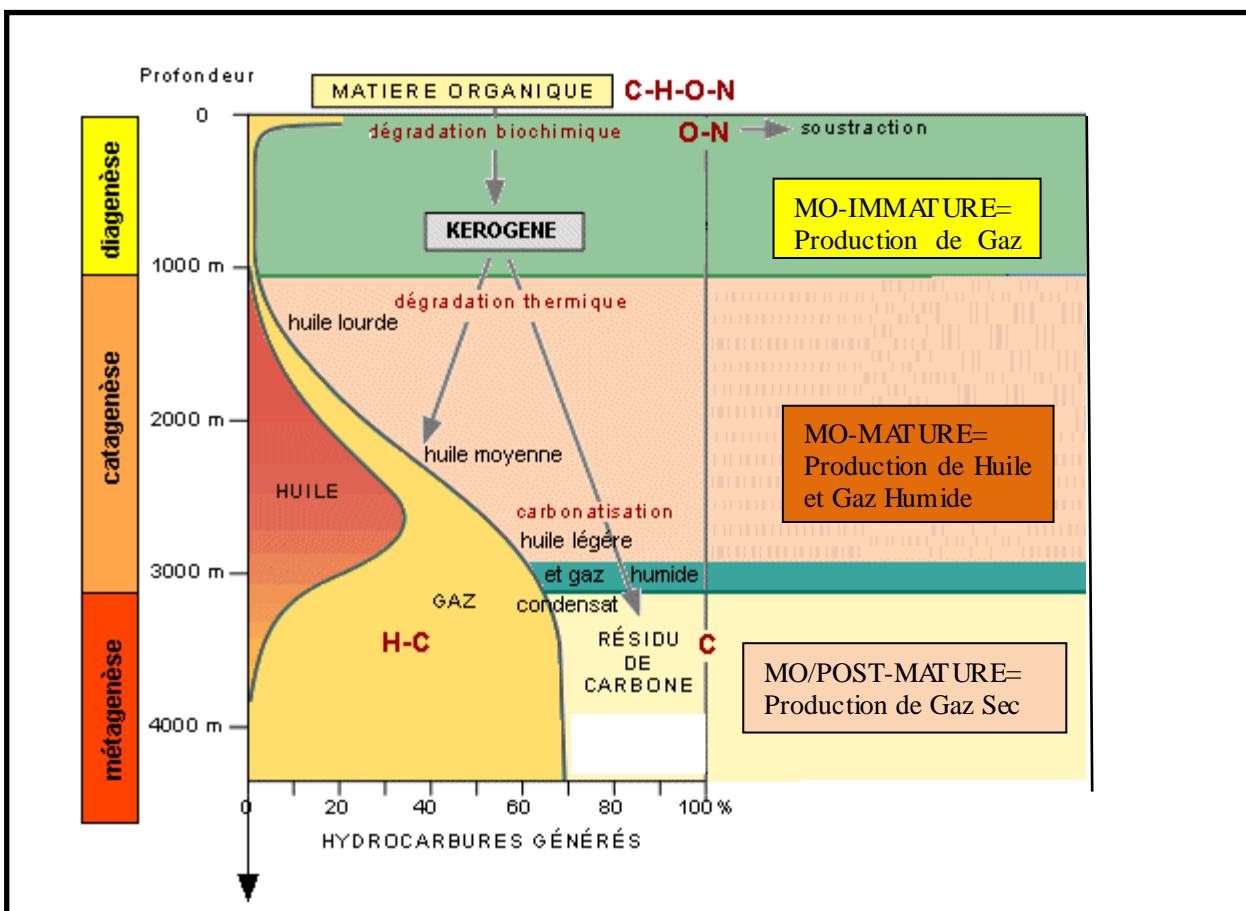


Figure37- La Genèse des Hydrocarbures (Hood et al, 1975),

2.2.1. Les Techniques des Gaz Ratio

C'est une technique fondée sur trois équations qui relie les gaz détectés durant le forage du méthane (C1) jusqu'au pentane (C5), les gaz enregistrés se manifestant comme une suite continue gouvernée par deux poles, C1 gaz sec et C5 liquide léger.

2.2.1.1. Mouillabilité (Wetness-Wh) :

C'est le rapport de la somme des gaz sans méthane (C1) sur la même somme avec C1 exprimé en %, ce paramètre va nous donner une idée sur le type de fluide s'il a une tendance vers les gaz secs ou bien vers les condensats et les huiles.

$$Wh = \frac{C2 + C3 + C4 + C5}{C1 + C2 + C3 + C4 + C5}$$

(Baker Hughes.,1995)

2.2.1.2. Rapport d'équilibre (Balance-Bh)

Le rapport balance c'est une comparaison directe entre les les deux poles, l'un qui a une tendance vers les gaz et l'autre vers les huiles, il a une relation inverse avec la densité. Il sert à confirmer le potentiel de production du gaz, par conséquent une valeur très élevée indique que le fluide est un gaz très sec, puis le rapport diminue dès qu'il y a des traces des d'huiles.

$$Bh = \frac{C1 + C2}{C3 + C4 + C5}$$

(Baker Hughes.,1995)

2.2.1.3. Rapport caractère (Character-Ch)

Ce rapport il est très utilisé pour déterminer avec précision les zones gaz à celle des zones qui contiennent des gaz associés aux huiles la prédominance d'éthane (C3) par rapport au butane (C4) et pentane (C5) confirme que le réservoir il est a gaz.

$$Ch = \frac{C4 + C5}{C3}$$

(Baker Hughes.,1995)

Pour déterminer les caractéristiques du fluide de réservoir en fonction des gaz ratio on va se référer aux valeurs repère pour chaque type (J.H. Haworth, M.P. Sellens, A. Whittaker; 1985).

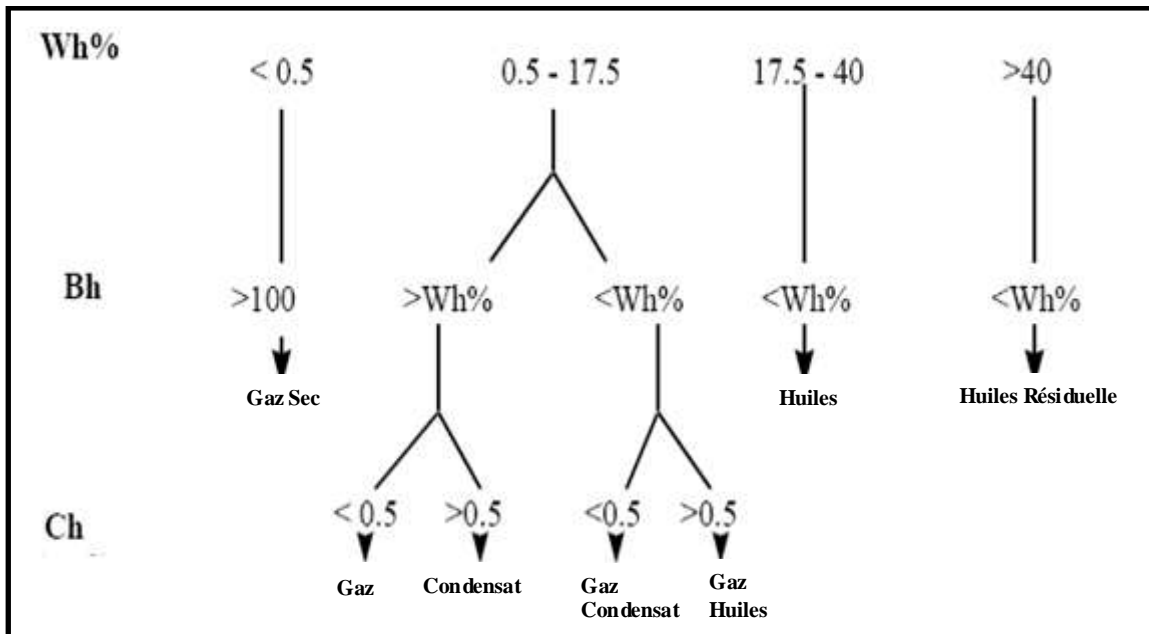


Figure.38- Charte d'interprétations des Gaz Ratio (Baker Hughes.,1995)

3. Protocole d'évaluation des schistes

Dans l'évaluation des réservoirs non conventionnelles type schistes, on va focaliser sur des puits localisée dans le périmètre d'étude, SHALE PLAY, la logique de choix dépend essentiellement de la disponibilité des données ainsi le positionnement des puits dans le périmètre.

L'objective est de déterminer les zone potentielle par l'intégration des différentes méthodes et technique sur chantier (évaluation instantanée) et pour une meilleure évaluation des réservoirs type schiste il est conseillé de :

- Nettoyer le puis chaque remontée
- L'entretien et calibration quotidiens du système gaz
- Évacuer le bouchon de fond après chaque pic de gaz

3.1. Déterminer les intervalles radioactifs

En utilisant le log de diagraphie gamma ray, le long de l'intervalle étudié on peut limiter les zones largement radioactive en utilisant une ligne de base qui correspond à 150 API, plus l'intervalle il est radioactive plus le taux de uranium est élevé cela signifie un milieu réducteur riche en matière organique (Pessay, 1990)

3.2. Estimation de la richesse en matière organique

Les valeurs du temps de transit des ondes acoustiques et de résistivités dans les formations schisteuses impliquées dans l'équation de calculs de $\Delta \text{Log R}$ sont les paramètres de base de l'estimation de la richesse (TOC), suivant les théories des formes d'existence des gaz (Curtis, 2002), (W.Jing et al, 2011) on peut dire qu'un intervalle riche en matière organique peut contenir un taux de gaz élevé.

3.3. Déterminer les intervalles à gaz sec

Les fenêtres à gaz sec sont déterminées par l'application des techniques des gaz ratio, à travers l'interprétation des chartes de la mouillabilité et la balance en même temps, Dans un projet récent de gaz de schiste comme le cas de l'Algérie il est préférable de cibler les zones à gaz sec facile à récupérer vu la légère densité de gaz sec par rapport à d'autre type d'hydrocarbure.

3.4. Sélectionnées les fenêtres optimums

C'est des intervalles potentiels qui regroupent les paramètres recommandés pour un bon réservoir de schiste (TOC, Gaz sec, radioactif) qui devrait être traversé latéralement par un forage horizontal, donc on peut trouver un intervalle radioactif qui n'est pas vraiment riche en matière organique, mais pas le contraire, la même chose avec les intervalles à gaz secs et la richesse en matière organique

La chronologie du protocole elle est basée essentiellement sur ses constatations.

4. Application du protocole d'évaluations

Six puits ils ont été sélectionnés pour l'évaluation éparpillée sur la surface de notre périmètre d'étude SHALE PLAY, pour des raisons de confidentialité exigée par sonatrach on va pas mentionner les noms des puits qui vont être remplacé par des chiffres (Puits1, Puits2.....ect).

4.1. L'évaluations du Puits 1

Le puits 1 localiser dans la partie Nord-Ouest du périmètre SHALE PLAY, a traversé des séries sédimentaires d'âge mésozoïque qui repose en discordance sur des terrines paléozoïques.

Le silurien a été topé a 1285 m forés jusqu'au 1749 m d'une épaisseur de l'ordre de 450 m, l'évaluation suivant le protocole proposé a révélé que ;

4.1.1. Localisation des intervalles radioactive

Le log de gamma ray à travers le silurien dans le puits 1 à montre des intervalles radioactifs dispatchés en discontinuités sur le profile verticale, dans notre étude on va prendre en considération les intervalles ou les valeurs de la radioactivité dépasse les **150 API** avec maintien et une allure progressive.

Le log d'évaluation a révélé que le top de la zone radioactive est a1700m +/- 3 m, avec une épaisseur de l'ordre 50m.

4.1.2. Richesse en Matière organique

L'estimation de la richesse en matière organique dans le puits 1 a enregistré un moyen silurien de l'ordre de 1,50 %, les valeurs maximales sont enregistrées dans la partie basale avec un moyen de l'ordre de 2 %.

Comme mentionné auparavant l'intervalle riche en matière organique il est susceptible de contenir plus de gaz dans le cas de notre puits le top de la zone à gaz selon les teneurs en TOC calculé il est a 1730 m l'équivalent de 20 m d'épaisseur.

4.1.3. L'intervalle à gaz sec

L'enregistrement des analyses chromatographiques des gaz durant le forage nous a permettez d'interpréter et déterminer les trois paramètres de base impliquée dans les gaz ratio talque ; la mouillabilité, la balance et le caractère.

D'après la charte de caractérisations des fluides de réservoir en constate que la le silurien renferme des gaz, avec un caractère qui est inférieur a 0,5 dans tout l'intervalle et la mouillabilité varie de 1,23 % a 6,5 %, largement inférieur a la balance qui oscille de 40 a 251 dans tout l'intervalle du silurien et cela confirme le type de fluide déterminer (J.H. Haworth et al, 1985).

Sur le plan quantitatif en remarque que le taux de gaz a augmenté a la base de silurien, le premier pic de gaz a été enregistré à la cote 1692m avec maintien jusqu'à la base de silurien et cela coïncide pratiquement avec le top de l'intervalle gaz sec qui est a 1700m(fig.41-42).

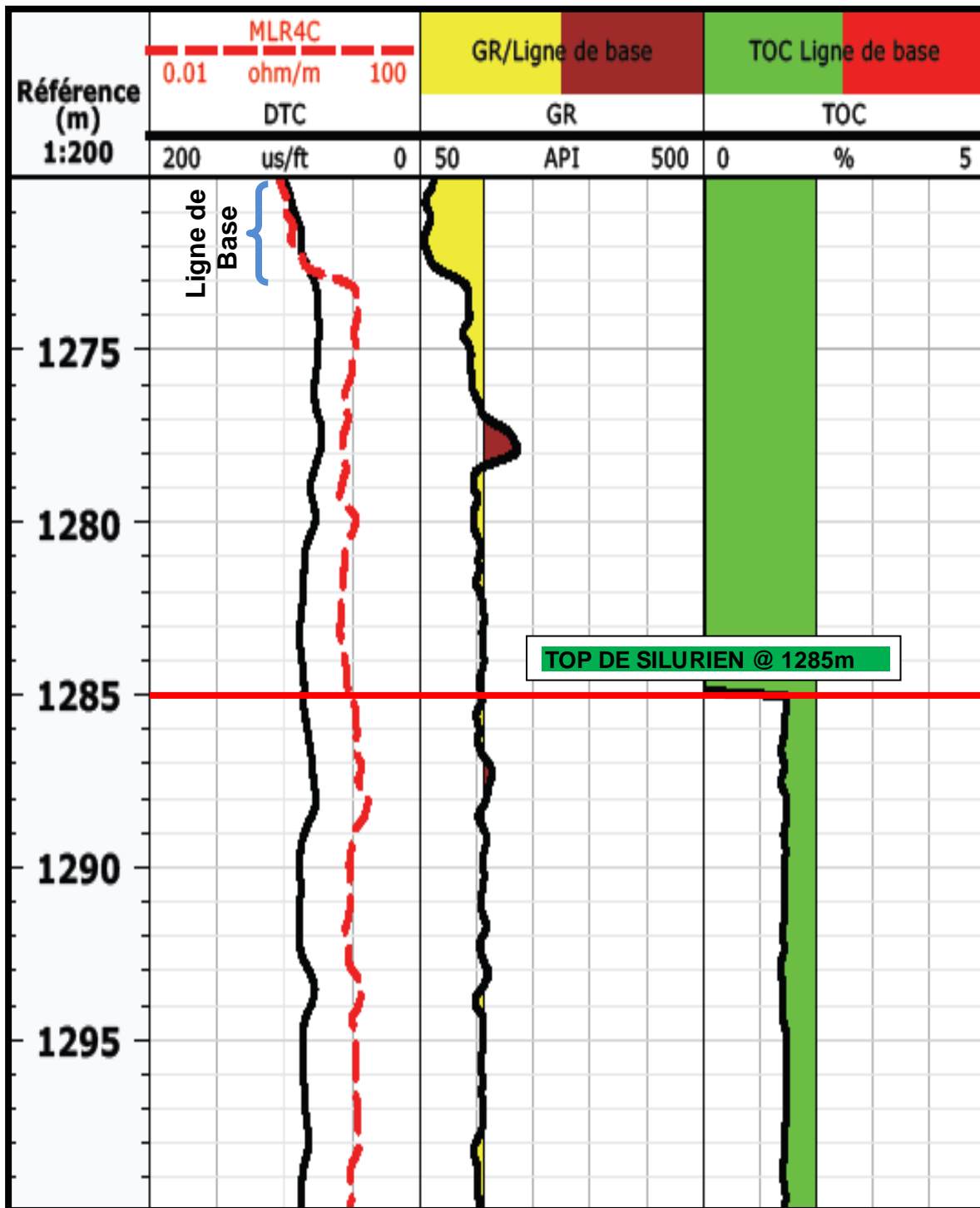


Figure.39- Log d'évaluation Du Puits montrant les intervalles Potentiel 1(a)

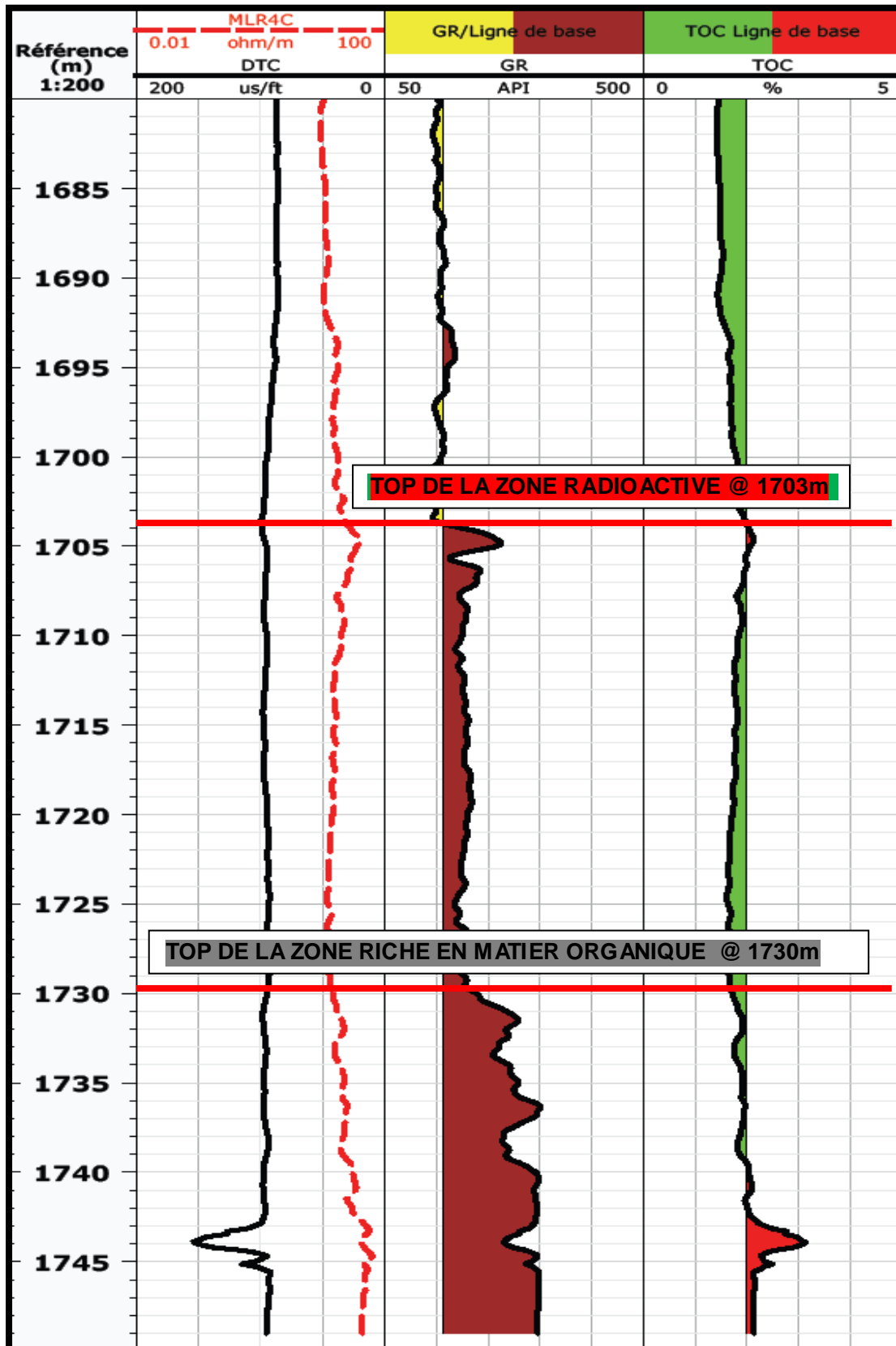


Figure.40- Log d'évaluation Du Puits montrant les intervalles Potentiel 1(b)

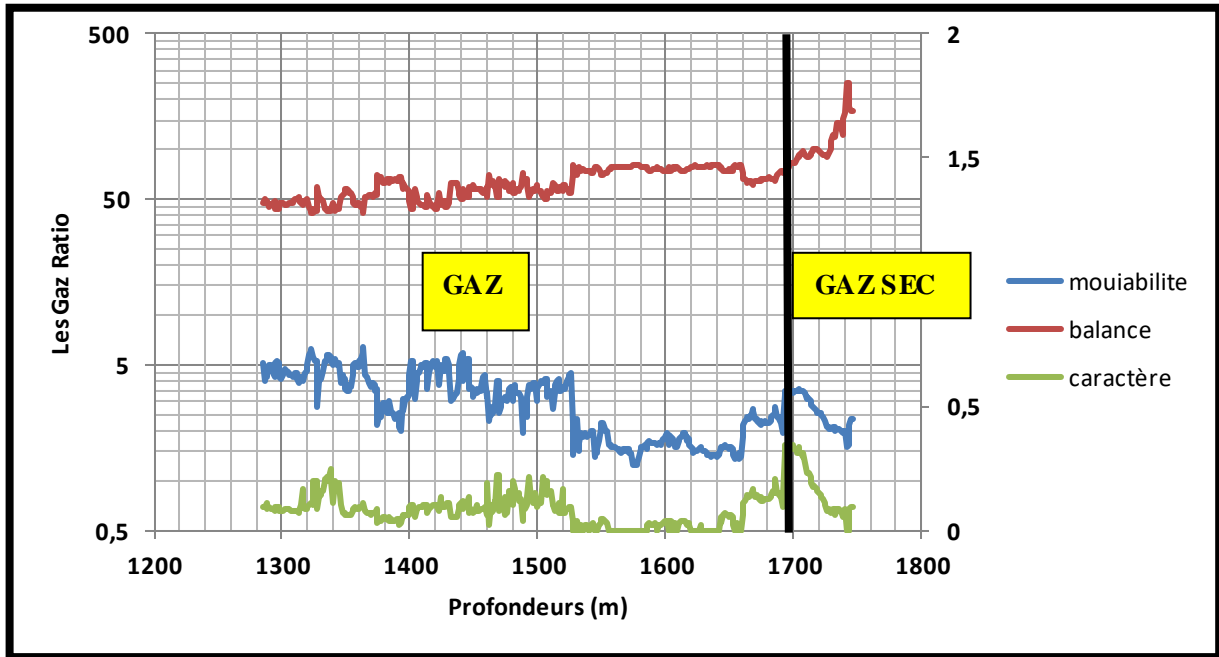


Figure.41- Caractérisations des fluides de réservoir (Puits1)

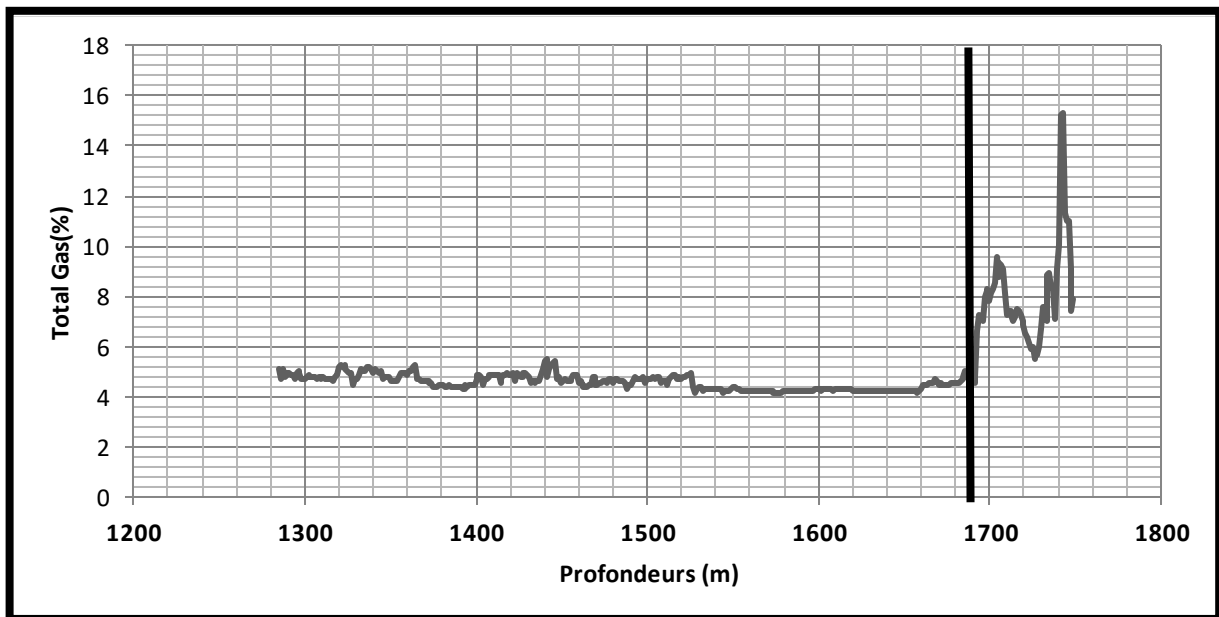


Figure.42- la Variation des Taux de Gaz en fonction De la profondeur dans le Puits1

4.2. L'évaluations du Puits 2

Le puits 2 se positionne dans le Sud-Ouest du périmètre SHALE PLAY, la particularité dans le puits, est que le silurien il est près de la surface, topé a 253 m, forés jusqu'au 567 m, l'épaisseur elle est de l'ordre de 350 m.

4.2.1. Localisation des intervalles radioactive

L'interprétation du log d'évaluations relatives au puits2 indique que la radioactivité est pratiquement faible, inférieure à 150 API le long du silurien du top a la base a l'exception du mètre entre la cote 529m et 530 m(fig.43).

4.2.2. Richesse en Matière organique

La richesse en matière organique elle est presque nulle avec une moyenne de l'ordre de 0,10 %, dans tout le silurien du Puits 2 pas d'intervalle marquant qui peut être considéré comme zone potentielle qui devrait être exploité dans le future.

4.2.3. L'intervalle à gaz sec

D'après la charte de caractérisations des fluides de réservoir en remarque que les schistes de silurien contiens des hydrocarbures type huiles avec un minimum de mutabilité de 25 % largement supérieur a la balance qui varie de 2 a 10, (fig.44).le caractère il est de l'ordre de 0,60 dans tout l'intervalle et cela reflète exactement l'état de la maturité de la roche qui se localise près de la surface donc les conditions de températures et de la pression sont pas assez favorable pour arriver au stade poste mature (fenêtre a gaz).

Sur le plan quantitatif les taux de gaz ne sont pas stables et cela ne reflète pas vraiment les quantités libérées, le système d'enregistrement des gaz elle n'est pas a encore calibrer.

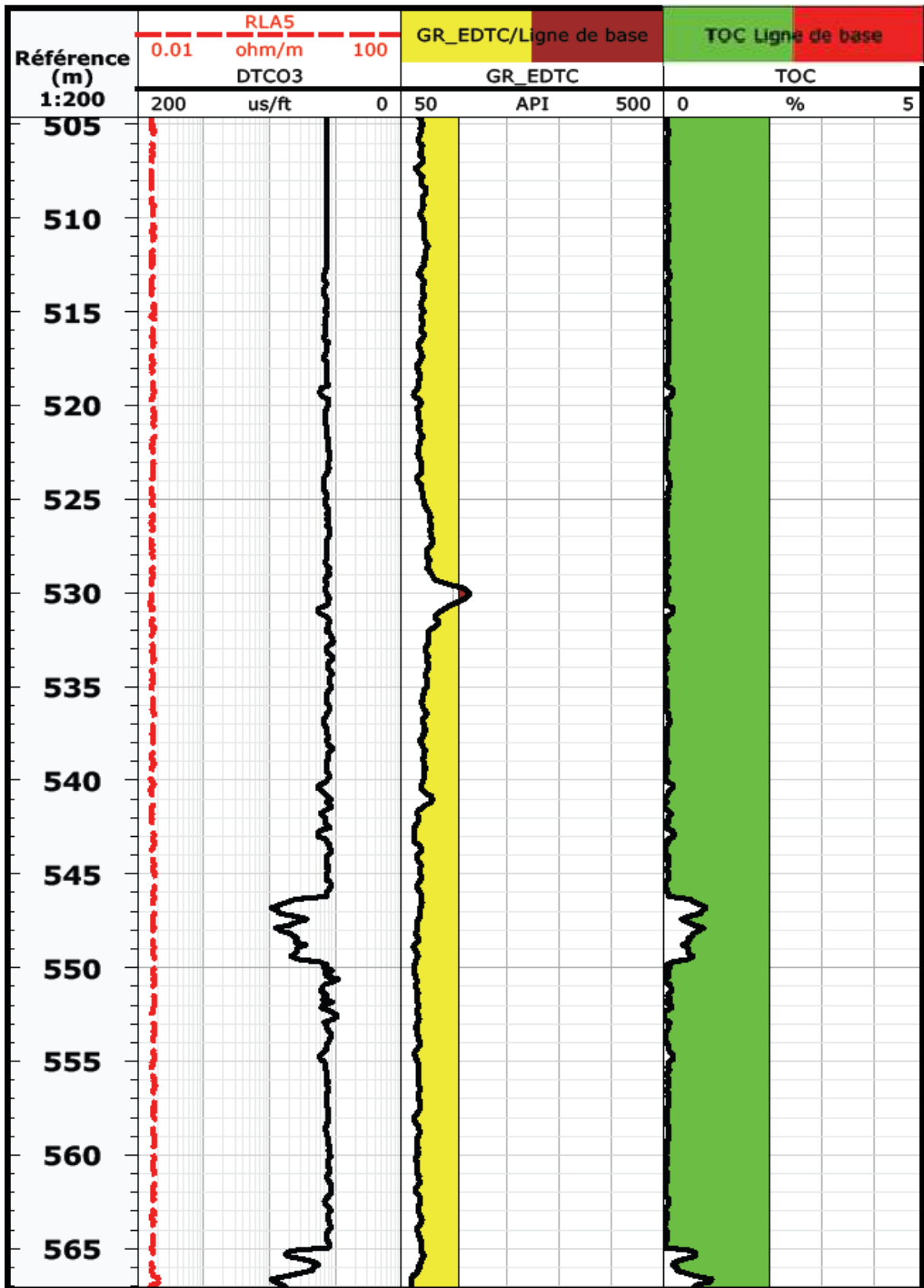


Figure.43- Log d'évaluation du Puits 2 montrant les intervalles Potentiel

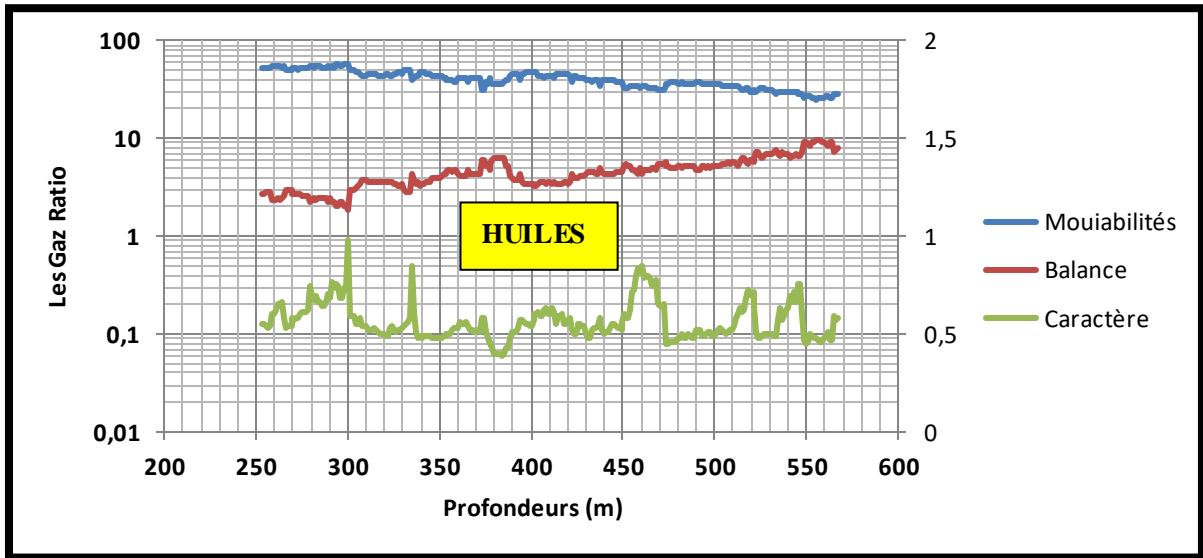


Figure.44- Caractérisations des fluides de réservoir (Puits2)

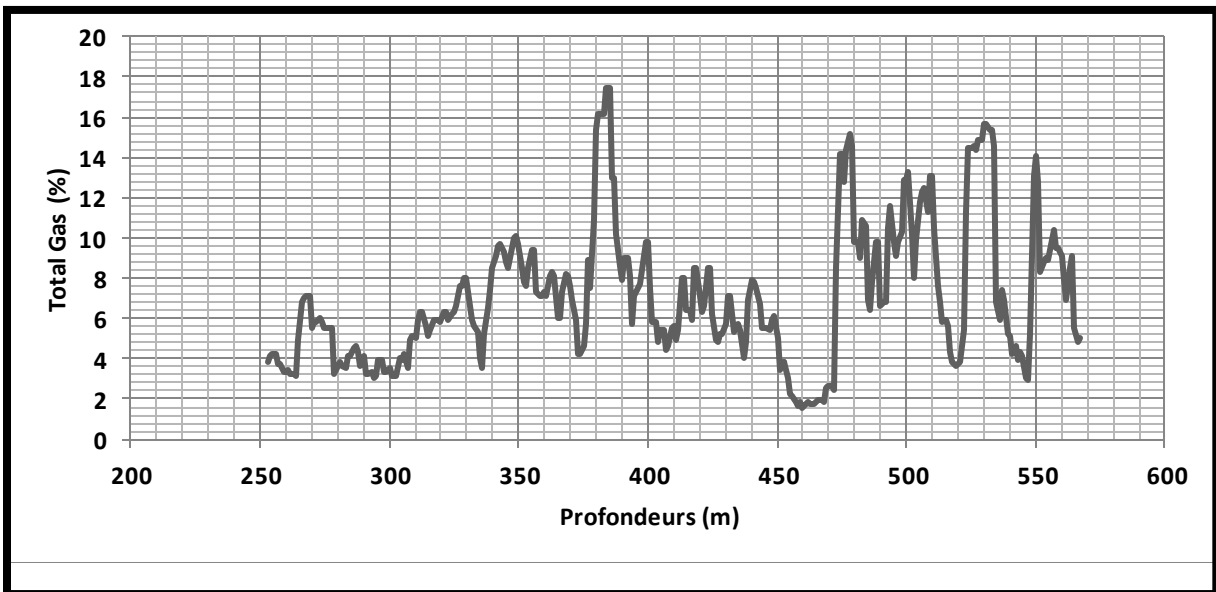


Figure.45- la Variation des Taux de Gaz en fonction De la profondeur dans le Puits 2

4.3. L'évaluation du Puits 3

Le puits 3 occupe la partie Nord-est du périmètre SHALE PLAY, l'épaisseur du silurien est de l'ordre de 573m, la série sédimentaire représentée par des formations d'âge mésozoïque et paléozoïque.

4.3.1. Localisation des intervalles radioactive

L'intervalle radioactif s'étale du 2478 m avec maintien jusqu'à la base du silurien avec des fortes valeurs de radioactivités qui dépassant parfois les 1000 API, l'épaisseur moyenne de la zone radioactive est de l'ordre de 175 m avec une tendance progressive vers la base, la radioactivité moyenne de silurien il est de l'ordre de 170 API

4.3.2. Richesse en Matière organique

Le moyen des valeurs de TOC dans les schistes de silurien elle est de l'ordre de 1,5 %, la distribution des valeurs montre que la base du silurien est une zone riche en matière organique, avec un moyenne supérieur a 2 %, le tope il est a 2612 m, qui donne une épaisseur de 40 m.

4.3.3. L'intervalle à gaz sec

Les rapporte de gaz enregistré on traversant le silurien du puits 3, indique que la mouillabilité des fluides piégés dans les argiles est entre 1 % et 30 %, alors que les valeurs de la balance oscillante de 4 a 376, pour le caractère la quasi-totalité des valeurs sont inférieurs a 0,5.

L'interprétation des résultats mentionnés indique la coexistence de deux types de fluide ; des gaz humides et gaz secs ;

- **Zone à Gaz** : du 2079 m jusqu'au 2415 m, une épaisseur de l'ordre

De 335 m, la mouillabilité à tendance progressive contrairement a la balance avec des moyennes respectivement de l'ordre de 5 % et 78, et un caractère inférieur a 0,5

- **Zone à Gaz sec** : en allant de la cote 2415 jusqu'a la base de silurien en

Constata de la prédominance du caractère gaz sec avec une mouillabilité de l'ordre de 4 % avec une tendance régressive et une balance de 150 avec une tendance progressive.

Sur le plan quantitatif l'allure progressive des gaz enregistrés commence à partir de la cote 2500 m, avec une moyenne de 14 % le pic de gaz le plus élevé et de l'ordre de 30 %.

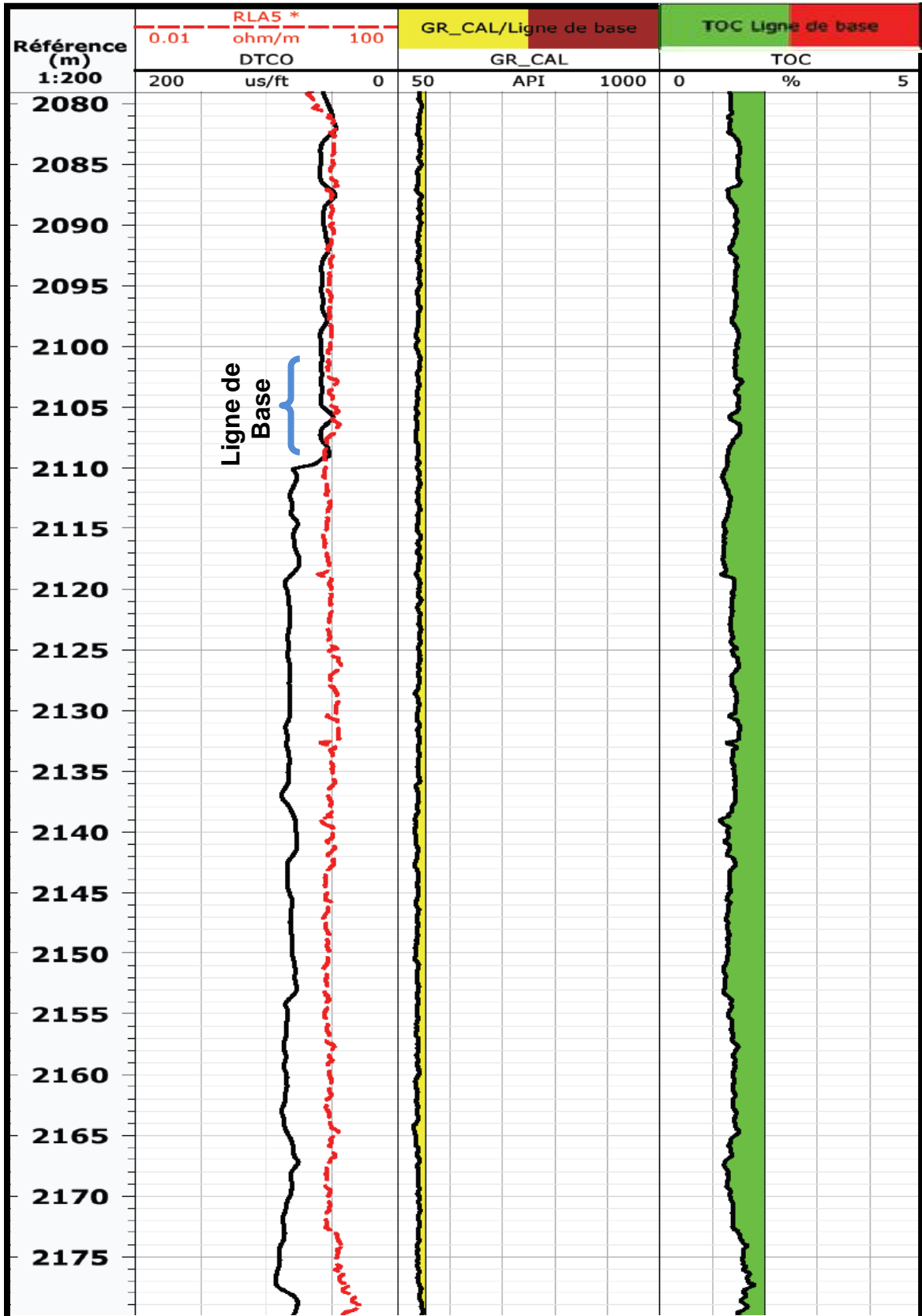


Figure.46- Log d'évaluation du Puits 3(a) montrant les intervalles Potentiel

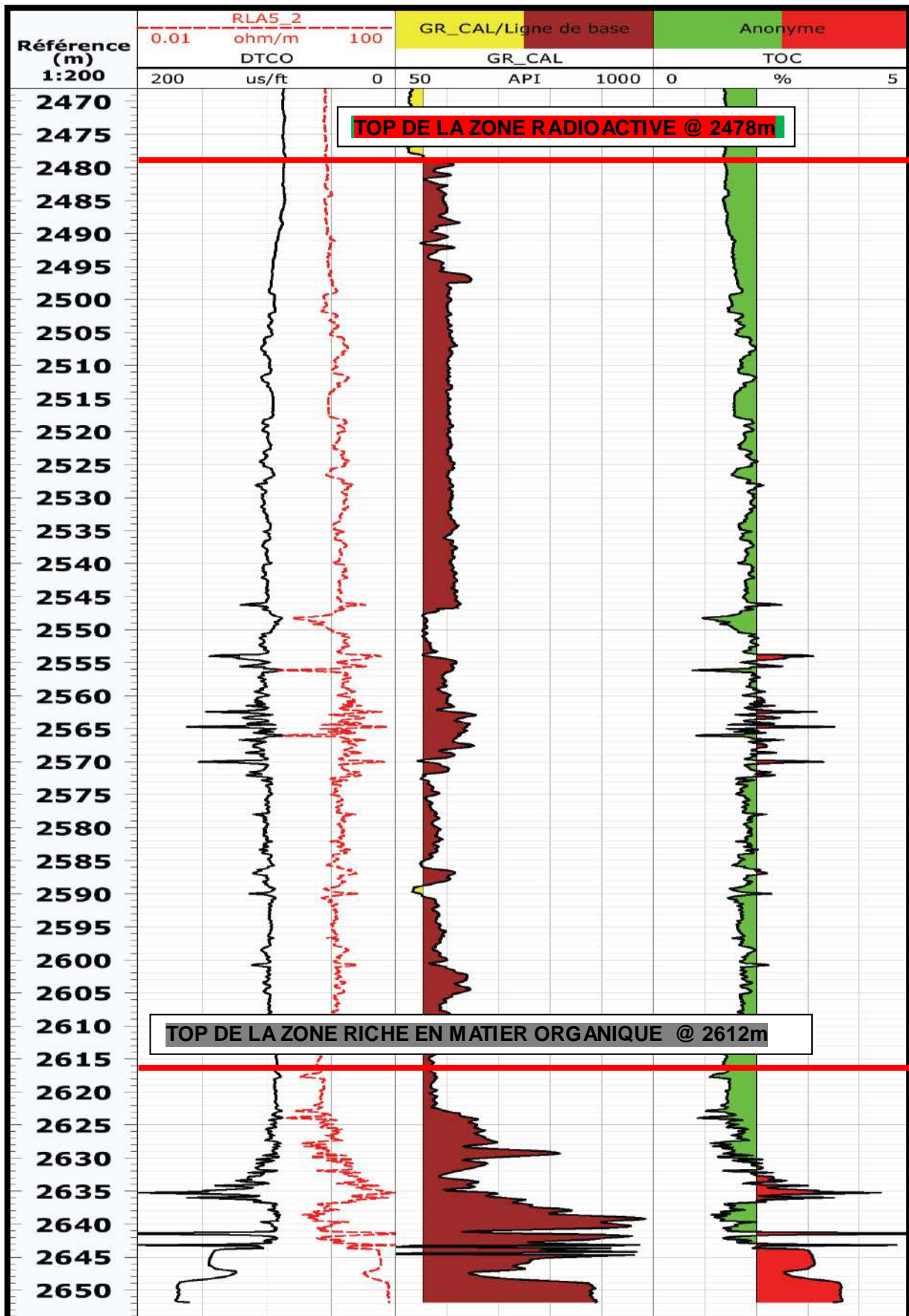


Figure.47- Log d'évaluation du Puits 3(b) montrant les intervalles Potentiel

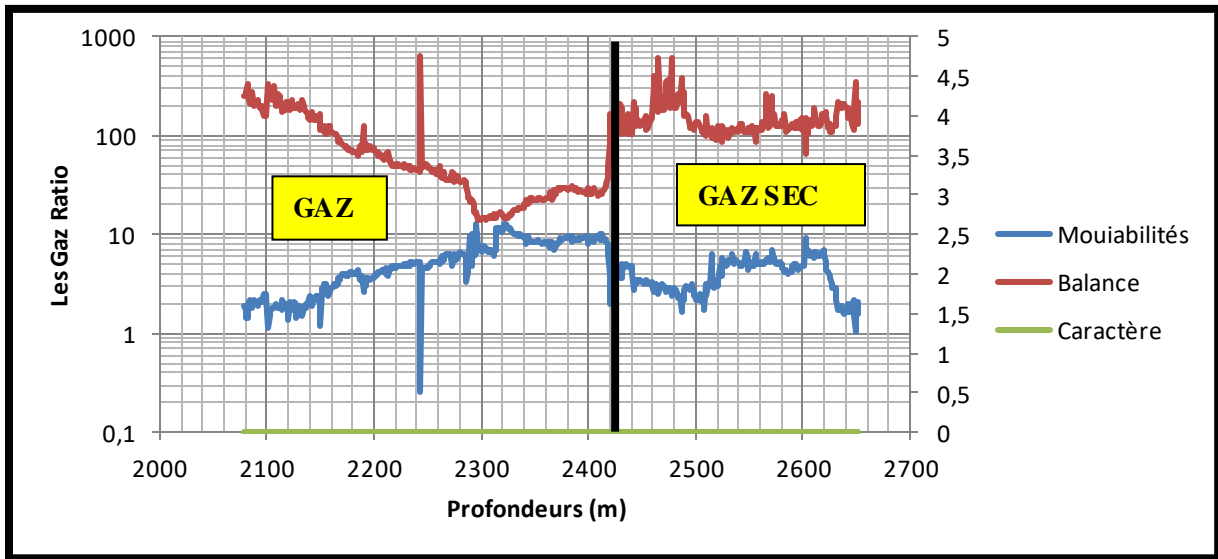


Figure.48- Caractérisations des fluides de réservoir (Puits3)

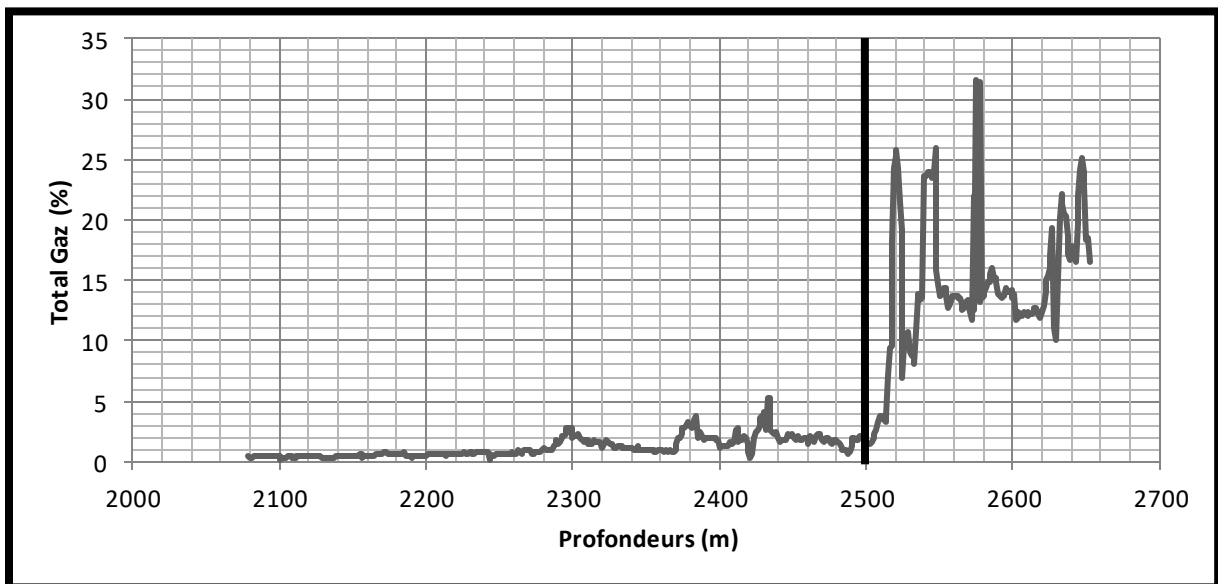


Figure.49- la Variation des Taux de Gaz en fonction De la profondeur dans le Puits 3

4.4. L'évaluation du Puits 4

Le puits 4 implanté dans le sud-est du périmètre d'étude représenté par des terrains d'âge paléozoïque dès la surface, le silurien figure avec une immense épaisseur qui est de l'ordre de 1000 m en allons de 865 jusqu'au 1830.

4.4.1. Localisation des intervalles radioactive

La zone radioactive elle a été topée à 1565 m s'élargit sur une épaisseur de 265 m Marqué par des valeurs de gamma ray qui attendre parfois les 800 API a la base, la radioactivité moyenne du silurien il est de l'ordre de 200 API.(fig.50-51)

4.4.2. Richesse en Matière organique

Le total organique carbone dans le silurien du puits 4 varie du 0,8 % jusqu'au 2,80 % l'équivalent d'une moyenne de 1,70 %, comme le cas dans les puits précédents la richesse en matière organique a une tendance progressive vers la base.

Suivant la distribution des valeurs de TOC on a opté de mètre le top de la zone riche en matière organique a la coté 1600 m qui lui offre par conséquent une épaisseur de 230 m.

4.4.3. L'intervalle à gaz sec

La variation de la mouillabilité et la balance avec le caractère en fonction d la profondeur montre la prédominance du caractère gaz dans tout l'intervalle avec différente ampleur, se qui nous a menés de différencier deux zones ;

Zone a gaz

Elle s'étale du top de silurien jusqu'au côté 1600 m, marqués par une mouillabilité de l'ordre de 12 %, et une balance maintenue supérieure de l'ordre de 20. Pour le caractère il est inférieur a 0,5 dans tout l'intervalle

la Zone a gaz sec

dès la cote 1565m ; qui représente le pion de flexure pour les deux paramètres qui prenons des allures intensives, pour la mouillabilité les valeurs décroît progressivement la moyenne enregistré est de l'ordre de 5 %, la balance marquée par des valeurs qui dépasse les 100.

Le total gaz qui quantifier les gaz libérés en traversons une formation géologique indique un accumulations importante a la base a la cote +/-1600 m.

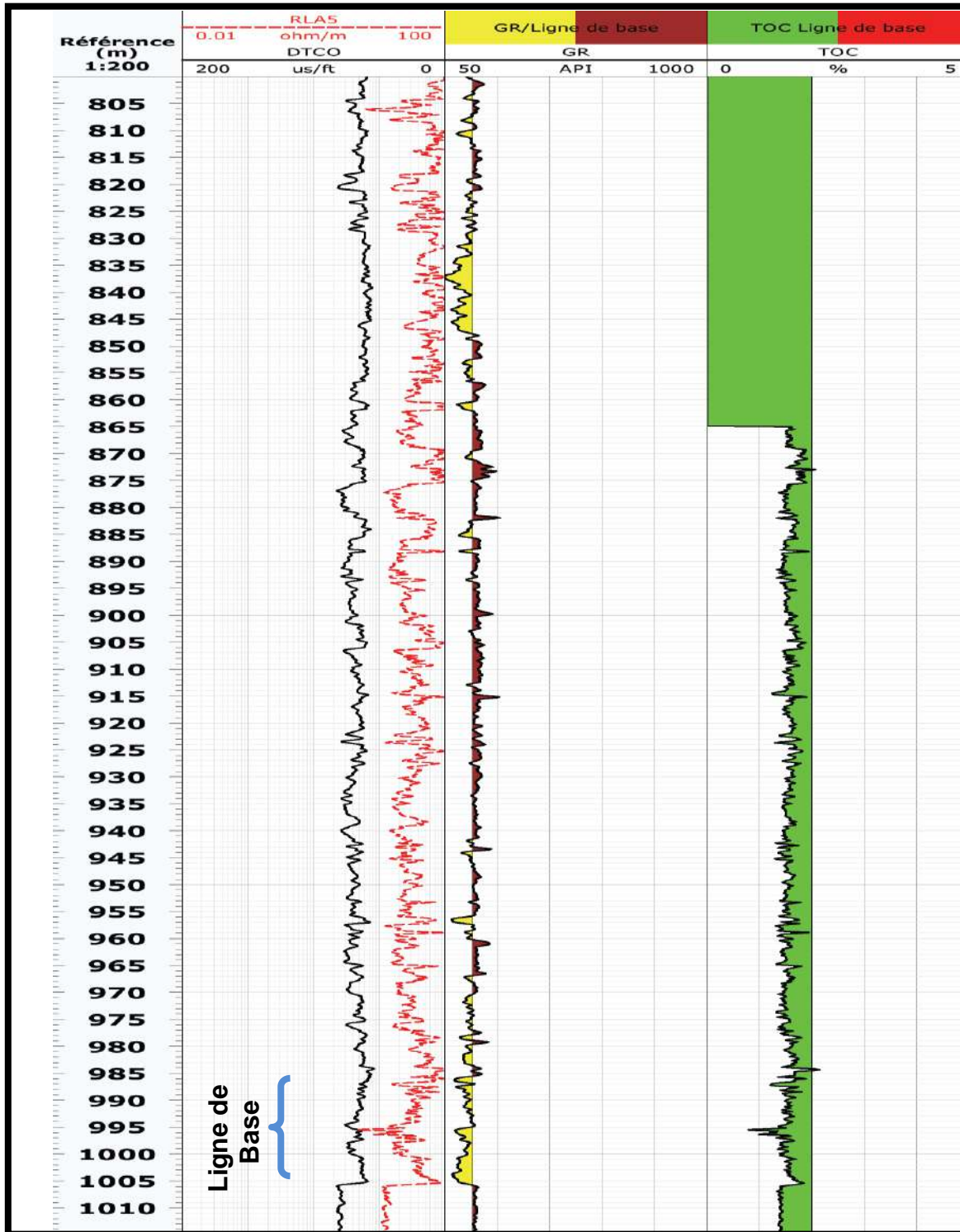


Figure.50- Log d'évaluation du Puits 4(a) montrant les intervalles Potentiel

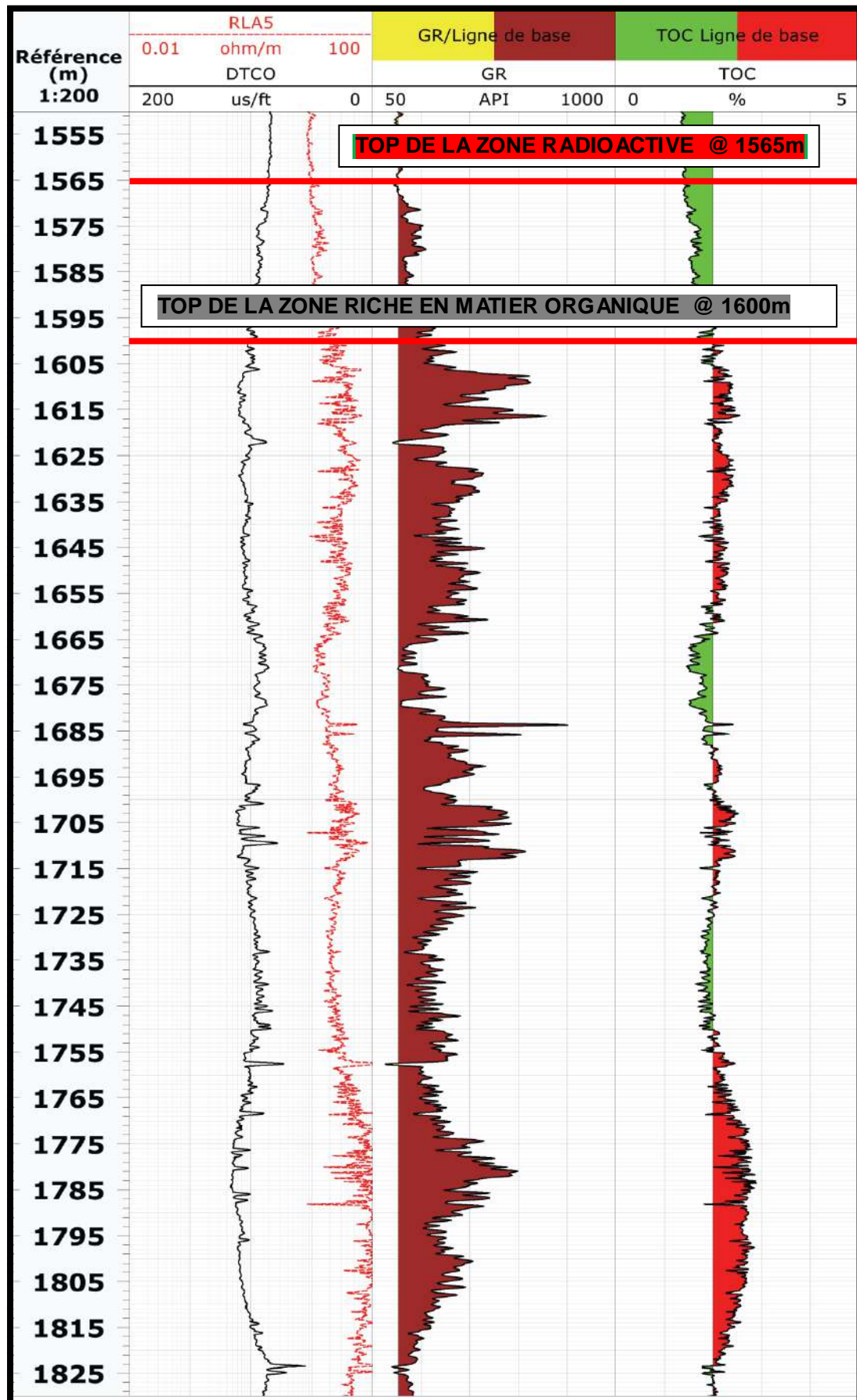


Figure.51- Log d'évaluation du Puits 4(b) montrant les intervalles Potentiel

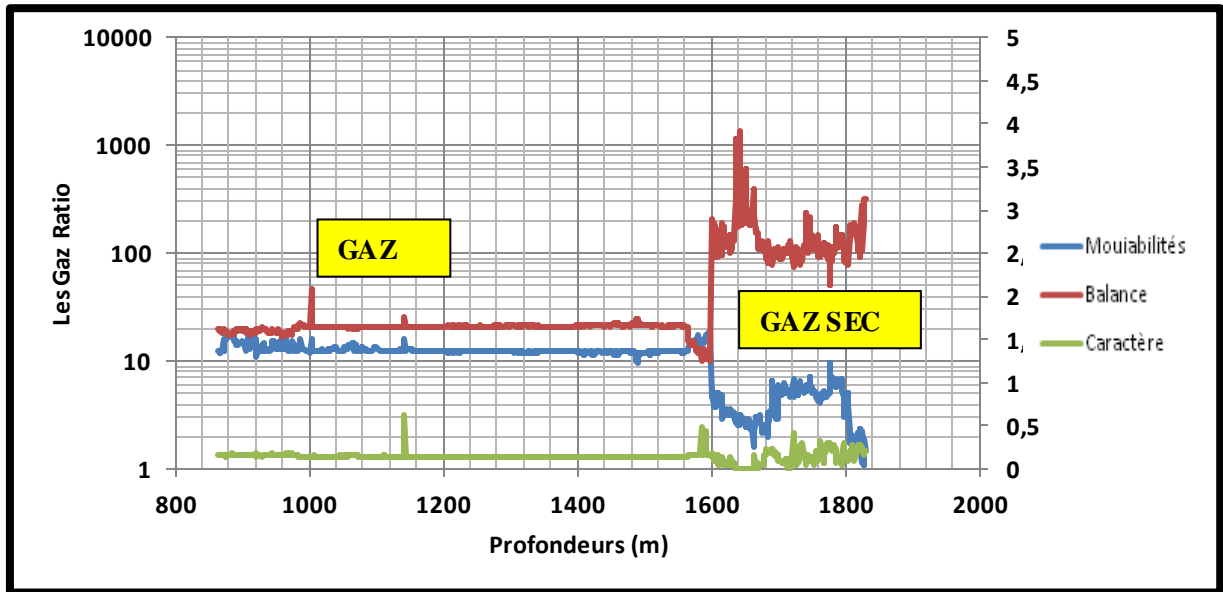


Figure.52- Caractérisations des fluides de réservoir (Puits4)

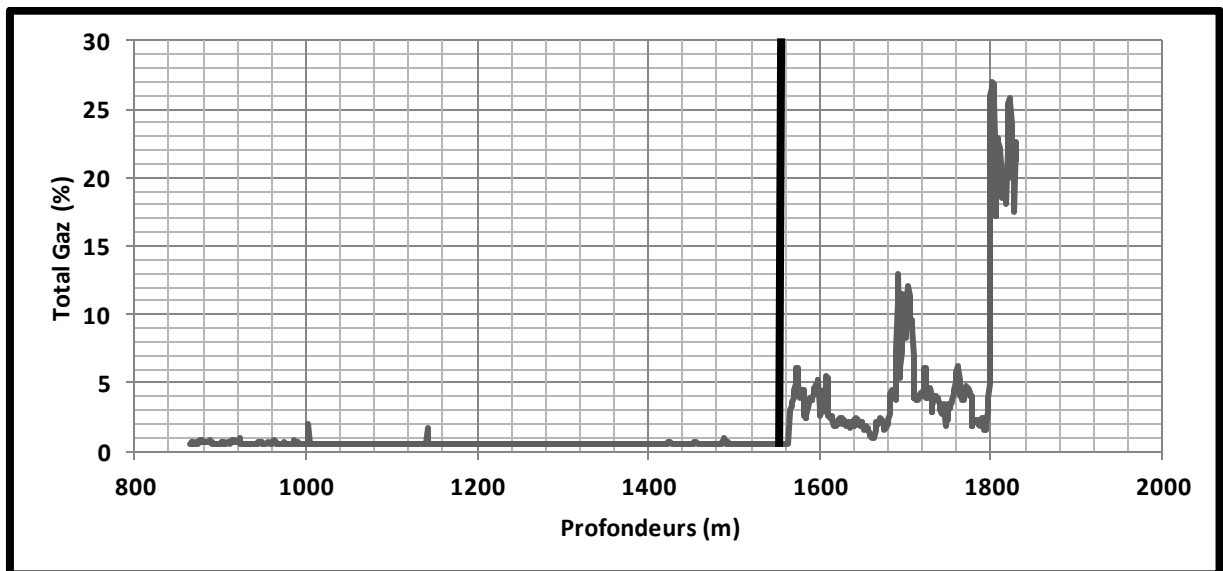


Figure.53-la Variation des Taux de Gaz en fonction
De la profondeur dans le Puits 4

4.5. L'évaluation du Puits 5

Le puits 5 a été foré dans le sud-ouest du périmètre d'étude figuré par des terrines d'âge paléozoïque dès la surface, le silurien a été rencontré à 685 m, foré jusqu'à la cote 935m désignons une épaisseur de l'ordre de 250 m.

4.5.1. Localisation des intervalles radioactive

L'opération électrique dans le puits a révélé que la radioactivité prend une allure progressive vers la base, les intervalles les plus radioactifs atteignent à la cote 820m avec maintien jusqu'à la base, avec l'enregistrement d'une moyenne de la radioactivité de l'ordre de 205API, avec un maximum de 555API.

4.4.2. Richesse en Matière organique

L'abondance de la matière organique dans le puits 5, a une moyenne silurienne de l'ordre de 1,60 % l'intervalle le plus riche localisé entre 892 m et 922 m avec une médiane de 1,85 %.

4.5.3. L'intervalle à gaz sec

L'interprétation instantanée des gaz ration nous a permis de déterminer que les fluides piégés dans les schistes de silurien du puits 5, sont des gaz et condensat avec des valeurs de mouillabilité qui varient de 2 % à 4 % , la balance présente une moyenne de 255 maintenu toujours supérieur à la mouillabilité dans tout l'intervalle Le caractère qui a donné l'aspect condensat au fluide oscille de 0,05 à 1.

Donc du top à la base de silurien on distingue :

- **Zone à Condensat**

Elle s'étale du top jusqu'à 750 m, la mutabilité de l'ordre de 2 % et la balance 155, le caractère 0,70. L'épaisseur de cette zone est de 65 m

- **zone à gaz**

S'exhibe de 750 m à 925 m l'équivalent de 175 m, cette zone est caractérisée par une mouillabilité de l'ordre de 2 % largement inférieure à la balance qui est de l'ordre de 200, le caractère maintenu inférieur à 0,5.

- **Zone à Gaz sec**

La zone à gaz sec détermine lorsque le comportement de la mouillabilité prend une allure régressive contrairement à la balance, dans ce puits cette zone se manifeste à partir de la cote 925 m, une épaisseur de 10m, Point de vue quantitatif les gaz commencent à se libérer de plus en plus à partir de la cote 800m avec un maximum de 5 %.

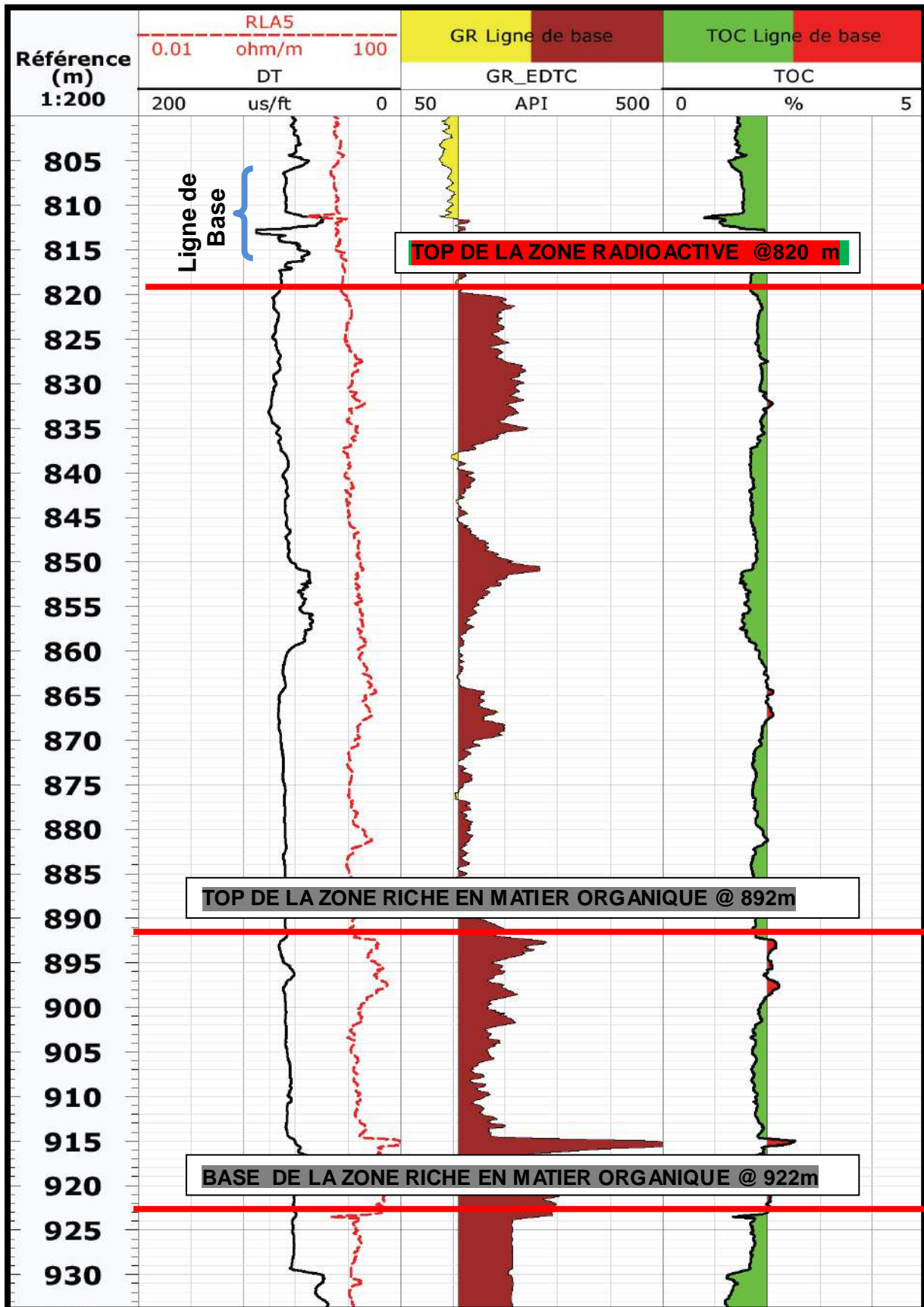


Figure.54- Log d'évaluation du Puits 5 montrant les intervalles Potentiel

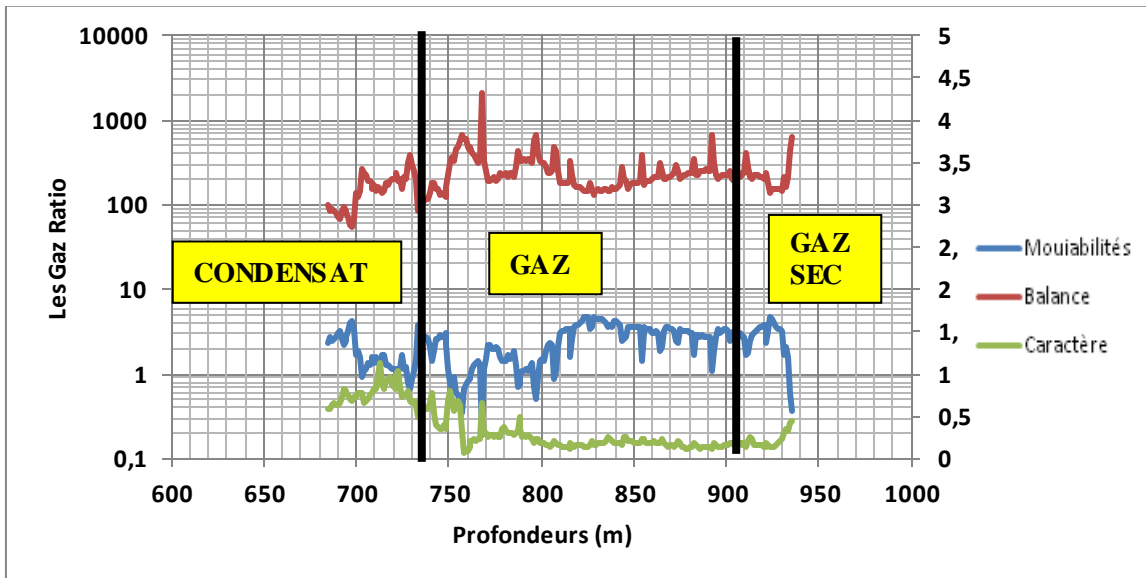


Figure.55- Caractérisations des fluides de réservoir (Puits5)

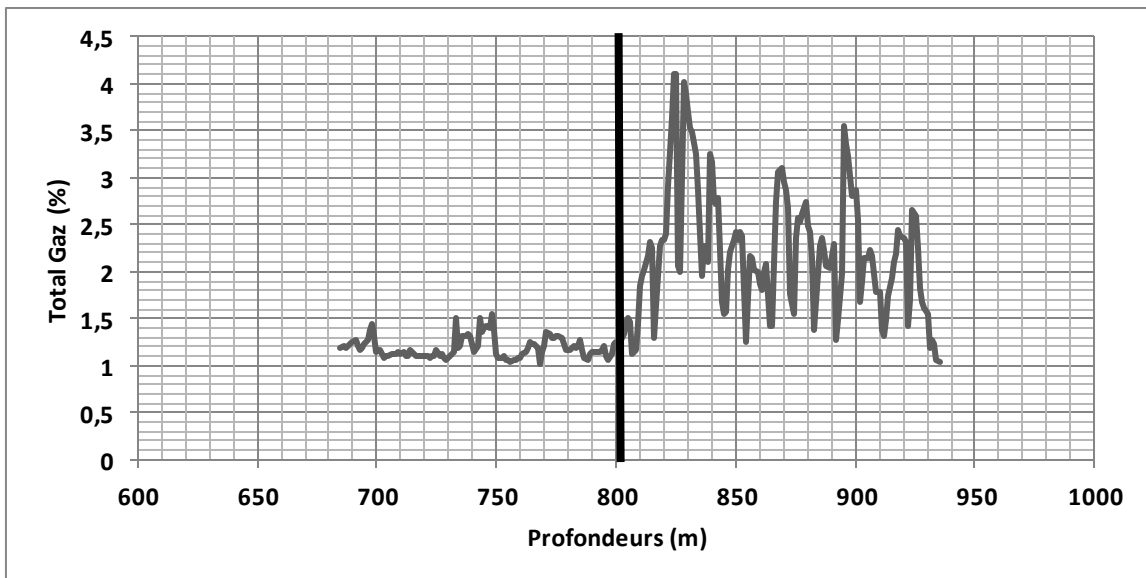


Figure.56-la Variation des Taux de Gaz en fonction De la profondeur dans le Puits 5

4.6. L'évaluation du Puits 6

Le puits 6 occupe la partie est du périmètre d'étude représenté par des terrains d'âge paléozoïque, le silurien a été rencontré à la cote 1228m couvre une épaisseur de 385 m.

4.6.1. Localisation des intervalles radioactive

L'enregistrement des diagraphies différer comme le gamma ray dans le silurien du puits 6 a montré une zonalité bien déterminé, ou on a constaté que la zone radioactive présente des radiations de l'ordre de 600 API avec un maximum qui dépasse 1000API à la cote 1588m jusqu'à la base.

4.6.2. Richesse en Matière organique

Exceptionnellement dans ce puits la zone radioactive coïncide avec la zone riche en matière organique, avec TOC moyen de 2,40 %, la richesse globale de silurien elle est de l'ordre de 1,65 %.

4.6.3. L'intervalle à gaz sec

Les rapports des gaz enregistrés durant le forage en traversons le silurien dans le puits 6 montre la prédominance des hydrocarbures type gaz sur tout l'intervalle, prouver par les valeurs de mouillabilité qui varie de 3 % à 7 % largement inférieur à la balance qui présente des valeurs supérieures à 100 le long de l'intervalle, le caractère il est nul vu l'absence totale des gaz légers dans l'enregistrement. Vers la base du silurien à la cote +/-1600 la mouillabilité et la balance prennent l'allure progressive et régressive se comportent comme le passage vers le gaz sec (fenêtre à gaz sec).

Sur le plan quantitatif, le premier pic de gaz a été enregistré à 1560m avec un taux de 3,5 %.

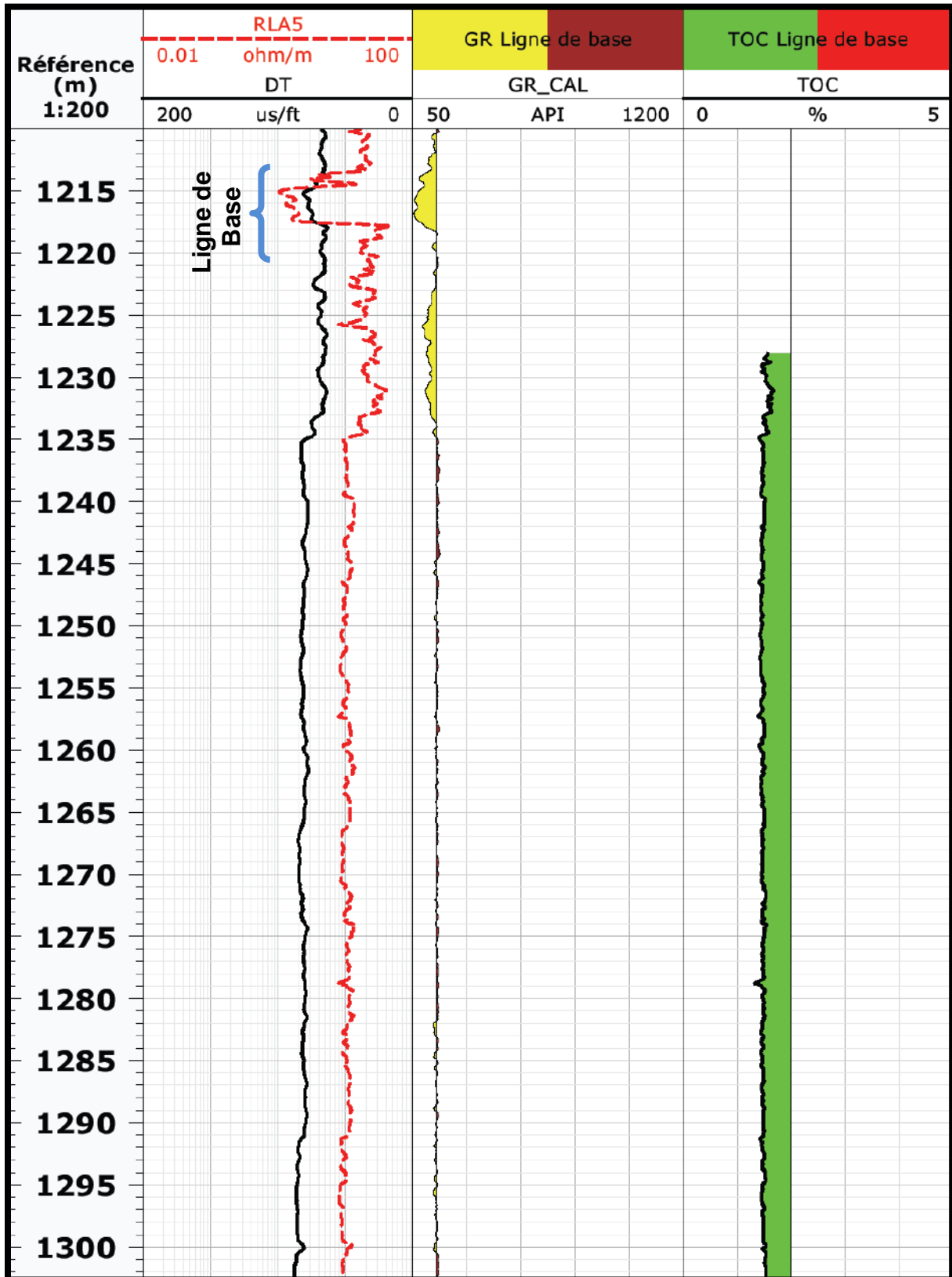


Figure.57- Log d'évaluation du Puits 6 (a) montrant les intervalles Potentiel

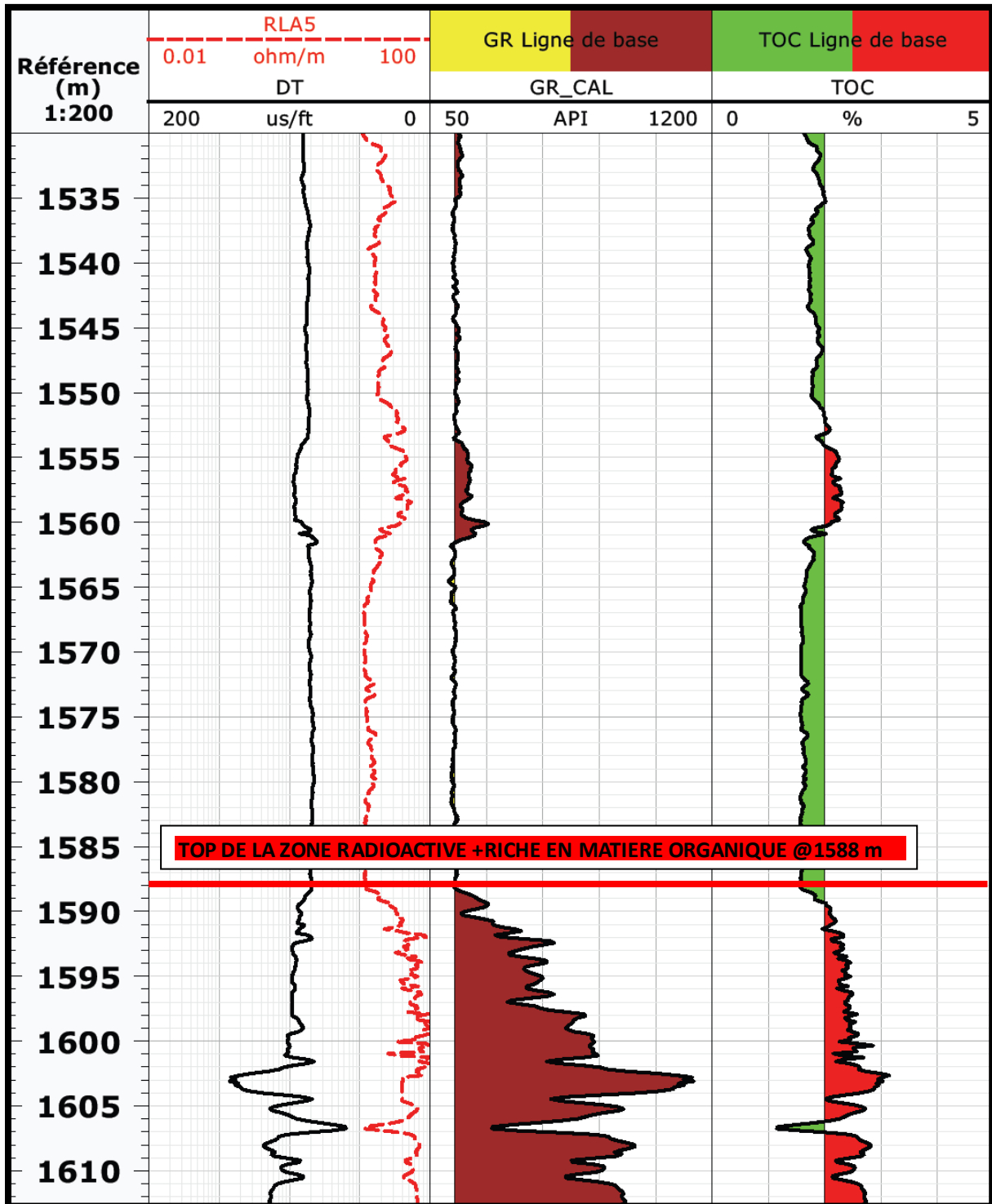


Figure.58- Log d'évaluation du Puits 6 (b) montrant les intervalles Potentiel

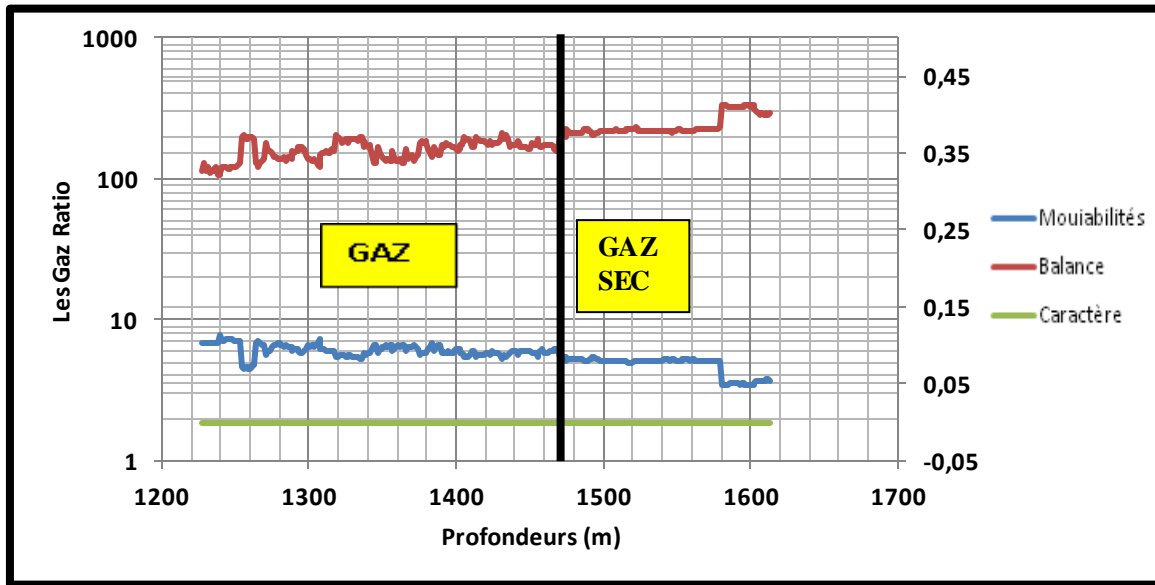


Figure.59- Caractérisations des fluides de réservoir (Puits6)

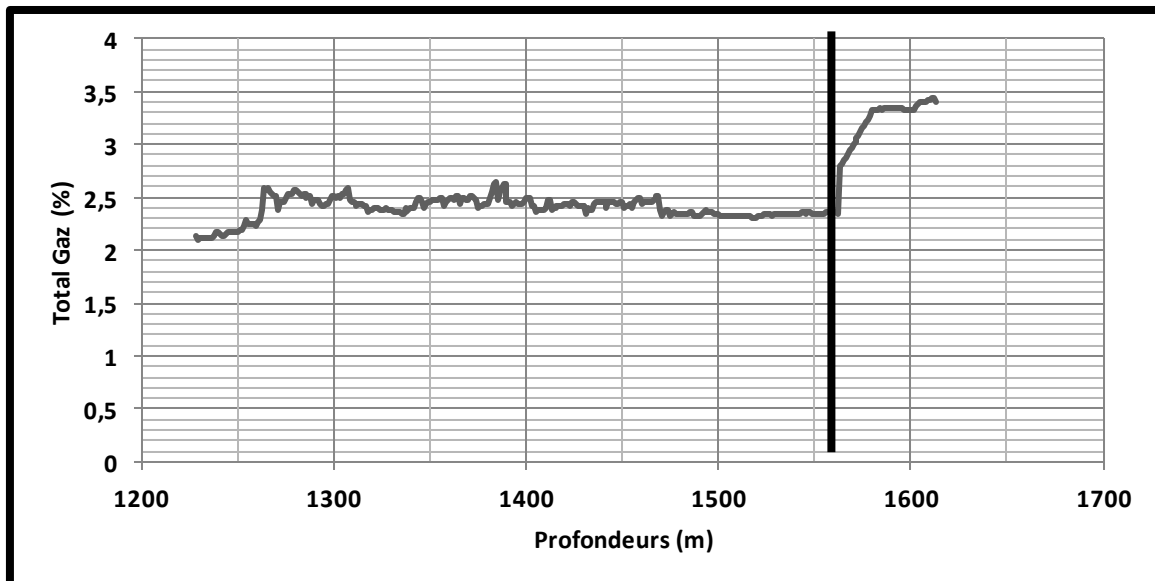


Figure.60- la Variation des Taux de Gaz en fonction De la profondeur dans le Puits 6

5. Synthèse d'évaluation du périmètre SHALE PLAY

L'évaluation des puits sélectionnée nous a permis de reconnaître les intervalles potentiels en terme de ressource gaz de schiste tel-que ; la zone radioactive et riche en matière organique avec des épaisseurs qui varie de puits a un autre ainsi les intervalles a gaz et gaz sec.

Pour une évaluation régionale dans l'intérêt de l'exploitation des gaz de schiste il faut percevoir l'extension latérale de ces potentiels zone (Tab.1).

Tableau.1- les épaisseurs de silurien

Puits	TOP SILURIEN	BASE SILURIEN	EPAISSEURS
2	253	567	314
4	865	1830	996
5	685	935	250
6	1228	1613	385
1	1285	1749	464
3	2079	2652	573

5.1. Les Zones radioactives (Tab.2).

D'après la carte en isopach des zones radiatives du périmètre SHALE PLAY, on constate que les schistes dans les bordures-est, sont riches en éléments radioactifs par rapport à celle de l'ouest, la partie centre où le Silurien affleure la radioactivité elle est inférieure à 150API, donc point de vue exploitation des gaz de schiste cette zone elle est considérée comme stérile.

Cette distribution elle est gouvernée par plusieurs facteurs telle que la position structurale aux marges de silurien, où on a constaté que les puits occupent les zones base du périmètre d'étude avant la sédimentation des séries de siluriens sont les plus radiatives (P6, P3), même la pression lithostratigraphique des séries adjacentes, la carte en isopach du silurien montre que l'épaisseur de silurien attend ces valeurs maximales dans ces puits.

**Tableau.2- les épaisseurs des zones
Radioactives de silurien**

PUITS	TOP	BASE	EPAISSEURS
2	0	0	0
4	1565	1830	265
5	820	935	115
6	1588	1613	25
1	1703	1749	46
3	2478	2652	174

5.2. Richesse en matières organiques (Tab.3).

La distribution des zones riches en matière organique suit pratiquement l'allure des zones radioactives (Pessay et al, 1990), et cela il est confirmé par les rapports TOC/GR dans les six puits d'évaluation qui ont montré un bon coefficient de corrélation de l'ordre de 0,64, résultats très convaincants est qui nous assure les résultats de TOC estimé par la méthode de $\Delta \log R$.

La carte en Isopach des zones riches en matière organique (fig) indique que la partie est et beaucoup plus le sud-est a connu un enrichissement important en biomasse au début de silurien, donc c'est des zones susceptibles de générer des hydrocarbures même retenir des quantités en absorbance sur leur surface,

D'après la délimitation des zones on a constaté qu'un intervalle radioactif ça ne signifie pas forcément un intervalle riche en matière organique, mais le contraire est faux, une zone riche en matière organique elle est forcément radioactif.

**Tableau. 3- les épaisseurs des zones
Riche en matière Organique de silurien**

PUITS	TOP	BASE	EPAISSEURS
2	0	0	0
4	1600	1830	230
5	892	922	30
6	1588	1613	25
1	1730	1749	19
3	2612	2652	40

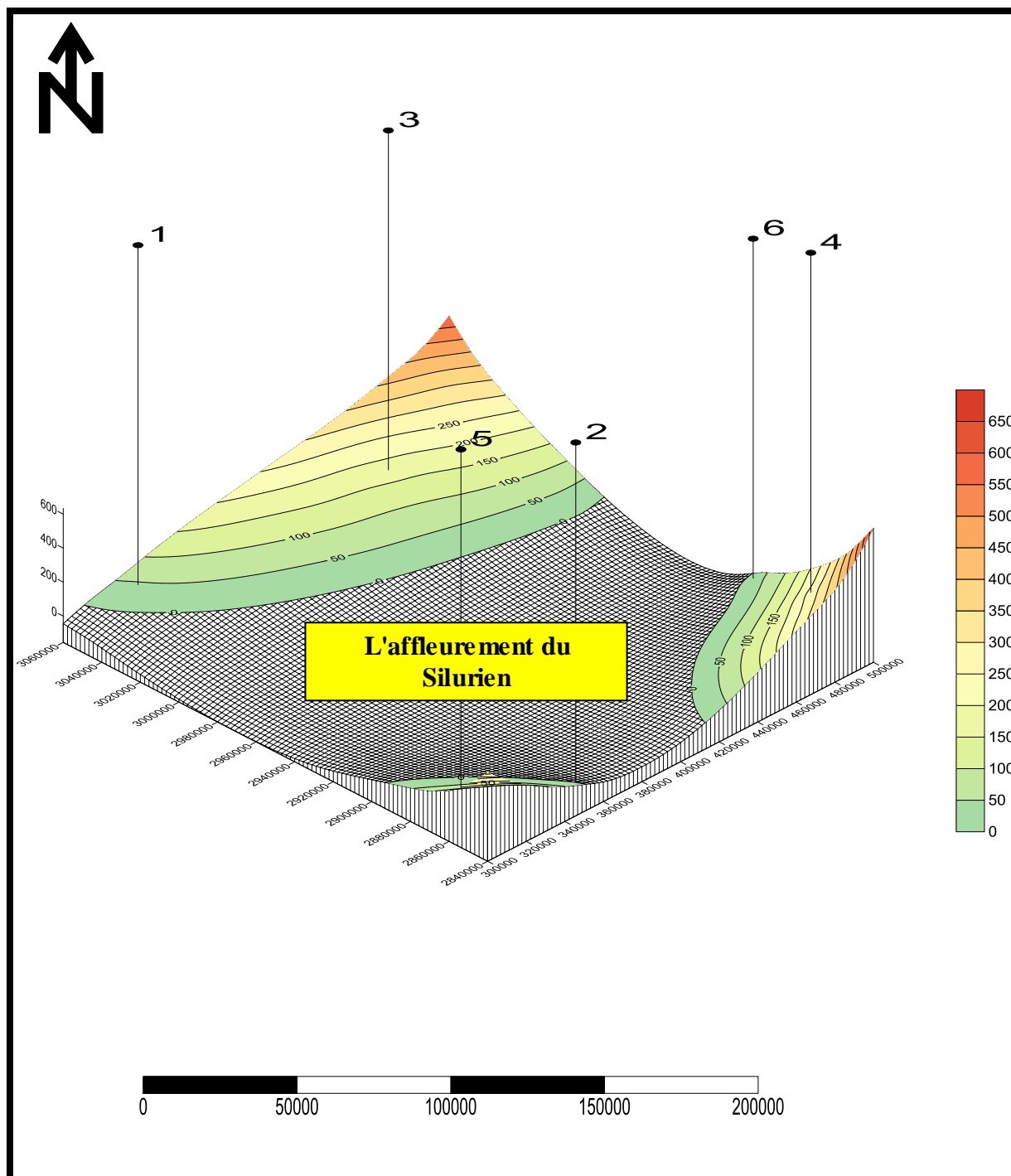


Figure.61- carte en Isopach des Intervalles Radioactive
Dans le Périmètre SHALE PLAY

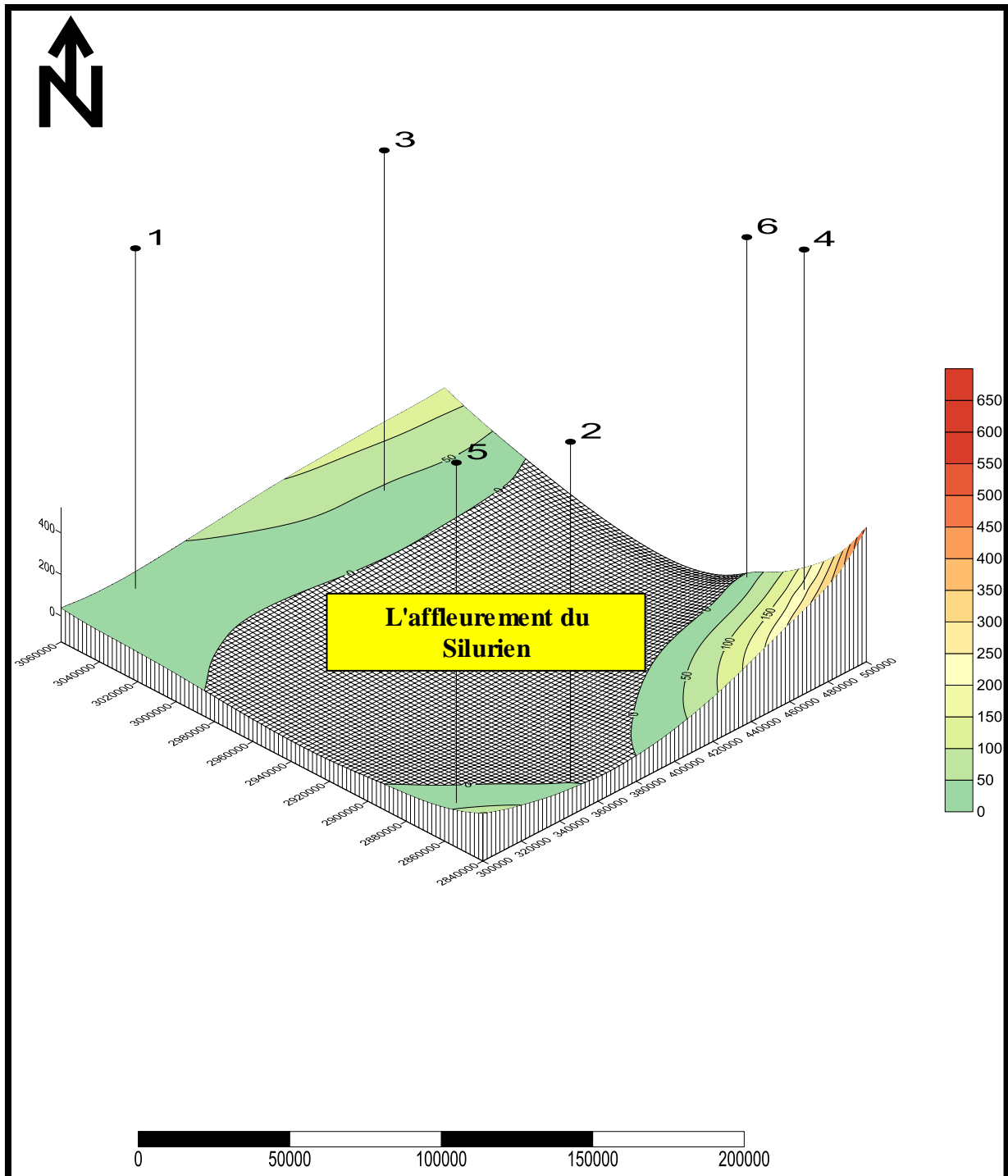


Figure.62- carte en Isopach des Intervalles Riche en Matière Organique
Dans le Périmètre SHALE PLAY

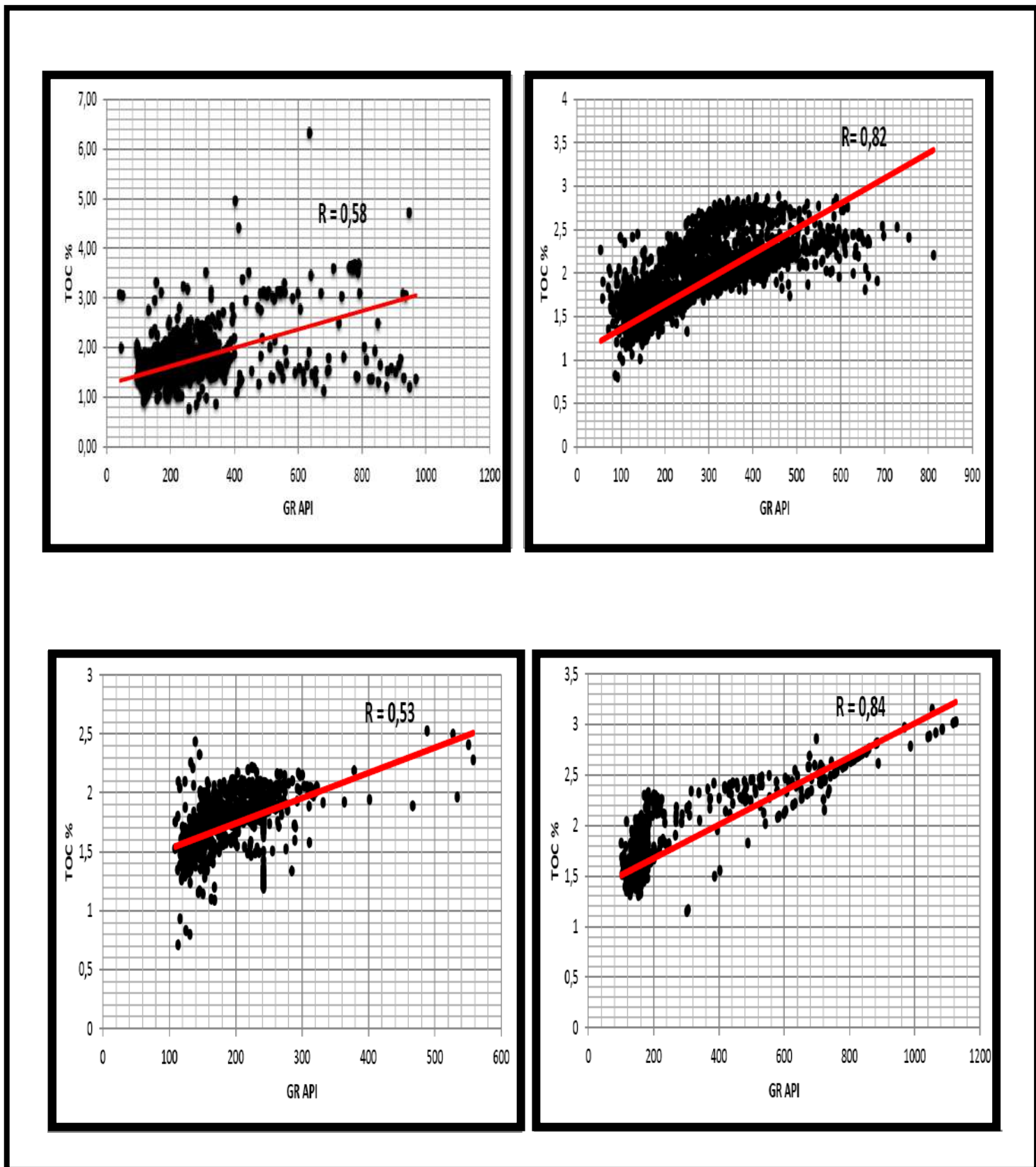


Figure.63- Variation de TOC en fonction Gamma Ray(P1.P3.P4.P6)

5.3. L'intervalle à gaz sec :

Dans un projet de gaz de schiste récemment installé comme le cas de l'Algérie il faut cibler les zones à gaz sec, pour ne pas avoir des problèmes de récupération par la suite en attendons le développement des techniques et la maîtrise de l'exploitation de ces ressources non conventionnelles.

L'interprétation des gaz ratio dans les six puits sélectionnés pour l'évaluation ils ont révélé que les schistes de siluriens renferment des gaz à l'exception du puits 2 qui contiens des huiles.

Cette interprétation reflète vraiment l'état de maturité de la matière organique qui est déterminé par le type de fluide produit, si on prend l'exemple du puits 2 et ces avoisinants ou les schistes de silurien affleurent ou bien sont préés de la surface, les conditions de température et de pression sont pas assez importante par conséquent il n'on pas arrivé au stade poste mature pour produire du gaz.

La carte en Isopach des zones à gaz sec dans le périmètre d'étude SHALE PLAY montre que la partie nord-est représentée par le puits 3 et le sud-est par le Puits 4 sont les plus épaisses et ils sont favorisé à être exploré par un programme de forage horizontal qui doit impérativement traverser cette zone pour procédé par la suite aux opérations de fracturation hydraulique.

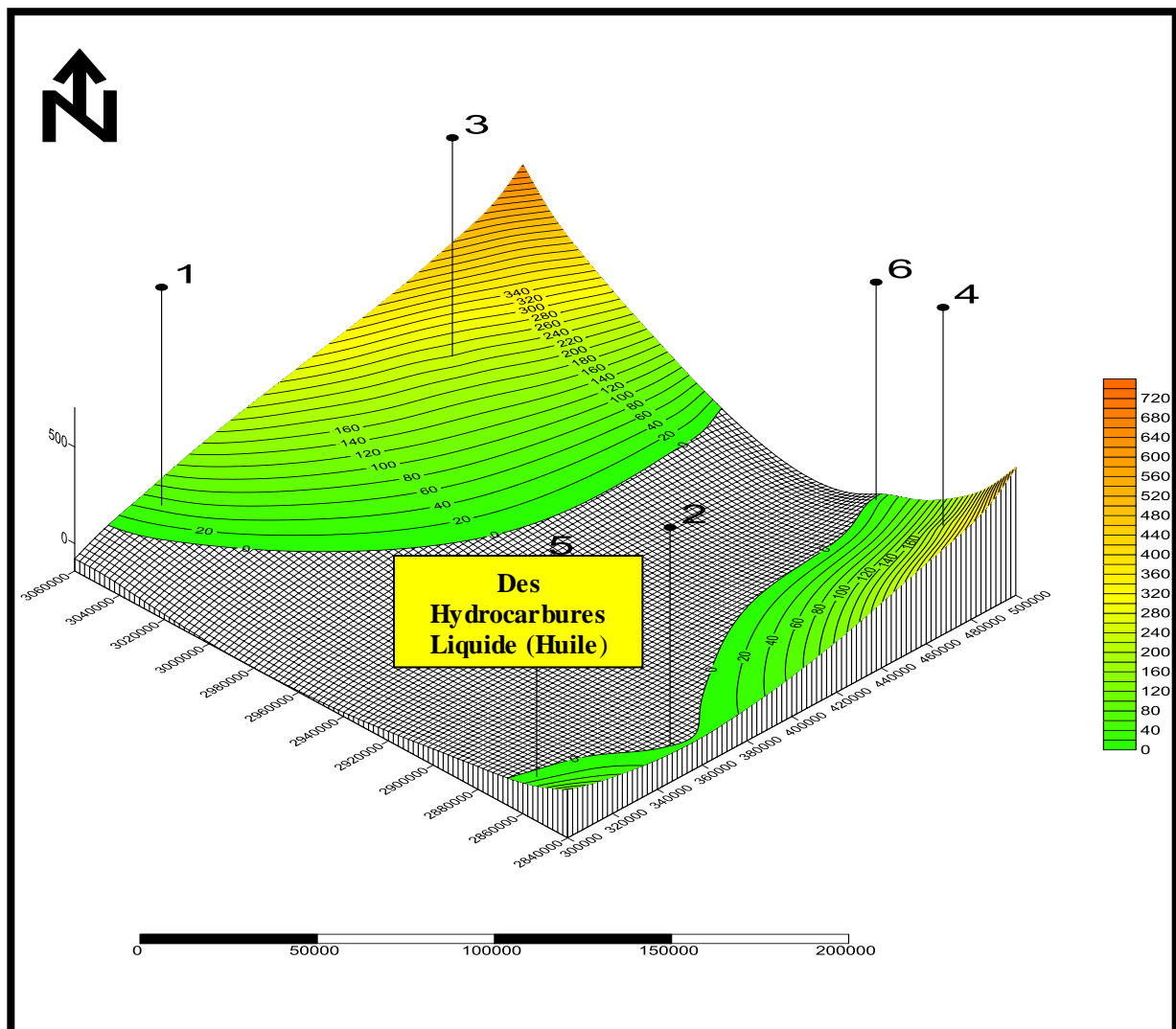
À travers cette évaluation on a essayé de montré un protocole qui puisse être adopté sur chantier et qui ne demande aucune analyse au laboratoire ou bien déplacement des échantillons, il sufi juste veiller sur le bon enregistrement des data durant le forage et même après le forage lors des opérations électriques.

Ce protocole il peut nous aider même à réévaluer nous potentialité en ressource schisteuse dans le bassin de l'Ahnet ou bien dans d'autres bassins en Algérie

Dans le cas de notre périmètre d'étude la partie nord -est elle est la plus favorisée pour foré des puits gaz de schiste, malgré que la partie sud –est a presque les mêmes aspects sauf les épaisseurs qui sont vraiment importantes dans la partie sud qui peut nous causé pas mal de problèmes de forage

**Tableau. 4- les épaisseurs des zones
A gaz sec dans le silurien**

PUITS	TOP	BASE	EPAISSEURS
2	0	0	0
4	1600	1830	230
5	925	935	10
6	1600	1613	13
1	1700	1749	49
3	2415	2652	237



**Figure.64- carte en Isopach des Intervalles a Gaz Sec dans
Le Périmètre SHALE PLAY**

1. Introduction

Les argiles métamorphisées ou bien les schistes sont considérés comme roche mère qui peut générer des hydrocarbures le long de son histoire d'enfouissement.

Dans ce chapitre on va focaliser beaucoup plus sur l'intervalle potentiel déterminé précédemment par l'évaluation instantanée, C'est une approche intégrée des différentes techniques analytiques de géochimie afin d'identifier cette zone ressource ; reconnaissance minéralogique, Classification des hydrocarbures libres et adsorbé

A l'aide des réponses électriques (Gamma Ray et Résistivités) on essaiera de proposer une caractéristique électrique des schistes productifs et un aperçu sur la stratigraphie séquentielle de la base de silurien et l'origine de la richesse en matière organique.

1.2. Structure des Minéraux argileux:

Les minéraux argileux appartiennent à la famille des phyllosilicates, leur structure est un empilement de couches tétraédriques et octaédriques qui forme les feuillets. Les tétraèdres comportant quatre oxygènes à leurs sommets et un cation central ce cation est principalement Si^{4+} (SiO_4)⁴⁻, fréquemment Al^{3+} (AlO_4)⁵⁻, et plus rarement Fe^{3+} (FeO_4)⁵⁻ (Laurent Caner, 2011). Les tétraèdres sont liés entre eux par les oxygènes des trois sommets, un oxygène restant libre.

Dans les phyllosilicates, les tétraèdres forment des feuillets composés de 6 tétraèdres. Les O libre s'orientent dans la même direction. La formule de base est $(\text{Si}_4\text{O}_{10})^{4-}$. La charge négative est compensée par accommodation de cations de petite taille si, Al et rarement Fe^{3+}

Les tétraèdres s'associent à des feuillets octaédriques composés d'un cation central et 6 oxygènes ou bien hydroxyle, ces anions (O^{2-} , OH^-) sont liés à un cation central trivalent (Al^{3+} , Fe^{3+}) ou bivalent (Fe^{2+} , Mg^{2+}), la combinaison entre les octaèdres assurés par les arêtes

L'agencement des couches permet de distinguer trois principaux types de minéraux :

Type T-O (1 couche octaédrique et 1 couche tétraédrique)

Type T-O-T (1 couche octaédrique entre 2 couches tétraédriques)

Type T-O-T-O est similaire au type précédent, mais l'espace interfoliaire est occupé par une couche d'octaèdres. (Laurent C., 2011).

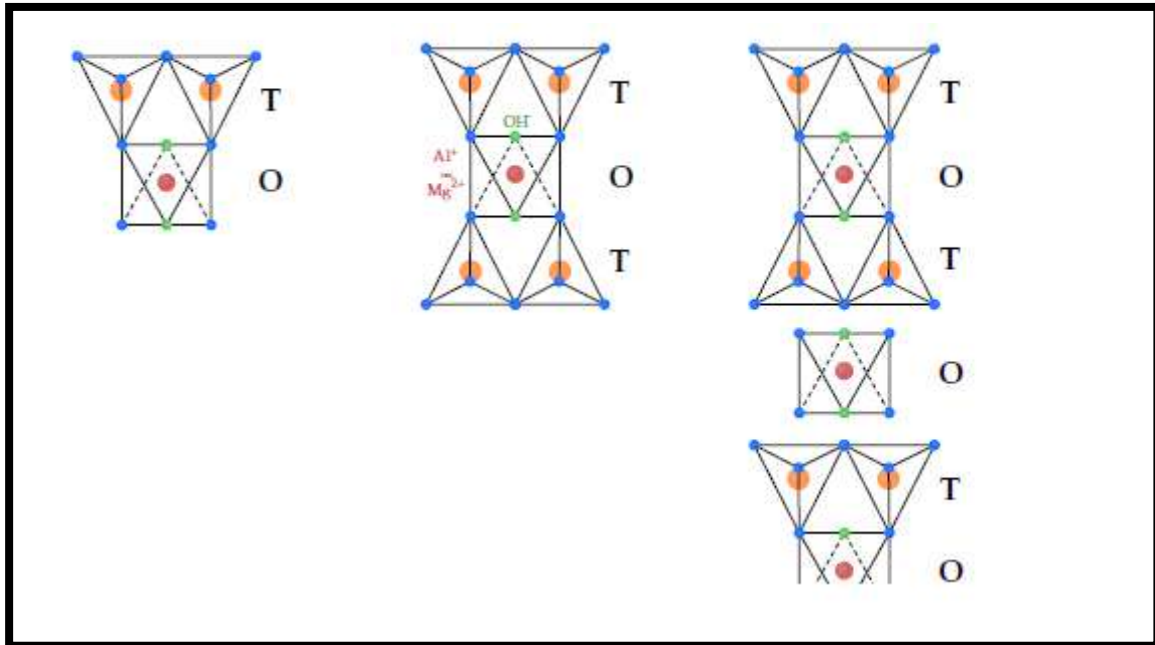


Figure.65-Structure des minéraux Argileux (Laurent C., 2011).

1.3. Classification des Minéraux Argileux (Caillière, M et al 1982):

3.1. L'illite

Les illites appartiennent à la famille des phyllosilicates 2 :1. Le feuillet élémentaire est composé d'une couche octaédrique d'aluminium comprise entre deux couches tétraédriques de silicium. Dans les couches tétraédriques de silicium, un ion Si^{4+} sur quatre est remplacé par un ion Al^{3+} . Le déficit de charge qui en résulte est compensé dans l'espace interfoliaire par des ions potassium K^+ qui assurent des liaisons fortes entre les feuillets.

3.2. Les smectites

Appartiennent à la famille des phyllosilicates 2 :1. Le feuillet élémentaire est caractérisé par l'empilement de 2 couches tétraédriques séparées par une couche octaédrique. Les atomes de silicium constituent majoritairement les tétraèdres, mais des cations (Al, Fe) peuvent se substituer au Si dans ces tétraèdres.

3.3. Les vermiculites

Les vermiculites appartiennent à la famille des phyllosilicates 2 :1. Elles constituent une famille proche de celle des smectites, mais elles sont caractérisées par un déficit de charge plus important. Elles sont majoritairement trioctaédriques. Le déficit de charge est essentiellement dû aux substitutions tétraédriques et la compensation est assurée dans l'espace interfoliaire par des cations (Mg^{2+} principalement) et des couches d'eau.

3.4. Les chlorites

Appartiennent à la famille des phyllosilicates 2 :1 :1. L'espace interfoliaire des chlorites est occupé par un feuillet d'hydroxydes chargé positivement, L'espace basal caractéristique atteint 14Å. Les chlorites sont stables à haute température grâce aux liaisons fortes existant entre les hydroxyles.

3.5. La kaolinite

Appartiennent à la famille des phyllosilicates 1 :1. Le feuillet élémentaire est composé d'une couche tétraédrique de silicium et d'une couche octaédrique d'aluminium

3.6. Les minéraux interstratifiés

Ils résultent de l'empilement aléatoire de plusieurs espèces de minéraux argileux (deux en général). Les combinaisons possibles entre les différents minéraux sont extrêmement nombreuses, mais seulement quelques unes représentent la majorité des interstratifiés naturels.

1.4. Chimie des Hydrocarbures

Les Hydrocarbures c'est une combinaison de carbone et d'hydrogène où le carbone présente 83 à 87% en volume et l'hydrogène 10 à 14 %, La majorité des molécules organiques sont des hydrocarbures qui se regroupe en deux grandes familles (*Vially.R., et al., 2013*).

1.4.1. Aliphatique :

1.4.1.1. Les hydrocarbures aliphatiques saturés

Caractériser par des liaisons simples entre les atomes de carbone, chaque carbone est liée à 4 différents atomes

a .Les Alcane

Ce sont des hydrocarbures saturés ayant la formule C_nH_{2n+2} avec n le nombre d'atomes de carbone dans la chaîne d'hydrocarbures ,On distingue deux types des alcanes (normale) et les alcanes (isomère)

- **Les alcanes normaux** : la chaîne des carbones est une chaîne droite unique.
- **Les iso-alcane**: La chaîne des carbones est une chaîne ramifiée ou branchée, Le premier dans la série des iso-alcane est l'isobutanes.

1.1.1.2. Les hydrocarbures aliphatiques insaturés.

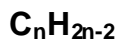
Déterminer par les liaisons doubles ou triples, certains carbones partagent deux ou trois paires d'électrons avec un autre atome Il y a deux catégories d'hydrocarbures insaturés:

a.Les alcènes.

Sont des hydrocarbures avec une ou plusieurs liaisons doubles sont nommés de la même façon que les Alcanes, mais ils terminent avec "ène". La formule générale pour les alcènes est C_nH_{2n}

b.Les alcynes

Sont des hydrocarbures avec une ou plusieurs liaisons triples on les nomme de la même façon que les alcènes, sauf que le suffixe est "yne", leur formule générale est ;



1.4.2. Aromatique

C'est des hydrocarbures insaturés qui possèdent un ou plusieurs radicaux phényles avec trois doubles liaisons relie à la chaîne carbonique, ça formule générale est C_nH_{2n-6} .

Dans ce chapitre et par les moyens analytiques au laboratoire en essayerons de classer les potentiels schistes du silurien avec les fluides qui le renferme selon l'ordre de classement des minéraux et des hydrocarbures pour donnés une identité bien détaillée a ces intervalles est pour cela on a choisi le puits3 pour des analyses approfondies et détaillées, le choix il n'était pas aléatoire, mais après l'évaluation instantanée suivant le protocole proposé.

2. Méthodes et Moyen analytiques de la Caractérisation

2.1. Identification minéralogique par le Diffractomètre des rayons X

Principe

Les échantillons récupérés durant le forage sont broyés finement, une quantité mise sur des portes-échantillons, puis soumise à un faisceau des rayons X pour être diffractés par les plans réticulaires des phases cristallines celle-ci est régie par la loi de Bragg

$$n \lambda = 2d \sin \theta$$

λ =longueur d'onde en angströms

d = distance réticulaire en angströms

θ = angle de diffraction ou de réflexion en degrés.

Les diffractogrammes obtenus, à l'aide d'un diffractomètre à rayons X, sont interprétés. Les positions et les intensités de pics observés sont comparées aux fichiers de référence **PDF-ICDD** (Powder Diffraction File - International Center for Diffraction Data) pour l'identification des phases minéralogiques présentes. Et éventuellement l'utilisation de **RIR** (Reference Intensity Ratio) inclus dans le logiciel **HighScore Plus** du fichier PDF-ICDD permet l'estimation semi-quantitative des phases correspondantes détectées

La fraction fine (minéraux argileux) est extraite par voie humide, après élimination des matières gênant telle que la matière organique et les carbonates. Les suspensions d'argiles ainsi obtenues sont étalées sur des supports adéquats pour le traitement thermique et séchage à 550°C pendant une heure l'appareil utilisé est de type ; diffractomètre PANalytical: XPERT-PRO, tube radiogène céramique à anticathode de cuivre, puissance du générateur à RX: 40 mA, 45 Kv.

Logiciel pour l'acquisition des données: **DataCollector de PANalytical**

Logiciel pour traitement des données: **HighScore Plus de PANalytical**

Longueur d'onde CuK α [Å]: **1,5418**.

2.2. Identification des fluides piégés

2.2.2.2. Sur chantier

Les cabines de surveillance géologique sont équipées par un chromatographe en phase gazeuse les principaux éléments sont :

- Un injecteur
- Une colonne chromatographique
- Une cellule de détection.
- Un dispositif de circulation inverse (refoulement de tous les gaz vers l'extérieur).
- Enregistreur.

2.2.2.2. a. Le Principe de fonctionnement

L'échantillon est mélangé avec un gaz vecteur avant d'être introduit dans la colonne remplie de particules inertes calibrées granulométriquement les éléments constituant le mélange (échantillon + air) vont se déplacer au travers de la colonne à des vitesses différentes en fonction de leur capacité à être adsorbés ou retenus.

La caractéristique principale de chaque colonne est de présenter des temps de rétention différents pour chaque type de gaz l'ayant traversé jusqu'à l'arrivée de chacun d'eux dans la chambre du détecteur à un moment bien précis du cycle d'analyse.

En fin d'analyse, le gaz porteur est inversé ("back flush") pour repousser hors du circuit les gaz en cours d'analyse et nettoyer la colonne.

Comme le chromatographe du laboratoire, le principe de détection c'est l'ionisation électronique, des ions sont formés par la flamme provenant de la combustion de l'hydrogène dans l'air si une substance carbonée (organique) est présente dans cette flamme, le nombre d'ions formés augmente considérablement. Une électrode collectrice capte les ions produits permettent le passage du courant et indique par le fait même la présence d'un gaz.

Quand un échantillon, contenant des hydrocarbures, est introduit dans la chambre, il se produit un craquage des composés organiques dans la zone chaude de la flamme, puis ionisation chimique avec l'oxygène de l'air. Ces ions produits entraînent une variation de potentielle au niveau du circuit.

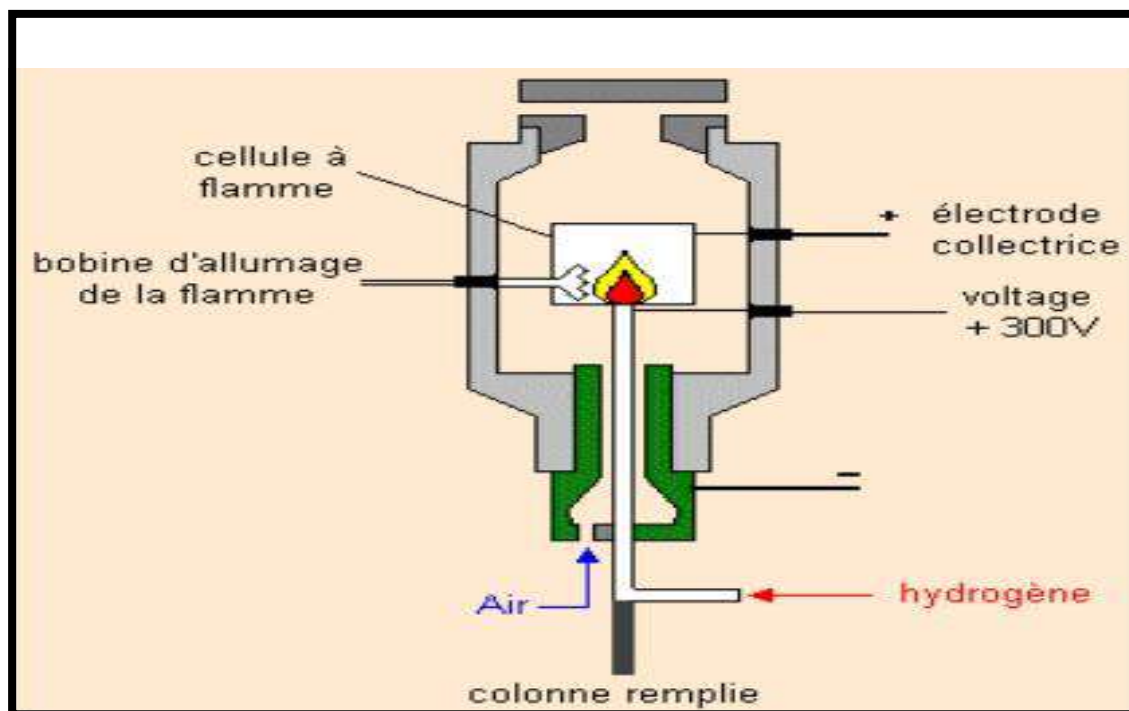


Figure.66- Principe de L'ionisation (Haworth. J. H., et al., 1985).

2.3. Caractérisations Géochimique

2.3.1. Pyrolyse ROCK-EVAL

La technique de pyrolyse ROCK-EVAL est une méthode qui a été développée par l'IFP (Institut Français du Pétrole) dès 1973. Elle a été conçue pour fournir des informations sur:

- Le potentiel pétrolier de la roche mère,
- La quantité des hydrocarbures libres,
- Le type de matière organique et son état d'évolution.

Le principe de cette technique est de chauffer en programmation de température à **raison de 25°C/min** en moyenne, pendant **20min**, sous atmosphère inerte: **hélium**, un petit échantillon **de 100g** de **roche** Afin de déterminer :

- Les hydrocarbures gazeux et liquides libre contenus dans la roche Ceci correspond au pic S1; il est exprimé en mg d'hydrocarbures/g de roche; cette quantité est variable et dépend du potentiel pétrolier des roches, de leur degré d'évolution et des phénomènes de migration.
- les hydrocarbures formé par craquage du kérogène pic S2, exprimé en mg d'HC/g de roche. Ces composés hydrocarbonés représentent la quantité totale d'huile et de gaz que le kérogène peut encore produire ultérieurement Le S2

est appelé, également, « *potentiel pétrolier résiduel* ». Ces valeurs varient avec la teneur en *COT* de l'échantillon, le type et le degré de maturation du matériel organique.

- Le CO_2 piégé au préalable dans un tamis moléculaire est rejeté par réchauffage, puis détecté. Ceci correspond au pic *S3* exprimé en mg de CO_2/g de roche
- La température expérimentale de pyrolyse est enregistrée au sommet du pic *S2*, c'est {dire au moment où est libéré le maximum de composés hydrocarbonés provenant du craquage du kérogène. Elle correspond à la *T.max* qui est exprimée en degrés Celsius
- Le CO_2 résultant de la combustion de la matière organique (ayant déjà subi une pyrolyse) sous air à $600^\circ C$ est absorbé par un tamis moléculaire. Par réchauffage de ce dernier, le CO_2 est envoyé sur un détecteur à conductibilité thermique. Ceci correspond au *TOC* (carbone organique total).

Les paramètres calculés par cette méthode sont ;

- **L'index de production (*IP*)**

il exprime la proportion d'hydrocarbures libre par rapport a la totalité des hydrocarbures obtenus par pyrolyse.

- **L'index d'hydrogène (*IH*)**

Il exprime le rapport des hydrocarbures libérés par le kérogène lors de la pyrolyse au carbone organique total. il est exprimé en mg d'HC /g de *COT*

- **L'index d'oxygène (*IO*)**

Il exprime le rapport entre le CO_2 libéré par le kérogène lors de la pyrolyse au carbone organique total., il est exprimé en mg CO_2 / g de *COT*

Les diagrammes *IH - IO* permettent de reconnaître les différents types de la matière organique :

- Type I: matière organique aquatique (lacustre ou marine)
- Type II : matière organique aquatique marine
- Type III: c'est une matière organique formée par des débris de végétaux supérieurs.

Tableau. 5- les Paramètre calculés de Rock eval

Paramètres	Formules
L'index de production (<i>IP</i>)	$S1 / (S1 + S2)$
L'index d'hydrogène (<i>IH</i>)	$(S2 \times 100) / COT$
L'index d'oxygène (<i>IO</i>)	$(S3 \times 100) / COT$

3. Caractérisation qualitative des gaz piégés

L'enregistrement des gaz durant le forage des six puits sélectionnés pour l'évaluation a révélé l'existence des hydrocarbures aliphatiques type alcane, les résultats de chaque puits sont représentés dans des histogrammes (fig67-73).

La représentation graphique dans tous les puits montre la prédominance du méthane à l'exception du puits2, avec l'enregistrement de différents types d'alcane de l'éthane jusqu'à pentane, cette remarque elle a été déjà mentionnée dans le chapitre évaluations, et la cause de cette hétérogénéité des gaz enregistrés, due principalement à la position stratigraphique du silurien.

En admettons que le taux de méthane nous indique l'aspect sec des gaz enregistré par chromatographe, on peut dire que les puits ; 1, 3,4, sont les plus secs avec des taux de méthane élevée par rapporte au d'autre gaz enregistré

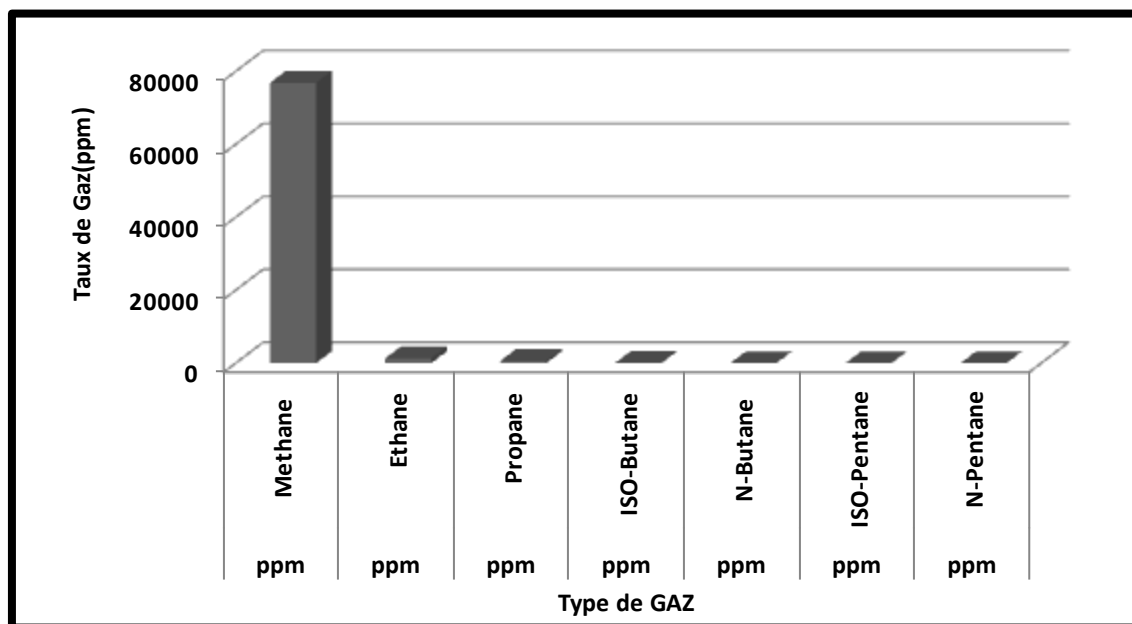


Figure.67- Résultats d'Analyse Chromatographique du Puits 1

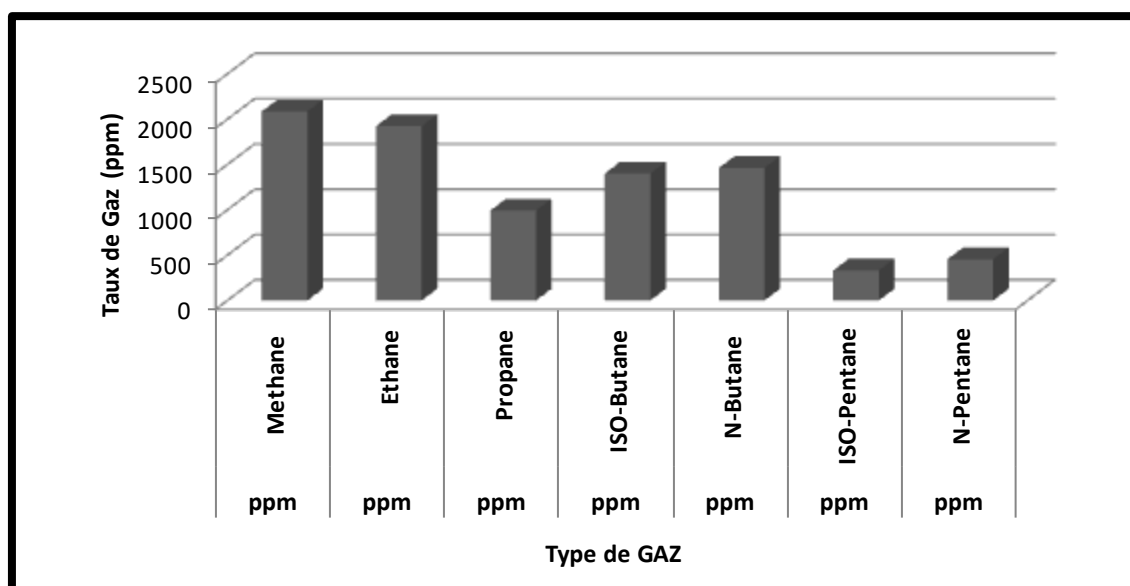


Figure.68- Résultats d'Analyse Chromatographique du Puits 2

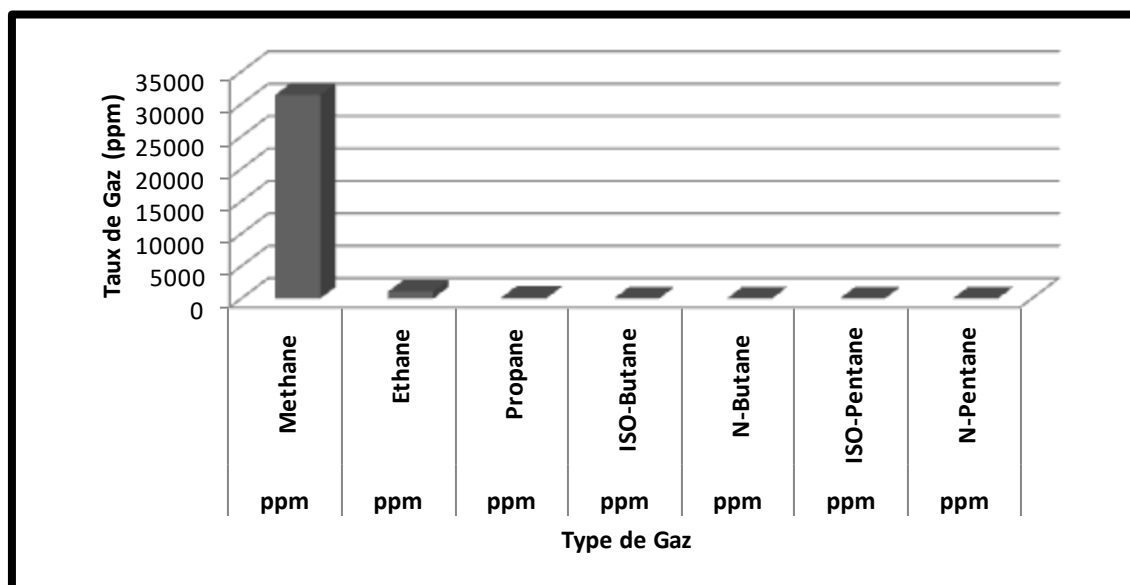


Figure.69- Résultats d'Analyse Chromatographique du Puits 6

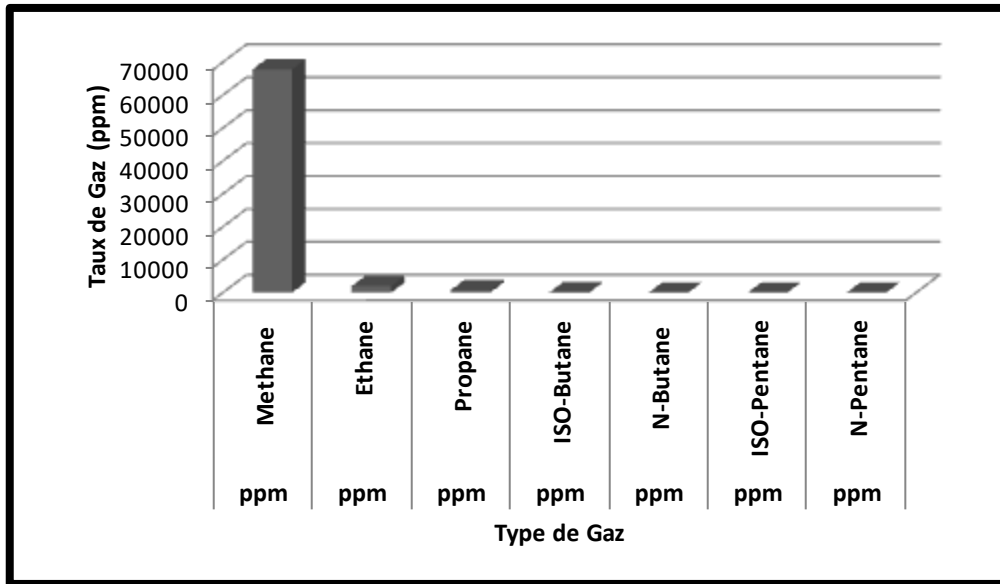


Figure.70- Résultats d'Analyse Chromatographique du Puits 4

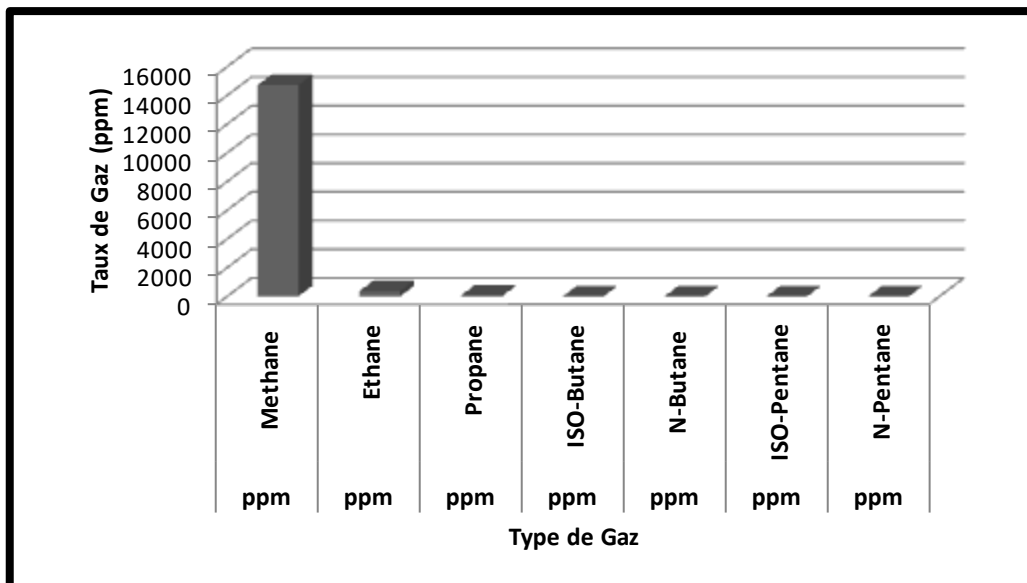


Figure.71- Résultats d'Analyse Chromatographique du Puits 5

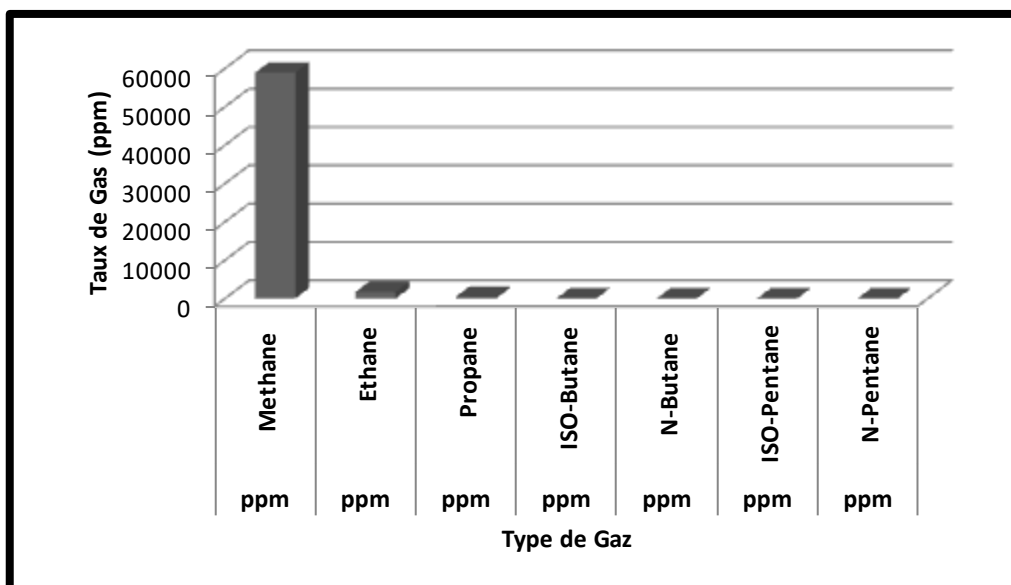


Figure.72- Résultats d'Analyse Chromatographique du Puits 3

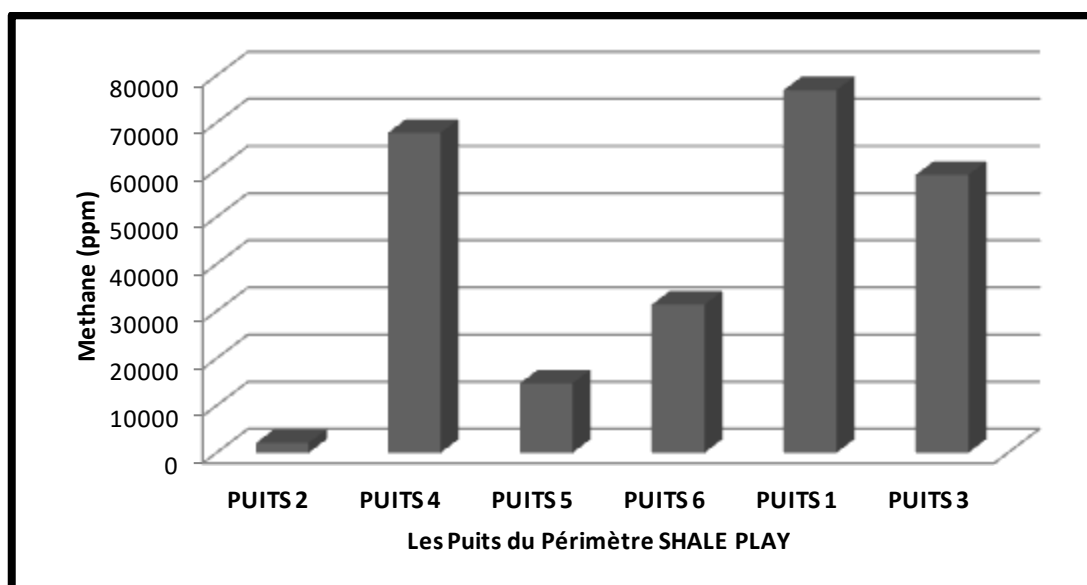


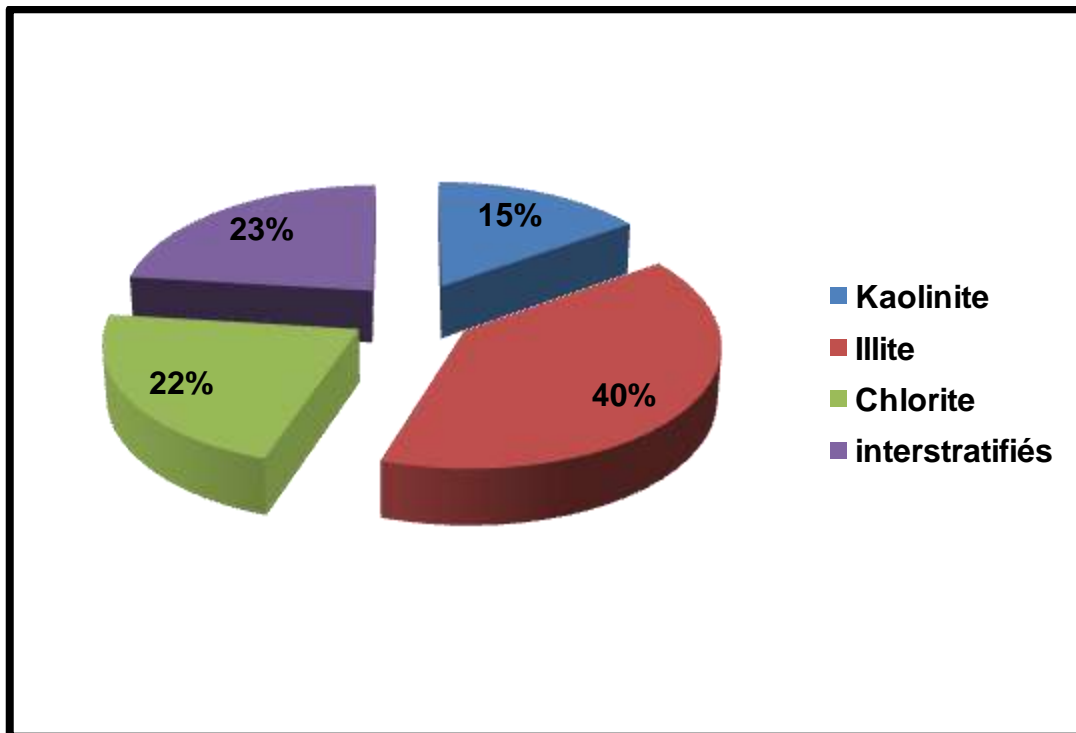
Figure.73- Variation des Taux de Methane a travers Les puits du périmètre SHALE PLAY

4. L'identification Minéralogique

L'étude minéralogique par DRX, a été réalisée sur 15 échantillons prélevés du puits 3 sélectionné jugé le plus potentiel d'après notre évaluation.

Les quinze échantillons couvrent la partie riche en matière organique qui renferme des gaz Les assemblages argileux identifiés dans la série sédimentaire du silurien, sont constitués de quatre minéraux argileux, trois sont simples (chlorite, illite, kaolinite et un correspondent à des édifices interstratifiés.

Dans une première lecture des résultats en constate la prédominance de l'illite (fig.74) avec un moyen total de l'ordre de 40%, suivi par les interstratifié et les chlorites équitablement de l'ordre de 22,5 %, la kaolinite présente le plus faible pourcentage qui est de 15%.



**Figure.74- Les assemblages minéralogique
Des schistes de silurien (Puits3)**

Le cortège minéralogique identifier et la variation quantitative permettent de distinguer deux zones :

Zone I

Représente les échantillons compris entre la cote 2500m jusqu'à 2620, l'assemblage minéralogique identifier montre une légère supériorité d'illite avec un taux moyen de 35 %, par rapport au chlorite et les interstratifiés qui sont présents avec des taux respectivement de l'ordre de 26 % et 22 %, la kaolinite avec un pourcentage moyen de 17 %.(Tab.6)

Zone II

Elle s'étale du 2620 m jusqu'à 2650 m, c'est la base de silurien, le cortège minéralogique indique la prédominance dans tout l'intervalle de l'illite (54 %), ce développement de l'illite il est par rapport au chlorite et la kaolinite dont les teneurs sont respectivement 10 % et 5 %, avec la disparition totale de la kaolinite vers la base, par contre en remarque une légère augmentation pour les interstratifiés avec des teneurs qui peuvent attendre les 30 % a la base.

Malheureusement, il n'est pas possible de tracer un profile d'altération pour les schistes vu les conditions de température énorme lors du craquage de la matière organique ainsi les pressions qui ont donné l'aspect roche-mère a ces formations.

Tableau. 6- les Résultats d'analyse minéralogiques

Profondeurs	Kaolinite%	Illite%	Chlorite%	Interstratifiés%
2500	20	35	25	20
2530	15	35	30	20
2540	20	35	25	20
2550	15	30	25	25
2560	10	50	25	20
2570	20	40	20	20
2580	20	35	20	25
2590	20	35	20	25
2600	20	30	25	25
2610	15	30	35	20
2620	15	30	35	20
2630	10	50	15	25
2635	10	50	10	30
2645	5	55	10	30
2650	0	60	10	30

5. Caractérisation Géochimique

Les mêmes échantillons analysés par le diffractomètre des rayons X ont été pyrolysés par le rock eval, pour caractériser la matière organique source des hydrocarbures. Il est défini quelques paramètres essentiels dans l'exploration pétrolière comme : l'indice d'hydrogène et oxygène, la température maximale, les taux des hydrocarbures volatils (S1, S2) et le total organique carboné TOC.

5.1. Quantité de la matière organique

La quantité de la matière organique dans le schiste du Silurien a été évaluée en mesurant la quantité de TOC, l'intervalle étudié contient des teneurs en matière organique qui varient de 1% à 5%, avec un moyen de l'ordre 3%, c'est les caractéristiques d'une très bonne roche mère susceptible de générer des hydrocarbures.

Les valeurs du pic (S1) qui sont de l'ordre de 0,20 mg Hc/gros viennent nous dire, le contraire est indiqué, que c'est une matière organique qui a expulsé toutes ces potentialités.

Ce paramètre il a été déjà calculé dans le chapitre évaluation, par la méthode $\Delta \log R$, la corrélation entre les résultats expérimentaux avec celle calculée (fig), a révélé un bon coefficient de corrélation ($R=0,70$) qui nous confirme la fiabilité des résultats obtenus dans la partie évaluations.

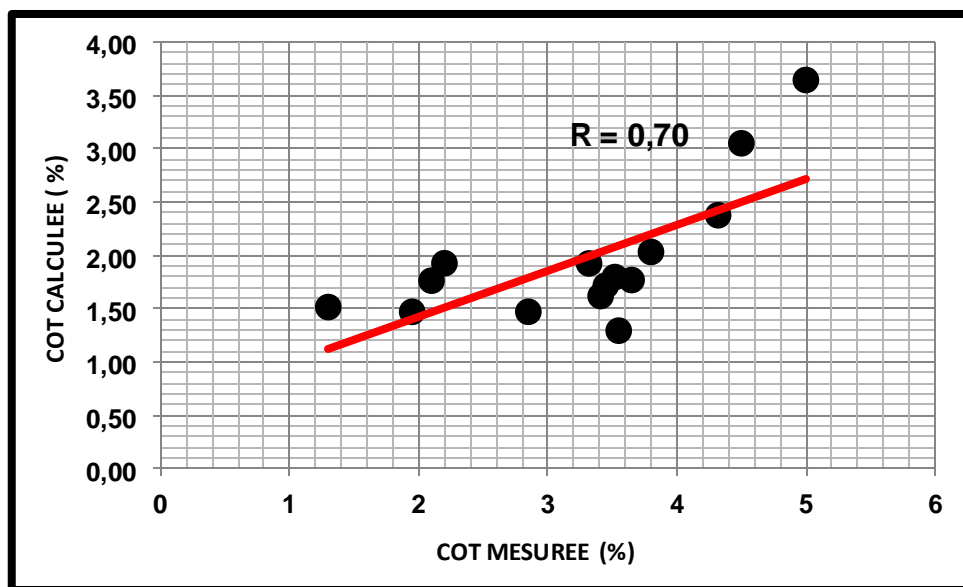


Figure.75- Corrélations entre TOC calculées et TOC mesurées
Des schistes de silurien (Puits3)

5.2. Type d'hydrocarbures

L'indice d'hydrocarbure (IHC) est le rapport S2 / S3, est un indicateur de potentialité de produire du gaz ou bien du pétrole, selon Peters et al, 1994 les points repère de l'indice d'hydrocarbure sont :

- inférieur a 2 ça signifie que la matière organique elle est susceptible de généré du gaz plus que d'autre type d'hydrocarbure ,
- supérieur a 5 ça signifie que la matière organique elle est susceptible de généré du pétrole plus que d'autres types d'hydrocarbure ,
- entre 2 et 5 ça signifie que la matière organique elle est susceptible de généré du gaz ou bien du pétrole

Les indices d'hydrocarbures enregistrés dans notre puits sont de l'ordre de 1, donc inférieur a 2 cela indique que la matière organique a plus de chance de générée des gaz que du pétrole.

5.3. Origine de la matière organique

L'origine de la matière organique peut être identifié par les indices hydrogène (IH) et d'oxygène (IO), les schistes potentiels da la base de silurien présente des indices d'hydrogène inférieurs a 150 mg/g cela indique que l'origine de la matière organique est continentale type III (D.W.Walpes, 1985).I

L'interpolation des données de (IH) versus (IO) dans un diagramme modifié de Van krevelen () confirme l'origine continentale type III

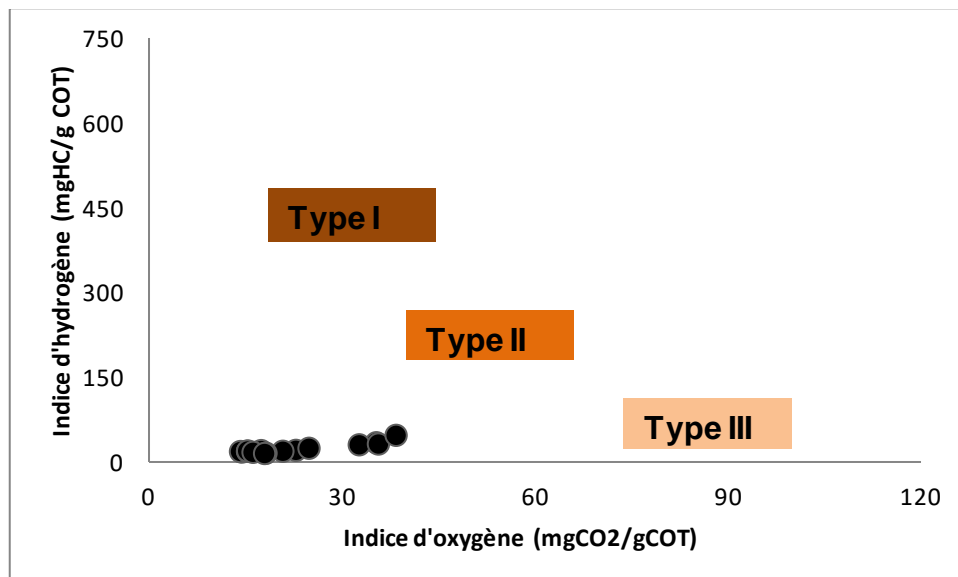


Figure.76- Diagramme IH-OH des échantillons de la zone potentielle

5.4. Maturité thermique

Le paramètre qui nous indique le degré de maturité, c'est le Tmax enregistré au pic S2 et l'indice de production (IP), tenons compte que les ranges des températures maximales de fenêtre a huile est : 435 °c a 465 °c avec un indice de production qui oscille de 0,2 a 0,4.

A des températures inférieures a 435 °c et des indices de production moine de 0,2, la matière organique elle est considérée comme immature, les fenêtres a gaz apparaitre a partie d'une température maximale de 470 °c et indice de production supérieur a 0,4

Les échantillons analysés sont pelotés dans un diagramme proposé par PETER.1986 entre les deux paramètres (Tmax et IP), L'interprétation du diagramme montre que l'intervalle renferme des gaz

Se diagramme il est beaucoup plus compatible dans l'évaluation des schistes en tant que roche mère que réservoir, le regroupement des point dans la surface des huile par rapport a l'indice de production indique que la matière organique a expulsé tout ces potentialité.

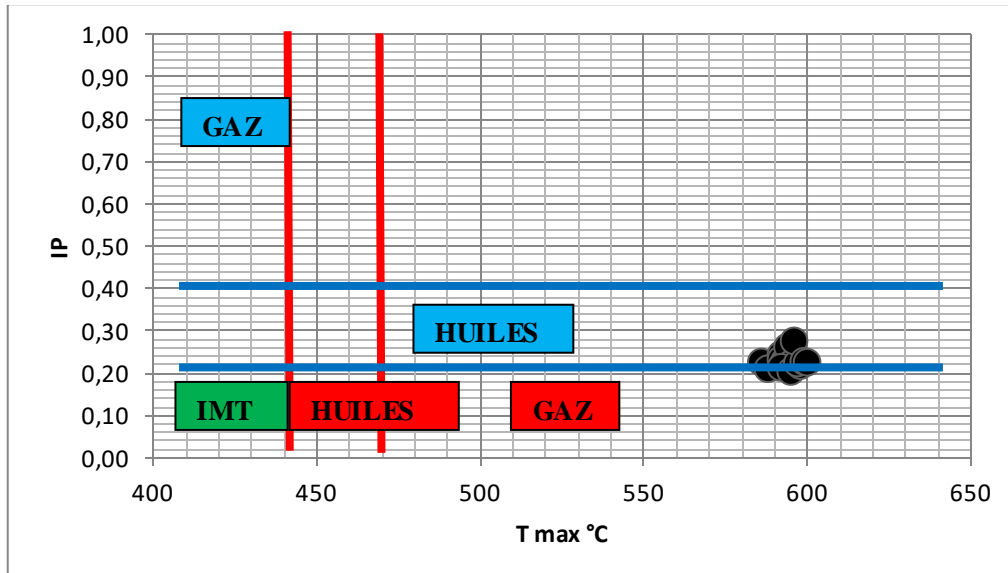


Figure.77-Les indication de La Maturité Thermique en fonction du l'indice de production

6. Caractérisations electrostratigraphique

Dans notre étude on a d'introduire nouvelle notion de stratigraphie qui pourrait être utilisé dans les secteurs de l'exploration pétrolière, c'est l'électrostratigraphie , électro ; provin de l'électricité, c'est a dire les opérations électriques réaliser sur chantier pour avoir des donnés physique qui ont une signification géologique, c'est les data de diagraphie, stratigraphie c'est tout une discipline en géologie, mais on introduire le mot stratigraphie pour dire que l'électrostratigraphie c'est l'étude de la succession des réponses électrique en fonction de la stratification des couches géologiques.

D'après l'évaluation des réservoirs schistes, on a constaté que la base de silurien c'est la zone qui regroupe tous les paramètres géochimiques et géologiques favorables pour l'exploitation des gaz de schistes tandis que le reste de silurien il ne parait pas utile a l'exploité, comme une première démarche de la caractérisation électrostratigraphique ;

6.1. Le découpage du silurien selon leur potentialité :

Deux séquences électrostratigraphiques ils ont été déterminés a la base des donnés d'évaluations,

- **Zone non potentielle** : caractériser avec une radioactivité moyenne avec une tendance progressive en allons vers la base, une richesse en matière organique modérée contiens des gaz qui ont une tendance vers les condensats elle s'étale du top de silurien jusq'a la cote 2612
- **une Zone potentielle** qui se prolonge de la cote 2612m jusqu'à 2652 riches en matière organique renferme des gaz secs faciles a récupéré, la radioactivité elle est maximale

6.2. Le découpage séquentiel du silurien

A la base des données de gamma ray on constate que le silurien il est découpé de bas en haut par :

- une surface basale SB, qui sépare le silurien de l'ordovicien
- phase de transgression (TST) après la fente de la glaciation ordovicienne, accompagniez avec une élévation du niveau marin caractériser par les valeurs progressives du gamma ray

- Surface d'inondation (MFS), caractériser par des valeurs maximales de gamma ray c'est une surface qui sépare la phase transgressive a celle régressive
- Phase régressive marquée par l'allure décroissante de la radioactivité

6.3. Le découpage lithologique

La description des échantillons de silurien nous a permettre de déterminer trois types de faciès essentiel ; argiles, silts, calcaire tiennent en compte les descriptions précédentes de l'ordovicien matérialisé par des grès.

Le découpage électrique indique la présence de deux séquences, de bas en haut

- **La séquence transgressive :**

De la base de silurien jusqu'à la cote 2630m ; caractériser par des argiles noires charbonneuses, rarement silteuse, avec inclusion de pyrite, présence de graptolite sur carotte , qui se déposé directement sur des grès, blanc a blanc beige, transparent parfois translucide, quartzitique dure de l'ordovicien, plus en se lorgne de la base , l'argile deviens de plus en plus silteuse, avec la disparaissons de l'aspect charbonneux, même la présence de fin passée de sillet a grès fin ;

La fin de cette séquence marquée par un band de calcaire de 3m qui donne l'aspect d'une séquence décroissante spécifique a la transgression.

- **La séquence régressive :**

En allons des calcaires topé a 2530m jusqu'au top de silurien un facièce homogène caractérisé par des argiles, gris a gris sombre micacé, fortement silteuse, jusqu'a la base gréseuse de gedinien, c'est une séquence croissante typique d'une régression

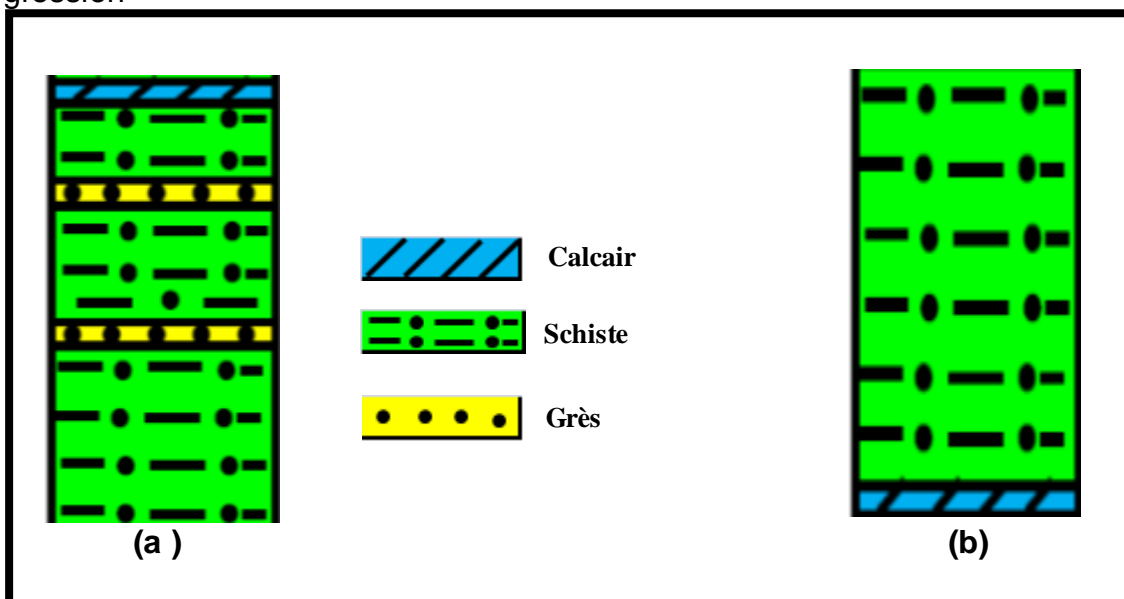


Figure.82- Les Séquences (a)transgressives et (b) régressive

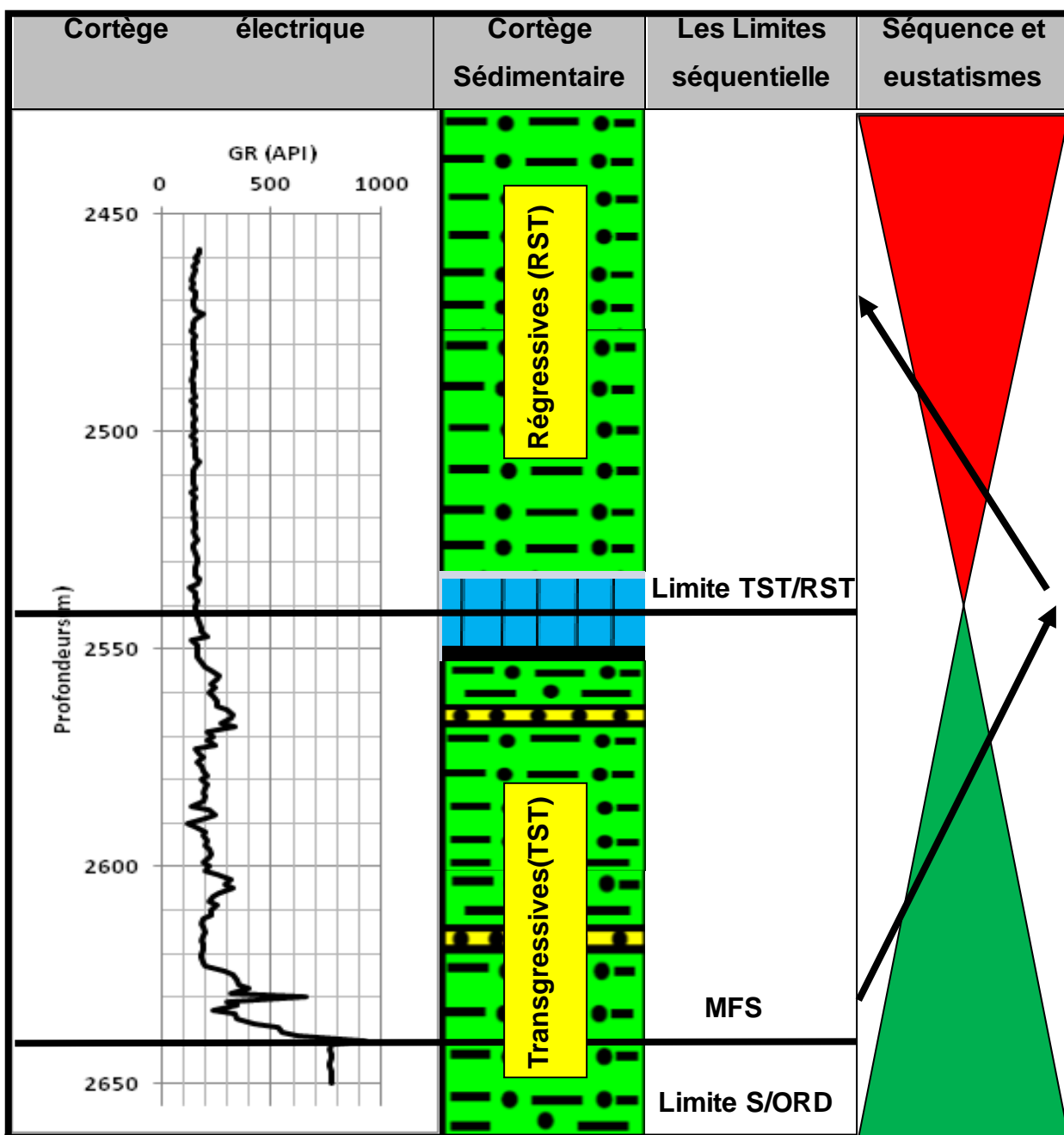


Figure.83- découpage électro-stratigraphique

7. Synthèse de la caractérisation des schistes potentielle de silurien

Donc sans daube les réponses de la radioactivité sont les Clés de l'évaluation ainsi la caractérisation des schistes, la source de cette radioactivité proviens des trois éléments (TH K U) existant dans les roches sédimentaires,

Le Potassium ; proviens des feldspaths potassiques, durant l'altération le potassium passe en solution pour être adsorbé par les argiles, le thorium proviens principalement des roches magmatiques (granites), la quasi-totalité de thorium est transportée en suspension, fraction soluble elle adsorbé sur les argiles, pour uranium la précipitation elle est conditionnée principalement par la présence de la matière organique, avec l'action de l'absorption irréversible de l'uranium assuré par les bactéries est la fraction humique, ainsi l'effet de la réduction de UO^{++} causé par la présence de la matière organique qui passe a l'état d'ion insoluble.

Les paléogéographe et les paléoclimatologues utilisent les rapports entre ces éléments ainsi leur abondance pour déterminer le climat ancien en combinaison avec le cortège minéralogique identifié, dans notre étude on va suivre les mêmes approches, mais c'est pas pour déterminer le paléoclimat, mais beaucoup plus pour voire la variation des teneurs de chaque élément en fonction de découpage de potentialité en parallèle avec la minéralogie.

D'après les résultats minéralogiques la partie potentielle des schistes elle est caractériser par la prédominance des illites avec une allure progressive par rapport a la kaolinite cette relation inverse entre ces deux minéraux vas nous aidé a déterminer cette zone par diagraphie spectroscopique.

Hurst (1990), a démontré que il ya une forte relativité entre les rapports TH/K, TH/U avec celle de Kaolinite/Illite, ces les mêmes constatations dans notre étude avec des coefficients de corrélation 0,74 et 0,60 respectivement pour TH/K versus Kaolinite/Illite et TH/U versus le même rapport.

L'interprétation de diagraphie spectrale du puits 3 montre que la partie potentielle des schistes caractériser par un enrichissement en uranium a compagnie d'une abondance de l'illite, en parallèle un appauvrissement en potassium et disparitions progressive de la kaolinite, ce comportement il est presque similaire a la bisallitisation ; c'est un phénomène d'altération avec le lessivage partiel de la silice et des cations basiques comme le potassium pour donner naissance à l'illite.

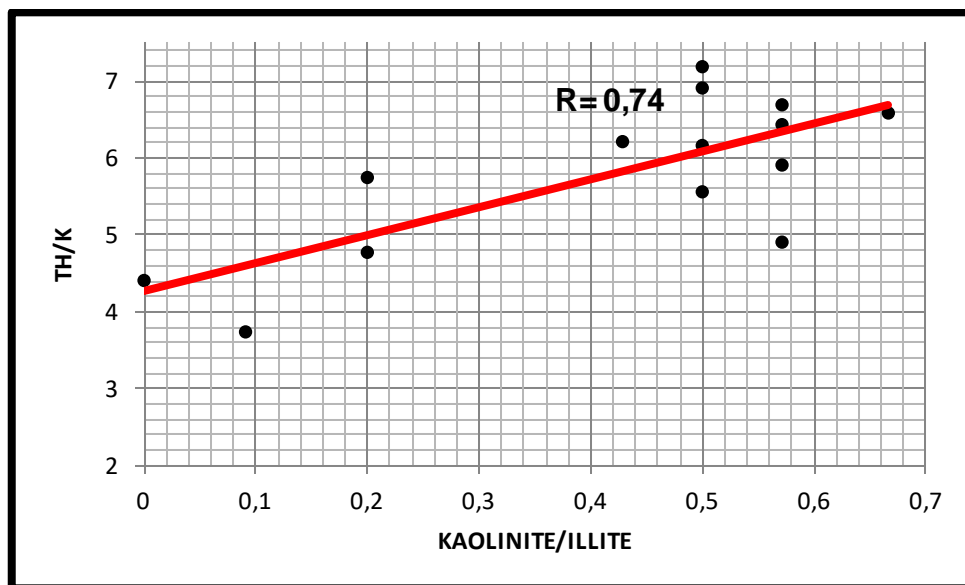


Figure.84- Corrélation de la variation du rapport TH/K en fonction du rapport Kaolinite/illite

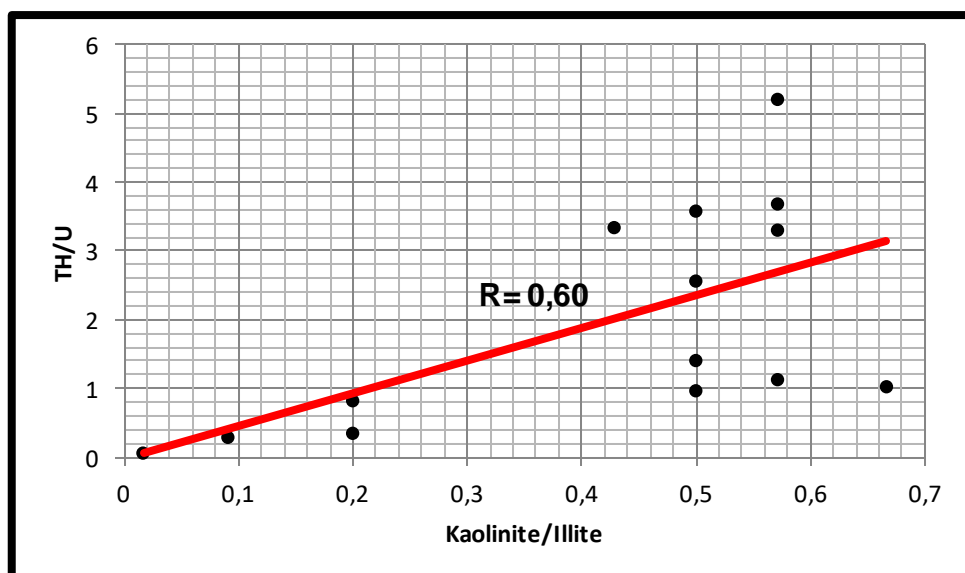


Figure.85- Corrélation de la variation du rapport TH/U en fonction du rapport Kaolinite/illite

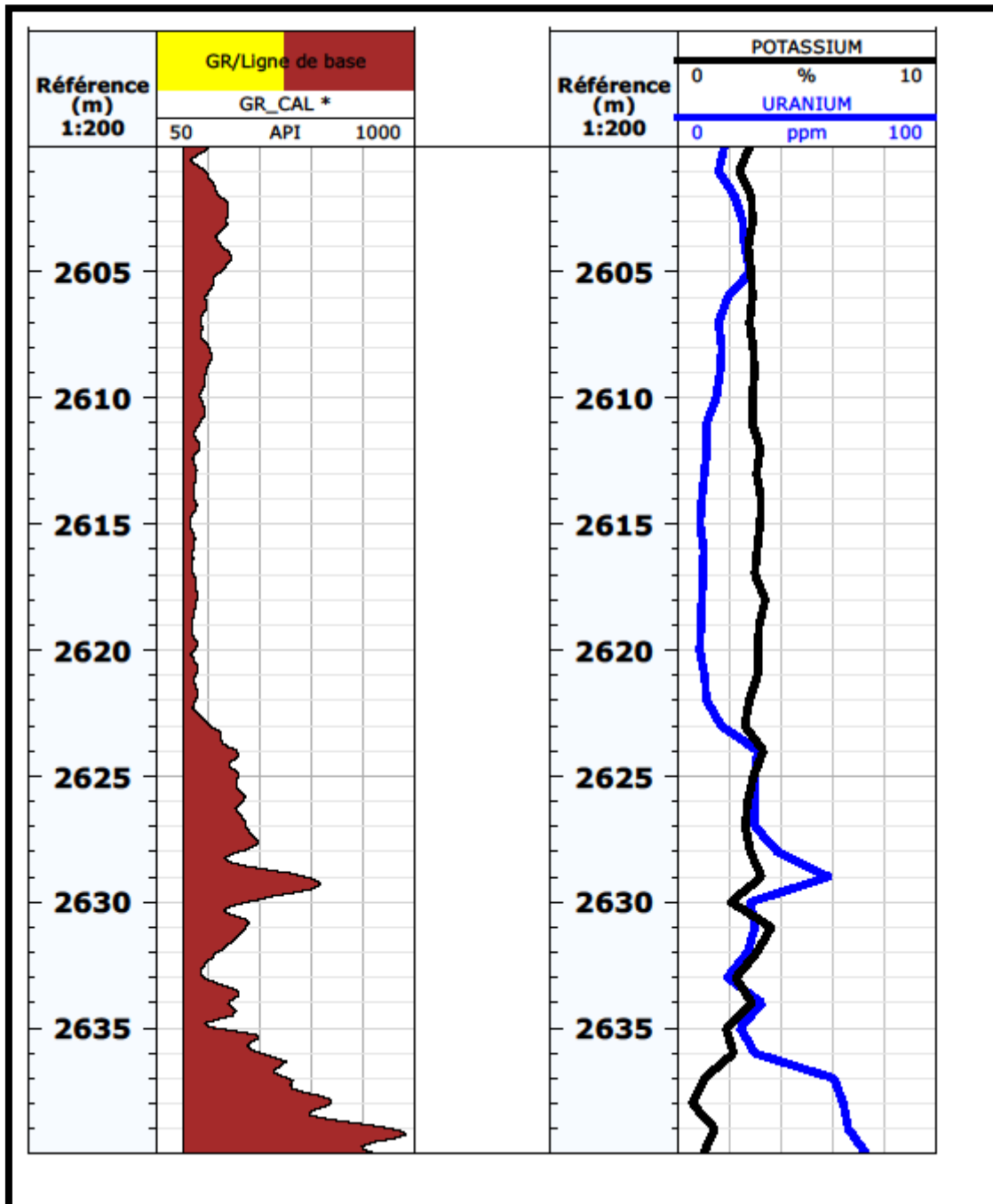


Figure.86- Log de spectroscopie Gamma

La variation d'uranium et du potassium a la base de silurien il est similaire aux variations de la kaolinite et l'illite, se qui nous a menés d'étudier le comportement du rapport K/U versus Kaolinite/Illite dans le but c'est de relier la présence de l'illite avec un élément radioactif détectable par les opérations électriques, les résultats sont presque similaire a celle du TH/U-Kaolinite/Illite démontrée auparavant est qui ont été adopté par Hurst,1990, avec un coefficient de corrélation de 0,62, cette corrélation viens nous confirmé les résultats obtenus dans la caractérisation minéralogique ou on a attribué les schistes a gaz riche en matière organique a Illite, en plus la relativité de la présence d'illite avec uranium et la perte de potassium.

7.1. L'identification électrique du potentielle zone

D'après L'évaluation et la caractérisation des schistes de silurien étudié dans ce travail, en peut dire que les zones potentielles sont détectables au laboratoire par les analyses de DRX, rocks eval et meme sur chantier par l'interprétation des données de mudlogging (gaz, description de cuttings) et de diagraphie (gamma, résistivité, sonique.....ect), si en prend l'exemple du paramètre richesse en matière organique qui est un paramètre clés dans l'exploration des gaz de schiste elle été estimé par deux paramètres essentiels de diagraphie (sonique,résistivité), se qui est remarquable c'est que la valeur $\Delta \log R$ elle dépend beaucoup plus aux variations de la résistivité par rapport a celle de transite time donc la partie riche en matière organique possède des valeurs élevées de résistivité par rapport à l'intervalle dépourvu de la matière organique, le cas aussi pour l'élément uranium mesures par l'outil de gamma spectraux, sa présence elle est relie directement a la richesse en matière organique.

Comme une première approche, on essaye d'attribuer une identité électrique des zones potentielles en gaz de schiste par ces deux paramètres ; résistivité et teneurs en uranium, mais avant d'étudier la variation et la distribution des valeurs de chaque paramètre on doit confirmer la relativité avec les TOC calculés.

Les résultats configurés dans les figures ont montré une très bonne corrélation positive entre les paramètres de diagraphie et le TOC calculé et cela confirme aussi nos résultats de richesse en matière organique estimée par la méthode $\Delta \log R$ et l'importance de ces paramètres dans l'exploration des gaz de schiste.

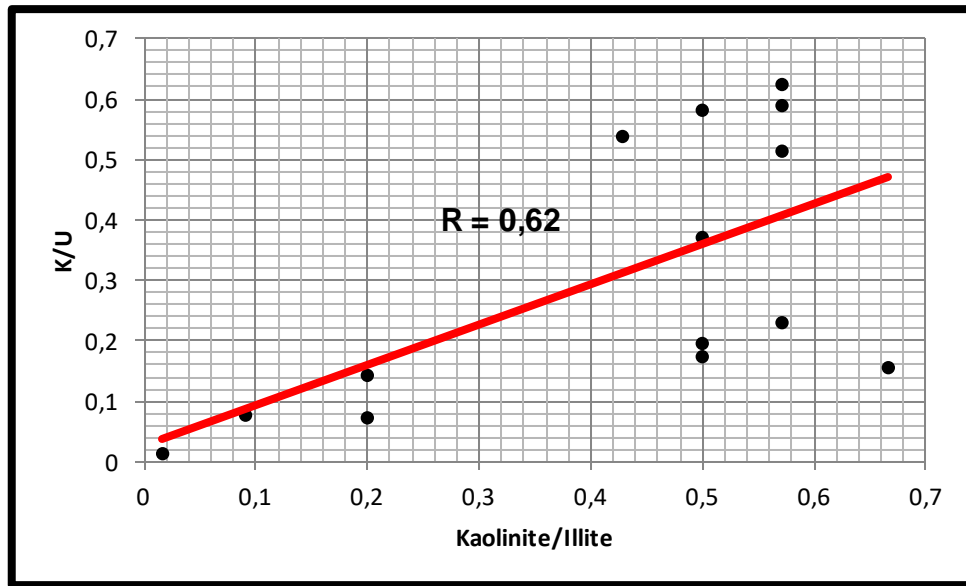


Figure.87- Corrélation de la variation du rapport K/U en fonction du rapport Kaolinite/illite

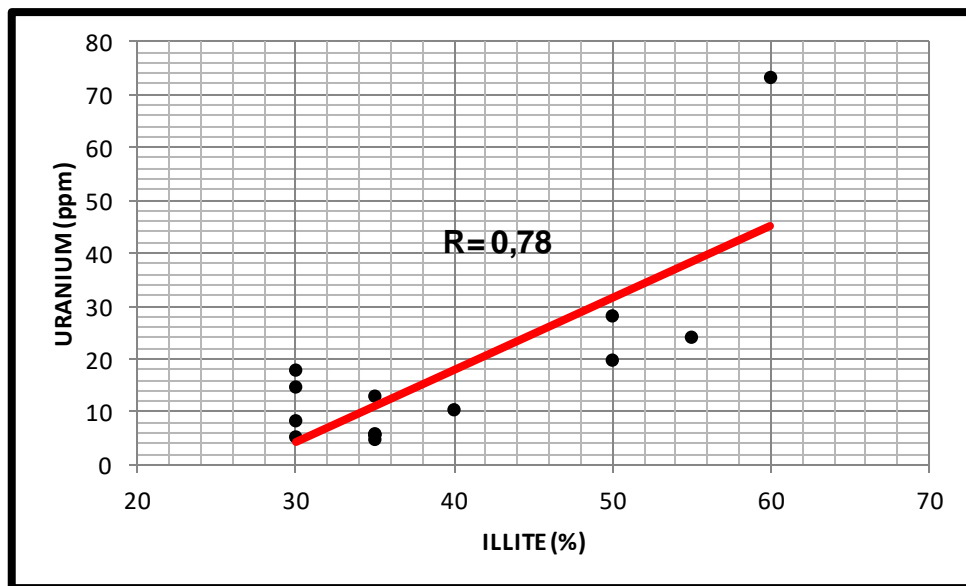


Figure.88- Corrélation de la variation de l'Uranium en fonction de l'illite

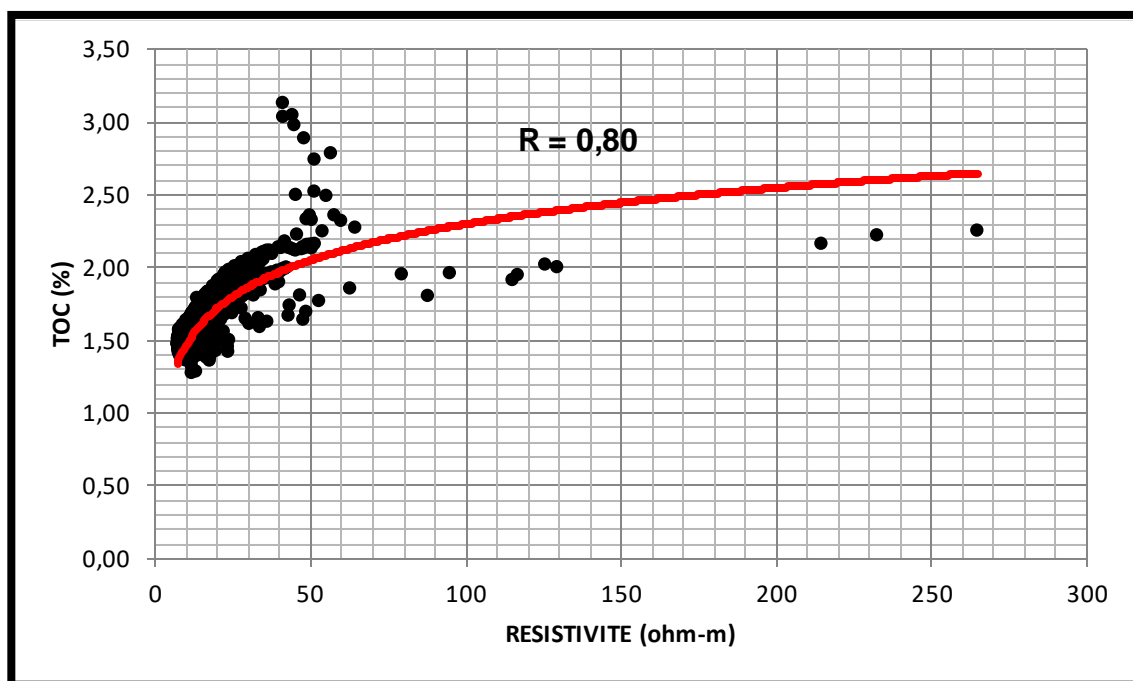


Figure.89- Corrélation de la variation de TOC en fonction de La resistivité(Puits1)

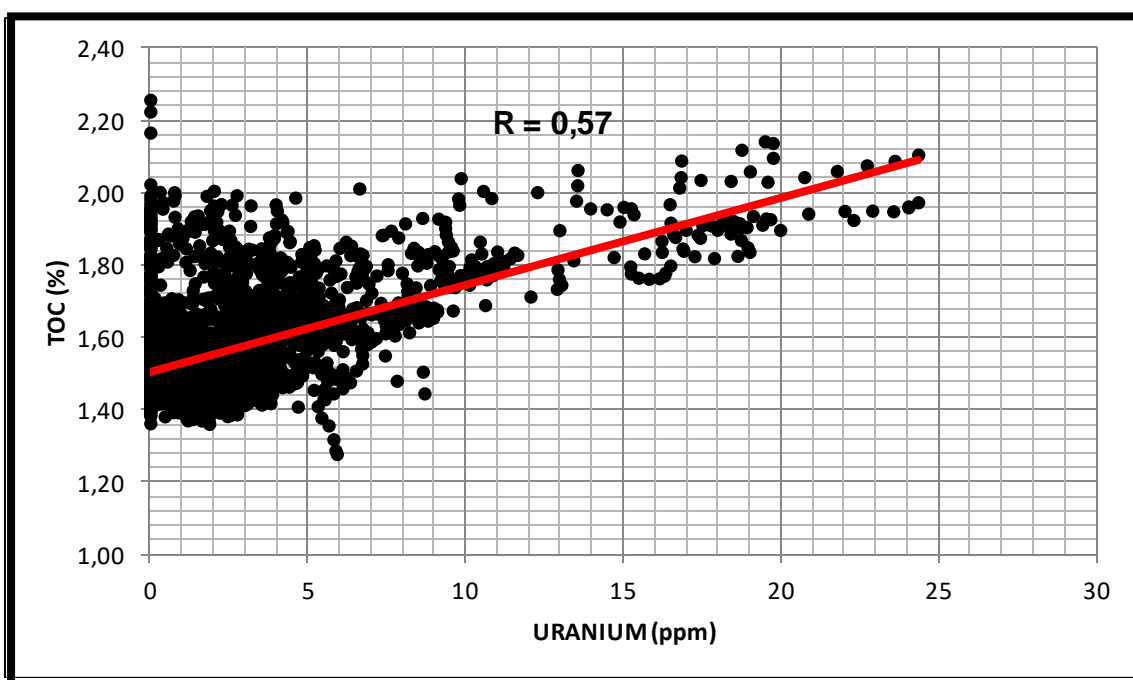


Figure.90- Corrélation de la variation de TOC en fonction de l'Uranium (Puits1)

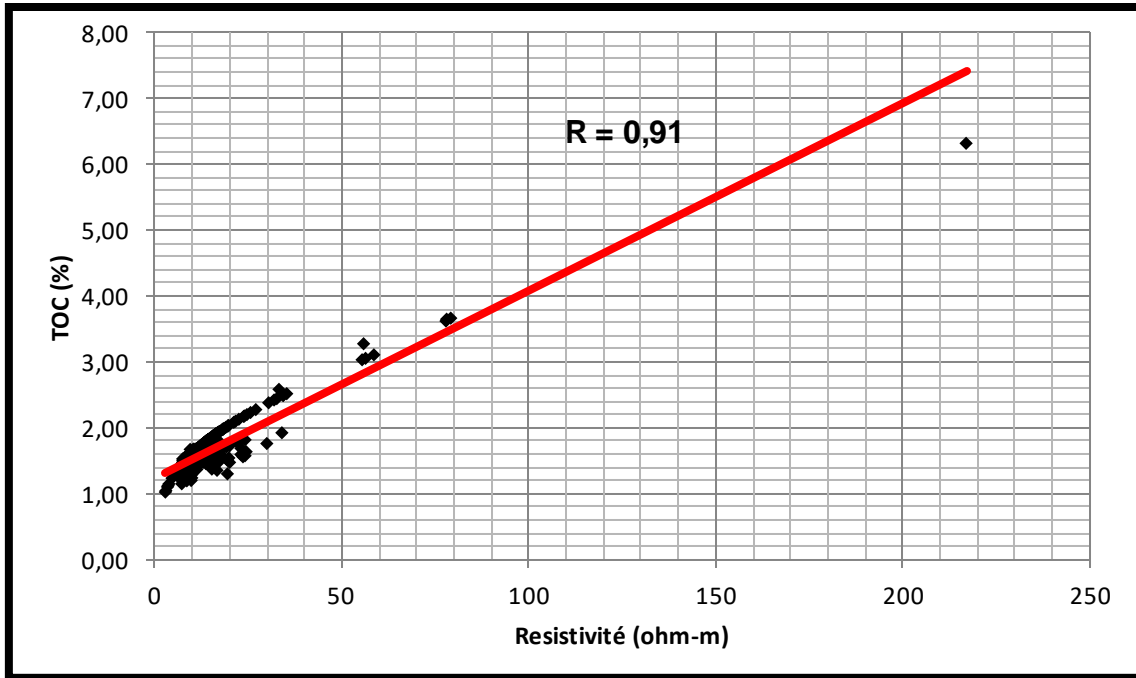


Figure.91- Corrélation de la variation de TOC en fonction de La resistivité(Puits3)

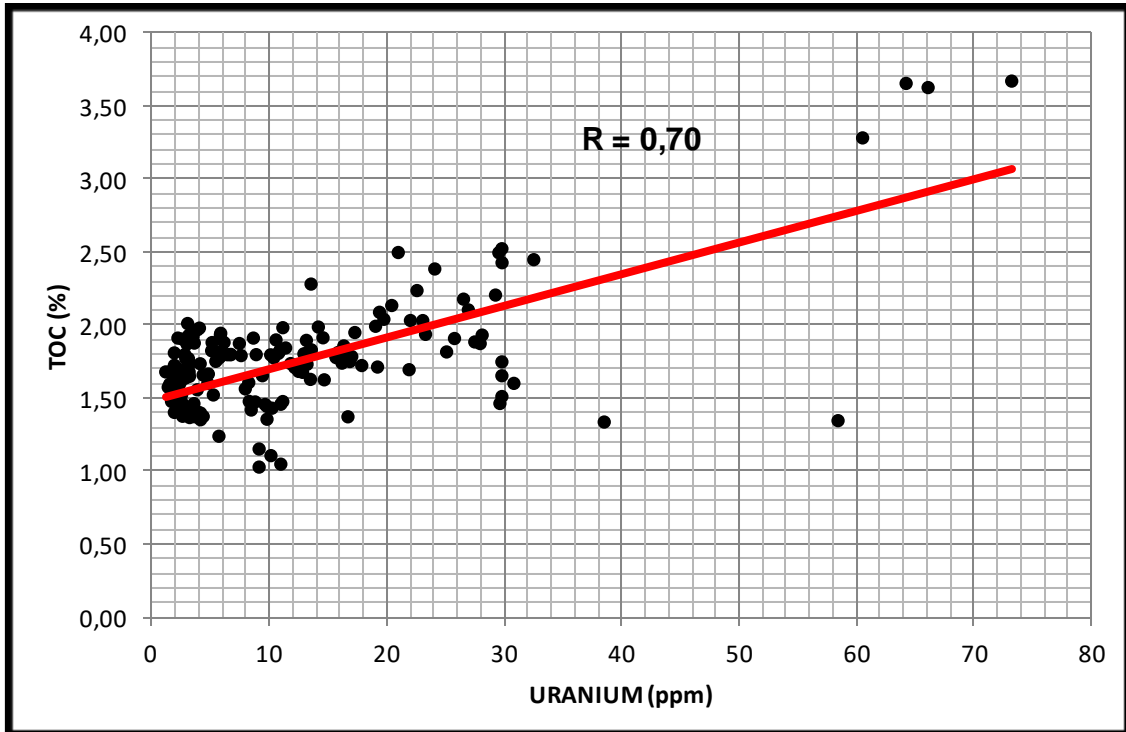


Figure.92- Corrélation de la variation de TOC en fonction de l'Uranium (Puits3)

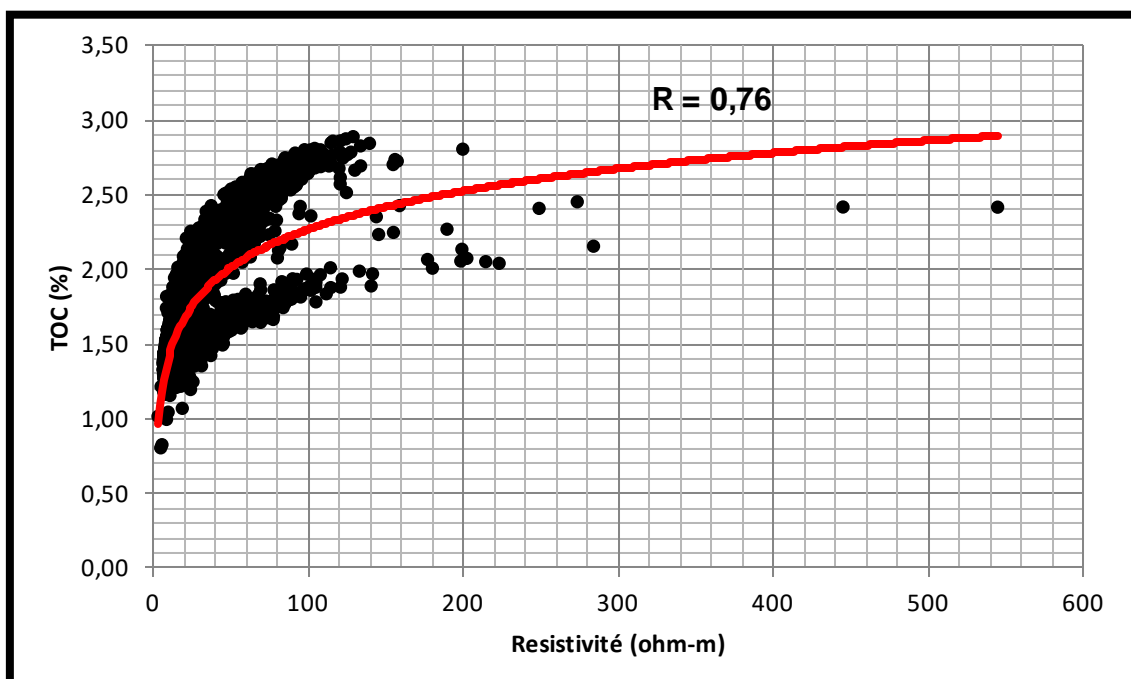


Figure.93- Corrélation de la variation de TOC en fonction de La résistivités(Puits4)

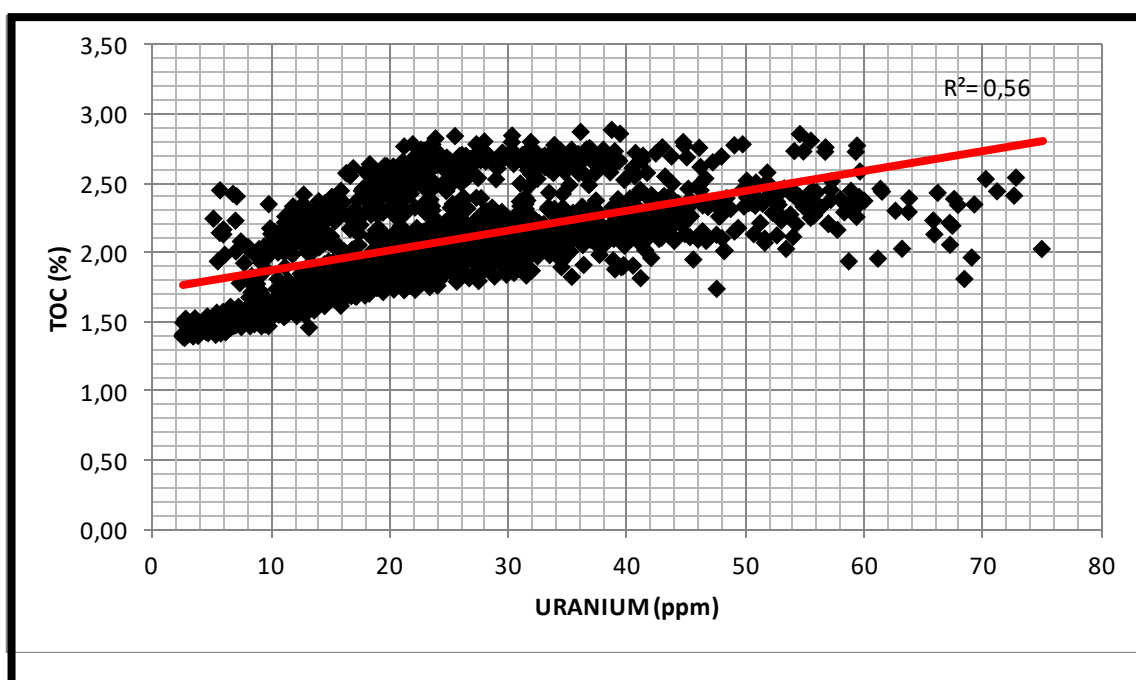


Figure.94- Corrélation de la variation de TOC en fonction de l'Uranium (Puits4)

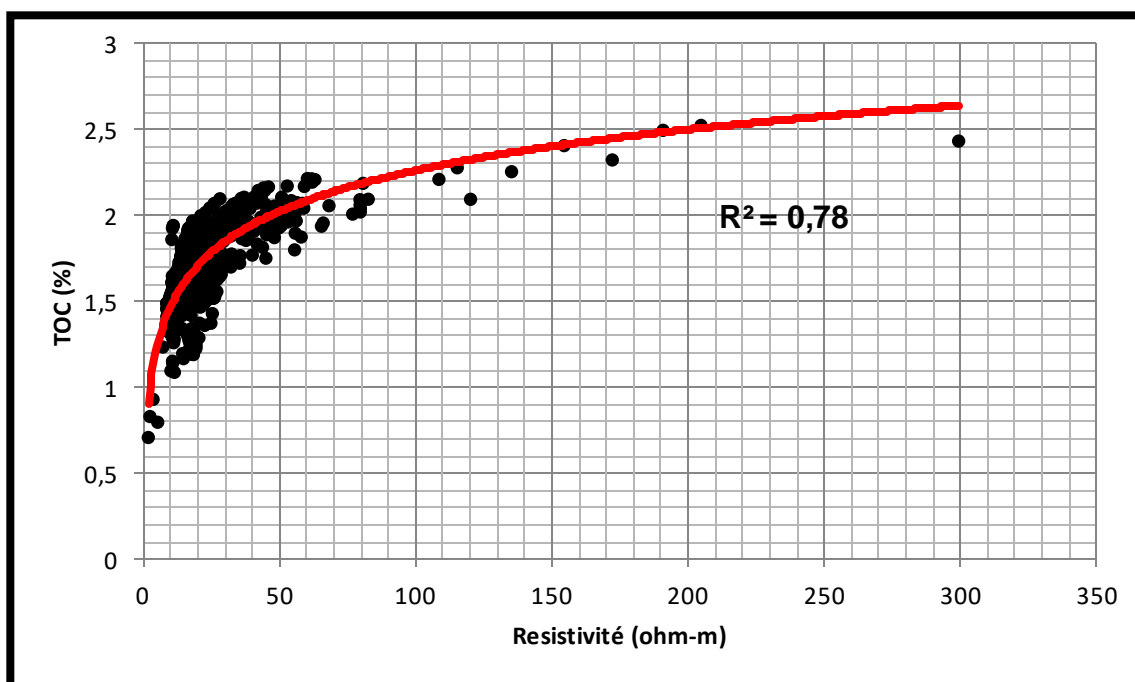


Figure.95- Corrélation de la variation de TOC en fonction de Les résistivités (Puits5)

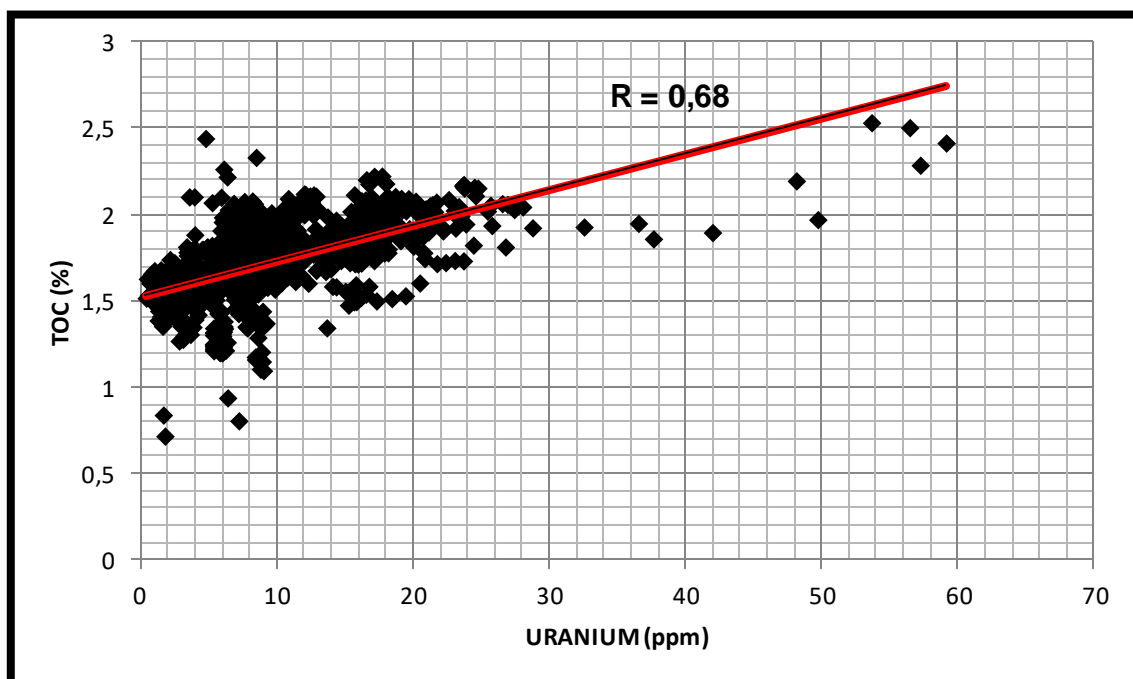


Figure.96- Corrélation de la variation de TOC en fonction de l'Uranium (Puits5)

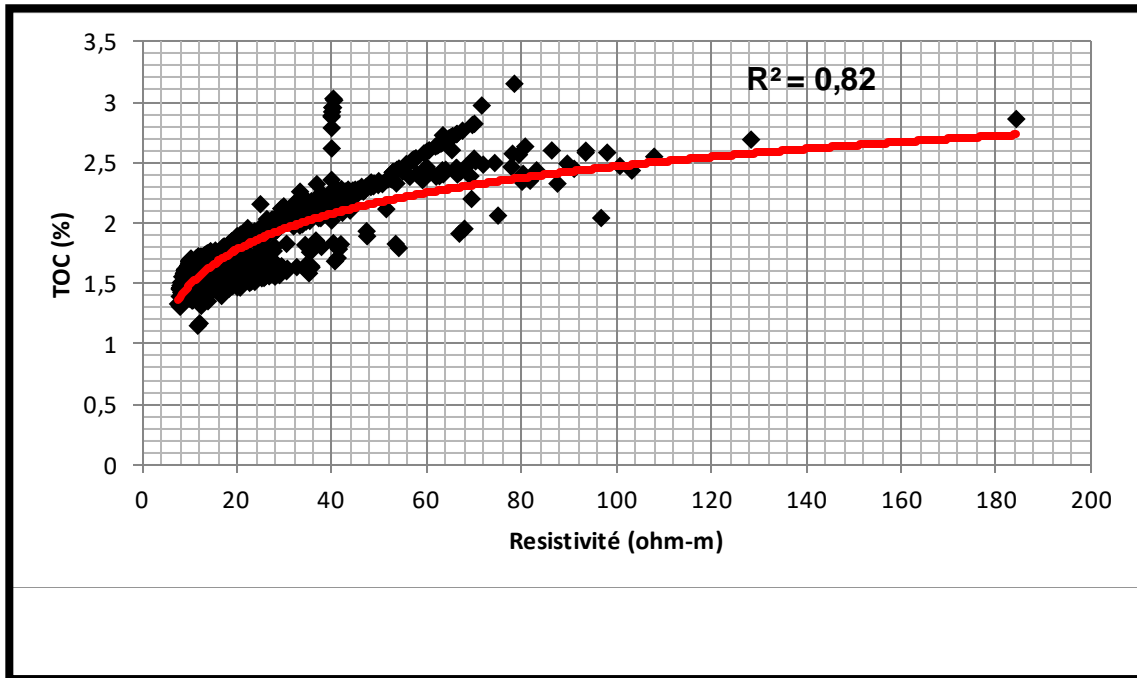


Figure.97- Corrélation de la variation de TOC en fonction de Les résistivités (Puits6)

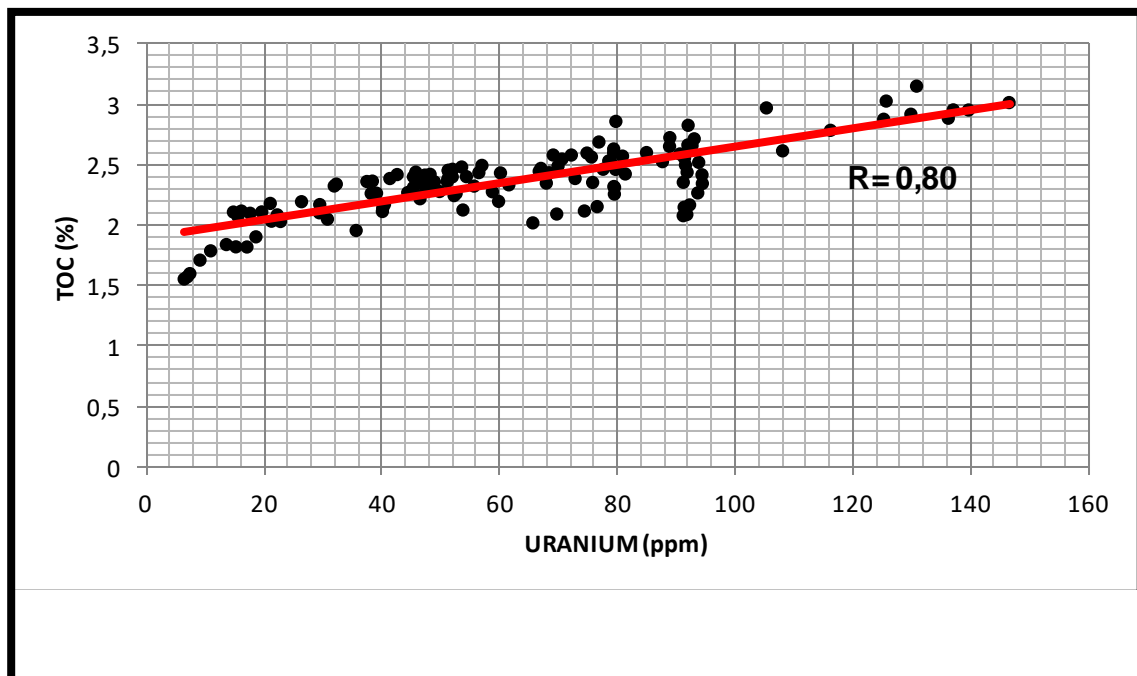


Figure.98- Corrélation de la variation de TOC en fonction de l'Uranium (Puits6)

Les cartes représentatives de distribution des valeurs de la résistivité dans le périmètre d'étude SHALE PLAY, montre une concentration des valeurs maximales dans la partie sud-est au alentour des puits 4 et 6, avec une résistivité moyenne respectivement de l'ordre de 42 ohm-m et 54 ohm-m, les valeurs minimales sont enregistrés a voisinons du puits 2 qui sont presque nul (0,01ohm-m), sinon la résistivité elle homogène dans le reste des puits avec une moyenne de 30 ohm-m.

En récapitulation les valeurs moyennes minimales de résistivité de la zone de schistes susceptible à être productive dans notre périmètre d'étude sont de l'ordre de 10 ohm-m, un maximum de 188ohm-m, la valeur maximale a été enregistrée au niveau de puits 4 (273ohm-m), c'est des seules qui peuvent être varié selon la région et les types de la matière organique ainsi les fluides piégés

Pour les teneuses en uranium les mêmes remarques presque ils ont été constaté avec une emplure qui s'étale sur tout la région de l'est avec des taux qui varie de 27ppm A 63ppm, autour des puits 3,4,6, la concentration est moins important vers l'ouest les teneurs minimales ils ont été remarqués dans le puits 2 avec une moyenne négligeable de 1ppm.

Pour une identification en terme de richesse en uranium en peut conclure que les zones qui devrais être ciblé dans l'exploitation des gaz de schiste sont ceux qui renferme des quantités minimales en uranium de 8ppm, c'est le seule minimale, est pas de seule maximale puisque l'existence d'uranium elle est directement liée a la présence de la matière organique.

L'identification électrique des schistes productifs elle résumé dans le tableau en dessous :

Tableau. 7- les Paramètre d'identification électriques

Paramètres Electriques des Schistes Productifs de Silurien			
Résistivités (ohm-m)		Teneurs en Uranium(ppm)	
Min	Max	Min	Max
10	188	8	75

Tableau. 8- les Valeurs régionale de Résistivités

	Les Résistivités du Périmètre d'étude		
	Min	Max	Moyennes
Puits 1	14,68	64,16	29,88
Puits 2	0,01	0,23	0,01
Puits 3	2,88	217	26,39
Puits 4	8,27	273,58	41,62
Puits 5	15,57	204,85	37,11
Puits 6	11,32	184,35	54,51

Tableau. 9- les Teneurs régionale en Uranium

	Les Teneurs en Uranium du Périmètre d'étude		
	Min	Max	Moyennes
Puits 1	12,88	24,34	18,24
Puits 2	01	6,61	01
Puits 3	8,31	73,24	27,98
Puits 4	2,58	75,01	26,96
Puits 5	9,58	59,11	18,33
Puits 6	6,48	146,62	63,11

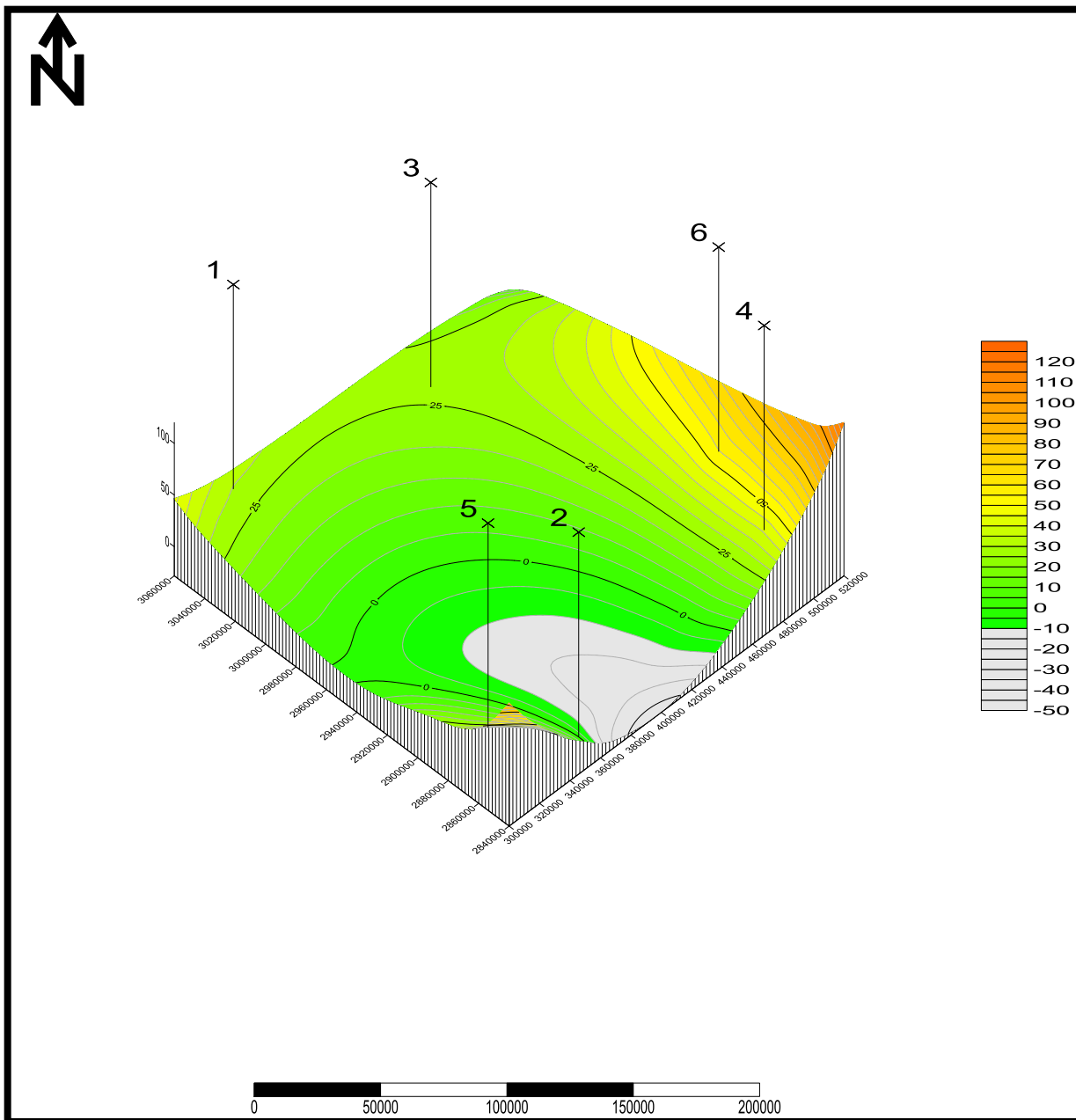


Figure.99-Carte de distribution des valeurs de resistivité dans le périmètre d'étude

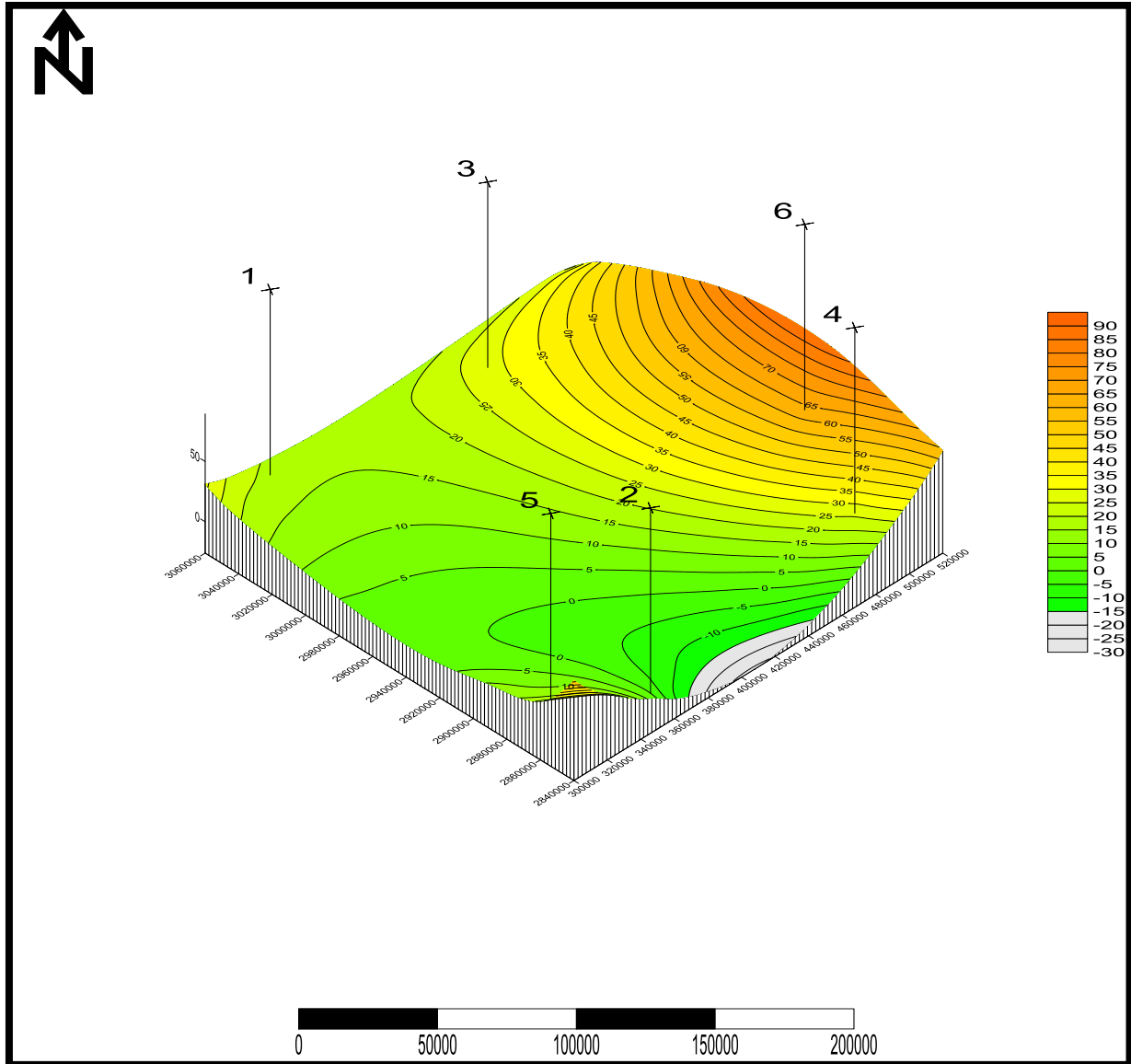


Figure.100-Carte de distribtion des Teneurs en Uranium dans le périmètre d'étude

Conclusion générale

Avec le lancement des projets gaz de schiste l'humanité va être moins inquiétante sur leur avenir vu qu'il y a d'autres sources d'énergie qui n'ont pas été exploitées et qui devraient être dans la future, une meilleure exploitation des gaz schiste nécessite sans doute un excellent suivi durant la réalisation du forage qui va nous permettre une évaluation précise surtout avec la particularité de ce genre de réservoir. À travers cette étude, on essaie de contribuer à la compréhension de l'évaluation des réservoirs de schiste sur chantier en utilisant, les données de mudlogging en combinaison avec celle des diagraphies rappelons que notre sujet de thèse se rattache à la thématique scientifique intitulée ; (Évaluation et Caractérisations des schistes de silurien dans le bassin de l'ahnet) , les objectifs attendus par cette étude est la familiarisation avec les techniques d'évaluation des réservoirs schistes et proposer un protocole d'évaluation sur site pour éviter tout trou de dépense avec les analyses au laboratoire, juste pour localiser les cibles pour les futurs puits horizontaux.

Pour valoriser les résultats obtenus par l'évaluation une caractérisation minéralogique, géochimique, des schistes en utilisant les techniques analytiques au laboratoire ainsi que les types de fluides dans leurs espaces vides (fissures) et les fluides de la matière organique (soluble) de ces potentielles zones pour arriver à déterminer une identité spécifique pour les schistes susceptibles d'être productifs.

Pour mettre le sujet dans son cadre original une étude géologique basée sur les tops de formation de 14 puits délimitons notre périmètre d'étude SHALE PLAY, la description lithologique des terrains traversés en microscope binoculaire sont attribués en majeure partie à des terrains d'âge paléozoïque représentés principalement par des formations dévoniennes, siluriennes et cambro-ordoviciennes, le carbonifère il est presque érodé mis à part la région nord-ouest avec l'apparition des argiles grises, verdâtre silteuse, pâteuse, attribuées au carbonifère, le mésozoïque représenté par la continentale intercalaire couvre uniquement la partie nord du périmètre.

Les cartes en isopach et isobathe des séries traversées nous ont permis de projeter les différents événements géodynamiques affectant le bassin de l'ahnet principalement et le Sahara du nord africain en général sur notre périmètre d'étude, on peut conclure que notre structure d'étude a été modélisée par l'effet des événements suivants :

Conclusion et Recommandations

- La compression cambro-ordovicienne
- L'orogénèse calédonienne
- Discordance hercynienne

Les coupes schématiques réalisées à travers deux axes l'un parallèle à la direction des contraintes régionale décrites par différents auteurs (Boudjemaa, Fabre) et l'autre divergent montre que la direction des enjeux structuraux ont toujours suivi les orientations de la phase compressive N-S, NW-SE du cambro-ordovicien.

D'après la classification mondiale des réserves adoptées par l'Association américaine des géologues pétroliers (**AAPG**), La Société Petroleum Évaluation engineering (**SPE**) et Le World Petroleum Council (**WPC**) d'un côté et la situation actuelle du projet gaz de schiste en Algérie avec le lancement de quatre puits pilote comparativement avec le projet gaz de schiste aux États-Unis ; la première extraction commerciale de gaz de schiste a été réalisée en 1821. Le premier forage horizontal a été réalisé en 1929 et Halliburton a développé la technique de fracturation hydraulique dès 1949, ils sont arrivés à 43000 puits gaz de schiste en 2013 nous a conduit à conclure que les ressources en gaz de schiste dans notre périmètre d'étude qui reflète la situation du gaz de schiste en Algérie ses ressources perspectives qui ont une chance de découverte et une chance de développement.

Les étapes d'évaluations des schistes de silurien selon le protocole proposé sont :

- Déterminer les intervalles radioactifs avec un seuil de 150 API
- Estimation des valeurs TOC par les techniques $\Delta\log R$
- Déterminer les intervalles riches en matière organique probablement supérieure à 2%
- Déterminer les intervalles à gaz sec en utilisant les techniques des gaz ratio

Les résultats de l'évaluation ont révélé que la base de silurien représente la partie potentielle en terme d'exploitation des gaz de schiste caractérisée par une richesse en matière organique de l'ordre de 2% accompagnée d'une radioactivité importante, la mouillabilité des gaz est très faible ce qui a donné l'aspect gaz sec au fluide piégé dans cette partie,

En appliquant ce protocole à notre périmètre d'étude on constate que la partie EST elle est mieux adaptée pour lancer des forages gaz de schiste. Précisément aux alentours du puits 3, où les cartes en isopach des intervalles riches en matière organique et celle qui renferme des gaz secs elle est importante et comme il est recommandé d'explorer ce genre de puits en horizontale et dans une procédure de

Conclusion et Recommandations

sélection décisive on peut conclure que le puits 3 il est mieux placé pour être entamé par un forage horizontal qui travers l'intervalle potentiel, la condition d'aller en forage horizontal elle est due principalement d'après notre constatation a la discontinuité verticale des potentiels intervalles et avec l'épaisseur importante de la zone potentielle on va laisser plus de liberté au déviateur de maintenir le train de tige dans l'intervalle voulu

Les échantillons analysés prélevés du puits 3 couvrant la base de silurien, attribuant a la zone potentielle les aspects suivants :

- Les natures de Gaz libre existant entre les feuillets de schiste sont de type alcane, avec une prédominance totale du méthane
- Les intervalles potentiels peut être estimer a partir de la variation des taux de total gaz, ou on a constaté que ces zones sont caractériser par une augmentation remarquable.
- L'identification minéralogique des échantillons montre que les schistes à gaz sont en majeure partie attribuée à Illite avec une progression de cristallisation vers la base
- La matière organique il est de type III, continental
- Les températures maximales attendue lors du pic S2 de la pyrolyse indiquent que la matière organique elle dans un état poste mature en phase de production des gaz
- Le découpage electrostratigraphique du silurien montre la présence de deux séquences sur tous les plans se qui important de retenir c'es que le cortège sédimentaire de la partie potentiel est transgressive dans leur majeure partie
- Les descriptions lithologiques sur binoculaire montre que ces schistes sont charbonneux, micacée, feuilleté avec une abondance de la pyrite, sur carotte la présence des traces de grapholithe
- Les zones potentielles peut être déterminé par le gamma spectroscopie, ou on constaté en traversons cette zone une augmentation remarquable des taux de uranium contrairement au potassium qui prend une allure régressive.
- Les seuils minimaux des résistivités pour les schistes à gaz sont de l'ordre de 10ohm-m
- Les seuils minimaux des teneurs en uranium pour les schistes a gaz sont de l'ordre de 08ppm.

- Les taux maximaux pour les deux paramètres dépendent de type de la matière organique ainsi la quantité et la présence des nappes d'eau et la position structurale.

Hypothèse sur l'origine de la matière organique

En combinant les résultats obtenus de l'étude géologique, l'évaluation et caractérisation des schistes de silurien on constate que ces formations sont subdivisées en deux séquences sur tous les plans, point vu potentialité en divisé le silurien en deux parties ; une partie potentielle et une autre non potentielle, la même remarque pour le découpage séquentielle ; cortège transgressif et l'autre régressive, Dans la littérature l'origine de la matière organique silurienne il est marin type II!? C'est le contraire se qu'on a trouvé comme résultats d'après les analyses de rock eval qui on montré l'origine continentale type III, une contradiction qui nous a poussés a revoir la question de l'origine de la matière organique silurienne. certes que les argiles siluriennes sont marines prouver par la présence des graptolite , mais il faut noter que la partie supérieure de cambrien et surtout l'Ordovicien sont marqués par ces fossiles aussi, on pense aussi sur la glaciation ordovicienne, qui va sans doute gelée toute activité biologique et fixé tout genre de biomasse, l'événement majeur de la fin de l'ordovicien avec la fente de l'inlandsis, par conséquent un soulèvement du niveau marin, l'activité biologique reprend son activité, une phase transgressive importante qui va porté tout le matériel continentale vers le fond marin , ces biomasses vont piéger l'uranium au fond par réduction, jusqu'à l'inondation maximale, donc d'après cette hypothèse on peut dire que l'origine de la matière organique de la base de silurien proviens de l'ordovicien.

Hypothèse sur la désorption naturelle

La maturité de la matière organique c'est l'un des paramètres essentiels dans le domaine de la géochimie pétrolière, dans la littérature selon les degrés de maturités de la matière organique on peut conclure le type de fluide produit.

Au stade de métagenèse (fenêtre à gaz) on assiste à la formation des gaz à partir des huiles produites lors de la catagenèse ou bien du kérogène résiduel (F.Laggoune, 1987).

L'interprétation des spectres infrarouges en combinaison avec les Pics de chromatographe couplé à la masse on a pu démontré que les extraits solubles dans les solvants organiques des schistes est de nature alcool qui n'a aucune ressemblance avec la structure des hydrocarbures.

Conclusion et Recommandations

C'est solvants vont refléter la nature des gaz adsorbés vu que les gaz libérés sont échappés, et la chose qui est remarquable aussi qu'en traversons cet intervalle en constate une augmentation du taux de gaz (total gaz) ces remarques nous pousse a pensé a un phénomène causé par la haute température qui est probablement la désorption qu'on va nome désorption naturelle.

Hypothèse sur la maturité

D'autre hypothèse qui peu être adopté dans se sens aussi c'est que ya pas deux stades de maturité de la matière organique en terme de productivité c'est-à-dire en parle soi d'une roche mature ou bien non mature, la roche mature c'est celle qui arrive a générée d'huile, à partir de ce stade la en parle pas de la maturité de la matière organique, mais la maturité de fluide produite, qui passe d'un état liquide vers un état gazeux jusqu'à avoir d'autre composé non hydrocarboné.

Recommandations

L'intégration des conclusions tirées de notre étude avec les hypothèses proposées a fait ressortir des recommandations qui possiblement devrais être utile et exploitable pour une meilleure exploitation des gaz de schiste dans le future, ces avis vont être résumé en quelque point ;

- Valorisation du rôle de la cabine de mudlogging
- Avant de commencer a foré des puits horizontaux il faut récolté le maximum de donnée des puits qui on traverser les formations schisteuses et l'évaluer avec le protocole proposer en utilisons uniquement les data de diagraphie combinée avec les gaz.
- Réponse au technique à d'autres techniques plus rentable que la fracturation hydraulique.
- Il faut tenter le forage en dsiquilibre (underbalance) avec un traitement spécifique en surface par des centrifuges géants et des bacs de décantation
- Il est utile d'utiliser les techniques autotrack dans les futurs puits programmés en horizontale
- Le programme des forages étudier il dépend toujours a l'intervalle potentiel déterminer par l'évaluation auparavant sur chantier ou bien lors d'un projet de synthèse, en insiste surtout sur KOP (kick of point) qui devrait être placé de la faconde donnée l'espace aux déviations a faire des corrections si il faut
- Reprise des activités d'exploration de gaz de schiste dans des puits déjà forés verticalement

Conclusion et Recommandations

- Dans le bassin d'Ahnet il faut focalisé l'activité DNS la partie est qui a montré une richesse en matière organique confirmée par des teneurs élevées en uranium.
- Il ne faut pas parler d'un projet gaz de schiste en Algérie pour le moment, mais d'une plate forme d'un projet gaz de schiste

Bibliographie

[1]Asses.A.,Loumi.KH.,(2015).The shale gas reservoir of the ahnet basin. université de Boumerdes.

[2]Advanced Resources International.,(2013).World Shale Gas and Shale Oil Resource Assessment.

[3]Ariketi.R., (2011). Estimation of level of organic maturity(LOM) and total organic carbon (TOC) in absence of geochemical data by using resistivity and density logs-example from cambay shale,tarapur area,cambay basin,india. J. Indian association of sedimentologists, vol.30,No. 1, pp.55-63.

[4]Baker Hughes.,(1995).Interpretation of Hydrocarbon Shows Using the light Alkane Gases from Mud-log Data.Technical Presentation.

[5]Boudjema. A., (1987). Evolution Structurale Du Bassin Pétrolier (Triassique) du Sahara Nord Orientale (Algérie). Thèse de doctorat. Université de Paris Sud, Centre D'Orsay.

[6]Baudin.F.,et al.,(2006).Géologie de la matière organique. Interaction collection .société géologique de France, vuibert.

[7]Bessa.J.L.,Hesselbo.S.P.,(1997). Gamma-ray character and correlation of the Lower Lias, SW Britain. Proceedings of the Geologists' Association, 108, 113-129.

[8]Badsı.M.,(1998).Fracturation naturelle des roches application au bassin de l'Ahnet .Thèse de doctorat, Université de Paris VI.

[9]Carpentier.B.,et al.,(1989). Diagraphies et roche mères,estimation des teneurs en carbone organique par la méthode carbolog.revue de l'institut français du pétrole,vol.44,N°6.

Référence Bibliographique

[10]Chen .Z., et al.,(2016).Caractéristiques géologiques et évaluation des ressources pétrolières de la Formation de Macasty, Ile d'Anticosti, Québec, Canada. COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA DOSSIER PUBLIC 8019 doi:10.4095/297893

[11]Charles.Boyer.,et al.,(2006). producing gas from its source, Oil field review.Schlumberger.

[12]Deconinck.J.F.,et al.,(2003).Environmental controls on clay mineralogy of an Early Jurassic mudrock (Blue Lias Formation, southern England).Int J Earth Sci (Geol Rundsch) (2003) 92:255–266 ,DOI 10.1007/s00531-003-0318-y.

[13]Dan.J.,(2010).Worldwide shale gas and oil plays and potential, NAPE Conference

[14]EL Nady M M., (2015). Source rock evaluation for hydrocarbon generation in Halala oilfield, southern Gulf of Suez,Egypt, Egypt.J.Petrol.

[15]Espitalie.J.,et el.,(1985).Rock-Eval Pyrolysis and Its Application, Inst. Fr. Petrol., 1985, 72p.

[16] Fabricius. Ida.L., et al(2003). The use of spectral natural gamma-ray analysis in reservoir evaluation of siliciclastic sediments: a case study from the Middle Jurassic of the Harald Field, Danish Central Graben. Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin 1, 349–366 (2003).

[17]Fabricius. L., et al., (2003). The use of spectral natural gamma-ray analysis in reservoir evaluation of siliciclastic sediment: a case study from the middle Jurassic of Harald field, Danish Central Graben. Geological survey of Denmark and Greenland Bulletin 1, 349-366.

[18]Fabre.J.,(2005).Géologie du Sahara occidental et central.Tervuren African Geoscience Collection 108. Musée Royal de l'Afrique Centrale, Tervuren

Référence Bibliographique

[19]Gunningham.N.,(2014). A shale gas revolution for China, *Climate Policy*, 14:2, 302-320, DOI: 10.1080/14693062.2014.842857.

[20]Hallam. A.,et al (1991). Palaeoclimatic significance of change in clay mineralogy across the Jurassic-Cretaceous boundary in England and France. *J. Palaeogeography, palaeoclimatology, Palaeoecology*, 81 - 173-187.

[21]Haworth. J. H., et al., (1985). Interpretation of hydrocarbon shows using light (C1-C5) Hydrocarbon gases from Mud-log Data. *AAPG Bulletin*.1985. 69 (8): 1305-1310.

[22]HOOD.A., et al.,(1975). Organic Metamorphism and the Generation of Petroleum *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin* V 59, No 6 (June 1975), P. 986-995. 7 Figs.

[23]Hunt. J.M.,(1996). *Petroleum Geochemistry and Geology*. second ed.,W.H. Freeman and Company, 1996, 743p.

[24]Jing.W.,et al.,(2011). A New Technology for the Exploration of Shale Gas Reservoirs, *Petroleum Science and Technology*, 29:23, 2450-2459, DOI:10.1080/10916466.2010.527885.

[25]Kracha.N., (2011). Relation entre sédimentologies, fracturation naturelle et diagenèse d'un réservoir à faible perméabilité application aux réservoirs de l'ordovicien bassin de l'Ahnet, sahara centrale. Thèse de doctorat de l'Université des sciences et Technologie de Lille .

[26]Kalaydjian.F.,Goffé.B.,(2012). Programme de la recherche sur l'exploration des hydrocarbures de roches mères. Rapport ANCRE(GP2).

[27]Kadri.M.M.,Hassini.M.,(2017). Evaluations of frasnian shale reservoir,cas study well DAK-1,Ahnet Basin, southern algerie.*J.Sci.*,2017,9(1),542-552.

Référence Bibliographique

[28]Kaced. M.,(2013).Le Potential Shale gas en Algerie.Presentation a la journée d'étude (Tight and shale Reservoir).17-18 septembre 2013.Algerie.

[29]Logan.P.,Duddy.I.,(2015). An investigation of the thermal history of the Ahnet and Reggane basins, central algeria,and the consequences for hydrocarbon Generation and accumulation.In :Macgregor,D.S.,Moody,R.T.J.&Clark-Lowes,D.D.(eds) 1998.petroleum Geology of North africa.Geological Society,London,special publication No.132,131-155.

[30]Legrand.Ph.,(2003).Paléogéographie du sahara algérien a l'ordovicien terminal et au silurien inférieur.Bull.Soc.géol.fr.,2003,t,174,n° 1,pp.19-32.

[31]Laggoun.F.,(1989). Diagenèse de la matière organique des séries paléozoïque du bassin de sbaa(algerie).Aspect géochimique et pétrologique. Bull.Soc.géol.fr., 1989,(8),t .v,n°5 ,pp.957-966.

[32]Laggoun.F.,(1994). Caractérisations et diagenèse de la matière organique du jurassique supérieur du Taurus occidental (Turquie méridionale) reconstitution paléo environnemental et conséquence tectonique. Bull.Soc.géol.fr., 1994, t.165, n°2 pp.957-966.

[33]Lüning.D., et al (2004). Temporal-spacial reconstruction of the early Frasnien (late Devonien) anoxia in NW Africa: new field data from the Ahnet basin (Algeria), journal of sedimentary geology 163, Elsevier.

[34]Mezlah.H., (2006). Les mud-mounds du devonien moyen du bassin de l'Ahnet et ses region limitrophes (sud-ouest algérien), sédimentologie –diagenèse.Thèse de doctorat de l'ecole des mines de paris.

[35]Mccarthy K.,et al.,(2011). Basic Petroleum Geochemistry for Rock evaluation.oilfield reviewsummer:23,no.2.

Référence Bibliographique

[36] Parkinson. D. N.,(1996). Gamma-ray spectrometry as a tool for stratigraphical interpretation; examples from the western European Lower Jurassic. (eds), sequence stratigraphy in british geology, Geological society special publication No.103,pp.231-255.

[37] Peters.K.E.,(2015). Geochemistry applied to evaluation of unconventional resources. Unconventional Oil and Gas Resources Handbook Evaluation and Development ; Elsevier Inc.

[38] Peters.K.E.,Cassa. M.R.,(1994). The Petroleum System – From Source to Trap in: L.B. Magoon, W.G. Dow, (Eds.), , AAPG Memoir 60, 1994, pp. 93–120.

[39] Peters.K.E.,et al.,(2005). The Biomarker Guide, second ed., Cambridge University Press, New York, 2005, 471p.

[40] Passey., et al., (2010). From Oil-Prone Source Rock to Gas-Producing Shale Reservoir – Geologic and Pétrophysical Characterization of Unconventional Shale-Gas Reservoirs, SPE 131350.

[41] Passey .Q.R., et al.,(1990). A Practical Model for Organic Richness from Porosity and Resistivity Logs. The American Association of Petroleum Geologist Bulletin, V.74.No12 December 1990.P.1777-1794.19Figs.7Tables.

[42] Qlihaa.A.,et al.,(2016). Caractérisation physico-chimique d'une argile Marocaine J. Mater. Environ. Sci. 7 (5) 1741-1750.

[43] Ruffell A., Worden R. Palaeoclimate analysis using spectral gamma-ray data from the Aptian (Cretaceous) of southern England and southern France. J. Palaeogeography, alaeoclimatology, Palaeoecology 155(2000) 265-283.

[44] Rahmani. A.,(2012). The potential of shale gas in Algeria.shale gas workshop. 27-28 february 2012.Oran, Algeria.

Référence Bibliographique

[45]Rahmani.A.,(2002). Evolution structurale du bassin de l'Ahnet.SONATRACH-Exploration-Boumerdes.

[46]Ravinder.A.,(2011). Estimation of Level of Organic Maturity (LOM) and Total Organic Carbon (TOC) in absence of Geochemical Data by using Resistivity and Density Logs – Example from BCambay Shale, Tarapur area, Cambay Basin, India. Jour. Indian Association of Sedimentologists, Vol. 30, No. 1 (2011), pp. 55-63.

[47]Samar.L., (2013). Les palynomorphes du passage pliensbachien-toarcien :exemple de la section de benzerka (traras septentrionaux, Algérie nord occidentale).Mémoire de magistère, université de Tlemcen.

[48]Serra.O., (1979). Diagraphies différées (Tome I). Interprétation des données diagraphiques .SNEA.P PAU-France.

[49]Serra.O., (1985). Diagraphies différées (Tome II) acquisition des données diagraphiques.SNEA.P PAU-France.

[50]Sardar.S., et al.,(2016).Hydrocarbon generation potential and thermal maturity of Middle Jurassic Sargelu Formation in Miran Field, Sulaimani Area, Kurdistan Region, NE Iraq.JZS (2016) Special Issue, GeoKurdistan II (213-228).

[51]Sonatrach., Schlumberger(2007). Well Evaluation Conference, Algeria.

[52]Vially.R., el al., (2013).Les Hydrocarbures de la roche mère, Publications IFP, Paris.

[53]Waples. D.W., Geochemistry in Petroleum Exploration, Inter.Human Resources and Develop. Co, Boston, 1985, 232p.

[54]Laurent C., (2011). Phyllo silicates des sols : de l'identification a la quantification. Document HDR Université de Poitiers, France

[55]Caillière, Hénin et Rautureau, 1982. Minéralogie des argiles. 2. Classification et nomenclature. Masson