

UNIVERSITE DE KASDI MERBAH OUARGLA
FACULTÉ DES HYDROCARBURES, DES ÉNERGIES
RENOUVELABLES ET DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE
L'UNIVERS
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS



MEMOIRE DE MASTER ACADEMIC
Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers
Filière : Géologie
Spécialité : Géologie Pétrolière

THEME

Caractérisation des réservoirs non conventionnels (shales de
Ahnet-Gourara Nord, Sud algérien) : Implication pour leur
développement

Présenté par :

- Mr.DJABOURABBI Mohammed Ghazali
- Mr.GEUMMOULA Abdelkarim
- Mr.ACHAB Abdelhamid

Soutenu le

Devant le jury :04/06/2026

- | | | | |
|-----------------------------|------|------------|-----------------------|
| □ Mr.BELKSIER Mohamed Salah | Pr. | President | University of Ouargla |
| □ Mr.KECHICHED Rabah | Pr. | Supervisor | University of Ouargla |
| □ Mr.AMEUR-ZAIMECHE Ouafi | MCA. | Examiner | University of Ouargla |

Année Universitaire : 2025/2026

Résumé

Face à la déplétion des gisements conventionnels et à la nécessité de diversifier les ressources, l'Algérie s'oriente vers l'exploitation des réservoirs non conventionnels, notamment le gaz de schiste. Les niveaux frasniens de l'Ahnet constituent à la fois roche-mère et roche-réservoir : riches en matière organique mais caractérisés par des perméabilités très faibles, une grande hétérogénéité minéralogique et organique, et une complexité qui rend les approches classiques inefficaces. La caractérisation de ces réservoirs est donc cruciale pour évaluer leur potentiel et élaborer des stratégies de développement adaptées. La désorption thermique en canisters, méthode de laboratoire directe, a été appliquée dans la région concernée pour mesurer le volume de gaz désorbé sur échantillons et ainsi estimer quantitativement le potentiel en gaz de schiste. Ces mesures expérimentales, couplées à des analyses pétrophysiques et sédimentologiques, permettent de mieux cibler les niveaux producteurs, d'optimiser les techniques de stimulation (fracturation) et de réduire les incertitudes économiques et opérationnelles liées au développement des réservoirs non conventionnels.

Mots-clés : Réservoirs non conventionnels, Gaz de schiste, Bassin d'Ahnet-Gourara, Désorption par canisters, Caractérisation pétrophysique.

ملخص

في ظل نضوب المكامن التقليدية والحاجة إلى تنويع مصادر الطاقة، تتجه الجزائر نحو استغلال المكامن غير التقليدية، ولا سيما الغاز الصخري. تُعدّ المستويات الفرانسية في حوض أهنت صخوراً مصدرية وخازنة في آنٍ واحد؛ إذ تتميز بغناها بالمادة العضوية، غير أنها تتسم بنفاذية منخفضة جداً، وعدم تجانس كبير على المستويين المعدني والعضوي، إضافةً إلى تعقيد يجعل المقاربات الكلاسيكية غير فعّالة. لذلك، تُعدّ عملية توصيف هذه المكامن أمراً بالغ الأهمية لتقييم إمكاناتها ووضع استراتيجيات تطوير ملائمة. وقد تم تطبيق تقنية الامتزاز الحراري داخل الحاويات (Canisters) وهي طريقة مخبرية مباشرة، في المنطقة المعنية لقياس حجم الغاز المنبعث من العينات، ومن ثم تقدير الإمكانيات الكمية للغاز الصخري. وتُسهم هذه القياسات التجريبية، المقترنة بتحليلات بتروفيزيائية ورسوبية، في تحسين تحديد الطبقات المنتجة، وتحسين تقنيات التحفيز (التكسير الهيدروليكي)، وتقليل حالات عدم اليقين الاقتصادية والتشغيلية المرتبطة بتطوير المكامن غير التقليدية..

الكلمات المفتاحية: المكامن غير التقليدية، الغاز الصخري، حوض أهنت-قورارة، الامتزاز الحراري داخل الحاويات، التوصيف البتروفيزيائي.



REMERCIEMENT

En préambule à ce mémoire nous remerciant **ALLAH**
qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

No sincères remerciement vont après à notre encadreur Pr.
KECHICHED Rabah pour ses conseils avisés, sa disponibilité, et
son soutien constant tout au long de ce travail. Ses remarques pertinentes et son
exigence scientifique ont grandement contribué à la qualité de ce mémoire.

Pr. **BELKSIR Mohammed Saleh**
Votre rigueur scientifique, alliée à votre bienveillance constante, a marqué durablement
notre parcours. Nous vous dédions ce travail en témoignage de notre immense respect
de la place privilégiée que vous occupez dans nos cœurs. Merci d'avoir été un véritable
modèle d'intégrité.

Nous adressons nos sincères remerciements au Service de Mesure des Carottes et à
LABS pour leurs services.

Un grand remerciement à tous les enseignants de l'Université de Kasdi Merbah
spécialement les enseignants de département des Sciences de la Terre et de l'Univers.





DEDICACE

Je dédie ce modeste ouvrage comme un témoignage d'affection, d'admiration :

Pour Ma Famille

A la mémoire de mon père, En témoignage de mon amour éternel et de ma gratitude infinie, je te dédie ce modeste travail bien que tu ne sois plus là pour partager ce moment de joie avec nous. A celle qui m'a tout donné, ma chère mère, Source de lumière, de patience et de tendresse

Tu as été mon premier professeur, mon guide et mon plus grand soutien
Tes mots d'encouragement m'ont donné la force d'aller jusqu'au bout de mes rêves.
À ma merveilleuse famille, pour votre amour inconditionnel, votre patience et votre présence à chaque étape de ma vie. Rien de tout cela n'aurait été possible sans vous.
Que ce travail soit à la hauteur de vos sacrifices.

Je dédie ce travail aux branches de mon arbre familial mes chers cousins
« Y.A.G.D.M.A.J.T.S.Y.B.K.S.R.I.S.M.Z » avec qui je partage mes moments importants de la vie.

À mes chers oncles, [Merabet Belkhir] et [Fekih Abdelali]
En témoignage de votre bienveillance, de vos précieux conseils et de votre présence encourageante à chaque étape importante de ma vie. Votre soutien m'a été d'une grande valeur

Un grand merci particulier à ma cousine [Fekih Nour-elimane] pour son aide précieuse et son temps accordé à la réalisation de ce projet.

Un grand merci particulier à mes chers professeurs : Mr Maazouzi.A, Mr Sahraoui.S, Mr Melouah.O, Mr Mennad.H.I, Mr Medjani.F, Mr Fellah.L, Mr Belksir.M.S, Mme Sahri.L et Mme Beguirat.L, je tiens à vous exprimer ma plus profonde gratitude pour le savoir que vous m'avez transmis tout au long de mon parcours. Votre rigueur, votre bienveillance et la passion de votre métier ont été des guides précieux dans ma formation. Merci de m'avoir poussé vers l'excellence et d'avoir cru en mes capacités. Ce travail est le fruit de votre dévouement.

Mes Chers Amis

A mes amis proches qui sont devenus la famille que j'ai choisie. Votre fidélité et vos encouragements ont été mon plus grand moteur « CH.Y.F.IS.S.R.L.Y.H.N.SH »

Mohammed Ghazali





DEDICASE

Je dédie ce modeste ouvrage comme un témoignage d'affection, d'admiration :

Pour Ma Famille

À mes chers parents, les piliers de ma vie. Aucun mot ne saurait exprimer ma gratitude pour votre amour inconditionnel, vos sacrifices et votre soutien infaillible tout au long de mon parcours. Ce succès est avant tout le vôtre. À mes frères et sœurs, merci d'avoir toujours été à mes côtés.

À l'éminent Professeur « BELKSIR Mohamed Saleh »

À travers ce mémoire, nous tenons à saluer le grand homme de science et l'esprit dévoué que vous êtes. Vos précieux conseils et votre patience infinie ont été les piliers de notre réussite. Que ce modeste ouvrage soit le reflet de notre reconnaissance éternelle pour votre noble engagement.

Mes Chers Amis

À mes fidèles amis. À ceux qui ont partagé mes éclats de rire, mes doutes et mes longues nuits de révision. Merci pour les moments inoubliables, l'entraide et les encouragements mutuels. Cette aventure n'aurait pas eu la même saveur sans votre précieuse présence. Que ce diplôme soit le début d'un bel avenir pour nous tous.

Abdelkarim





DEDICACE

Je dédie ce modeste ouvrage comme un témoignage d'affection, d'admiration :

Pour Ma Famille

A mes très chers parents, qui ont toujours été une source inestimable d'amour, de soutien et de sacrifices. Aucun mot ne saurait exprimer ma profonde gratitude pour leurs encouragements permanents, leur patience et leur confiance tout au long de mon parcours universitaire.

À ma famille, pour leur affection, leur présence et leur soutien moral qui m'ont donné la force d'avancer et de persévérer. À mes enseignants et encadreur, pour leurs orientations, leurs conseils avisés et les connaissances qu'ils m'ont transmises avec générosité, et plus particulièrement Mr BELKSIR Mohamed Saleh pour son soutien, sa disponibilité et la pertinence de ses précieux conseils. Sa rigueur et sa bienveillance resteront pour moi une véritable source d'inspiration.

Mes Chères Amis

À mes amis et collègues, Pour leur aide précieuse, leurs conseils et tous les moments de partage qui ont rendu ce parcours plus agréable.

Enfin, à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci à tous

Abdelhamid



Liste des abréviations

Table des matières

Résumé	i
	ii
REMERCIEMENTS	iii
Dédicace	iv
Introduction générale	1
Introduction	2
1 Generalitiés	2
1.1 Generalitiés	3
1.1.1 Les grands traits du bassin de l'AHNET	3
1.1.2 Cadre structural	4
1.1.3 Cadre stratigraphique (Fig.3)	5
1.1.4 Le Paléozoïque	5
1.1.5 Le Mésozoïque	6
1.1.6 Roche mère principale	7
1.1.7 CADRE GEOLOGIQUE DE GUERN EL GUESSA	8
2 MATERIELS ET METHODES	10
2.1 MATERIELS ET METHODES	11
2.1.1 LA DESORPTION	11
2.1.2 MESURE DE DESORPTION DU GAZ DE SCHISTE	11
2.1.3 METHODE UTILISEE POUR DETERMINER LA QUANTITE ET LA COMPOSITION DU GAZ DANS LES SCHISTES	12

2.1.4	LES EQUIPEMENTS ET MATERIAUX REQUIS POUR REALISER LA DESORPTION	12
2.1.5	DESCRIPTION DE L'EQUIPEMENT	13
2.1.6	LES ETAPE DE MESURE DE LA DESORPTION DE GAZ PAR CANISTERS	19
2.1.7	CONDITION AMBIANTES À PRENDRE EN CONSIDÉRATION	19
2.1.8	PREPARATION DES CANISTERS ET BAINS ÉLECTRIQUE DANS LE CHANTIER	20
2.1.9	METHODE D'ÉCHANTILLONNAGE SUR SITE	21
2.1.10	Les procédures nécessaires une fois que l'échantillon arrive à la cabine	22
2.1.11	METHODOLOGIE D'ESSAIS	25
2.1.12	LES PROCÉDURES AU LABORATOIRE	27
2.1.13	DESCRIPTION DE L'EQUIPEMENT	28
2.1.14	PRINCIPE ET CONDITIONS DE MESURE	28
2.1.15	MÉTHODE D'ÉCHANTILLONNAGE ET PRÉPARATION DE L'ÉCHANTILLON	30
3	RESULTATS ET DISCUSSIONS	37
3.1	RESULTATS ET DISCUSSIONS	38
3.1.1	INTRODUCTION	38
3.1.2	CONDITIONS DE DEROULEMENT DE L'ESSAI	38
3.1.3	DÉSCRIPTION DES CAROTTES	40
3.1.4	Donnée des échantillons des carottes	42
3.1.5	Résultats et Discussions	43
3.1.6	Synthèse des résultats obtenus :	49
3.1.7	Correlation entre le TOC et le Total Gas	51
3.1.8	Interprétation générale et implications sur le développement . . .	52
	Conclusion	53
	Bibliography	55

Liste des tableaux

2.1	Les intervalles de temps pour la lecture rapide	25
3.1	les informations des carottes et des échantillons prélevés	42
3.2	Les résultats des lectures rapides cumulés de trois carottes	43
3.3	Les résultats des lectures lentes de trois carottes	44
3.4	Volume de gaz et les valeurs de gaz résiduel	47
3.5	resultat TOC des échantillons S5 à S8.	51

Liste des figures

1.1	Situation géologique du bassin de l’Ahnet [5].	3
1.2	les domaines structuraux du bassin de l’Ahnet [8].	4
1.3	Colonne stratigraphique du bassin d’Ahnet [8].	7
1.4	Principaux roches mères dans le bassin de l’Ahnet [8].	8
1.5	Carte en écorché à la discordance Hercynienne [7].	9
2.1	Schémas de mesure de la désorption du gaz de schiste (document interne2018)	11
2.2	Image d’un canister.	13
2.3	Image de bain électrique.	14
2.4	Image représentant le manomètre.	15
2.5	Weatherstation.	15
2.6	Thermomètre.	16
2.7	Tube d’échantillonnage de gaz.	16
2.8	Gabarit noir & charte des couleur.	17
2.9	Outillage.	17
2.10	Unités réfrigérantes mobiles.	18
2.11	Gamma ray portable GT-40.	18
2.12	Préparation et la pesée de canister.	20
2.13	La purge de canister avec de l’hélium pour le nettoyer.	20
2.14	Échantillonnage rapide Gamma ray spectral GT-40.	21
2.15	montrant le profil de gamma total et les positions d’échantillon choisir dans chaque carotte.	21
2.16	Le nettoyage de l’échantillon de la boue de forage.	22
2.17	La photographie et la pesée de l’échantillon.	23
2.18	Placez l’échantillon à l’intérieur de canister et fermez-le.	23

2.19	La pesée de canister contenant l'échantillon.	23
2.20	La mise en place de vis antidéflagrante après la hausse de la température.	24
2.21	Placement des canisters à l'intérieur des bains électriques.	24
2.22	Réglage de la température de bain électrique par rapport à la température de la circulation de la boue de forage et le début de lecture.	24
2.23	Image des Canisters dans les bains.	25
2.24	Images indiquant la lecture du gaz désorbé.	26
2.25	Equipment de mesure de gaz résiduel (DLCC/HMD).	28
2.26	Fiche : Dead volume calculator.	29
2.27	Processus de préparation des échantillons de canister après désorption.	31
2.28	Protocole de préparation et de pesée d'un échantillon solide avant broyage.	31
2.29	Procédure de test d'étanchéité par hélium et immersion hydraulique.	32
2.30	Étuve de laboratoire et régulation de température.	32
2.31	Phase de broyage mécanique des échantillons.	33
2.32	Phase de digestion thermique.	34
2.33	Image montrant le fiche d'analyse.	34
2.34	Mesure du gaz résiduel.	35
2.35	Exemple des mesures enregistrées.	36
2.36	Mesure du Void Volume.	37
3.1	Exemple de calcul du crushed gas	47
3.2	Le graphe montre la comparaison des volumes de gaz résiduel(crushed gas) des échantillons S1 à S8 en cc/g	48
3.3	Image illustrant la courbe d'étalonnage du carbone total (TC) de l'échan- tillon S5.	50
3.4	Image illustrant la courbe d'étalonnage du carbone total (TC) de l'échan- tillon S6.	50
3.5	Image illustrant la courbe d'étalonnage du carbone total (TC) de l'échan- tillon S7.	50
3.6	Image illustrant la courbe d'étalonnage du carbone total (TC) de l'échan- tillon S8.	50

Introduction générale

Introduction

Le bassin de l'Ahnet fait partie de la région Ouest de la plateforme saharienne, c'est l'un des bassins les mieux explorés dans le Sud algérien. Les études géochimiques réalisées dans ce bassin ont démontré que les argiles radioactives « Hot Shales » du Silurien et du Frasnien constituent les principales roches mères pour l'ensemble des gisements des hydrocarbures connus actuellement à travers la plateforme saharienne. L'état de maturité de ces niveaux roches mères est à gaz sec dans le bassin de l'Ahnet, stade atteint vers la fin du paléozoïque où une grande partie des quantités d'hydrocarbure Gaz sec générés demeure encore piégée dans ces argiles appelées « non conventionnel ». Le concept du « Non Conventionnel » a déjà été prouvé par des résultats très encourageants sur les niveaux roches mères du Frasnien (Projet Ahnet), cependant la dérivabilité des niveaux roches des niveaux Hot Shale du Silurien reste encore non prouvée. Les études d'évaluation du potentiel en gaz et des quantités de gaz générées par les principaux niveaux roches mères du Silurien et du Frasnien réalisées sur la plateforme saharienne placent le bassin de l'Ahnet-Gourara en bonne position en termes de prospectivité pour le Play non conventionnel de type roche mère réservoir. Ces types de réservoir sont situés à des profondeurs ne dépassant pas les 3500 m et la richesse en Carbone Organique Total (COT) est favorable et varient entre 2 à 7 % avec des épaisseurs utiles qui oscillent entre 40 à 100 m avec des exceptions pour le réservoir Silurien dans la partie Sud Est du périmètre In Saleh où l'épaisseur utile dépasse les 200m, l'état de maturité de ces niveaux roches mères est en phase à gaz sec.

Ce mémoire se focalise sur le bassin bassin de l'Ahnet-Gourara avec une étude géologique de ce réservoir non conventionnel et s'intéresse surtout au résultats le des mesures de désorption de gaz de la roche mère du FRASNIEN et SILURIEN au niveau du puit WELL-1.

Les résultats permettant une meilleure connaissance du réservoir ainsi que les perspectives de développement.

Chapitre 1

Generalitiés

1.1 Generalitiés

1.1.1 Les grands traits du bassin de l'AHNET

1.1.1.1 Situation géographique et géologique (Fig.1)

Le bassin de l'Ahnet (Fig.1) est situé dans la partie Sud Ouest du Sahara Algérien. Il fait partie de la province occidentale de la Plate-forme Saharienne. Il est Limité par les méridiens $1^{\circ} 00$ et $3^{\circ} 00$ et les parallèles $24^{\circ} 00$ et $27^{\circ} 00$, il s'étend sur près de 50.000 km². Il est limité :

- Au nord par le plateau de Tademaït et l'ensellement de Djoua, qui le sépare du bassin de Timimoun.
- Au Sud il admet le bouclier Touareg, comme limite méridionale.
- A l'Ouest par l'ensellement d'Azzel-Matti, le séparant du bassin de Reggane et la cuvette de Sbaa.
- A l'Est par le mole d'Arak-Idjerane, qui le sépare du bassin de Mouydir.

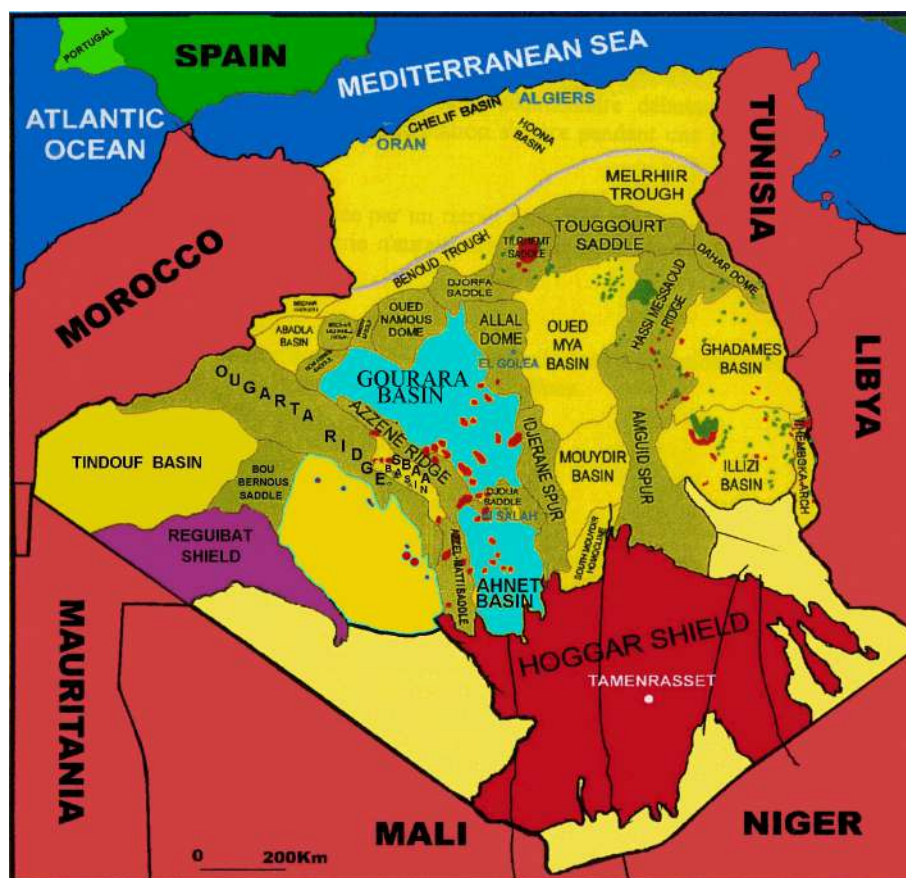


FIG. 1.1 – Situation géologique du bassin de l'Ahnet [5].

1.1.2 Cadre structural

Le bassin de l’Ahnet-Gourara est l’un des bassins paléozoïques productifs d’hydrocarbures de la plateforme saharienne, situé sur le flanc Nord du craton ouest Africain. Le bassin est caractérisé par des dépôts sédimentaires d’âge du Cambro-Ordovicien au Carbonifère ; la série sédimentaire paléozoïque est généralement argilo-silteuse et gréseuse avec quelques rares niveaux carbonatés à la base du Silurien et au Dévonien moyen et supérieur qui constituent d’excellentes roches mères. Durant la phase hercynienne précoce, au début du Carbonifère, la région de l’Ahnet / Timimoun forme une ceinture orogénique très active soulignées par une série d’anticlinaux (Inversions anticlinales) compliqués par des failles inverses et rejeux d’anciennes failles de distension. L’ensellement de Djoua divise les deux sub-bassins, de Timimoun au Nord et Ahnet au Sud. Les structures sont généralement asymétriques et l’orientation dominante est NW – SE avec une direction parallèle à l’Ougarta (Fig.2). Dans la région d’étude, dans le sub-bassin de l’Ahnet des directions N-S sont apparentes. Une inversion tectonique est survenue après la phase hercynienne, privilégiant une érosion du sud vers le Nord suivant les soulèvements attribués au Crétacé-tertiaire du massif du Hoggar. Les dépôts du Mésozoïque font défaut. Des mouvements de compression post hercyniens ont très légèrement modifié les structures au vu de la présence de quelques failles au niveau de la surface de la discordance Hercynienne et d’anciennes failles ont été réactivées.

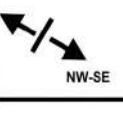
ERES	EPOQUE D'INTERVENTION MAXIMALE	NOMS DES PHASES	Nature et direction Des phases	EFFET SUR LES JEUX DE FAILLES
PALEOZOIQUE	PERMIEN	PHASE HERCYNIE NNE TARDIVE	 N.120	Jeu en inverse sur les failles NW-SE
	VISIEN	PHASE HERCYNIE NNE PRECOCE	 N.O.40	Jeu en inverse sur les failles NE-SW
	Superieur	PHASE FRASNIEN NE	 NW-SE	Jeu en failles normale sur les failles NE-SW
	Moyen			(variation de facies et d'épaisseur)
	Inferieur			(Volcanisme)
	SILURIEN	PHASE CALEDONIE NNE	 E-W ?	Jeu en inverse sur les failles N-S
	ORDOVICIEN			(Erosion sur les môle sub-méridien "Tihemboka")
	CAMBRIEN	PHASE PANAFRICAIN E TARDIVE	 E-W	Tectonique cassante réseau NE-SW Et NW-SE (Cratonisation du sahara central)

FIG. 1.2 – les domaines structuraux du bassin de l’Ahnet [8].

1.1.3 Cadre stratigraphique (Fig.3)

1.1.4 Le Paléozoïque

1.1.4.1 Cambrien :

Il est constitué par l'unité I de la série pourprée [1]. Cette dernière est représentée par de la molasse (syn à tardi-tectonique) issue du démantèlement de la chaîne panafricaine (Fabre, 1988). Elle porte l'empreinte de conditions glaciaires en liaison avec la présence d'un inlandsis situé plus à l'Ouest dans le Sahara [2]. Au dessus de l'unité I, conservée dans les paléo-creux, les dépôts de l'unité II ont été étalés par un système fluviatile en tresse. Le milieu était tantôt continental tantôt marin peu profond [5].

1.1.4.2 Ordovicien :

Il est représenté par deux ensembles ; inférieur et supérieur. L'ensemble inférieur (ou unité III) est matérialisé par des dépôts transgressifs, localement discordants sur les grès cambriens. Ces dépôts révèlent un milieu marin peu profond à profond. L'ensemble supérieur est représenté par les dépôts glaciaires et glacio-marins de l'unité IV [1][5]. Cette dernière repose en discordance de ravinement sur les formations sous-jacentes.

1.1.4.3 Silurien :

Il est constitué d'argiles gris foncé à noire pyriteuses, renfermant une faune de graptolites gotlandiens [6] avec parfois la présence de bancs calcaires et d'intervalles de grès. Selon Berry et Boucot [5], les argiles à graptolites sahariennes sont déposées dans un milieu peu profond.

1.1.4.4 Dévonien :

1.1.4.5 Dévonien inférieur :

- a) Lochkovien : il est représenté par une série argilo-gréseuse qui marque la zone de passage siluro-dévonienne à prédominance de dépôts marins peu profonds (Drid, 1989 in Zazoun 2000).
- b) Praguien : il est matérialisé par des sédiments fluviatiles en tresses, et parfois à influences tidales, à même caractère que celui du membre supérieur de la Formation

de Dkhissa reconnue dans le bassin de Timimoun (Drid, 1989).

c) Emsien :formé essentiellement par des dépôts de plate-forme [4][9].

1.1.4.6 Dévonien moyen (Eifélien-Givétien) :

Il s'agit à des sédiments marins, et formant la transition entre le pays tassilien et la plage prétassilienne .

1.1.4.7 Dévonien supérieur (Frasnien-Famennien) :

Il est constitué en majeure partie par des schistes argileux, intercalés de nombreuses passées ferrugineuses et de gros rognons à structure cloisonnée. Puis vient un banc de calcaire marno-ferrugineux renfermant des *Spirifer Verneuilli* associés à des *Rhynchonelles* et des *Orthetins* [6].

1.1.4.8 Carbonifère :

Il refferme à la fois des faciès fluviatiles deltaïques et marins [3]. Ainsi le Carbonifère inférieur renferme quatre principales formations, avec de bas en haut : Grès de Khenig, Argiles de Teguentour, Barre à Merocanites et Argiles de Tirechoumine. Par contre, le Carbonifère supérieur comprend seulement trois formations. Il s'agit dans l'ordre ascendant de : Grès de Garet Dhor, Série de Dj. Berga et Série de Azzel Matti.

1.1.5 Le Mésozoïque

Les séries mésozoïques sont peu répondues dans le bassin de l'Ahnet, ils sont représentés par des dépôts continentaux intercalaires ou de roches tertiaires plus jeunes, qui reposent en discordance sur les dépôts paléozoïques.

1.1.5.1 Le Crétacé inférieur :

Il est représenté par des argiles versicolores, avec des passées de calcaire dolomitiques micro cristallin.

1.1.5.2 Le Crétacé supérieur :

Il est représenté par des formations gypsifère à gypse saccharoïde argiles, et des bancs de dolomie, ainsi que des anhydrites massives avec des argiles plastiques rouges légèrement carbonatées.

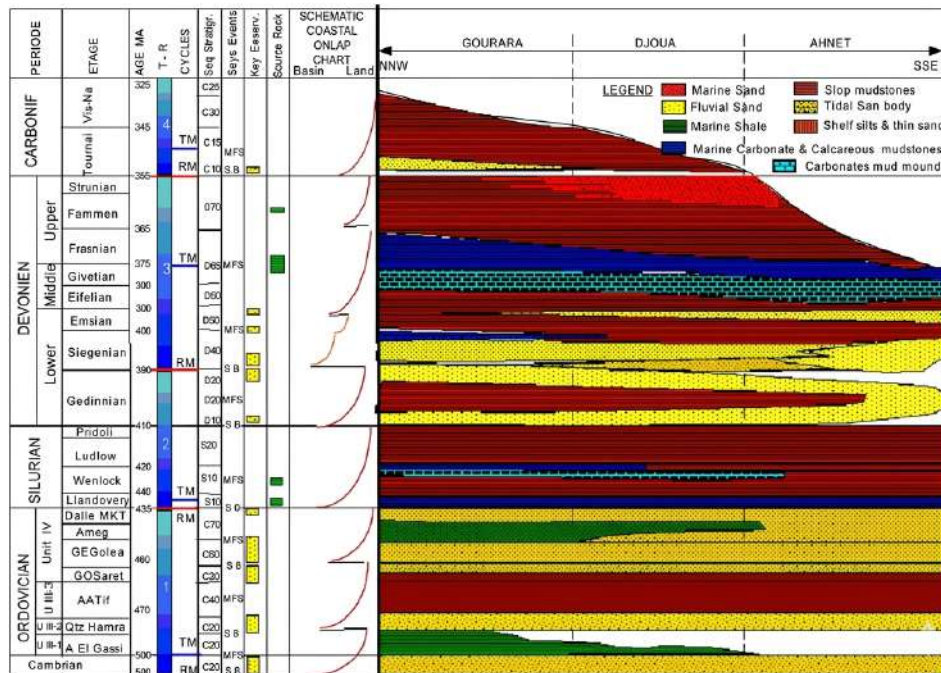


FIG. 1.3 – Colonne stratigraphique du bassin d’Ahnet [8].

1.1.6 Roche mère principale

Tous les niveaux argileux et argilo-carbonatés du Paléozoïque, à des degrés différents ont des qualités de roches mères, Elles sont mises en évidence par la plupart des forages réalisés dans la région et sont matures à over matures et sont très riches en matière organique qui est de type II. L’épaisseur de la roche mère silurienne (Argiles à Graptolites) est très importante dans le bassin de l’Ahnet/ Timimoun jusqu’à 200m d’épaisseur (Fig.4). Les valeurs du COT dans cette région sont très appréciable supérieurs à 2% et avec des valeurs moyennes estimées à partir des techniques indirectes donnent des COT de 5.54, 6.48 et 7.45%. La maturité du silurien Hot shale est en phase à gaz sec.

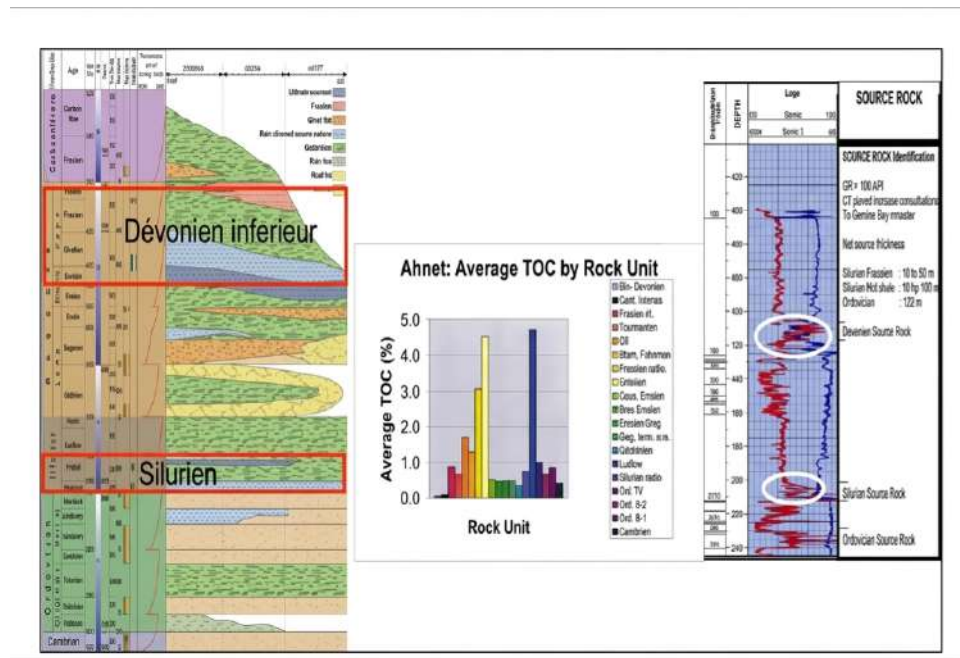


FIG. 1.4 – Principaux roches mères dans le bassin de l'Ahnet [8].

1.1.7 CADRE GEOLOGIQUE DE GUERN EL GUESSA

1.1.7.1 Cadre géologique global

Le périmètre Guern El Guessaa se trouve au Nord-Ouest de la plateforme saharienne. Il est limité à l'Ouest par la Voûte de Oued Namous, à l'Est par la Voûte d'Allal, au Nord par l'ensellement d'El Djofra et au Sud, il se prolonge vers le centre du bassin de Gourara. Les dépôts du Dévonien Supérieur et inférieur affleurent sous la discordance hercynienne dans la partie Nord du périmètre alors que la série paléozoïque est de plus en plus complète jusqu'au Carbonifère en allant vers le Sud et au centre du bassin, conférant ainsi un pendage régional dans cette même direction.

1.1.7.2 Aspect structural

Du point de vue tectonique le champ de Guern El Guessaa Ouest se présente comme un vaste dôme anticlinal près de la terminaison nord orientale du bassin intra-carotique de Gourara à sédimentation régulière et continue pendant tout le Paléozoïque du Cambrien au Carbonifère. Le Méso-Cénozoïque coiffe ces dépôts de Trias au Plio-Pléistocène sur une épaisseur bien moindre. On note l'existence d'importants cordons dunaires recouvrant la partie Nord de la région connue sous le nom de (Grands Ergs Occidental). Le bassin de

Gourara assure aussi la transition entre le bassin de Béchar au nord un bassin d'avant fosses au Carbonifère, et les futurs bassins sahariens de l'Ahnet et de Reggan au sud. Le développement structural de la région au cours des temps Précambrien et phanérozoïque est caractérisé par la succession de plusieurs phases tectoniques majeures :

- Orogenèse panafricaine.
- Extension infracambrienne.
- Alternance des mouvements compressifs et extensifs du Cambrien au Carbonifère.
- Soulèvement intraplaque Hercynien majeur du Carbonifère terminal.
- Rifting du passage Trias-Jurassique et du Crétacé inférieur.
- Compression Alpine du Crétacé supérieur-Tertiaire.

Sur le plan tectonique, une réactivation des accidents Nord-Ouest-Sud Est, dans une compression Est-Ouest, plisse l'ensemble en un anticlinorium à flancs sub-verticaux de direction Nord Est-Sud-Ouest, scellé par un Tournaisien argilo-silteux subhorizontal discordant.

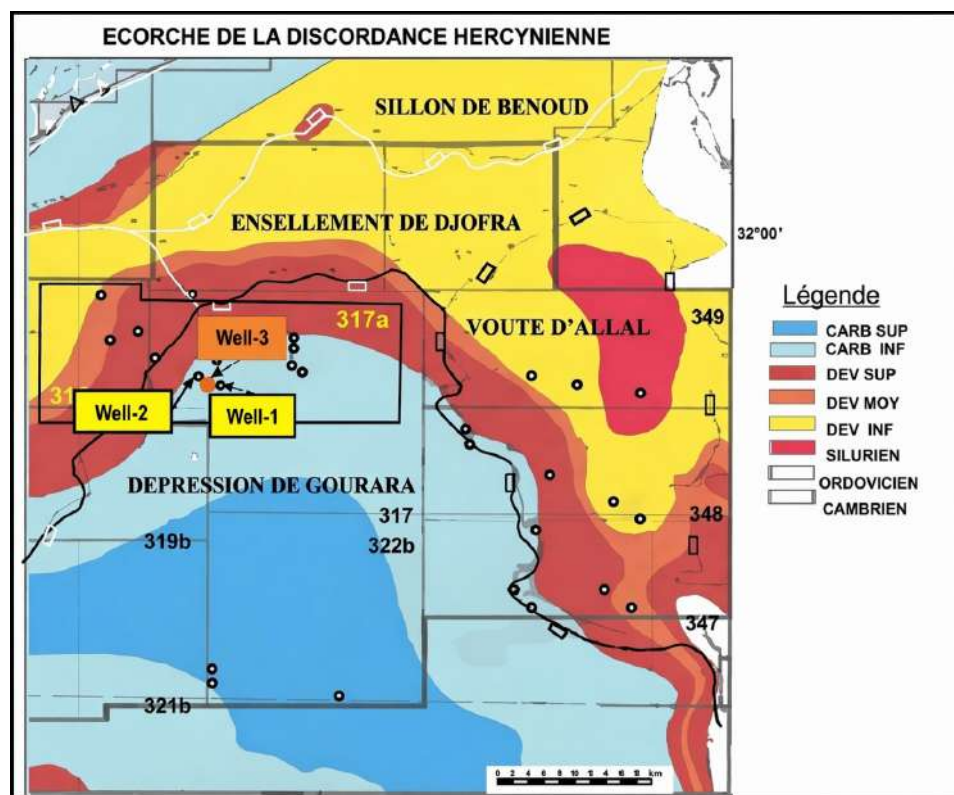


FIG. 1.5 – Carte en écorché à la discordance Hercynienne [7].

1.1.7.3 Aspect stratigraphique

Dans le bassin de Gourara en général peu de puits ont atteint les niveaux Cambro-Ordovicien. L'épaisseur des sédiments dans cette région est relativement peu importante par rapport au reste du bassin de Gourara (8000 m), puisqu'elle est comprise entre 1964 et 2850 m. La colonne sédimentaire Paléozoïque repose sur un socle granitique ou précambrien qui est surmonté en discordance par 600 m de séries du Mésozoïque. Les dépôts du Paléozoïque sont dominés par un faciès argilo-gréseux avec des niveaux carbonatés interstratifiés datés du Dévonien moyen et du Frasnien.

Chapitre 2

MATERIELS ET METHODES

2.1 MATERIELS ET METHODES

2.1.1 LA DESORPTION

La désorption est le phénomène inverse de l'adsorption : les liaisons ioniques entre ions, molécules et substrat se brisent et les ions ou molécules précédemment adsorbés se détachent de substrat par exemple, la désorption thermique et l'incinération. Le séchage et l'essorage sont également des formes de désorption. (Document interne2018).

2.1.2 MESURE DE DESORPTION DU GAZ DE SCHISTE

Il s'agit de mesurer les trois types de gaz suivants :

- Le gaz perdu
- Le gaz désorbé
- Le gaz résiduel



FIG. 2.1 – Schémas de mesure de la désorption du gaz de schiste (document interne2018)

Comme le montre la figure ci-dessus on trouve le schéma représentant les procédures de mesure de la désorption du gaz contenu dans la roche mère. Les mesures de désorption ont été réalisées principalement sur un échantillon de carotte, tout en enregistrant avec précision le temps de début de forage, fin de forage, et le temps de la remontée à la surface de la carotte. Afin d'assurer la précision et la fiabilité des données sur le site, le forage devrait être fait aussi court que possible, et l'échantillon devrait être placé rapidement dans un Canister scellé et fermez-le. Par la suite, le Canister doit être mis dans un bain à une température réglée à la température du réservoir.

2.1.3 METHODE UTILISEE POUR DETERMINER LA QUANTITE ET LA COMPOSITION DU GAZ DANS LES SCHISTES

La désorption des échantillons de charbon et du schiste est la méthode empirique de base utilisée pour estimer la quantité et déterminer la composition du gaz dans le charbon (méthane de lit de charbon) et dans les schistes (gaz de schiste). La désorption du gaz c'est une méthode qui mesure la quantité de gaz total (le gaz total est calculé en additionnant la quantité de gaz mesuré, perdu et résiduel) in situ et de collecter des échantillons de gaz pour analyse chromatographique afin de déterminer la nature chimique du gaz adsorbé.

2.1.4 LES EQUIPEMENTS ET MATERIAUX REQUIS POUR REALISER LA DESORPTION

- Canisters, manomètre & accessoires.
- Bains électrique.
- Bouteille a'air comprimé avec manomètre.
- Balance électronique.
- Weatherstation avec le thermomètre et le baromètre.
- Plateau pour déplacer l'échantillon.
- Une scelleuse.
- Tube d'échantillonnage de gaz.
- Gabarit noir & charte des couleur.
- Appareil photo numérique.
- Caisse à outillage (un marteau ;clé....etc.).
- Unités réfrigérantes mobiles.
- Un PC avec un logiciel de traitement et. d'interprétation des données.
- Gamma Ray portable GT-40.

2.1.5 DESCRIPTION DE L'EQUIPEMENT

C'est un récipient hermétique relativement simple, constitué d'un tube métallique de forme cylindrique et un couvert de protection qui se compose d'un valve et raccord, un manomètre et un fil connecté avec un thermomètre et cartouche est scellée avec un bouchon en caoutchouc en expansion, qui s'adapte à la taille de la cartouche intérieure et peut être ajusté à la hauteur du noyau pour réduire l'espace libre. Le récipient de désorption est fabriqué en acier inoxydable chimiquement inerte dans des conditions de mesure de la désorption (haute température, haute pression). L'équipement Canister est un système de mesure du gaz contenu dans un échantillon de carottes prélevé d'un réservoir non conventionnel de type shale par la méthode de désorption.

1 Canister(CAN)

Il se compose de :

- Couvert : contient d'un valve et raccord, un manomètre et un fil connecté avec un thermomètre.
- Porte échantillon : contient un cylindre métallique, une Plate-forme métallique et bouchon en caoutchouc en expansion, qui s'adapte à la taille de la cartouche intérieure et peut être ajusté à la hauteur du noyau pour réduire l'espace libre.



FIG. 2.2 – Image d'un canister.

2 Bains électrique

Il s'agit d'un appareil constitué d'une structure métallique contenant des résistances électriques internes qui génèrent de la chaleur, et qui est utilisé pour chauffer des échantillons à l'intérieur d'une chambre fermée avec la possibilité de contrôler la température.

- Ouvertures circulaires pour l'insertion de pièces de travail ou d'échantillons.
- Affichage numérique de la température.
- Boîtier fermé pour la conservation de la chaleur.



FIG. 2.3 – Image de bain électrique.

3 Le manomètre

Se compose de : Trois éprouvettes en verre de taille différentes graduées de haut vers le bas en centimètre cube (cc), remplis d'eau colorée, sur lesquelles se fait la lecture de la quantité en du gaz désorbé. Plus Un ballon en plastiques remplis également d'eau colorée, c'est pour équilibrer le niveau avant de prendre la lecture. aussi il y'a Trois valves placées à la base des trois (03) éprouvettes pour ouvrir l'éprouvette choisie pour la lecture. si la quantité du gaz est petite on lit sur la petite éprouvettes et si la quantité du gaz est importante on lit sur la grande éprouvette. Et Un flexible connecté au moment de la prise de la lecture au ball hose et branché à l'éprouvette de la lecture. Le tout sera-fixé à un support métallique à l'aide des épingles métalliques.



FIG. 2.4 – Image représentant le manomètre.

4 Balance électronique

Il sert à peser l'échantillon seul, le récipient seul et l'échantillon contenu dans le récipient.

5 Weatherstation avec le thermomètre et le baromètre

- Weatherstation : Il s'agit d'un appareil utilisé pour mesurer et enregistrer les conditions météorologiques d'un lieu précis, de manière continue ou périodique.



FIG. 2.5 – Weatherstation.

- Thermomètre : Il s'agit d'un appareil servant à mesurer la température dans le canister.



FIG. 2.6 – Thermomètre.

— le baromètre : Il s'agit d'un appareil utilisé pour mesurer la pression atmosphérique.

6 Tube d'échantillonnage de gaz

Il s'agit d'un outil utilisé pour prélever et transporter des échantillons de gaz d'un milieu donné vers un analyseur.



FIG. 2.7 – Tube d'échantillonnage de gaz.

7 Gabarit noir & charte des couleur

Cet instrument est utilisé en géologie pétrolière et en laboratoire pour :

- Maintenir un échantillon de carotte en position verticale.
- L'imager ou l'analyser avec précision.
- Assurer un éclairage et un positionnement optimaux lors des mesures.



FIG. 2.8 – Gabarit noir & charte des couleur.

8 Outillage

Il sert à serrer les boulons et les écrous avec un couple précisément défini, et non de manière aléatoire.



FIG. 2.9 – Outillage.

9 Unités réfrigérantes mobiles

Il s'agit d'une unité de refroidissement portable, idéale pour les basses températures dans un lieu spécifique ou en veille, fonctionnant pour refroidir l'air ou maintenir des matériaux à une température spécifique en dehors des systèmes fixes.



FIG. 2.10 – Unités réfrigérantes mobiles.

10 Gamma Ray portable GT-40

Il sert à mesurer le rayonnement gamma naturel émis par les roches et identification des formations riches en éléments radioactifs (comme les schistes).



FIG. 2.11 – Gamma ray portable GT-40.

2.1.6 LES ETAPE DE MESURE DE LA DESORPTION DE GAZ PAR CANISTERS

Le processus de mesure de la désorption de gaz est réalisé en deux (02) étapes dans deux lieux différents :

- ◇ Une première étape est réalisée sur chantier dans un laboratoire mobile sous forme de cabine laboratoire. Les premières opérations de mesures sont très importantes et très cruciales afin de minimiser le gaz perdu car elles reposent sur la rapidité de la mise en place des échantillons dans les canisters et dans les bains à température de la circulation de la boue puis à la température du réservoir ainsi que les prises des lectures du gaz désorbé à des intervalles de temps très court.
- ◇ La deuxième étape de l'opération qui est la continuité de la première opération du chantier ; cette dernière est réalisée au laboratoire de la stabilité de la température des bains ainsi qu'à la prise de lecture les plus espacées jusqu'à l'arrêt total de la désorption du gaz par la roche.

2.1.7 CONDITION AMBIANTES À PRENDRE EN CONSIDÉRATION

- ◇ L'opérateur chargé d'exécuter ces opérations doit être équipé des moyens de protection individuelle (chaussures de sécurité, gants, blouses, masques...etc.).
- ◇ La manutention de sécurité afin d'éviter des lésions musculo-squelettique : car certaines parties de l'équipement sont lourdes.
- ◇ Effectuer les tests d'étanchéité de 24 heures par l'air comprimé.
- ◇ Préparer les bouteilles de gaz (Hélium & air comprimé).
- ◇ Préparation des data worksheet.
- ◇ Bien caller les canisters dans la cabine.
- ◇ Les procédures d'échantillonnage et la manipulation des échantillons sont des facteurs essentiels dans la détermination du gaz in situ sorbé dans les shales, en particulier en ce qui concerne l'estimation des gaz perdus (lost gaz). Pour améliorer la précision des calculs de gaz désorbé et de gaz perdu, nous recommandons ce qui suit :

- Réduire le temps de transfère des échantillons de carotte dès leur découpage vers la cabine.
- Minimiser le temps de la manipulation de l'échantillon (l'orientation, la pesée, la prise de photo ...etc).
- Maintenir les bains électriques à une température constante, soit celle de la circulation de la boue de forage et celle du réservoir.
- Enregistrement volume de gaz, la température de réservoir, de la température de l'air, la pression barométrique et de temps pour toutes les lectures de désorption.

2.1.8 PREPARATION DES CANISTERS ET BAINS ÉLECTRIQUE DANS LE CHANTIER

La première étape consiste à la préparation du canister (Fig. 17 et 18).



FIG. 2.12 – Préparation et la pesée de canister.



FIG. 2.13 – La purge de canister avec de l'hélium pour le nettoyer.

2.1.9 METHODE D'ÉCHANTILLONNAGE SUR SITE

Les échantillons destinés aux canisters sont de 30 cm de longueur est prélevés tous les (3m). Le prélèvement de Gaz pour l'analyse de la composition chimique et/ou isotopique est prise tous les 9m.



FIG. 2.14 – Échantillonnage rapide Gamma ray spectral GT-40.

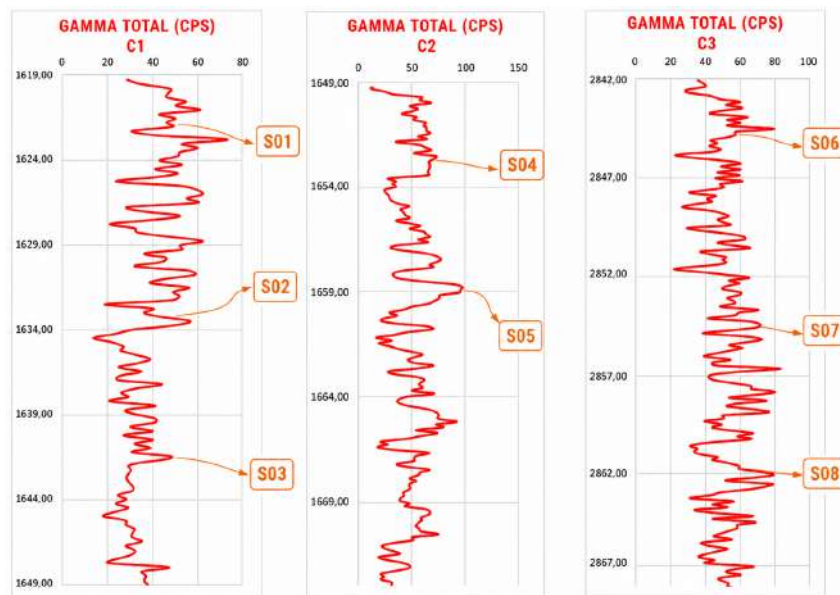


FIG. 2.15 – montrant le profil de gamma total et les positions d'échantillon choisir dans chaque carotte.

2.1.10 Les procédures nécessaires une fois que l'échantillon arrive à la cabine

Les procédures consistent aux étapes suivantes (Figures 22 à 27) :

- Retirer l'échantillon du tube à carotte en respectant strictement l'orientation verticale (Top–Bottom),
- Nettoyage Essuyer et nettoyer soigneusement l'échantillon, Indiquer les cotes (tête–pied) ainsi que les informations du projet : (Nom du projet -Numéro de l'échantillon -Profondeur -Autres informations pertinentes),
- Pesage de l'échantillon et en-registrer son poids sur la fiche d'échantillonnage,
- Placer l'échantillon sur le gabarit noir et procéder à la prise de photo,Placer l'échantillon dans le canister en maintenant l'orientation verticale,
- Fermer immédiatement le canister,
- Mettre les canisters dans un bain chauffé à la température de la boue de forage (température de circulation),
- Enregistrement des temps Notre (Le temps de fermeture du canister-Le temps de mise dans le bain-Le début de lecture).



FIG. 2.16 – Le nettoyage de l'échantillon de la boue de forage.



FIG. 2.17 – La photographie et la pesée de l'échantillon.



FIG. 2.18 – Placez l'échantillon à l'intérieur de canister et fermez-le.



FIG. 2.19 – La pesée de canister contenant l'échantillon.



FIG. 2.20 – La mise en place de vis antidéflagrante après la hausse de la température.



FIG. 2.21 – Placement des canisters à l'intérieur des bains électriques.



FIG. 2.22 – Réglage de la température de bain électrique par rapport à la température de la circulation de la boue de forage et le début de lecture.

2.1.11 METHODOLOGIE D'ESSAIS

La mesure du gaz contenu dans un intervalle d'un réservoir non conventionnel de type shale par méthode de désorption, et la détermination du volume de gaz désorbé ainsi que l'estimation du gaz perdu, se fait comme suit :

◇ Lecture rapide :

Préparer les bains électrique à température de circulation de boue de forage et mettre les canisters scellés dans ces derniers.



FIG. 2.23 – Image des Canisters dans les bains.

Couvrez les cuves électriques contenant les canisters et prendre des lectures rapides pour chaque canisters à différents intervalles de temps pendant trois (3) heures consécutives, comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

Temps (min)	5	10	20	30	45
Nombre de lectures	5	7	4	5	1

TAB. 2.1 – Les intervalles de temps pour la lecture rapide

Prendre la première lecture après 2 ou 3 min de mise en place dans les bains à T°C de la boue de forage, brancher le tuyau du manomètre dans la vanne (hose barb) pour chaque lecture, ouvrir la ball valve et choisir la grande burette (la première venue de gaz est toujours grande), une fois le niveau d'eau la burette est poussé vers le bas par le gaz désorbé, dès que le niveau d'eau se stabilise la lecture peut être prise, à la courbe d'eau à l'intérieur de la burette.

Reporter sur la fiche d'échantillonnage de Gaz content/1 :

- Le volume de gaz désorbé et mesuré.
- La date, La température (en °C) du canister et la température ambiante.

- La pression atmosphérique.
- Les remarques.

Après avoir pris le résultat, nous devons Fermer la Ball valve du canister et la valve de la burette du manomètre, et attendre que le niveau d'eau dans la burette retourne à son niveau initial zéro (Dépression de la burette).

Suivez les mêmes étapes de lecture pour chaque canister pendant 3 heures en continu avec un programme d'intervalle de temps comme indiqué dans le tableau ci-dessus.

- ★ Après trois heures de lecture rapide il faut déplacer les canisters vers les bains électriques à Température $T^{\circ}\text{C}$ de réservoir pour commencer la lecture espacée (lecture lente).

- ◇ Lecture lente (espacée) :

Mettre les canisters dans les bains électriques à température du réservoir, couvrir les bains électriques, prendre la première lecture après 1h de mis en place dans les bains à température du réservoir, brancher le tuyau du manomètre dans la vanne (hosebarb) pour chaque lecture et ouvrir la ball valve et choisir la grosse burette.

Une fois le niveau d'eau dans la burette est poussé vers le bas par le gaz désorbé, dès que le niveau d'eau se stabilise la lecture peut être prise, à la base de la courbe d'eau à l'intérieur de la burette.



FIG. 2.24 – Images indiquant la lecture du gaz désorbé.

Reporter sur la fiche d'échantillonnage de Gaz content/1:

- Le volume de gaz résorbé et mesuré.
- La date, La température (en $^{\circ}\text{C}$) du canister et la température ambiante.
- La pression atmosphérique.
- Les remarques éventuelles.

Fermer la ball valve du canister puis la valve de la burette du manomètre, manomètre a sa position initial, attendre que le niveau d'eau dans la burette retourne à son niveau initial zéro et suivre ainsi les même étapes de lecture des canisters pour chaque intervalle de temps, soit : 1hr, 2hr, 4hr, 8hr,..... 48hr (trois jours) jusqu'à 96hrs (quatre jours).

— Remarque :

- ▷ Au fur à mesure que le volume de gaz diminue d'une lecture à une autre, nous changeons la burette de lecture du manomètre de la grande vers la moyenne ou même la petite.
- ▷ Le nombre de jours estimé pour la prise des lectures lente sur chantier dépend du nombre de jours estimé pour transférer les canisters du chantier vers les laboratoires.

Mentionner sur la fiche d'échantillonnage de Gaz content/1:

- ▷ La date l'heure et la température du canister.

Suivre les mêmes étapes d'échantillonnages pour les autres points.

- ◇ Après la fin des mesures sur Chantier nous devons préparer le transport des canisters vers le laboratoire (1 à 4 jours), il faut Débrancher les bains électriques, régler les unités réfrigérantes mobiles à 4°C, Retiers les canisters des bains et le mettre à l'intérieur des unités réfringentes mobiles dans le but d'arrêter totalement le phénomène de désorption tout le long du transport vers le laboratoire de désorption /DLCC/HMD, démontrer les accessoires du manomètre et ranger la verrerie à l'intérieur de la valise antichoc, nettoyer et bien ranger la cabine et le matériel et débrancher la cabine.

Avant d'arriver au laboratoire, informer le personnel de laboratoire pour préparer la réception et l'achèvement des procédures de mesure au laboratoire.

2.1.12 LES PROCÉDURES AU LABORATOIRE

- ▷ Mesure du gaz résiduel(Crushed gas)

Afin de finaliser l'évaluation du volume de gaz total piégé qui reste dans l'échantillon de carotte shale après la fin de la désorption par canister nous procédons à la dernière étape qui correspond à la mesure du gaz résiduel. Cette mesure est effectué au niveau du laboratoire du service Mesures sur carotte du Département Roches Réservoirs DLCC/

HMD conformément au mode opératoire de traitement et de mesure des volumes de gaz résiduel sur les échantillons des carottes non conventionnelles à partir de la procédure suivante :

2.1.13 DESCRIPTION DE L'EQUIPEMENT

L'équipement est comme décrit sur la photo ci-dessous, contient généralement :

- Bain d'eau,
- Tamis,
- Manomètre,
- Vessel,
- Broyeur digital et une balance,
- Balance,
- Etuve.



FIG. 2.25 – Equipement de mesure de gaz résiduel (DLCC/HMD).

2.1.14 PRINCIPE ET CONDITIONS DE MESURE

- - Vérification de l'étanchéité du vessel (Leak test : Vanne - joint) ;
- - Vérification de la présence de cents (100) bille à l'intérieur du vessel ;
- - Assurer la présence de la bouteille d'Hélium ;
- - Fiches des mesures.

Dead Volume Calculator			
Sample number		Canister number	
Date		Operator	
Void Volume		Core Helium Density	
furnace volume		ml	
Atmospheric pressure		kPa	
Initial pressure DVA		psi	
Initial temperature DVA		°F	
Initial canister temperature		°F	
Final pressure DVA		psi	
Final temperature DVA		°F	
Final canister temperature		°F	
VOID VOLUME (can)		ml	
VOID VOLUME (without can)		ml	
Canister with sample weight		g	
Canister without sample weight		g	
°C	kPa	Core weight	g
Print Form		Core Helium Density	g/cm ³

FIG. 2.26 – Fiche : Dead volume calculator.

L'image présentée ci-dessus est une fiche de résultats utilisée pour calculer le "void volume / Dead volume" et la densité à l'hélium (core helium density). Le Dead volume est l'espace vide resté autour de l'échantillon placée dans le canister. Elle est aussi utilisée pour calculer le volume réel de l'échantillon.

La partie supérieure de la fiche sert à donner des informations sur l'échantillon :

- Sample number (numéro de l'échantillon).
- Canister number (Numéro du canister de mesure).
- Date (date de l'essai).
- Operator (Nom ou code de l'opérateur).

La partie gauche concerne le calcul de void volume (le volume vide). Le volume de référence (Reference volume) qui sert dans le calcul de comparaison. Pour les mesures enregistrées :

- Atmospheric pressure (pression atmosphérique au moment de l'essai)
- Initial pressure (Pression initiale avant détente du gaz).

- Initial temperature (Température initiale).
- Initial canister temperature (Température initiale du canister).
- Final pressure (Pression finale après détente).
- Final temperature (Température finale).
- Final canister temperature (Température finale du canister).

Pour calculer le volume restant vide dans le canister et obtenir le résultat de void volume (core).

Concernant la partie droite, elle sert à calculer la densité à l'aide du gaz hélium car il permet une mesure très précise du volume réel. Les mesures enregistrées sont comme suit :

- Atmospheric pressure (Même pression atmosphérique).
- Initial pressure (Pression initiale).
- Initial temperature (Température initiale).
- Initial canister temperature (Température initiale du canister).
- Final pressure (Pression finale après détente).
- Final temperature (Température finale).
- Final canister temperature (Température finale du canister).

Il s'agit de Void volume (Without core) (Volume vide sans l'échantillon), canister without sample white (poid de canister vide).

Après l'obtention de résultat de la masse et le volume de l'échantillon on peut calculer le Core Helium Density

2.1.15 MÉTHODE D'ÉCHANTILLONNAGE ET PRÉPARATION DE L'ÉCHANTILLON

2.1.15.1 Méthode d'échantillonnage

La mesure doit être effectuée sur un échantillon de roche (100 g) représentatif, pris après le slabage d'un échantillon de 1 cm d'épaisseur sur l'ensemble de l'échantillon de Canister. Casser l'échantillon sec à l'aide du marteau, Les gros morceaux doivent être écraser en petits morceaux d'environ 1 cm de diamètre.



FIG. 2.27 – Processus de préparation des échantillons de canister après désorption.

2.1.15.2 Préparation de l'échantillon

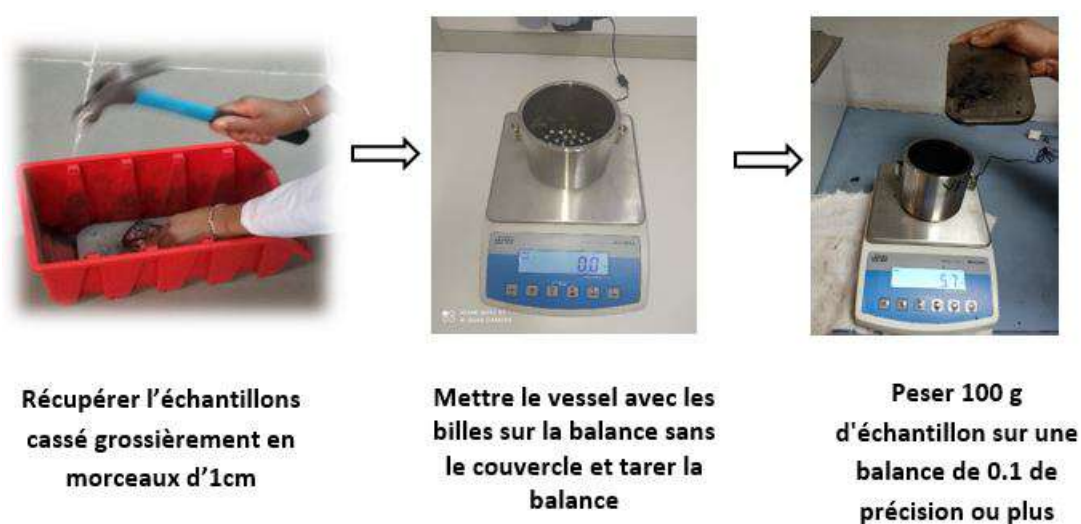


FIG. 2.28 – Protocole de préparation et de pesée d'un échantillon solide avant broyage.

Placer le vessel sur la pailasse (position horizontale)



FIG. 2.29 – Procédure de test d'étanchéité par hélium et immersion hydraulique.

Noter dans la fiche d'analyse de gaz résiduel que la circulation de l'hélium a été effectué.

2.1.15.3 Méthode d'essai

Le vessel scellé contenant l'échantillon est placé dans un bain (si la T° réservoir $<60^{\circ}\text{C}$) ou dans une étuve (si la T° réservoir $>60^{\circ}\text{C}$). Il faut assurer que la température (température de formation ou similaire) a été stabilisée avant cette étape.



FIG. 2.30 – Étuve de laboratoire et régulation de température.

Le vessel est mis dans l'étuve. La température de l'étuve et l'heure dans le quelle l'échantillons a été mis dedans sont noté dans la fiche d'analyse de gaz résiduel.

Le vessel est laissé dans l'étuve pendant 1h30 à 2 heure afin de stabiliser la température à l'intérieur du vessel ; Après 2 heure de stabilisation la vanne sur le couvercle est ouverte pendant 30 secondes afin d'ajuster la pression à l'intérieur du vessel avec la pression

atmosphérique en laissant le vessel dans l'étuve. L'heure, la température de l'étuve et la pression atmosphérique dans la fiche d'analyse de gaz résiduel.

Le vessel est retiré de l'étuve après les 30 sec de purge et placé dans le broyeur pour 1 heure de temps après la vérification et ajustement de la masse du contrepoids.

Les paramètres recommandés pour le broyage sont les suivants :

- Vitesse :270 tr/min ;
- Durée :60 minutes.



1 heure de broyage

FIG. 2.31 – Phase de broyage mécanique des échantillons.

Après la fin du broyage le vessel est placé à nouveau dans l'étuve durant au moins 4 heure de temps avant la prise la première lecture ; la température et l'heure de sa mise en bain sont noté dans la fiche d'analyse de gaz résiduel.



Le vessel est placé de nouveau
dans l'étuve pour 4h de temps

FIG. 2.32 – Phase de digestion thermique.

NB : Toutes les informations nécessaires à chaque étape tel que le poids, la température du bain / étuve; la température ambiante, l'heure et la pression atmosphérique doivent être noter sur la fiche d'analyse.

Crushed Gas - Vessel Opening Protocol (1)

Step: 1

Sample number (ID)

Vessel number

Date

Made by

Step: 2

Sample preparation

1

Reservoir temperature

°C

2

Sample weight

g

3

Helium purging

min

4

Vessel tightness

Temperature equilibrium of vessel

beginning of heating

1

time

h:m:s

2

bath temperature

°C

end of heating

3

time

h:m:s

4

bath temperature

°C

5

atmospheric pressure

kPa

Pressure equation

Step: 3

Sample mill

Grinding

1

number of balls

2

rotary

rpm

3

time of grinding

min

Temperature equilibrium of vessel after grinding

4

time

h:m:s

5

bath temperature

°C

Crushed Gas - Vessel Opening Protocol (2)

Step: 4

Gas measurement

crushed gas volume measurement

1

time

Hours

2

bath temperature

°C

3

ambient temperature (room)

°C

4

atmospheric pressure

kPa

gas volume - measure 1

ml

gas volume - measure 2

ml

gas volume - measure 3

ml

5

Total crushed gas volume

ml

gas sample ID

Step: 5

Void volume by helium

Reference volume:

ml

Vessel number HSV-1 or

Vessel number HSV-2 or

Vessel number HSV-3 or

Vessel number HSV-4 or

Atmospheric pressure

kPa

6

Start pressure

kPa

7

Temperature start (reference canister - HSV)

°C

8

Temperature start (vessel)

°C

after temperature and pressure stabilization (about 1 min)

9

End pressure

kPa

10

Temperature end (reference canister - HSV)

°C

11

Temperature end (vessel)

°C

Note:

FIG. 2.33 – Image montrant le fiche d'analyse.

2.1.15.4 La prise de lecture

La lecture du volume de gaz résiduel se fait avec en utilisant le manomètre qui est constituer comme suite :

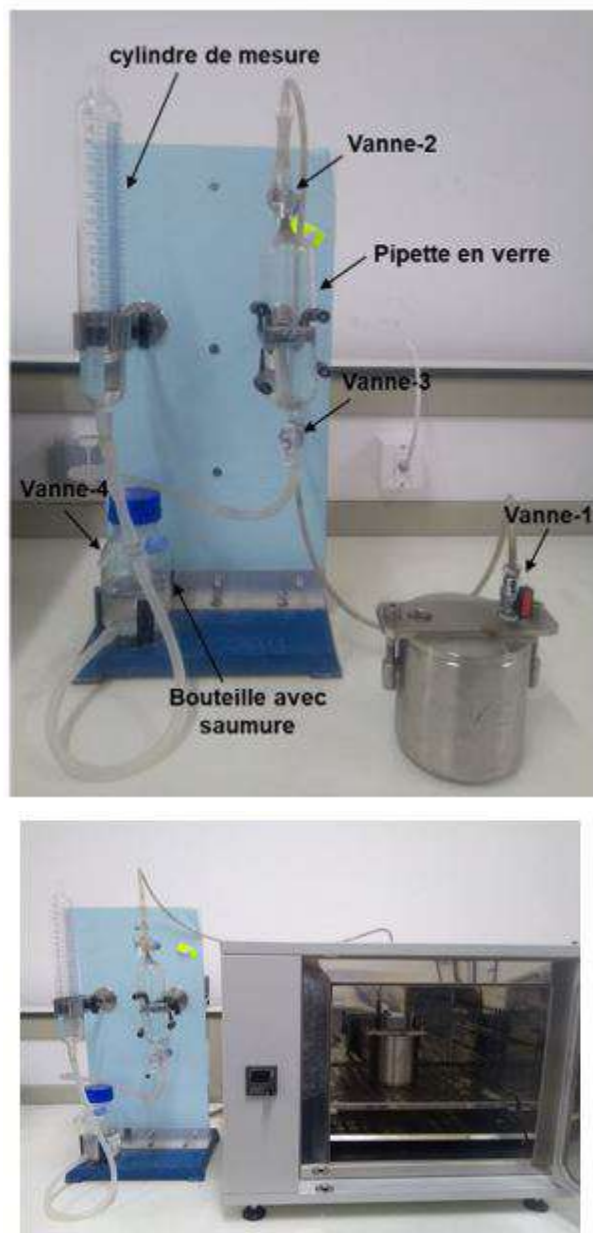


FIG. 2.34 – Mesure du gaz résiduel.

Après un temps d'attente de 2 à 4 heures, le volume de gaz résiduel est déterminé à l'aide d'un dispositif manométrique rempli de saumure. Le système est préalablement purgé à l'hélium afin d'éliminer toute trace d'air et d'éviter la présence de bulles. Une fois le montage étanche et correctement configuré, l'ouverture contrôlée des vannes permet au gaz résiduel de déplacer la saumure dans le cylindre de mesure. Le volume est relevé à

l'équilibre, lorsque le niveau se stabilise. La mesure est effectuée en maintenant le récipient dans le bain ou l'étuve, tout en consignant la température et le temps de lecture.

NB : il est recommandé de remettre le niveau de saumure à zéro après chaque lecture ;

Le protocole décrit les étapes de traitement d'un échantillon après broyage en vue de la détermination du gaz résiduel. Le vessel est d'abord retiré du bain ou de l'étuve puis ouvert, et son contenu est tamisé à l'aide d'un tamis de 0,2 mm. La fraction retenue sur le tamis, non incluse dans le calcul direct, est réintégrée au poids initial de l'échantillon afin d'assurer une estimation correcte. Enfin, l'échantillon broyé est conditionné dans un sac plastique hermétiquement scellé, avec identification du numéro d'échantillon.

NB : Noter à chaque fois le volume de gaz résiduel dans la fiche d'analyse jusqu'à avoir zéro volume de gaz.

Crushed Gas - Vessel Opening Protocol (2)

Step: 4

Gas measurement

☐

crushed gas volume measurement		
1	time	16:26 hh:mm
2	bath temperature	93 °C
3	ambient temperature (brine)	19,5 °C
4	atmospheric pressure	1013 hPa

gas volume - measure 1	38	ml
gas volume - measure 2	01	ml
gas volume - measure 3	03	ml

04-02-2020
01:10:00

Total crushed gas volume	42	ml
--------------------------	----	----

FIG. 2.35 – Exemple des mesures enregistrées.

À la fin on ajuste le volume de résiduel gaz mesuré dans les conditions ambiantes au conditions standard de pression et de température (15.5°C et 1 atm) avec une procédure approprié (Void Volume) à l'aide d'un vessel de référence. En utilisant un fichier excel on peut déterminer le volume de gaz corrigé.



FIG. 2.36 – Mesure du Void Volume.

Chapitre 3

RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1.1 INTRODUCTION

Dans le cadre du projet non conventionnel, DRNC nous avons réalisé le mesure de désorption de gaz de la roche mère du FRASNIEN et SILURIEN au niveau du puit WELL-1. À cet effet, le SMC a mis à leur disposition un total core gamma pour la délimitation des endroits de prise d'échantillons et un équipement spécial appelé Canisters pour la réalisation de ces mesures et une équipe composée d'un ingénieur et deux techniciens pour réaliser cette mission.

3.1.2 CONDITIONS DE DEROULEMENT DE L'ESSAI

3.1.2.1 Les événements enregistrés carotte N 01

- ▷ Formation : Frasnien
- ▷ Température du réservoir estimée à +/- 80°C
- ▷ Température de circulation +/- 54°C
- ▷ Densité de la boue de forage : 10.75 ppg

Pour la première carotte (1619.00 m à 1649.00 m) (30 m) ; nous avons noté les opérations suivantes :

- 06-06-2025 / 15h : 00mn : Début de carottage.
- 07-06-2025/17h : 30mn : Fin de carottage.
- 08-06-2025 /03h :50 mn : Descente du premier tube de 6m à la surface.
- 08-06-2025/ 05h : 00 mn : descente du dernier tube (5 eme) de 6m à la surface.
- 08-06-2025 /09h : 00 mn à 09h : 30 mn le mesure de profile de carotte et, traitement des résultats et choix des cotes des échantillons.
- 08-06-2025 /09h : 47 mn : mise en bain des échantillons préparés (S1 & S2).
- 08-06-2025 /10h : 20 mn : mise en bain l'échantillon préparé (S3).
- 08-06-2025 /09h : 52 mn et 10h : 25 mn : Commencement de la première lecture.

3.1.2.2 Les événements enregistrés carotte N 02

- ▷ Formation : Frasnien
- ▷ Température du réservoir estimée à +/- 80°C
- ▷ Température de circulation +/- 54°C
- ▷ Densité de la boue de forage : 10.75 ppg

Pour la deuxième carotte (1649.00 m à 1673.00 m) (24 m) ; nous avons noté les opérations suivantes :

- 06-06-2025 / 15h : 00 mn : Début de carottage.
- 07-06-2025/ 17h : 30mn : Fin de carottage.
- 11-06-2025 /00h : 00 mn : Descente du premier tube de 6m à la surface.
- 11-06-2025/ 01h : 00 mn : descente du dernier tube (4 eme) de 6m à la surface.
- 11-06-2025 /04h : 00 mn à 04h : 30 mn le mesure de profile de carotte et, traitement des résultats et choix des cotes des échantillons.
- 11-06-2025 /05h : 35 mn : mise en bain des échantillons préparés (S4 & S5).
- 11-06-2025 /05h : 45 mn : Commencement de la première lecture.

3.1.2.3 Les événements enregistrés carotte N 03

- ▷ Formation : Silurien HS
- ▷ Température du réservoir estimée à +/- 115°C
- ▷ Température de circulation +/- 80°C
- ▷ Densité de la boue de forage : 11.16 ppg

Pour la troisième carotte (2842.00 m à 2869.00 m) (27 m) ; nous avons noté les opérations suivantes :

- 27-07-2025 / 02h : 30 mn : Début de carottage.
- 27-07-2025/ 22h : 30 mn : Fin de carottage.
- 27-07-2025 / 22h :40 mn à 28-07-2025 /17h :00 mn temps de remonter de la carotte 03.
- 28-07-2025 /19h : 07 mn : Descente du premier tube de 9m à la surface.

- 28-07-2025/ 20h : 05 mn : descente du dernier tube (3^{eme}) de 9m à la surface.
- 28-07-2025 /22h : 45 mn à 23h : 35 mn le mesure de profile de carotte et, traitement des résultats et choix des cotes des échantillons.
- 29-07-2025 /01h : 30 mn : mise en bain l'échantillon préparé (S6) a 01h :35 mn
Commencement de la première lecture.
- 29-07-2025 /02h : 40 mn : mise en bain l'échantillon préparé (S7) a 02h :45 mn
Commencement de la première lecture.
- 29-07-2025 /03h : 30 mn : mise en bain l'échantillon préparé (S8) a 03h :35 mn
Commencement de la première lecture.

3.1.3 DÉSCRIPTION DES CAROTTES

3.1.3.1 Description générale lithologique de la carotte 01

▷ Formation : Frasnien

La carotte N° 01 est dominée par une alternance d'argiles noires charbonneuses et de niveaux calcaires rosâtres à gris clair, Les calcaires sont généralement microcristallins, moyennement durs et localement crayeux. Les niveaux argileux présentent fréquemment un caractère marneux et induré.

L'observation des échantillons révèle également la présence de bioblastes ainsi que de nodules de pyrite dans plusieurs intervalles, traduisant des conditions de dépôt réductrices riches en matière organique.

La porosité visuelle observée est globalement nulle sur l'ensemble de la carotte, et aucune fluorescence directe n'a été détectée.

3.1.3.2 Interprétation

Cette succession lithologique traduit un environnement de dépôt calme à faible énergie, favorable à l'accumulation et à la conservation de la matière organique. La présence de pyrite indique des conditions anoxiques à réductrices lors de la sédimentation. Toutefois, l'absence de porosité visuelle et le caractère induré des formations suggèrent un faible potentiel réservoir pour l'intervalle étudié.

3.1.3.3 Description lithologique générale de la carotte 02

▷ Formation : Frasnien

La carotte N°2 est essentiellement constituée d'argiles noires à gris noir, fortement carbonatées, charbonneuses, pyriteuses et indurées.

La lithologie apparaît relativement homogène sur l'ensemble des intervalles étudiés, avec une dominance marquée des niveaux argileux riches en matière organique.

La présence de pyrite témoigne de conditions de dépôt réductrices favorables à la préservation de la matière organique. Les formations observées présentent un caractère compact et fortement consolidé.

3.1.3.4 Interprétation

Cette succession lithologique traduit un environnement sédimentaire calme et peu oxygéné, favorable à l'accumulation des argiles riches en matière organique.

La forte carbonatation ainsi que la présence de pyrite indiquent des conditions diagénétiques importantes.

Le caractère induré et compact des niveaux étudiés suggère un faible développement de la porosité et donc un potentiel réservoir limité.

3.1.3.5 Description lithologique générale de la carotte 03

▷ Formation : Silurien HS

La carotte N°3 est dominée par des argiles noires à gris noir, charbonneuses, silteuses et micacées, localement fossilifères et indurées.

La lithologie apparaît globalement homogène sur l'ensemble de l'intervalle étudié, avec une forte dominance des niveaux argileux riches en matière organique.

On note également la présence de fines veines de calcite ainsi que des nodules de pyrite, témoignant de processus diagénétiques marqués.

3.1.3.6 Interprétation

L'ensemble de cette carotte traduit un environnement de dépôt calme, à faible énergie, avec des conditions réductrices favorables à la préservation de la matière organique. La présence de pyrite et de matière charbonneuse indique un milieu anoxique.

Le caractère induré, associé à la dominance des argiles, suggère une faible porosité et perméabilité, indiquant ainsi un potentiel réservoir limité, mais pouvant représenter une roche mère potentielle selon la richesse organique.

3.1.4 Donnée des échantillons des carottes

Le tableau ci-dessous montre les informations concernant les carottes ayant subi les testes.

CoreSamplingSheet-Desorption/CORE-1						
Run#	Sample ID	Canister#	Weight (g)	Top (m)	Bottom (m)	Date/Time Sealed
CORE-1	S01	CAN-01	5909.90	1671.70	1672.00	08-06-2023/09h :47mn
CORE-1	S02	CAN-02	5540.40	1683.30	1683.60	26-05-2023/09h :52mn
CORE-1	S03	CAN-03	5347.30	1691.00	1691.30	08-06-2023/10h :20
CoreSamplingSheet-Desorption/CORE-2						
Run#	Sample ID	Canister#	Weight (g)	Top (m)	Bottom (m)	Date/Time Sealed
CORE-2	S04	CAN-04	5040.90	1702.30	1702.60	11-06-2023/05h :35mn
CORE-2	S05	CAN-05	5311.80	1708.70	1709.00	11-06-2023/05h :35mn
CoreSamplingSheet-Desorption/CORE-3						
Run#	Sample ID	Canister#	Weight (g)	Top (m)	Bottom (m)	Date/Time Sealed
CORE-3	S06	CAN-06	5634.30	2893.30	2893.60	29-07-2023/01h :30mn
CORE-3	S07	CAN-07	5482.80	2902.53	2902.83	29-07-2023/02h :45mn
CORE-3	S08	CAN-08	5548.80	2911.00	2911.30	29-07-2023/03h :35mn

TAB. 3.1 – les informations des carottes et des échantillons prélevés

3.1.5 Résultats et Discussions

3.1.5.1 Résultats des lectures rapides

Les résultats des lectures rapides cumulés de (6heures) sont représentés dans (Tableau3). Les données enregistrées dans le puits Well-1 montrent que le volume de gaz contenu dans la carotte-1 est varié de 1237.90cc à 1981cc, la carotte-2 est de 3040.60cc à 3072.30cc, la carotte-03 varie de 5065.90cc à 7840.80cc.

Carotte-1			
Canister N°	Echantillon N°	Profondeur (m)	Volume (ml)
01	1	1671.70-1672.00	1237.90
02	2	1683.30-1683.60	2052.60
03	3	1691.00-1691.30	1981.00
Carotte-2			
Canister N°	Echantillon N°	Profondeur (m)	Volume (ml)
04	4	1702.30-1702.60	3072.30
05	5	1708.70-1709.00	3040.60
Carotte-3			
Canister N°	Echantillon N°	Profondeur (m)	Volume (ml)
06	6	2893.30-2893.60	5065.90
07	7	2902.53-2902.83	6758.80
08	8	2911.00-2911.30	7840.80

TAB. 3.2 – Les résultats des lectures rapides cumulés de trois carottes

3.1.5.2 Résultats des lectures lentes

Les résultats des lectures lentes sont réalisés au laboratoire. Les mesures effectuées sur les mêmes échantillons précédents durant une longue période de plus de 05 mois ont révélé des résultats confirmant les mêmes niveaux intéressants en matière de potentiel en gaz (Tableau4) :

Carotte	Echantillon	Profondeur(mètre)	Volume de désorption(ml)
1	1	1671.70-1672.00	2916.50
	2	1683.30-1683.60	4135.50
	3	1691.00-1691.30	4000.50
2	4	1702.30-1702.60	5472.00
	5	1708.70-1709.00	5330.00
3	6	2893.30-2893.60	6333.00
	7	2902.53-2902.83	6227.00
	8	2911.00-2911.30	5223.00

TAB. 3.3 – Les résultats des lectures lentes de trois carottes

- ◇ Carotte 1: Elle regroupe les échantillons 1 à 3, prélevés entre 1671,70 m et 1691,30 m, avec des volumes de désorption compris entre :

- 2916,50 ml
- 4135,50 ml
- 4000,50 ml

Ces valeurs traduisent une teneur gazeuse modérée, avec une augmentation relative pour les échantillons 2 et 3, ce qui peut indiquer un niveau lithologique plus favorable, caractérisé par une meilleure porosité ou une richesse organique plus importante.

- ◇ Carotte 2: Les échantillons 4 et 5, situés entre 1702,30 m et 1709,00 m, présentent les valeurs suivantes :

- 5472,00 ml
- 5330,00 ml

Ces résultats sont supérieurs à ceux de la première carotte, suggérant que cet horizon géologique possède une capacité de stockage gazeux plus élevée, potentiellement liée à :

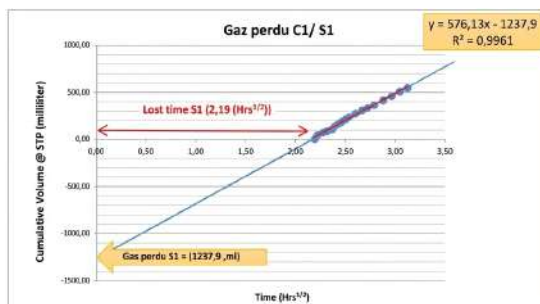
- Une porosité plus développée ;
- La présence de micro-fractures ;

- Une teneur accrue en matière organique.
- ◇ Carotte 3: Les échantillons 6 à 8, prélevés à des profondeurs plus importantes (2893,30 m à 2911,30 m), ont enregistré :
 - 6333,00 ml
 - 6227,00 ml
 - 5223,00 ml

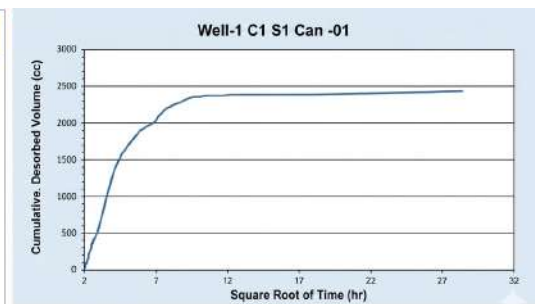
Il s'agit des valeurs les plus élevées du tableau, notamment pour l'échantillon 6, ce qui indique que les niveaux profonds renferment le potentiel gazier le plus important.

3.1.5.3 Les graphes

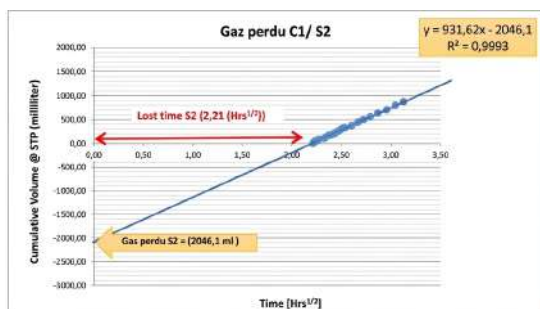
Les graphes présentés ci-dessous montrent le volume estimé du gaz perdu et le cumul de volume du gaz désorbé en fonction de temps de chaque échantillon pris des carottes.



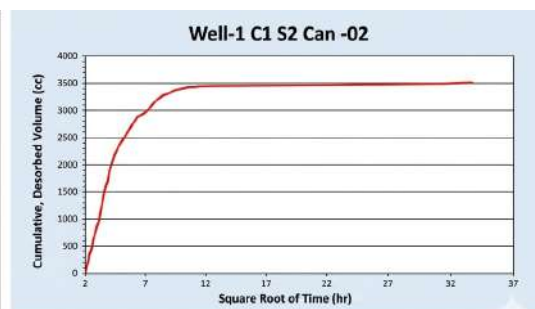
GRAPHE 1 : montre le volume estimé du gaz perdu et temps perdu (carotte n° 1 échantillon S1)



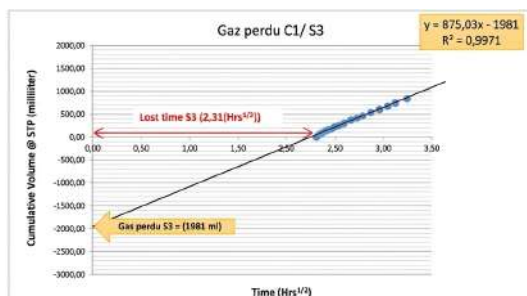
GRAPHE 2 : présente le cumul de volume du gaz désorbé vs la racine carrée de temps (carotte n° 1 échantillon S1)



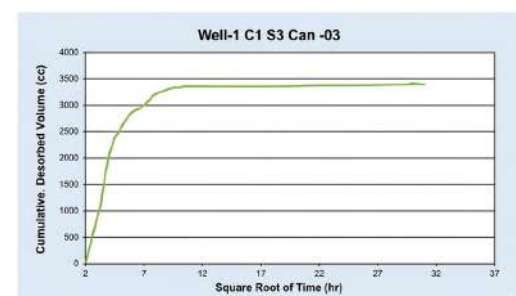
GRAPHE 3 : montre le volume estimé du gaz perdu et temps perdu (carotte n° 1 échantillon S2)



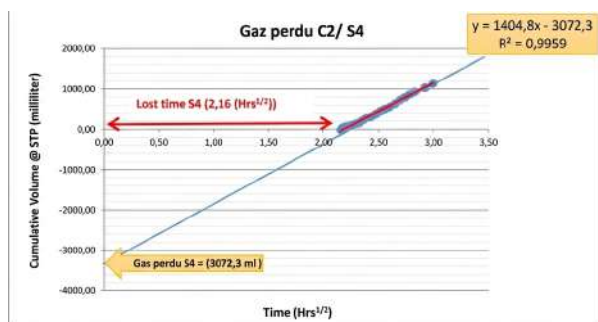
GRAPHE 4 : présente le cumul de volume du gaz désorbé vs la racine carrée de temps (carotte n° 1 échantillon S2)



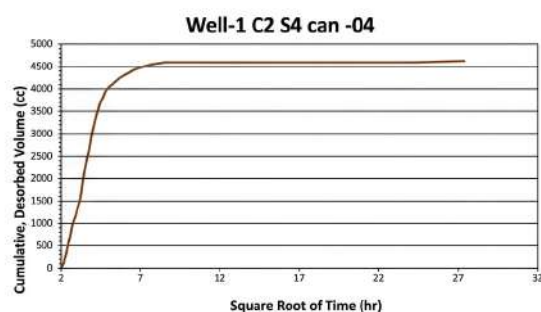
GRAPHE 5 : montre le volume estimé du gaz perdu et temps perdu (carotte n° 1 échantillon S3)



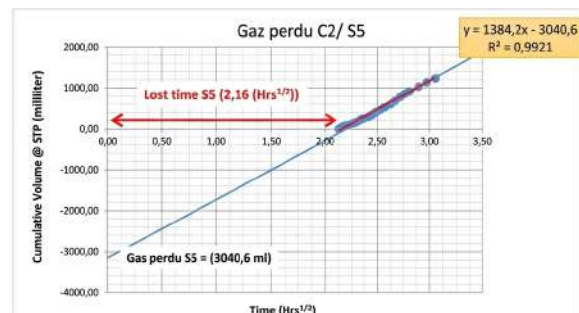
GRAPHE 6 : présente le cumul de volume du gaz désorbé vs la racine carrée de temps (carotte n° 1 échantillon S3)



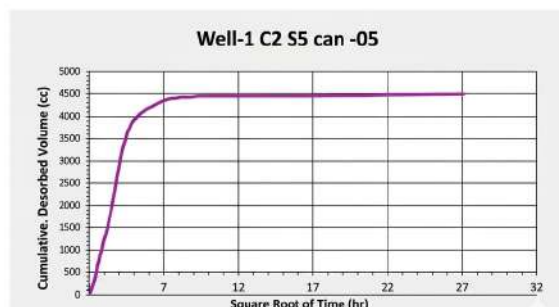
GRAPHE 7 : montre le volume estimé du gaz perdu et temps perdu (carotte n° 2 échantillon S4)



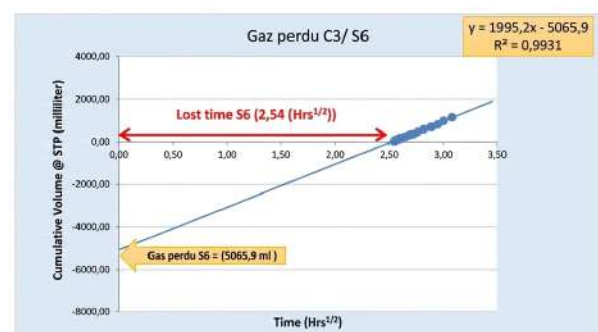
GRAPHE 8 : présente le cumul de volume du gaz désorbé vs la racine carrée de temps (carotte n° 2 échantillon S4)



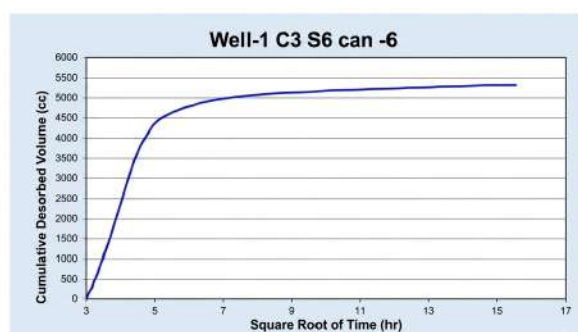
GRAPHE 9 : montre le volume estimé du gaz perdu et temps perdu (carotte n° 2 échantillon S5)



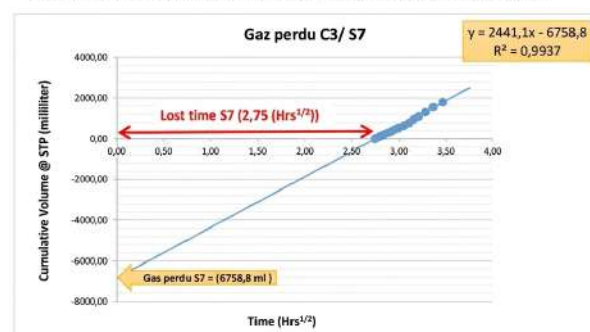
GRAPHE 10 : présente le cumul de volume du gaz désorbé vs la racine carrée de temps (carotte n° 2 échantillon S5)



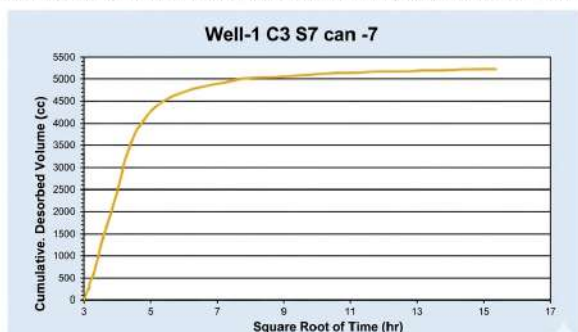
GRAPHE 11 : montre le volume estimé du gaz perdu et temps perdu (carotte n° 3 échantillon S6)



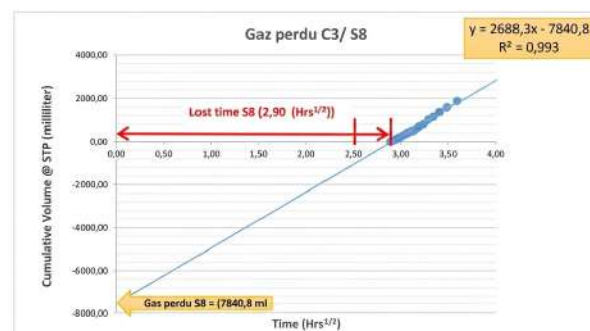
GRAPHE 12 : présente le cumul de volume du gaz désorbé vs la racine carrée de temps (carotte n° 3 échantillon S6)



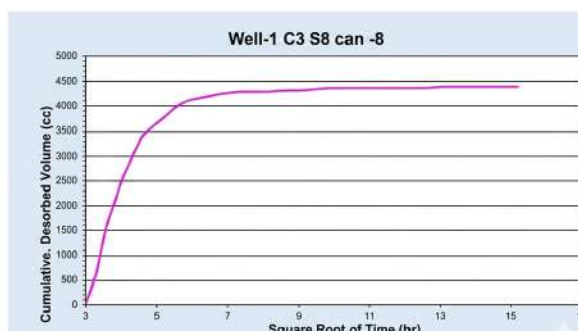
GRAPHE 13 : montre le volume estimé du gaz perdu et temps perdu (carotte n° 3 échantillon S7)



GRAPHE 14 : présente le cumul de volume du gaz désorbé vs la racine carrée de temps (carotte n° 3 échantillon S7)



GRAPHE 15 : montre le volume estimé du gaz perdu et temps perdu (carotte n° 3 échantillon S8)



GRAPHE 16 : présente le cumul de volume du gaz désorbé vs la racine carrée de temps (carotte n° 3 échantillon S8)

Crushed Gas - Vessel Opening Protocol

Sample number (ID) **S8** Vessel number **V3**

Date Made by

Remarks:

Crushed Gas Measurement

Sample mass		100,6	g	Step 2 p.2
before sample mill	Bath temperature	115,0	°C	Step 2 p.2
	Atmospheric pressure	997	hPa	Step 2 p.9
gas measur- ement	Bath temperature	115,0	°C	Step 4 p.2
	Ambient temperature (brine)	114,5	°C	Step 4 p.3
	Atmospheric pressure	995	hPa	Step 4 p.4
Total Gas Volume		304	ml	Step 4 p.5

STP conditions
Temp. 15.5 °C
Press. 1012 hPa

correction **1.39**

CRUSHED GAS (STP) **221,3**

CRUSHED GAS **2,20** cc/g

Void volume by helium

Reference volume:	1200	ml	Step 5 p.1
Atmospheric pressure	992	hPa	Step 5 p.2
Start pressure	103,4	kPa	Step 5 p.3
Temperature start (reference canister)	15,4	°C	Step 5 p.4
Temperature start (vessel)	115,0	°C	Step 5 p.5
End pressure	76,9	kPa	Step 5 p.6
Temperature end (reference canister)	15,1	°C	Step 5 p.7
Temperature end (canister)	115,0	°C	Step 5 p.8
VOID VOLUME	552	ml	

FIG. 3.1 – Exemple de calcul du crushed gas

Le tableau 5 montre Volume de gaz et les valeurs de gaz résiduel.

TAB. 3.4 – Volume de gaz et les valeurs de gaz résiduel

Number	Sample ID	Gas Volume [ml]	Crushed gas [cc/g]
1	S1	183	1,74
2	S2	148	1,39
3	S3	241	2,31
4	S4	170	1,62
5	S5	147	1,36
6	S6	159	1,53
7	S7	186	1,34
8	S8	304	2,2

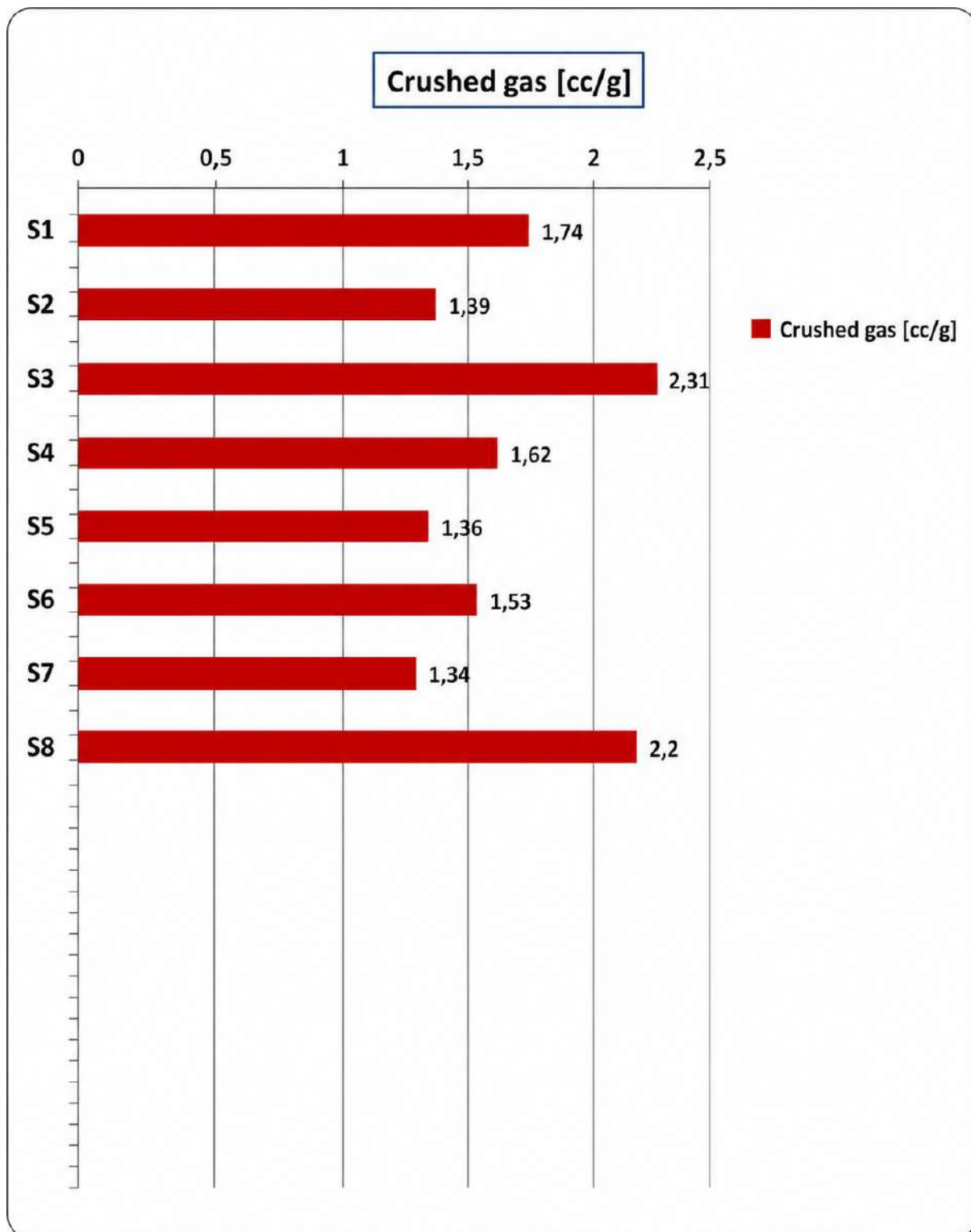


FIG. 3.2 – Le graphe montre la comparaison des volumes de gaz résiduel(crushed gas) des échantillons S1 à S8 en cc/g

3.1.6 Synthèse des résultats obtenus :

Les résultats enregistrés sont synthétisés comme suit :

Desorbed gas (ml) : est le cumul de volume de gaz désorbé (avec la correction) enregistrée par le canister (la somme des lecteurs).

Lost gas (ml) : est le gaz perdu estimé à partir des résultats des lecteurs rapide .

La valeur de gaz perdu est élevée lorsque le temps perdu est grand.

$$GT = GL + GD + GR$$

Total gas (ml) : le gaz perdu + le gaz desorbé + le gaz résiduel

Reservoir	Core n	Sample ID	Top	Bottom	Total gas content (ml)
FRASNIEN HS	CORE-1	S01	1671.70	1672.00	13915.62
		S02	1683.30	1683.60	13889.26
		S03	1691.00	1691.30	18333.76
	CORE-2	S04	1702.30	1702.60	16710.55
		S05	1708.70	1709.00	15594.64
SILURIEN HS SOMMITAL	CORE-3	S06	2893.30	2893.60	20019.37
		S07	2902.53	2902.83	20332.75
		S08	2911.00	2911.30	25271.16

Afin de corroborer les teneurs de gaz enregistrées, des échantillons spécifiques ont soumis à une analyse du COT pour en certifier la concentration. Les données analytiques en découlant sont exposées ci-dessous :

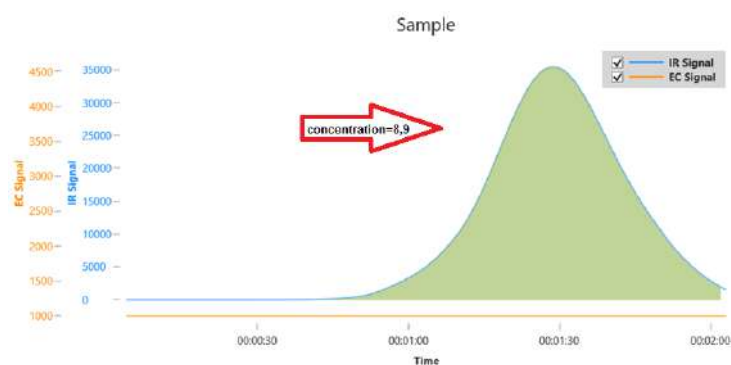


FIG. 3.3 – Image illustrant la courbe d'étalonnage du carbone total (TC) de l'échantillon S5.

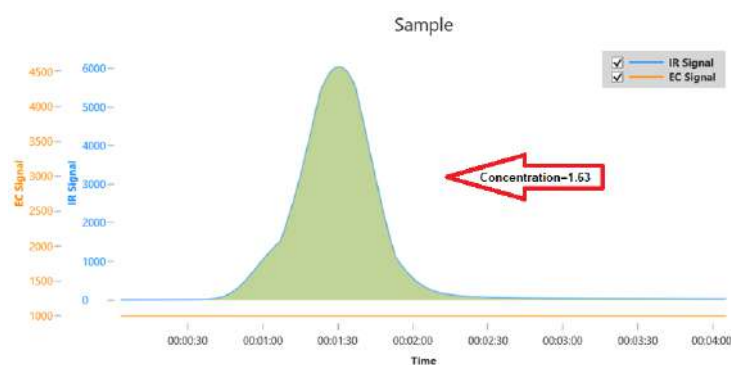


FIG. 3.4 – Image illustrant la courbe d'étalonnage du carbone total (TC) de l'échantillon S6.

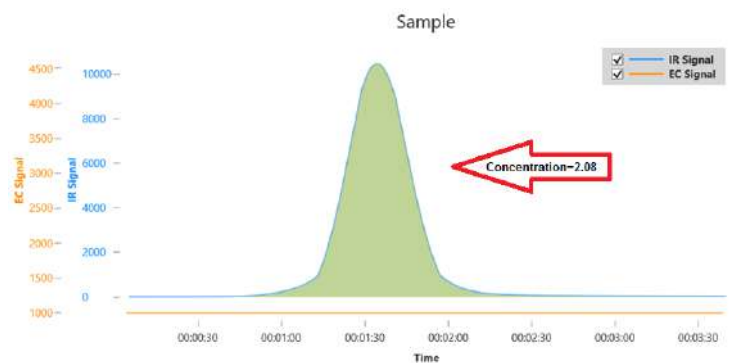


FIG. 3.5 – Image illustrant la courbe d'étalonnage du carbone total (TC) de l'échantillon S7.

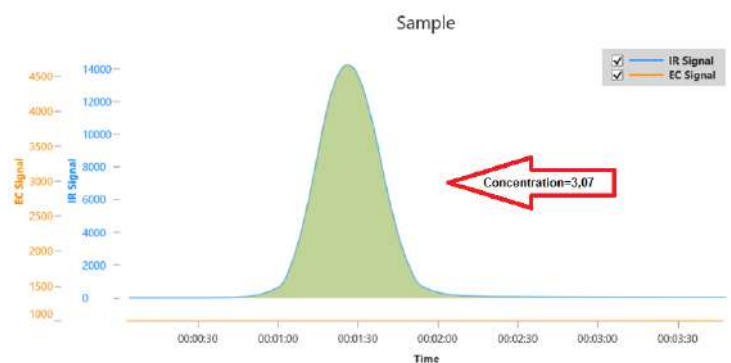


FIG. 3.6 – Image illustrant la courbe d'étalonnage du carbone total (TC) de l'échantillon S8.

Échantillon	Profondeur (m)	TOC (%)	Total Gas (ml)
S5	17085.70-1709.00	8.88	15594.64
S6	2893.30-2893.60	1.63	20019.37
S7	2902.53-2902.83	2.08	20332.75
S8	2911.00-2911.30	3.07	25271.16

TAB. 3.5 – resultat TOC des échantillons S5 à S8.

3.1.7 Correlation entre le TOC et le Total Gas

Les résultats obtenus montrent une relation globale entre la richesse organique des schistes et le volume total de gaz enregistré. Les valeurs du TOC indiquent que les formations étudiées possèdent une quantité importante de matière organique, favorable à la génération des hydrocarbures gazeux.

L'échantillon S5 présente la valeur de TOC la plus élevée (8.88%), ce qui confirme une excellente richesse organique et un fort potentiel de roche mère. Cependant, malgré cette forte teneur organique, le volume de gaz total reste inférieur aux échantillons plus profonds, ce qui peut être expliqué par une maturité thermique moins avancée.

Les échantillons S6, S7 et S8, situés à des profondeurs plus importantes dans le Silurien HS, montrent une augmentation progressive du volume total de gaz, atteignant une valeur maximale pour S8 (25271.16 ml). Cette évolution traduit l'effet de la profondeur et de la maturité thermique sur la génération et l'accumulation du gaz.

Ainsi, la corrélation entre le TOC et le Total Gaz montre que :

- Le TOC contrôle principalement le potentiel de génération des hydrocarbures ;
- La profondeur et la maturité thermique jouent un rôle majeur dans l'augmentation du contenu gazier ;
- Les schistes du Silurien HS présentent les meilleures conditions pour le développement des sources gazières non conventionnelles.

3.1.8 Interprétation générale et implications sur le développement

Les résultats obtenus à partir des mesures de désorption montrent que les formations schisteuses du Frasnien et du Silurien HS présentent un contenu gazier significatif, particulièrement au niveau des intervalles profonds du Silurien HS. Les volumes élevés de gaz total enregistrés traduisent une bonne richesse organique ainsi qu'un niveau de maturité thermique favorable à la génération et au stockage du gaz non conventionnel.

Les valeurs importantes du gaz désorbé et du gaz résiduel indiquent que ces schistes possèdent une capacité appréciable de rétention du gaz, malgré une faible porosité et perméabilité naturelles. La présence de matière organique abondante, associée aux conditions anoxiques mises en évidence par les niveaux pyriteux et charbonneux, confirme la qualité de ces formations en tant que roches mères potentiellement productrices de gaz. L'augmentation progressive du contenu gazier avec la profondeur suggère également une relation directe entre la maturité thermique et le potentiel gazier des formations étudiées. Les niveaux du Silurien HS apparaissent ainsi comme les horizons les plus prometteurs du point de vue énergétique, avec des caractéristiques favorables au développement futur des ressources non conventionnelles.

Ces résultats représentent un indicateur positif pour l'exploration et le développement du gaz de schiste dans le bassin de l'Ahnet–Gourara. Ils démontrent que les formations étudiées peuvent constituer des cibles stratégiques pour les futurs projets d'exploitation des hydrocarbures non conventionnels en Algérie. Toutefois, afin d'optimiser leur développement, il demeure nécessaire de compléter cette étude par des analyses géomécaniques, pétrophysiques et géochimiques détaillées, ainsi que par des essais de stimulation et de fracturation hydraulique pour mieux évaluer la productivité réelle de ces réservoirs.

Conclusion

Au terme de cette étude, nous nous sommes intéressés à l'évaluation du potentiel gazier des roches mères non conventionnelles du Frasnien et du Silurien HS dans le bassin de l'Ahnet–Gourara, à travers l'application de la méthode de désorption par Canisters, considérée comme l'une des techniques les plus importantes dans l'étude des réservoirs non conventionnels. Cette étude a permis de mieux comprendre les caractéristiques géologiques et géochimiques des formations étudiées ainsi que d'estimer les volumes de gaz piégés dans les échantillons de carottes.

Les résultats obtenus montrent que les formations analysées sont dominées par des schistes noirs riches en matière organique, souvent pyriteux et carbonatés, traduisant un environnement de dépôt calme et réducteur favorable à la conservation de la matière organique et à son évolution thermique vers la génération du gaz sec. Les analyses réalisées ont également mis en évidence que les niveaux du Silurien HS présentent les valeurs les plus élevées en gaz total par rapport aux niveaux du Frasnien, particulièrement dans les intervalles les plus profonds, ce qui confirme leur fort potentiel en hydrocarbures non conventionnels.

Les mesures du gaz désorbé, du gaz perdu ainsi que du gaz résiduel ont révélé des quantités de gaz importantes dans les différents échantillons étudiés. Les résultats montrent une augmentation progressive du volume total de gaz avec la profondeur, reflétant l'influence directe de la maturité thermique des roches mères sur la génération et le piégeage du gaz. Les caractéristiques lithologiques et les conditions géologiques observées jouent également un rôle essentiel dans le comportement et le potentiel gazier de ces formations.

Malgré une faible porosité et perméabilité apparentes, les niveaux étudiés présentent une richesse organique significative ainsi qu'un contenu gazier important, confirmant ainsi leur intérêt pétrolier dans le cadre de l'exploration et du développement des ressources non conventionnelles en Algérie. Cette étude a également démontré l'efficacité de la méthode de désorption par Canisters dans l'évaluation du gaz contenu dans les schistes, ainsi que

l'importance du respect rigoureux des procédures de mesure sur chantier et au laboratoire afin d'obtenir des résultats fiables et représentatifs.

Enfin, ce travail ouvre des perspectives pour des études complémentaires plus approfondies, notamment géochimiques, pétrophysiques et géomécaniques, afin de mieux caractériser ces réservoirs non conventionnels et d'optimiser leur exploitation future, contribuant ainsi au renforcement des ressources énergétiques et au développement du secteur des hydrocarbures en Algérie.

Bibliographie

- [1] S. Beuf, B. Biju-Duval, O. de Charpal, P. Rognon, O. Gariel, and A. Bennacef. *Les grès du Paléozoïque inférieurs au Sahara : Stratémentation et discordances, Évolution structurale d'un craton*. Éditions Technip, Paris, 1971.
- [2] R. Caby and J. Fabre. Évolution tectonique panafricaine et dépôts glaciaires du Sahara algérien. *Bulletin de la Société Géologique et Géochimique de France*, 1981.
- [3] J. Conrad and Y. Lemosquet. Les formations carbonifères du Sahara algérien : Stratémentation et évolution paléogéographique. *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, 1984.
- [4] M. Drid. *Étude stratigraphique et géologique du Dorsal éonien dans le bassin de Timimoun*. Thèse de doctorat, Université d'Alger, 1989.
- [5] J. Fabre. *Géologie du Sahara Occidental et Central*. Masson, Paris, 1988.
- [6] J. Follot. Étude géologique des formations paléozoïques sahariennes et des argiles à graptolites. *Bulletin du Service de la Carte Géologique de l'Algérie*, 1952.
- [7] SONATRACH. Étude structurale du bassin de Gourara et Ahnet. Technical report, Sonatrach, 2007.
- [8] SONATRACH. Well evaluation conferences (wec) – Ahnet basin. Technical report, Sonatrach, 2007.
- [9] R. Zazoun. *Étude géologique et potentiel pétrolier des bassins paléozoïques sahariens*. Thèse de doctorat, Université d'Alger, 2000.