

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté des Sciences-Département de Chimie

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en :

Domaine : Science de la Matière

Filière : Chimie

Option : Chimie Inorganique

Présenté par :

DIRECHI ABDELHAK & KERROUCHE LOTFI

Thème

**Caractérisations physico-chimiques, minéralogiques et
pétrographiques d'un puit gréseux au niveau du bassin de
Reggane**

Devant le Jury composé de :

Mr. IREKTI Amer	M.C.B.	UMBB	Président
Mr. OUALIT Mhena	M.C.A.	UMBB	Examineur
Mme. SAADI Souad	M.C.B.	UMBB	Examinatrice
Mr. SAADAOUI Moussa	Pr.	UMBB	Co-Promoteur
Mr. HAMIDOUCHE Fahim	M.A.B.	UMBB	Promoteur

Année Universitaire : 2018/2019

REMERCIEMENT

Tout d'abord, je rends grâce à Dieu, Le Tout Puissant, Le Clément et le Miséricordieux qui nos aidé à terminer ce projet fin d'étude pour obtenir le diplôme master 2 en chimie inorganique, de nous avoir donné la force pour survivre, ainsi que la volonté pour dépasser toutes les difficultés.

Ce travail a été réalisé au niveau de service géochimie minérale, département géologie, division laboratoire SONATRACH, Boumerdas, Algérie.

Le travail de recherche présenté dans ce manuscrit n'aurait pu être accompli sans l'aide, le soutien et les encouragements de nombreuses personnes que je suis heureux de pouvoir remercier ici.

Nous tenons à remercier tout particulièrement et très chaleureusement notre encadreuse, Mme **BENDOU NAIMA** de nous avoir accueilli et facilité le bon déroulement de notre stage. Nous la remercions aussi pour leur attention et leur gentillesse et de nous avoir donné le courage et la chance de développer nos connaissances au niveau de leur laboratoire, et de nos avoir permis de travailler dans des bonnes conditions, et qu'elle nous a permis de bénéficier de son encadrement, les conseils qu'elle nous a prodigués, la patience et la confiance qu'il nous a témoignées ont été déterminants dans la réalisation de notre travail de recherche.

Nous remercions, monsieur **SAUDI ABDERAZZAK** qu'il a nos donnent la chance de faire ce stage et pour leur aide et conseils, merci beaucoup.

Nous tenons à remercier chaque personne du groupe géochimie minérale avec qui nous avons eu l'occasion de travailler, toujours avec le sourire, notamment : Mme. **AISSANI**, M. **DAHDOUH**, Mme. **REKIK**, M. **DIB** et Mme. **FAIZA**. Sans oublier bien sûr M. **RAMDANE AZIZ**, M. **SLIMANE HAMIDE**, M. **BELAID**, M. **DAGHMOUME KAMEL** et M. **KHENNOUCHE MOHAMED**, franchement merci pour votre aide et pour ces belles mémorises.

REMERCIEMENT

Nous exprimons nos profonds remerciements à notre promoteur M. **HAMIDOUCHE FAHIM** pour l'aide compétente qu'il nous a apportée ainsi que pour sa patience et son encouragement, et M. **SAADAOUI MOUSSA** Co-promoteur (professeur en sédimentologie INH) pour leur aide et leurs conseils, et tous les enseignants de département de chimie, Faculté des sciences UMBB, et à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Nous tenons à remercier aussi les enseignants de USTHB grâce à leurs aides, ce travail a évolué : M. **DRARENI AMER** (professeur en géologie minérale) et M. **DJEYAT YACINE** (maitre conférence en géodynamique).

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, nous remercions nos familles et nos amis, notamment nos chers parents, pour nous avoir surtout soutenues tout au long de nos études, merci d'avoir cru en nous et d'avoir contribué de façon incontestable à nos réussites.

Pour tous les personnes qui, de près ou loin, ont participé à l'élaboration de ce travail, trouvent ici le témoignage de nos profondes gratitude.

Ce qu'il ya de pire, c'est que le pétrole, seul moyen d'exister pour les musulmans, sera bientôt rare. Les minerais sont entrain de s'épuiser, de disparaître des sous-sols...
Et entre temps les musulmans n'auront même pas encore appris à les extraire, à les exploiter.
Ils n'auront raté pas seulement la civilisation, mais les moyens de la civilisation.

Malek BENNABI - 1949
Les conditions de la renaissance

SOMMAIRE

Introduction générale	1
I. Les roches.....	5
I.1. Types des roches.....	5
I.1.1. Les roches sédimentaires.....	7
I.1.1.1. Classification génétique des roches sédimentaires.....	8
I.1.1.2. Classification chimique des roches sédimentaires	8
I.1.2. Les roches détritiques.....	11
A. Généralités.....	11
B. Classification des roches détritiques.....	12
LES GRES	14
A. Généralités.....	14
B. Composition Minéralogique.....	15
C. Composition chimique des grés.....	16
I.1.3. Les roches réservoirs	17
A. Généralités.....	21
B. Importance de la composition minéralogique de la roche réservoir :.....	22
C. La pétrophysiques.....	23
D. Type de roches réservoirs	24
E. Caractéristiques pétro physiques de la roche de réservoir.....	26
II. Partie Expérimentale	30
II.1. Cadre géographique et géologique du bassin de Reggane	30
II.2. Préparation des échantillons :.....	31
II.2.1. Origine et préparation des échantillons	31
II.2.2. Echantillonnage des roches	32
II.3. Détermination de la teneur en matière sèche, la teneur en eau et de la perte au feu	33

SOMMAIRE

A.	Détermination de la teneur en matière sèche et la teneur en eau :.....	33
B.	Détermination de la perte au feu.....	34
II.4.	Techniques de caractérisations physico-chimiques des roches.....	35
II.4.1.	Caractérisations texturale et structurale	37
A.	Etude pétrographique.....	37
B.	Le Microscope Electronique à Balayage	38
C.	Mesure de la distribution de taille par granulométrie Laser	39
II.4.2.	Caractérisation chimique et minéralogique.....	39
A.	Analyse par Diffractométrie Des Rayons X (DRX).....	39
B.	Analyse par Fluorescence des rayons X (FX)	41
C.	La spectrométrie d'absorption atomique	41
III.	Résultat et discussion	44
III.1.	La teneur en matière sèche et la teneur en perte au feu PAF	44
III.2.	Caractérisation texturale et structurale	45
A.	Mesure de la distribution des tailles par granulométrie Laser	45
B.	Etude pétrographique	46
C.	Etude morphologique par Microscope Electronique à Balayage (MEB).....	48
III.3.	Analyse chimique et minéralogique	62
A.	Analyse minéralogique par diffraction des rayons X	62
B.	Analyse par fluorescence des RX.....	63
C.	Analyse par spectrométrie d'absorption atomique	67
D.	Utilisation les données de la FX pour la classification chimiques des grés.....	68
E.	Discrimination entre les environnements tectoniques (les diagrammes de discrimination pour les sédiments clastiques)	71
	Conclusion générale	76
	Les Annexes	

Liste Des Figures

Figure 1: Cycle des roches	5
Figure 2: classification des roches sédimentaires selon leur origine	8
Figure 3: Clé de détermination simplifiée des principales roches sédimentaires	11
Figure 4 : abondance relative des différents types de roches sédimentaires	12
Figure 5 : Clé De détermination Des roches sédimentaires à partir d'un examen macroscopique	13
Figure 6 : Les principales classifications des grès basées sur la composition minéralogique	16
Figure 7 : Schéma conceptuel d'un système pétrolier classique composé d'une roche mère, d'un réservoir, de pièges (anticlinaux et discordance) et de roches couvertures	18
Figure 8: un système pétrolier classique composé de roche mère, d'une roche réservoir, d'une roche couverture et de pièges	19
Figure 9: la chaîne géo pétrolier	20
Figure 10: la porosité de la roche	26
Figure 11: Position géographique de Reggan, Wilaya d'Adrar, Algérie.....	31
Figure 12: Exemple de carotte prélevée.....	32
Figure 13: Exemple de carottier.....	32
Figure 14 : les Techniques de caractérisations physico-chimiques des échantillons de la roche réservoir.....	36
Figure 15: Schéma récapitulatif de la préparation de lame mince.....	38
Figure 16 : deux lames minces de quelque échantillon présentent le colmatage des grains et le ciment siliceux.....	47
Figure 17 : diagramme qui montre la variation de concentrations des éléments chimiques en fonction de la profondeur.....	66
Figure 18: classification chimique des grés de Reggan basée sur $\log (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ vs. \log $(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$, diagramme de Pettijohn et al. (1972)	68
Figure 19: Classification chimiques des grés basés sur $\log \text{Fe}_2\text{O}_3/ \text{K}_2\text{O}$ vs $\log \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ d'après Herron (1988)	69
Figure 20 : diagramme ternaire de $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO})$ d'après Blatt et al., (1972) [..	69
Figure 21 : Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ et $\text{Qtz}/ (\text{Fsp}+\text{Lf})$ (quartz totale)/(feldspar + lithic fragments) dans les grés facies. Adapté de Al-Juboury, (2007)	70
Figure 22: Le diagramme fonctionnel discriminant pour les grés (d'après Bhatia, 1983)	72
Figure 23 : Le logarithme $(\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O})$ vs SiO_2 , diagramme de discrimination de Roser et Korsch (1986) , pour les suites grés-grés.....	73

Figure 24: Diagramme fonctionnel discriminant pour les signatures de provenance des suites de grès argilite utilisant des éléments majeurs (d'après Roser et Korsch, 1988) 74

Liste Des Tableaux

Tableau 1: Liste des tests de caractérisation des roches	6
Tableau 2: Classification des sédiments et des roches sédimentaires détritiques	12
Tableau 3 : classification des propriétés pétro physiques des roches réservoirs, symboles et unités de mesures	23
Tableau 4: Tableau qui montre les 10 échantillons, leurs numérotation et leurs profondeurs	31
Tableau 5 : la teneur en matière sèche et la teneur en perte au feu PAF.....	44
Tableau 6 : La variation de mode et de diamètre moyen en fonction de profondeur.....	45
Tableau 7: Résultats minéralogiques des échantillons.....	62
Tableau 8 : Composition chimique élémentaire exprimée en pourcentage massique (%).....	64
Tableau 9 : Concentration massique des éléments chimiques mineurs mg/kg	67
Tableau 10 : Échelle de maturité du grès : % of Q and (F + RF) indice de maturité (MI) et stade de maturité limités (Nwajide and Hoque, 1985)	70

Liste des abréviations

MEB : microscope électronique à balayage

DRX : diffractogramme des rayons X

FX : fluorescence des rayons X

SAA : spectrométrie d'absorption atomique

PAF : la perte au feu

a.u : unité arbitrale

ppm : partie par million

Ø : la porosité

md : le milli darcy

Introduction générale

L'économie algérienne est fortement dépendante des revenus des hydrocarbures qui représente 50% du PIB, 75% des revenus fiscaux et plus de 98% des exportations [1], et bien que les roches détritiques, sables et grès, qui représenteraient le magasin de 61.7% des champs pétroliers et renfermeraient 59% des réserves mondiales [2]. D'un point de vue économique, sa caractérisation est aussi très importante.

Les roches réservoirs sont des roches sédimentaires gréseux ou carbonatés à porosité et perméabilité assez importante, contenant des hydrocarbures et qui sont divisés entre deux grandes classes ; gréseux et carbonatés. Leur caractérisation est essentiellement pétrophysique, car leurs qualités dépendent de leurs capacités à accumuler et laisser circuler d'hydrocarbures.

La roche réservoir de pétrole est définie comme étant une roche où s'accumulent des hydrocarbures (gaz ou liquide) et l'eau (saumure). Sous l'effet de la pression, les hydrocarbures de la roche-mère migrent vers la surface à travers les strates de roches sédimentaires. Au cours de cette migration, les hydrocarbures peuvent rencontrer une couche imperméable, ils se retrouvent piégés en dessous de ce toit (roche-couverture), au sein d'une roche poreuse et perméable qui devient la roche de réservoir de pétrole. Les propriétés fondamentales d'un réservoir de pétrole qui déterminent l'accessibilité aux hydrocarbures, sont liées directement aux caractéristiques de la roche réservoir de pétrole telles que la porosité, la perméabilité et la mouillabilité qu'ils sont liées, ces derniers à la composition chimique et minéralogique de la roche réservoir.

Les grès présentent un intérêt particulier pour l'exploration pétrolière, car ils possèdent généralement des gammes de porosité et de perméabilité qui permettent la migration, le piégeage (si le contexte géologique est favorable), finalement, la récupération des hydrocarbures. Cependant, les propriétés pétrophysiques des grès (porosité et perméabilité) varient en fonction de la nature des sédiments (faciès, minéralogie primaire) et de leur évolution après leur dépôt, lors de la diagenèse. La prise en compte de ces variations est essentielle pour la description des réservoirs. La caractérisation chimique, minéralogique et morphologique des roches réservoirs apparaît donc primordiale pour les compagnies pétrolières. C'est pourquoi cette problématique fait l'objet de nombreuses études depuis près de trente ans.

La classification chimique et minéralogique des grés est un facteur très important, il permet de déterminer les propriétés chimiques, leurs origines, et la constituant minéralogique qui peut expliquer les données pétrophysiques et donne des informations sur la variation chimique et minéralogique et des estimations primaires sur la nature des fluides souterraine. Il donne aussi une identification de la nature du ciment des grains (dans une roche gréseuse, les minéraux sont liés par un ciment dont la nature diffère d'un réservoir à un autre, celui-ci peut être carbonaté, argileux, ferrugineux, siliceux...), qui est très importante car c'est elle qui va déterminer le type de fluide de forage ainsi que l'additif qui sera utilisé par la suite. La diffraction des rayons X est importante pour faire une évaluation qualitative et quantitative surtout pour les argiles.

Dans ce travail, les roches réservoirs étudiées sont gréseux, celles d'un puits du bassin de Reggan (Algérie), où la caractérisation s'est effectuée en utilisant la diffraction des rayons X, l'analyse pétrographique grâce à l'observation au microscope optique polarisant, la granulométrie laser, la fluorescence des rayons X et la spectrométrie d'absorption atomique. Les données obtenues pour ces roches réservoirs sont celles de la composition chimique, la structure minéralogique et la distribution granulométrique. L'analyse morphologique avec le microscope électronique à balayage a donné l'accès à la caractérisation pétrographique, géochimique et la porosité de ces roches (le MEB permis d'observer la description de la porosité avec le remplissage des pores dans la roche).

Le présent travail est réalisé au niveau de division laboratoires de Sonatrach à Boumerdes, il consiste à la caractérisation chimique, minéralogique, pétrographique et morphologique des roches réservoirs. Dans une première partie, nous présenterons une description générale sur les types des roches, les roches sédimentaires avec leurs classification chimiques et génétiques, les roches détritiques, les grés, les roches réservoirs et leurs paramètres de classification. Suivi par une deuxième partie concernant la méthodologie de travail et les moyens mis en œuvre pour réaliser ce travail (les appareillages utilisés et le principe des différentes techniques d'analyse). La dernière partie sera consacrée aux résultats expérimentaux obtenus et leurs interprétations.

Chapitre I

Etude Bibliographique

Tout matériau, consolidé ou non, constitutif de la Terre formé d'un agrégat de minéraux est une roche. Le minérale est un naturel solide homogène inorganique de composition chimique donné qui se présente sous deux états : cristallin ou amorphe[3].

On classe les roches suivant leur mode de formation, leur composition chimique ou minéralogique, leurs propriétés mécaniques, etc.

I.1. Types des roches

Trois grands types de roches forment la croûte terrestre. Le schéma qui suit présente, en un coup d'œil, ces trois grands types, ainsi que les processus qui conduisent à leur formation. Ainsi présenté, il véhicule l'idée de la cyclicité des processus.

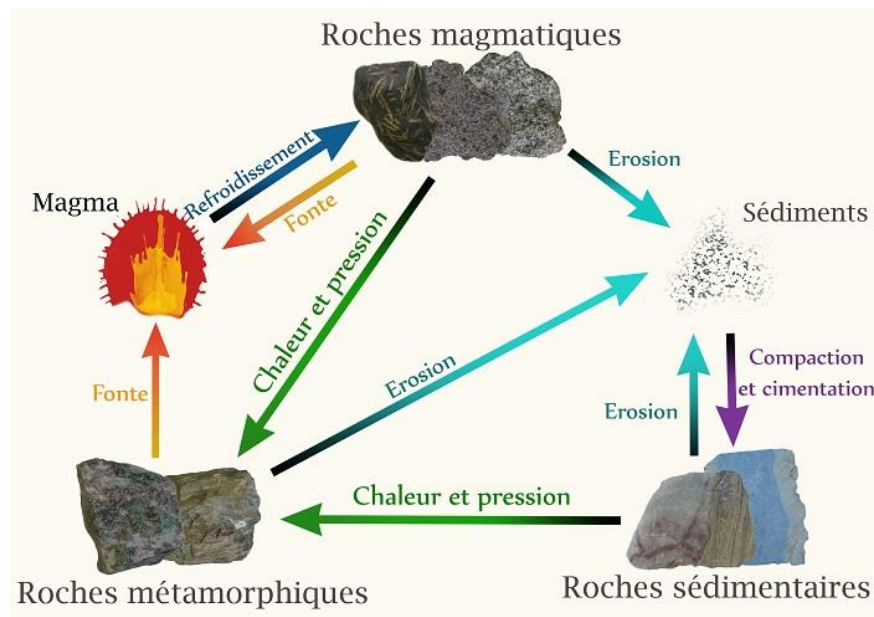


Figure 1: Cycle des roches [4].

On distingue trois grandes familles de roches :

Les roches magmatiques : formées par la cristallisation du magma.

Les roches sédimentaires : qui proviennent de l'accumulation et la consolidation de sédiments.

Les roches métamorphiques : qui résultent des transformations que subissent les roches lorsqu'elles sont soumises à des conditions de température et/ou de pression différentes de celles qui étaient présentes lors de la formation de la roche.

Ces trois grandes familles de roches sont liées entre elles à la surface de la Terre par le cycle des roches. Les roches magmatiques formées par la cristallisation du magma subissent à la surface de la Terre les processus d'érosion qui conduisent à la formation et le dépôt de sédiments. Ces derniers s'accumulent et subissent des processus physico-chimiques qui conduisent à la formation des roches sédimentaires.

Les roches magmatiques et sédimentaires peuvent être soumises à des conditions de température et/ou de pression différentes de celles qui prévalaient lors de leur formation, et se transforment en roches métamorphiques. Enfin, les conditions de température et de pression peuvent conduire à la fusion des roches métamorphiques et la formation de magmas.

Tableau 1: Liste des tests de caractérisation des roches [5].

Particules de roche désagrégées	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Distribution granulométrique par analyse sélective 2. Sphéricité et rondeur des grains par analyses microscopiques 3. Composition chimique de la fraction par analyses instrumentales 4. Type de grains (quartz, feldspath, fragments de roche plus anciens, etc.) 5. Analyses de minéraux argileux 6. Contenu organique des fractions granulométriques 	
Échantillons de base	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Cadre géologique et origine du rocher 2. Orientation du plan de couchage 3. Contenu fluide par analyse de cornue 4. Courbes de pression capillaire 5. Distribution de la taille des pores 6. Surface 7. porosité 8. perméabilité absolue 	<ol style="list-style-type: none"> 9. Saturation en eau irréductible 10. Mouillabilité huile-eau 11. Saturation en huile résiduelle 12. Capacité d'échange de cations 14. Analyses minérales de surface au microscope électronique à balayage 15. Facteur de résistivité de la formation

I.1.1. Les roches sédimentaires

Les roches sédimentaires se forment à la surface de la Terre ; toujours d'origine secondaire, elles proviennent de l'altération de roches préexistantes, magmatiques, métamorphiques ou déjà sédimentaires [6]. Elles peuvent contenir des fossiles (coquilles, restes de plantes, tests d'organismes planctoniques, empreintes de terriers, traces de pas...). Ces deux critères associés constituent un élément certain d'identification des roches sédimentaires [6].

Toutes les roches sédimentaires (environ 66 % de toutes les roches) sont importantes pour l'étude de la pétrophysique et de la pétrochimie. L'ingénierie des réservoirs de pétrole. Il est possible de les interpréter en considérant les processus la dégradation de la roche. Les principales roches sédimentaires peuvent être organisées selon leur origine (mécanique, chimiques, chimiques et biologiques) et leur composition. L'altération mécanique est responsable de la fragmentation de grosses roches préexistantes en petits fragments. La dégradation mécanique des roches se produit également lorsqu'une roche enfouie est soulevée et que les morts-terrains environnants sont enlevés par érosion. En plus de la glace, la croissance des sels et des minéraux (dépôts de des solutions aqueuses) dans les pores et les micro-fractures exerce également une force de désintégration dans les roches, ce qui est très efficace pour les transformer en grains fins [5].

Analyse d'une roche sédimentaire [3] :

On peut les caractériser, grâce à l'examen attentif de la roche, à l'oeil nu, à la loupe ou au microscope, et au moyen de quelques tests simples (réaction ou non à l'acide chlorhydrique dilué, dureté par rapport au verre, au clou ou à l'ongle, comportement à l'eau...) :

- ✓ la composition chimique de la roche.
- ✓ les caractères de ses constituants (taille, forme des grains, nature des fossiles) et de leur ciment.
- ✓ son origine et les modalités de sa genèse (milieu et conditions dans lesquelles le dépôt s'est effectué : marin ou continental, peu profond ou profond, agité ou non, chaud ou tempéré...).

Les deux premiers points doivent conduire à nommer précisément la roche.

I.1.1.1. Classification génétique des roches sédimentaires

L'origine des constituants permet de distinguer [6] :

Les roches détritiques ou terrigènes formées à partir des particules issues de l'altération des reliefs.

Les roches biochimiques dont la formation fait intervenir l'action des êtres vivants, de manière directe lorsqu'ils prélèvent dans le milieu des solutés minéraux pour édifier leur squelette (coquilles, tests, polypiers...), ou indirecte lorsque leur activité métabolique conduit à la précipitation de solutés minéraux.

Les roches d'origine chimique obtenues par précipitation purement chimique de solutés, sous l'effet de l'évaporation de l'eau de mer par exemple.

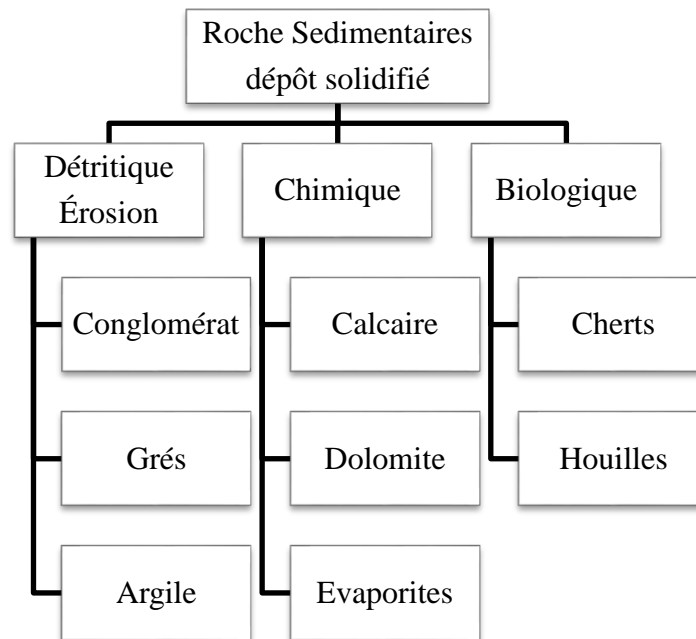


Figure 2: classification des roches sédimentaires selon leur origine [7].

I.1.1.2. Classification chimique des roches sédimentaires

Elle se fonde sur la nature des constituants principaux, avec pour classes principales :

a. Roches siliceuse

Ce sont des roches formées essentiellement de silice (quartz, calcédoine ou d'opale). Elles sont généralement dures (elles rayent le verre et l'acier) et résistent aux acides (sauf à l'acide fluorhydrique).

Nous allons distinguer les roches siliceuses d'origine détritique terrigène, des roches non détritiques (chimique et organique) [7].

i. Roches détritiques terrigènes

Elles forment la majorité des roches siliceuses. Ce sont toutes des roches formées par l'accumulation de débris arrachés par l'érosion, transportés sur des distances variables et déposés dans des zones de sédimentation. Elles peuvent être meubles ou consolidées. Elles appartiennent principalement à la classe des arénites : ce sont les sables lorsque la roche est meuble et les grès lorsqu'elle est consolidée.

Dans une formation gréseuse, en s'éloignant du point d'origine des matériaux, le quartz devient de plus en plus abondant, la taille des grains diminue, le classement s'améliore, le degré d'arrondi augmente.

ii. Roches siliceuses non détritiques

Les éléments minéralogiques principaux sont l'opale, la calcédoine et le quartz cryptocristallin. La silice peut être mise en solution et transportée sous cette forme, elle se trouve dans toutes les eaux en proportion variable.

b. Roches alumino-siliceuses

Ce sont les roches détritiques terrigènes les plus proches de la composition moyenne de la lithosphère et de loin les plus abondantes [3]. Elles se répartissent en trois catégories correspondant aux trois classes granulométriques définies précédemment, avec une nette domination des argiles.

c. Roches salines ou évaporites

Une eau salée, soumise à une concentration progressive par évaporation laisse déposer, d'abord les sels les moins solubles, puis les plus solubles.

Ces roches se forment dans des milieux confinés (lacs, lagunes). Une séquence évaporitique complète comporte de bas en haut :

- ✓ des carbonates : dolomite, magnésite ($MgCO_3$),

- ✓ des sulfates : anhydrite, gypse,
- ✓ des chlorures : halite, sylvite. Le gypse est la forme la plus courante de précipitation des sulfates.

Remarque : Les évaporites sont des roches qui ne sont ni poreuses ni perméables. Du point de vue pétrolier, elles ont une très grande importance. Elles constituent d'excellentes barrières de perméabilité responsables de pressions de pore anormales et de piégeage d'hydrocarbures [7].

d. Roches carbonées

On groupe sous ce terme tous les corps carbonés provenant de la fossilisation de la matière organique vivante. Ils résultent de l'action de certaines bactéries sur la matière organique d'origine végétale et animale, suivie d'une diagenèse thermique faible. Les kérogènes sont étroitement liés à la matière minérale de la roche dont ils ne peuvent être séparés que par distillation [8].

e. Roches carbonatées

En-dehors de quelques minéraux accessoires souvent d'origine terrigène, elles sont composées presque uniquement de calcite et de dolomite.

De ce fait, on distingue deux groupes principaux :

- ✓ les calcaires constitués de plus de 50 % de carbonate de calcium.
- ✓ les dolomies constituées de plus de 50 % de dolomite (carbonate double de calcium et de magnésium).

Les conditions de formation des sédiments carbonatés, liées à l'influence prépondérante des facteurs chimiques et biochimiques, sont très diverses.

Dans certains cas, les formations calcaires sont transformées en dolomie par leur réaction avec le magnésium dissous dans l'eau percolant à travers les pores et les fractures du calcaire. Les roches carbonatées poreuses dérivées de la précipitation chimique et biogénique du carbonate de calcium forment une grande partie des réservoirs pétroliers [9]. Par ailleurs, le rôle des phénomènes diagénétiques sur les carbonates, relativement solubles dans l'eau, est très marqué. Elles renferment une importante quantité de gaz carbonique qui existait sous forme libre dans l'atmosphère primitive de la terre.

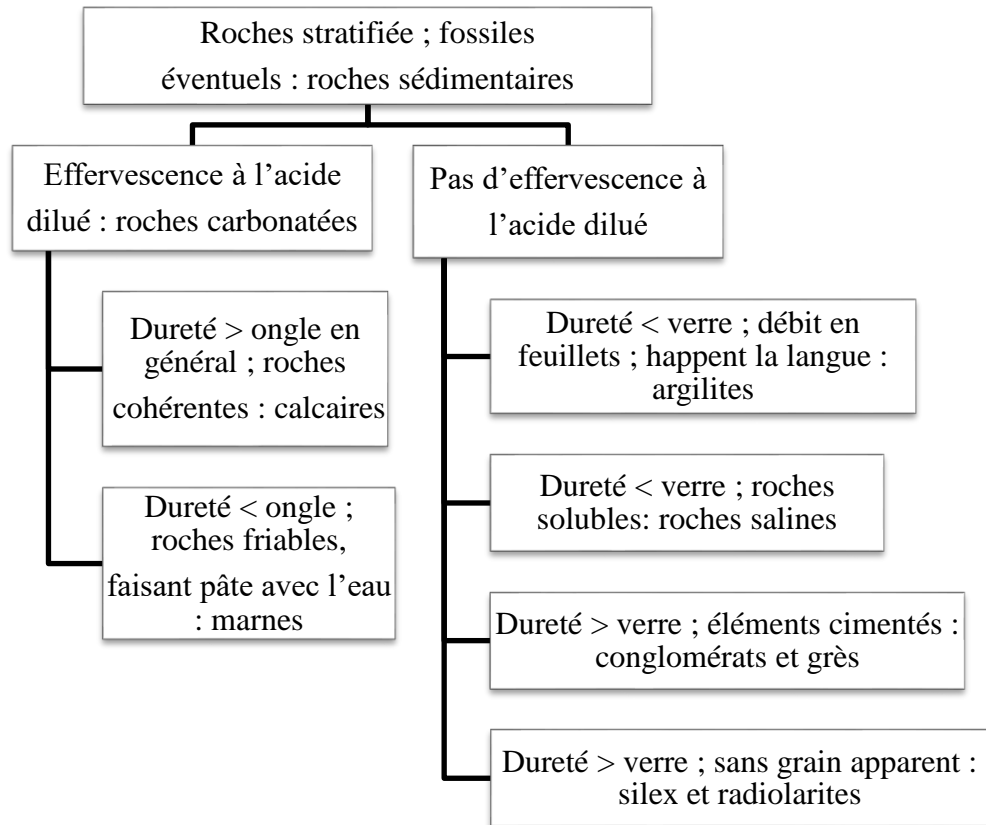


Figure 3: Clé de détermination simplifiée des principales roches sédimentaires [6].

I.1.2. Les roches détritiques

A. Généralités

Les roches sédimentaires détritiques se forment à partir de roches préexistantes et sont constituées de fragments de roches et de minéraux. Comme il s'agit de matériel issu des continents, on les appelle aussi "terrigènes". Ces particules sont transportées par l'eau, la glace, le vent, des courants de gravité et se déposent lorsque la vitesse de l'agent de transport diminue (ou lors de la fonte de la glace).

Lorsque les roches détritiques sont essentiellement constituées de fragments de quartz, on les appelle aussi "silico clastiques". Les roches détritiques sont généralement classées en fonction de la granulométrie de leurs constituants (conglomérats, grès, siltites, argilite, voir ci-dessous). Elles représentent 85 % des roches sédimentaires présentes à la surface de la Terre [8].

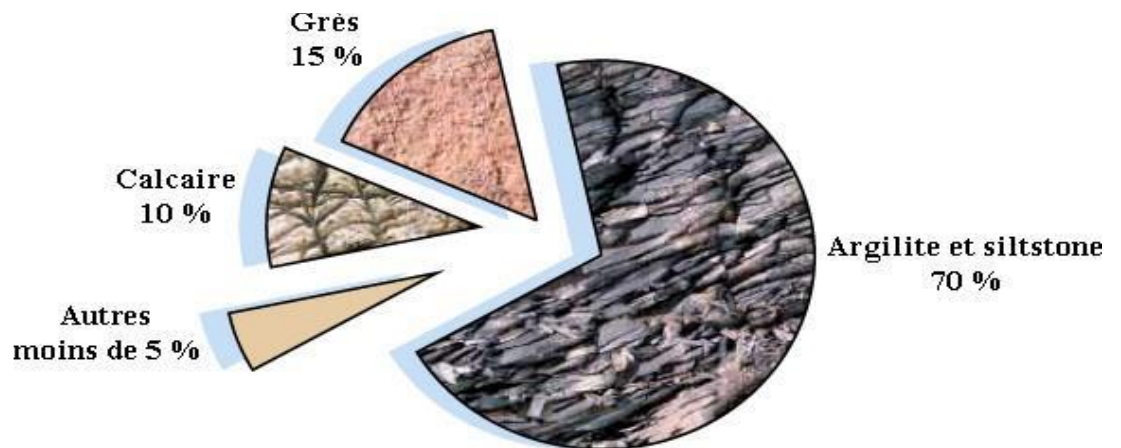


Figure 4 : abondance relative des différents types de roches sédimentaires [8].

B. Classification des roches détritiques

Ce sont les roches sédimentaires les plus abondantes. Elles contiennent très souvent du quartz, minéral très résistant à l'altération, mais pas exclusivement (des fragments calcaires y sont assez fréquents). Elles sont classées selon la taille ou granulométrie des éléments figurés qui les constituent.

Tableau 2: Classification des sédiments et des roches sédimentaires détritiques [8].

Nom de la particule	Taille de la particule	Nom de sédiment	Classe	Nom de la roche
Blocs	> 256 mm	Graviers	Rudites	Conglomérats (poudingues si les particules sont arrondies, sinon c'est des brèches).
Gros cailloux	64 -256 mm	Graviers		
Petits cailloux	2-64 mm	Graviers		
Sable	1/16- 2 mm	Sables	Arénites	Grès
Silt	1/256-1/16 mm	Silts	Lutites (Pélites)	Siltites
Argile	<1/256 mm	Argiles		Argilites

L'étude des sédiments détritiques est relativement différente selon que l'on s'intéresse à des roches meubles ou consolidées. Dans le cas des sédiments meubles, elle débute sur le terrain par une description minutieuse des affleurements, elle se poursuit par un échantillonnage qui exige souvent des précautions spéciales (enrobage ,carottage,...) [8]. Elle se termine au laboratoire par des analyses très variées dont les principales sont les suivantes:

- ✓ analyses granulométriques;
- ✓ analyses morphoscopiques (forme des grains, état de leur surface);
- ✓ analyses minéralogiques (ex: minéraux lourds);
- ✓ analyses pétrographiques sur sédiment enrobé.

Dans le cas des roches cohérentes par contre, c'est l'analyse pétrographique en lame mince qui est l'outil privilégié et qui va permettre de déterminer la composition minéralogique du sédiment et les relations structurelles de ses différents constituants. Cette technique est surtout d'application pour les grès et les siltites [8].

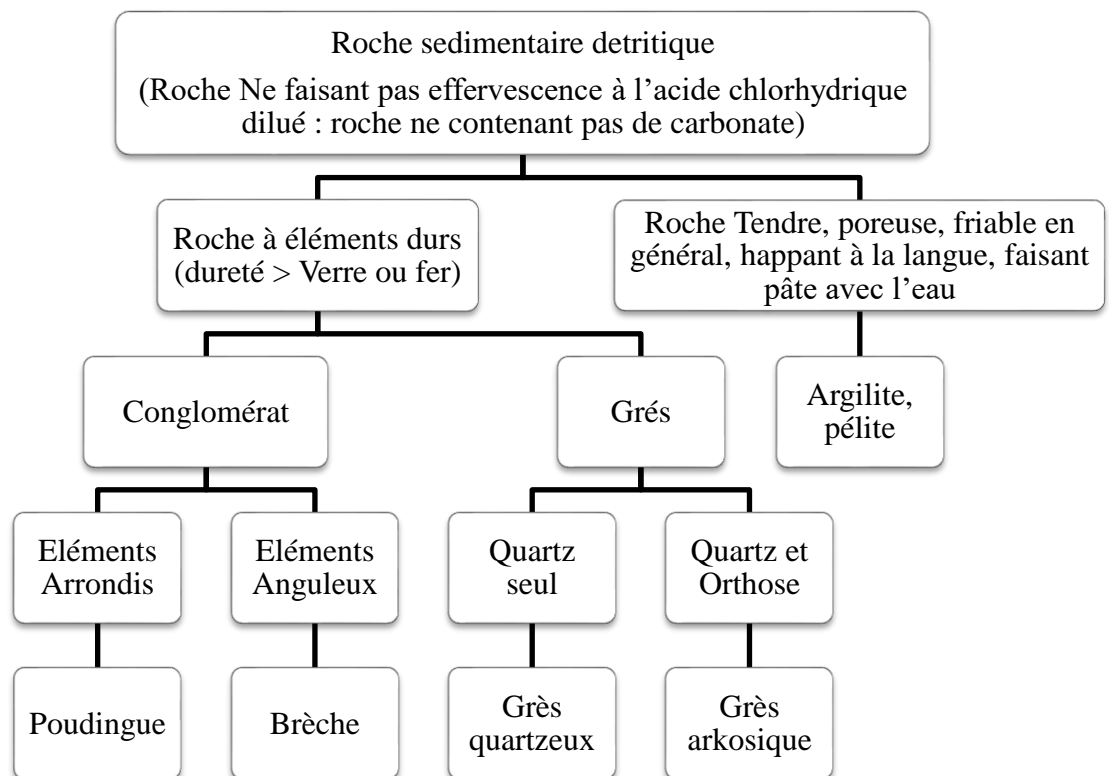


Figure 5 : détermination des roches sédimentaires à partir d'un examen macroscopique [6].

LES GRES

A. Généralités

Les grès sont des roches sédimentaires détritiques contenant majoritairement des éléments de faible taille, comprise entre 0,0625 mm (1/16 mm) et 2 mm, et liés par un ciment. Pour décrire un grès, il faut considérer la nature des grains et du ciment (quartz, calcite...), le degré de cohésion des grains, leur forme et leur origine. Il existe ainsi une grande diversité de grès [10].

Les grès sont l'équivalent consolidé des sables. L'examen montre d'une part une phase granulométrique principale, la plus grossière, qui comporte les grains du grès et d'autre part, soit une matière interstitielle qui réunit les grains et qu'on appelle le liant, soit des fluides comme de l'eau, du pétrole, de l'air. Après dépôt et enfouissement, les grains et la matrice sont généralement altérés par les effets physiques du compactage et par des modifications chimiques.

Ces modifications sont généralement appelées diagenèse et les modifications chimiques précoces sont appelées authigénèse [3]. Ce liant peut être de nature chimique et représenter une précipitation in situ de matière minérale.

Si l'on observe au contraire qu'une phase détritique plus fine occupe les interstices entre les grains de la phase grossière, on parlera d'une matrice intergranulaire, représentant une infiltration mécanique de particules fines entre des grains jointifs[3].

La transformation en roches sédimentaires se produit par lithification, ou cimentation, des minéraux déposés entre les grains par l'eau interstitielle. Les principaux matériaux de cimentation sont la silice, la calcite, les oxydes de fer et l'argile. Ainsi, les ciments se forment après dépôt et enfouissement, contrairement aux composants détritiques qui ont été transportés sur les sites par les courants. Comme le terme l'indique, les ciments sont responsables de la lithification ou de la jonction de grains dans une masse compétente [5].

La composition des grès dépend de la source des minéraux (ignés, métamorphiques ou sédimentaires) et la nature de l'environnement sédimentaire [11].

B. Composition Minéralogique

On peut envisager la composition minéralogique des grès sous des aspects très différents [8]:

- ✓ selon la nature minéralogique du liant: grès à ciment siliceux, calcaire, ferrugineux, etc.; et d'après la présence de constituants minéraux exceptionnels (grès glauconifères, micacés,...).
- ✓ on peut aussi opposer les constituants stables (quartz, débris de chert et de quartzite) aux constituants instable, c-à-d; aisément altérables comme les feldspaths, les micas, les débris de roches en général.
- ✓ Cette distinction conduit à la notion de maturité des sédiments qui se traduit non seulement par la disparition progressive des constituants instables mais également par l'élimination de la matrice argileuse, par l'amélioration du classement granulométrique et par l'augmentation du degré d'arrondi des grains.

Cette brève description des principaux éléments de composition sert à souligner que beaucoup, sinon la plupart, des grès peuvent être des mélanges extrêmement complexes. Les particules détritiques donnent des indices importants sur les matériaux d'origine et, dans certains cas, indiquent dans quelle mesure les matériaux d'origine ont été modifiés par les effets du transport.

La composition peut donc jouer un rôle important dans les interprétations environnementales. La nature des particules détermine également, dans une large mesure, le degré de modification physique ou chimique de ces matériaux par la diagenèse. Ces modifications peuvent grandement affecter les propriétés de porosité et de perméabilité du réservoir, généralement de manière néfaste. Les particules minérales et les ciments peuvent être considérés comme étant en équilibre dans des conditions souterraines de température, de pression et de fluides adjacents [5].

Toute modification de ces conditions, par exemple par un enterrement profond ou par le retrait ou l'injection de fluides, peut entraîner une modification du caractère des grains et de la matrice. Ainsi, les grès doivent être considérés comme des mélanges chimiquement complexes qui peuvent devenir instables en cas de modifications à court ou à long terme de l'environnement physique et chimique.

Theodorovich[12] a utilisé les trois constituants les plus généraux des grès pour établir un schéma de classification qui est utile en génie pétrolier parce qu'il englobe la majorité des réservoirs pétroliers clastiques (figure 6).

Seules les trois classifications les plus importantes sont présentées ; de nombreuses autres subdivisions ont été développées par Theodorovich et d'autres chercheurs, résumées par Chilingarian et Wolf [13].

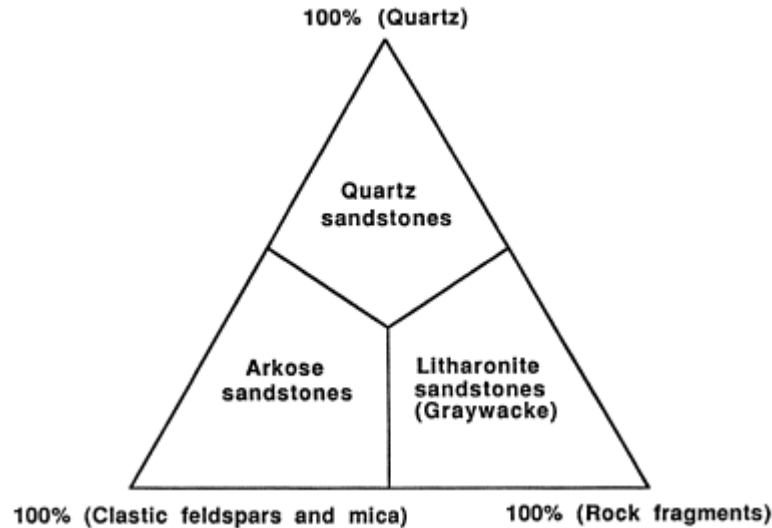


Figure 6 : Les principales classifications des grès basées sur la composition minéralogique [12].

C. Composition chimique des grès

1) Importance

Les géologues s'intéressent à la composition chimique des grès, mais ils considèrent généralement que la composition chimique est moins utile que la minéralogie pour caractériser les grès et évaluer leur provenance et les environnements de dépôt. Néanmoins, la géochimie du grès a un certain nombre d'applications importantes. Par exemple, la chimie des éléments majeurs peut fournir de l'information sur le contexte tectonique de l'accumulation de grès, ce qui permet de distinguer les grès dérivés de l'arc des îles océaniques, de l'arc des îles continentales, de la marge continentale active et de la marge passive [14], [15].

La chimie des éléments majeurs et des oligo-éléments a été utilisée pour évaluer les taux de sédimentation et les environnements de dépôt dans les ceintures orogéniques [16]. La chimie des éléments majeurs a également été utilisée pour déduire les assemblages clastiques d'origine dans des roches sédimentaires profondément enfouies et altérées, ainsi que pour aider à clarifier les processus qui ont produit les sédiments [17]. Trace ont également de la valeur dans certains types d'études de provenance.

2) Exprimer une Composition Chimique

Il est d'usage, dans les rapports sur les résultats des analyses chimiques, d'exprimer les principaux éléments sous forme d'oxydes et de déclarer l'abondance en pourcentage en poids du total des oxydes. Les principaux éléments chimiques des grès sont le silicium, l'aluminium, le fer (exprimé en Fe_2O_3 ou FeO), le magnésium, le calcium, le sodium, le potassium, le titane, le manganèse et le phosphore[10]. Le silicium est l'élément le plus abondant dans les grès, suivi généralement par l'aluminium et le fer. L'abondance relative du calcium, du magnésium, du sodium et du potassium varie considérablement dans différents grès, mais ces éléments sont généralement beaucoup plus abondants que le manganèse, le titane et le phosphore.

La discussion qui précède suggère clairement que la composition chimique des grès est la suivante fortement corrélée à la composition minérale, en particulier la composition minérale détritique devrait donc s'attendre à ce que les différents types de grès minéralogiques présentent les caractéristiques suivantes variation considérable dans la composition chimique. Les minéraux les plus importants dans la formation rocheuse sont les silicates, les oxydes, les carbonates et les sulfates. Les plus importants sont les silicates, qui sont les principaux constituants des roches géologiques, représentant environ 75% de la croûte terrestre [10].

I.1.3. Les roches réservoirs

Introduction

Un système pétrolier est un système regroupant des éléments et des processus géologiques propices à l'accumulation des hydrocarbures [18]. Ces éléments et ces processus géologiques sont définis différemment par plusieurs auteurs.

Du point de vue géologie pétrolière, Gluyas et Swarbrick (2004) [19], définissent les « magic five ingredients » sans lesquels un bassin ne peut pas constituer une province pétrolière, ces ingrédients magiques sont les suivant : la roche mère, la roche couverture, le piège, la roche réservoir et le timing. Allen (1990) [20] définis ces éléments d'un point de vue analyse des bassins sédimentaires et d'apport à l'enjeu pétrolier comme suit : l'accumulation du pétrole, la roche réservoir, la roche couverture, le piège, le moment critique.

Enfin, selon (L. B. Magoon and W. G. Dow) [18], les composants d'un système pétrolier sont comme suit : une roche mère (active), les chemins de migration, le piège qui est défini par sa géométrie, par la roche réservoir et la roche couverture et le timing .

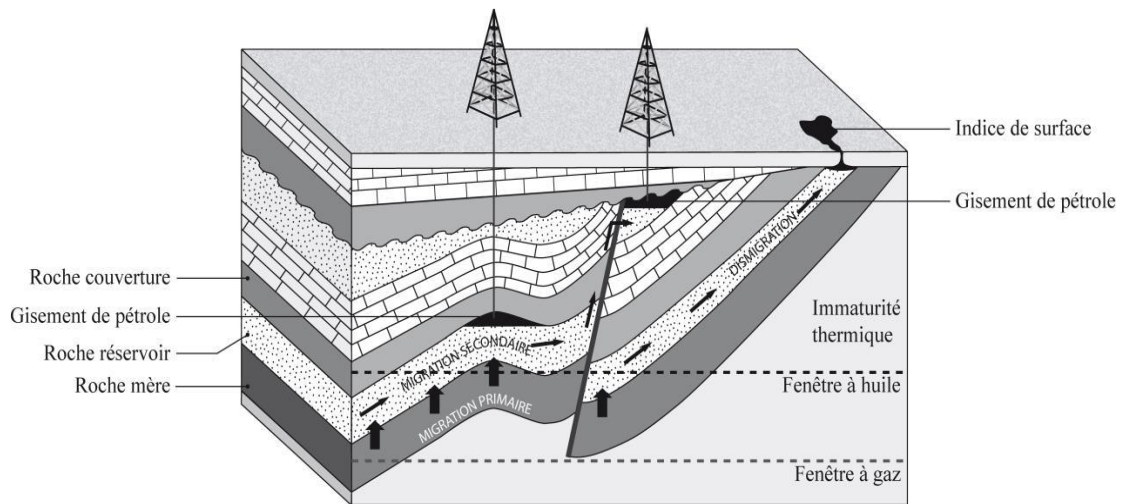


Figure 7 : Schéma conceptuel d'un système pétrolier classique composé d'une roche mère, d'un réservoir, de pièges (anticlinaux et discordance) et de roches couvertures [21].

Peut en déduire que les éléments composants un système pétroliers sont la roche mère, la roche réservoir, la roche couverture, le piège et la charge sédimentaire (overburden rock); dans certains cas, les roches mères produisent des hydrocarbures mais les gardent emmagasinés car leurs perméabilités sont faibles, dans ce cas-là elles deviennent par définition des roches réservoirs car l'accumulation de ces hydrocarbures se fait in situ [22].

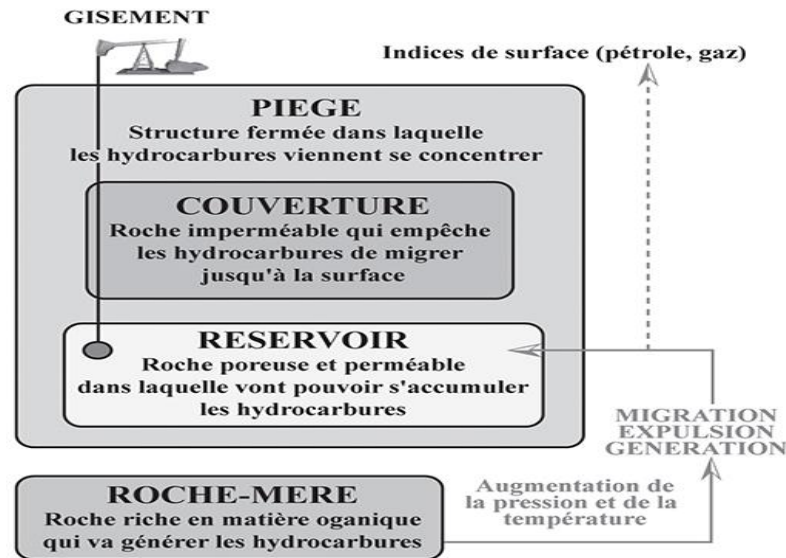


Figure 8: un système pétrolier classique composé de roche mère, d'une roche réservoir, d'une roche couverture et de pièges [23].

Les différents éléments d'un système pétrolier sont définis et étudiés comme suit :

a. **La roche mère** : est l'élément principal dans la formation des hydrocarbures, il agit d'une roche source contenant une forte concentration de matière organique ayant partiellement ou totalement généré des hydrocarbures à partir du kérogène. Il est important de connaître la composition de la roche mère, de comprendre son fonctionnement actuel et antérieur, de déterminer sa maturité et d'évaluer son potentiel pétrolier et sa porosité [22].

b. **Les roches réservoirs** : sont des roches sédimentaires à porosité et perméabilité assez importante, contenant des hydrocarbures. Leur caractérisation est essentiellement petrophysique, car leurs qualités dépendent de leurs capacités à accumuler et laisser circuler le plus d'hydrocarbures.

Dans le cas de systèmes pétroliers non-conventionnel, la roche mère peut être roche réservoir en même temps, et empêcher les hydrocarbures de s'expulser à cause de la mauvaise connexion des pores donc la faible perméabilité. Dans ce cas-là, le kérogène est présent [22].

c. **La roche couverture** : est la barrière naturelle qui empêche les accumulations d'hydrocarbures de se disperser et qui les maintient dans le réservoir, il s'agit d'une roche imperméable d'une épaisseur et d'une continuité latérale importantes [22].

d. **Le piège** : peut être soit sédimentaire soit structural, le moment de sa formation est le moment de la première accumulation d'hydrocarbures qui peut être évaluée en étudiant le moment du piégeage des inclusions de fluides [22].

e. **La charge sédimentaire** : est constituée des couches exerçant une pression et un poids sur l'ensemble des éléments précédents, ce qui joue un rôle important dans l'augmentation de la pression et la température [22].

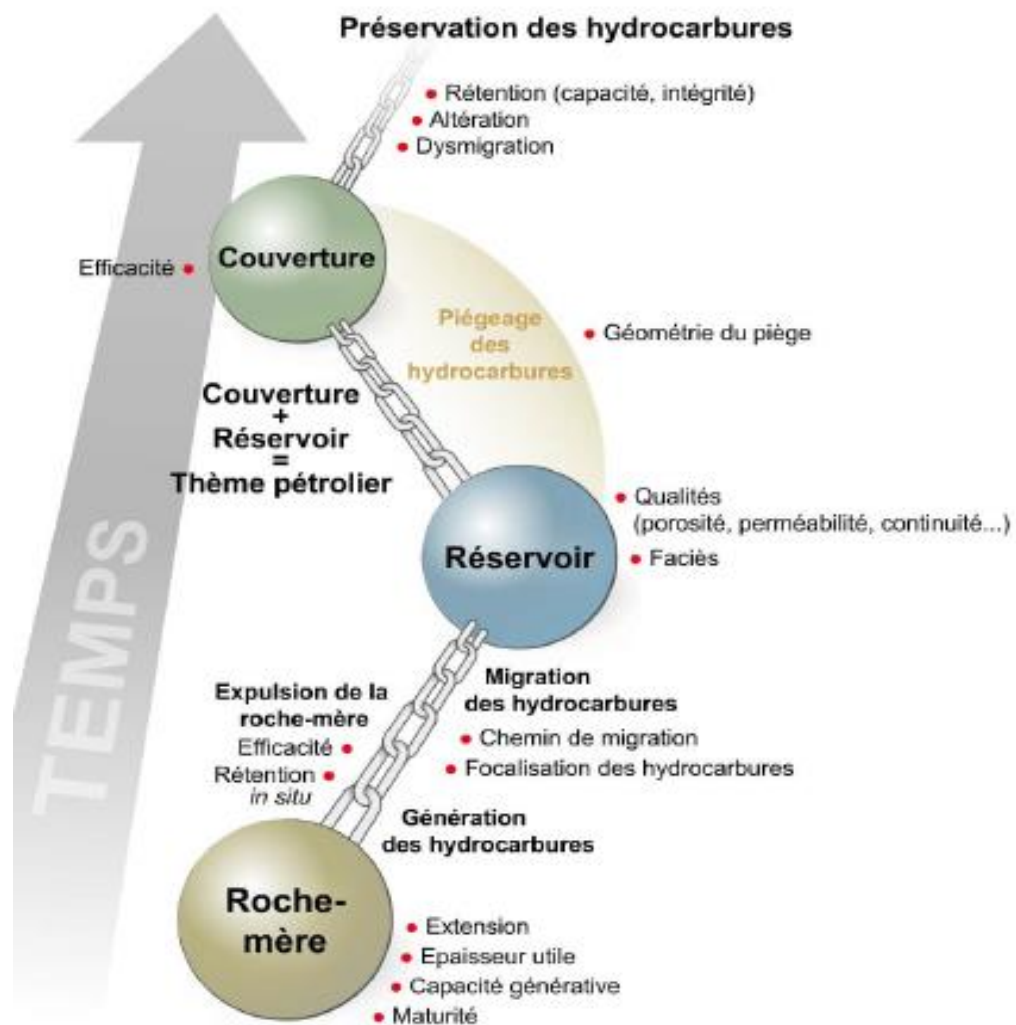


Figure 9: la chaîne géo pétrolière [24].

La chaîne pétrolière correspond à la séquence complète et durable dans le temps (préservée) des composants principaux (trilogie roche mère/réservoir/couverture) et du calendrier pétrolier ou déroulé temporel associé au cheminement des hydrocarbures depuis la roche mère jusqu'au piège pétrolier [24].

A. Généralités

La roche réservoir est une roche poreuse et perméable. Ces caractéristiques lui permettent de pouvoir contenir des fluides (eau, pétrole, gaz,...). Avec leur contenu en fluide ces roches deviennent intéressantes économiquement surtout lorsqu'elles sont couvertes par une roche imperméable ne permettant pas au fluide de s'échapper.

Ces roches ont un intérêt économique pouvant être plus important, si leur volume poreux est considérable et l'habilité de circulation de fluides est importante. La roche réservoir est appelée aussi roche magasin [25]–[27].

Les principales roches réservoirs sont généralement sédimentaires, constituées essentiellement de grés et/ou de carbonates 99% au total dans le cas du conventionnel [28]. Les conditions de dépôt sédimentaire et diagénétique de ces roches génèrent un grand impact dans la préservation de ces milieux poreux. Des facteurs important tels que la sédimentation, l'effet diagénétique (compaction et arrangement) et l'hétérogénéité contribuent dans la qualité et la préservation de ces réservoirs ainsi que la distribution des pores et leur taille [29], [30]. Cependant, certains phénomènes tel que l'enfouissement suivi d'une dolomitisation ou fracturation peuvent être des processus favorables a une amélioration des caractéristiques pétrophysiques.

Pour constituer un réservoir exploitable, une roche doit présenter deux qualités: offrir Conjointement aux fluides l'espace nécessaire pour en accueillir un volume suffisant et la possibilité pour ces fluides de circuler avec un taux d'irréductibilité faible [31]. Il s'agit d'un milieu poreux dont les paramètres pétrophysiques sont développés traduisant une porosité effective élevée et une perméabilité permettant une circulation facile de fluide.

Dans un milieu poreux, le volume des vides est occupé par différentes phases fluides et gazeuses. L'ordre de ces différentes phases est important par rapport au solide (grains) [32]. La présence d'eau dans le réservoir est d'origine interstitielle.

Généralement cette eau accompagne la présence des hydrocarbures dans l'intergranulaire. La roche est imprégnée par ces fluides. Dans un réservoir la porosité a le rôle de stockage les fluides tandis que la perméabilité est liée a la productivité d'un puits. Ces paramètres pétrophysiques de porosité et de perméabilité définissent la qualité des réservoirs.

B. Importance de la composition minéralogique de la roche réservoir :

Les roches réservoirs peuvent être de type silicoclastiques ou carbonatées [21].

La porosité et la perméabilité initiales d'un sédiment dépendent en premier lieu de son environnement de dépôt et donc de la minéralogie, de la taille, du tri et de la forme des grains. Les processus physiques, chimiques et biologiques affectant le sédiment suite à son dépôt sont regroupés sous le terme de diagenèse [33],[34].

La composition minéralogique de la roche est un paramètre important à considérer dans l'exploration pétrolière. Par exemple, son contenu en quartz ou en calcite peut avoir un impact sur la capacité à fracturer efficacement la roche. Les valeurs limites des teneurs en substance minérales varient selon les régions et les bassins [10].

La porosité est définie comme le rapport du volume des pores sur le volume total de la roche, elle peut exprimer la capacité de la roche à contenir des hydrocarbures. Cette porosité est soit formée au moment de la formation de la roche (primaire) ou résultante de processus de dissolution ou de dolomitisation (secondaire) [19]. Le deuxième paramètre qui est la perméabilité est lié au premier ou la connexion des pores est importante et facilite la circulation des fluides sous l'effet d'un gradient de pression et se définit par la loi empirique de Darcy (1856) [35].

Pour décrire la roche réservoir il faut étudier la matrice, l'espace intergranulaire et les fluides incorporés dans la porosité ou dans les inclusions de fluides [22] :

Dans la matrice : sa texture, sa minéralogie et morphologie et ses structures primaires et secondaires sont les éléments définis, afin de déterminer la lithologie.

Dans l'espace intergranulaire: la porosité (primaire et secondaire), la connexion entre les pores et la perméabilité sont les caractéristiques de la qualité des réservoirs pétroliers, ces éléments peuvent être modifiés avec l'enfouissement, la pression et les processus diagénétiques.

Les paramètres porosité et perméabilité sont les deux paramètres principaux définissant la bonne ou la mauvaise qualité de la roche réservoir dans un système pétrolier [22]. Ces deux paramètres permettent donc de donner une évaluation approximative de la capacité de la roche à accumuler des réserves récupérables au sein d'un modèle pétrolier [22].

C. La pétrophysiques

La pétrophysique, comme l'indique l'étymologie du mot (du grec. *petra*, pierre et *ê physikê*, connaissance de la nature) est l'étude des propriétés des roches et de leurs interactions avec les fluides (gaz, des hydrocarbures liquides et des solutions aqueuses) [5].

La pétrophysique est intrinsèquement liée à la minéralogie et à la géologie car la majorité de Le pétrole est présent dans les roches sédimentaires poreuses. Les propriétés pétrophysiques des roches dépendent en grande partie des conditions environnementales du dépôt qui contrôlent la composition minérale, la taille des grains, l'orientation ou le compactage et la quantité de cimentation et compactage [5].

Les propriétés physiques des roches sont la conséquence de leur composition minérale. Les minéraux sont définis ici comme des éléments chimiques naturels ou des composés formés à la suite de produits inorganiques processus. Les minéraux les plus importants dans la formation rocheuse sont les silicates, les oxydes, les carbonates et les sulfates. Les plus importants sont les silicates, qui sont les principaux constituants des roches géologiques, représentant environ 75% de la croûte terrestre [5].

Les propriétés pétrophysiques sont classées en trois groupes [36] ; Le premier groupe de propriétés appelé primaires ou définitives (tableau 3).

Tableau 3 : classification des propriétés pétro physiques des roches réservoirs, symboles et unités de mesures [36].

<i>Propriété primaire (définitive)</i>	<i>Propriété secondaire (dépendante)</i>	<i>Propriété tertiaire (latent)</i>
Composition(%)	Porosité Ø(%)	Résistivité, R (Ω m)
Texture (mm)	Perméabilité, K (md)	Spontaneous potentiel, SP (mV)
Structure Sédimentaire (m)	Saturation, S(%)	Radioactivité Υ (counts/sec)
Morphologie (descriptive)	Densité, Υ (g/cm ³)	Sonic travel time Δt (μ sec/ft)

Les propriétés primaires sont la composition minéralogique, la texture, les structures sédimentaires et la morphologie du réservoir. Ce groupe de propriétés fondamentales exerce un contrôle important sur les autres propriétés du réservoir [37].

Le deuxième groupe est celui des propriétés dites secondaires ou dépendantes il inclut la porosité, la perméabilité, le degré de saturation en fluides et la densité.

Le contrôle des propriétés du premier groupe sur le deuxième est attesté par la porosité, qui est étroitement liée à la composition minérale, le type de ciment, les propriétés de la texture, la taille et le compactage des grains. Donc une connaissance des propriétés primaires pour un réservoir donné est souvent un indicateur, au moins de façon qualitative des propriétés secondaires [37].

Le troisième groupe des propriétés pétro physiques, appelé tertiaire englobe l'ensemble des propriétés mesurables lors des forages et grâce aux logs géophysiques. Les propriétés tertiaires sont déterminées, dans une large mesure, par la composition minérale, la porosité et la nature des fluides dans la roche. Une saturation en fluide dans un milieu poreux, peut être aussi déterminée. Elle se base sur les logs diagraphiques [11].

Les roches réservoirs doivent être à la fois poreuses pour contenir des hydrocarbures et perméables pour permettre la circulation des fluides jusqu'à la rencontre d'un piège au cours de leur migration et plus tard leur extraction.

L'érosion conduit à l'oxydation de la matière organique dans les roches mères et réactions de dissolution et de précipitation minérales dans le grès et des carbonates. D'où les données obtenues à partir de roches à l'affleurement doivent être traités avec le même soin que les données du noyau [23].

D. Type de roches réservoirs

Elles appartiennent à deux groupes principaux :

1) Roches sableuses ou gréseuses

Formées principalement par l'accumulation des grains de quartz plus ou moins cimentés entre eux.

Des roches détritiques, sables et grés, qui représenteraient les magasins de 61.7% des champs et renfermeraient 59% des réserves mondiales (U.R.S.S. exceptée) [2].

Les réservoirs de carbonate sont moins communs et le pourcentage est encore plus élevé. Le plus les propriétés importantes du réservoir sont la porosité et la perméabilité, mais la géométrie des pores et les propriétés de mouillage de les surfaces minérales peuvent également influencer sur la production de pétrole.

Les grès constituent des réservoirs pour le pétrole et le gaz, mais aussi pour les eaux souterraines qui est un fluide qui devient de plus en plus précieux. La géométrie extérieure et la distribution des corps de sable est déterminé par l'environnement de dépôt et les propriétés du réservoir. Les propriétés internes (porosité, perméabilité) sont cependant critiques pour le pétrole récupération [35].

2) Roches carbonatées

De la taille des grains, de leur classement, de leur forme et de la nature minéralogique des composants dépendent les valeurs de la porosité et de la perméabilité. Des roches carbonatées, calcaires et dolomies, moins abondantes et peut être encore moins complètement explorées que les roches détritiques, qui représenteraient 32% des champs et renfermeraient 40.2 % des réserves mondiales (U.R.S.S. exceptée) [2].

Des roches magasins n'appartenant pas à ces deux catégories se rencontrent dans 6.3% des champs et totalisent seulement 0.8% des réserves mondiales, ce sont principalement des évaporites, de silexites, des roches volcaniques et métamorphiques [2].

3) Autres types des roches réservoirs :

Si les roches détritiques grossières et les roches carbonatées rassemblent le plus grand nombre des magasins exploités dans le monde, d'autres roches, sédimentaires ou non, sont également susceptibles de présenter des caractères de réservoir. Elles fournissent une petites partes de production mondiale [2].

- ✓ Le cap rock des dômes du sel
- ✓ Les roches siliceuses
- ✓ Les roches métamorphiques
- ✓ Les roches volcaniques

E. Caractéristiques de la roche de réservoir

Les propriétés de base d'une roche de réservoir de pétrole, qui déterminent sa potentialité à produire des hydrocarbures, sont la porosité, la perméabilité et la mouillabilité [38], et la saturation de fluide.

1. La porosité

La porosité est l'ensemble des volumes de petite taille, ou pores (du latin *porus* et du grec *πορος*, ou *poros*, passage, conduit ou trou), pouvant être occupés par des fluides à l'intérieur d'une roche [27].

La porosité d'une roche de réservoir de pétrole (ϕ) représente la quantité des hydrocarbures en place. La porosité totale (ϕ_T) est égale au rapport du volume total des pores sur le volume total de la roche.

$$\phi_T = V_{pores} / V_{totale}$$

ϕ_T : Porosité totale de la roche exprimée en %

V_{pores} : Volume des vides en cm^3

V_{totale} : Volume totale de la roche en cm^3

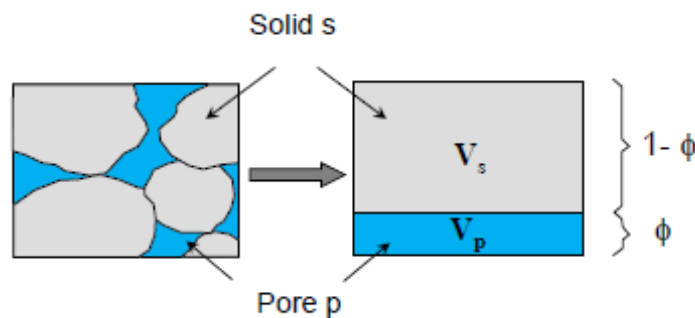


Figure 10: la porosité de la roche [39].

La porosité de la roche est influencée par la taille des grains, leur arrangement, leurs formes, le ciment et la compaction, elle peut atteindre 30% dans les grès et les sables.

2. La perméabilité

La perméabilité réfère à la capacité du sédiment ou de la roche à laisser circuler les fluides qui se trouvent dans les pores. La mesure s'exprime en Darcy, elle est liée à la vitesse à laquelle les hydrocarbures peuvent être produits. Plus la perméabilité est faible, plus l'écoulement sera difficile [35].

Elle est définie par la loi de Darcy : $Q = K \times S / \mu \times \Delta P / \Delta$

Q : Débit du fluide traversant la roche en cm^3/s .

K : Perméabilité de l'échantillon exprimé en darcy (d).

S : Section de passage du fluide en cm^2 .

μ : viscosité du fluide en centipoises (viscosité dynamique).

$\Delta P/\Delta l$: Gradient de pression entre les deux faces de l'échantillon en bar/cm.

Le darcy a la dimension d'une surface et est égal à $1 \mu m^2$ ($10^{-6} mm^2$).

Malgré les apparences, c'est une unité très grande et l'on utilise un sous-multiple : le milli darcy (md).

3. Relation perméabilité / porosité

En général, il n'existe pas de relation qualitative directe entre ces deux grandeurs. Dans la plupart des cas, on constate que la perméabilité est une fonction croissante du rayon des pores et de la porosité. Les argiles ont des porosités élevées et des perméabilités très faibles.

A l'inverse, les roches fissurées, généralement compactes, auront une perméabilité élevée et une porosité faible. Il existe différentes lois de corrélation empiriques utilisées en diagraphies pour déterminer la perméabilité à partir de la porosité [39].

La seule façon satisfaisante pour obtenir cette valeur est de faire des tests de formation (DST et / ou échantillonnage de fluides de formation) ou des mesures sur les carottes.

4. La mouillabilité

La mouillabilité est définie comme étant la tendance d'un fluide à diffuser sur la surface d'un solide en présence d'un autre fluide immiscible [38].

Dans un réservoir de pétrole, la mouillabilité peut être définie comme la propriété de cette surface à être préférentiellement recouverte par l'eau ou par l'huile [40]. Ce paramètre joue un rôle très important dans la migration du pétrole, les procédés de sa récupération et l'estimation des réserves récupérables [41], [42]. Il influence la rétention des hydrocarbures ainsi que les déplacements des fluides géologiques.

Ce paramètre influence les valeurs d'autres paramètres pétrophysiques telles que la perméabilité et la pression capillaire, donc la saturation en eau ou en huile, et la répartition des fluides au sein des milieux poreux [43].

5. Saturation en fluides

Une roche pouvant contenir différents fluides, on définit la saturation en fluide (eau, gaz, huile) qui est égale au rapport volume du fluide considéré sur le volume de pores [35].

Par exemple, la saturation en eau S_w est définie par :

$S_w = \text{volume d'eau} / \text{volume des pores}$

La somme des saturations est égale à 1.

Chapitre II

Matériels et Méthodes

Expérimentales

Bien que 60% des réserves mondiales d'hydrocarbures se trouvent dans des réservoirs carbonatés, 90% des puits producteurs sont forés dans des réservoirs siliclastiques (notamment dans le cas de l'Algérie) et la plupart des découvertes récentes l'ont été dans des formations sableuses non consolidées ou bien dans des grès faiblement consolidés et cimentés [44].

Les réservoirs gréseux peuvent être différenciés, entre autres, par les taux d'argiles qui font partie de leur composition et se retrouvent généralement à la surface des pores ou dans les ciments inter-granulaires. Ces argiles occupent une position clé et exercent un contrôle sévère sur le système poral des réservoirs [45].

Dans ce travail de mémoire, nous nous sommes intéressés aux propriétés pétrophysiques primaires, composition chimique et minéralogique des roches réservoirs gréseux et ces influences sur la porosité et la perméabilité.

II.1. Cadre géographique et géologique du bassin de Reggane

La région de Reggane fait partie de la wilaya d'Adrar. Elle se situe au Nord du désert du Tanezrouft à environ 1100 km au SW d'Alger, à environ 800 km à l'Est de Hassi Messaoud et un peu plus de 700 km au Nord-Ouest de la ville de Tamanrasset. Elle est comprise entre les longitudes 4° 25'W et 00° 35'E et les latitudes 24° 30'N et 28°N. Elle s'étend ainsi sur une vaste superficie d'environ 124 000 km² de regs rocheux à aspect noirâtre qui témoignent d'un climat désertique, sec et chaud.

L'exploration du bassin de Reggane a débuté dans les années 50 par des travaux de géologie de terrain, suivis de campagnes sismiques (réfraction) de grande reconnaissance en 1957, et gravimétriques (aérosurface) en 1969 [46].

Les campagnes sismiques (réflexion) de grande reconnaissance ont commencé dans les années 1970. De 1979 à 2003, un grand volume de sismique de détail 2D a été réalisé. L'année 2004 a marqué la première campagne sismique 3D dans le bassin.

La plupart des puits ont été forés durant la période 1956-1958. C'est en 1978 que le premier forage Sonatrach a été entrepris [46].

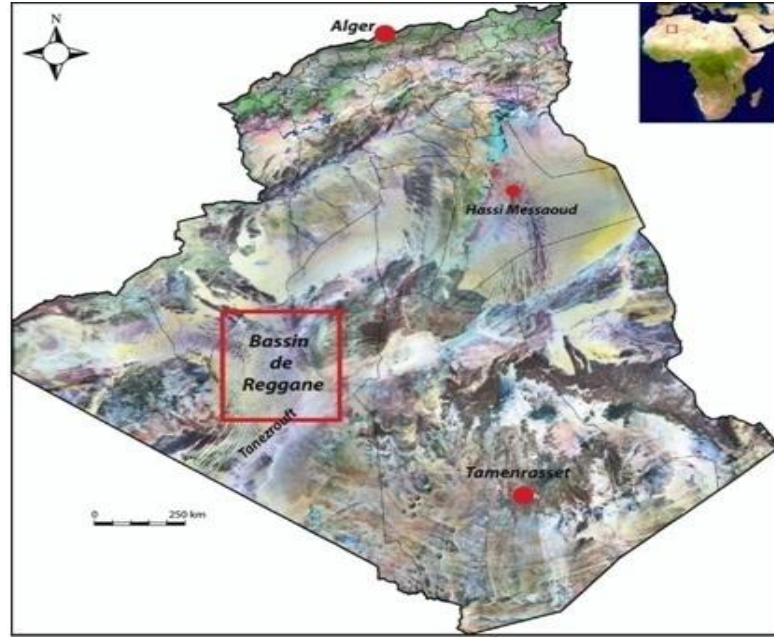


Figure 11:Position géographique de Reggan, Wilaya d'Adrar, Algérie.

II.2.Préparation des échantillons :

II.2.1. Origine et préparation des échantillons

Dix échantillons de réservoirs pétroliers provenant de même puits de Reggane à différentes profondeurs, de 3154,30 m à 3169,65 m, ont été ciblées pour réaliser notre étude.

Tableau 4:Tableau qui montre les échantillons, leurs numérotation et leurs profondeurs

N° d'échantillon	la profondeur en mètre
1	3154,30 m
2	3156,50 m
3	3158,70 m
4	3159,50 m
5	3161,50 m
6	3163,70 m
7	3164,80 m
8	3166,00 m
9	3166,45 m
10	3169,65 m

II.2.2. Echantillonnage des roches

Le prélèvement d'échantillons dans les roches s'est surtout développé à partir des années 1950 avec l'arrivée sur le marché d'outils de coupe de plus en plus performants et du développement des machines les mettant en œuvre.

La méthode de prélèvement des solides s'appelle le carottage. Cette méthode consiste à prélever un échantillon (carotte) représentatif qui n'a subi qu'un minimum d'altération découlant de son échantillonnage, le prélèvement s'effectue à l'aide d'un outil appelé carottier.



Figure 12: Exemple de carotte prélevée.

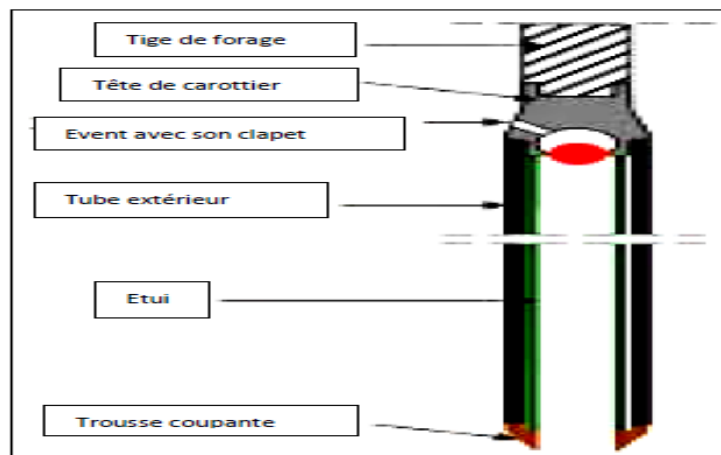


Figure 13: Exemple de carottier.

La méthode consiste à découper un échantillon de roche et le remonter en surface. Quand l'outil de forage est entré dans la roche, les géologues peuvent décider de réaliser un carottage. On remonte alors le train de tiges et on remplace l'outil de forage par un carottier. Cet outil creux de forme cylindrique, fendu sur la partie au contact de la roche, est d'une longueur de 9, 18 ou 27 mètres.

La fente permet de laisser passer l'eau destinée à refroidir le métal en contact avec la roche et de démonter les débris de découpage. Le découpage se fait en douceur et sans broyer la roche, en introduisant de la grenaille d'acier (grain de 1,5 à 4 mm de diamètre), par l'intermédiaire des tiges. En ajustant au mieux les paramètres de rotation et poussée, la roche est découpée par usure. Pour remonter à la surface l'échantillon (carotte) découpé, il faut le coincer dans le tube en introduisant par l'intermédiaire de l'injection, des grains de sable ou petits graviers, entre la carotte et les parois du tube. Les carottes récupérées sont très utiles pour déterminer les caractéristiques de la roche de réservoir de pétrole.

II.3.Détermination de la teneur en matière sèche, la teneur en eau et de la perte au feu :

A. Détermination de la teneur en matière sèche et la teneur en eau :

1) Termes et définitions

Pour les besoins de la présente Norme européenne NF EN 15934, les termes et définitions suivantes s'appliquent :

Teneur en matière sèche : Proportion en matière sèche contenue dans la roche, obtenue à la suite d'un processus de séchage spécifié .Elle s'exprime en pourcentage ou en gramme par kilogramme.

Teneur en eau : Proportion en masse de l'eau présente dans la roche. Elle est déterminée par la perte en masse, dans des conditions définies, résultant du processus de séchage spécifié. Elle s'exprime en pourcentage ou en gramme par kilogramme.

Matière sèche : Masse des solides obtenue à la suite du processus de séchage spécifié. Elle s'exprime en gramme ou en kilogramme.

2) Principe

Des échantillons du roches broyés sont séchés à masse constante, dans une étuve à (105 ± 5) °C. La différence en masse avant et après le processus de séchage est utilisée pour calculer la teneur en matière sèche et la teneur en eau.

3) Mode opératoire

Peser à 1 mg près, le creuset (m_A). Peser une quantité appropriée (m_B) de sols dans le creuset.

Placer le creuset contenant l'échantillon dans l'étuve de séchage réglée à 105 °C pendant toute une nuit. Après refroidissement dans le dessiccateur, peser une première fois le creuset et son contenu (m_C).

4) Expression des résultats

Calculer la teneur en matière sèche (W_{dr}) ou la teneur en eau (W_W), exprimée en pourcentage en masse ou en gramme par kilogramme, à partir des formules suivantes :

$$W_{dr} = (m_C - m_A) / (m_B - m_A) \times f$$

$$W_W = (m_B - m_C) / (m_B - m_A) \times f$$

- ✓ W_{dr} : est la teneur en matière sèche de l'échantillon de sol, en pourcentage ou en gramme par kilogramme.
- ✓ W_W : est la teneur en eau de l'échantillon de sol, en pourcentage ou en gramme par kilogramme.
- ✓ m_A : est la masse du creuset vide, en gramme.
- ✓ m_B : est la masse du creuset contenant l'échantillon de sol, en gramme.
- ✓ m_C : est la masse du creuset contenant la matière sèche de l'échantillon de sol, en gramme.

- ✓ f : est le facteur de conversion égal à 100, pour des résultats exprimés en pourcentage et égal à 1000 pour l'expression en grammes par kilogramme.

B. Détermination de la perte au feu

D'après la norme européenne NF EN 12879 la perte au feu de la matière sèche se fait de la manière suivante :

1) Termes et définitions

Perte au feu : Proportion en masse du dégagement gazeux qui résulte de la calcination de la matière sèche d'une roche dans des conditions spécifiées. Le résidu de la perte au feu est exprimé en pourcentage par rapport à la matière sèche.

Résidu de la perte au feu : Proportion en masse restant après calcination de la matière sèche d'une roche dans des conditions spécifiées. Le résidu de la perte au feu est exprimé en pourcentage par rapport à la matière sèche.

2) Principe

Des échantillons de roches séchées sont chauffés dans un four à (550 ± 25) °C. La différence de masse avant et après le processus de calcination est utilisée pour calculer la perte au feu.

3) Mode opératoire

Peser le creuset vide à 1 mg près, soit (m_A).

Peser (m_B), dans le creuset, de 2g de roche poudre séchée à 1 mg près et chauffer dans le four à (550 ± 25) °C pendant au moins 60 min.

Placer le creuset chaud contenant le résidu calciné à l'intérieur du dessiccateur, et laisser refroidir.

Après refroidissement à température ambiante dans le dessiccateur, peser le creuset contenant la matière sèche (m_C) à 1 mg près.

4) Expression de résultats

La perte au feu de la matière sèche de sol, exprimée en pourcentage, doit être calculée à partir de l'équation : $W_V = ((m_B - m_C) / (m_B - m_A)) \times 100$

Le résidu de la perte au feu de la matière sèche d'un sol, exprimé en pour cent, doit être calculé à partir de l'équation : $W_R = 100 - W_V$

W_V : est la perte au feu de la matière sèche d'un sol, en pour cent ;

W_R : est résidu de la perte au feu de la matière sèche d'un sol, en pour cent ;

m_A : est la masse du creuset vide, en gramme.

m_B : est la masse du creuset contenant la matière sèche, en gramme.

m_C : est la masse du creuset contenant la matière sèche calcinée, en gramme.

II.4. Techniques de caractérisations physico-chimiques des roches

Voici un organigramme in organigramme qui montre les les différentes techniques d'analyses effectués et ces mode de préparation.

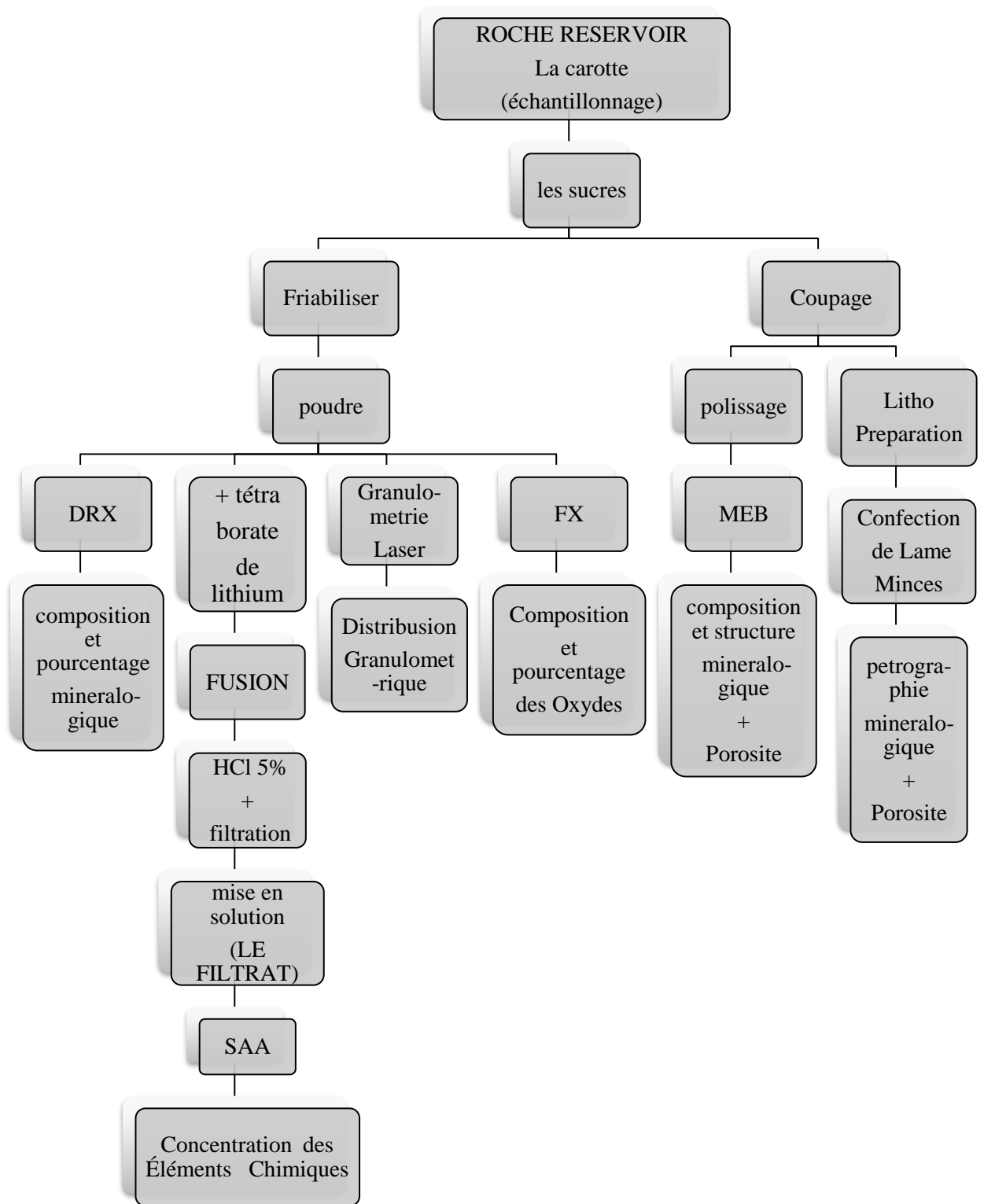


Figure 14 : les Techniques de caractérisations physico-chimiques des échantillons de la roche réservoir.

II.4.1. Caractérisations texturale et structurale

A. Etude pétrographique

L'analyse pétrographique a été réalisée grâce à l'observation des lames minces au microscope optique polarisant, selon le mode opératoire MO - GEO - S5, qui est basé sur l'analyse qualitative et quantitative des composants pétrographiques. Ces analyses ont permis de mesurer la taille des grains de quartz (maximum et moyen), d'identifier les types de contacts entre les éléments, d'identifier la morphoscopie des grains et leur classement, d'estimer le pourcentage des composants (détritiques et diagénétiques) et enfin, d'évaluer les pourcentages de différents types de porosités.

Préparation de lames minces

C'est une tâche particulièrement délicate, qui consiste à amincir un échantillon de roche (prélevé à partir d'un affleurement ou d'une carotte).

Les principales opérations sont :

- 1) Le sciage de l'échantillon à la scie diamantée.
- 2) Rodage de la surface à coller.
- 3) Collage de l'échantillon sur une plaque de verre.
- 4) Le sciage de préparation à environ 1 mm.
- 5) La mise à l'épaisseur de la lame mince, selon le besoin (30 micros en général).
- 6) La couverture de la préparation.

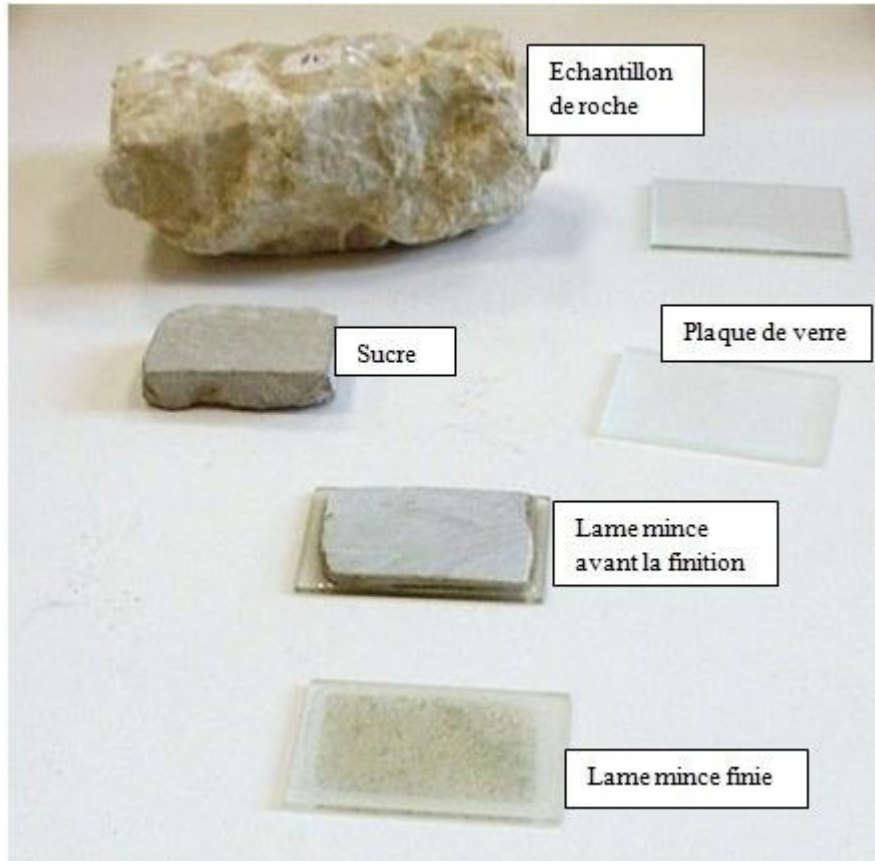


Figure 15: Schéma récapitulatif de la préparation de lame mince.

Ces préparations permettent aux géologues de connaître la constitution minéralogique des roches à l'aide de microscopes (à filtres polarisants) et par exemple, de retracer une partie de leur histoire.

B. Le Microscope Electronique à Balayage

L'intérêt premier du MEB est de pouvoir observer la structure minéralogique d'une roche atteignant un grossissement de 1.000.000x, Son principe repose sur l'émission d'électrons secondaires et rétrodiffusés suite au bombardement électronique de l'échantillon. Les électrons secondaires permettent d'obtenir une information sur la surface de l'échantillon et les morphologies minérales alors que la rétrodiffusion d'électrons nous renseigne sur la masse des atomes qui le composent.

Les observations permettent d'obtenir des informations texturales (relations texturales entre les minéraux, remplacement), morphologiques (type morphologique des phases minérales, caractère authigène ou détritique) et d'altération.

Le Quanta 650(FEI) a 3 modes de fonctionnement du vide pour visualiser les différents types d'échantillons.

Le High Vacuum est le mode d'exploitation conventionnel associé à tous les microscopes électroniques à balayage. Les deux autres modes d'application sont le LowVacuum et ESEM. Dans ces modes la colonne est sous High Vacuum et la chambre d'échantillon est dans une gamme de la pression de 10 à 2200 Pa. L'un et l'autre mode peut utiliser de la vapeur d'eau à partir d'un réservoir d'eau, ou un gaz auxiliaire qui est fourni par l'utilisateur, et connecté à une entrée de gaz prévue dans ce but. L'observation de matières dégazantes ou se chargeant fortement peut être faite en utilisant l'un de ces modes sans avoir besoin de métalliser l'échantillon, ce qui est commun en mode High Vacuum.

C. Mesure de la distribution de taille par granulométrie Laser

La répartition granulométrique des poudres a été obtenue à l'aide d'un granulomètre Laser (**LA 950**), en voie sèche et en voie liquide. En voie sèche, la pression de dispersion est de 3,5 bars et en voie liquide, le dispersant est l'eau.

Dans cette technique, un faisceau Laser monochromatique traverse le milieu dans lequel les particules sont dispersées, et la quantité de lumière déviée ainsi que l'angle de déviation permettent la mesure précise de la taille des particules qui constituent l'échantillon à analyser. Un logiciel de calcul de conception OPEXCEL.

II.4.2. Caractérisation chimique et minéralogique

A. Analyse par Diffractométrie Des Rayons X (DRX)

1) Principe d'analyse

L'échantillon solide finement broyé est monté sur un porte échantillon adéquat, puis soumis à un faisceau de rayons X pour être diffractés par les plans réticulaires des phases cristallines présentes. En effet, il existe une relation entre l'angle du faisceau diffracté et la distance réticulaire séparant les plans d'atomes au sein d'un réseau cristallin; celle-ci est régie par :

La loi de Bragg : $n \lambda = 2d \sin \theta$ (où λ =longueur d'onde en angströms, d = distance réticulaire en angströms et θ = angle de diffraction ou de réflexion en degrés).

Les diffractogrammes ainsi obtenus, à l'aide d'un diffractomètre à rayons X, sont interprétés.

Les positions et les intensités des pics observés sont comparés aux fichiers de référence PDF-ICSD (Powder Diffraction File - Inorganic crystal structure database) pour l'identification des phases minéralogiques présentes. Et éventuellement l'utilisation de RIR (Reference Intensity Ratio) inclus dans le logiciel High Score Plus du fichier PDF-ICSD permet l'estimation semi quantitative des phases correspondantes détectées quand celle-ci est requise et/ou possible.

La fraction fine (minéraux argileux) est extraite par voie humide, après élimination des matières gênant leur dispersion telle que la matière organique et les carbonates. Les suspensions d'argiles ainsi obtenues sont étalées sur des supports adéquats pour séchage. Chaque préparation d'argile orientée est étudiée telle quelle (Argile Naturelle ou AN), puis, en fonction du besoin, est soumise à un traitement thermique à 550°C pendant deux heures (Argile chauffée ou AC) et/ou à l'essai au gonflement à l'éthylène-glycol (Argile Glycolée ou AG) et ce, afin de pouvoir différencier et estimer visuellement et approximativement les phases minéralogiques argileuses rencontrées.

La somme des pourcentages des minéraux non argileux est donnée par rapport à la roche totale ; Ainsi le complément à 100% de cette somme représente la fraction argileuse et les indosés (voir colonne « % des argiles+ Indosés » dans le tableau des résultats).

On entend par indosés les phases amorphes et les phases minéralogiques présentes en quantités inférieures aux seuils de détection de la DRX (de 1 à 3% en fonction de la cristallisation du minéral et de la matrice de l'échantillon).

2) Conditions d'analyse

Diffractomètre PANalytical: EMPYREAN, tube radiogène céramique à anticathode de cuivre, puissance du générateur à RX: 40 mA, 45 Kv.

Logiciel pour l'acquisition des données: Data Collector de PANalytical.

Logiciel pour traitement des données: High Score Plus de PANalytical.

B. Analyse par Fluorescence des rayons X (FX)

L'échantillon naturel broyé et pressé est utilisé pour l'analyse des éléments majeurs et traces.

L'appareillage de Fluorescence X utilisé dans cette étude est de type PANALYTICAL EPSILON 3XL X-Ray. Cette technique permet l'analyse chimique élémentaire.

Elle consiste à bombarder la matière avec des rayons X. Si l'énergie des photons incidents est suffisamment élevée, l'élément est ionisé et un électron d'une couche interne est émis. L'élément ionisé est dans un état excité, instable. Il tend à revenir à un état stable grâce à une transition d'un électron d'une couche supérieure vers le vide laissé par l'électron éjecté. Ce processus de désexcitation est accompagné par l'émission d'un photon X, c'est la fluorescence X. Si l'on regarde le spectre en énergie des rayons X obtenu, on observe des pics caractéristiques des éléments présents, et la hauteur des pics est proportionnelle à leur quantité.

Les mesures ont été réalisées avec environ 200 à 300 mg de poudre.

Les résultats d'analyses chimiques sont exprimés en pourcentage massique.

C. La spectrométrie d'absorption atomique

La spectrométrie d'absorption atomique est une méthode de dosage d'éléments chimiques fondée sur l'absorption des radiations atomiques en phase vapeur. Le spectromètre est de marque Analytikjena, modèle Zeenit700.

1) Fusion et Mise en solution

Pour la fusion et la mise en solution de la roche, on prélève $0.2\text{g} \pm 0.1\text{ mg}$ de l'échantillon calciné auquel on rajoute $1\text{g} \pm 0.1\text{ mg}$ de tétra borate de lithium ou méta borate de lithium dans creuset en platine. Le mélange est porté à 1200 C dans un four à moufle pendant 20 minutes.

On retire le creuset du four et laisser refroidir à une température ambiante, on l'introduit dans bécher en téflon, on ajoute 20 ml d'acide chlorhydrique a 5%.

On chauffe légèrement tout en agitant, pour faciliter la dissolution de la perle obtenue après fusion. La solution ainsi obtenue est filtrée dans fiole jaugé de 100 ml et ajusté avec une eau déminéralisée.

2) Principe

La solution contenant l'élément à doser est aspirée à travers un capillaire et dirigée vers le nébuliseur. Elle est ensuite pulvérisée à très grande vitesse à travers une chambre où s'éliminent les grosses gouttes grâce à une bille brise-jet.

La solution ainsi vaporisée est entraînée par le combustible à travers le brûleur à la sortie duquel a lieu la combustion. Après dissociation thermique dans la flamme, les radiations incidentes qui sont fournies par une lampe à cathode creuse qui émet le spectre de l'élément que l'on veut doser sont absorbées. La mesure de cette absorption permet de déterminer la concentration de l'élément à doser.

Avant chaque utilisation de l'appareil, il est indispensable de faire l'étalonnage et de tracer la courbe de calibration de chaque élément à doser. La courbe de calibration est tracée à l'aide de différents étalons de concentrations connues de l'élément qu'on veut doser (0 ; 5 ; 10 ; 20 ; 40 ppm) préparés à partir de solutions mères.

Chapitre III

Résultats et Discussion

Dans ce chapitre, les analyses effectués sur les grés a pour but les classifiés et déterminer son origine, et voir l'influence de la composition chimique et minéralogique sur la qualité de réservoir.

III.1. La teneur en matière sèche et la teneur en perte au feu PAF

Les résultats de le taux d'humidité, la teneur en matière sèche et la teneur en perte au feu PAF sont exprimés dans le tableau suivant :

Tableau 5 : les valeurs de le taux d'humidité, la teneur en matière sèche et la teneur en perte au feu PAF

Cotes en mètre	Taux humidité %	la teneur en matière sèche%	PAF %
3154,30	0.42	99.58	11.41
3156,50	6.84	93.16	5.90
3158,70	0.68	99.32	21.78
3159,50	0.43	99.57	2.84
3161,50	0.35	99.65	1.65
3163,70	0.37	99.63	5.49
3164,80	0.07	99.93	0.75
3166,00	0.21	99.79	2.37
3166,45	0.18	99.82	4.86
3169,65	0.25	99.75	8.32

D'après ce tableau (5), on remarque que le taux humidité et la PAF en fonction de la profondeur sont des variations aléatoires. Ces échantillons ont des pauvres teneurs en eau <1%, sauf un seul échantillon 2 (3156.50m) qu'il est très riche en eau 6.84%.

On remarque, selon la PAF les échantillons varient de faible au forte teneur d'une façon indépendante initialement à la profondeur.

III.2. Caractérisation texturale et structurale

A. Mesure de la distribution des tailles par granulométrie Laser

Les résultats de l'analyse texturale par granulométrie laser données dans le tableau suivant :

Tableau 6 : La variation de mode et de diamètre moyen et maximale en fonction de profondeur (m)

Cotes (m)	Diamètre maximale (µm)	diamètre moyen (µm)	Mode
3154,30	344.206	35.81533	Tri modale
3156,50	116.21	14.69607	Tri modale
3158,70	300.518	30.72484	Bi modale
3159,50	262.376	31.72903	Bi modale
3161,50	262.376	28.29444	Bi modale
3163,70	344.206	35.62104	Bi modale
3164,80	1167.725	109.60883	Tri modale
3166,00	229.075	27.1749	Bi modale
3166,45	262.376	21.08688	Bi modale
3169,65	262.376	22.642	Bi modale

D'après ce tableau (6), on remarque que la taille des grains est fine à très fin. La nature des grains généralement sont des limons (médium ou grossier) ou le diamètre moyen varie généralement entre 14.69 µm et 35.81 µm.

On remarque qu'il y a un seul échantillon avec une grande différence de diamètre moyen par rapport aux autres (3164.80 m), son diamètre est de 109.60 µm (sable fin), on peut estimer que cette différence due probablement à la présence d'une vallée souterraine à ce profondeur donc la présence de l'eau (la circulation de cette vallée va apporter des sédiments plus grossiers), ou une forte compaction conduit à fusion et collement des grains qu'elles deviennent être plus grossières et plus dures.

Le mode de ces échantillons varie entre bimodale à tri-modale avec des petites tailles qu'il est un indice défavorable dans le réservoir, surtout le tri modale, parce que les grains de petite taille vont occuper l'espace entre les grains grossiers et ça va diminuer les pores de la roche, donc va diminuer la porosité et aussi la perméabilité de réservoir.

La PAF et le taux humidité sont minimale lorsque le diamètre des grains est maximale (3164,80m), et le taux humidité est maximale (3156,50m) lorsque le diamètre est minimale (relation inverse). Donc les grains sont grossiers, plus les fluides se migrent mieux. (voir annexe 3, tableau 1)

On constate aussi que que l'abondance du SiO_2 diminue progressivement des sables fins aux limons moyen, alors que la teneur en Al_2O_3 augmente systématiquement. donc la composition chimique varie en fonction de la taille des grains ainsi que des variations de la minéralogie, ce qui confirme le théorie de Pettijohn [47]. (voir annexe 3, tableau 1)

B. Etude pétrographique (voir annexe 1) :

Les composants détritiques sont représentés essentiellement par le quartz (50 à 85%) et de rares minéraux lourds résistants.

Les composants authigènes dans l'ensemble des échantillons, sont représentés par une forte proportion de sidérite de silice secondaire et d'argiles authigènes, constituées essentiellement de chlorite en pore-filling, et en grain-coating. Cette dernière est très mal développée autour des grains de quartz. On note aussi la présence de la pyrite dans presque tous les échantillons étudiés.

La porosité observée sur la majorité des lames minces étudiées est nulle, et elle est en traces dans certaines lames minces (Figure 16).

Remarque : l'interprétation est fait à l'aide de : P. A. Scholle, *A color illustrated guide to constituents, textures, cements, and porosities of sandstones and associated rocks* 1979 [48].

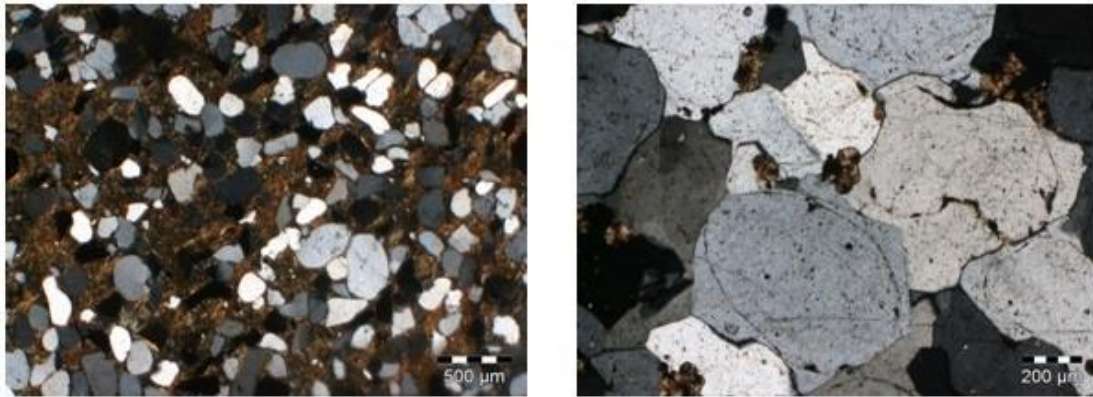


Figure 16 : deux lames minces de quelque échantillon présentent le colmatage des grains et le ciment siliceux

✓ **Le quartz**

Le quartz est le principal composant détritique des grès étudiés (50 à 85%) (Fig.1). Il est présent sous forme de grains presque exclusivement monocristallins, et seuls quelques grains sont poly cristallins (voir planche 1/ ph. 1, 2 et 3).

Les échantillons étudiés renferment des minéraux authigènes avec une moyenne d'environ 15%. On observe la sidérite, la silice secondaire et la chlorite en pore-filling et en grain-coating, constituant les principaux composants authigènes. La pyrite qui est représentée en traces est également observée.

✓ **La sidérite** : D'un point de vue quantitatif, la sidérite constitue l'élément authigène principal dans les échantillons étudiés avec des teneurs assez élevées et qui atteignent 20% dans certains niveaux.

Celle-ci se dispose en forme de ciment inter granulaire et est souvent associée aux argiles (chlorite) (planche 1/ ph 4 et Planche II/Ph 5).

✓ **La silice secondaire** : (voir **Figure 16**) : La silice secondaire constitue l'élément authigène secondaire présent dans les échantillons étudiés avec des teneurs qui peuvent atteindre 15% dans certains niveaux. (Planche 2/ph 7,8 et 9).

✓ **L'argile** : Les observations pétrographiques ainsi que l'analyse minéralogique par DRX ont montré que la fraction argileuse est constituée principalement de chlorite. Cette chlorite authigène est représentée par la chlorite en grain-filling des pores et en grain-coating. (Planche 2/ ph10 et planche 3/ Ph11 et 12).

L'abondance d'argile dans certains niveaux a considérablement détérioré les qualités réservoirs de la roche.

La porosité observée

La porosité observée sur la majorité des lames minces étudiées est nulle, et elle est en traces dans certains échantillons. (voir annexe 3. Tableau 3)

Cette porosité a été profondément dégradée par le développement important de l'argile détritique (matrice argileuse), et authigène ainsi que la sidérite et la silice secondaire dans l'espace intergranulaire, ajouté à cela l'effet de la compaction qui reste entre autre peu élevé. (Planche 3/ ph 11 et 12).

Enfin, Le degré de développement et l'impact de ces éléments sur les qualités réservoirs est en relation direct avec le milieu de dépôt.

C. Etude morphologique par Microscope Electronique à Balayage (MEB)

1. Echantillon 1 : 3154.30 m : L'analyse de cet échantillon a montré une très faible porosité. Le quartz est le minéral le plus abondant, des carbonates et d'argiles, Ces dernières sont représentées essentiellement par la chlorite et peu de mica. Les carbonates en remplissage de pores sont représentés par la sidérite, des minéraux comme la pyrite sous forme octaédrique et des traces de zircon.

2. Echantillon 2 : 3156.50 m : L'analyse de cet échantillon a montré une très faible porosité du au ciment argileux carbonaté, les argiles essentiellement chloriteux, les carbonates représenter par la sidérite en remplissage des pores, des minéraux comme la pyrite sous forme des cristaux octaédrique, des micas déformé par la compaction et d'autres altérées par le chlorite.

3. Echantillon 3 : 3158.70 m (voir planche 3) : L'analyse de cet échantillon montré que le quartz est le minéral le plus abondant, des argiles, des carbonates, de pyrite et peu de gypse. Le quartz est de forme sub-arrondis à arrondis. Les argiles représentés par la chlorite en pore filling et les carbonates par la sidérite, La pyrite sous forme framboïdale et octaédrique.

4. Echantillon 4 : 3159.50 m : L'analyse de cet échantillon montré que le quartz est le minéral le plus abondant de différentes morphologies, Les argiles représentées par le chlorite qui est très fins et bien cristallisés ou en distingue de la microporosité entre ces feuilles, on a des carbonates essentiellement sidéritiques et du pyrite framboïdale associe à le chlorite, et du sel amorphe.

5. Echantillon 5 : 3161.50 m : L'analyse de cet échantillon montré que le quartz est le minéral le plus abondant et bien compacté, Les argile essentiellement de le chlorite en pore filling associe à la Pyrite framboïdale et octaédrique.

6. Echantillon 6 : 3163.70 m : L'analyse de cet échantillon d'ensemble montré que le quartz et le ciment sont presque en même pourcentage, l'argile essentiellement chloriteux associée à la pyrite, qu'on aux carbonates représenté par la sidérite bien cristallisé, on distingue aussi la présence du sel bien cristallisé sous forme cubique en remplissage les pores.

7. Echantillon 7 : 3164.80 m: L'analyse de cet échantillon montre une faible porosité, le quartz est le minéral le plus abondant, le ciment est rare représenté par la chlorite et d'illite en pore filling, les carbonates essentiellement sidéritique, on distingue aussi la présence de l'halite et d'illitisation de la chlorite.

8. Echantillon 8 : 3166.00 m: L'analyse de cet échantillon montre une très faible porosité due à la compaction des grains de quartz et au ciment argilo carbonatés. Les argiles sont représentées par la chlorite en pore filling. Les carbonates sont sidéritiques, on note également la présence de la pyrite octaédrique.

9. Echantillon 9 : 3166.45 m: L'analyse de cet échantillon d'ensemble montré de quartz, des argiles, de la pyrite et du zircon.

Les grains de quartz sont très compactés, le ciment est chloriteux, la pyrite présente sous deux forme : framboïdale et des cristaux tronquées.

10. Echantillon 10 : 3169.65 m: L'analyse de cet échantillon a montré la présence de quartz, d'argiles, de carbonates, de mica, de sel et de pyrite. Les grains de quartz sont très compactés et les micas aussi déformé par celle-ci, les argiles sont essentiellement chloriteux, on a des carbonate représente par la sidérite qu'elle est bien cristallisé. La pyrite se présente sous deux forme: framboïdale et des cristaux isolées. On a aussi le sel, on distingue le à l'état amorphe et cubique (halite).

On a vu la présence de la matière organique dans un seul échantillon, le dernier échantillon (l'échantillon le plus profond).

On remarque que : Les dix échantillons sont presque les mêmes. L'analyse montrée une très faible porosité (des micropores), qu'elle est presque nulle à cause de remplissage des pores généralement par la ciment argilo carbonatées (la chlorite et la sidérite) et quelque fois par des argiles comme et l'illite, ou du sel et le gypse.

Le quartz est le minéral le plus abondant, leur type des grains varient de anguleux à arrondis. Le ciment est argilo-carbonaté, en remplissage de pores, l'argile est représentée essentiellement par la chlorite et rarement par l'illite, et les carbonates essentiellement sidéritiques, et on note aussi la présence de la pyrite et des traces des minéraux, comme le sel parfois cristallisé (l'halite) et parfois amorphe, le gypse, les micas, et le zircon dans certain échantillons.

On constate aussi la présence de la matière organique dans un seul échantillon, le dernier échantillon (l'échantillon le plus profond).

La pyrite est présentée sous 2 structures cristallines, framboïdale et octaédrique.

La pyrite framboïdale a une origine sédimentaire, indice qu'on a dans un milieu réducteur (présence des bactéries), elle constitue le minéral authigène caractéristique des environnements marins anoxiques riches en matière organique [49]. La pyrite octaédrique a deux origine : sédimentaires comme la pyrite framboïdale, et hydrothermal (infiltration des eaux donc présence de l'eau).

Remarque : L'interprétation morphologique par MEB se fait à l'aide de Joann E. Welton 1984: "SEM Petrology Atlas" the American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma 74101, USA [50].

Clés de symboles des minéraux

Q : quartz

C : chlorite

S : sidérite

P : pyrite

H : halite

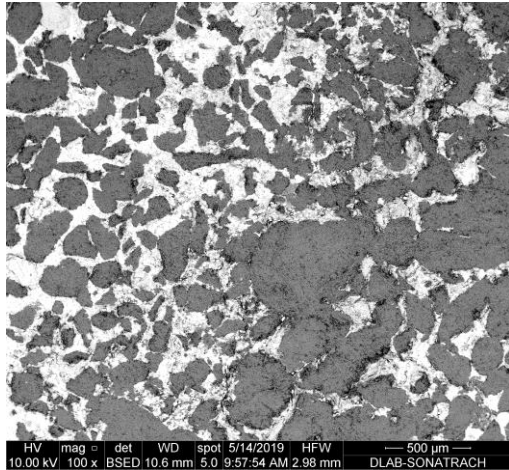
G : gypse

M : mica

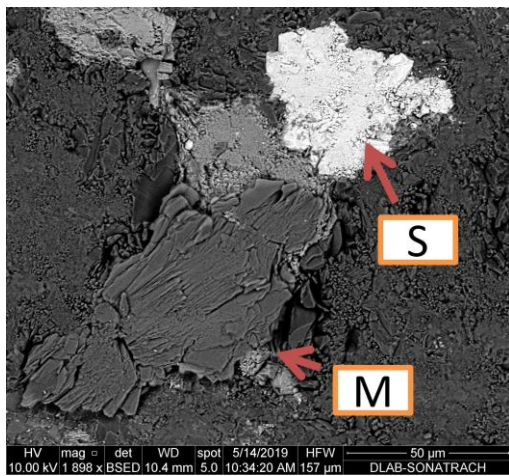
Z : zircon

IL : illite

La matière organique : MO



Échantillon 1
3154.30 m



Présence de mica et de sidérite en ciment

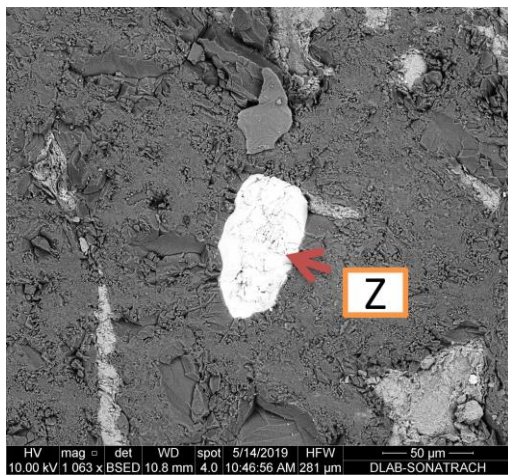


Illustration de cristal de zircon sub arrondi

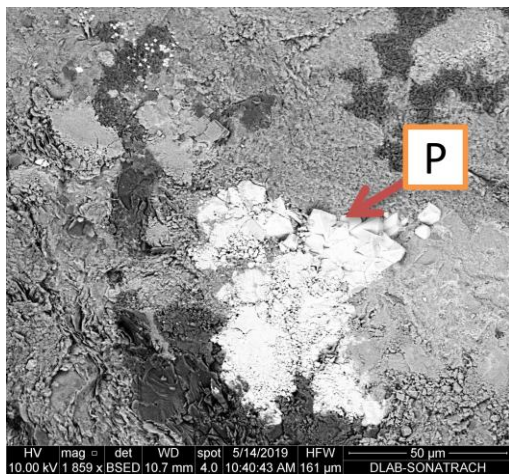
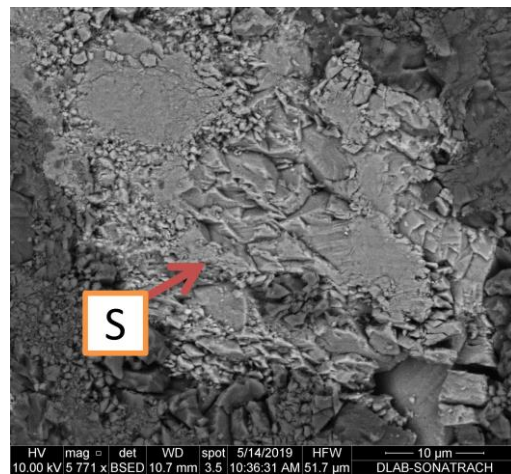
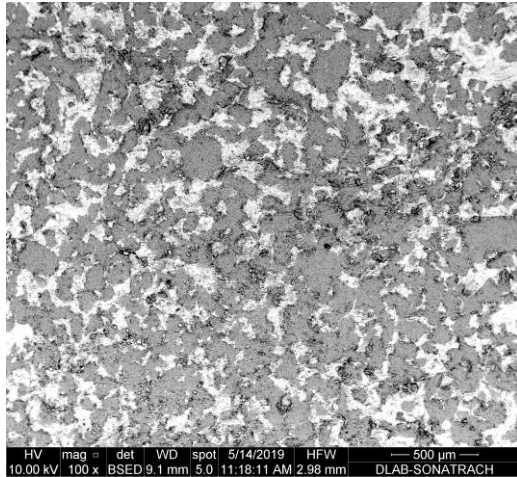


Illustration de la pyrite octaédrique



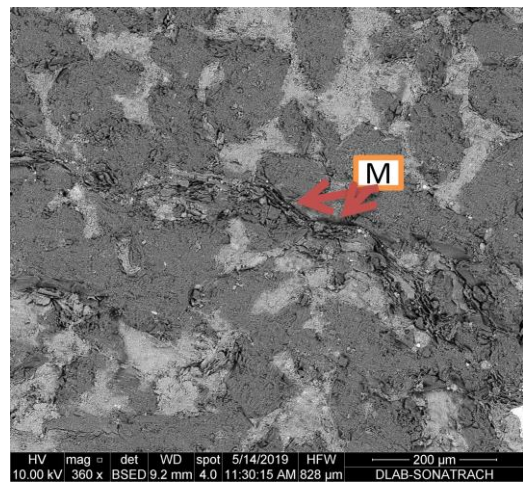
Ciment carbonaté



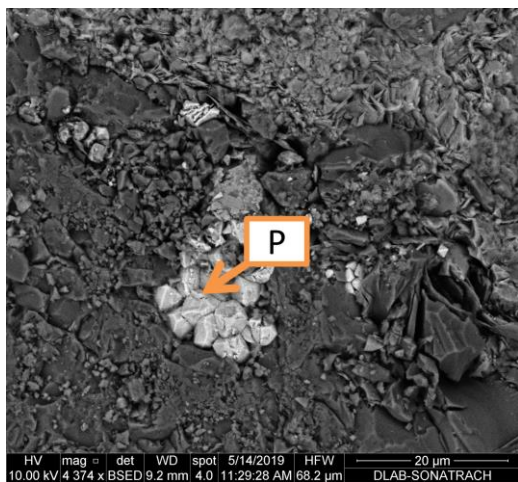
Échantillon 2
3156.50 m



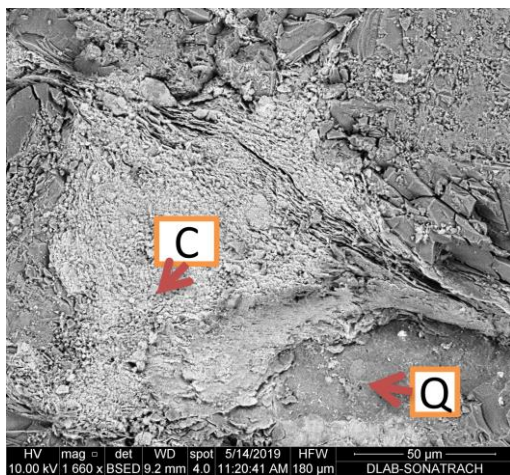
Illustration de la sidérite remplissant les pores



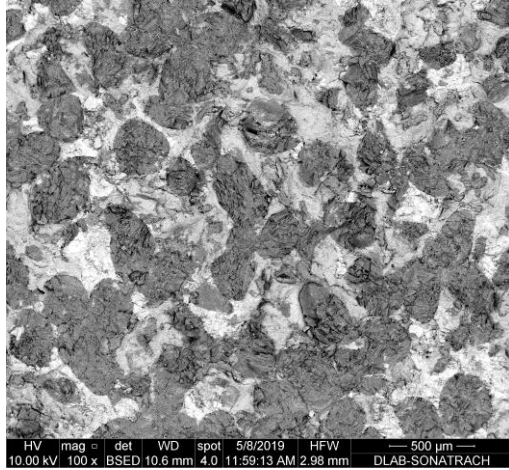
Mica déformé par la compaction



Présence de quelque cristal de pyrite octaédrique



Chloritisation de mica



Échantillon 3
3158.70 m

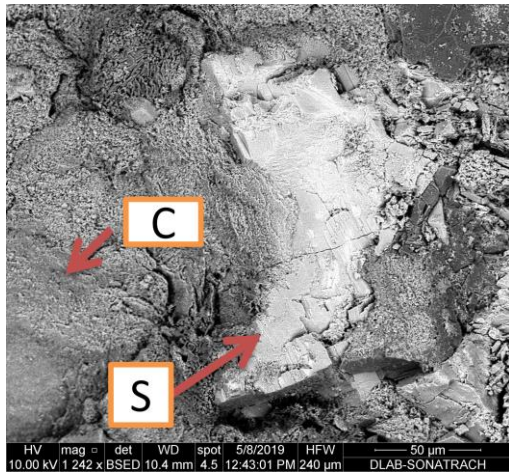
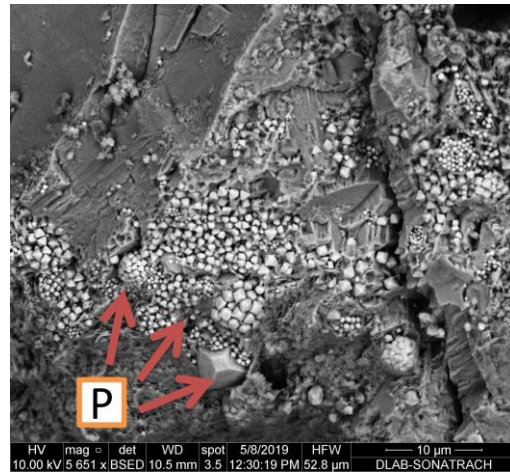
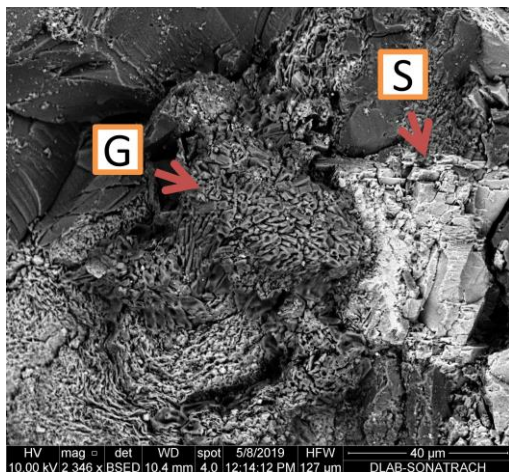


Illustration du chlorite et la sidérite



Présence de la pyrite framboïdale et octaédrique



Observation de gypse associé à la sidérite

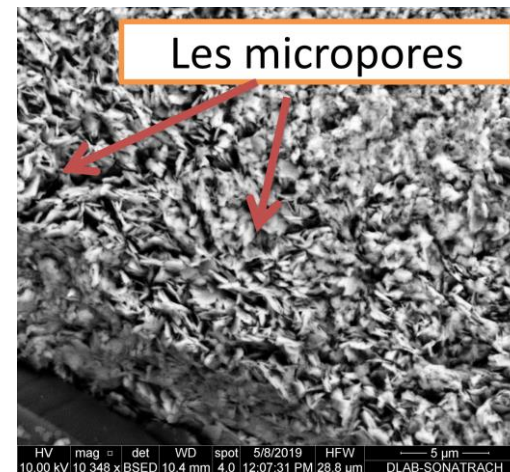
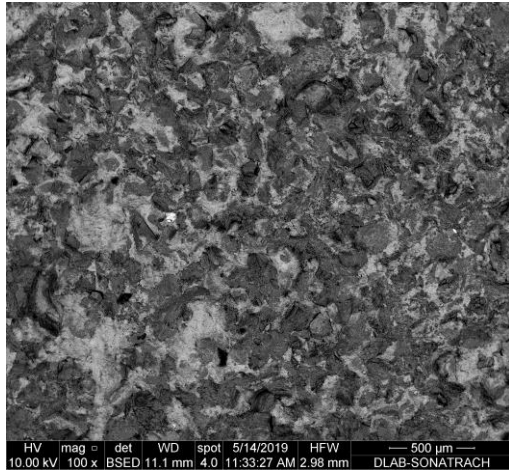


Illustration des micros porosités dans les feuilles de chlorite



Échantillon 4
3159.50 m

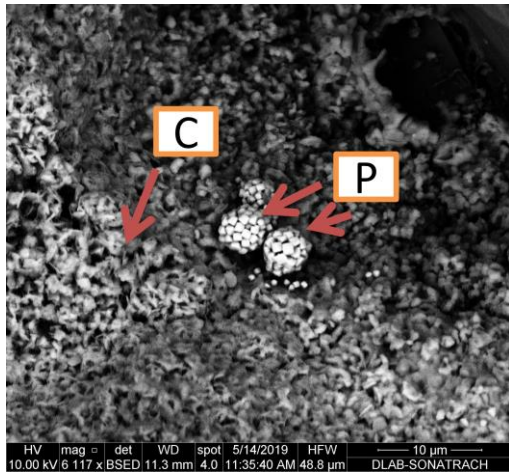


Illustration du chlorite associé de la pyrite framboïdale

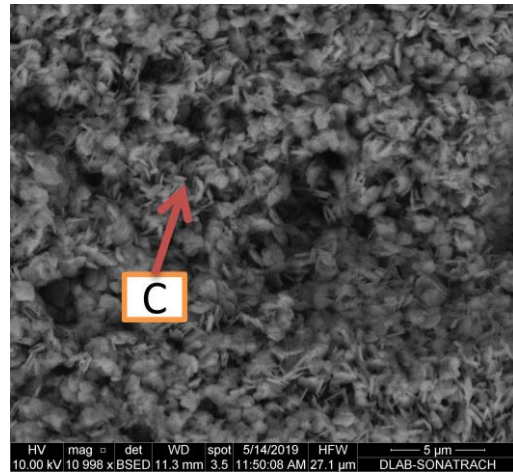
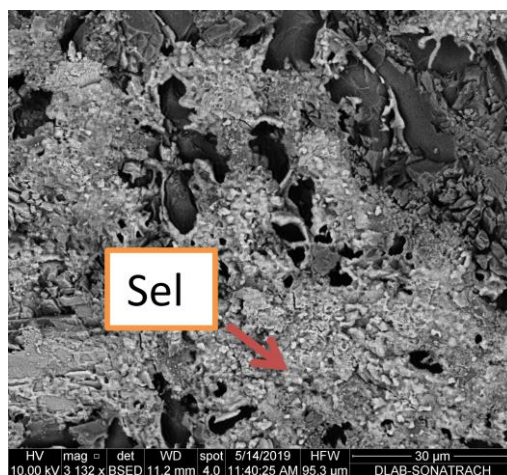
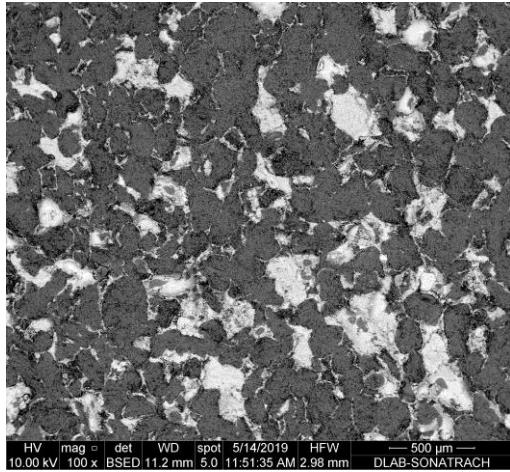


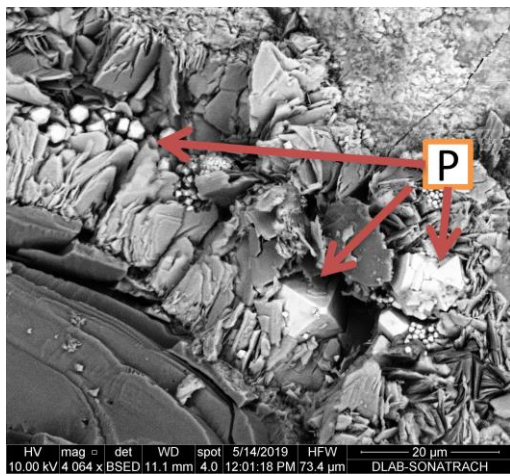
Illustration du chlorite



Observation de sel amorphe remplissant tout la porosité et de sidérite



Échantillon 5
3161.50 m



Pyrite associée à le chlorite

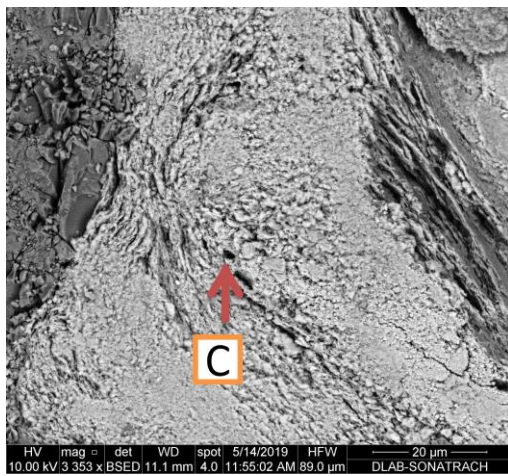
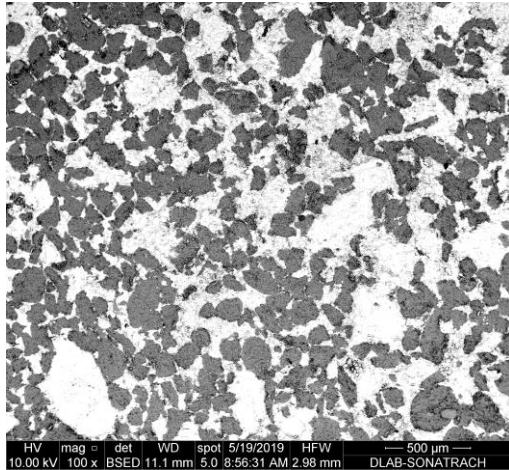


Illustration du chlorite



Échantillon 6
3163.70 m

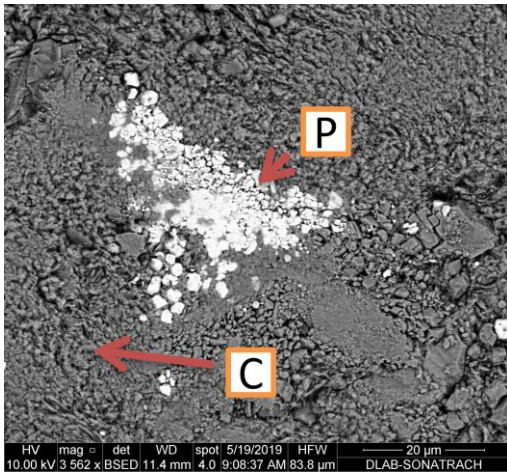


Illustration du chlorite associé à la pyrite

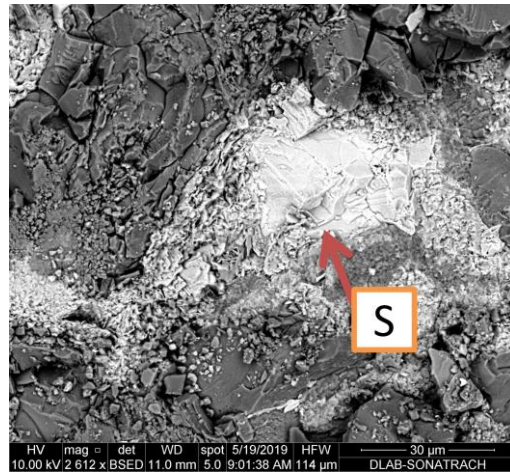
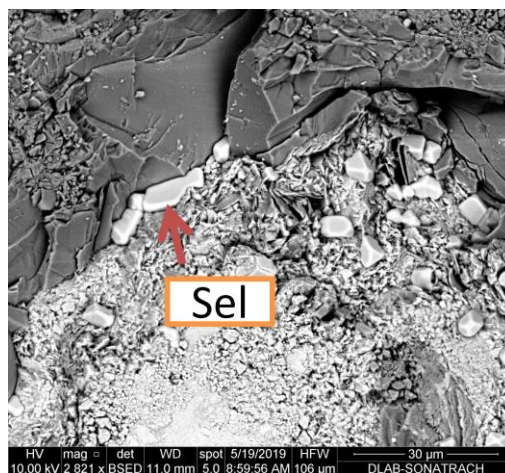
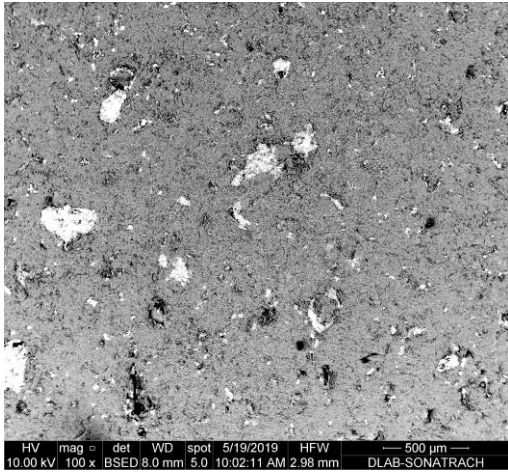


Illustration de la sidérite



Présente de sel bien cristallisé sous forme cubique en remplissage les pores



Échantillon 7 3164.80 m

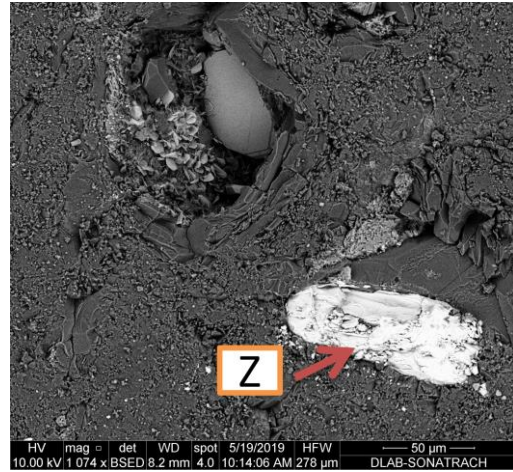
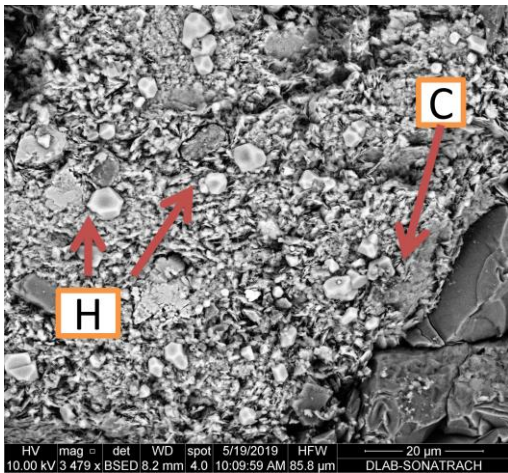


Illustration d'un grain de zircon



Dépôt de sel sur le chlorite

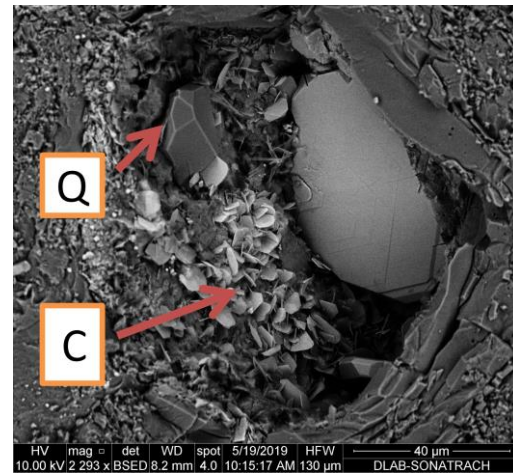
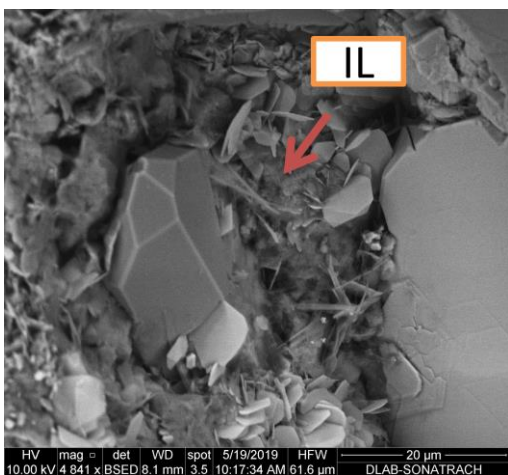
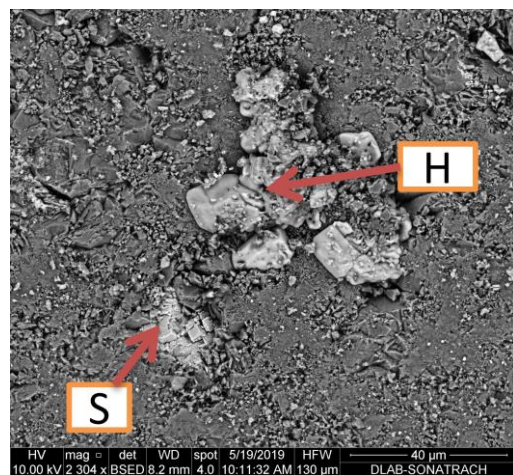


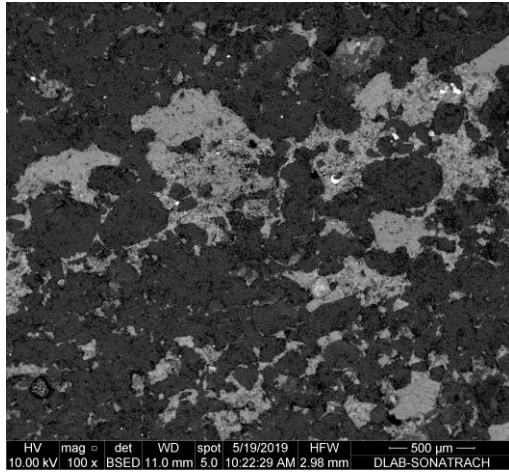
Illustration d'un quartz secondaire



Illitisation de la chlorite que dans les pores



Observation du ciment sidéritique très rare



Échantillon 8
3166.00 m

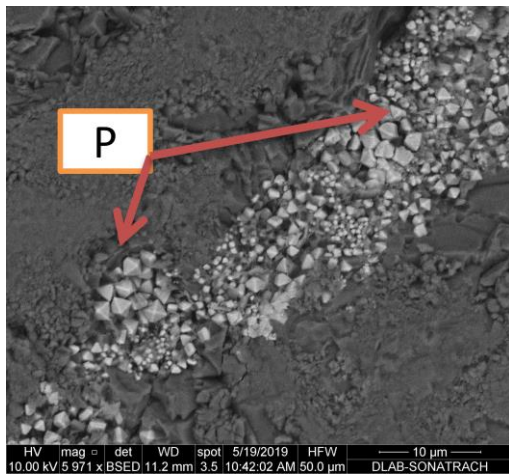
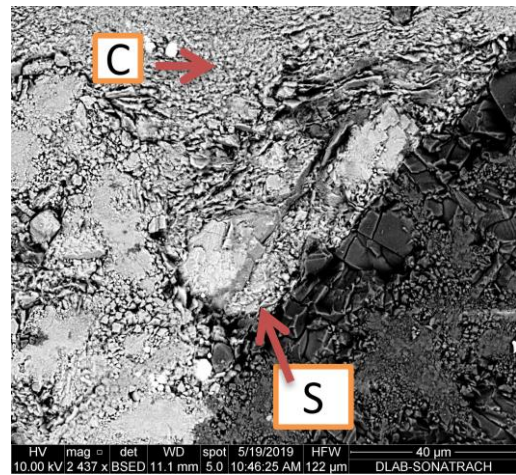
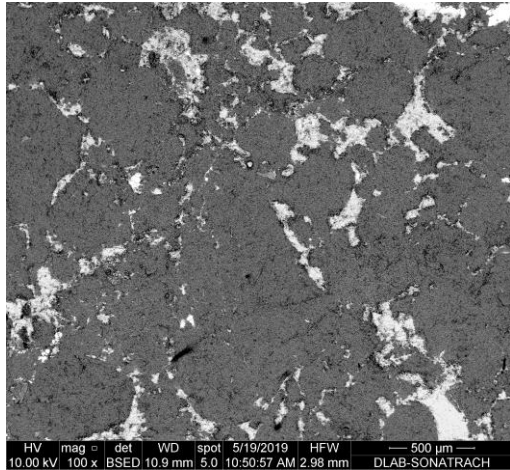


Illustration de la pyrite octaédrique



Association chlorite sidérite en remplissage
de pores



Échantillon 9
3166.45 m

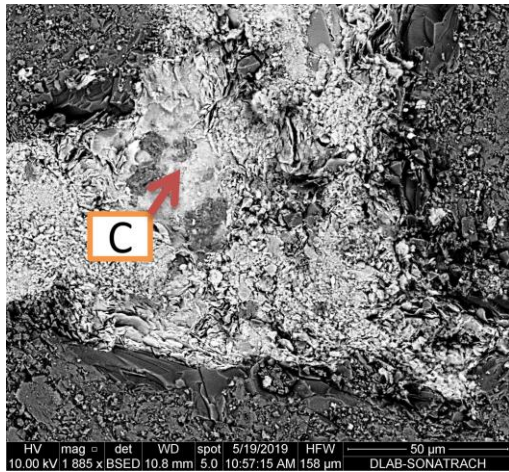


Illustration de ciment argileux représentés par la chlorite

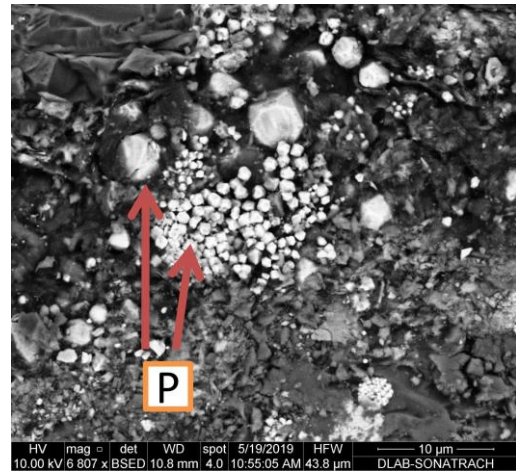


Illustration des cristaux de pyrite

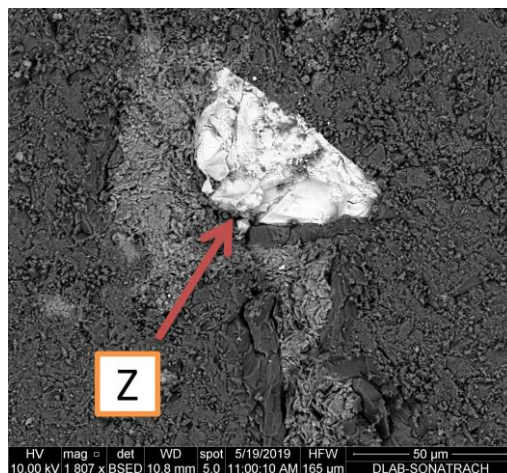
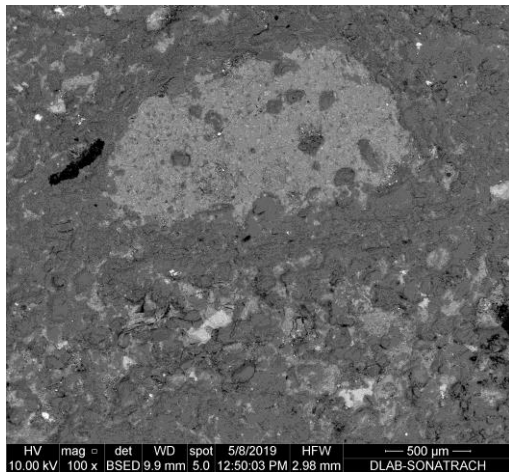


Illustration d'un grain de zircon



Échantillon 10
3169.65 m

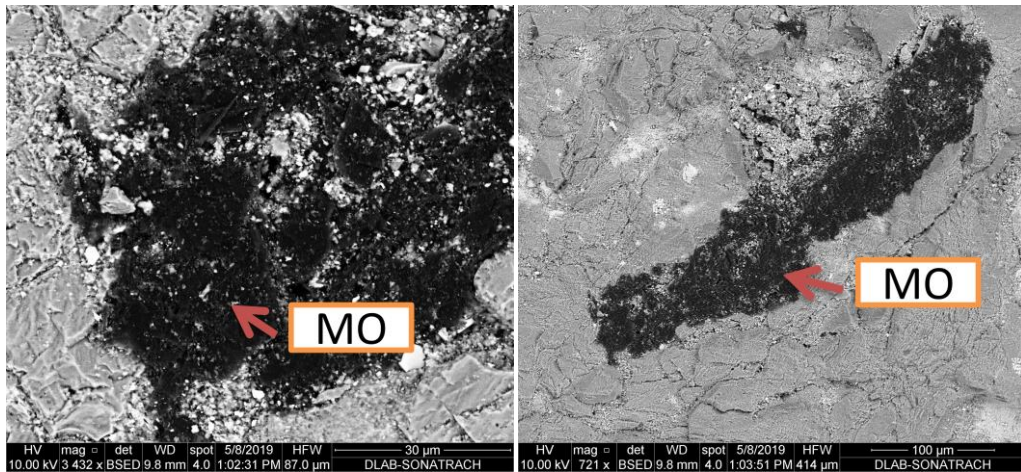
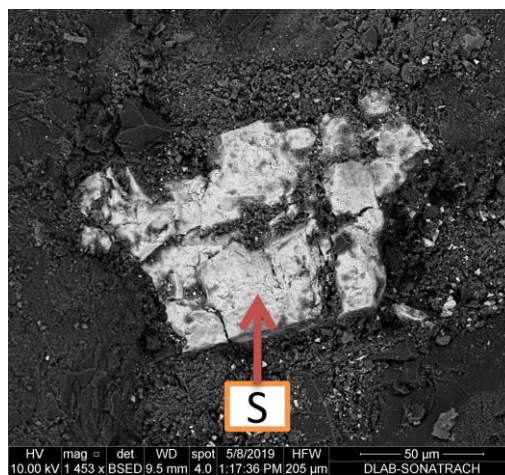


Illustration de la matière organique



Ciment carbonatés essentiellement sidéritique bien cristallisé en remplissage des pores

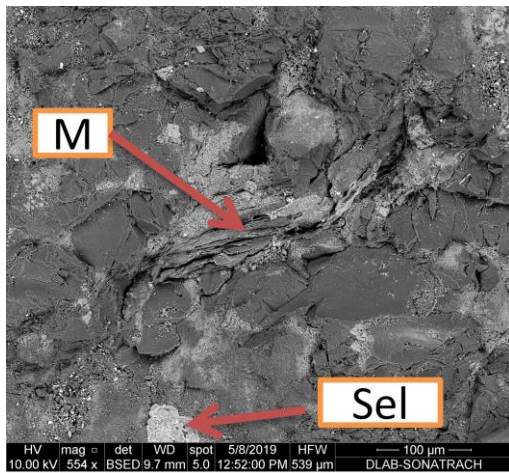


Illustration d'un mica déformé par la compaction et du sel

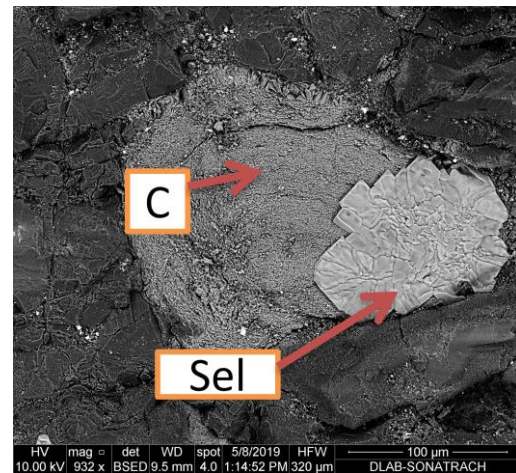
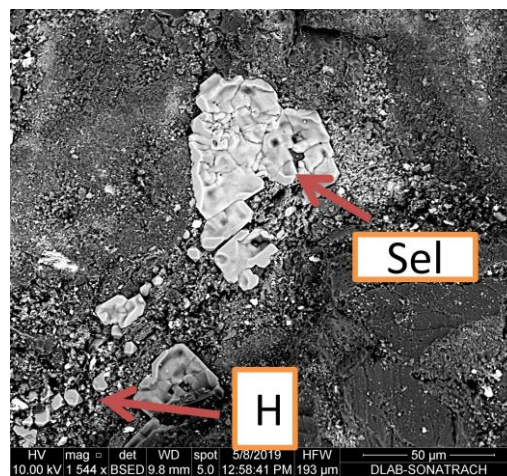


Illustration du sel amorphe déposé sur la chlorite



Sel; amorphe et bien cristallisé (halite)

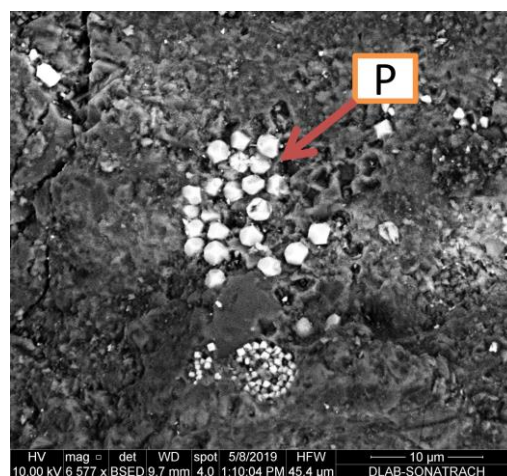


Illustration de la pyrite framboïdale et sous forme des cristaux isolés

III.3. Analyse chimique et minéralogique

A. Analyse minéralogique par diffraction des rayons X

Les résultats de l'analyse minéralogique par diffractométrie de rayons X des échantillons sont consignés dans le tableau (8), ci-après :

Tableau 7: Résultats minéralogiques des échantillons.

Cotes en mètre	% minéraux argileux				% minéraux non argileux				
	Chlorite	Illite	Somme des argiles	Somme des argiles +in dosées	Quartz	Sidérite	Halite	Hématite	Somme des minéraux non argileux
3154,30	100	Des traces	100	15	71	14			85
3156,50	100	Des traces	100	8	84	8		Des traces	92
3158,70	100		100	9	84	7		Des traces	91
3159,50	100		100	5	93	1		Des traces	95
3161,50	100		100	14	85	Des traces	Des traces	1	86
3163,70	100		100	11	81	8			89
3164,80	100		100	2	98	Des traces			98
3166,00	100		100	8	89	3		Des traces	92
3166,45	100		100	10	83	7		Des traces	90
3169,65	100		100	7	90	3		Des traces	93

A l'issue de l'analyses minéralogique par diffractométrie de rayons X (DRX), on peut conclure que les échantillons de ce puit est principalement composé de quartz et secondairement par de la sidérite dont le pourcentage varie entre 1 et 14%, on note également la présence en trace de l'hématite et l'Halite.

Les minéraux argileux est exclusivement représenté par du chlorite avec des traces de l'illite. On remarque que le pourcentage des argiles dans les roches est varié entre 2% et 15%, donc la fraction argileux est en norme (inférieure à 25%).

Le quartz est le minéral le plus dominant, on peut classer ces échantillons en grés quartzeux selon Theodorovich [12]. (Page 13)

La sidérite est une carbonate de fer, sa présence dans ces échantillons est un mal indice parce qu'elle dégrade la porosité (occupe les pores). La même chose pour l'Halite.

Remarque

- L'analyse minéralogique par diffractométrie des rayons X ne porte que sur la partie cristallisée de l'échantillon et dans les limites de détection de cette technique d'investigation, la phase amorphe échappe donc à cette technique.
- L'analyse minéralogique par DRX est estimative et le but n'est pas de donner une indication sur les proportions exactes des minéraux, mais de donner une indication comparable des minéraux présentent dans divers échantillons.

B. Analyse par fluorescence des RX

Les résultats de l'analyse chimique par la fluorescence des rayons X sont montrés dans le tableau 8 :

Remarque :

- La concentration des oxydes est en pourcentage massique.
- L'absence de résultat de l'échantillon 3 due à sa quantité insuffisante.

La composition chimique par FX montre une forte corrélation avec l'analyse minéralogique par DRX.

Tableau 8 : Composition chimique élémentaire exprimée en pourcentage massique (%).

<i>Les éléments en %</i>									
Cotes (m)	3154,3 m	3156,5 m	3159,5 m	3161,5 m	3163,7 m	3164,8 m	3166 m	3166,45 m	3169,65 m
N°	<i>Echt 1</i>	<i>Echt 2</i>	<i>Echt 4</i>	<i>Echt 5</i>	<i>Echt 6</i>	<i>Echt 7</i>	<i>Echt 8</i>	<i>Echt 9</i>	<i>Echt 10</i>
<i>PAF</i>	9,09	9,31	3,67	2,28	6,87	0,69	2,94	8,19	4,28
<i>Na₂O</i>	0,29	0,27	1,83	0,25	0,47	<0,01	0,08	0,10	0,09
<i>MgO</i>	1,08	0,88	0,40	0,70	1,00	0,11	0,6	0,83	0,56
<i>Al₂O₃</i>	7,84	7,90	2,77	5,95	6,59	0,84	4,02	5,11	4,39
<i>SiO₂</i>	60,31	64,20	82,05	80,60	66,02	94,84	83,44	64,91	81,62
<i>P₂O₅</i>	0,24	0,40	0,08	0,06	0,12	0,03	0,04	2,69	0,23
<i>SO₃</i>	0,46	0,53	0,16	0,20	0,11	0,06	0,2	0,31	0,21
<i>K₂O</i>	0,40	0,75	0,03	0,05	0,13	0,01	0,06	0,15	0,12
<i>CaO</i>	0,43	0,55	0,15	0,10	0,26	0,09	0,09	3,45	0,29
<i>TiO₂</i>	0,40	0,67	0,11	0,12	0,26	0,10	0,41	0,18	0,17
<i>Mn₂O₃</i>	0,51	0,36	0,13	0,03	0,35	0,05	0,17	0,41	0,09
<i>Fe₂O₃</i>	18,98	14,36	6,83	9,04	17,15	1,77	7,86	13,50	7,70
<i>Cl</i>	0,27	0,15	1,82	0,26	0,44	1,00	0,07	0,05	0,06
<i>Cr₂O₃</i>	0,0100	0,0076	<0,001	0,0053	0,0076	<0,001	0,0062	<0,001	0,0047
<i>BaO</i>	0,13	0,0100	0,0200	<0,001	0,0100	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<i>SrO</i>	0,01	0,0050	0,0051	0,0045	0,0076	0,0037	0,014	0,0064	0,0019
<i>Totale</i>	100,45	100,35	100,06	99,65	99,80	99,59	99,99	99,89	99,82

D'après le tableau 9, le fer est l'élément le plus abondant après le silicium. La teneur en silicium (dans les grès) est fonction de tous les minéraux silicatés présents, mais elle est évidemment plus fortement influencée par la présence du quartz. Par conséquent, les teneurs en SiO_2 sont particulièrement élevées dans les grès riches en quartz.

Les fortes teneurs en Al_2O_3 et Fe_2O_3 sont dues à la forte présence du chlorite, et aussi de la sidérite et la pyrite pour Fe_2O_3 .

La différence des valeurs de la PAF de la FX et la PAF calculé en précédente (tableau 5), est due à la différence de condition de travail (la température).

Le fer est présent dans les grès comme composants de nombreux minéraux, se trouve dans les argiles, principalement les chlorites avec des quantités moindres dans les illites ; dans les carbonates comme sidérite; dans les sulfures, principalement la pyrite. Fe^{3+} est normalement présent sous forme d'hématite. On le trouve aussi comme des traces dans le quartz, l'halite et les micas.

Le titane est présent en petites quantités, principalement dans les argiles sous forme des traces. **Le soufre** est présent sous forme de sulfate, principalement sous forme de gypse de pyrite. **Le phosphore** est présent sous forme d'apatite détritique et de carbonate-apatite (collophane) précipitée biochimiquement ainsi que d'impuretés mineures dans une foule d'autres minéraux. Ces minéraux non pas apparus, ils sont sous forme des traces. **Aluminium** est présent presque exclusivement dans les aluminosilicates et les micas. Abondance d'Al est donc en général liée à l'abondance des micas et argiles (principalement la chlorite).

Le **Ca** est typiquement présent sous forme de carbonate, soit dans la sidérite, en gypse ou en anhydrite. Le **Mg** est partitionné entre les argiles chloritiques et des traces de la sidérite et l'illite.

Manganèse (Mn) : aucun de nos minéraux ne contient le **Mn**, mais on peut justifier sa forte concentration, de sa présence sous forme oxyde et comme des traces de plusieurs minéraux comme la sidérite, l'hématite, le chlorite et le mica.

Le **Na** et le **K** dans les grès argileux peuvent se trouver principalement dans les minéraux argileux (illite). Les alcalins Sodium et Potassium (Na) et (K) : Dans les grès non argileux, la majeure partie du Na se trouve dans le sel, amorphe ou cristallin comme l'halite, et des traces dans les micas et le quartz, et du **K** se trouve dans les micas.

La présence de métaux de transition à la surface des roches (Fe, Mn, Ni, Co, Cu et Cr) induit un mouillage préférentiel de la en surface par le biais de réactions de type acide de base de Lewis entre les composés organiques polaires dans le pétrole brut huiles et métaux de transition exposés dans les pores [5].

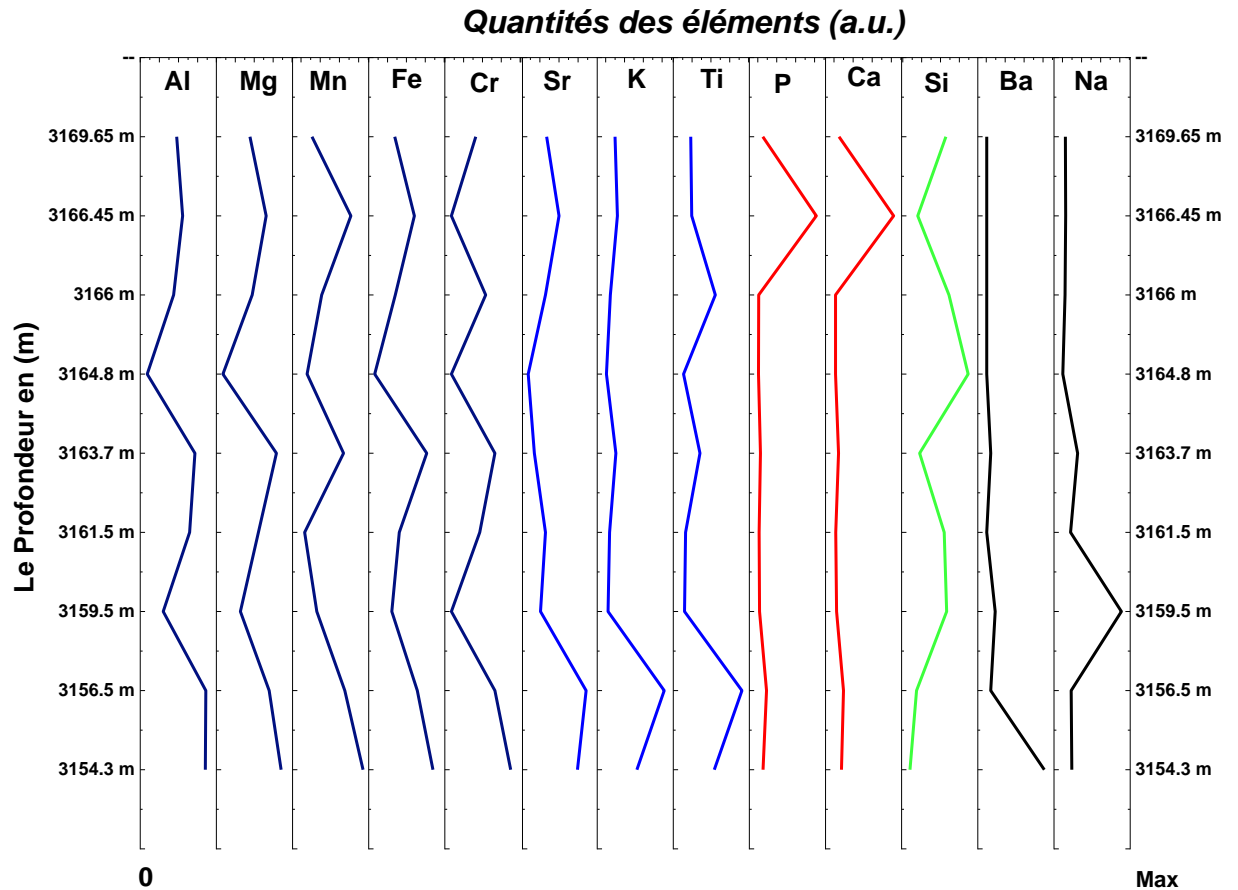


Figure 17 : diagramme qui montre la variation de concentrations des éléments chimiques en fonction de la profondeur.

D'après ce diagramme, on peut classer les éléments chimiques en trois groupes selon leurs variations en fonction de profondeur :

Groupe 1 : Al, Mg, Mn, Fe, Cr (Al, Fe et Mg : le même minérale, chlorite).

Groupe 2 : Sr, K, Ti.

Groupe 3 : P, Ca.

On remarque aussi qu'il y a une relation inverse entre le Si et le 1^{er} groupe due à la relation inverse de proportion entre le quartz et l'argile.

Une diminution de l'abondance de TiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , Na_2O , MgO , MnO , K_2O , Cr_2O_3 et Al_2O_3 à mesure que le SiO_2 augmente était la tendance observée, ceci pourrait être dû au pas mélanger des sédiments.

C. Analyse par spectrométrie d'absorption atomique

Les éléments analysés par la SAA sont : le **Cu**, **Ni**, **Co** et **Pb**.

Tableau 9 : Concentration massique des éléments chimiques mineurs mg/kg

Cotes (m)	Co	Pb	Cu	Ni
3154,30	52.5	55.7	20.03	81.7
3156,50	84.5	288.25	14.325	42.65
3158,70	70.05	74.55	18.56	98
3159,50	73.25	42.4	26.1	61.6
3161,50	54.55	69.35	28.795	74.4
3163,70	65.25	55.3	467.395	40.8
3164,80	54.55	84.85	457.595	57.5
3166,00	71.1	182.2	4.865	29.6
3166,45	35.195	74.1	7.24	12.2
3169,65	11.88	43.1	17.015	81.35

Ces éléments chimiques sont des éléments mineurs parce qu'ils ne sont des constituants de l'un de nos minéraux, mais comme des traces de ces minéraux.

Le Cuivre (Cu) : des traces de la pyrite mais ces valeurs dans les cotes 3163,70 m et 3164,80 m sont élevées, probablement à la présence d'un minérale de cuivre, et aussi on note qu'il y a relation inverse entre le Cu et le Fe (tableau8) dans le cote 3164,80 m, Il est alors probablement le produit de la réduction par des minéraux ferreux de solutions riches en cuivre. Ce qui confirme à la présence d'une vallée souterraine contient le cuivre. **Le Nickel (Ni)** : des traces de la pyrite et la chlorite.

Le Cobalt (Co) : des traces de la sidérite et la pyrite.

Le plomb (Pb) : sa présence due peut être à la galène (sulfure de plomb), mais comme des traces.

L'analyse avec la SAA montre une différence des valeurs si on compare avec les résultats de la FX, sa due probablement a présence des impuretés dans le tétra-borate de lithium. Pour ce la, on a fait juste ces quatre éléments.

D. Utilisation des données de la FX pour la classification chimique des grès

Sur la base des champs de composition pour les principales classes de grès (Pettijohn et al. 1972) [51], Les faciès de grès ont plusieurs nomenclatures, on a dans les champs de quartz arenite (1), de arkose (1) et de subarkose (2) et champ de sublitharénite (3) et deux échantillon hors zone de traçage (en rouge).

On ne peut pas de bien classifier ces échantillons selon le diagramme de péttijohn.

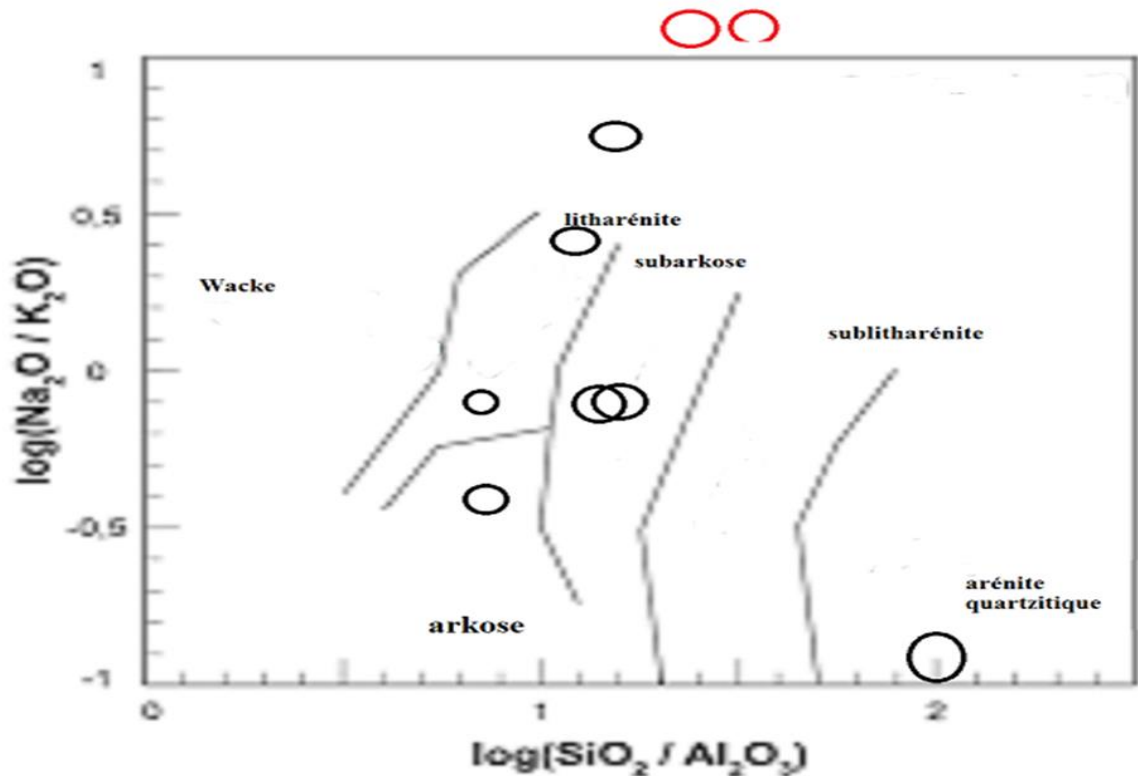


Figure 18: classification chimique des grès de Reggan basée sur $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ vs. $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$, diagramme de Pettijohn *et al.* (1972) [51]

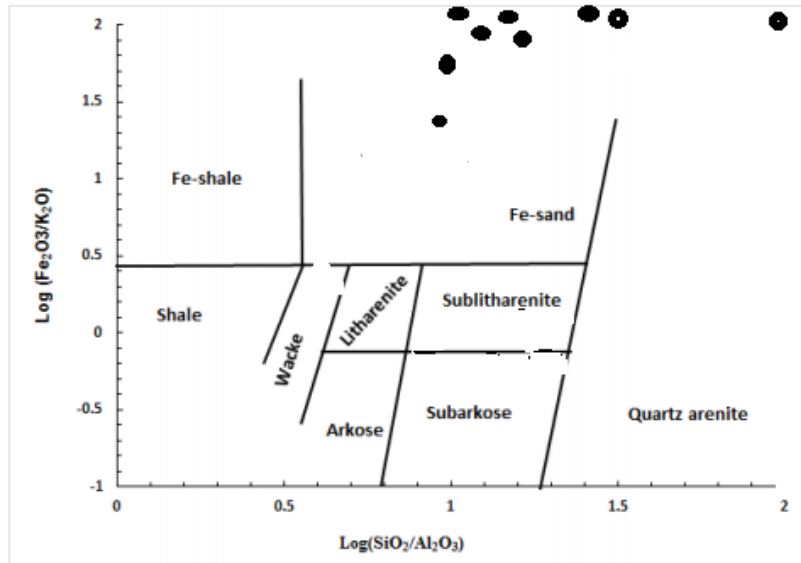


Figure 19: Classification chimique des grés basés sur $\log \text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{K}_2\text{O}$ vs $\log \text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ d'après Herron (1988) [52].

On remarque d'après le diagramme de Herron [52], que les grés sont principalement des Fe-sable (sable de fer), sauf un seul échantillon est de quartz arénite. Donc on peut dire qu'on a généralement des grés de type fer-sable.

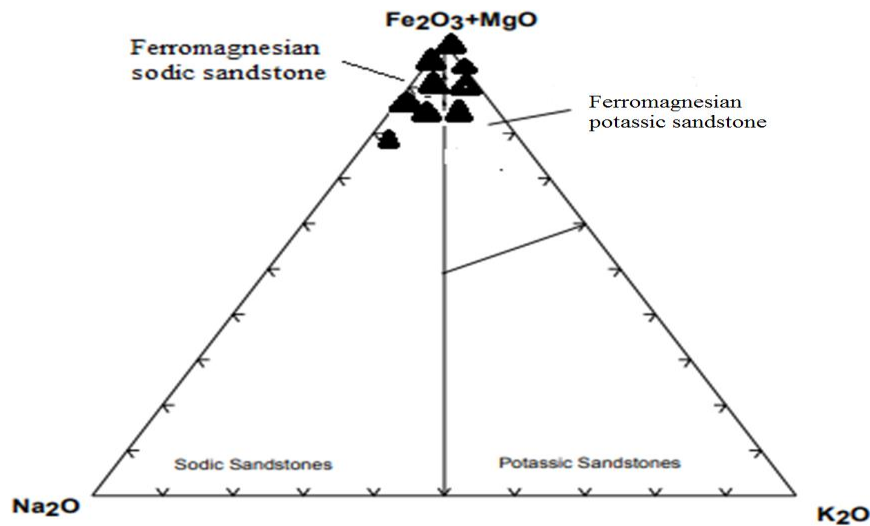


Figure 20 : diagramme ternaire de $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO})$ d'après Blatt et al., (1972) [53].

D'après diagramme ternaire de Blatt et al, (1972), ces échantillons gréseux divisent en 2 grandes catégories de classification : (5/9) sont des ferromagnésiens sodiques et (4/9) sont des ferromagnésiens potassiques.

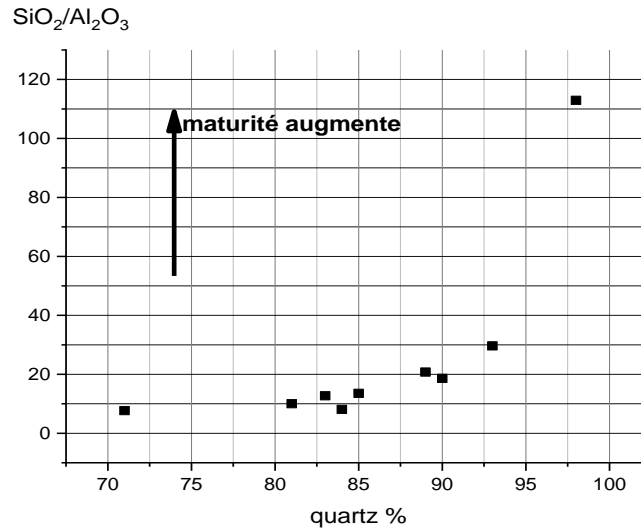


Figure 21 : Le rapport SiO₂/Al₂O₃ et Qtz/ (Fsp+Lf) (quartz totale)/(feldspar + lithic fragments) dans les grés facies. Adapté de Al-Juboury, (2007) [54].

Tableau 10 : Échelle de maturité du grès : % of Q and (F + RF) indice de maturité (MI) et stade de maturité limités (Nwajide and Hoque, 1985) [55].

Q ≥ 95%	MI = ≥ 19 Super-mature
Q = 95-90%	MI = 19 - 9.0 Sub-mature
Q = 90-75%	MI = 9.0-3.0 Sub-immature

D'après l'échelle de maturité du grès de (Nwajide and Hoque, 1985) [55], on remarque que la maturité varie de sub-immature à super mature. La majorité des échantillons sont des sub-matures (6/9), un échantillon est sub-immature et 2 échantillons sont des supers matures.

Remarque : la notion de maturité des sédiments se traduit par la disparition progressive des constituants instables et par l'élimination de la matrice argileuse, par l'amélioration du classement granulométrique et par l'augmentation du degré d'arrondi des grains.

Les grès matures riches en quartz ont des rapports $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ peu élevés en raison de leur teneur en SiO_2 et l'absence d'aluminosilicates, soit des argiles (un attribut de texture), soit des silicates primaires (attribut minéralogique).

Les faibles rapports $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sont caractéristiques des sols les plus altérés par les intempéries dans lesquels SiO_2 est lessivé avant Al_2O_3 .

Les différences entre les grès riches en métaux alcalins et les grès pauvres en métaux alcalins peuvent presque aussi bien être considérées comme correspondantes à un indice de maturité [11] pour les faibles rapports $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. (Voir annexe3)

Discussion

Les faciès de grès de Reggane présentaient des nomenclatures de classification différentes utilisant le schéma de classification de Pettijohn, ce qui peut être dû à l'apport de sédiments provenant de différentes sources. Cependant, il est évident que ces grès sont riches en fer. Les grès peuvent donc être majoritairement en Fe-sable selon le diagramme de Herron [52]. Les grès ont un moyen à forte teneur en $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, ce qui suggère généralement une sub-maturité chimique, un degré moyen à faible d'argile. Le graphique du rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ contre quartz / (feldspath + fragments lithiques) montre que les grès sont sub-matures à super matures.

E. Discrimination entre les environnements tectoniques (les diagrammes de discrimination pour les sédiments clastiques) :

Les processus tectoniques des plaques confèrent une signature géochimique distincte aux sédiments de deux façons distinctes. Premièrement, les différents milieux tectoniques ont des caractéristiques de provenance distinctes et deuxièmement, ils sont caractérisés par des processus sédimentaires distincts. Les bassins sédimentaires peuvent être affectés aux milieux tectoniques suivants (Bhatia et Crook, 1986) [56]: (les définitions, voir annexe 3)

- ✓ Arc d'îles océaniques.
- ✓ Ile-arc continental.
- ✓ Marge continentale active.
- ✓ Marge continentale passive.
- ✓ Contexte de collision.
- ✓ Bassin intercratonique.

a. Diagrammes de discrimination pour les sédiments clastiques utilisant des éléments majeurs (Les grès) :

diagramme de fonction discriminante (Bhatia, 1983) [14].

Le diagramme fonctionnel discriminant pour les grès (d'après Bhatia, 1983)[57], montrant les champs de grès des marges continentales passives, des îles-arc océaniques, des îles-arc continentales et des marges continentales actives. Les fonctions discriminantes sont les suivantes :

$$\text{Discriminant fonction 1} = -0.0447 \text{ SiO}_2 - 0.972 \text{ TiO}_2 + 0.008 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 0.267 \text{ Fe}_2\text{O}_3 + 0.208 \text{ FeO} - 3.082 \text{ MnO} + 0.140 \text{ MgO} + 0.195 \text{ CaO} + 0.719 \text{ Na}_2\text{O} - 0.032 \text{ K}_2\text{O} + 7.510 \text{ P}_2\text{O}_5 + 0.303.$$

$$\text{Discriminant fonction 2} = -0.421 \text{ SiO}_2 + 1.988 \text{ TiO}_2 - 0.526 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 0.551 \text{ Fe}_2\text{O}_3 - 1.610 \text{ FeO} + 2.720 \text{ MnO} + 0.881 \text{ MgO} - 0.907 \text{ CaO} - 0.177 \text{ Na}_2\text{O} - 1.840 \text{ K}_2\text{O} + 7.244 \text{ P}_2\text{O}_5 + 43.57.$$

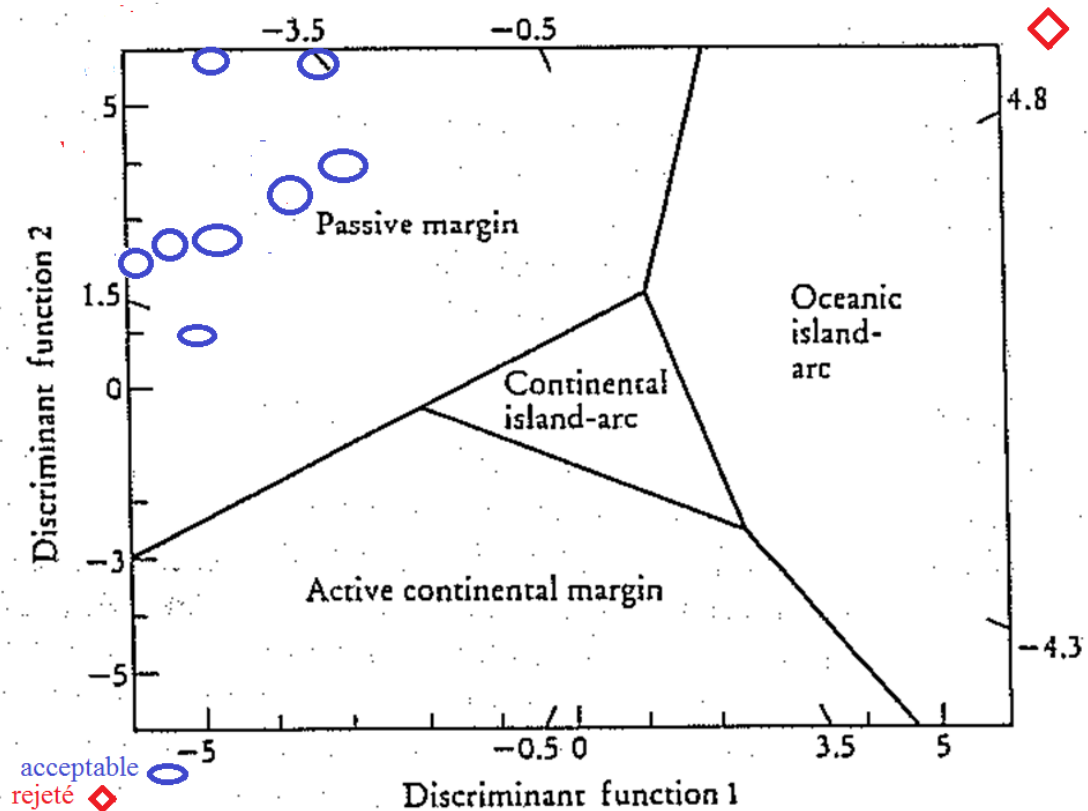


Figure 22: Le diagramme fonctionnel discriminant pour les grès (d'après Bhatia, 1983) [57].

D'après ce diagramme, on a un point hors la zone de graphe (raison inconnu) et elle est refusable (en rouge), mais la majorité des points sont acceptable (dans la zone de graphe, en bleu), on peut dire donc que les grès est de marge passive.

b. Diagrammes de discrimination pour les sédiments clastiques utilisant des oligo-éléments

✓ Le logarithme (K_2O/Na_2O) vs SiO_2 , diagramme de discrimination de Roser et Korsch (1986) [15] pour les suites grès-grès et montrant les champs pour une marge continentale passive, une marge continentale active et un arc insulaire. Les coordonnées de tracé des limites du champ ont été extraites de Roser et Korsch. Tableau des résultats.(voir annexe 3)

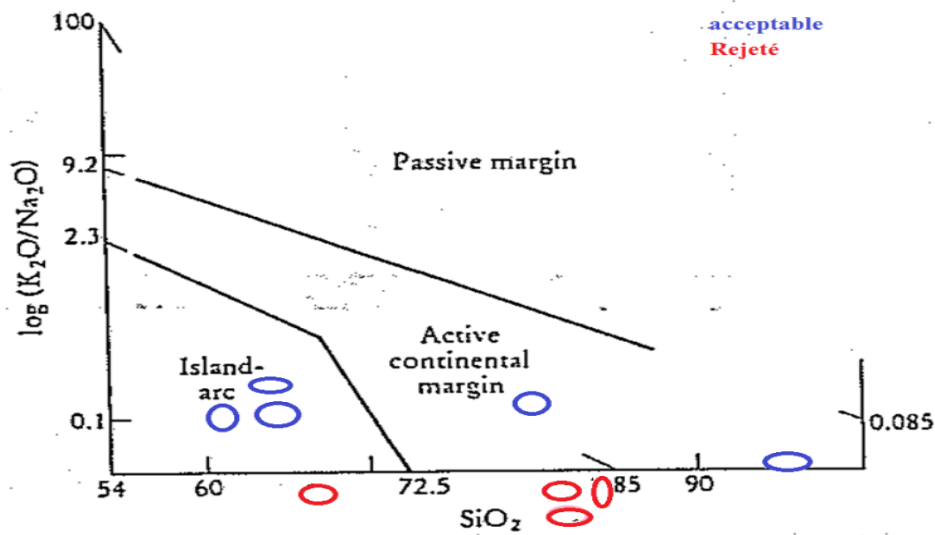


Figure 23 : Le logarithme (K_2O/Na_2O) vs SiO_2 , diagramme de discrimination de Roser et Korsch (1986) [15], pour les suites grès-grès.

Dans ce diagramme, on a des points hors la zone de graphe sont refusable (en rouge), d'après les points acceptable (en bleu), on peut dire que les champs de grès sont marge continentale active et île-arc.

D'après les deux figures (22.23), on a une contradiction des résultats pour déterminer le champ des marges. Mais quand t'elle la majorité des points de la figure (22) situées dans le même champ, on peut dire que les grés est de marge passive.

Diagramme fonctionnel discriminant pour les signatures de provenance des suites de grès argilites utilisant des éléments majeurs (d'après Roser et Korsch, 1988) [58]. Les champs pour les provenances ignées principalement mafiques, intermédiaires et felsiques sont montrés avec le champ pour une provenance sédimentaire quartzique.

Les fonctions discriminantes sont des fonctions discriminantes :

$$\text{Discriminant fonction 1} = -1.773\text{TiO}_2 + 0.607\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.76\text{Fe}_2\text{O}_3 - 1.5\text{MgO} + 0.616\text{CaO} + 0.509\text{Na}_2\text{O} - 1.224\text{K}_2\text{O} - 9.09$$

$$\text{Discriminant fonction 2} = 0.445\text{TiO}_2 + 0.07\text{Al}_2\text{O}_3 - 0.25\text{Fe}_2\text{O}_3 - 1.142\text{MgO} + 0.438\text{CaO} + 1.475\text{Na}_2\text{O} + 1.426\text{K}_2\text{O} - 6.861$$

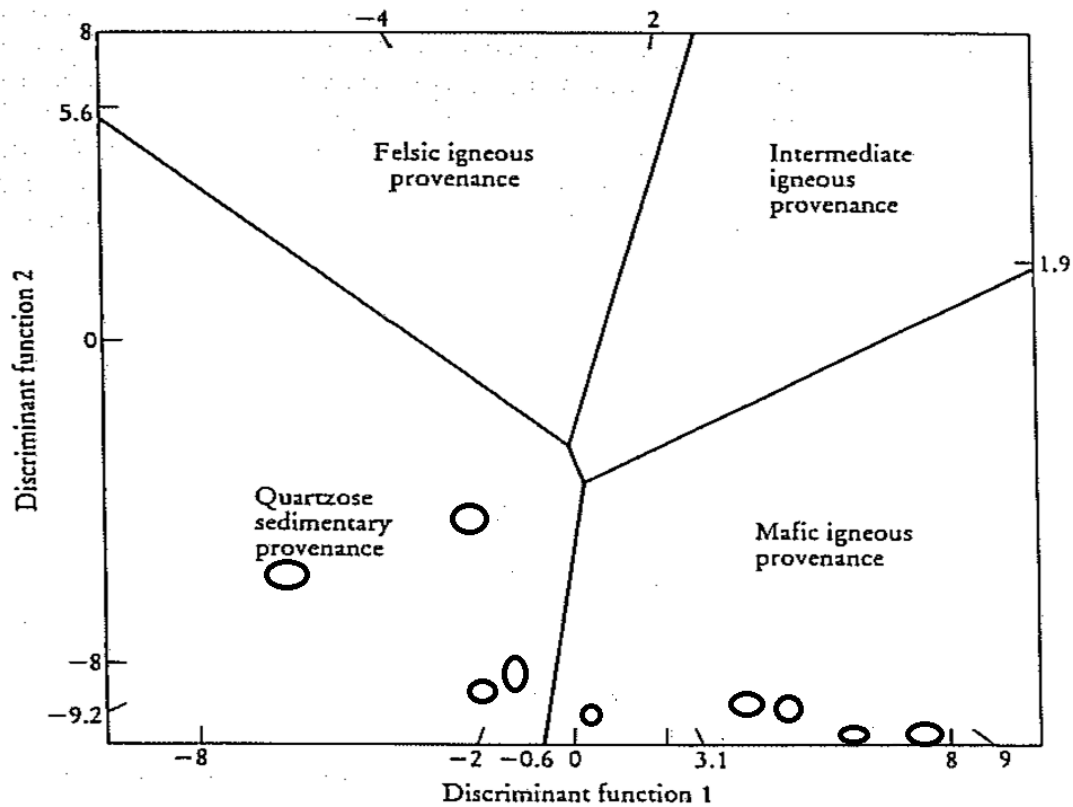


Figure 24: Diagramme fonctionnel discriminant pour les signatures de provenance des suites de grès argilite utilisant des éléments majeurs (d'après Roser et Korsch, 1988) [58].

On remarque d'après ce diagramme, que les échantillons sont situés dans deux champs de provenances : ignée mafique (magmatique riche en magnésium et en fer) et sédimentaire quartzite (riche en quartz).

Discussion

L'hypothèse sous-jacente des diagrammes de discrimination géochimique pour les roches sédimentaires est qu'il existe un lien étroit entre le contexte tectonique des plaques et la provenance des sédiments. Cependant, il existe une grande incertitude, car certains sédiments sont transportés de leur milieu tectonique d'origine vers un bassin sédimentaire dans un milieu tectonique différent [59].

Cette observation signifie que les utilisateurs de diagrammes de discrimination pour les roches sédimentaires doivent faire preuve de prudence lorsqu'ils revendiquent le cadre tectonique original d'un bassin sédimentaire [60].

CONCLUSION

GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Les résultats des analyses pétrographiques menées sur dix (10) échantillons choisis dans les niveaux gréseux ont révélé qu'ils sont d'une composition minéralogique presque similaire et une maturité minéralogique élevée. Les composants détritiques sont représentés essentiellement par le quartz (50 à 85%) et à un moindre degré d'argile sous forme de clastes, et de rares minéraux lourds résistants.

Les composants authigènes dans l'ensemble des échantillons sont représentés par une forte proportion de sidérite (10% en moyenne), de silice secondaire (overgrowth et intergranulaire) (6% en moyenne) et d'argiles authigènes, constituées essentiellement de chlorite en pore-filling, et en grain-coating. Cette dernière est très mal développée autour des grains de quartz. L'illite est très faiblement représentée.

On note aussi la présence accessoire de la pyrite dans presque tous les échantillons étudiés. La porosité observée dans la majorité des lames minces étudiées est presque nulle. Il est à noter que le réseau poreux primaire et secondaire a été totalement détruit par l'effet combiné de plusieurs processus qui sont en étroite relation avec le milieu de dépôt (argile) et la diagenèse (compaction et cimentation):

En premier lieu, l'excès d'argile qui a évolué vers le remplissage des pores a contribué largement à la détérioration parfois totale de la porosité intergranulaire primaire. Ensuite, une compaction plus au moins intense a fortement réduit l'espace intergranulaire.

Une diagenèse dominée par une précipitation importante de la sidérite et le développement de la silice secondaire ont drastiquement détruit la porosité résiduelle. Cette faible porosité conduit à une faible perméabilité, ces deux paramètres conduisent successivement à une faible capacité de stockage et de productivité, donc on conclure à partir de ce puits que c'est un mal réservoir.

L'analyse par le MEB montré une très faible porosité (des micropores), qu'elle est presque nulle a cause de remplissage des pores généralement par la ciment argilo carbonatées (la chlorite et la sidérite) et quelque fois par des argiles comme et l'illite, ou du sel et le gypse.

CONCLUSION GENERALE

Le quartz est le minéral le plus abondant, leur type des grains varient de anguleux à arrondis. Le ciment est argilo-carbonaté, en remplissage de pores, l'argile est représentée essentiellement par la chlorite et rarement par l'illite, et les carbonates essentiellement sidéritiques, et on note aussi la présence de la pyrite et des traces des minéraux, comme le sel parfois cristallisé (l'halite) et parfois amorphe, le gypse, les micas, et le zircon dans certain échantillons.

On constate aussi la présence de la matière organique dans un seul échantillon.

La présence de la pyrite est sous deux structures cristallines, framboïdale et octaédrique, montre qu'on peut avoir la matière organique et l'eau.

Les résultats de la FX montrent une forte corrélation avec l'analyse minéralogique (DRX), ou tous les éléments présents dans l'analyse élémentaire par la FRX coïncident avec les différents minéraux dans la même roche.

La comparaison entre les différentes analyses montre qu'il ya une relation de corrélation entre la composition chimique et le diamètre moyen des grains, le teneur en eau et la PAF, cette relation est en fonction de le pourcentage massique de silicium et le pourcentage de quartz.

Les grès sont principalement des Fe-sable (sable de fer), divisent entre des ferromagnésiens sodiques et des ferromagnésiens potassiques. La majorité des échantillons sont des sub-matures.

Le diagramme fonctionnel discriminant pour les grès, montre que le champs de grès est de marge passive.

Le diagramme fonctionnel discriminant pour les signatures de provenance des suites de grès argilites montre que les échantillons sont situés dans deux champs de provenances : ignée mafique et sédimentaire quartzite.

L'étude préliminaire que nous avons menée sur ces roches réservoirs ont données des renseignements d'ordre qualitatif, la compréhension de la géochimie de réservoir nécessite une étude plus approfondie, à savoir l'analyse de plusieurs puits dans le même champ. Ces résultats permettront aussi une meilleure prise en charge des gisements pétroliers dans la région de Reggane.

Références bibliographiques

- [1] S. Cherfi, “L’avenir énergétique de l’Algérie: quelles seront les perspectives de consommation, de production et d’exportation du pétrole et du gaz à l’horizon 2020-2030,” 2011.
- [2] J. GUILLEMOT, “cours de géologie du pétrole.” société des éditions technip, rue Nelation. paris, p. 321, 1964.
- [3] B. sédimentaire/université de L. F, “Eléments de Sédimentologie et de Pétrologie sédimentaire,” 2019. [Online]. Available: www.geolsed.ulg.ac.be/sedim/sedimentologie.htm.
- [4] S. Science, “le cycle des roches,” 2018. [Online]. Available: https://m.simplyscience.ch/enfants-terre-et-environnement/articles/le-cycle-des-roches.html?_locale=fr.
- [5] D. Tiab and D. Erle C, *Petrophysics Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties*, 2016 Elsev. 225 Wyman Street, Waltham, MA 02451, USA / The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK: Gulf Professional Publishing is an imprint of Elsevier, 2015.
- [6] J.-F. Beaux, J.-F. Fogelgesang, P. Agard, and V. Boutin, *ATLAS de géologie pétrologie*, Dunod. Paris: Dunod, 2011.
- [7] J. Lameyre, *Roches et minéraux: Les formations*. Doin, 1975.
- [8] B. Frédéric, *Pétrologie sédimentaire des roches aux processus*, TECHNOSUP. ellipses, 2010.
- [9] G. C. Dominguez and F. V. Samaniego, *Carbonate Reservoir Characterization: A Geologic-Engineering Analysis, Part I*, 1st Editio. Amsterdam: Elsevier Science.
- [10] S. of O. BOGGS JR, *PETROLOGY OF SEDIMENTARY ROCKS second edition*, Second edi. Cambridge University Press The Edinburgh Building, Cambridge CB2 8RU, UK: Published in the United States of America by Cambridge University Press, New York, 2009.
- [11] R. BERG, *Reservoir sandstones*. New Jersey: Library of congress cataloging in publication data, 1986.
- [12] G. . Theodorovich, *classification of sandstones based upon composition*, 6th ed. USSR Ser. Geol, 1965.

Références bibliographiques

- [13] G. . Chilingarian and K. . Wolf, *Compaction of Coarse-Grained Sediments*, Vol. I. New York: Elsevier Science Publ.Co, 1975.
- [14] M. R. Bhatia, “Plate tectonics and geochemical composition of sandstones,” *J. Geol.*, vol. 91, no. 6, pp. 611–627, 1983.
- [15] B. P. Roser and R. J. Korsch, “Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio,” *J. Geol.*, vol. 94, no. 5, pp. 635–650, 1986.
- [16] R. Sugisaki, “Relation between chemical composition and sedimentation rate of Pacific ocean-floor sediments deposited since the middle Cretaceous: Basic evidence for chemical constraints on depositional environments of ancient sediments,” *J. Geol.*, vol. 92, no. 3, pp. 235–259, 1984.
- [17] S. Argast and T. W. Donnelly, “The chemical discrimination of clastic sedimentary components,” *J. Sediment. Res.*, vol. 57, no. 5, pp. 813–823, 1987.
- [18] L. B. Magoon and W. G. Dow, *The Petroleum System*, vol. 60. American Association of Petroleum Geologists, 1994.
- [19] J. Gluyas and R. Swarbrick, *Petroleum Geoscience (Introduction)*. Blackwell, 2004.
- [20] P. A. Allen and J. R. Allen, *Basin Analysis. Principles champ; Applications*. Oxford, London, Edinburgh, Boston, Melbourne: Blackwell Scientific, 1990.
- [21] O. Anthony, “Réservoirs silicoclastiques très enfouis: caractérisation diagénétique et modélisation appliquées aux champs pétroliers du Viking Graben (MerduNord),” Université de Lorraine, 2013.
- [22] university de L. CHADOULI, Kheira(Géosciences, “Caractérisation pétrographique appliquée à la modélisation pétrolière: Etudes de cas,” LORRAINE, 2013.
- [23] L. B. Magoon and E. A. Beaumont, “Chapter 3: Petroleum Systems,” *Treatise Pet. Geol. / Handb. Pet. Geol. Explor. Oil Gas Traps.*, pp. 3-1-3–34, 1999.
- [24] B. Jean-jacques and B. François, *GEOLOGIE DU PETROLE Histoire, genèse, exploration, ressources*. 92240 Malakoff: Dunod, 2017.
- [25] M. . BENZAGOUTA, “Petrophysical Characteristics Control on the Buchan Oilfield (North Sea),” University of Newcastle upon Tyne, UK., 1991.

Références bibliographiques

- [26] M. . Benzagouta, “Reservoir Heterogeneities, in Fractured Fluvial Reservoirs of the Buchan Oilfield (Central North Sea),” *Oil Gas Sci. Technol. (French Inst. Pet.*, vol. 56, no. 4, pp. 327–338, 2001.
- [27] R. SELLEY, *Elements of Petroleum Geology*, 2^{ème} Editi. London NW1 7DX, UK.: Academic Press Limited, 1998.
- [28] R. COSSE, *Le gisement*. Paris France: TECHNIP, 1988.
- [29] B. M.S, “Reservoir heterogeneities determination by the use mercury injection capillary pressure (M.I.C.P) method Tight case,” 2012.
- [30] M. . BENZAGOUTA, “Investigation on the Impact of Rock Physical Properties on Permeability Variation: Case Study for the Reservoir Heterogeneity Development,” *Naft. Regards Technical Ed. B. Jambrosic*, vol. 64, pp. 122--129, 2013.
- [31] G. B. Asquith, *Basic well log analysis for geologists*, 2nd printi. Tulsa, Okla., USA : American Association of Petroleum Geologists, [1983], c1982., 1982.
- [32] R. C. Selley, *Elements of Petroleum Geology*, 1^{ère} Editi. London,NW17DX, UK: Academic Press Limited, 1985.
- [33] S. D. Burley, J. D. Kantorowicz, and B. Waugh, “Clastic diagenesis,” *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, vol. 18, no. 1, pp. 189–226, 1985.
- [34] C. D. Curtis, *Sedimentary geochemistry: Environments and processes dominated by involvement of an aqueous phase. Phil. Trans. R. Soc. London*, 1977.
- [35] K. Bjørlykke, *Petroleum geoscience: From sedimentary environments to rock physics, second edition*. 2015.
- [36] R. R. Berg, *Reservoir Sandstones*. Prentice-Hall, 1986.
- [37] A. Nada, “Caractérisation d’un réservoir gréseux par simulation de carottes artificielles,” des frères Mentouri de Constantine, 2015.
- [38] M. E. Crocker and L. M. Marchin, “Wettability and Adsorption Characteristics of Crude-Oil Asphaltene and Polar Fractions,” *J. Pet. Technol.*, vol. 40, no. 04, pp. 470–474, 1988.
- [39] D. Abhijit Y, *Petroleum Reservoir Rock and Fluid Properties*, S e c o n. Taylor & Francis Group, LLC, 2013.
- [40] E. Amott, “Observations Relating to the Wettability of Porous Rock.” Society of Petroleum Engineers, p. 7, 1959.

Références bibliographiques

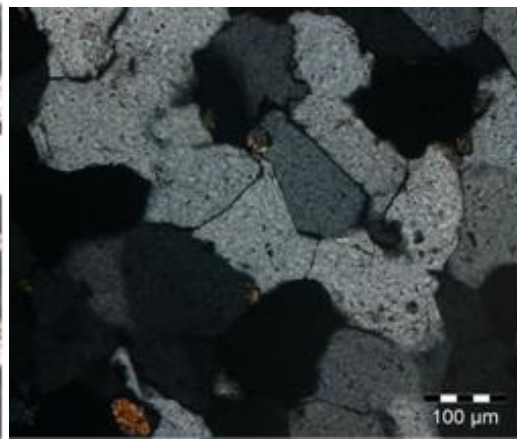
- [41] J. N. Yan, J. L. Monezes, and M. Sharma, “Wettability Alteration Caused by Oil-Based Muds and Mud Components,” *SPE Drill. Complet. - SPE DRILL Complet.*, vol. 8, pp. 35–44, 1993.
- [42] L. Skalli, J. S. Buckley, Y. Zhang, and N. R. Morrow, “Surface and core wetting effects of surfactants in oil-based drilling fluids,” *J. Pet. Sci. Eng.*, vol. 52, pp. 253–260, 2006.
- [43] W. G. Anderson, “Wettability Literature Survey- Part 1: Rock/Oil/Brine Interactions and the Effects of Core Handling on Wettability,” *J. Pet. Technol.*, vol. 38, no. 10, pp. 1125–1144, 1986.
- [44] B. R. Crawford, M. J. Gooch, and D. W. Webb, “Textural controls on constitutive behavior in unconsolidated sands: Micromechanics and cap plasticity,” in *Gulf Rocks 2004, the 6th North America Rock Mechanics Symposium (NARMS)*, 2004.
- [45] Y. Tardy, “*Equilibres physico-chimiques entre l’eau et les minéraux des argiles : domaines de stabilité des argiles*” *Interactions solide-liquide dans les milieux poreux*, Technip. Paris: Technip, 1985.
- [46] S. (Schlumberger) ZEROUG, B. E. E. Noureddine, Sonatrach), L. E. E. Rabih, and Sonatrach), *Well Evaluation Conference Algérie 2007*. Sonatrach et Schlumberger, 2007.
- [47] F. J. Pettijohn, *Sedimentary rocks*, vol. 3. Harper & Row New York, 1975.
- [48] P. A. Scholle and A. A. of P. G. Foundation, *A color illustrated guide to constituents, textures, cements, and porosities of sandstones and associated rocks*, vol. 28. Tulsa, Oklahoma, U.S.A: American Association of Petroleum Geologists with the support of The American Association of Petroleum Geologists Foundation, 1979.
- [49] J.-F. Deconinck, B. Brigaud, and P. Pellenard, *Pétrographie et environnements sédimentaires*. Dunod, 2016.
- [50] W. Joann E, *SEM Petrology Atlas*. Tulsa, Oklahoma 74101, USA: the American Association of Petroleum Geologists, 1983.
- [51] F. J. Pettijohn, P. E. Potter, and R. Siever, *Sands and sandstone*. New York, USA: Springer-Verlag, 1972.

Références bibliographiques

- [52] M. M. Herron, "Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data," *J. Sediment. Res.*, vol. 58, no. 5, pp. 820–829, 1988.
- [53] H. Blatt, G. V Middleton, and R. C. Murray, *Origin of sedimentary rocks*. Englewood Cliffs, New Jersey: NJ, Prentice-Hall, 1972.
- [54] A.-J. Ali, "Petrography and major element geochemistry of Late Triassic Carpathian Keuper sandstones: Implications for provenance," *Bull. l'Institut Sci. Rabat*, no. 29, pp. 1–14, 2007.
- [55] C. S. Nwajide and M. Hoque, "Problems of classification and maturity evaluation of a diagenetically altered fluvial sandstone," *Geol. EN Mijnb.*, vol. 64, no. 1, pp. 69–77, 1985.
- [56] M. R. Bhatia and K. A. W. Crook, "Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins," *Contrib. to Mineral. Petrol.*, vol. 92, no. 2, pp. 181–193, 1986.
- [57] M. . Bhatia, *Plate tectonic and geochemical composition of sandstone*. *J.Geol.* 91, 1983.
- [58] B. P. Roser and R. J. Korsch, "Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data," *Chem. Geol.*, vol. 67, no. 1–2, pp. 119–139, 1988.
- [59] S. M. McLennan, S. R. Taylor, M. T. McCulloch, and J. B. Maynard, "Geochemical and Nd Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: crustal evolution and plate tectonic associations," *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 54, no. 7, pp. 2015–2050, 1990.
- [60] haugh R. Roullinson, *using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. UK: Longman group, 1993.



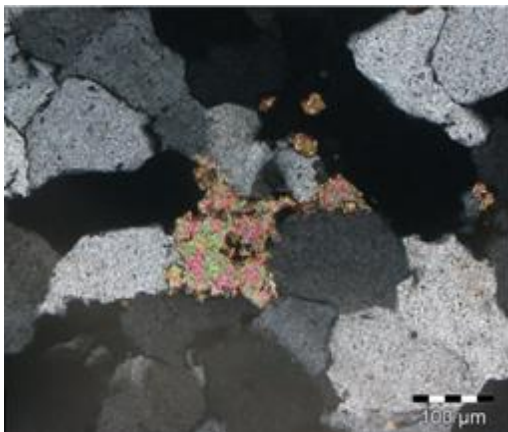
Ph 1 : 3159.50m



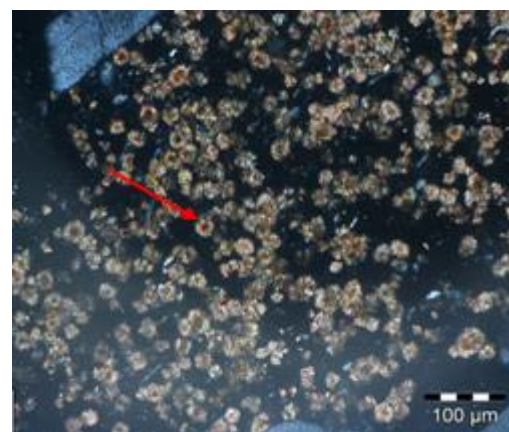
Ph 2 : 3164.80m

Ph 1 : Grés mature avec un quartz sub-anguleux à sub-arrondie.

Ph 2 : Grés mature propre compact.



Ph 3 : 3164.80m

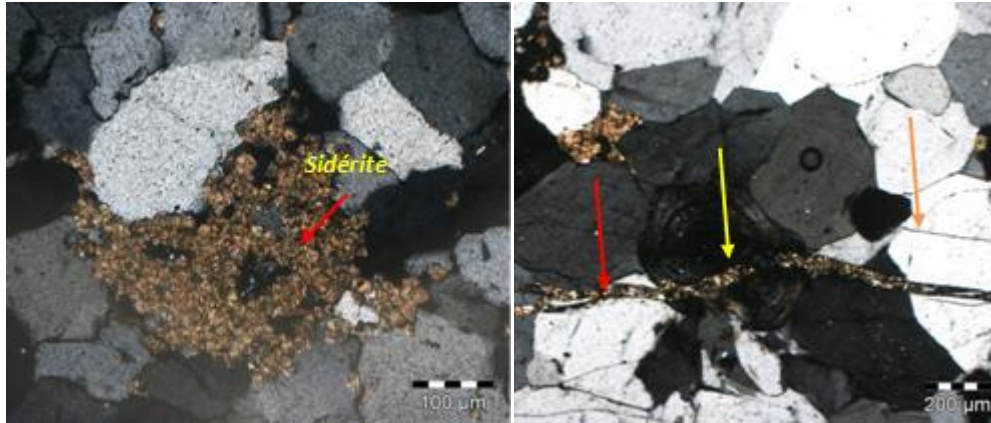


Ph 4 : 3164.80m

Ph 3 : Précipitation des carbonates qui corrodent les grains de quartz.

Ph 4 : Précipitation de la sidérite.

Annexe 1

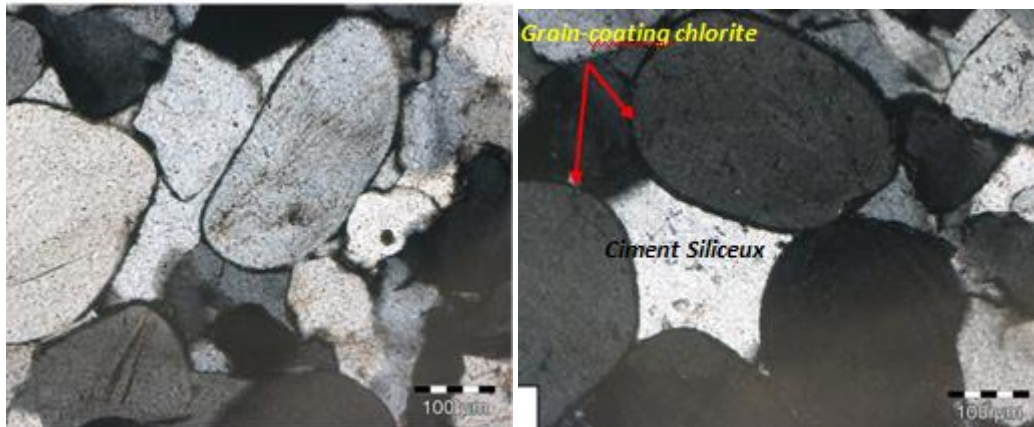


Ph 5 : 3157.50m

Ph 6 : 3166.45m

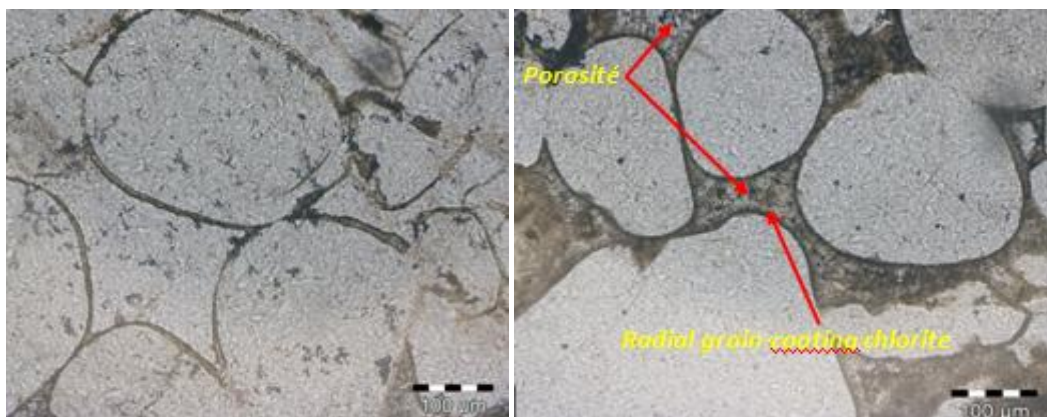
Ph 5 : Dissolution des silicates et précipitation de la sidérite.

Ph 6 : Réseau de microfissure colmaté par la sidérite.



Ph 7: RG-13. 3166.00m

Ph 8 : 3166.00m

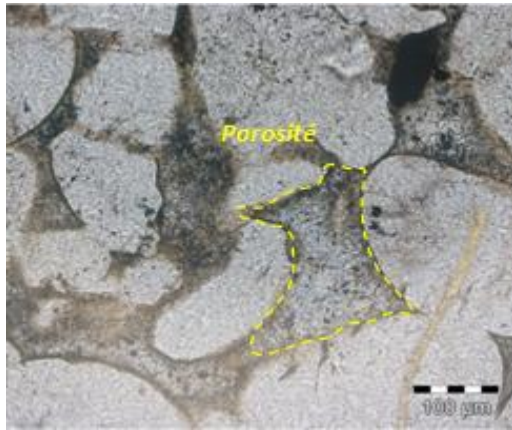


Ph 9: 3166.00m

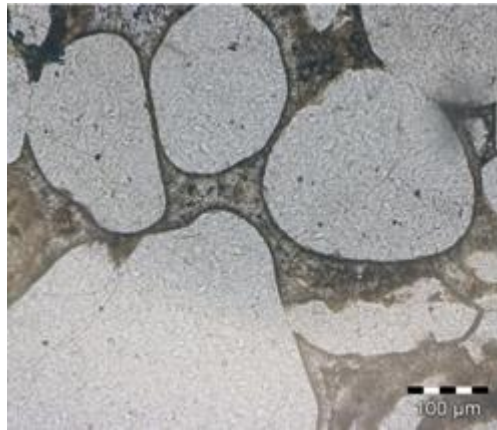
Ph 10 : 3166.00m

Ph 7,8 et 9: Espace intergranulaire primaire important totalement détruit par le développement de la silice en ciment (intergranulaire)

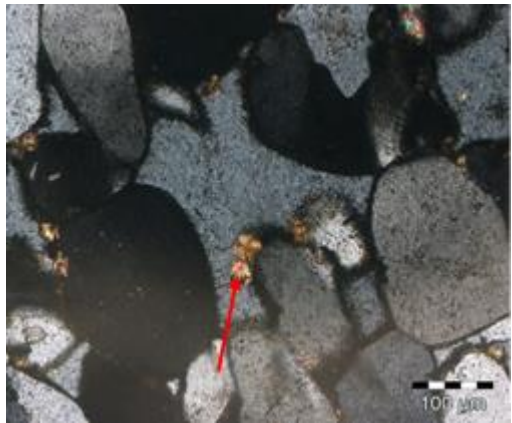
Ph 10 : Revêtement chloriteux radial qui a inhibé la silicification et a permis la conservation d'une porosité primaire.



Ph 11 : 3166.00m



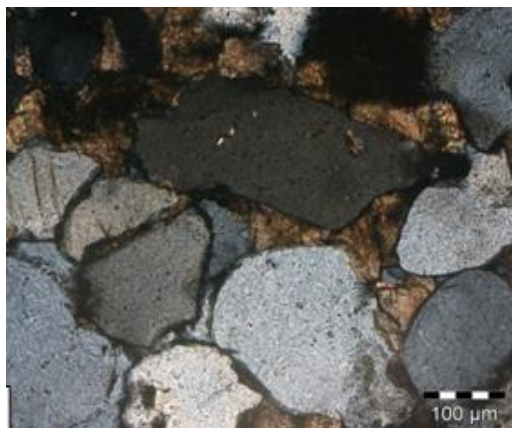
Ph 12 : 3166.00m



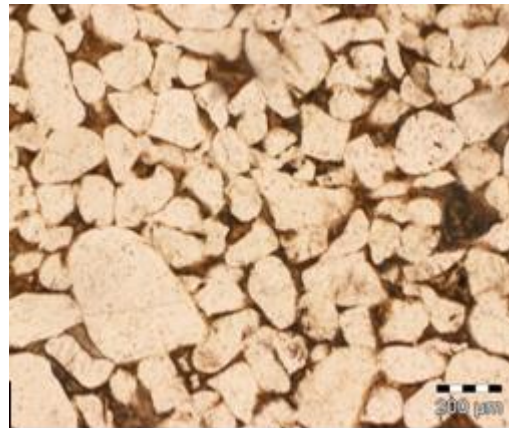
Ph 13 : 3161.50m



Ph 14 : 3161.50m



Ph 15 : 3157.70m



Ph 16 : 3159.50m

Ph 11 et 12 : Porosité primaire résiduelle qui a été conservée par le développement d'un revêtement chloriteux radial autour des grains de quartz.

Ph 13 et 14: Précipitation de la sidérite (flèche) qui postdate la silice secondaire.

Ph 15: Développement du chlorite en grain-coating qui postdate la compaction.

Ph 16 : Espace intergranulaire totalement colmaté par la matrice argileuse.

Annexe 2

Les bassins sédimentaires peuvent être affectés aux milieux tectoniques :

Arc d'îles océaniques - bassins d'avant-arc ou d'arrière-arc, adjacents à un arc volcanique développé sur une croûte continentale océanique ou mince.

Ile-arc continental - bassins inter-arc, avant-arc ou arrière-arc, adjacents à un arc volcanique développé sur une croûte continentale épaisse ou sur des marges continentales minces.

Marge continentale active - Bassins de type andin développés sur ou à proximité de marges continentales épaisses. Des bassins à glissières se développent également dans cet environnement.

Marge continentale passive - les marges continentales distendues se sont développées sur une croûte continentale épaisse sur les bords des continents ; bassins sédimentaires sur le bord de fuite d'un continent.

Contexte de collision - des bassins sédimentaires se sont formés sur une épaisse croûte continentale.

Bassin intercratonique se développant sur une épaisse croûte continentale.

La définition de différentes origines des grés :

Les roches felsiques sont des roches magmatiques silicatées enrichies en éléments tels que le silicium, l'oxygène, l'aluminium, le sodium et le potassium. Les plus communes sont les granites Leur appellation est issue de la combinaison entre « feldspath » et « silice ».

Le quartzite est une roche siliceuse massive, constituée de cristaux de quartz soudés. Le quartzite sédimentaire (ou orthoquartzite), issu de la cimentation par diagénèse d'un grès.

Un silicate ou une roche silicatée est dit(e) mafique quand il ou elle est riche en magnésium et en fer. Cet adjectif est dérivé de « magnésium » et « ferrique » on dit aussi ferromagnésien, mais ces minéraux et roches contiennent souvent aussi beaucoup de calcium. Au plan chimique, les roches mafiques sont à l'opposé du spectre des roches felsiques.

Annexe 2

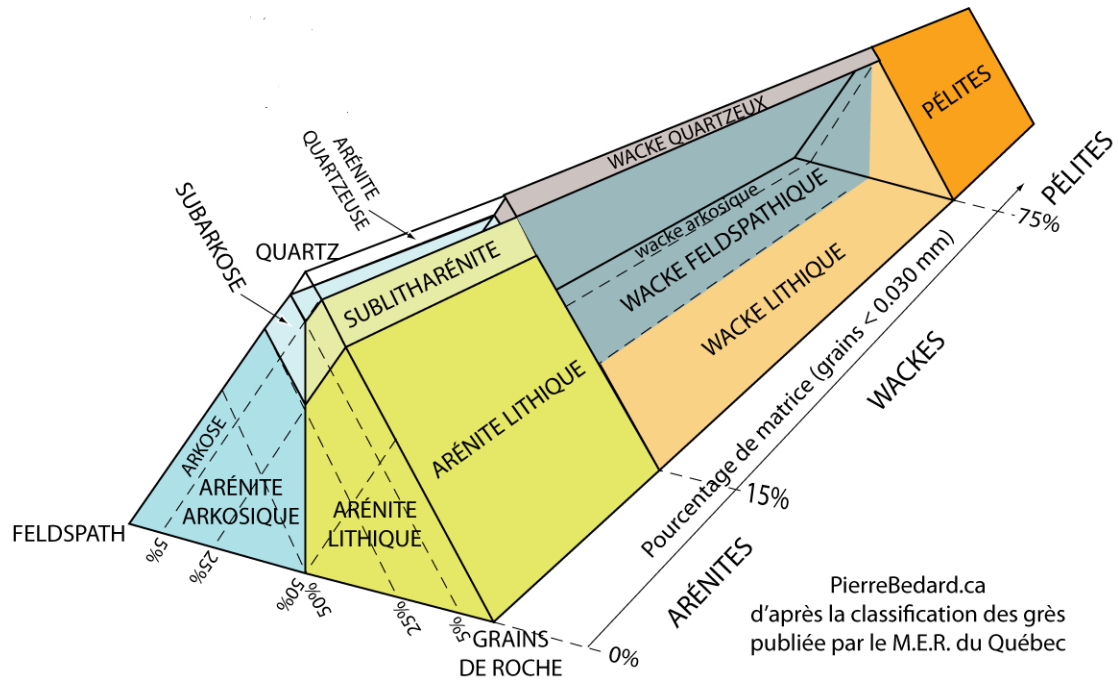
Tableau 1 : Relation entre le Taux humidité, le PAF, le diamètre
Moyenne et la composition chimique.

Cotes (m)	Taux humidité %	PAF %	diamètre moyenne (µm)	Quartz	Al ₂ O ₃	SiO ₂
3154,30	0.42	11.41	35.81533	71	7.84	60.31
3156,50	6.84	5.90	14.69607	84	7.9	64.2
3158,70	0.68	21.78	30.72484	84		
3159,50	0.43	2.84	31.72903	93	2.77	82.05
3161,50	0.35	1.65	28.29444	85	5.95	80.6
3163,70	0.37	5.49	35.62104	81	6.59	66.02
3164,80	0.07	0.75	109.60883	98	0.84	94.84
3166,00	0.21	2.37	27.1749	89	4.02	83.4
3166,45	0.18	4.86	21.08688	83	5.11	64.91
3169,65	0.25	8.32	22.642	90	4.39	81.62

Tableau 2 : classification chimique des grés d'après Berg 1985

cadre de travail : groupes anions	cations échangeables		type pétrographique associé
SiO ₂ /Al ₂ O ₃ élevé (mature)	riche en alcalino-terreux (ciment carbonaté)		Quartz arenite
	pauvre en alcalino-terreux (ciment silicaté)		
SiO ₂ /Al ₂ O ₃ faible	Riche en métaux alcalins Feldspath et argile	Na ₂ O > K ₂ O	Feldspathic graywackes
		Na ₂ O < K ₂ O	Arkoses : lithic graywackes
	Pauvre en métaux alcalins		Lithic arenites

Annexe 2



Classification chimique des grès selon Pettijohn 1975

Tableau 3 : les calculs des diagrammes

Cotes (m)	Diagrammes d'Herron		Diagramme de Pettijohn		l'échelle de maturité du grès de Nwajide and Hoque	
	$\log \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\log \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{K}_2\text{O}}$	$\log \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\log (\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	(quartz totale)/(feldspar + lithic fragments)
3154,30	0.886	1.67	0.886	-0.14	7.69	71
3156,50	0.91	1.28	0.91	-0.44	8.12	84
3159,50	1.47	2.35	1.47	1.78	29.62	93
3161,50	1.13	2.25	1.13	0.69	13.54	85
3163,70	1.00	2.12	1.00	0.55	10.02	81
3164,80	2.05	2.24	2.05	0	112.90	98
3166,00	1.31	2.18	1.31	0.12	20.74	89
3166,45	1.10	1.95	1.10	-0.17	12.70	83
3169,65	1.27	1.81	1.27	-0.12	18.59	90

Annexe 2

Tableau 4 : les calculs des diagrammes

Cotes (m)	diagramme de fonction discriminante de Bhatia		diagramme de discrimination de Roser et Korsch		Diagramme fonctionnel discriminant pour les signatures de provenance d'après Roser et Korsch	
	F1	F2	SiO_2	Log (K_2O/Na_2O)	F1	F2
3154,30	-5.55	5.90	60.31	0.13	7.68	-10.92
3156,50	-3.58	6.00	64.2	0.44	3.66	-8.89
3159,50	-3.27	3.73	82.05	-1.78	-2.02	-5.97
3161,50	-5.03	1.35	80.6	-0.69	0.25	-8.96
3163,70	-6.00	2.80	66.02	-0.55	6.22	-10.72
3164,80	-4.23	2.44	94.84	0	-7.52	-7.25
3166,00	-5.43	2.38	83.4	-0.12	-2.28	-8.80
3166,45	14.72	21.80	64.91	0.17	4.70	-8.87
3169,65	-3.60	3.66	81.62	0.12	-1.63	-8.61

Tableau 5 : le minérale, sa composition chimique et ces éléments en traces

Le minéral et sa composition chimique	Ces éléments en traces
Le quartz SiO_2	Al, Li, B, Fe, Mg, Ca, Ti, Rb, Na, OH.
La pyrite FeS_2	Ni, Co, As, Cu, Zn, Ag, Ti, Se et V.
La sidérite $FeCO_3$	Mg, Mn, Ca, Co, Zn.
Le Mica	Mn; Ti; Li; Ba; Na; Sr; Cs; Fe; Cl. Cr, Li, Fe, V, Mn, Na, Cs, Rb, Ca, Mg
la chlorite $(Fe,Mg,Al)_6(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$	Cr, Ni, Ti.
L'halite $NaCl$	I, Br, F, Fe, O, Si.
L'hématite Fe_2O_3	Ti, Al, de Mn et H_2O

Annexe 2

Tableau 6 : les concentrations des éléments chimiques de la FX en gramme %

	<i>Les éléments en % massique</i>								
<i>Profondeur</i>	<i>3154.3 m</i>	<i>3156.5 m</i>	<i>3159.5 m</i>	<i>3161.5 m</i>	<i>3163.7 m</i>	<i>3164.8 m</i>	<i>3166 m</i>	<i>3166.45 m</i>	<i>3169.65 m</i>
N°	<i>Echt 1</i>	<i>Echt 2</i>	<i>Echt 4</i>	<i>Echt 5</i>	<i>Echt 6</i>	<i>Echt 7</i>	<i>Echt 8</i>	<i>Echt 9</i>	<i>Echt 10</i>
Na	0.21	0.20	1.35	0.18	0.34	0.007	0.06	0.074	0.06
Al	2.07	2.09	0.73	1.57	1.74	0.22	1.06	1.35	1.16
P	0.10	0.17	0.034	0.026	0.05	0.013	0.017	1.174	0.10
K	0.33	0.62	0.024	0.041	0.107	0.0083	0.05	0.124	0.1
Ti	0.23	0.40	0.06	0.072	0.15	0.06	0.24	0.107	0.10
Fe	13.27	10.04	4.77	6.32	11.99	1.238	5.5	9.44	5.39
Cr	0.007	0.005	0.0007	0.003	0.005	0.0007	0.0043	0.0007	0.0033
Mn	0.35	0.25	0.09	0.02	0.24	0.034	0.12	0.28	0.062
Ca	0.30	0.39	0.107	0.071	0.18	0.064	0.064	2.46	0.20
S	0.18	0.212	0.064	0.08	0.044	0.024	0.08	0.124	0.084
Si	26.38	28.08	35.89	35.26	28.88	41.49	36.50	28.4	35.70
Mg	0.65	0.53	0.24	0.42	0.60	0.066	0.36	0.5	0.33
Ba	0.116	0.009	0.017	0.0008	0.008	0.0008	0.0009	0.0009	0.0009
Sr	0.008	0.004	0.004	0.003	0.006	0.003	0.011	0.005	0.001

Tableau 7 : les concentrations des éléments chimiques (ppm) selon La SAA

Cotes (m)	Na	K	Mg	Cu	Fe	Ni	Mn	Co	Pb
3,154.30	1,21	1,96	1,228	20.03	82,88	81.70	2,34	52.50	55.70
3,156.50	1,32	2,59	1,147.	14.33	77,88	42.65	1,83	84.50	288.25
3,158.70	3,42	264	1,301	18.56	90,58	98.00	1,95	70.05	74.55
3,159.50	6,10	82.7	952	26.10	42,534	61.60	811	73.25	42.40
3,161.50	1,19	250.95	1,040	28.80	53,73	74.40	144	54.55	69.35
3,163.70	2,37	815.90	1,10	467.40	82,78	40.80	1,71	65.25	55.30
3,164.80	320	192.40	286	457.60	15,74	57.50	362	54.55	84.85
3,166.00	509	279.90	990	4.87	47,68	29.60	1,12	71.10	182.20
3,166.45	459	784.90	1,129	7.24	58,38	12.20	2,00	35.20	74.10
3,169.65	586	602.90	1,017	17.02	43,47	81.35	535	11.88	43.10

Annexe 2

Tableau : les paramètres pétro physiques de quelque profondeur

Cote	Perméabilité	Etat	Porosité	G/Densité
(m)	(mD)		(%)	(g/cc)
3154.37	<0,001		2.36	2.88
3156.89	<0,001		4.73	2.72
3158.68	<0,001		10.27	2.88
3159.54	0.022		2.72	2.50
3161.76	<0,001		7.53	2.85
3163.57	0.243		3.70	2.79
3165.46	<0,001		3.80	2.79
3165.87	56.200	Fissuré	9.05	2.70
3166.08	1.250	Fissuré	4.65	2.77
3169.70	0.281		2.20	2.71

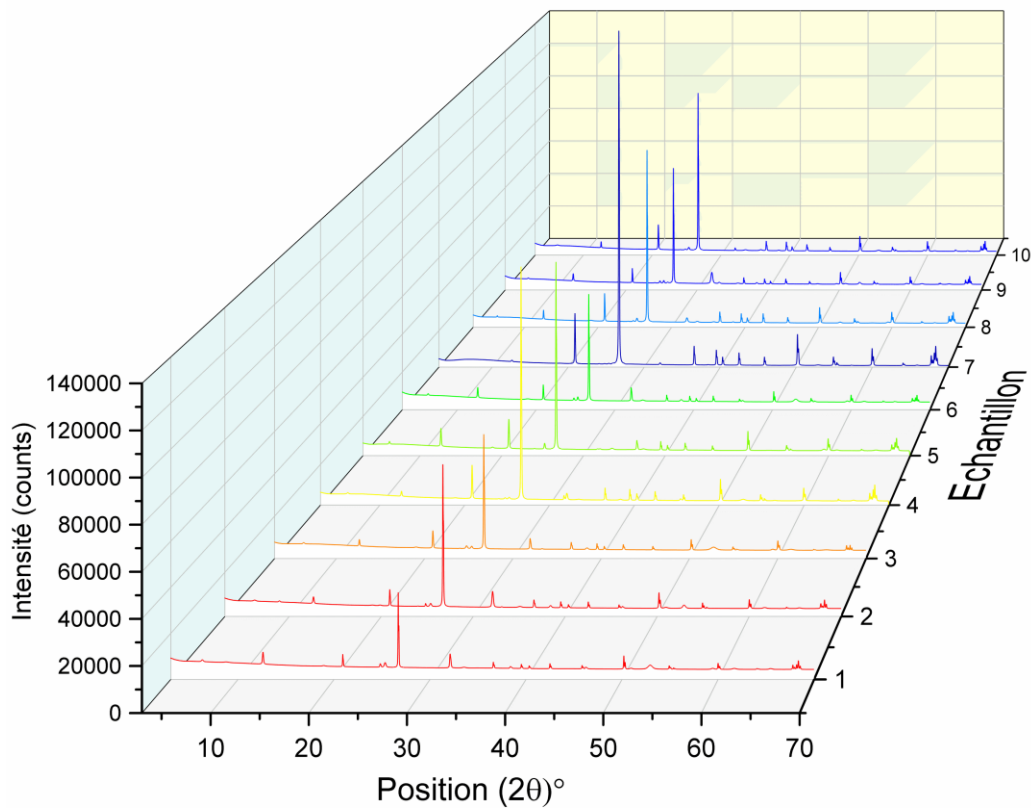


Figure qui montre les diffractogrammes des rayons X de les dix échantillons