

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie

Mémoire de Magister

Présenté par

LASMI Rachid

Filière : Ressources Minérales et Energétiques

Option : Recherche et Prospection
des Hydrocarbures et des Minéraux Utiles

Caractérisation des Quartzites de Hamra dans les gisements de Hassi Terfa, Hassi D'zabat et Hassi Guettar : Péetrophysique, Fracturation et Modélisation

Devant le jury:

Mr. SADAoui	Moussa	MC/A	UMBB	Président
Mr. BELHADI	Ahmed	MC/B	UMBB	Encadreur
Mr. CHAOUCHI	Rabah	MC/A	UMBB	Examineur
Mr. CHALAL	Youcef	MC/A	USTHB	Examineur
Mr. ASSES	Amar	MC/B	UMBB	Examineur

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie

Mémoire de Magister

Présenté par

LASMI Rachid

Filière : Ressources Minérales et Energétiques

Option : Recherche et Prospection
des Hydrocarbures et des Minéraux Utiles

Caractérisation des Quartzites de Hamra dans les gisements de Hassi Terfa, Hassi D'zabat et Hassi Guettar : Péetrophysique, Fracturation et Modélisation

Devant le jury:

Mr. SADAoui	Moussa	MC/A	UMBB	Président
Mr. BELHADI	Ahmed	MC/B	UMBB	Encadreur
Mr. CHAOUCHI	Rabah	MC/A	UMBB	Examineur
Mr. CHALAL	Youcef	MC/A	USTHB	Examineur
Mr. ASSES	Amar	MC/B	UMBB	Examineur

ملخص

يحتوي الحث الصواني لمنطقة الحمراء على كمية كبيرة من البترول ذات اهمية كبيرة وهو جزء من الطبقات الارذوفسية. الحث الصواني ذو كثافة كبيرة متميز بمسامية ضعيفة لكن رغم ذلك الا انه ذو انتاجية مهمة خاصة بحقول حاسي مسعود كحاسي قطار, حاسي طرفة, حاسي زعباط . التحدي المطروح هو كيفية تموضع البترول داخل هذه الطبقة وكيفية انتاجه وكذلك العوامل التي تتحكم في حركته بين مكونات الصواني (المسامات التشققات الموجودة به).

-حقل حاسي طرفة بعد دراسة كمية و نوعية التشققات الموجودة به بينت كل العينات المستخرجة من باطن الارض ان التشققات بها كانت معتبرة .

-حقل حاسي قطار بنسبة لهذا الحقل كانت التشققات ضعيفة او شبه منعدمة نظرا لارتفاع كثافته وكثرة التحولات الارضية التي طرأت عليه و انسداد التشققات بالملاحظة بالقرب من التصدعات الكبيرة..

-حقل حاسي زعباط بعض الابار التي حفرت كانت تشملها عدة انكسارات لعبت دورا مهما في هجرة البترول الشيء الذي يفسر عدم انتاجيته مثل بئر حاسي زعباط ثلاثة .

هذه التشققات تكون منسدة او نصف منسدة او مفتوحة .الانسداد يكون بسبب تواجد عدة معادن السليسيوم البيريت و بشكل محلي الطين او الاكسيدات كما ان الانسداد يكون مقترن بحركة السوائل المعدنية المختلفة لكن لا يشمل مجالا واسعا وكذلك يكون بطريقة منسجمة حيث يترك بعض الفراغات التي تسمح بحركة السوائل و الغازات.

فيما يخص دلالات التشققات التي احصيت في الحث الصواني مثل تمركز البوتاسيوم اليورانيوم والتوريوم حجم الطين و كثافة الصخور تسمح لنا هذه الاخيرة باستعمالها لتمييز الحث الصواني

النموذجية المستعملة لدراسة التشققات حقل حاسي طرفة اعطت نتائج مرضية حول توزيع كثافة التشققات و الاتجاهات الخاصة بتمركز العناصر (اليورانيوم ،البوتاسيوم والتوريوم)وكذلك تنطبق تماما على تمركز المسامية .

النتيجة الاكثر اهمية في هذا العمل هي وضع منهجية لدراسة خزان الحث الصواني لمنطقة الحمراء هذه المنهجية يجب تعميمها على الحقول المجاورة و اضافة اكبر قدر من المعطيات لتحقيق الاهداف المطلوبة.

كلمات أساسية: الحث الصواني لمنطقة الحمراء ، حقل حاسي زعباط،حقل حاسي قطار ،حقل حاسي طرفة، انشقاقات الانسداد ، النموذجية

Abstract

The quartzite of Hamra arouses a big interest seen the quantities in extracted and existing hydrocarbons within this ordovicienne formation. Quartzite been compact thus having low porosities. However their productivity is rather important, in particular in the circumference of Hassi Messaoud case of field Hassi Guettar, Hassi Terfa and Hassi D'zabat. A question « Challenge » remains composed since the revealing of hydrocarbon in this formation concerning its productivity and on the parameters which control the drainage (matrix and /or fissurale)

The qualitative and quantitative study of the natural fracturing of Quartzite Hamra in the licence of Hassi-D'zabat confirms that all the intervals are broken, with the exception of Hassi-Ghuettar where the fracturing is slow in non-existent. As well as an increase of the intensity of the deformation and the sealing is crossed by faults which would have played a major role in the dismigration of hydrocarbons, what explains the not productivity of these Wells in particular the Welle HDZ3.

The existence of cracks are generally sealed, semi sealed or not sealed. The type of sealing is generally of the pyrite, asphalt, silica, locally clay and the oxides. The sealing is connected to the circulation of the fluids charged in elements. However he cannot be made on a regional scale. Furthermore, the sealing cannot be homogeneous in the crack what can leave spaces intra fissurales not sealed allowing the passages and the circulation of the fluids.

The indicators of fracturings (concentration in th thorium, potassium, uranium, volume of clay, density of the formation) can be used as means of characterization in quartzites.

A modelling by using a conditional simulation of the indicators of fracturings is applied to the field of Hassi-Terfa and it looked satisfactory results for the distribution of the intensity of fractures, the directions of concentration of radioactive element (Thorium, Potassium) so it stalls perfectly with the concentration of the porosity.

The results the most mattering in this work is the implementation of a methodology of study of the reservoir ordovicien (quartzites of Hamra). This methodology must be widened by integrating the maximum of available data.

Key words : Quartzite of Hamra, hassi Terfa feild, hassid'zabatfeild, hassi Guettar feild, fracturation, sealing, modelisation .

Résumé

Les quartzites de Hamra suscitent un grand intérêt pétrolier vu les quantités en hydrocarbures extraites et existantes au sein de cette formation ordovicienne. Les quartzites étant très compacts ayant donc de faibles porosités. Cependant leur productivité est assez importante, notamment au pourtour de Hassi Messaoud cas de gisement Hassi Guettar, Hassi Terfa et Hassi Dzabat.

Une question reste posée depuis la mise en évidence d'hydrocarbure dans cette formation concernant sa productivité et sur les paramètres qui contrôlent le drainage (Matricielle et /ou fissurale).

L'étude qualitative et quantitative de la fracturation naturelle des Quartzites de Hamra dans le permis de Hassi-Dzabat confirme que tous les intervalles carottés sont fracturés, à l'exception de Hassi-Guettar où la fracturation est faible à inexistante. Ainsi qu'une augmentation de l'intensité de la déformation et de colmatage est remarquée à proximité des failles majeures.

Certain Puits foré dans le gisement de Hassi Dzabat sont traversés par des faille qui auraient joué un rôle majeur dans la dimmigration des hydrocarbures, ce qui expliqué la non productivité de ces Puits notamment le puits HDZ3.

L'existence de fissures qui sont généralement colmatées, semi colmatées ou non colmatées. Le type de colmatant est en générale de la pyrite, le bitume, la silice et localement de l'argile et des oxydes.

Le colmatage est lié à la circulation des fluides chargés en éléments, cependant il ne peut se faire sur une échelle régionale. De plus, le colmatage ne peut être homogène dans la circulation des fluides.

Les indicateurs de fracturations (concentration en thorium, potassium, uranium, volume d'argile, densité de la formation ...) peuvent être utilisés comme moyen de caractérisation dans les quartzites.

Une modélisation en utilisant une simulation conditionnelle des indicateurs de fracturations est appliquée sur le champ de Hassi-Terfa et elle a donnée des résultats satisfaisants sur la distribution de l'intensité des fractures, les directions de concentration de la porosité.

Le résultat le plus important dans ce travail est la mise en place d'une méthodologie d'étude du réservoir ordovicien (quartzites de Hamra). Cette méthodologie devra être élargie en intégrant le maximum de données disponibles.

Mots clés : Quartzites de Hamra, Hassi Tefa, Hassi D'zabat, Hassi Guettar, fracturation, colmatage, modélisation,

Sommaire

Introduction générale.....	01
CHAPITRE I : GENERALITES	
I- Introduction.....	03
II- Cadre géologique du champ de Hassi Messaoud.....	07
II-1.Structuration et la stratigraphie du bassin triasique (Oued Mya).....	07
II-2.Intrusions infracambriennes.....	08
II-3.Evolution structurale.....	08
a- Les différentes phases tectoniques.....	08
a-1 Phase panafricaine.....	08
a-2 Phase de compression (Caradoc).....	08
a-3 Phase éocalidonniene précoce.....	08
a-4 Phase calidonniene majeure.....	08
a-5 Phase hercynienne.....	09
a-6 Phase alpine autrichienne.....	09
a-7 Phase atlasique (Eocene).....	09
III- Sédimentologie du cambrien et d'Ordovicien de Hassi Messaoud.....	11
1 Le Cambrien Ra.....	12
2 Lithologie du Ra.....	12
3 Le Cambrien Ri.....	12
4 La zone des alternances.....	13
5 L'Ordovicien.....	13
6-La subdivision en séquences du Cambrien supérieur et de l'Ordovicien de Hassi Messaoud.....	16
IV- Stratigraphie de la région d'étude.....	18
1. Introduction.....	18
2. Cadre géographique de la région d'étude.....	19
3. Cadre géologique de la région d'étude.....	19
4. Aspect stratigraphique.....	19
4-1. Le Cénozoïque.....	19
4-2. Le Mésozoïque.....	19
4-3. Le Paléozoïque.....	19
5 - Corrélations stratigraphiques entre les puits.....	20
6- Caractérisation des lithofaciès.....	26
7 - Caractérisation des électrofaciès.....	26
8 - Cartographie du réservoir.....	28

Chapitre II : PETROGRAPHIE ET SEDIMENTOLOGIE

1. Introduction.....	30
2. Objectifs.....	30
3. Méthodologie.....	31
4. Base de données.....	32
5. Etude sur carottes.....	33
6.Description de carottes.....	34

7. Lithologie des Puits étudiés.....	36
a. Puits L.....	36
b. Puits E.....	36
c. Puits H.....	37
d. Puits I.....	37
e. Puits A.....	37
f. Puits B.....	38
8. Données de lithofaciès	40
9. Pétrographie des Quartzite de Hamra	40
9.1. Aspect généraux	40
9.2. Composant détritiques.....	41
9.3. Composant détritique dont l'origine est indéterminée.....	42
9.3.1. Les feldspaths	42
9.3.2. La pseudo matrice.....	42
9.3.3. Les argiles détritiques	43
9.3.4. Micas et minéraux lourd.....	43
9.4. Composants antigéniques.....	43
9.4.1. Ciment quartzeux.....	43
9.4.2. Les carbonates.....	47
9.4.3. Les argiles	47
9.4.3.1. L'Illite	47
9.4.3.2. La chlorite.....	47
9.4.3.3. La Kaolinite.....	49
9.4.3.4. Les interstatifiés	50
9.4.3.5. La glauconite	50
9.4.4. Composants en traces.....	51
9.4.4.1. La Pyrite	51
9.4.4.2. Le Gypse	51
9.4.4.3. L'Halite	51
9.5. Caractéristiques minéralogiques des Puits.....	53
a. Puits E :.....	53
b. Puits C	54
10. Aspects diagénétiques.....	55
10.1. La maturité texturale des Quartzite de Hamra au pourtour de Hassi Messaoud.....	55
10.2. Enfouissement diagénétique des grès.....	55
10.3. La kaolinite dans la diagenèse des grès.....	55
10.4. Illitisation durant l'enfouissement diagénétique des grès.....	56
10.5. La reconstitution de séquence diagénétique des Quartzite de Hamra au pourtour de Hassi Messaoud	58
11. Mesures pétrophysiques.....	62
11.1. Préparation des échantillons.....	62
11.2. Procédures de mesures.....	62
a. Pétrophysiques en conditions ambiantes.....	62
a.1. Perméabilité	62
a.2. Porosité.....	62
a.3. Masse spécifique.....	62
b. Pétrophysiques sous contraintes.....	62
b.1 ; Perméabilité	62
b.2. Porosité.....	62
12. Analyse de porosité et perméabilité.....	63
12.1. Variation de porosité et perméabilité.....	63
a. Puits B.....	63
b. Puits C.....	63
c. Puits E.....	63
d. Puits I.....	66

e. Puits H.....	66
f. Puits L.....	66
12.2. Analyse Statistique	66
12.2.1 Analyse des histogrammes	66
12.3. Corrélation porosité / perméabilité.....	68
12.3.1 Porosité et perméabilité du Puits X1	69
12.3.2 Corrélation Porosité / Perméabilité du Puits X1.....	69
12.3.3 Porosité et perméabilité du Puits X2.....	70
12.3.4 Corrélation Porosité / Perméabilité du Puits X2.....	71
12.3.5 Corrélation entre Porosité / Perméabilité de l'ensemble des Puits de la Zone A.	71
12.3.6 Porosité et perméabilité du Puits X3.....	72
12.3.7 Corrélation Porosité / Perméabilité du Puits X3.....	72
12.3.8. Corrélation entre porosité / perméabilité de l'ensemble des Puits de la Zone B.	73
12.3.9 Porosité et perméabilité du Puits X4.....	74
12.3.10 Corrélation Porosité / Perméabilité du Puits X4.....	75
12.3.11 Corrélation entre porosité / perméabilité de l'ensemble des Puits de la Zone C.	75
13. Conclusions de l'analyse des mesures de porosité et perméabilité.....	76

Chapitre III : ANALYSE DE LA FRACTURATION

I. Introduction.....	77
I-1.Les fractures.....	77
I-1-A.Fractures naturelles.....	77
I-1-B- Fractures indéterminées.....	81
I-1-D-Les Colmatants (ou minéralisation).....	85
II. Résultats par Puits.....	87
III- Analyse des données de fractures.....	114
III-1. Classification des Puits.....	114
III-2 Distribution des fractures dans les Quartzite de Hamra.....	115
III-2.1.Distribution verticale des types et de l'intensité des fractures dans les.....	115
Quartzites de Hamra	
III-2 .1.1 Analyse de la zone N, A, B et C.....	115
III-2.2.Distribution verticale et de l'intensité des fractures dans les Quartzites ..	116
de Hamra avec le type de colmatant	
III-2.3. Distribution horizontale des types et de l'intensité des fractures dans les..	121
Quartzites de Hamra	
III-3. Synthèse cartographique de la fracturation.....	121
III-4. Corrélation entre faciès et types de fractures.....	124
IV-Analyse des données de stylolitisation.....	127
IV-1. Distribution latérale de l'intensité de stylolitisation dans les quartzites de Hamra.	127
IV-2. Distribution verticale de l'intensité de stylolitisation dans les quartzites de.....	127
Hamra	
V. Conclusion.....	130

CHAPITRE IV : MODELISATION

IV. Etablissement du modèle 3D.....	131
IV.1. Introduction.....	132
IV.2. Simulation conditionnelle.....	132
IV.3. Modélisation des éléments géologiques.....	133
IV.4. Préparation des fichiers.....	133
IV.4.1. Ficher Marqueurs.....	133
IV.4.2. Ficher logs.....	133
IV.4.3. Variogramme.....	134
IV.4.4. Calcul de la fonction de distribution.....	134
IV.4.5. Maillage (Gridding).....	134
IV.4.6. Modélisation.....	135
IV.4.6.1. Résultats de la modélisation.....	135
a. Modèle de GR.....	135
b. Modèle de VSH.....	135
c. Modèle de Thorium.....	136
d. Modèle de potassium.....	136
e. Modèle du Potentiel photoélectrique (PEF).....	136
f. Modèle de porosité Log.....	137
IV.4.6.2. Commentaire sur les modèles.....	137
IV.4.6.3. Modèle de fracturation.....	137
Conclusion sur le modèle de fracturation.....	145
IV.4.6.4. Modèle de fracturation de la zone B.....	145
a. Maillage (Gridding).....	145
b. Commentaire sur le modèle de fracturation.....	146

CONCLUSION GENERALE

a. Lithologie.....	147
b. Minéralogie.....	147
c. Pétrophysique.....	148
d. Capillaire et électrique.....	149
e. Prométrie.....	149
f. Fracturation	149
g. Modélisation.....	151

Liste des figures (Chapitre I)

Fig I.1	Carte de la zonalité géostructurale de la couverture sédimentaire.....	04
Fig I.2	Ecorché Géologique à la Discordance post hercynienne.....	05
Fig I.3	Situation de la région d'étude.....	06
Fig I.4	Cambrien et l'Ordovicien de Hassi Messaoud (d'après document Sonatrach,2005).....	14
Fig I.5	Coupe type des Quartzite de Hamra (D'après Beicip flanlab, 2007).....	17
Fig I.6	Corrélation stratigraphique des formations paléozoïques pour les zone A et B..... (d'après Ouahrani Lounas, 2005)	24
Fig I.7	Corrélation stratigraphique des formations paléozoïques pour les les zones A et B d'après Ouahrani Lounas, 2005)	25
Fig I.8	Liste des différents lithofaciès observés dans les Quartzite de Hamra.....	27
Fig I.9	Carte en isopaque des Quartzite de Hamra.....	29

Liste des figures (Chapitre II)

Fig II.1	Plan de situation des champs A, B et C.....	31
Fig II.2	Situation du bloc 427.....	32
Fig II.3	Composant détritiques du Puits H.....	41
Fig II.4	Composant détritiques du Puits C.....	41
Fig II.5	Composant détritique dont l'origine est indéterminée du Puits E.....	42
Fig II.6	Composant détritique dont l'origine est indéterminée du Puits E et L.....	44
Fig II.7	Composant détritique dont l'origine est indéterminée du Puits A.....	44
Fig II.8	Composant détritique dont l'origine est indéterminée du Puits A. I et B.....	45
Fig II.9	Composant détritique dont l'origine est indéterminée du Puits H et B.....	45
Fig II.10	Composants antigéniques du Puits H, L et E.....	46
Fig II.11	Composants antigéniques du Puits H, L et E.....	46
Fig II.12	Composants antigéniques du Puits H.....	47
Fig II.13	Photographie illustrant Les carbonates.....	48
Fig II.14	Photographie illustrant La chlorite.....	48
Fig II.15	Photographie illustrant L'illite.....	48
Fig II.16	Histogramme des valeurs moyennes des différents constituants et de la granulométrie	49
Fig II.17	Photographie illustrant la kaolinite.....	49
Fig II.18	Altération de micas en kaolinite.....	50
Fig II.19	Photographie illustrant La glauconie et les dépôts phosphatés.....	50
Fig II.20	Observation au microscope électronique à balayage de cristaux de pyrite.....	51
Fig II.21	Observation au microscope électronique à balayage d'une cristallisation de gypse en rosaces	52
Fig II.22	Observation au microscope électronique à balayage de la dissolution de l'halite.....	52
Fig II.23	Variation verticale des différents composants minéralogiques du puits E.....	53
Fig II.24	Variation verticale des différents composants minéralogiques du puits C.....	54
Fig II.25	Un schéma idéalisé de processus d'illitisation dans les grès.....	57

Fig II.26	Observation au microscope électronique MEA à balayage montrant différents stades de transformation des feldspaths en chlorite	59
Fig II.27	Observation au microscope électronique à balayage MEB de corrosion du Quartz et de silice de nourrissage	60
Fig II.28	Schémas idéalisés de chronologie des événements de diagenèse dans le réservoir gréseux	61
Fig II.29	Profil des porosités des différents puits en fonction des niveaux carottés.....	64
Fig II.30	Profil des perméabilités des différents puits en fonction des niveaux carottés.....	65
Fig II.31	Histogrammes de porosité et perméabilité dans la zone A.....	67
Fig II.32	Histogrammes de porosité et perméabilité dans la zone B.....	67
Fig II.33	Histogrammes de porosité et perméabilité dans la zone C.....	68
Fig II.34	Porosité et perméabilité du Puits X1.....	69
Fig II.35	Corrélation Porosité / Perméabilité du Puits X1.....	69
Fig II.36	Porosité et perméabilité du Puits X2.....	70
Fig II.37	Corrélation entre Porosité / Perméabilité de l'ensemble des Puits de la Zone A.....	71
Fig II.38	Corrélation Porosité / Perméabilité du Puits X2.....	71
Fig II.39	Porosité et perméabilité du Puits X3.....	72
Fig II.40	Corrélation Porosité / Perméabilité du Puits X3.....	72
Fig II.41	Corrélation entre porosité / perméabilité de l'ensemble des Puits de la Zone B.....	73
Fig II.42	Porosité et perméabilité du Puits X4.....	74
Fig II.43	Corrélation Porosité / Perméabilité du Puits X4.....	75
Fig II.44	Corrélation entre porosité / perméabilité de l'ensemble des Puits de la Zone C.....	75

Liste des figures (Chapitre III)

Fig III.1	Faciès à cracks et fracture type 'X' dans les Puits : N, F, B.....	78
Fig III.2	Fracture type 'Y' dans les Puits B et S.....	79
Fig III.3	Fracture type 'S' dans les Puits T et T2.....	80
Fig III.4	Fracture type 'S' et joints stylolitiques dans les Puits T3, D et T4.....	82
Fig III.5	Fractures type 'Z' associées à des minéralisations dans les Puits T.....	83
Fig III.6	Fractures types 'Z' et 'U' dans les Puits D, P et I.....	84
Fig III.7	Stries de déplacement dans les Puits Q et T5.....	86
Fig III.8	Brèche, fracture type 'Z' et Stries de déplacement bancs sur banc dans les Puits D et N.	90
Fig III.9	Bèche avec fracture type 'Z' dans les Puits D.....	98
Fig III.10	Fracture type 'Z' dans les Puits F et P.....	101
Fig III.11	Fracture type 'Z' cimentée par la pyrite.....	111
Fig III.12	Evolution verticale de la fissuration (a) et le type de colmatant (b) ; Puits E.....	117
Fig III.13	Evolution verticale de la fissuration (a) et le type de colmatant (b) ; Puits L.....	117
Fig III.14	Evolution verticale de la fissuration (a) et le type de colmatant (b) ; Puits Q.....	118
Fig III.15	Evolution verticale de la fissuration (a) et le type de colmatant (b) ; Puits H.....	118
Fig III.16	Evolution verticale de la fissuration (a) et le type de colmatant (b) ; Puits B.....	119
Fig III.17	Evolution verticale de la fissuration (a) et le type de colmatant (b) ; Puits A.....	119
Fig III.18	Evolution verticale de la fissuration (a) et le type de colmatant (b) ; Puits A.....	120
Fig III.19	Intensité de fracturation pour chaque Puits déterminée à partir des carottes et de fiche carotte	123
Fig III.20	Corrélations entre électro-faciès et types de fractures.....	125
Fig III.21	Corrélations entre électro-faciès et type de fractures.....	126
Fig III.22	Intensité de stylolitisation pour chaque Puits déterminée à partir des carottes et des fiche carottes.	129

Liste des figures (Chapitre VI)

Fig VI.1	« Areal » variogramme.....	134
Fig VI.2	Variogramme verticale.....	134
Fig VI.3	Variogramme horizontal.....	134
Fig VI.4	fonction de distribution CDF Porosité.....	134
Fig VI.5	Maillage 3D.....	135
Fig VI.6	Modèle 3D du Gamma Ray.....	138
Fig VI.7	Modèle 3D du Vsh.....	138
Fig VI.8	Modèle 3D du thorium.....	139
Fig VI.9	Modèle 3D du potassium.....	139
Fig VI.10	Modèle 3D du PEF.....	140
Fig VI.11	Modèle 3D de la porosité.....	140
Fig VI.12	Modèle 3D de la distribution de l'intensité de la fracturation.....	141
Fig VI.13	Carte de distribution de porosité des différents niveaux de la zone A.....	142
Fig VI.14	Carte de distribution de l'intensité de fracturation des différents niveaux de la zone A.....	143
Fig VI.15	Modèle de distribution de l'intensité de fracturation de la zone B.....	144
Fig VI.16	Carte structurale au toit de la discordance hercynienne (DH).....	145

Liste des Tableaux (Chapitre I)

Tab I.1	Phases tectoniques majeurs du Sahara Central (D'après BOUDJEMAA 1987).....	10
---------	--	----

Liste des Tableaux (Chapitre II)

Tab II.1	Débits Initiaux des Puits Etudiés.....	30
Tab II.2	Limites des Quartzites de Hamra.....	32
Tab II.3	Intervalles Carottés des Quartzite des Hamra	32
Tab II.4	Statistiques de la porosité et perméabilité dans la zone A	67
Tab II.5	Statistiques de la porosité et perméabilité dans la zone B.....	67
Tab II.6	Statistiques de la porosité et perméabilité dans la zone C.....	68

Liste des Planches (Chapitre III)

Planche .III.1	Description des carottes pour la fracturation du Puits N.....	89
Planche .III.2	Description des carottes pour la fracturation du Puits B.....	92
Planche .III.3	Histogrammes des fractures ouvertes, partiellement ouvertes et cimentées du Puits B	93
Planche .III.4	Description des carottes pour la fracturation du Puits D.....	96
Planche .III.5	Description des carottes pour la fracturation du Puits L.....	97
Planche .III.6	Histogrammes des fractures ouvertes, partiellement ouvertes et cimentées du Puits P	100
Planche .III.7	Description des carottes pour la fracturation du Puits I.....	102
Planche .III.8	Histogrammes des fractures ouvertes, partiellement ouvertes et cimentées du Puits I	103
Planche .III.9	Description des carottes pour la fracturation du Puits F.....	105
Planche .III.10	Histogrammes des fractures ouvertes, partiellement ouvertes et cimentées du Puits F	106
Planche .III.11	Description des carottes pour la fracturation du Puits Q.....	109
Planche .III.12	Description des carottes pour l'ensemble des Puits.....	110
Planche .III.13	Distribution verticale des types et de l'intensité des fractures dans les Quartzites de Hamra	111
Planche .III.14	Distribution verticale des types et de l'intensité des fractures dans les Quartzites de Hamra.	112
Planche .III.15	Distribution verticale des types et de l'intensité des fractures dans les Quartzites de Hamra.	113
Planche .III.16	Répartition verticale de la fracturation dans les Quartzites de Hamra.....	122
Planche .III.17	Répartition verticale de la stylolitisation dans les Quartzites de Hamra.....	128

Remerciements

Ce mémoire n'aurait vu le jour sous cette forme sans la participation active, a tout les stades de son exécution, de Monsieur A.Belhadi, Non seulement il ma prodiguer des bon conseils, mais grâce son excellent rapports humains m'a apporter sa chaleur amitié.

Monsieur LOUMI, fut l'un des professeurs, qui m'ont donné un vrai amour pour la géologie, notamment la géologie de surface, ont faisant une mission de terrain a Bousaada dans le cadre de préparation de l'année théorique en magistère et grâce a sont excellent bagage scientifique, je me suis retrouver a travailler sur la fracturation des tight, réservoirs, ainsi il a accepté d'apporter des corrections utiles pour mon mémoire en chapitre analyse de fracturation. Pour cela je le remercie vivement.

Toute ma reconnaissance à Monsieur, M. MEDAOURI ingénieur Sonatrach, et Mm. SELMANE. S du centre de recherche et de développement CRD de Boumerdes, qui m'ont encouragé et porté un grand intérêt a mon travail, on me facilitant l'axe au données nécessaires pour effectuer mon travail dans les temps opportuns, ils ont aussi apporté tout le soutiens morale, scientifique et logistique, des discussions scientifique sur la géologie de Hassi Messaoud furent fructueuses et bénéfiques. Ils étaient associés au choix du sujet et ont suivis progressivement toutes son évolution. Je les remercie très sincèrement.

J e tiens à remercier particulièrement Monsieur H. HADOUM, qui a mis a ma disposition toutes les thèses et tout les mémoires nécessaire pour la documentation bibliographique.

En fin, je tiens à remercier Monsieur, M.SADAoui, R. CHAOUCHI, Y. CHALAL, A. ASSAS et je suis heureux de les compter dans mon Jury.

INTRODUCTION GENERALE

Ce projet a été initié par la DRE (Département Bassin Amguid Messaoud) et le CRD (Laboratoire Roche Réservoir et Sédimentologie), afin de comprendre et d'expliquer les hétérogénéités qui contrôlent la productivité du réservoir ordovicien dans le permis de Hassi-Dzabat au Sud Est du dôme de Hassi Messaoud

Le gisement de Hassi Messaoud correspond à un vaste dôme, érodé dans sa partie sommitale. Il s'étend sur une superficie de l'ordre de 20000 km² sur un trend régional de direction N-S, situé au centre de la province triasique. Sa structuration est le résultat d'une histoire géologique et paléo-tectonique très complexe.

A la suite des découvertes d'huile dans les Quartzites de Hamra (Réservoir Ordovicien) aux puits HGA-1, 3 et RDC4 est venues s'ajouter d'autres découvertes au niveau des puits installés sur l'axe HTF – HDZ, ces découvertes ont non seulement confirmé des hypothèses sur l'existence de biseau ordovicien autour de ce gisement, mais aussi l'immense potentialité que peut receler cette unité réservoir du play.

Les quartzites de Hamra suscitent dans un grand intérêt pétrolier vu les quantités en hydrocarbures extraites et existantes au sein de cette formation ordovicienne. Les quartzites étant très compactes ayant donc de faibles porosités. Cependant leur productivité est assez importante, cas du puits HGA2 qui a produit 14m³/h en 1995, pendant que les mêmes niveaux dans certains puits s'avèrent non productifs, cas des puits (HTF3, HDZ1 et HDZ3) .

Une question « challenge » reste posée depuis la mise en évidence d'hydrocarbure dans cette formation concernant sa productivité et sur les paramètres qui contrôlent le drainage (matricielle et/ou fissurale).

Trois gisements ont été ciblés zone A, B et C dans le but d'une :

- Caractérisation de la roche réservoir (quartzites de Hamra) dans les champs de la zone A, zone B et zone C à partir des paramètres qui contrôlent la productivité matricielle et/ou fissurale.
- Réflexion sur l'établissement d'un modèle de fracturation.

Cependant, la mise en évidence des pièges associées à ce type de play nécessite une meilleure compréhension du bâti structural, ainsi sur les paramètres qui contrôlent le drainage (matricielle et/ou fissurale) de la zone à étudiée. Le choix d'une évaluation de l'axe structural de la zone A et B est dicté par l'importance de cet axe jugé très perspectif où presque l'ensemble des puits forés a mis en évidence l'existence d'accumulation d'huile.

La fracturation est une des manifestations de l'activité tectonique de la région. Elle est d'autant plus marquée que cela concerne les formations silico-clastique tels que les réservoirs Cambro-Ordoviciens très favorables à une tectonique cassante. .

A l'échelle régionale, la fracturation avec déplacement est détectable par la prospection géophysique grâce à laquelle, les failles peuvent être visibles sur les sections sismiques et

gravimétriques. Elles peuvent être également déduites de l'interprétation structurale à partir des données de forage.

Des réseaux de fractures se développent au voisinage des failles. Leur densité et leur géométrie peuvent être déterminées grâce à l'observation directe des carottes et l'utilisation des outils d'imagerie.

L'exploitation du champ de Hassi-Messaoud a montré qu'il existe une relation entre le facteur structural et les performances des puits. Selon que ces fractures sont vides colmatées leur effet peut être bénéfique ou néfaste sur la perméabilité et, partant sur la productivité des puits. Aussi, la précision du modèle structural du gisement aussi que la connaissance des conséquences de la fracturation résultant d'accidents tectonique sur les propriétés des réservoirs sont plus que jamais fondamentales pour envisager la poursuite du développement du champ de manière efficace et rationnelle.

L'établissement du modèle de fracturation en utilisant une simulation conditionnelle confirme que la fracturation :

- Se concentre selon les directions de failles majeures.
- Coïncide avec les directions de concentration d'éléments radioactifs (Thorium, Potassium)
- Cale avec la concentration de la porosité.

A la lumière des données de la fracturation obtenues soit sur des cartes et des écorchés ou sur carottes, on essayera de montrer l'influence et l'impact de cette dernière sur la production du réservoir ordovicien des Quartzites de Hamra productive d'huile.

I-Introduction

Le champ de Hassi Messaoud fait partie du bassin triasique, ceci se situe au Nord – Est de la plate forme saharienne, cette dernière est limitée, au Nord, par la chaîne de l’anti atlas et, au Sud, par les boucliers Reguibat et Touareg.

Le bassin triasique saharien est un bassin intracratonique. La subsidence guidée par l’héritage structural prés-mésozoïque, débute au Trias supérieur. Les principaux accidents affectant le substratum anté-mésozoïque ont rejoués en fonction de l’état général des contraintes tectoniques, liées souvent au mouvement des plaques : Afrique, Eurasie et Amérique. (Arezki BOUDJEMA, 1987)

La première partie de ce travail après le chapitre généralités consiste à analyser les aspects sédimentologiques et pétrographiques, à partir des données disponibles (carottes, diagraphie, données pétrophysiques), de la partie Sud Ouest de gisement de Hassi Messaoud qui comporte, les gisements satellites de Hassi Guettar, Hassi Terfa et Hassi Dzabat. Toutes les étapes de l’évolution des faciès des Quartzites de Hamra au cours l’Ordovicien sont mises en évidence.

Une deuxième partie aborde l’étude de la fracturation au niveau du réservoir Quartzite d’El HAMRA au pourtour de champs de Hassi Messaoud, et son influence sur les propriétés pétrophysiques du réservoir.

La troisième partie est consacrée pour la réalisation du modèle de fracturation en 3D en utilisant une méthode statistique de base (simulation conditionnelle) qui tiens compte de plusieurs paramètres qui seront l’objet d’étude dans le chapitre IV

Et enfin on termine avec une conclusion générale sur les différents aspects étudiés pour une meilleure approche d’une étude de la fracturation et de caractérisation des champs pétroliers au pourtour de Hassi Messaoud.

II-Cadre géologique du champ de Hassi Messaoud

Le rôle de Hassi Messaoud est le résultat d’une histoire paléotectonique assez compliquée, c’est le prolongement de la dorsale d’Amguid El Biod de plus de 800 km de long. Sa structure fait partie d’un ensemble de structures formant la province triasique Nord Orientale ; limitée au Nord par la structure D’jamaâ -Touggourt ; à l’Est, par la dépression de Ghadamès ; à l’Ouest, par la dépression de Oued Mya, au Sud, par le horst d’Amguid (Fig.I.1)

Selon les résultats des premiers travaux .R.BOUCHON.1959 in A. BOUDJEMA 1987, qui retracent l’apport de la sismique réflexion à la reconnaissance géologique régionale ; mise en évidence de deux hauts fonds de Hassi R’mel et Hassi Massoud ; et par la suite en ; utilisant des données précises de stratigraphie et de faciès , elle permet l’établissement des cartes structurales (gisement de Hassi Messaoud). Les résultats de forage et de sismique réflexion révèlent l’individualisation d’un bassin Siluro-Dévonien dans la région occidentale et des

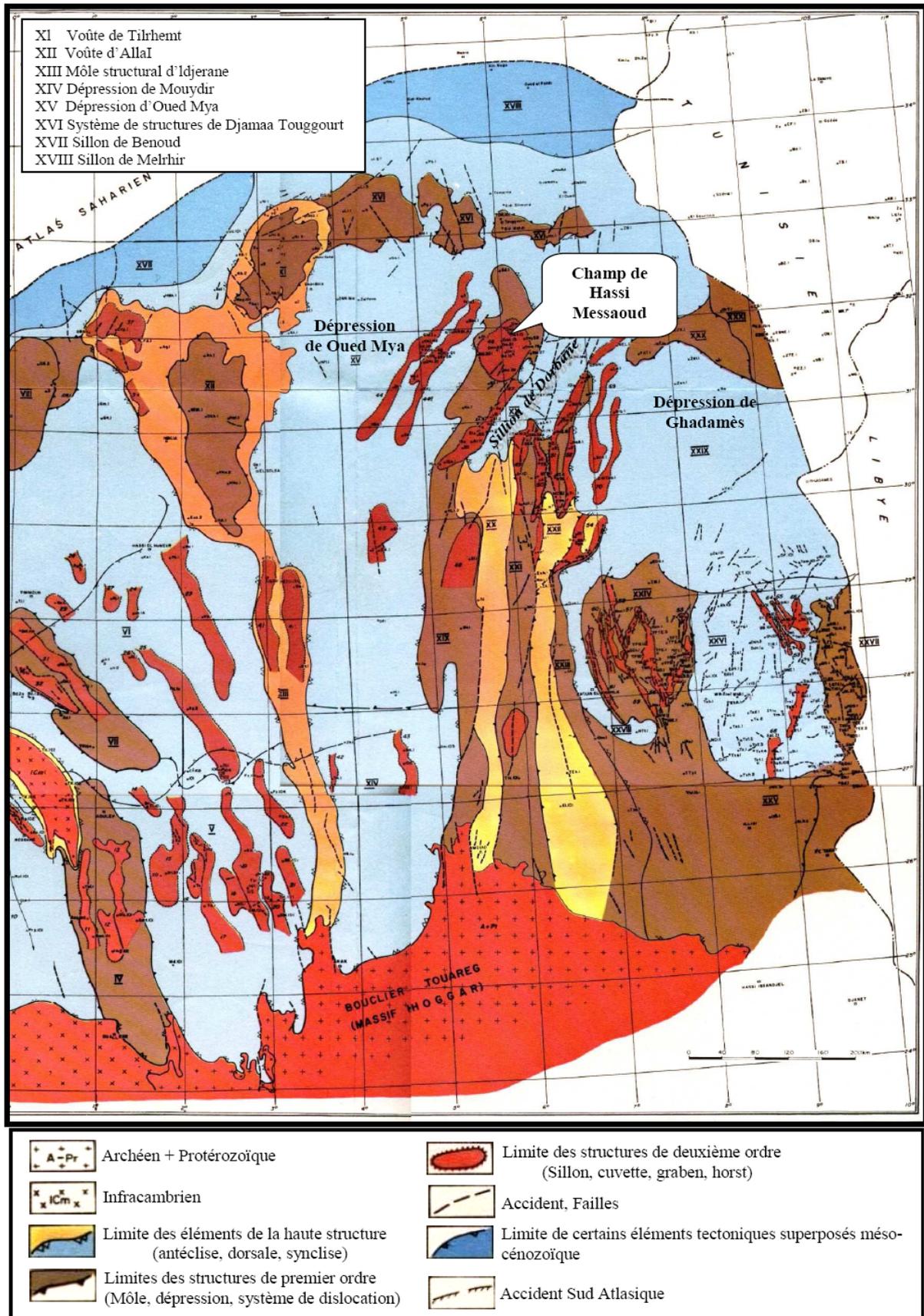


Fig.I.1 : Carte de la zonalité géostructurale de la couverture sédimentaire

bassins secondaires comportant une épaisse série salifère dans la partie orientale. Entre ces deux provinces, apparaît une zone centrale, qui semble être demeurée constamment en position haute, tant au cours du primaire que du secondaire. L'esquisse paléogéographique donnée par DJEROUIT.N (2000) en relief deux traits structuraux importants sur lesquels se situent le gisement de Hassi R'mel et le gisement de Hassi Messaoud (Axe haut régional de direction NNE-SSW) (Fig :I.2).

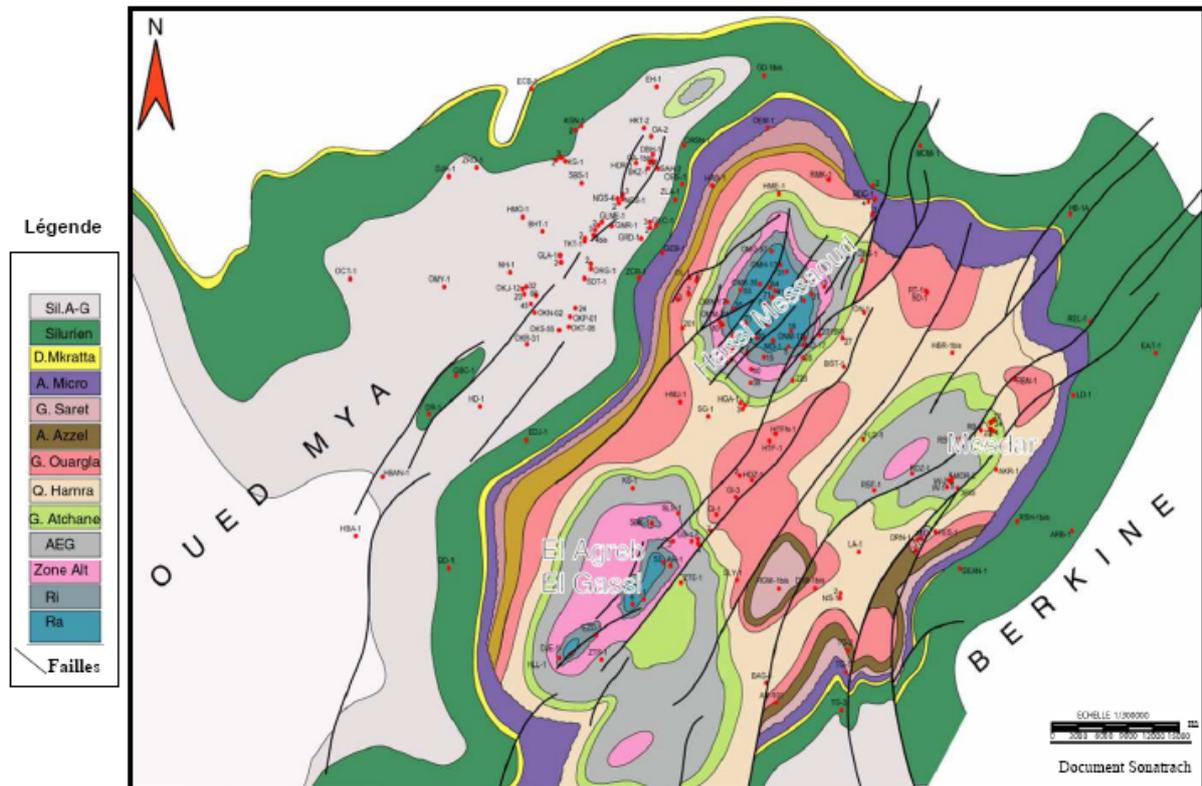


Fig.I.2 : Ecorché Géologique à la Discordance post hercynienne.

Le champ de Hassi Messaoud se situe à 800 km au Sud- Sud Est d'Alger et 350 km de la frontière tunisienne. Les dimensions du champ atteignent 2500 km² avec une surface imprégnée d'huile d'environ 1600 km².

Le gisement de Hassi Messaoud est considéré comme l'un des plus grand du monde, et le plus prospecté de la plate forme Saharienne (Fig :I.3), il est limité ;

- Au Nord-Ouest par le gisement de Guellala, Benkahla et Haoud Berkaoui.
- Au Sud-Ouest par le gisement d'El Gassi, Zoutti et El Agreb.
- Au Sud-Est par le gisement de Rourde- El-Bageul et Mesdar.
- A l'Est par le gisement de Ghadames.

Le champ de Hassi Messaoud demeure traditionnellement divisé en Hassi Messaoud Nord et Hassi Mesaoud Sud.

II-1. Structuration et la stratigraphie du bassin triasique (Oued Mya)

Le bassin triasique (Oued Mya) est une part du craton Nord Africain stable. Ce bassin a enregistré différents événements tectoniques et sédimentaire, ce qui lui attribut sa structure actuelle. Le bassin de Oued Mya possède une couverture sédimentaire épaisse de 5000 m. Les sédiments Cambrien sont représentés par d'épaisses séries de dépôts fluviatiles et d'environnement marin peu profond. Les dépôts sont déposés sur une surface de pénéplaine qui inaugurent la première couverture sédimentaire de la plate forme saharienne.

Dans la région de Hassi Messaoud, le Cambrien est composé de granite et de formation cristallophyllienne (BOUGCHICHE.K et TERZI.F (1997)

Le sahara algérien est envahit par une mer anoxique relativement profonde durant l'Ordovicien, suivit par une régression régionale à l'origine des dépôts continentaux et glaciaires.

Pendant la fin du Silurien, une autre élévation du niveau de la mer a eu lieu, sur l'Afrique du Nord, cependant, à l'orogénèse calédonienne le paysage géologique a acquis une nouvelle structure caractérisée par des hauts fonds régionaux.

Les grès et les argiles du Dévonien sont exclusivement déposés dans des conditions marine moins profondes (dans toute l'Afrique du Nord) BOUDELLA. A. (2004), ces sédiments incluent évidemment les constituants du Paléozoïque inférieur qui procure du matériel nécessaire à la sédimentation. Les sédiments silico-clastiques du Dévonien sont suivit d'un autre type de sédiment qui marque le milieu deltaïque et cela c'est durant le Carbonifère.

Dans tout les cas le Paléozoïque supérieur est absent ou presque dans la région de Hassi Messaoud, à cause de non préservation des dépôts qui est du à l'érosion hercynienne. Ailleurs Ces dépôts peuvent être aussi déposés avec une réduction des épaisseurs.

Les grands traits tectoniques sont orientés généralement NESW, ce qui est typique dans la région de Hassi Messaoud –El Agreb (Sonatrach, Wec, 1995).

L'érosion hercynienne augmente de la périphérie vers le centre du champ de Hassi Messaoud, sauf le réservoir R2 nous permet de définir la géométrie du Cambrien de part de sa continuité et son état de préservation.

II-2. Intrusions infracambriennes

L'intrusion d'un matériel volcanique dans le Cambrien caractérise la partie SW du champ de Hassid Messaoud.

Le type d'emplacement et d'extension vertical, horizontal des coulées volcaniques « Intrusives » sont peu connues jusqu'à maintenant. Ces intrusions intracambriennes sont néfastes à la production des hydrocarbures, car ces dernières peuvent épaissir le cambrien de 67 m, ce qui engendre une réduction des réservoirs productifs. Lorsque l'épaisseur du corps intrusif est inconnue, les forages horizontaux peuvent être très difficiles à réussir. Par ailleurs, les intrusions souvent accompagnées d'une silicification qui encore détériore le réservoir.

Les Dykes qui sont associés à des failles apparus spécialement dans des zones à grand accidents tectoniques. Les laccolithes apparaissent dans le SW du champ de Hassi Messaoud, et elles sont associées avec une structure en dôme. Les Sills apparaissent pratiquement dans le même niveau stratigraphique.

II-3. Evolution structurale

a) Les différentes phases tectoniques

L'évolution tectonique du Sahara Algérien est assez bien connue (Poulet et al 1962). En ce qui concerne le champ de Hassi Messaoud, il se localise sur le haut fond d'El-Biod. Cet élément n'est qu'une entité de la plate forme Saharienne, il a subi à plusieurs reprises des contraintes orogéniques et des déformations notables, (C.F.P (A). (1960) et Boudjemaa .A (1987). Le tableau (Tab I.1) résume chronologiquement les orogenèses passées qui sont à l'origine de la formation du dôme de Hassi Messaoud, et leurs effets sur le système de failles et sur la sédimentation.

a-1 PHASE PANAFRICAINNE :

Caractérisée par une tectonique cassante, résultant d'une collision continentale entre le craton Ouest africain rigide et le bloc Est africain plus plastique, suivi d'une érosion intense allant jusqu'au Cambrien et nivelle les structures et reliefs résultants de ces mouvements compressifs, conduisant à la formation d'une pédiplaine dite : infra-tassilienne DJERA. M (2001) et MARAGHNIA. A, TOUMI S.A (2003) qui traduit la fin de déformation du socle et le début de l'histoire cratonique du Sahara.

Ce régime compressif s'est converti en distensif, au Cambro-Ordovicien de direction NE-SW donnant naissance à des failles normales suivi d'une variation d'épaisseur et d'un volcanisme reflétant l'instabilité tectonique des séries cambro-ordoviciennes.

a-2 PHASE DE COMPRESSION (CARADOC) :

Cette phase est marquée par la formation de plis d'axes Nord-Sud et du soulèvement du bouclier Reguidat (Eglad) et Targui (Hoggar). Ce soulèvement est accompagné d'une érosion pouvant atteindre le socle- FABRE. J (1976).

a-3 PHASE EOCALÉDONIENNE PRECOCE (Anté-Trémadoc) =500 million d'années

Marquée par l'érosion anté Ri et faisant disparaître une partie du Ra dans la partie Sud de Hassi Messaoud. Elle intervient à la fin du dépôt du réservoir anisométrique Ra et serait suivie d'une formation de failles décrochantes de direction NE-SW ainsi que de volcanisme ou d'intrusions tardi-cambrienne.

a-4 PHASE CALÉDONIENNE MAJEURE : 400 million d'années

Cette phase est traduite par l'absence des sédiments d'âge Dévonien et caractérise toute la surface de l'axe El Biod.

a-5 PHASE HERCYNIENNE :225 à250 million d'années

Elle se manifeste par des contraintes de compression de direction Nord 120, responsable en majeure partie du schéma structural actuel dont l'ensemble des éléments structuraux est de direction NE-SW.

Les contraintes compressives de direction 120 E perpendiculaires aux accidents majeurs sont responsables du bombement de direction NE-SW et des jeux de failles de même direction compartimentant le réservoir en horsts et grabbens (TACHERIFT. N (2002))

Au cours de cette phase les traits d'évolution paléostratigraphique ne sont pas reproduits vu l'intense érosion hercynienne qui a affecté la plus grande partie du Paléozoïque. Cet épisode est suivi d'une phase de relaxation engendrant des grabbens triasique (Rifting).

a-6 PHASE ALPINE AUTRICHIENNE:110 million d'années (Crétacé inf)

Les mouvements précurseurs de cette phase se font détectés dès le Lias avec des phénomènes d'inversion tels que ceux observés sur la structure OBD.1 (Agreb Ouest). Son paroxysme est atteint à l'Aptien (érosion de l'Aptien dans le puits DH.1).

Cette phase est sub-synchrone à l'achèvement de la mise en place des hydrocarbures à Hassi Messaoud (MASSA.D, RULAND.M, THOUVENIN.J (1972)).

La mise en place des hydrocarbures a commencé au Lias et s'est poursuivie durant l'Albien et le Cénomaniens ; (du début du Jurassique et s'est poursuivie pendant le Crétacé.)

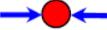
Correspondant à un raccourcissement Est- Ouest (mouvements compressifs), cette phase influe sur le réservoir en exerçant : - Un jeu inverse et décrochements dextres le long des failles sub-meridiennes.

- Une accentuation de la fermeture structurale du gisement

a-7 PHASE ATLASIQUE (EOCENE)

D'âge fin Eocène- Miocène, cette phase est compressive de direction NNE- SSW, se traduisant par une érosion locale des terrains Eocène et par une lacune au Miocène.

Cette phase est postérieure à la formation des hydrocarbures ; elle est donc probablement à l'origine des barrières de perméabilités dues à un décalage des niveaux réservoirs ce qui a favorisé la création de fracturations colmatées et a par conséquent, contribué à l'amélioration des caractéristiques pétrophysiques du réservoir (GAUTHIER.J.M (1978)).

PERIODE MAX D'ACTIVITE	DIRECTION DE LA CONTRAINE	EFFET SUR LE SYSTEME DE FAILLES	EFFET SUR LA SEDIMENTATION
POST-VILLAFRANCHIEN (Alpine)	N-S 	Basculement et inversion de blocs. Période finale de compression dans le domaine atlasique, événement majeur de collision.	Soulèvement du Hoggar. Basculement du bloc d'El Borma.
MIOCENE	NW-SE & N-S 	Episode de compression majeure dans le domaine atlasique	Sédimentation prédominante de flyshs au Nord.
EOCENE (Pyrénéenne)	N-S & NW-SE 	Début de chevauchements au Nord résultant de la convergence de la plaque africaine avec la plaque européenne. Décrochement de la faille S.Atlas.	
CRETACE INFERIEUR (Autrichienne)	E-W 	Réactivation des décrochements des failles N-S & NE-SW résultant du mouvement différentiel de la plaque européenne et de la plaque africaine.	Erosion des sédiments du Crétace sous l'Aptien (l'Arche d'El Biod & Illizi). Effet léger sur le bassin de Berkine.
RIFTING TRIAS-LIAS (Dislocation de la Pangée)	NW-SE 	Réactivation des failles NE-SW Se terminant au TAGS et S4	Contrôle de la sédimentation par les failles entraînant une variation rapide d'épaisseur le long des failles NE-SW.
CARBONIFERE SUP A PERMIEN (Hercynienne principale)	N 120° 	Mouvement inverse ou Décrochement le long des failles NE-SW (résultat de la formation de la Pangée).	Erosion sur les axes NE-SW.
WISEEN (Hercynienne précoce)	N 40° 	Mouvement inverse ou Décrochement le long des failles N-S. Début de formation de la Chaîne varisque.	- Erosion sur Tihemboka et Soulèvement de l'Ougarta.
FRANSIEN	NW-SE 	Mouvement normal le long des failles NE-SW.	-Non dépôt et érosion locale (môle d'Ahara). -Volcanisme.
CALEDONIENNE (Siluro-Dévonien)	E-W 	Mouvement inverse ou décrochement le long des failles N-S.	- Erosion le long des zones hautes d'orientation N-S & E-W (Tihemboka, Ahara)
TACONIQUE (Caradoc-Ashgilien)	E-W 	Mouvement inverse le long des failles N-S résultant. Formation de structure N-S	- Soulèvement des boucliers Réguibat et Touareg.
CAMRO-ORDOVICIENNE	NW-SE 	Mouvement normal le long des failles N-S	-Les variations de l'épaisseur sont contrôlées par les failles. -Basculement NW de la plateforme Saharienne. -Volcanisme.
PANAFRICAINE	E-W 	Tectonique cassante créant des failles et des fractures conjuguées NW-SE & NE-SW	-Compartimentation du craton du Sahara central.

Tab. I.1 : PHASES TECTONIQUES MAJEURS DU SAHARA CENTRAL (d'après BOUDJEMAA 1987)

III-Sédimentologique du cambrien et d'Ordovicien de Hassi Messaoud

Dans la région de Hassi Messaoud, existent des séries de paléozoïques (fig.I.4) qui incluent des fines successions ordoviciennes, ces dernières deviennent plus importantes on allant vers la périphérie, du champ.

La partie basale est le Cambro – Ordovicien, le reste du paléozoïques est composé essentiellement par des séries azoïques infracambriennes, ce sont des grès qui ne contiennent pas de formes fossiles, ce qui les rend difficile à dater SN REPAL. (1962).

Le Cambrien est assigné à ces séries de part sa position stratigraphique entre l'ordovicien marin et l'infracambrien.

D'après l'étude de BESSA Fadila, 2004 sur le Cambrien de Hassi Messaoud à partir d'une analyse détaillée des carottes, de la taille des grains (matrice de sédiment), et l'apparition des tiggillites dans les faciès gréseux a pu mettre en évidence deux séquences majeures au niveau du réservoir Ra:

La séquence inférieure : la séquence inférieure du réservoir Ra est constituée de grès moyen à grossier qui présentent des stratifications obliques avec une pente de litage de 12 à 25°, cette partie du réservoir témoigne d'une sédimentation dans milieu à énergie modérée, indiquant un dépôt de chenal fluvial en tresse avec une faible sinuosité et absence de bioturbation . Selon Mial, A. D (2000) et Biju . Duval. B (1997) (in BESSA Fadila , 2004) ces formes de dépôts indiquent un système de courant instable avec une sinuosité irrégulière. La taille des grains de ces dépôts est de très fin à fin

Si les chenaux sont alimentés au même temps, la taille des grains est alors presque identique dans les niveaux de sédimentation

La séquence supérieure : La séquence supérieure du réservoir Ra est composée de grains fins à moyen avec intercalation de grès à grain grossier, cette partie du réservoir est caractérisée par des stratifications obliques simples avec une pente de litage inférieure à 12° à subhorizontale. Les sédiments indiquent un milieu de dépôt tidal (chenal tidal) avec la présence de tiggillites

Les séquences élémentaires à grains grossiers sont observées à quelque mètre de l'apparition des tiggillites. La succession de ces séquences élémentaires confirme des mouvements alternatifs du niveau de la mer, suspecte alors d'un début d'une transgression. L'environnement de dépôts de ces grès est la zone supratidale à intertidale jusqu'à la zone infratidale (MARAGHNI. A, TOUMI S.A (2003))

Selon (Beuf et al, 1971) (in Boudjemaa, 1987), les chenaux du Cambrien de la plate forme saharienne sont orientés SSW-NNE et la majeure partie de source des sédiments est localisée dans la partie SSW de la plate forme saharienne. Ces même auteurs ont proposé un bloc diagramme basé sur l'interprétation sédimentologique des systèmes marin, lacustres, et fluviaux de l'Ordovicien et du Cambro-Ordovicien de la plate forme saharienne, à partir des données de terrain et de subsurface, notamment la sismique et les données de daigraphie à

savoir l'imagerie et l'analyse de Gamma ray. Dans ce diagramme, les dépôts du Cambrien correspondent au bloc diagramme (A) ; il concerne les dépôts fluviatiles inférieurs par contre les dépôts de la zone supratidale à infratidale se classent dans le bloc (B)

Beuf et al (1971) (in Boudjemaa, 1987) ont montré aussi à travers deux profils de corrélation établis dans la plate forme saharienne que les dépôts silico-clastique ont été acheminés du SSW vers le NNE, ces corrélations montrent une variation verticale de la taille des grains ce qui indique une transition d'un milieu de dépôt fluviatile à un milieu tidale. Latéralement l'apparition des tigillites varie d'un puits à l'autre dans différentes directions qui peut être expliqué par une transgression hésitante durant cette période.

Conclusion

1. Le Cambrien Ra

1. Le cambrien Ra se caractérise par un environnement supratidale à infratidale profond ,HACENE LHADJ. L. (1998)
2. Les dépôts de la partie inférieure du réservoir Ra sont composés du matériel assigné à un milieu fluviatile en tresse avec une granulométrie qui varie du moyen à fin
3. La base des dépôts tidaux marquée par l'apparition de tigillites
4. le model d'analyse séquentielle lié aux variations eustatiques proposé par Robeston (2000) in BESSA. Fadila (2004) dans le bassin d'illizi est utilisé comme référence pour le cambrien de Hassi Messaoud. Les dépôts fluviatiles du cambrien Ra correspondent à LST (Lawstand system tract) et les dépôts tidaux correspondent au TST (Transgressive system tract)

2. Lithologie du Ra

Le Ra est constitué de grès moyens , grossiers à micro-conglomératiques cette anisométrie est beaucoup plus remarquable à la base reflétant hétérogénéité dans les conditions de dépôts DJADOUN. A , et al (2008) .

Les structures sédimentaires observées sont les stratifications obliques , les stratifications entrecroisées et les stratifications ondulées .Le comportement de ce réservoir fut contrôlé par :

- le mauvais classement des grains
- l'intensité de compaction
- la fraction argileuse et le type d'argile colmatant (illitique ou Kaolinitique)

Dans le cas où il s'agit de Kaolinite , cette dernière laminée , forme souvent des barrières de perméabilité .

3. Le Cambrien Ri

Du point de vue sédimentologique , le cambrien Ri est fortement bioturbé par l'activité des tigillites , il correspond à un environnement marin côtier .

- Les stratifications sont peu observables ; sinon subhorizontales , entrecroisées ou obliques .
- Les grains sont fins à moyens isométriques, bien classés. Les qualités réservoir du Ri sont surtout contrôlées par : Le ciment siliceux et son pourcentage dans la roche .
- Présence et nature de la matrice argileuse : les laminations argileuses (Kaolinite) induisent à une mauvaise sinon difficile connexion entre les pores et de là à une distribution irrégulière des paramètres (porosité , perméabilité) .
- Le classement des grains .

4. La zone des alternances

* Lithologiquement elle correspond à une alternance de grès siliceux à silico-quartzitique glauconieux et des argiles micacées silteuses .

* Ces alternances marquent une série d'oscillation du milieu de dépôt. Ces oscillations permettent l'installation de périodes d'accalmie des eaux (sédimentation des particules fines : micas , argiles) .

Un régime marin encore hésitant et pendant lequel des récurrences d'un style fluvial ou deltaïque se font sentir.

* Les structures sédimentaires sont les stratifications horizontales à ondulées dans la masse argilo-gréseuse.

Dans les grès, les stratifications sont entrecroisées ou obliques .

* Les tigillites sont de petites tailles , irrégulièrement réparties .

Cette série présente des qualités pétrophysiques médiocres, donc aucun intérêt pétrolier.

5. L'Ordovicien

A l'aube de l'Ordovicien, la mer s'étale sur la moitié Nord de la péninsule post-panafricaine et inaugure le dépôt de la première couverture de plate-forme. Dans la région de Hassi Messaoud, les premiers sédiments sont des grès bien classés, dits « Grès isométrique d'El Gassi », la macrofaune de ces derniers est peu significative : des tigillites et des débris de lingules.

Les Grès d'El Gassi sont surmontés par des argiles d'El Gassi, noires ou gris vert, parfois rougeâtre, silteuses, carbonatées et souvent glauconieuses, elles livrent une faune planctonique d'âge Trémadoc, et en particulier des graptolites étudiées par le PH.LEGRAND (1985) et des critarches (Vecoli et al. ,1999). On aurait ici un bel exemple du passage, dans le temps, d'une sédimentation littorale à une sédimentation pélagique, sur une surface plane.

Les Grès d'El Atchane surmontent les Argiles d'El Gassi. Epais de 40 à 100 m, ils sont feldspathiques, parfois glauconieux et contiennent de minces intercalations argileuses, ils ont livrés des graptolites de l'Arénig inférieur (Jean Fabre, et Kazi Tani 2005)

RESERVOIR CAMBRO - ORDOVICIEN
HASSI-MESSAOU

UNITES		REPERES	EP moy	GAMMA RAY	NEUTRON	Tendance ciment	DESCRIPTION LITHOLOGIQUE			
CAMBRO -ORDOVICIEN	Zone Des Alternances	R50	4				<p>Passées claires à noires anisométriques à grossiers dans les parties moyennes et supérieures. Les structures sont souvent obliques et entrecroisées.</p>			
		R60								
		R70								
	R Isométrique (Ri)	Sup	15					D5	Siliceux	Grossiers à moyens fins à moyens dans les parties moyennes et supérieures.
		Moy	20						Argileux	Abondance de silices et clivages plans à faibles dans les parties moyennes et supérieures.
		Inf	15						+ Siliceux	
CAMBRIEN ANISOMETRIQUE (Ra)	Ra Sup	R100	0 à -40	D4	Siliceux	Grès à grès quartzitiques anisométriques, moyens à grossiers à stratifications souvent obliques et entrecroisées.				
	Ra Moyen	Z.Fine	R130	22	D3	Argileux	Figures de renoncements dans la Ra sup.			
		R140	25	D2	Siliceux	Fins à moyens avec passées de silstones argileux et abondance de sigillites (D3).				
	Ra Inférieur	Gros Inférieure	R150	15	Argileux	Structures obliques dans ID inf, obliques et horizontales dans le D1.				
			R160	14	+ Siliceux					
		R170	13	+ Argileux						
		R180	15	Argileux						
	R190	6	D1	Siliceux						
	R200			+ Argileux						
	CAMBRIEN R2	R2 Ab	R250	35	R2 ab	Argileux Supérieur	<p>Grossiers à moyens fins à moyens dans les parties moyennes et supérieures. Les structures sont souvent obliques et entrecroisées.</p>			
						Siliceux Supérieur				
R2 Inférieur		R260	20	Argileux Inférieur						
		R280	20	Siliceux Inférieur						
R3		R300	20		Zone de passage					
		R400			Argileux Inférieur	Gros grès à micro-conglomérats.				

Les Quartzites de Hamra viennent au dessus des Grès d'El Atchane, épais de 100m à 400m, sont très propres. Ils contiennent cependant quelques rares intercalations argileuses. Ils n'auraient livré que des tigillites. Les stratifications observées sont multidirectionnelles, obliques, entrecroisées et subhorizontales.

Les Grès de Ouargla sus-jacents (50 à 120m) contiennent d'après Legrand (1985), une faune de l'Arénig supérieur. Le bassin de sédimentation se caractérise alors par le retour des dépôts sableux.

Les Argiles d'Azal : Ce sont des argiles noires, micacées, riches en fossiles : Graptolites pélagique, Brachiopodes, Lamellibranche, Trilobites d'âge Llanvirnien à Llandeilien.

Les Grès de Oued Saret : Ils sont argileux ou quartzitiques à bancs d'argiles et à zone conglomératique. Au sommet, un banc de calcaire ou de dolomie fossilifère donne un âge Caradoc

Ces six unités correspondent à l'unité III (Formation de In Tahouite) (Boudjma, 1985) défini au Nord du Hoggar.

D'une façon générale, les formations de l'Ordovicien inférieur du Sahara septentrional suggèrent une sédimentation essentiellement terrigène, dans un milieu devenant rapidement marin et où les apports de sable puis d'argiles s'affinent au cours du Trémadoc. La glauconie est assez fréquente et les carbonates peu abondants. Puis au cours de l'Arénig, les apports sableux réapparaissent dans la région de Hassi Messaoud.

Les argiles microconglomératiques : Ce sont des argiles noires silteuses à nombreuses dragées de quartz. Elles admettent parfois, à la base, des grès argileux feldspathiques, parfois quartzitiques (Grès d'El Goléa). Ces argiles se déposent en milieu marin lors de la fragmentation du glacier en iceberg qui emporte aussi la moraine de fond collée à leur base. Lors de la fonte de ces icebergs, ces débris sont libérés et se sédimentent au fond de l'eau, en même temps qu'un important matériel silto-argileux apporté par des eaux de fonte continentales.

Les Grès de Ramad : Ils sont parfois subdivisés en deux sous-membres : La série de grès de Taboulet, à la base représentée par des grès quartzitiques et de fines passées d'argiles, et la dalle de M'kratta. Au sommet constitué de grès quartzitiques. Aucune faune n'a été signalée.

Ces deux dernières formations sont équivalentes à l'unité IV (Formation de Tamajert) bien connue à l'affleurement et dans le bassin d'Illizi. Son origine est démontrée par la présence de tillites, galets striés, figures d'arrachements et de nombreux planchers glaciaires indiquant plusieurs épisodes de glaciation. Cette unité repose en discordance sur (de ravinement ou angulaire) sur les différentes unités antérieures et même sur le socle.

Cette série est intercalée entre les formations datées de Caradoc à sa base et les argiles à graptolites au sommet, de Llandovirien inférieur dans l'Ahnet (S. BEUF et al., 1971) et moyen dans les Tassili (P.DUBOIS, 1961).

Cette série glaciaire a été retrouvée dans la chaîne de l'Anti-Atlas intercalée entre les grès de l'Ordovicien et les argiles à graptolites du Silurien et datées avec précision de l'Ashgillien supérieur (FABRE. J (1976)).

5. La subdivision en séquences du Cambrien supérieur et de l'Ordovicien de Hassi Messaoud

Le Paléozoïque inférieur et l'Ordovicien de Hassi Messaoud se subdivise en deux séquences eustatiques (Fig.I.5)

La séquence 1 : Elle englobe le Cambrien supérieur (Ri, Ra) et l'Ordovicien inférieur (zone des Alternances, Argiles d'El Gassi, et les Grès d'El Atchane)

La séquence 2 : Elle représenté par l'intervalle des Quartzites de Hamra, le reste de la séquence est souvent érodé par la discordance hercynienne.

Séquence S1 : Elles constituée de :

- Un cortège transgressif TST d'âge Cambro-Ordovicien « lithozones Ri, Ra et la Zone des Alternances » composé des grès moyens, bioturbés qui s'affinent et deviennent argileux vers le haut, il est caractérisée aussi par une évolution strato-décroissance indiquant ainsi une remontée rapide du niveau de la mer.
- Une surface d'inondation maximale : Au sommet de l'intervalle transgressif, le maximum de transgression est atteint, et la profondeur de milieu marin est plus grande. Cette limite est identifiée par le passage d'une unité à sédimentation alternée de TST à une unité argileuse massive d'aggradation de prisme de haut niveau précoce (HST1)
- Un cortège de haut niveau marin (HST) : Il est représenté par les argiles d'El Gassi et les Grès d'El Atchane . Les dépôts argileux des Argiles d'El Gassi à évolution aggradante à faiblement progradante, correspond à une période de stabilité en haut niveau marin, c'est le prisme de haut niveau marin précoce (HST1) , au fur et à mesure que l'espace disponible se remplit près du rivage, la migration vers le bassin de la pente côtière commence et la dynamique d'aggradation, se transforme en progradation, par le dépôt des grès fins, glauconieux d'El Atchane, à nombreuses passées argileuses et silteuses à évolution strato-croissance, c'est le prisme de haut niveau marin tardif (HST2) ; il correspond à la chute du niveau marin relativement rapide. Le HST1 et le HST2 sont séparés par une surface basale (Sba) très nette diagraphiquement, expliquée par la superposition de HST1 à évolution aggradante et le HST2 à évolution fortement progradante. Cette configuration est traduite par la baisse progressive de la profondeur vers le haut. Le cortège de haut niveau marin est limité au sommet par une limite de séquence SB.
- Une limite de séquence SB : Elle apparaît sur les diagraphies par une déflexion accusée du GR. Elle correspond à la superposition d'un niveau de grès propre des

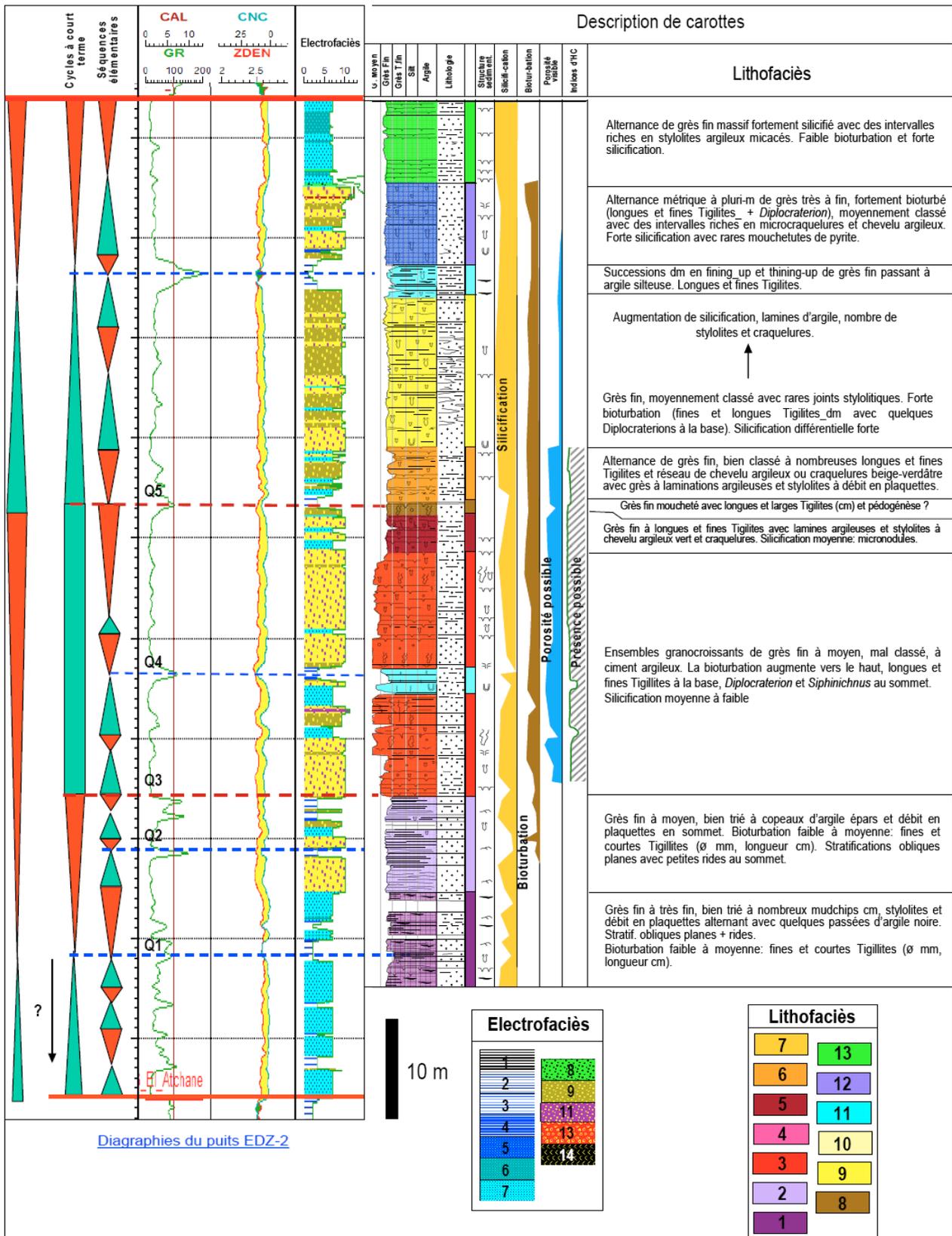


Fig .I. 5 : Coupe type des Quartzites de Hamra

Quartzite de Hamra sur un niveau de grès fin, fortement argileux d'El Atchane. Elle est expliquée par la différence de la dynamique sédimentaire entre cortège de haut niveau sous-jacent à progradation accélérée et celui de prisme de bas niveau marin à progradation relativement lente. Cette limite clôturée la séquence eustatique S1 et annonce une deuxième séquence eustatique S2

Séquence S2 : Elle débute par une limite de séquence SB et tronquée au sommet par la discordance hercynienne. La séquence S2 est constituée :

- Un prisme de bas niveau marin (LST) : Il est représenté par les Quartzites de Hamra plus la partie basale des Grès d'Ourgla. Il est formé de grès propres, régressifs et progradants dans certains puits, il est absent à cause de la discordance hercynienne.

Conclusion

L'évolution sédimentologique des formations du Paléozoïque inférieur de la région de Hassi Messaoud, est contrôlée par l'eustatisme, ce qui est bien évident dans la charte eustatique établie par Wagoner, 1988. Cette dernière montre une hausse eustatique au Cambrien supérieur – Ordovicien inférieur (Trémadoc inférieur), représenté par l'évolution transgressive des séquences (lithozone Ri, Ra et la Zones des Alternances). L'évolution régressive débute au Trémadoc supérieur ; Elle est caractérisée par une chute relative lente du niveau marin au Trémadoc supérieur et devient rapide à partir de l'Arénig inférieur. Le découpage séquentiel établi au paléozoïque inférieur par HACENE LHADJ. L. (1998) a abouti aux points suivants :

- La première séquence à la base, à évolution transgressive, constituée par une superposition de :
 - Un intervalle transgressif du Cambro-Ordovicien. Il représente un milieu marin de type shore face.
 - Un prisme de haut niveau marin précoce du Trémadocien-Arénigien, correspond à un milieu marin de type off shore.
 - Un prisme de haut niveau tardif du l'Arénig inférieur. Il est représenté par un milieu marin prograde, qui marque la transition entre l'off shore et le shore face.
- La deuxième séquence au sommet, à évolution régressive, représentée par :
 - Un prisme de bas niveau marin de l'Arénig. Il correspond à un milieu marin côtier de type shore face. généralement le reste de la séquence est tronquée par la discordance hercynienne

IV- Stratigraphie de la région d'étude

1. Introduction

Le district VI comprend au total 18 blocs répartis en permis de recherche et de prospection, le domaine minier de ce district couvre une superficie de 147950.25 Km,² compris entre les parallèles 26°00' et 33°00' Nord et entre les méridiens 3°00' et 7°00' Est. Il est composé de

deux bassins contiguës, le bassin de Oued Mya au Nord et Mouydir au Sud. Inséré entre les axes positives de la dorsale Amguid – El Biod – Hassi Messaoud à l’Est et d’Idjerane M’Zab à l’Ouest. Le permis de Hassi Dzabat fait parti de ce district, il est composé de six (06) unités structurales.

1- Le gisement de Hassi Messaoud.

2- les gisements d’El Gassi de zotti et d’El Agreb.

3- Le gisement de Hassi Guetar.

4- Les gisements de Mesdar et Rhroude el Baguel.

5- Le sillon de Dorbane.

6- Les gisements de Hassi Terfa, Hassi Dzabat et Hassi Dzabat, Cet axe structural constitue l’objet de notre étude. Le long de cet axe plusieurs puits ont été foré pour évaluer le potentiel pétrolier de cet axe qui va de Hassi Guttar au Nord-Est Passant par Hassi Terfa (HTF) jusqu’ à Hassi Dzabat (HDZ) au Sud-Ouest.

2. Cadre géographique de la région d’étude

Notre région d’étude est située au Nord du district VI, à l’Ouest du permis de Hassi Dzabat et au Sud du champ de Hassi Messaoud. Sa superficie est de 1114 km², limité par les parallèles 31° 00’ - 31° 50’ Nord, et les méridiens 5° 80’ – 6° 20’ Est (**Fig.I.3**).

3. Cadre géologique de la région d’étude

L’axe El- Agreb - Hassi Messaoud dans lequel s’incrustent les structures HTF-HDZ constitue l’élément tectonique majeur de cette zone. L’axe structural HDZ- HTF est de direction NE-SW se trouve sur le prolongement de l’axe Nord du gisement d’El Gassi, il est limité par deux failles, une à l’Est de grand rejet (160m environ) qui le sépare du sillon de Dorbane, et l’autre à l’ouest à rejet variable, compliquée par des failles secondaires qui définissent un système de structures en formes de Horst et Graben.

La principale phase orogénique ayant eu un impact prépondérant sur cette zone est la phase hercynienne, responsable de la réactivation du trend d’El-Agreb - Hassi -Messaoud et de l’ensemble des structures qui lui sont associés.

4. Aspect stratigraphique

La colonne stratigraphique de la région d’étude est composée essentiellement de dépôt Mésocénozoïque et des séries Cambro-ordoviciennes, tronquées par l’érosion Hercynienne. On distingue trois grands ensembles Sédimentaires :

4-1. Le Cénozoïque

Le Cénozoïque est constitué uniquement de sédiments détritiques continentaux de haute énergie d’âge Mio-pliocène. Les calcaires de l’Eocène présentent une variation d’épaisseur,

ils peuvent être ou pas reconnus d'un puits à l'autre, reposant en discordance sur le Crétacé supérieur.

4-2. Le Mésozoïque

Les principaux dépôts sont de nature détritique, terrigène et évaporitique, avec un événement éruptif enregistré au niveau du Trias. Les différentes formations aussi bien du Jurassique que du Crétacé, ne présentent pas de variations notables d'épaisseur ni de difficulté quant à leur corrélation d'un puits à un autre. La série éruptive représente les dépôts de base du Trias. Cette série complexe peut correspondre à de véritables coulées volcaniques, plusieurs coulées différentes pouvant être superposées, mais aussi à des cinérites, à des argiles d'altération, des dépôts volcano-détritiques, etc. Cette série éruptive représente le premier terme de remplissage des paléotopographies (vallée) en bordure du môle de Hassi Messaoud. Elle repose en discordance angulaire sur les formations ordoviciennes du Paléozoïque inférieur, soit directement sur les Grès de Ouargla ou sur les Quartzites de Hamra selon les puits.

4-3. Le Paléozoïque

En dépit de l'érosion hercynienne très intense ayant affecté la région d'Amguid - Hassi Messaoud, le Paléozoïque est décapé de sa partie supérieure dont la série stratigraphique de ce Paléozoïque s'achève par les formations de l'Ordovicien terminal. En effet au voisinage des gisements de Hassi -Messaoud et d'El - Gassi, les séries ordoviciennes ont tendance à se biseauter sous la discordance hercynienne.

5 - Corrélations stratigraphiques entre les puits

Ce travail a débuté par la réalisation d'un fichier stratigraphique, constitué par les différents marqueurs définis dans l'intervalle paléozoïque, sujet principal de cette étude. Les différents marqueurs ont tout d'abord été collectés dans les rapports de fin de sondage ou dans les fiches stratigraphiques. Les corrélations stratigraphiques montrent la répartition des formations et leurs épaisseur le long de l'axe HGA- HTF – HDZ, et l'influence de l'événement Hercynien sur le dépôt et la position des différents blocs de cet axe (**Fig.I.6 & 7**).

- **Puits A**

La colonne lithostratigraphique de ce puits est très semblable à celle des autres puits implantés sur la structure de Hassi Dzabat. Ce puits occupe une position structurale plus haute par rapport aux puits voisins C et B avec des dénivelées de + 58m et + 9m au toit de la discordance hercynienne mais occupe une position plus basse par rapport à D avec un écart de + 31m au toit des grés de Ouargla.

- **Puits B**

L'examen des épaisseurs indique que durant le dépôt des unités Cambro-Ordoviciennes, le puits B serait en position structurale légèrement haute par rapport à A, et aurait repris une

position plus basse à la fin des mouvements hercyniens, compte tenu de l'érosion des grès de Ouargla plus importante à A. (53m à B contre 46m à A).

Le puits B occupe une position structurale haute par rapport aux puits de référence I et C où les dénivelées sont respectivement de +185 et +49 m au niveau de la discordance hercynienne. Par contre, il se trouve en position basse comparativement au puits A, avec une dénivelée de -9 m au toit des Grès de Ouargla et -16 m au toit des Quartzites de Hamra.

Les Quartzites de Hamra présentent une épaisseur importante (100 m) à l'instar des puits G (116 m) et A (111m) par rapport aux puits voisins situés au nord et nord-est (K : 54 m; L : 41 m ; M: 22,5 m).

- **Puits C**

En dépit de l'érosion hercynienne très intense ayant affecté la région d'Amguid -Hassi Messaoud, les Grès de Ouargla, partiellement érodés, ont été reconnus sur une épaisseur de 60 m à C contre 53 m à B et 46 m à A, alors qu'ils sont complètement décapés à G, E et F.

Les Quartzites de Hamra qui n'ont pas été complètement traversées par le forage présentent une épaisseur de 102 m à l'instar des puits de référence B (100 m) et D (111m) par contre aux puits voisins situés au nord-est dans les structures de Hassi Terfa, leur épaisseur est plus importante (G: 116 m; I: 126 m et J: 118m).

Le puits C occupe une position structurale basse par rapport aux puits de référence D et A où les dénivelées sont respectivement de -89 et -58 m au niveau de la discordance hercynienne.

A la fin des mouvements hercyniens, C serait en position légèrement plus basse par rapport aux puits B et A où l'érosion des grès de Ouargla est plus importante.

La colonne lithostratigraphique du puits C est très semblable à celle des puits voisins HDZ-4, B et A. Le Mésozoïque est composé essentiellement de dépôts détritiques, terrigènes et évaporitiques, repose en discordance sur un Paléozoïque décapé jusqu'à l'Ordovicien inférieur. Cette intense érosion témoigne de l'importance de l'activité tectonique qui a régné, lors de la phase hercynienne dans la région de Messaoud - Et Gassi - El Agreb.

- **Puits D**

Prévu en position plus favorable, le puits D occupe une position structurale la plus haute comparativement à tous les puits implantés sur l'axe HTF-HDZ, les écarts structuraux par rapport aux puits C, B, A, H, G, J, I, E et F sont respectivement ; + 89m, + 40m, + 31m, + 166m, +171m, +204m, +225m, +192.5m, +217.5m au toit de la discordance hercynienne.

L'examen des épaisseurs des grès de Ouargla témoigne que le puits D était en position basse lors de dépôt des sédiments Cambro-Ordovicien et avant les mouvements Hercyniens, ou l'épaisseur de ces grès est plus importante (55m) à l'instar des autres voisins (46m à A, 23m à H, 28m à J) et complètement décapé sur les autres puits de la structure de Hassi Terfa.

- **Puits E**

Compte tenu de sa position géographique très proche des puits de référence, la couverture sédimentaire est donc similaire à celle prévue. Les Grès de Ouargla identifiés sur une épaisseur voisine de 50 m au niveau des puits A et B, sont littéralement tronqués à E. En dépit de cette érosion affectant partiellement les Quartzites de Hamra, cette même formation a révélé une épaisseur plus importante (122.5m) que les autres puits et particulièrement H (104m). Ceci est dû probablement à des positions structurales différentes liées aux mouvements tectoniques ayant régi tout au long des phases Calédono-Hercyniennes. La puissance de cette unité réservoir diminue en direction du nord vers Hassi Messaoud et au sud vers El Gassi qui sont les zones les plus affectées par l'érosion hercynienne d'où l'idée de biseau du play Ordovicien.

Le puits E occupe une position structurale plus basse par rapport aux puits voisins G et B ou les écarts structuraux sont respectivement de -21.5m et -152.5 m au niveau de la discordance hercynienne. Ces écarts sont plus prononcés en profondeur : -35m et -142.5m au toit du cambrien Ri, pour les mêmes puits. Les niveaux de grès identifiés à A et G, au sommet des Argiles d'El Gassi, sont également présents à E sur une épaisseur de 15, surmontés par une coulée de roches éruptives.

- **Puits F**

Compte tenu de l'épaisseur des quartzites de Hamra qui est de 91m, épaisseur très réduite comparativement aux puits adjacents donne la possibilité de la position haute durant les mouvements Hercyniens et qu'il a repris une position plus basse à la fin de cet évènement.

L'écart structural aux puits voisins ; E, G, H, B à la discordance Hercynienne est respectivement de ; - 25m, - 46.5m, - 50.5m, - 177.5m. Une intercalation d'une coulée éruptive comme en E est à signaler dans les argiles d'El Gassi.

Les grès de Ouargla sont complètement érodés, compte au Trias série inférieure est traversé sur une épaisseur de 58m plus importante qu'à E ou elle est traversée sur épaisseur de 13.5m.

- **Puits G**

Le puits G occupe une position structurale basse particulièrement par rapport aux puits H et A dont les dénivelées sont respectivement de -4m et -140m au toit des grès de Ouargla, Par contre la structure culmine à -3139 m au toit des quartzites de Hamra contre -3045 m à A.

Les unités litho stratigraphiques composant le Cambro-Ordovicien ne présentent pas de variations notables d'épaisseurs et de faciès, à l'exception de coulées de roches éruptives identifiées dans les

Argiles d'El Gassi au niveau de la structure de Hassi Terfa Nord et qui par contre, font place dans la partie Sud, à des termes gréseux (structure de Hassi Terfa et Hassi D'zabt).

Le Trias Série Inférieure est traversé sur une épaisseur de 14 m, là ou on note la disparition des grès de Ouargla. A la fin du Paléozoïque, la structure de Hassi Terfa est relativement

basse par rapport à celle de Hassi Guettar au Nord et Hassi Dzabat au Sud, en tenant compte de l'intensité de l'érosion n'ayant préservé des Quartzites de Hamra que 27 m à L contre 116 m à G et 100 m à B.

- **Puits H**

Le puits H occupe une position structurale plus basse par rapport au puit de référence B ou les dénivelées sont de -127m au niveau de la discordance hercynienne. Par contre la structure se trouve en position haute relativement à J et I avec des dénivelées de +19 m et + 40 m à la discordance Hercynienne. Les grès de Ouargla partiellement préservé de l'érosion hercynienne, sont traversés sur une épaisseur de 23m compte au puit I ou ils sont complètement érodés. Les quartzites de Hamra qui constituent la partie réservoir présentent une épaisseur de 104m à l'instar des puits voisins ; J (118m) et I (126m).

- **Puits I**

Les quartzites de Hamra sont soumis directement au contact de la discordance Hercynienne avec une épaisseur de 126m, comparativement au puits voisins H et J ou les épaisseurs des quartzites sont respectivement de 104m et 118m, ces derniers sont surmontés par les grès de Ouargla. Les grès de Ouargla sont complètement érodés par l'érosion Hercynienne. Ce puits occupe une position structurale basse par rapport aux puits de références H et J, les écarts structuraux sont respectivement de -58m et -21m au niveau de la discordance Hercynienne.

- **Puits J**

Les grès de Ouargla partiellement érodé par la discordance Hercynienne sont traversés sur une épaisseur de 28m, ces derniers surmontent les quartzites de Hamra épaisse de 118m, l'épaisseur de ces quartzites est moins importante au puits voisin, I (126m).

Les formations triasiques composés essentiellement, d'argiles et intercalation des coulées éruptives repose en discordance sur les grès de Ouargla.

Le puit J occupe une position structurale haute par rapport au puits de référence, I avec un écart de +21 m par rapport à discordance Hercynienne, cependant il occupe une position plus basse avec des écarts de -37m et -204m, respectivement par rapport aux puits H et D.

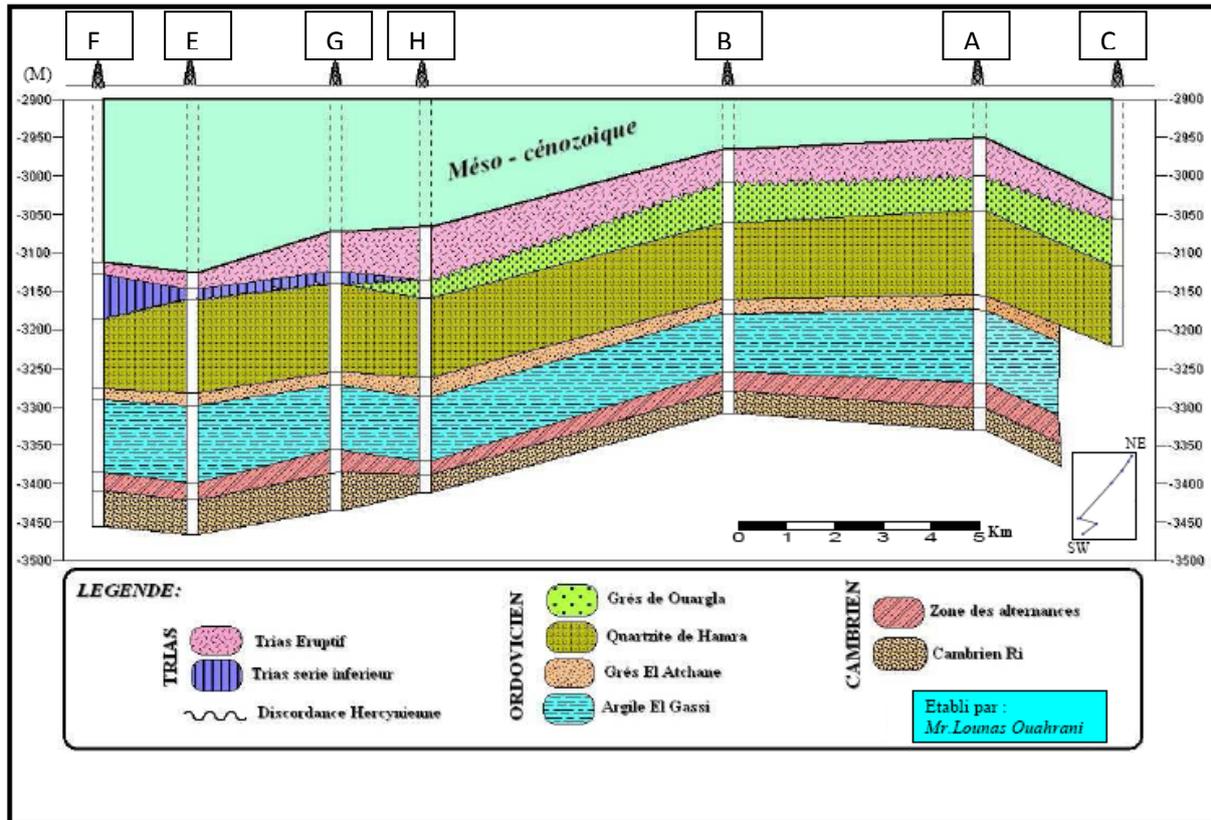


Fig.I.6 : Corrélation stratigraphique des formations paléozoïques pour les Puits de la zone A et B (Ouahrani Lounas, 2005)

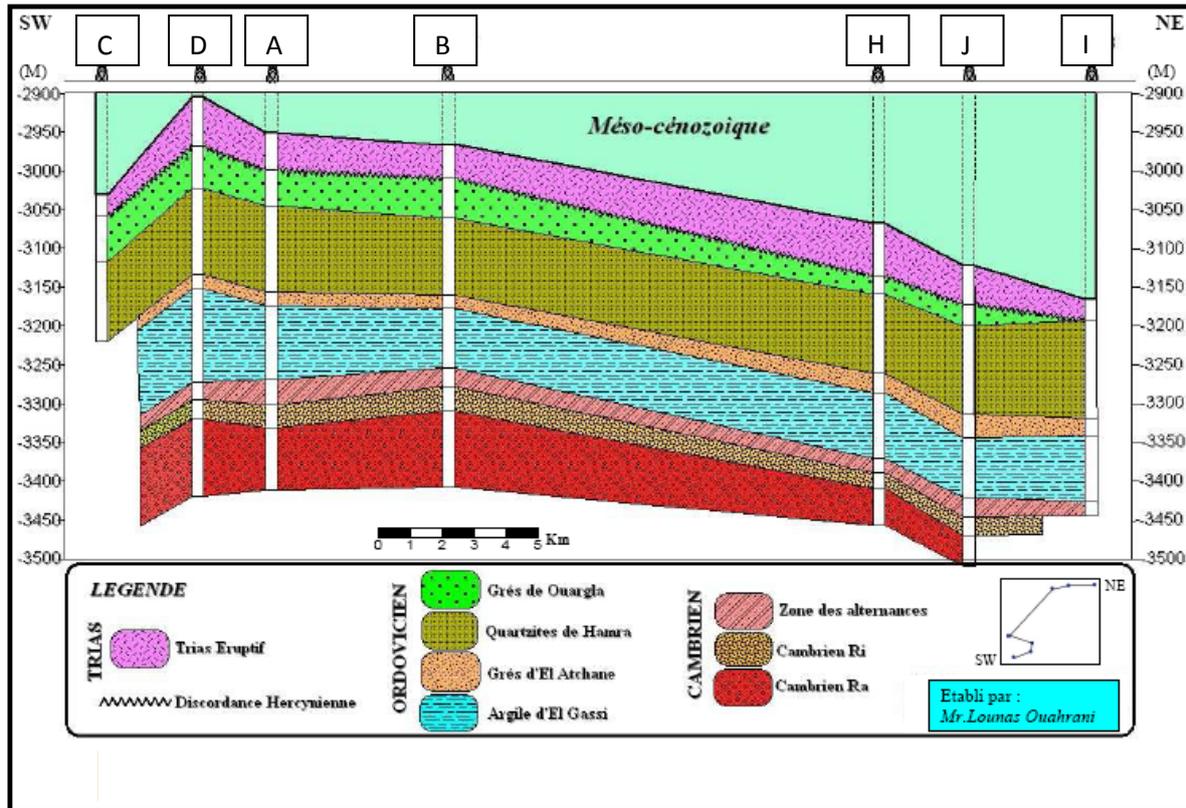


Fig.I.7 : Corrélation stratigraphique des formations paléozoïques pour les Puits de la zone A et B (Ouahrani Lounas, 2005)

6- Caractérisation des lithofaciès

A partir de l'observation des carottes, un certain nombre de lithofaciès ont été définis, la (**Fig.I.10**), présente la liste des lithofaciès rencontrés dans les Quartzites de Hamra.

La représentation d'une coupe synthétique réalisée à partir de l'ensemble des puits de la zone A et B voir (figI.5). Sur cette coupe, sont reportées les 6 limites des séquences génétiques Q1 à Q6 corrélées dans les Quartzites:

- Les séquences 1, 2 et 3 ont été observées sur le puits N.
- Les séquences 4 et 5 ont été observées sur les puits I et F.
- La séquence 6, observée sur les puits de I et B.

Sur l'ensemble des carottes de cette zone, la même succession de lithofaciès se retrouve sur tous les puits aux mêmes niveaux stratigraphiques. Cette observation est très intéressante puisqu'elle met en évidence des différences verticales de faciès au sein des Quartzites auxquelles sont liées des variations d'argilosité, de porosité et de silicification, les zones potentiellement réservoirs étant associées à des faciès bien particuliers et des séquences génétiques particulières.

L'observation des successions de lithofaciès dans les puits des autres gisements montre les mêmes successions, les faciès pouvant latéralement être légèrement plus ou moins fins ou silicifié.

7 - Caractérisation des électrofaciès

Un électrofaciès correspond à un ensemble d'échantillons ayant des réponses diagraphiques similaires. La détermination des électrofaciès est donc fortement dépendante:

- Des logs choisis
- De l'intervalle stratigraphique et / ou de l'aire géographique choisis.

Treize (13) électrofaciès ont ainsi été définis pour l'ensemble des Quartzites de Hamra et des Grès d'El Atchane. Ils ont été classés par ordre croissant, depuis l'électrofaciès 1 correspondant à des faciès argileux de très faibles porosités et perméabilités, jusqu'à l'électrofaciès 13 correspondant aux grès les plus propres, possédant les meilleures porosités et perméabilités plugs. Les enregistrements diagraphiques ainsi que le log d'électrofaciès représenté sur la **figure I.5** correspondent à ceux du puits B. La comparaison de ce log d'électrofaciès (partie médiane) avec description de carottes synthétique (partie de droite) met en évidence une bonne correspondance entre ces deux types de données.

En effet, alors que la seule observation du GR montre peu de contraste de faciès, l'intégration de tous les logs met en évidence des changements d'électrofaciès traduisant des évolutions verticales.

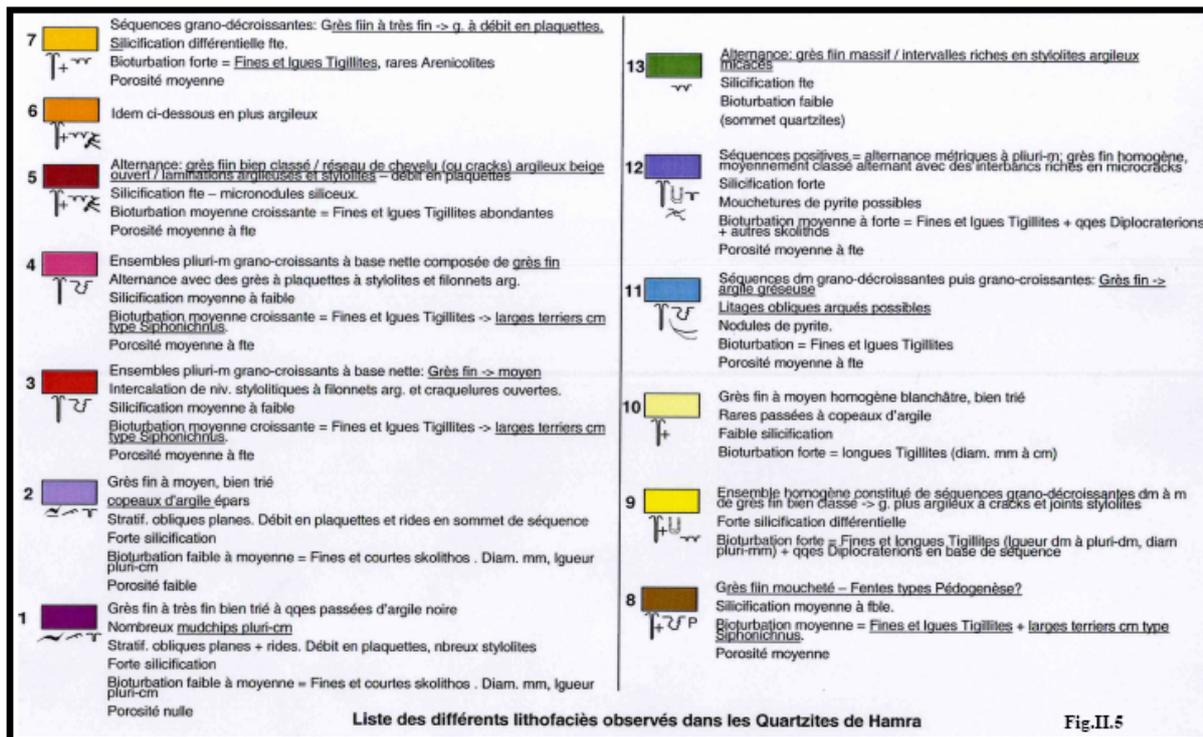


Fig.I.8 : Liste des différents lithofaciés observés dans les Quartzite de Hamra(d'après Beicio Franlab.2007)

Ces changements d'électrofaciès sont tout à fait comparables aux changements de faciès observés et leurs évolutions verticales traduisent les évolutions séquentielles.

Ces changements d'électrofaciès traduisent non seulement des changements de propriétés diagraphiques mais également des changements de paramètres pétrophysiques (porosités et perméabilités plugs). Ceci est intéressant car, compte tenu de la forme complexe de la loi Φ/K obtenue avec l'ensemble des Quartzites de Hamra, une porosité de 12% peut correspondre à une perméabilité de 0.1 Md comme de 100 Md. Par contre les électrofaciès correspondants sont bien distincts et devraient permettre de distinguer les grès perméables des grès non perméables.

8 - Cartographie du réservoir

Cette partie consiste à la réalisation de la carte en isopaque des quartzites de Hamra (Top quartzites

- Top grès d'El - Atchane, **Fig.I.11**). Nous avons pu établir cette carte à l'aide du logiciel « Surfer 8.0 », créant une base de données en reportant les épaisseurs des quartzites de Hamra pour chaque puits implanté sur l'axe HTF-HDZ.

Cette carte met en évidence l'influence de l'érosion hercynienne sur les variations des épaisseurs des quartzites de Hamra. Elle montre un gradient d'érosion croissant du Sud vers le Nord avec des épaisseurs allant de 126 m à I jusqu'à 4 m et cela au niveau du puits O.

14- Conclusion

En dépit de l'intensité de l'érosion hercynienne ayant affecté la région d'Amguid - Hassi Messaoud, la présence des grès de Ouargla au dessus des quartzites de Hamra totalement conservés de cette érosion au niveau de la structure haute de Hassi Dzabat, contrairement aux structures de Hassi - Terfa qui occupent une position basse ou les quartzites sont en contact direct avec la discordance hercynienne à l'exception des puits H et J.

L'examen des épaisseurs des différentes formations laisse penser, pendant l'événement Hercynien les structures de Hassi – Terfa occupaient une position structurale haute par rapports à la structure de Hassi D'Zabat.

A la fin des mouvements Hercyniens, les structures de Hassi Terfa reprennent une position structurale basse à l'exception de la structure de Hassi- D'Zabat qui reprend une position haute. Les caractéristiques pétrophysiques s'avèrent moyenne avec une porosité moyenne de 9.5% et une perméabilité qui varie entre 0.1 md à plus de 100 md, cela peut être due à la présence d'un réseau de fracture ou faille qui jouent un rôle positif sur l'amélioration de se dernier paramètre.

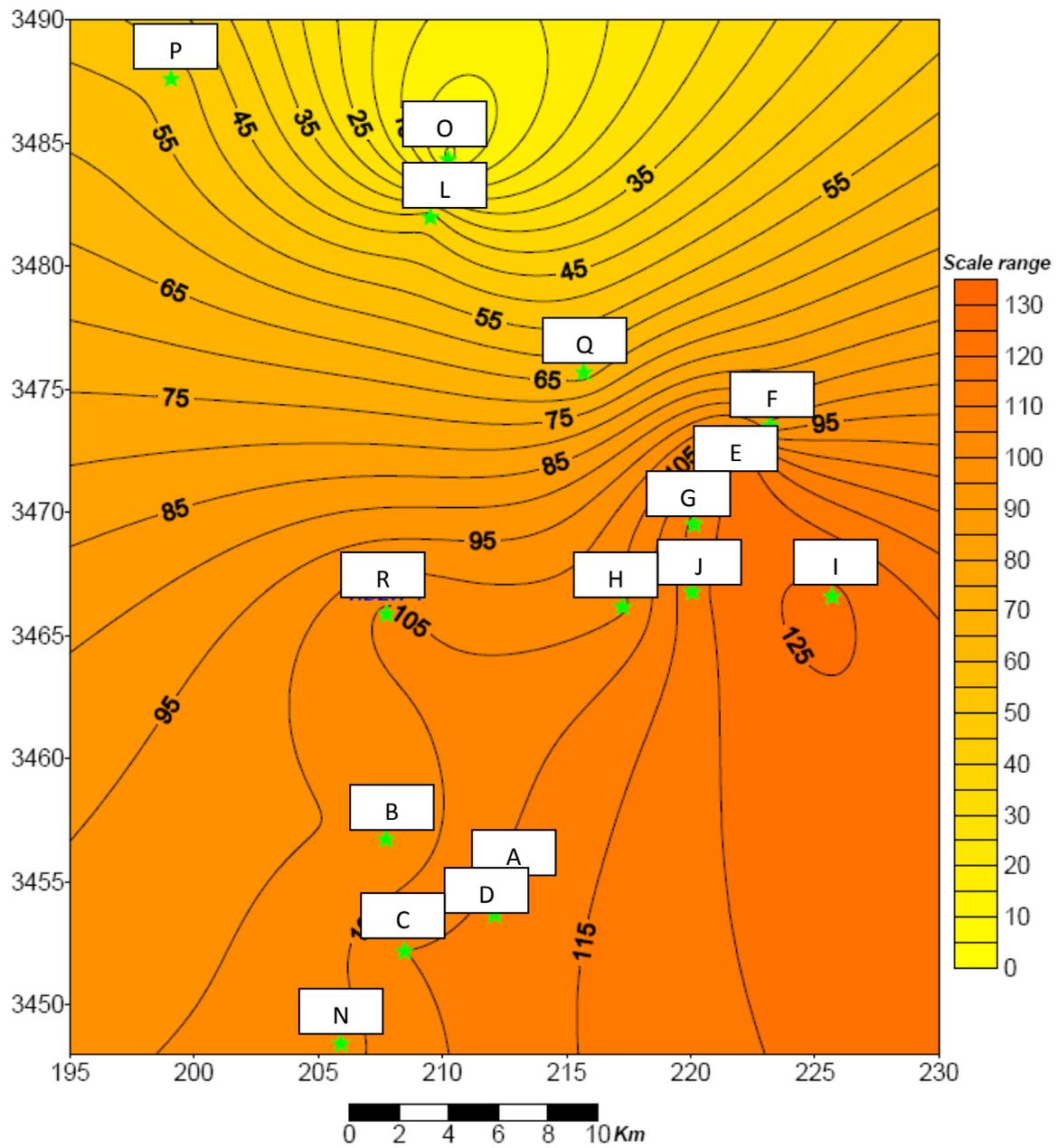


Fig.I.9. Carte en isopaque des Quartzite de Hamra

1. Introduction

Les quartzites de Hamra suscitent un grand intérêt pétrolier vu les quantités en hydrocarbures extraites et existantes au sein de cette formation ordovicienne. Les quartzites étant très compacts ayant donc de faibles porosités. Cependant leur productivité est assez importante, cas du puits L qui a produit $14\text{m}^3/\text{h}$ en 1995, pendant que les mêmes niveaux dans certains puits s'avèrent non productifs, cas des puits (I, A et C) (voir tableau 1).

Une question « challenge » reste posée depuis la mise en évidence d'hydrocarbure dans cette formation concernant sa productivité et sur les paramètres qui contrôlent le drainage (matricielle et/ou fissurale).

Ce projet a été initié par la DRE (Département Bassin Amguid Messaoud) et le CRD (Laboratoire Roche Réservoir et Sédimentologie), afin de comprendre et d'expliquer les hétérogénéités qui contrôlent la productivité du réservoir ordovicien dans le permis de Hassi-Dzabat.

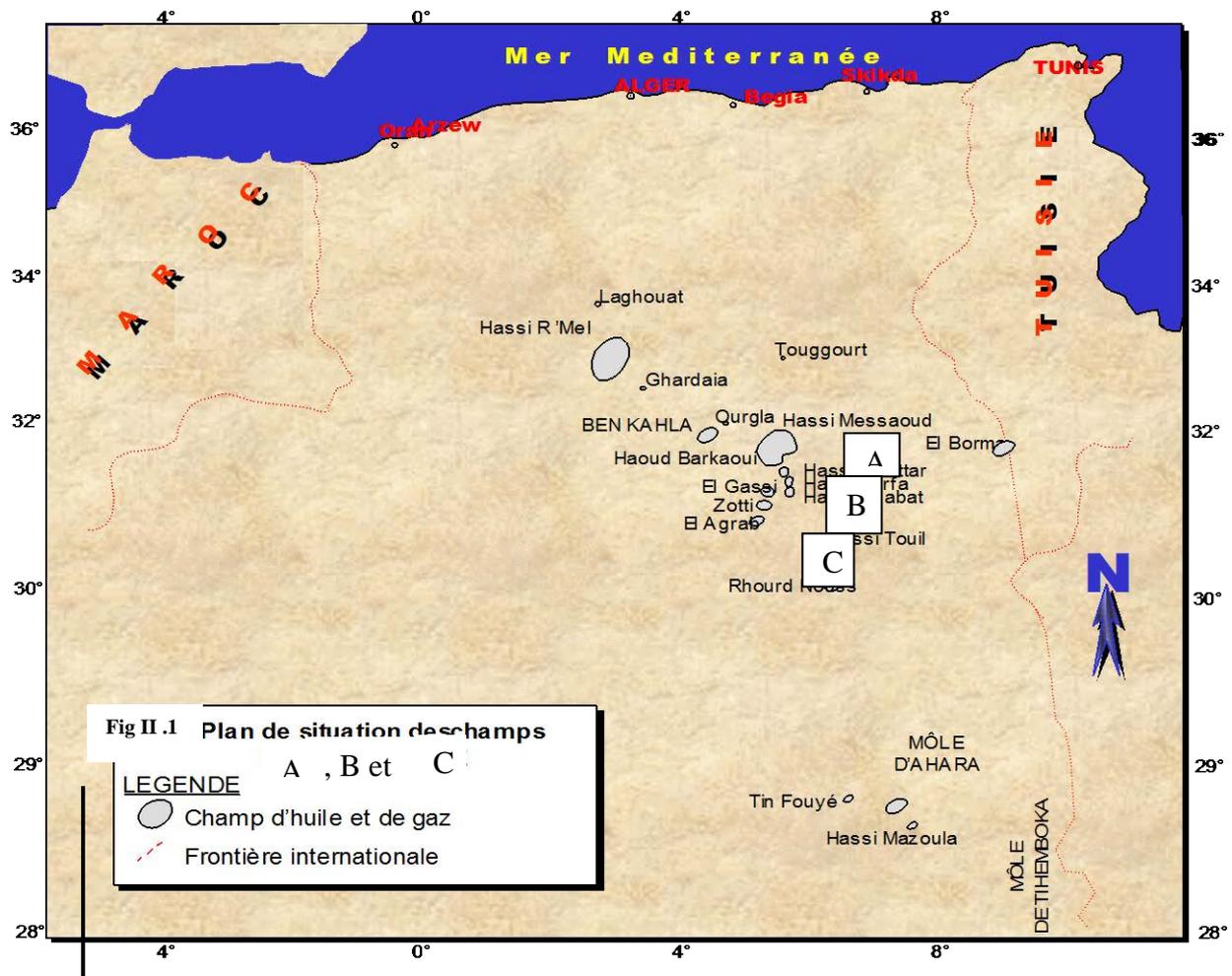
Tab.II.1 : Débits Initiaux des Puits Étudiés

GISEMENT	PUITS	DEBIT
Zone A	E	Débit huile : $5.943\text{m}^3/\text{h}$ Débit de gaz : $445.42\text{m}^3/\text{h}$
	H	Débit huile : $10.9\text{m}^3/\text{h}$ Débit de gaz : $1258\text{m}^3/\text{h}$
	I	Non productif
Zone B	A	Non productif
	B	Débit huile : $8.358\text{m}^3/\text{h}$ Débit de gaz : $1472\text{m}^3/\text{h}$
	C	Non productif
Zone C	L	Débit huile : $14\text{m}^3/\text{h}$ en 1995 Débit huile : $04\text{m}^3/\text{h}$ en 2002

2. Objectifs

Trois gisements ont été ciblés zone A, zone B et zone C (Fig II.1) dans le but d'une :

- Caractérisation de la roche réservoir (quartzites de Hamra) dans ces trois zones à partir des paramètres qui contrôlent la productivité matricielle et/ou fissurale.
- Réflexion sur l'établissement d'un modèle de fracturation.



3. Méthodologie.

La démarche initiale était de prendre les trois gisements en même temps et d'essayer de voir l'évolution des différents paramètres (lithologie, minéralogie, fracturation) et leurs relations avec la pétrophysique (porosité et perméabilité).

Les gisements étant proches, ceci implique la possibilité d'existence d'un même contrôle structurale régional.

L'objectif principal de ce projet est la caractérisation des quartzites de Hamra dans le permis de Hassi Dzabat. Pour cela, le département Amguid Messaoud a recommandé certaines mesures telles que les mesures pétrophysiques en conditions de laboratoire et sous contraintes, la détermination des propriétés électriques et capillaires du sondage L, la distribution des familles de pores pour H, I, E et B avec description détaillée des carottes et la mise en évidence de l'impact de la fissuration sur la productivité du réservoir. Plusieurs phases ont été développées.

4. Base de données

Sept (07) puits ont été étudiés (voir Tab. II.2) dans les trois gisements du permis de Hassi Dzabat bloc 427 (voir figure II.2), le tableau 3 montre les limites (toit et mur) des Quartzites de Hamra dans les puits étudiés.

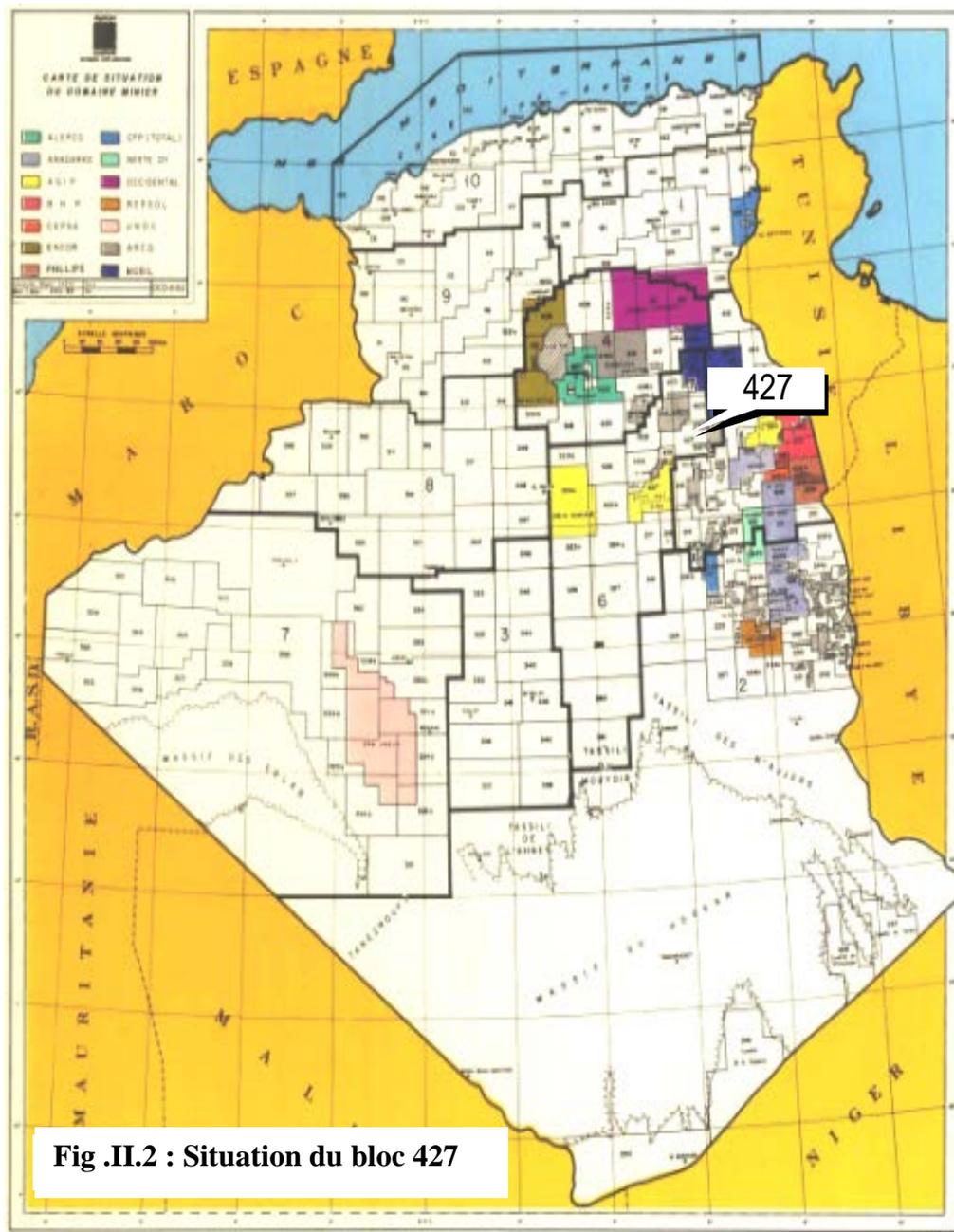


Fig .II.2 : Situation du bloc 427

Tab. II.2 : Limites des Quartzites de Hamra

PUITS	TOIT (M)	MUR (M)	EPAISSEUR (M)
E	3334	3450	116
H	3345	3460	115
I	3353	3479.5	126,5
A	3218	3329	111
B	3246	3346	100
C	3274	3381	107
L	3330	3346	16

5. Etude sur carottes

Une description détaillée des intervalles carottés (voir Tab II.3) dans la formation ordovicienne (quartzites de Hamra) a été effectuée suivant un point de vue lithologique, fracture, stylolithique et bioturbation.

Tab.II.3 : Intervalles Carottés des Quartzite des Hamra

PUITS	CAROTTE	INTERVALLE	NOMBRE DE METRE DECRIT
E	1	3339.85 – 3322m	17.85
H	1, 2, 3, 4, 5	3422 – 3321 m	55.4
I	1, 2, 3	3437.8 - 3364	26.8
A	10, 11, 12, 13, 14	3326 – 3217m	18
B		3279 - 3245	34
C	2, 3, 4	3359 – 3376m	38
L	1, 2, 3, 4	3379.25 – 3336.75m	41

6. Description de carottes

La description des structures sédimentaires était basée sur les carottes prélevées dans les Quartzite de Hamra, et cela sur sept puits de référence (Tab II.3), caractérisant les trois gisements de la zone A, B et C. la terminologie associée à cette description des faciès est trouvée dans les travaux de Gubler, (1966), Bouma, (1962) et d'autres références ont étaient utilisées.

6.1. Structures

6.1.1. Stratification inclinées

Trois types de stratifications inclinées ont été identifiés dans le réservoir de Quartzite de Hamra dans les zones sujet de l'étude.

6.1.2. Stratifications inclinées simple.

On distingue :

Stratifications inclinées avec un pendage inférieur à 12°

Stratifications inclinées avec un pendage de 12 à 25°

Stratifications entrecroisées avec un pendage de 12 -25°

6.1.3. Les flaser bedding

Les flaser bedding apparaissent dans les grès granoclassés avec des laminations argileuses, ce sont des figures de charge qui caractérise généralement la base des bancs.

6.1.4. Les diastèmes

Ce sont des petites interruptions de sédimentation marquée par une surface nette séparant deux couches.

6.1.5. Traces de fossiles

L'environnement marin du Cambro-Ordovicien de la plate forme saharienne est riche en Scolithos, se sont des fentes verticales qui traversent les bancs de grès, silts ou bien des argiles, elles varient d'un centimètre à plusieurs décimètres en longueur. Leur origine est considérée comme organique (Selly, 1976). Cet ichnofaciès correspond à l'environnement de la zone intertidale (Beuf, et al. 1971). L'apparition de Scolithos (tigillites) dans les Quartzites de Hamra, indique un environnement propice à leur développement.

6.2. Les siltstones

La distribution des niveaux de siltstone et d'argiles dans les grès dépend de condition de sédimentation



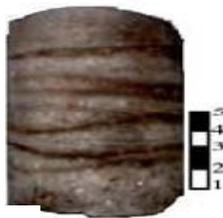
1



2

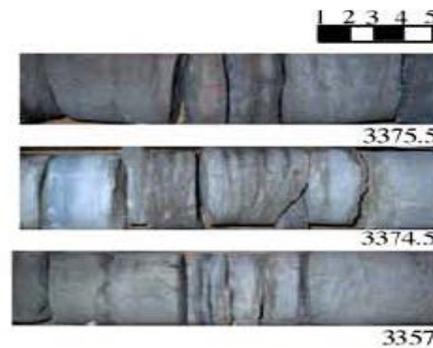
3402

Stratification inclinées : Grès fin, siliceux à silico-argileux présentant des stratifications légèrement inclinées et des niveaux noirâtre de bitume (Puits E, 3402m et Puits H, 3373m)



3

Stratification inclinées : Grès moyen à grossier, siliceux présentant des stratifications entrecroisées (Puits, 3326m)



4

Diastème : une brève interruption de sédimentation (Puits, E 3326m)



5



6



7

Tigillites: trois types de terriers verticaux peuvent être observés dans des quartzites à niveaux argileux :

5 : Grès fin à moyen et à niveau argileux riche en tigillites caractérisant la zone tidale (Puits B, 3245m)

6 : Grès fin, siliceux, riche en Scolithos. A gauche une section transversale (Puits 3330m).

7 : Grès, fin argileux avec des tigillite de 20 à 30 cm (Puits C, 2370m)

7. Lithologie des Puits étudiés

a. Puits L

Intervalle I : 3379.2 m à 3349 m, soit une épaisseur de 30.2m. Essentiellement formé de grès très fins gris beiges imprégnés à la base, à litages entrecroisés, surmonté par un grès très fin à litage oblique à galets d'argiles (noires charbonneuses). On note la présence de joints stylolithiques soulignés par une argile déformée. Le tout est surmonté d'un grès très fin quartzitique à litages obliques et par endroit entrecroisés, suivis de grès très fins imprégnés, ces grès sont bioturbés au sommet (Skolithos et Planolithes).

Intervalle II : 3346 m à 3336.8 m, d'une épaisseur de 10.8 m, c'est un grès très fin à fin beige bioturbé (Skolithos et Planolithes) à nodules de silices et traces d'anhydrite ;

b. Puits E (Fig. II.4)

Intervalle I : 3339.85 m à 3322 m, d'une épaisseur de 17.85 m, il débute par un grès très fin gris clair intensément bioturbé (Skolithos de 20 à 30 cm) avec présence de nodules de pyrite par endroit. Surmonté par un grès quartzitique à litage oblique suivit d'un quartzite faiblement bioturbé avec présence de litage horizontal au sommet. Puis viennent des silts argileux à « Hummokey cross stratification » (HCS), faiblement bioturbés suivis d'un grès fin gris blanc à litage oblique à sa base et à plan parallèle au sommet. L'apparition des « HCS » marque le passage vers la formation grès de Ouargla (KOURTA.A, (2001)) (Ph#1).



Un exemple des grès très fin de couleur sombre surmontés par des grès quartzitiques à litage oblique puis des siltstone (Puits E, 3339,8 à 3322 m)

c. Puits H

Intervalle I : 3422 m à 3408 m, soit 14 m. L'intervalle débute par un grès très fin, gris clair à drappages argileux, «clay chips» et galets d'argiles. Ces grès sont à litage horizontal suivis de litage oblique à faible angle. On note par endroit la présence de rides, le tout est surmonté de grès moyens quartzitiques bioturbés et imprégnés (Ph#2).

Intervalle II : 3407m à 3390m d'une épaisseur de 17 m, cet intervalle débute par un grès moyen à ciment siliceux imprégné (Ph#3), surmonté de grès très fins à fins faiblement bioturbés suivis de grès très fins à fins à obliques à faibles angles (Ph#4), devenant bioturbés au sommet.

d. Puits I

Intervalle I : 3437.8 m à 3420 m, soit 17.8 m. C'est une succession d'intercalation de grès fins gris beige moyennement bioturbé (Skolithos pouvant atteindre 20 cm), quartzitique et d'un grès moyen légèrement imprégné (Ph#2 et 3). La bioturbation est plus importante dans la partie supérieure de l'intervalle (Skolithos de 30cm). Le tout est coiffé par un grès très fin, gris à verdâtre argileux faiblement bioturbé.

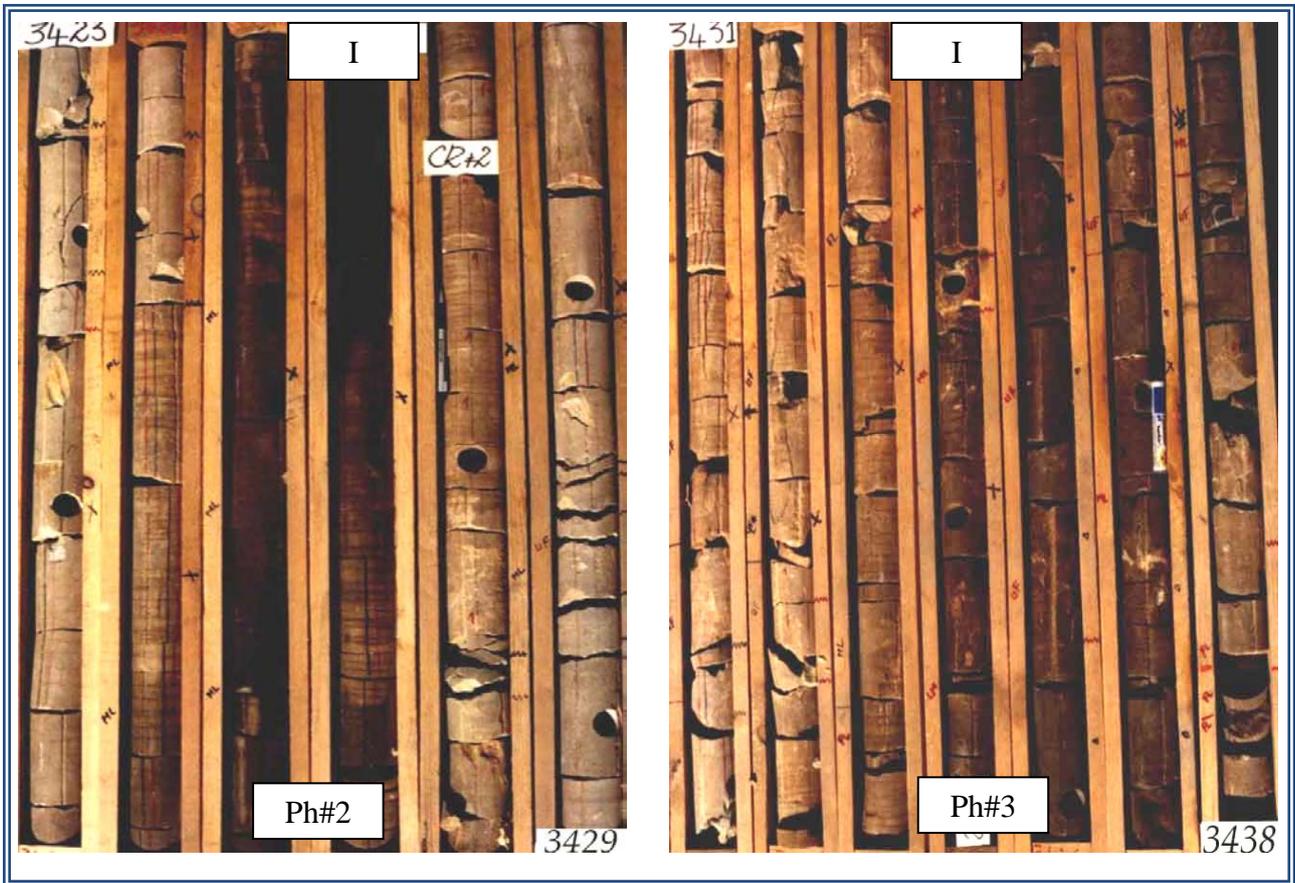
Intervalle II : 3374 m à 3364 m, soit 10 m, c'est un grès très fin gris beige quartzitique bioturbé (Skolithos de 25 à 30 cm)

e. Puits A

Intervalle I : 3326 m à 3324 m, soit 2 m d'épaisseur, ce sont des grès très fins gris claire à «clay chips» et litage horizontal à la base surmonté par un niveau centimétrique à litage oblique.

Intervalle II : 3316 m à 3313 m d'une épaisseur de 3 m, représenté par un grès très fin gris clair à « clay chips ».

Intervalle III : 3280 m à 3273.5 m soit 6.5 m de grès fins gris bruns à litage plan parallèle surmonté de grès moyens à litage oblique, suivi de grès fins gris blanc à litage horizontal se débitant en plaquettes et légèrement bioturbés. Le tout est surmonté par un grès moyen gris à litage horizontal.



Un exemple des grès fin moyennement bioturbés de couleur beige surmontés par des grès sombre moyen légèrement imprégné le tout est coiffé par un grès gris à gris verdâtre, argileux faiblement bioturbé (Puits I, 3425 m à 3438 m)

f. Puits B

Intervalle I : 3279m à 3245m, soit 34m, ce sont des grès très fins à fins gris, compacts faiblement bioturbés (Skolithos), intercalés par endroit de films d'argile noir. Ces grès sont surmontés par des grès moyens gris, faiblement bioturbés, surviennent au dessus d'un banc de grès fin gris sombre quartzitique non bioturbé.

g.Puits C

Intervalle I : 3359 m à 3340 m, soit 19 m, ce sont des grès très fins à fins gris beige quartzitiques compacts imprégnés, bioturbés (Skolithos), avec présence de bitume et de nodules de pyrites au sommet.

Intervalle II : 3317 m à 3307 m, soit 10 m, correspondant à des grès très fins à fins gris beiges quartzitiques très bioturbés, légèrement imprégnés, présence de traces de pyrite avec intercalation de films d'argile noire charbonneuse.

Intervalle III : 3295 m à 3276 m (19 m), la base de cet intervalle est formée de grès quartzitiques faiblement bioturbés avec présence de traces de pyrite. On note l'existence d'une brèche à éléments centimétriques à la profondeur 3293.5m, surmonté par une zone bréichique de 6 m très fissurée, très bitumineuse. Les fissures sont remplies à semi remplies de bitume et de pyrite. Le tout est surmonté par un niveau de grès très fins se débitant en plaquettes au sommet.

3292



3295

Un exemple des grès fin faiblement bioturbés avec des niveaux bréichiques très fissurés remplis de bitume et de pyrite, le tout est surmonté par des grès très fins se débitant en plaquettes

8. Données de lithofaciès

Les Quartzites de Hamra sont généralement constituées de grès très fins à fins quartzitiques, parfois bioturbés. Par endroit, on note des grès moyens quartzitiques. Les principaux lithofaciès de cette formation se résument en :

- Grès très fins à fins quartzitiques à litage horizontal.
- Grès très fins à fins quartzitiques à litage oblique.
- Grès très fins à fins quartzitiques bioturbés.
- Grès très fins à fins quartzitiques à litage entrecroisé, granoclassé (exclusivement dans la zone C).
- Grès très fins à fins quartzitiques à litage horizontal.
- Grès très fins à fins à « clay chips », à galets d'argile et films argileux.
- Grès très fins à fins quartzitiques.

La description des carottes montre l'existence d'ichnofaciès liée à la présence de **Skolithos**, qui sont parfois abondants à très abondants, ce type d'ichnofaciès est caractéristique du «Uper Shoreface».

9. Pétrographie des Quartzite de Hamra

9.1. Aspect généraux

Les études détaillées sur carottes ont montrés une lithologie assez variable des unités des Quartzite de Hamra.

L'Ordovicien du pourtour de Hassi Messaoud est dominé par une sédimentation gréseuse, intercalée localement par des films argileux et des niveaux bioturbés. Ces dépôts silico-clastique sont formés essentiellement de grains de quartz qui sont liés souvent par des ciments siliceux ou de silice de nourrissage et localement par des ciments argileux ou bien argilo-carbonatée et rarement par des ciments pyriteux, néanmoins cette matrice peut éventuellement être constituée d'éléments dans les teneurs sont faible ou bien en trace, mais ils peuvent êtres témoins de plusieurs indications de l'évolution de séquences sédimentaires, diagénitiques et aussi de marqueurs de la fracturation ; du moment qu'on les trouve comme colmatant dans des fissures, fractures ainsi que dans les joints stylolitiques issus de la tectonique cassante qui affecte les Quartzite de Hamra beaucoup plus dans sa partie supérieurs, ce qu'on vas détailler dans le chapitre fracturation. Le ciment évaporitique tel que l'halite est aussi présent dans les Quartzite de Hamra et cela est approprié aux sédiments qui sont en contact direct avec les dépôts de Trias. L'étude des composants pétrographiques des Quartzite de Hamra au pourtour de Hassi Messaoud est basée sur l'analyse des lames minces, données de logging et des photos des échantillons étudiés au microscope électronique a balayage correspondant aux Puits A, B, C, E, L, H et I. Ces composants sont:

9.2. Composants détritiques

Les grains de quartz sont les plus communs dans toutes les lames minces examinées, ils varient entre 77 à 90%, 80%, 88% au niveau des Puits E, H et C respectivement. La teneur en quartz semble être très faible dans les niveaux éruptifs, cas dans certains Puits de la zone DA, Puits C et H, cependant, elle augmente dans les quartzites et présente une répartition homogène le long de ce Puits (fig. II.3). L'ensemble des Puits étudiés montre une granulométrie très fine à l'exception du puits E où elle est moyenne. La morphoscopie de ces grains est sub-arrondis à subanguleux rarement arrondis où les contacts entre les grains sont généralement concavo-convexe, et cela est dû aux phénomènes de compaction qu'a subis les sédiments au cours des phases diagénétiques. De la base au sommet dans les Quartzites de Hamra, les faciès basaux représentent plus de stylolites et des contacts convexes des grains associés aux phénomènes de dissolution qui sont plus prononcés.

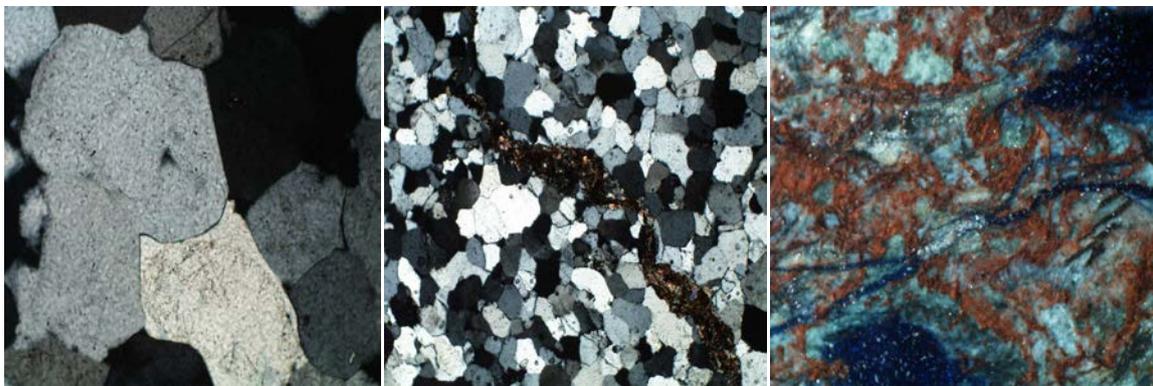


Fig. II.3 : A gauche : le contact concavo-convexe des grains de quartz sub-anguleux monocristallin et polycristallin, cette sédimentation est typique du Puits C. A centre : Quartz sub-arrondis à sub-anguleux, monocristallin. Puits C. A droite exemple de roche éruptive dans les quartzites de Hamra, Puits H, 3341m LNx40



Fig. II.4: A gauche : photomicrographie illustrant des grains détritiques dont l'origine est indéterminée, complètement altérés en chlorite Puits C. Au centre : Chlorite en pore filling (Gr 1717) en allure sigmoïdale, compatible avec un jeu senestre comme le montre les flèches. A droite altération partielle des feldspaths en illite. Puits C.

9.3. Composant détritique dont l'origine est indéterminée.

Dans les zones A, B et C, les grès contiennent des grains dont l'origine est indéterminée (fig. II.4), ces grains sont communs dans toutes les zones mais ils sont moins représentatifs dans les puits de la zone A. La plupart du matériel minéralogique d'origine de ces grains sont altérés en Illite, Chlorite, interstratifiés, et parfois en carbonates et complètement dissous, lorsqu'il s'agit de la halite ou bien de minéraux qui ne résistent pas à la compaction et à la température élevée, telle que la glauconite (fig. II.5)

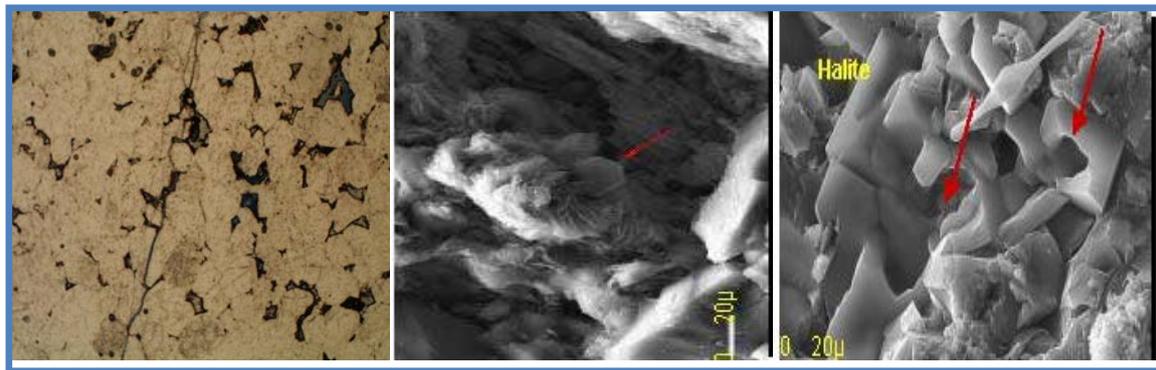


Fig II.5 : A gauche Porosité intergranulaire due probablement à la dissolution complète de l'halite ou bien des feldspaths, Puits E, 3320m, LN x 40. Au centre altération des feldspaths en chlorite, Puits E, 3331m (Gr 1117). A droite : Dissolution partielle des cristaux cubique de la halite, Puits E, 3337m (Gr 3337,5).

9.3.1. Les feldspaths :

Dans la zone DA et DB, les lames minces examinées, montrent la présence des feldspaths en très faible teneur, elle atteint une valeur de 1% au niveau du Puits E de la zone DA, cependant, la partie sommitale des Quartzites de Hamra (Zone de transition avec les Grès de Ouargla Zone B, Puits C) montre des valeurs relativement importantes. Les produits d'altération ou bien de transformation diagenétique des feldspaths (fig. II.5) sont plus répandus, on les retrouve sous forme d'illite, chlorite ou bien interstratifiés et les Quartzites qui ne contiennent pas ces produits de transformation suggèrent que lors de dépôts, les sédiments sont dépourvus de feldspaths.

9.3.2. La pseudo matrice :

La pseudo matrice se forme lors de la compaction de la roche, les fragments engendrés sous l'effet de contrainte se rassemblent dans les espaces interstitiels pour donner ce qu'on appelle la pseudo matrice (fig. II.6)

9.3.3. Les argiles détritiques :

Les argiles détritiques sont en faible quantité dans la plupart des lames minces examinées, la moyenne des pourcentages de ces argiles atteint 6,15% au niveau du Puits E dans la zone DA et 1% dans le Puits B de la zone DB (fig. II.16). Les argiles détritiques peuvent être retrouvées dans la pseudomatrice ou bien dans des intervalles où on a les films d'argile qui se développent au cours de la sédimentation et qui témoignent généralement de l'influence des marais, du moment que le milieu de sédimentation est typique de la zone intertidale à influence de basse et haute mer.

Dans la matrice, les argiles détritiques sont communes dans les faciès mudstones et dans les grès argileux connus dans les intervalles de passage entre les Grès de Ourgla et les Quartzites de Hamra, ces intervalles montrent une granulométrie fine voir des siltstones à des grès moyen, bien classés, ils incluent les micas, feldspaths et fragments de roche.

9.3.4. Micas et minéraux lourds.

Micas (muscovite) apparaît en petite quantité au bien très rare dans les quartzites de Hamra, cette tendance augmente vers la partie sommitale des Quartzites. Micas sont connus dans le niveau argileux ou bien dans des mudstones. La coexistence de deux types de muscovite dans les lames minces suggère l'existence de deux sources de micas, l'une est fraîche et l'autre est altérée (fig. II.9).

Les minéraux lourds sont généralement en traces dans les Quartzites de Hamra, la préservation de ces derniers est strictement réservée aux assemblages très stables comme le Zircon, Leucoxène et la Tourmaline (fig. II.9).

9.4. Composants antigéniques

9.4.1. Ciment quartzeux

Les ciments siliceux ou bien quartzeux sont le plus dominants dans les Quartzites de Hamra, (fig. II.10) leur teneurs varient entre 1 et 19% (9%, 10%, 1 à 19% au niveau des Puits H, C et E respectivement), ils apparaissent comme silice de nourrissage au pourtour des gains de quartz sous forme d'auréoles siliceuses, ou bien sous forme de petits grains de quartz occupant les espaces intergranulaires formés par la dissolution à l'issue de la porosité primaire. Le quartz est aussi, l'un des principaux ciments qu'on retrouve dans les fractures, veines ou bien à l'intérieur des joints stylolitiques, mais dans la plupart des cas, c'est très difficile de faire une différence entre le ciment et les grains de silice avec uniquement les observations à la loupe binoculaire. Par conséquent, l'estimation de l'abondance de ciments quartzeux est relative, néanmoins, la distribution et l'abondance de ciments quartzeux est contrôlée par la nature des grains, leurs surfaces et la présence ou non des ciments argileux (fig. II.11 et fig. II.12).

Finalement, les grès relativement arrondis et qui sont mal classés, présentent des surfaces intergranulaires considérables sièges de stockage de ciment quartzeux et elles permettent éventuellement le développement de silice de nourrissage, tout autour des grains de quartz, ce processus se terminera dès qu'il y a un obstacle physique (exemple les argiles intergranulaires) ou bien géochimique en relation avec la circulation ou non des fluides riches en silice.

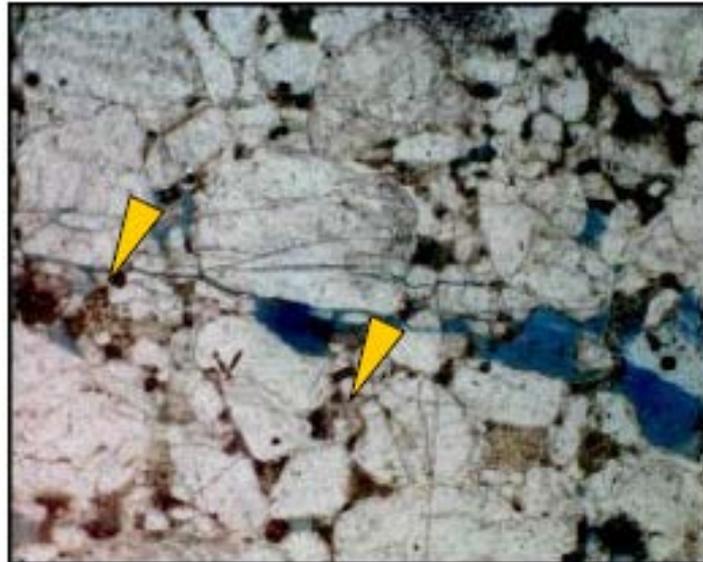


Fig. II.6: Photographie montrant une pseudo matrice, formée par l'altération et déformation plastique des fragments de roche dans des espaces interstitielles (Puits E, L. LN X40)

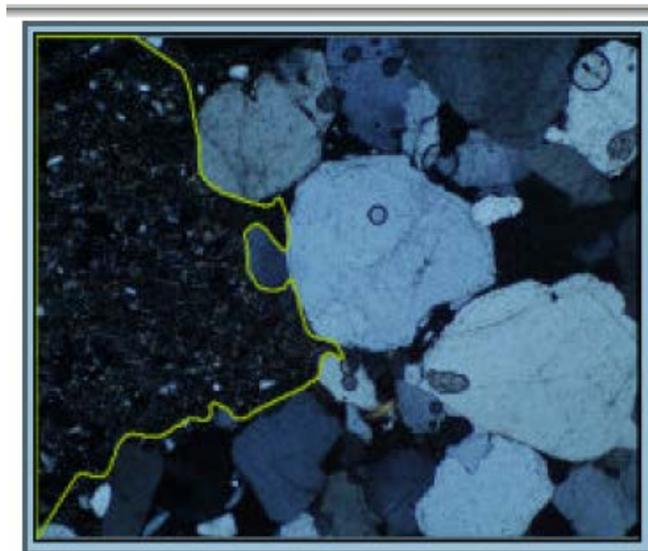


Fig. II.7: Photographie illustrant un exemple de fragments lithiques, altération d'un mudstone avec présence de micas. Puits A. LNX40)

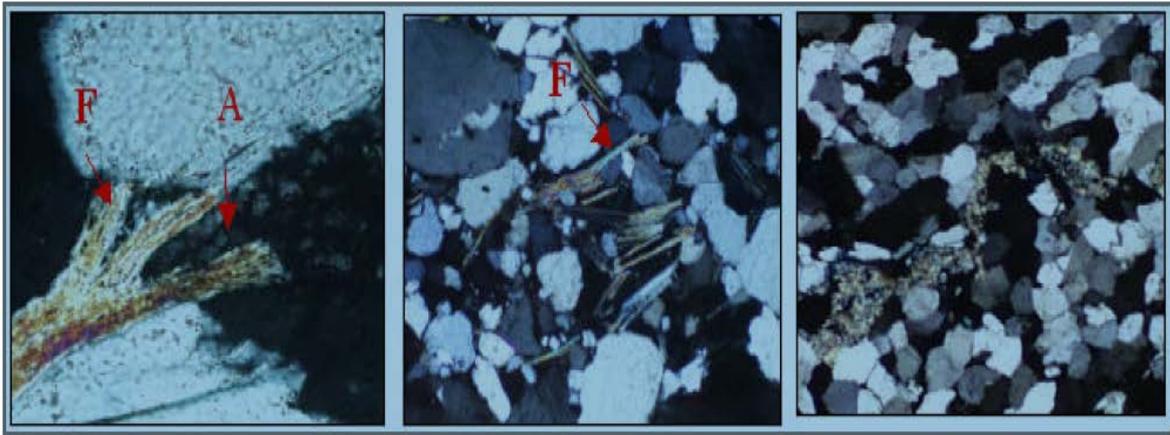


Fig. II.8 : la photographie de gauche et du centre montrent une muscovite fraîche (flèches F) et de la muscovite très altérée (flèches A), indiquant ainsi, l'existence de deux sources de micas. A droite, abondance de micas dans des grès très fin (mudstone). A droite, la kaolinisation de la muscovite, Puits C, I et B. LP X200. Au centre, une muscovite fraîche. Puits C, D. LRX40. A droite, présence de muscovite à l'intérieur de joints stylolithiques LPX40.

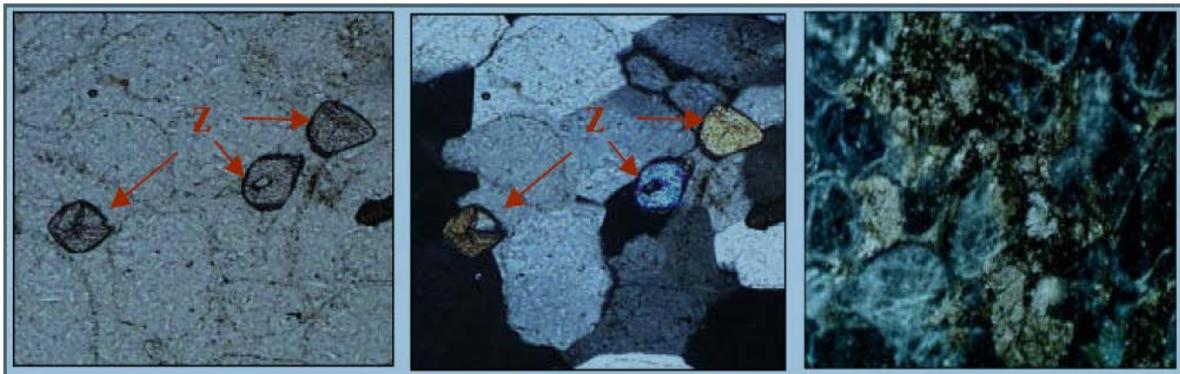


Fig. II.9 : Photographie de minéraux lourds dans les lames minces des Quartzite de Hamra. A gauche et au centre, Zircon (flèches Z) sont communs dans Les Puits B et H et C. LNX100. A droite, pyrite remplacée probablement par des minéraux lourds moins stables comme les amphiboles et des pyroxènes. Puits H et B. LRX100.

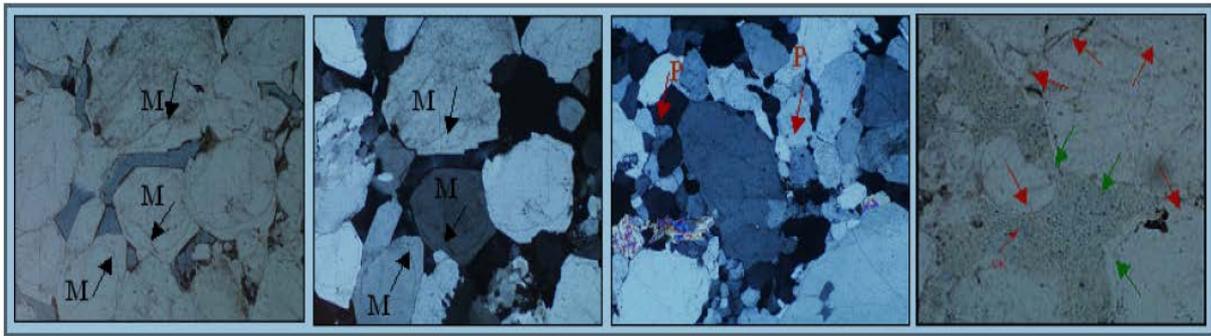


Fig. II.10 : Au niveau des pores, l'abondance et la distribution des ciments quartzeux est contrôlée par la nature des grains et la présence des ciments argileux. A gauche : Les deux photographies montrent des grains Monocristallins de quartz (M) qui sont bien développés (silice de nourrissage flèches noires) cas des Puits H, L et E. LNX40. A droite : Dans les lames minces qui contiennent de l'Illite, Chlorite ou bien même des carbonates, la silice de nourrissage se termine lorsqu'elle se coïncide avec ces ciment argileux (flèches verte), par contre, dans les pores vides, le ciment quartzeux ou bien la silice de nourrissage continue a ce développer jusqu'à ce que le pore sera complètement obturé (flèches rouge). Puits H, L et E, LNX40.

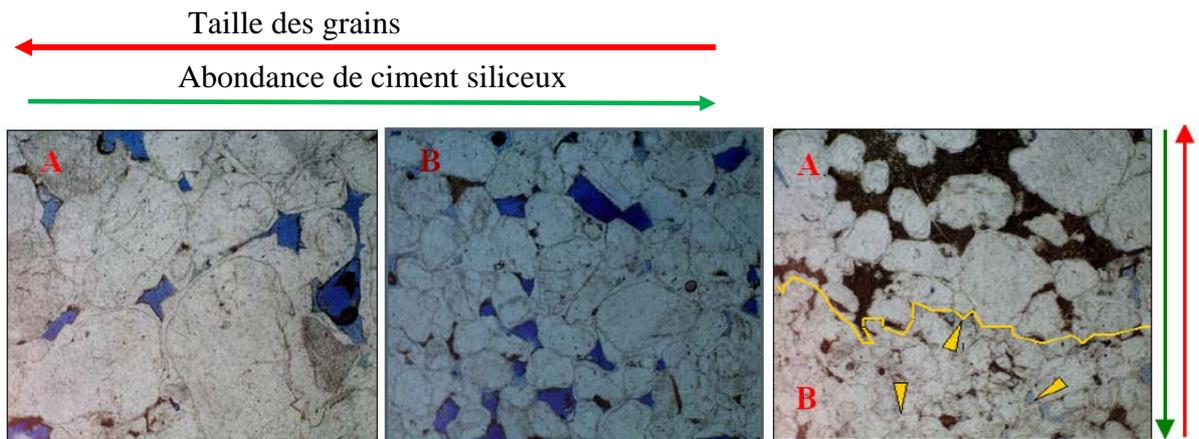


Fig. II.11 : Dans les grès quartzitique bien classés, l'abondance du ciment siliceux varie inversement avec la taille des grains. Dans les quartzite où les grains sont relativement grossier, la porosité augmente due a la faible quantité du ciment et a la taille des pores (A), par contre, dans les grès fin, la porosité diminue (flèches jaune) et aussi la taille des pore (B). Cela intensifie la relation entre la taille des grains et la qualité du réservoir. La ligne jaune indique un joint stylolithique qui sépare deux partie, l'une très silicifiée et l'autre non silicifiée (porosité intergranulaire). A gauche et au centre, Puits H, L. A droite, Puits E. LN X 40.

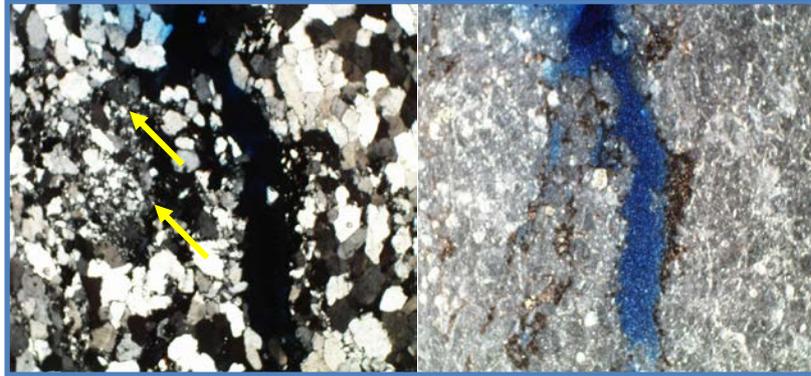


Fig. II.12: A gauche, dans les grès bioturbés, l'abondance de ciment siliceux (silice de nourrissage) ou bien de ciment quartzeux, est contrôlée par la présence des argiles introduites par la bioturbation, dans ce cas, les ciment siliceux sont inhibés par des argiles (flèches jaune) ce qui engendre une microporosité et de rares espaces interparticules. Puits H. LNX40, Adroite la même photographie qui montre une porosité due aux microfissures.

9.4.2. Les carbonates

Les carbonates (Dolomie) apparaissent en traces, elles se présentent sous forme de ciment dispersés ou bien à l'intérieur des fractures, veines ou joints stylolithiques. Les carbonates n'ont pas d'effets appréciables sur la qualité du réservoir ni sur les propriétés pétrophysiques, elles sont relativement abondante dans la partie basale du Puits H (fig. II.13).

9.4.3. Les argiles

Deux principaux type d'argile identifiés au microscope électronique à balayage, il s'agit de la Chlorite et de l'Illite (Fig. II.14). Ces deux minéraux argileux sont les plus communs dans les Quartzites de Hamra en faibles teneurs.

9.4.3.1. L'Illite : les analyses pétrophysiques montrent la présence quasi permanente de l'illite dans toutes lames minces analysées dans les Quartzite de Hamra, cependant, les teneurs de ce minéral argileux reste faible ou bien en traces. Néanmoins, elle peut atteindre 85% au niveau du Puits H (pourcentage par rapport au teneur globale d'argile) (voir les tableaux de l'annexe), L'illite se présente sous forme de ciment ou bien sous forme détritique probablement issue de l'altération de feldspaths ou bien de fragments lithiques. L'Illite se présente aussi, sous forme de large plage ou bien de fine particules autour des grains de quartz, et dans certain cas, elle présente le même faciès que la Kaolinite. L'illite est souvent néfaste pour le réservoir, elle obture les espaces interparticules résiduels, et diminue dans ce cas la porosité.

9.4.3.2. La chlorite.

La chlorite est abondante dans les lames minces examinées des Quartzite de Hamra (fig. II.16), elle résulte souvent d'altération de micas ou bien de feldspaths en chlorite par ce qu'on appelle la chloritisation, elle peut aussi avoir une origine autéginique, ce minéral argileux n'a pas d'influence sur les propriétés du réservoir.

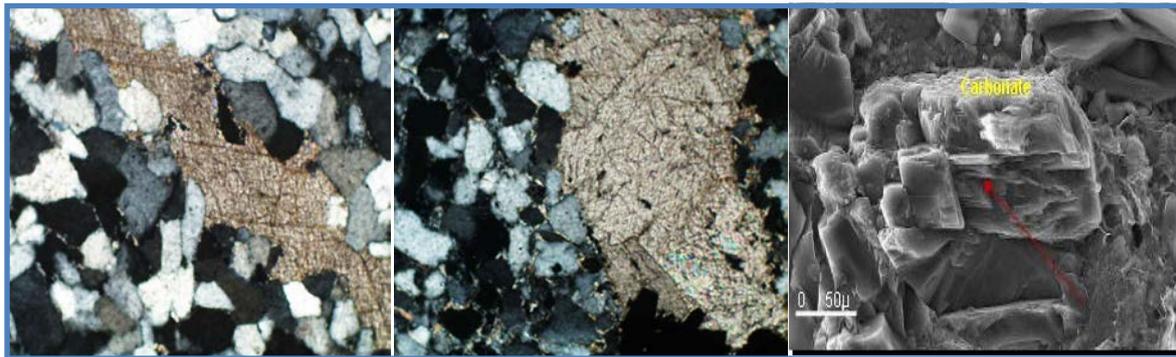


Fig. II.13: A gauche et au centre deux photographies montrant la présence des carbonate dans les Quartzite de Hamra, elles forment de ciment par endroit et qui obture l'espace interparticule (flèches rouges) LNX40. HDZ-3. A droite observation au microscope électronique à balayage de cristaux de Dolomie sous forme rhomboédrique. Puits A, Gr X739..

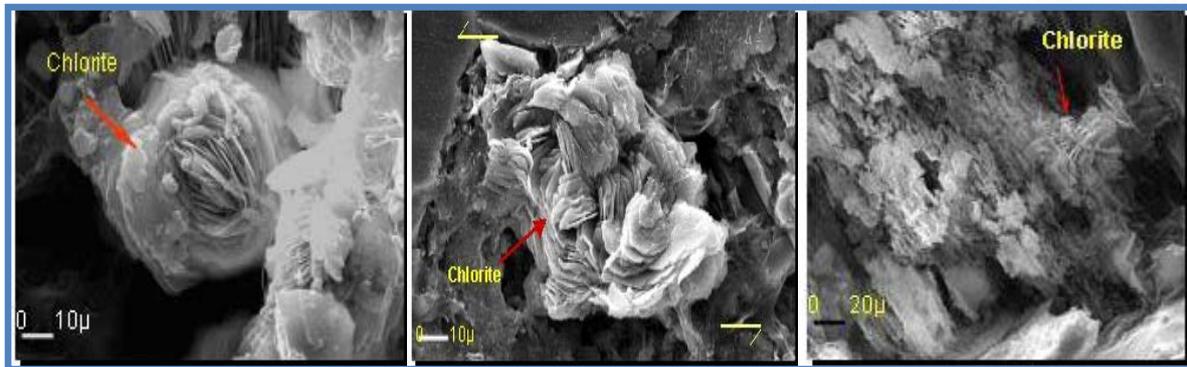


Fig. II.14 : Observation au microscope électronique à balayage de la Chlorite. A gauche Chlorite en accordéon (rosacé) Gr X 2025. Au centre, Chlorite filling cisailé Gr X 1717, allure sigmoïdale compatible avec un jeu senestre. A droite altération de feldspaths en chlorite. Puits C, Gr X 1224..

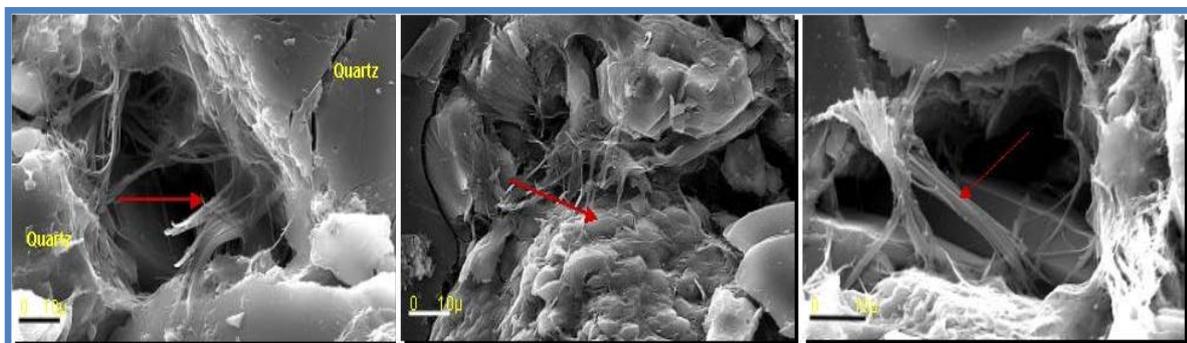


Fig. II.15 : Observation au microscope électronique à balayage de l'Illite. Adroite Illite en pore filling Gr X 2269. Au centre Illite lining GrX2477. A droite Illite en pore bridging Gr X 3434. Puits L.

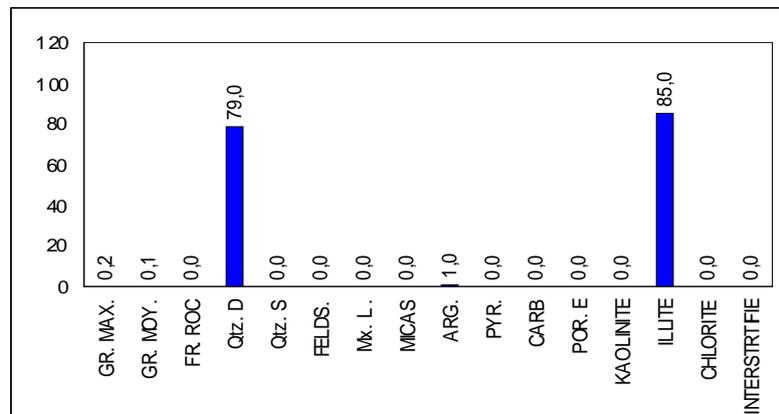


Fig. II.16 : Histogramme des valeurs moyennes des différents constituants et de la granulométrie, l'illite présente 85% par rapport aux argiles existantes dans les lames minces examinées des Quartzite de Hamra, Puits.

9.4.3.3. La Kaolinite.

La Kaolinite est moins abondante dans les lames minces examinées des Quartzite de Hamra. L'ensemble d'illite, chlorite et kaolinite peut atteindre parfois des teneurs de 2 à 22% au niveau du Puits E. la Kaolinite authigénique apparaît comme ciment ou bien comme remplaçant des grains détritiques (fig. II. 17). La kaolinite peut se transformer en illite par des phénomènes d'illitisation de la Kaolinite.

La kaolinite se présente généralement sous deux faciès classique différent :

1. Sous forme de vermiculaire bien cristallisés entre les grains de quartz (fig. II.17)
2. L'autre forme de Kaolinite est dérivée à partir de transformation de micas en Kaolinite (fig. II.18).

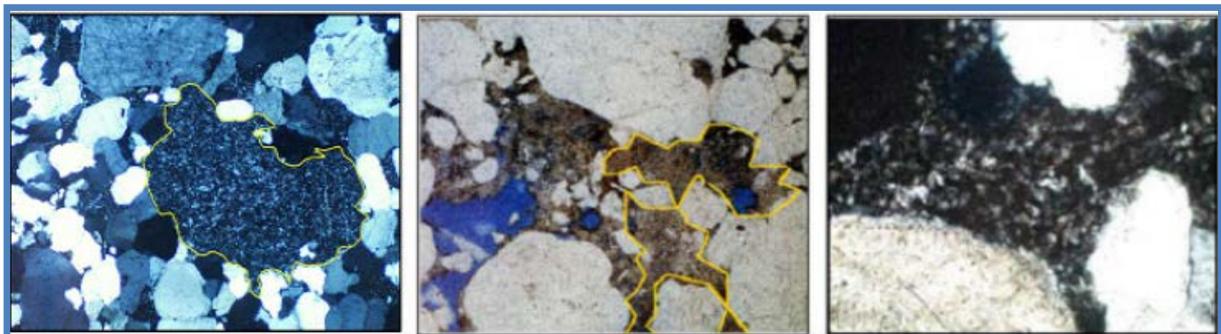


Fig. II.17: A gauche une masse de Kaolinite à aspect noduleux Puits E. LN X40. Au centre la kaolinite apparaît sous forme de ciment entre les grains de quartz. Puits E LNX40. A droite, ciment kaolinitique. Puits E LNX200.

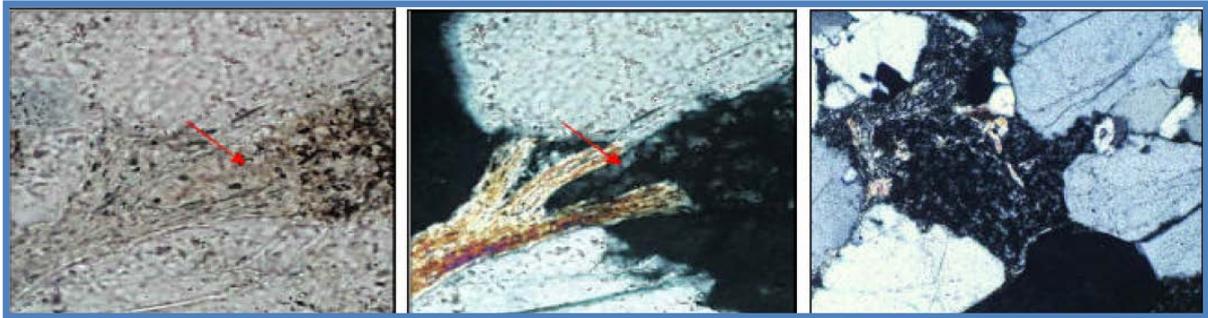


Fig. II.18 : A gauche et au centre, une intense altération de micas en Kaolinite (Flèches rouges). Puits HDZ3. LP et LNX100. A droite Kaolinite authigénique apparaît comme grains détritiques. Puits HDZ-3, LN X 200.

9.4.3.4. Les interstratifiés :

Les analyses au rayons X sur la masse argileuse des sédiments du Puits H ont montrées que Les interstratifiés sont peu abondant dans les Quartzite de Hamra, cependant, ils peuvent atteindre localement des valeurs considérables de 35% (voir les tableaux de l'annexe) du pourcentage globale des argiles, les interstratifiés sont connus par leur grande porosité, mais une perméabilité presque nulle, ils sont formés par l'alternances plus au moins régulière de feuillets de natures différentes ex, illite-montmorillonite, illite-chlorite,...(Dictionnaire de géologie, Ed, 2006) .

9.4.3.5. La glauconite :

La glauconite est rencontrée occasionnellement dans les faciès de Quartzite de Hamra (fig. II.19), La glauconie se forme en milieu marin, le plus souvent à des profondeurs de 50 à 500 m (peut-être jusqu'à 1 000 m), parfois en association avec des minéraux phosphatés fig. II.19). Elle se présente fréquemment sous forme de grains (0,1 à 3 mm env.) vert foncé à éclat gras. (.Dictionnaire de géologie, Ed, 2006)

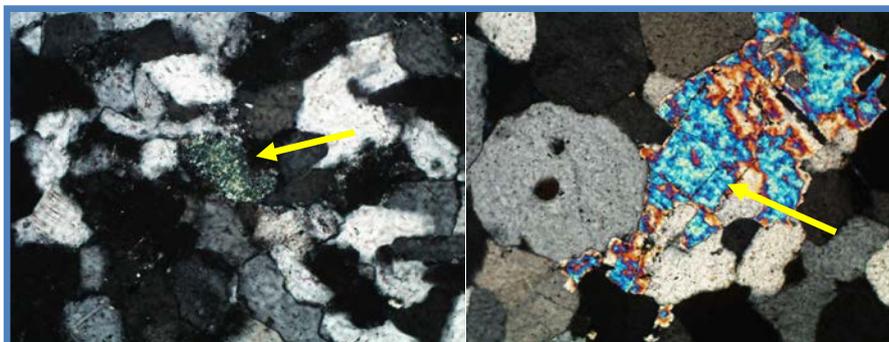


Fig. II.19: A gauche, glauconite verte, dans un quartzite (flèche jaune). Puits L, LPx40. A droite dépôt phosphaté observé occasionnellement dans des quartzites. Puits L, LPX40

9.4.4. Composants en traces.

9.4.4.1. La Pyrite :

La Pyrite apparait dans les composants de Quartzite de Hamra en trace, elle apparait éventuellement dans des fractures (fig. II.20), avec une fréquence variable, elle dépend de conditions géochimiques et de phénomènes diagénetique qui précèdent sa formation. Par ailleurs, on ne peut pas maintenir une origine sédimentaire de ce sulfure (Pyrite), qui peut être pénétré, dans la roche à travers la circulation de fluide hydrothermal.

9.4.4.2. Le Gypse :

Des recristallisations de gypse à l'intérieur des fractures et de microfissures ont été observées, sous forme de bâtonnets, ou bien de rosaces. L'effet du gypse sur les propriétés du réservoir reste marginale, du moment qu'il n'est pas abondant, et seulement dans quelques Puits il a été décrit, notamment dans le Puits L (fig. II.21) la présence de gypse dans les espaces issus de la porosité secondaire, c'est-à-dire dans la fissuration, indique que sa formation est postérieure à la fracturation, et l'hypothèse qui semble être réelle pour sa présence ; est l'origine triasique, avec la circulation des fluide riche en chlorures et sulfates alcalins, les Quartzite déjà formés et fracturé, seront enrichie par ces solutions et a un certain moment , lorsque on atteint un seuil de concentration des ions K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} le gypse sera cristallisée dans des les fissures et dans des microfissures.

9.4.4.3. L'Halite :

L'halite est un chlorure ($NaCl$), elle est peu présentée dans les Quartzite de Hamra, elle occupe parfois des pores issus de la porosité réduite intergranulaire, ou bien dans des fissures ou microfissure (fig. II.22). Son origine est probablement la même que le gypse ou bien l'anhydrite,



Fig. II.20: A gauche, observation au microscope électronique à balayage de cristaux de pyrite octaédriques en association avec un ciment illitique. Puits HTFN-1. Gr X 720.

A droite des mouchetures de pyrite dans un grès quartzitique, très fin (flèche jaunes). Puits HDZ-3. LPX40.

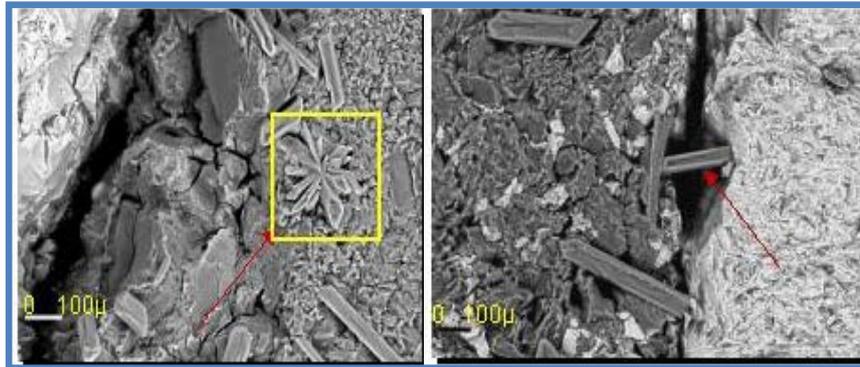


Fig. II.21 : A gauche, Observation au microscope électronique à balayage d'une cristallisation de gypse en rosaces. Puits L. Gr X 225. A droite, observation au microscope électronique à balayage d'une cristallisation de gypse en bâtonnets à l'intérieur de microfissures. Puits L. Gr X 180.

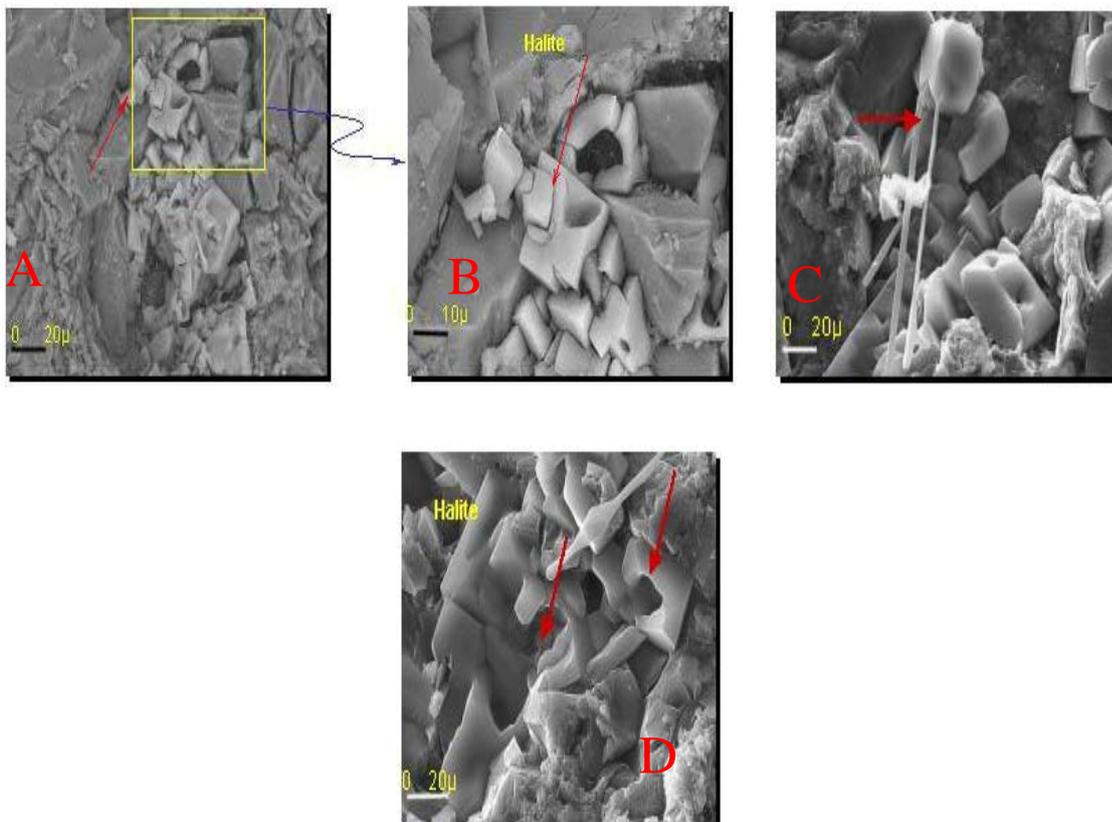


Fig. II.22 : Observation au microscope électronique à balayage. A gauche, A et B, présence de cristaux de l'halite dans des microfissures. Puits C, Gr X 1288 et 2576. A gauche, C, montre la dissolution partielle de l'halite sous forme aiguille. Puits HTFN-1. Gr X 1144, et D, montre le début de la dissolution de la halite. Puits HTFN-1, Gr X 1478.

9.5. Caractéristiques minéralogiques des Puits.

La représentation graphique des différents éléments minéralogiques en fonction de la profondeur a révélé :

a. Puits E : La fig. II.23 montre :

- Quartz : Evolution verticale : Le grain maximal et le grain moyen montrent un pic au niveau de la côte 3325.82 m avec des valeurs respectives de 1.55 mm et 0.77 mm
- Feldspath : Leur valeur maximale est de 1% qui est représentée sur le log par un pic au niveau de la côte 3324.55 m.
- Minéraux lourds : En générale les minéraux lourds présentent une allure homogène suivant la profondeur.
- Pyrite : Elle présente une allure homogène suivant la profondeur.
- Argile : Sur le log, l'allure de la teneur d'argile en fonction de la profondeur se présente en fluctuation avec des teneurs qui n'excèdent pas les 17%.
- Silice secondaire : Se présente en faibles teneurs, l'allure du log se présente inversement à celle des argiles.

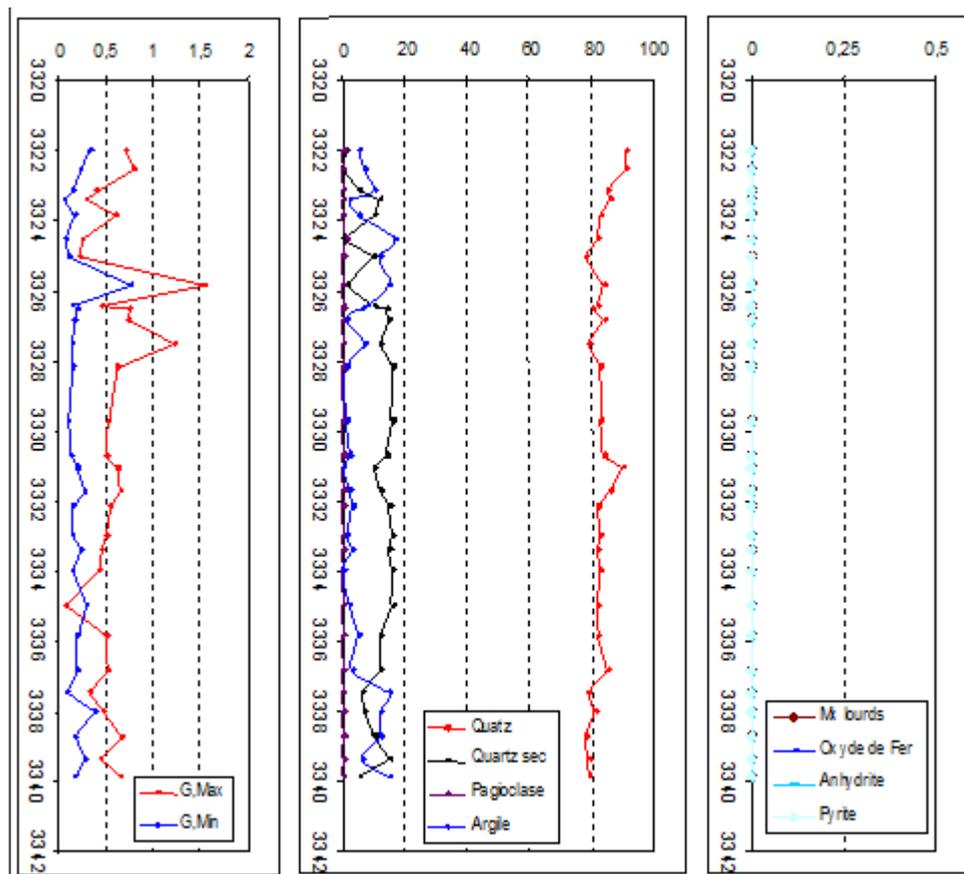


Fig.II.23. : Variation verticale des différents composants minéralogiques du puits E

b. Puits C : La fig. II.24 montre :

- Quartz : relation proportionnelle du grain maximum et minimum, on note une augmentation de la granulométrie dans la partie supérieure correspondant au grès de Ouargla.
- Feldspath : assez important dans la partie sommitale (grès de Ouargla), rare dans la partie quartzite de Hamra.
- Micas : important dans la partie sommitale (grès de Ouargla), rare dans les Quartzite de Hamra, présent localement à la base.
- Minéraux lourds : assez importants dans les Quartzites de Hamra.
- Pyrite : très importante dans la zone de passage entre les grès de Ouargla et les Quartzites de Hamra (se localise dans la zone fracturée).
- Matière organique : relativement importante dans la zone fracturée.
- Argile : importante dans les grès de Ouargla.
- Silice secondaire : faible dans les grès de Ouargla, très importante dans les Quartzites de Hamra qui tend à diminuer à la base.

Carbonate : présent dans les grès de Ouargla, dans les Quartzites de Hamra en trace et se localisant généralement dans les microfissures

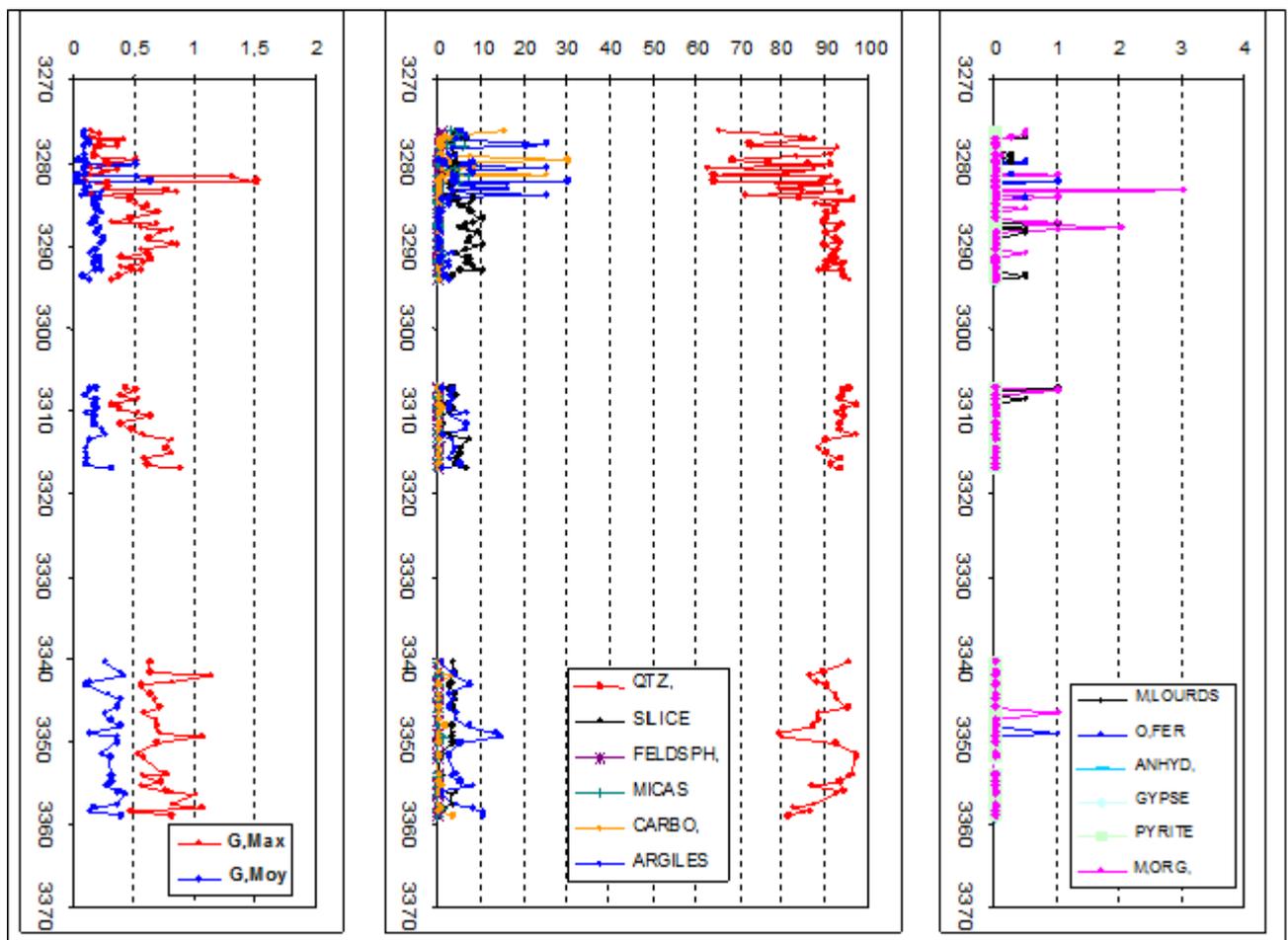


Fig. II.24 : Variation verticale des différents composants minéralogiques du puits C

10. Aspects diagénétiques :

10.1. La maturité texturale des Quartzite de Hamra au pourtour de Hassi Messaoud.

Les composants de Quartzite de Hamra en phase de dépôts, sont essentiellement constitués de quartz, et les ciments quartzeux viennent juste après le dépôt, avec quelques phases de compaction et de l'élévation de température (inférieur à 100° C). Durant les phases de compaction de sédiments, les ciments siliceux commence déjà à obturer les espaces poreux, c'est-à-dire la porosité primaire de la roche.

L'altération et la dissolution des composants instables des Quartzite de Hamra, résultant de la diagenèse de quartz arénite, qui varie en fonction de la température et de la composition initiale des quartzites. Les feldspaths généralement sont altérés en Illite ou bien en chlorite et rarement en Kaolinite et des fragments lithiques sont parfois illitisés. Ce phénomène d'illitisation est observé dans les trois gisements (Zone A, B et C), il est le plus répandu dans les Quartzites de Hamra au pourtour de Hassi Messaoud.

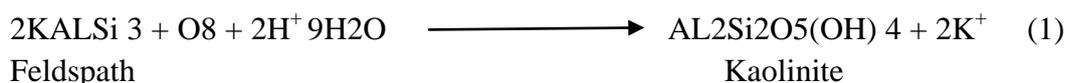
10.2. Enfouissement diagénétique des grès.

L'apparition des différents types d'argile (illite, chlorite, Kaolinite, montmorillonite, glauconite et interstratifiés et les modifications morphologiques et structurales de minéraux illitiques et kaolinitiques, est fonction de température et de la profondeur de l'enfouissement.

10.3. La kaolinite dans la diagenèse des grès.

La description de la structure de la kaolinite peut être trouvée dans les travaux de Beaufort et al, 1998), qui indiquent que la présence de Kaolinite dans les grès est le résultat d'une évolution diagénétique jusqu'au début d'illitisation, l'après quoi la kaolinite se transforme en illite **Fig.**

Dans les grès, trois types majeurs de diagenèse de kaolin ont été recommandés, le kaolin qui remplace les micas détritiques, vermiforme kaolin, et le kaolin en amas. Les conditions de cristallisation des deux derniers types morphologiques de kaolin est sujet de controverse. Deux hypothèses ont été suggérées pour la composition des fluides responsables de la cristallisation massive de kaolin en relation avec la transformation de feldspaths potassique et des plagioclases. Selon la première hypothèse, la cristallisation de kaolin est assurée dans des zones moins profondes du milieu marin, avec l'influence des eaux météoriques (Hancock, 1978; Hancock et Taylor, 1978 ; Sommer, 1978 ; In Bessa Fadila, 2004), qui affectent les formations durant la diagenèse précoce ou bien après l'inversion structurale. Comme conséquence de la dissolution des feldspaths, le Kaolin se précipite comme suit ;



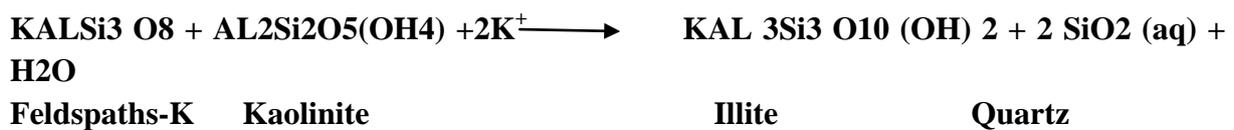
Pour la deuxième hypothèse, CO₂ organique, ou bien des fluides riches en acide, peuvent être associés à des eaux météoriques, ce qui cause l'altération des feldspaths et la précipitation probable pour la kaolinite selon la réaction chimique (1) (Platt, 1993 ; In Bessa Fadila, 2004), ces fluides résultent de la maturation de la matière organique dans des argiles et les niveaux bitumineux. Les grès en contact avec ces niveaux, seront enrichis par des solutions acides.

10.4. Illitisation durant l'enfouissement diagénétique des grès.

La plupart des études des séquences diagénétique dans les grès, montrent que la précipitation de l'illite est durant l'enfouissement profond des sédiments. À la mer du Nord, l'illite se forme généralement à la profondeur > 3500m et à la température > 120° C. L'illite se forme de la transformation de la Kaolinite (Bjorlykke et al., 1992. In Bessa Fadila.,2004). Selon Beaufort et al., (1998), dans les grès de la mer du Nord, l'illite remplace la kaolinite vermiculaire à la profondeur d'enfouissement ≈3000m. Le reste des cristaux de Kaolinite, montrent une évidence pour la dissolution. De 3000 à 3500m, illitisation se développe aux dépens de cristaux de kaolins qui constituent les cristaux de la dickite intercalés à l'intérieur de Kaolinite vermiculaire. Par ailleurs, les cristaux de dickite montrent une évidence à une faible dissolution et ils sont associés au début d'illitisation. Dans les profondeurs importantes d'enfouissement ≈ 5000m (fig. II.25), les cristaux individuels de dickite en amas persistent dans la matrice illitique à grains grossiers, souvent montrent une évidence à une dissolution partielle.

Selon Lenson et al., 1996 (In Bessa Fadila., 2004), suggèrent que la kaolinite se dissout plus rapidement que la dickite durant l'illitisation, parce que la dickite est thermodynamiquement est plus stable que la kaolinite.

Selon Bjorlykke (1984), In Bessa Fadila (2004), le seuil de la température correspond à la température de déstabilisation thermodynamique de l'assemblage kaolinite + k-Feldspaths (+Quartz), selon la réaction suivante :



La conversion de la kaolinite à la dickite est plus lente que la formation de la dickite à partir de l'altération des feldspaths potassiques (Beaufort et al., 1998).

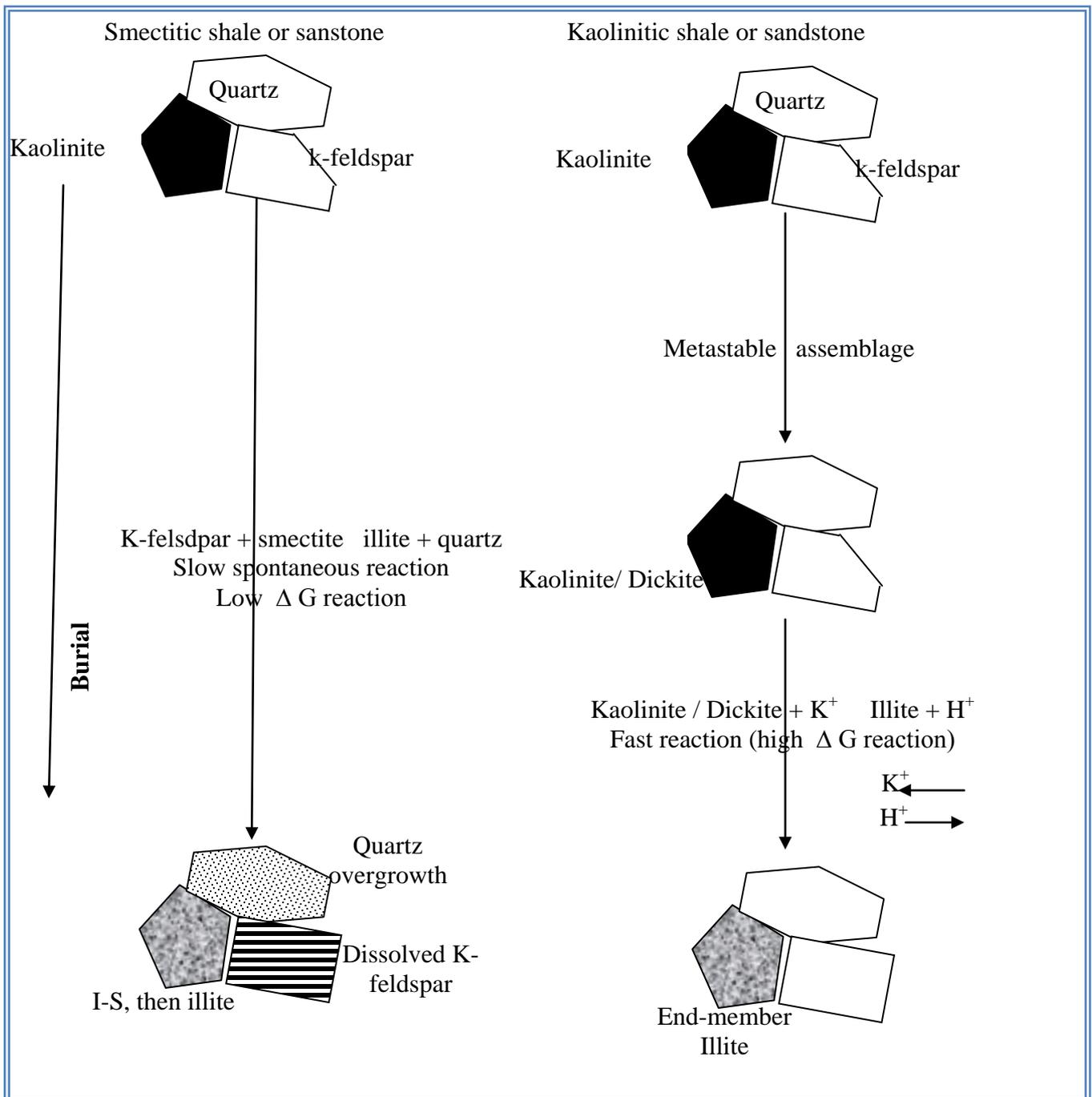


Fig. II.25. Un schéma idéalisé de processus d'illitisation dans les grès, en fonction de la composition minéralogique initiale (modifié d'après Berger et al., 1997).

10.5. La reconstitution de séquence diagénétique des Quartzite de Hamra au pourtour de Hassi Messaoud.

Dans les lames minces étudiées des Quartzites de Hamra, un seul puits été sujet d'étude de type d'argile aux rayons X, il s'agit de Puits H (dans la zone B). L'apparition, et l'évolution des minéraux argileux reflètent l'histoire diagénétique, le seul minéral argileux qui est omniprésent dans les quartzites de Hamra est bien l'illite et accessoirement la kaolinite, chlorite, interstratifiés et la glauconite. L'existence de ces minéraux argileux, nous permettent ainsi, de reconstituer la succession chronologique des événements diagénétiques, en fonction de la température et de la profondeur d'enfouissement (fig.II.28).

La composition immature des grès est stable et elle présente aucune altération dans des profondeurs inférieures à 600m à une température de 100° C, au dessous de cette profondeur, la kaolinite apparait et on assiste à la dissolution des feldspaths, ce processus permet la transformation des feldspaths et des micas en chlorite (fig. II.26), ou bien en kaolinite. A des grandes profondeurs (3500m avec une température de 700°C), la kaolinite se transforme en illite.

L'explication la plus probable de l'existence de traces de kaolinite dans les Quartzite de Hamra, est le fait que ces minéraux, restent piégés dans espaces poreux résiduels, après enfouissement et compaction, dans les Quartzite de Hamra, seul 5% de la masse argileuse est formée de kaolinite au niveau du Puits H, il en est de même pour la chlorite qui est très instable, la glauconie et aussi les interstratifiés. Ces minéraux argileux, sont souvent rencontrés dans les grès relativement grossiers, là où la porosité primaire est localement importante.

Les ciments quartzeux, commence à se former juste après le dépôt, et ils continuent en phase de compaction des sédiments et ils existent dans toutes les phases ultérieures de la diagenèse. Les ciments siliceux de nourrissage sont aussi bien développés dans les quartzites de Hamra, ils reflètent ainsi, un stade avancé de diagenèse, avec la circulation des fluides riche en silice, ils alimentent les grains de quartz autogénique, sous forme d'auréole siliceuse, ce qui va donner la silice de nourrissage (quartz overgrowths)

La tectonique cassante, qui affecte les Quartzites de Hamra, contribue ainsi, à créer des espaces poreux (porosité secondaire), siège de stockage de minéraux exogènes tels que, les sulfates, la pyrite, la halite.

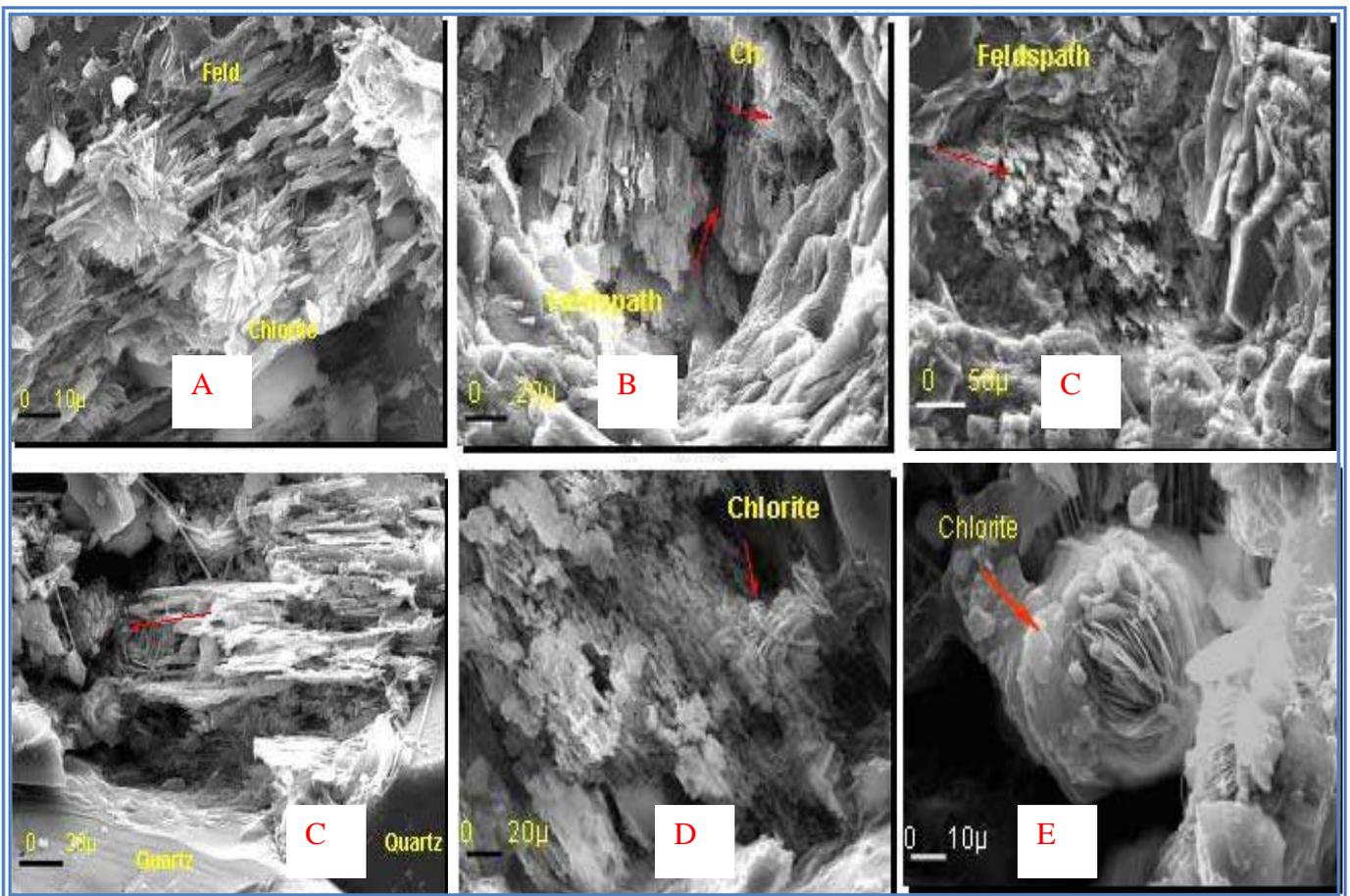


Fig. II.26 : Observation au microscope électronique MEA à balayage montrant différents stades de transformation des feldspaths en chlorite. A, B et C : Début de dissolution des feldspaths (Puits E et H Gr x 1224). C, D et E : Stade avancé de formation de chlorite jusqu'à des formes rosacées cristallines à partir de feldspaths (Puits A, B et H Gr x1117).

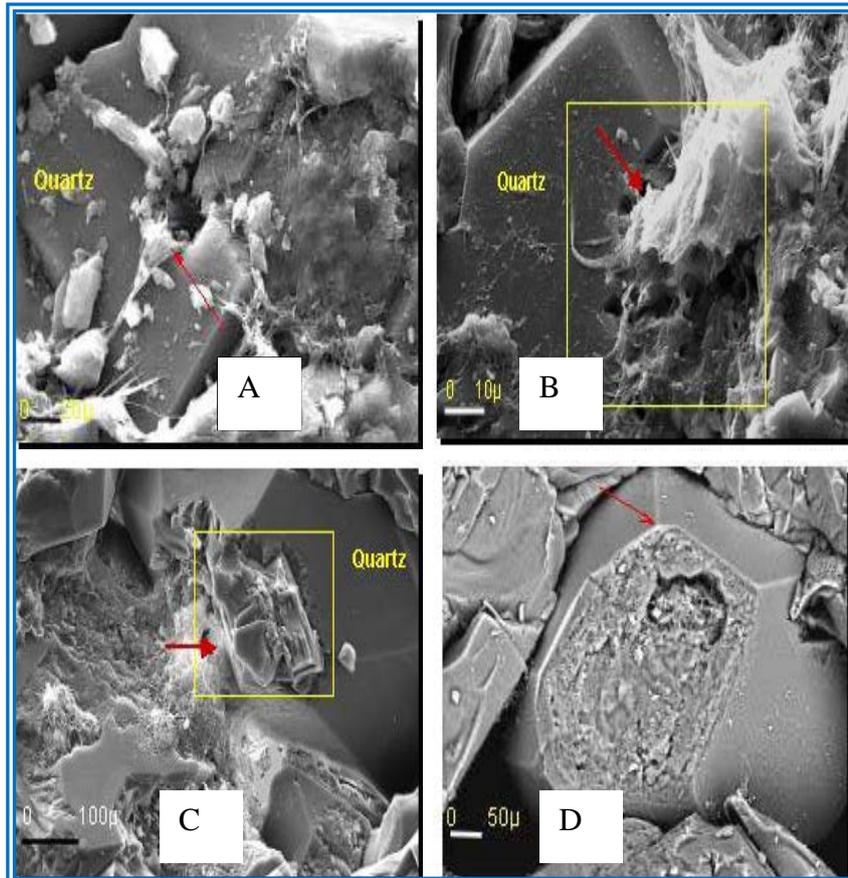


Fig. II.27: Observation au microscope électronique à balayage MEB de corrosion du Quartz et de silice de nourrissage. A et B montrent la corrosion de quartz par l'illite (Puits H et E. Gr x 2288). C montre la Corrosion de quartz par des carbonates (Puits E Gr x 320). La photo D montre le nourrissage de quarte par la silice (quartz overgrowths) (Puits E Gr x 320)

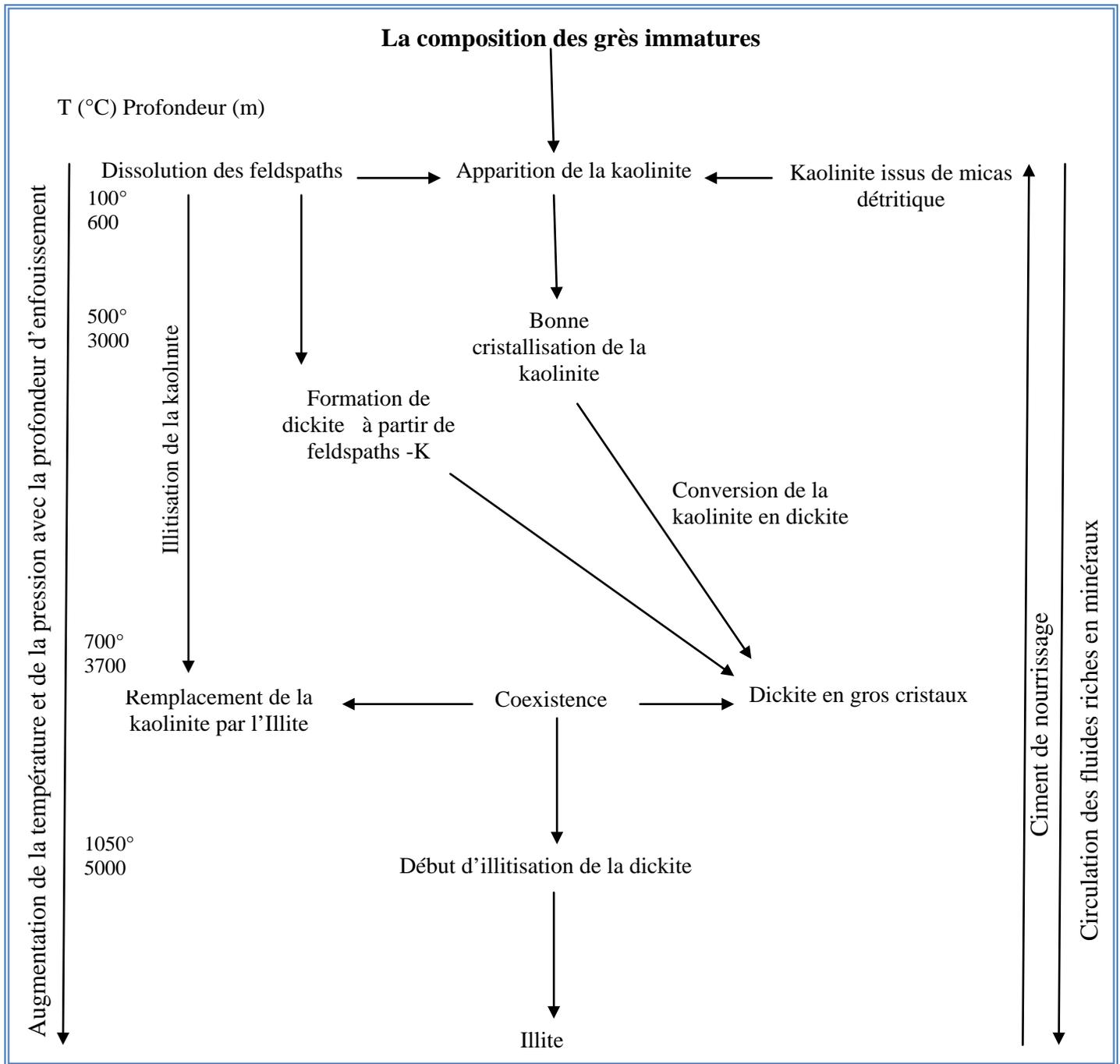


Fig. II.28 : schémas idéalisé de chronologie des événements de diagenèse dans le réservoir gréseux en fonction de température, pression et profondeur d'enfouissement. Le dépôt des grès immatures, ne présentent pas d'altération et aucun changement dans des profondeurs inférieures à 600m et à des températures inférieures de 100°C. Au dessous de cet intervalle, la première Kaolinite apparait, les feldspaths commencent à s'altérer. Ce processus permet la formation de la dickite. A des profondeurs d'enfouissement importantes, la kaolinite se transforme en dickite et parfois, elle est illitisée. A la profondeur de 3500m et à des températures de 700°C, la kaolinite et la dickite coexistent. Au delà de la profondeur de 3500m, la dickite est illitisée. Le maximum de profondeur d'enfouissement et de température correspondant aux différents phénomènes diégétiques est obtenu par Beaufort et al. (1998), Lanson et al. (2002).

11. Mesures pétrophysiques

11.1 Préparation des échantillons

Nous opérons sur des échantillons cylindriques prélevés horizontalement, de 2.5 cm de diamètre et d'environ 2 à 5 cm de longueur. Le lavage se fait par extraction à l'aide du toluène pour éliminer la matière organique et les impuretés, puis par du méthanol pour dissoudre les sels. Les échantillons sont ensuite séchés dans une étuve à une température maintenue à 90°C jusqu'à stabilité de leurs poids sec mesuré à une précision de 0.001g.

11.2. Procédures de mesures

a. Pétrophysiques en conditions ambiantes

Les mesures pétrophysiques consistent à déterminer la perméabilité, la porosité et la masse spécifique des grains.

a.1 Perméabilité

Cette mesure est effectuée à l'aide d'un perméamètre à air, à charge constante de type Corelab dont le principe est basé sur la loi de Darcy.

a.2 Porosité

On détermine, le volume solide de l'échantillon à l'aide d'un porosimètre à Hélium du type Corelab dont le principe est basé sur la loi de Boyle, et son volume total, par la méthode d'immersion dans le mercure (poussée d'Archimède).

a.3 Masse spécifique : C'est le rapport du poids sec de l'échantillon sur son volume solide.

b. Pétrophysiques sous contraintes

Les échantillons sélectionnés pour les mesures pétrophysiques sous contraintes sont placés en ordre dans un carrousel et l'analyse s'effectue automatiquement.

La pression de confinement de 6000 psi est appliquée directement sur toute la surface extérieure de l'échantillon inséré dans la cellule.

b.1. Perméabilité

Un réservoir de volume connu rempli d'hélium se décharge à l'atmosphère en passant par le milieu poreux. La chute de pression dans le réservoir est enregistrée en fonction du temps. Le déclin de pression dépend de la diffusivité hydraulique de la roche dont on déduit la perméabilité.

La perméabilité à l'air est corrigée de l'effet de glissement aux parois par la formule de Klinkenberg comme suit : $K_{air} = K_{cor} (1+b/P_m)$

b.2. Porosité

Le volume des pores est déterminé par la méthode d'expansion des gaz. L'échantillon est pressurisé jusqu'à la stabilité de la pression et le calcul du volume des pores est déterminé par la loi de Boyle.

12. Analyse de porosité et perméabilité

Les principaux résultats des mesures pétrophysiques sont présentés les graphiques des figures (Fig. II.19 et 20), des mesures de porosité et de perméabilité des différents puits montrent :

12.1. Variation de porosité et perméabilité (fig. II.29 et fig. II.30)

a. Puits B

Intervalle I : 3279 m à 3245 m, soit 34 m. Trois parties sont visibles dans cet intervalle, du haut vers le bas on a :

- Partie supérieure avec une porosité faible autour de 3%.
- Partie moyenne avec une porosité autour de 7%.
- Suivi d'une porosité assez élevée autour de 10%.

La perméabilité évolue dans le même sens mais elle reste faible atteignant localement 1 mD. La valeur la plus élevée enregistrée est de 10 mD, elle correspond à un échantillon fracturé.

b. Puits C

Intervalle I : 3295 m à 3276 m, cet intervalle montre une augmentation de la porosité du haut vers le bas qui n'excède pas les 10%. La perméabilité varie dans le même sens et reste faible (1mD).

Intervalle II : 3317 m à 3307 m, la porosité est assez élevée et atteint 9 à 10% par endroit, cependant la perméabilité reste faible et varie entre 0.1 et 1mD.

Intervalle III : 3359 m à 3340 m, la partie supérieure présente des porosités relativement élevées (8%). Cet intervalle faisant partie de la zone de passage entre les grès de Ouargla et les Quartzites de Hamra, correspond à une zone intensément facturée. La partie inférieure est caractérisée par de faibles porosités de l'ordre de 3% et de faibles valeurs de perméabilité ne dépassant pas les 0.1 mD.

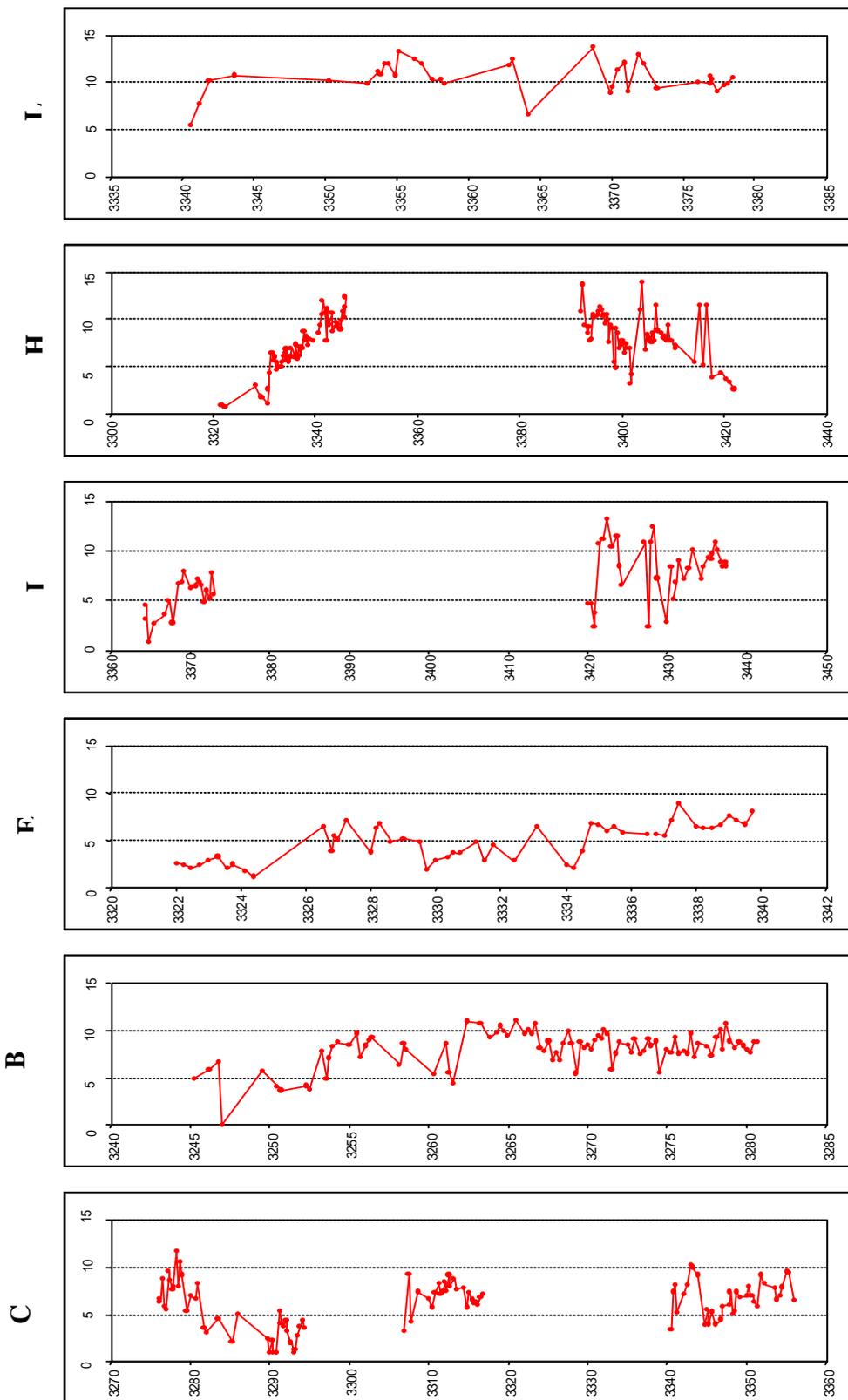


Fig. II.29 : Profil des porosités des différents puits en fonction des niveaux carottés

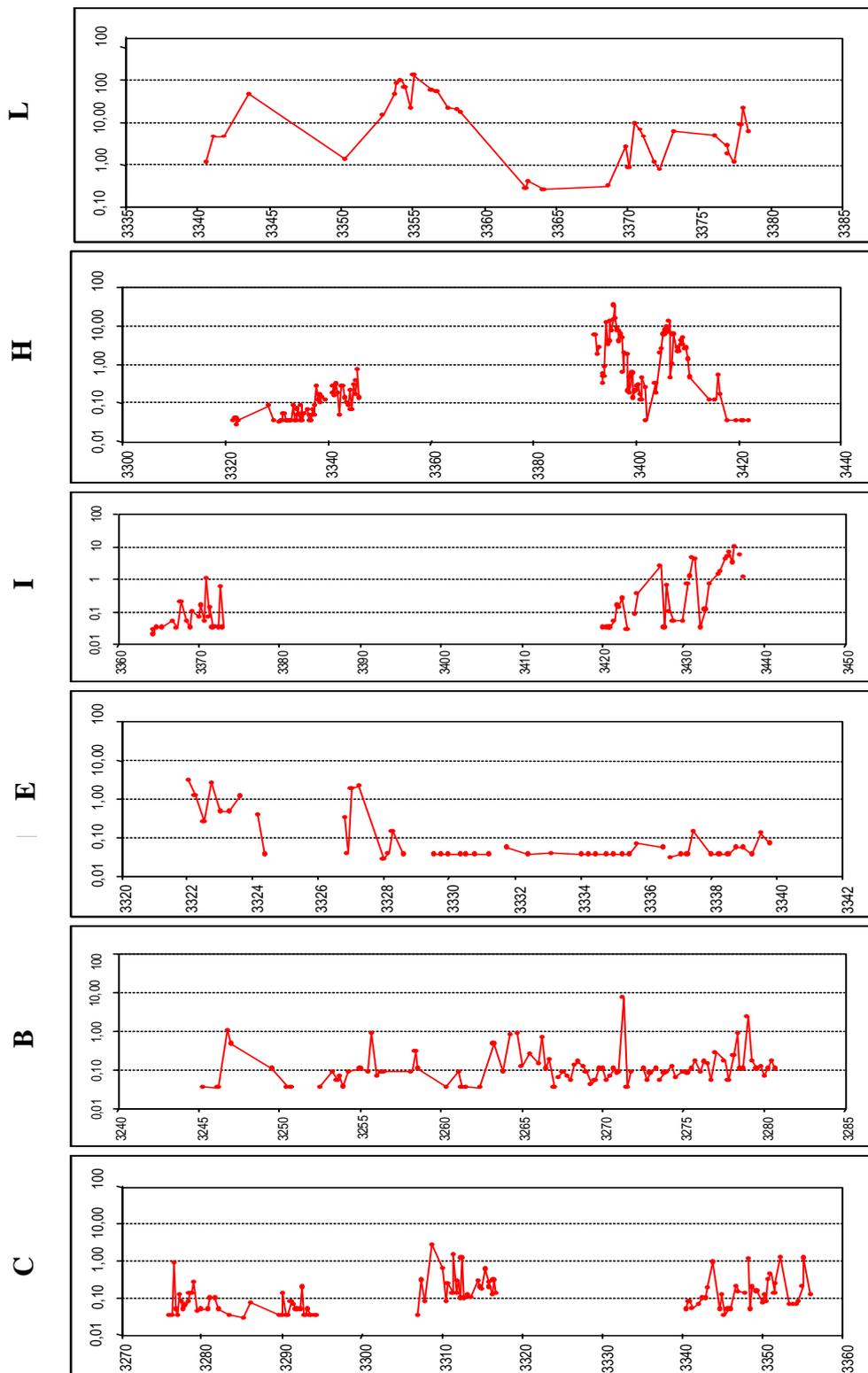


Fig. II.30 : Profil des perméabilités des différents puits en fonction des niveaux carottés

c. Puits E

Intervalle I : 3339.85 m à 3322 m, les valeurs de porosité montrent une augmentation de 3 à 8% du sommet à la base de l'intervalle. Quant à la perméabilité, elle varie d'une manière inverse, elle est de l'ordre de 0.01 mD à la base pour atteindre 0.1 mD au sommet.

d. Puits I

Intervalle I : 3374 m à 3364 m, la partie sommitale présente des valeurs de porosités assez élevées tout en ayant de faibles perméabilités (0.1 à 1mD). La base de l'intervalle montre une augmentation pour atteindre des valeurs de 10 mD.

Intervalle II : 3437.8 m à 3420 m, la porosité augmente du haut vers le bas sans excéder les 8%. La perméabilité évolue dans le même sens sans dépasser le milli-Darcy.

e. Puits H

Intervalle I : 3320 m à 3346 m, la porosité augmente du sommet à la base atteignant les 15%. La perméabilité augmente dans le même sens sans dépasser 1 mD.

Intervalle II : 3390 m à 3420 m, la porosité et la perméabilité diminuent du sommet vers la base de l'intervalle.

f. Puits L

Intervalle I : 3379.2m à 3349m, la porosité reste globalement homogène autour de 10%. La perméabilité est élevée dans la partie supérieure de l'intervalle atteignant le 100 mD, avec des pics de 132 mD. Dans la partie inférieure, la perméabilité est faible, elle varie entre 0.1 et 1 mD.

12.2. Analyse Statistique**12.2.1 Analyse des histogrammes : Trois zones ont été choisies**

Les histogrammes de porosité et perméabilité par zone montre :

- **ZONE A :** la porosité présente une distribution normale autour de la moyenne (Fig.II.31), avec prédominance de la classe entre 6 et 8%. La perméabilité montre une distribution log normale où prédomine la classe entre 0.1 et 10 mD. Le champ de Hassi Terfa montre de faibles porosités et perméabilités avec des moyennes respectives 6.9% et 0.25mD (voir tableau II.5).

Tab. II.4 : Statistiques de la porosité et perméabilité dans la zone A

Porosité (%)		Perméabilité (mD)	
Moyenne	6,90	Moyenne	0,25
Variance de l'échantillon	8,21	Variance de l'échantillon	25,07
Minimum	0,68	Minimum	0,02
Maximum	13,94	Maximum	44,74

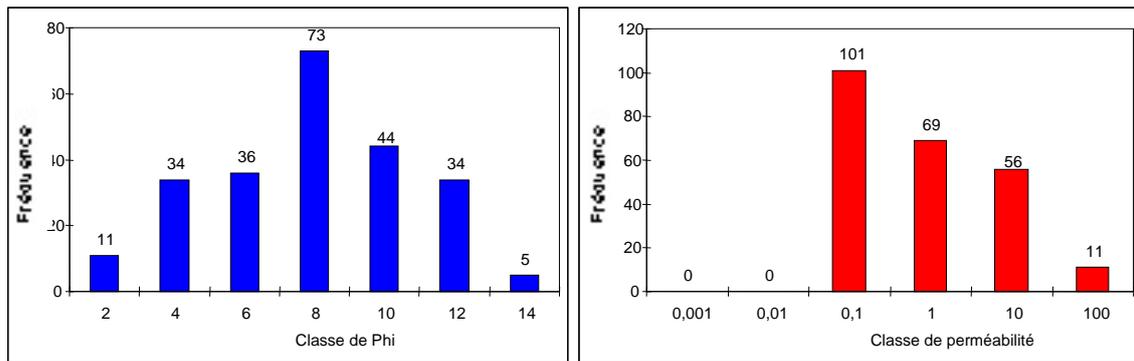


Fig. II.31 : Histogrammes de porosité et perméabilité dans la zone A

- **ZONE B** : l'histogramme de porosité montre une distribution normale décentrée vers la droite (fig.II. 32), avec prédominance des classes entre 6 et 10%. La perméabilité par contre montre une distribution log normale ou prédomine la classe entre 0.01 et 1mD (voir tableau II.6).

Tab.II.5 : Statistiques de la porosité et perméabilité dans la zone B

Porosité (%)		Perméabilité (mD)	
Moyenne	7,16	Moyenne	0,12
Variance de l'échantillon	5,16	Variance de l'échantillon	1,59
Minimum	0,96	Minimum	0,028
Maximum	11,70	Maximum	12,34

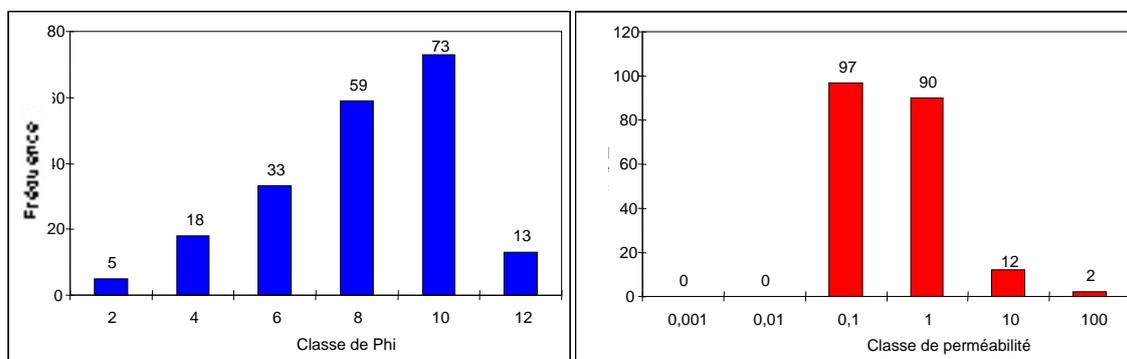


Fig. II .32 : Histogrammes de porosité et perméabilité dans la zone B

- **ZONE C:** l'histogramme de porosité montre une distribution normale autour de la moyenne 10.5%, caractéristique d'une porosité assez élevée (fig. II.33). La perméabilité montre la prédominance de la classe entre 1 et 10 mD. Le champ de Hassi Guettar présente des porosités et perméabilités assez élevées, voir tableau7.

Tab.II.6 : Statistiques de la porosité et perméabilité dans la zone C

Porosité (%)		Perméabilité (mD)	
Moyenne	10,50	Moyenne	6.17
Variance de l'échantillon	2,93	Variance de L'échantillon	1002,86
Minimum	5,45	Minimum	0,26
Maximum	13,75	Maximum	132,20

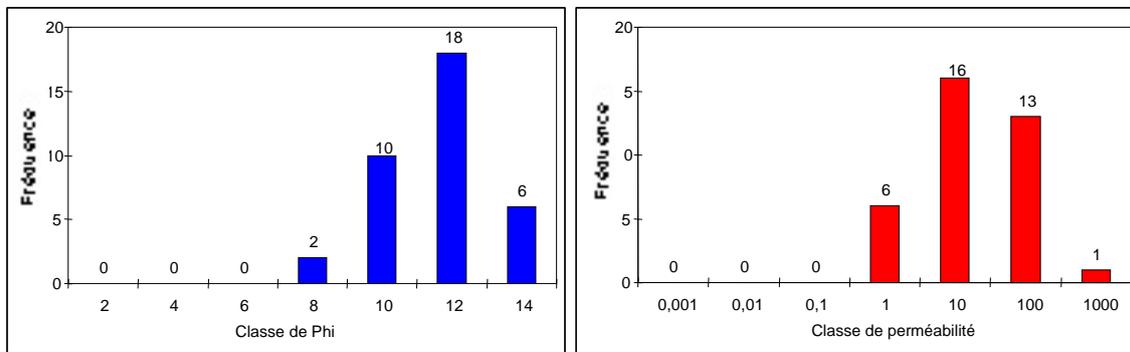


Fig. II.33 : Histogrammes de porosité et perméabilité dans la zone C

12.3. Corrélation porosité / perméabilité

Pour réaliser les graphes de l'évolution de porosité et de la perméabilité en fonction de la profondeur et les corrélations porosité / perméabilité, nous avons choisis à titre d'exemple deux Puits dans la zone A et B et un Puits dans la zone C en fonction de données disponibles. (Puits X1, X2 dans la zone A, X3 dans la zone B et X4 dans la zone C).

12.3.1. Porosité et perméabilité du Puits X1 :

Les graphes suivants montrent l'évolution verticale de la porosité et de la perméabilité en fonction de la profondeur dans le Puits X1 (fig. II.34).

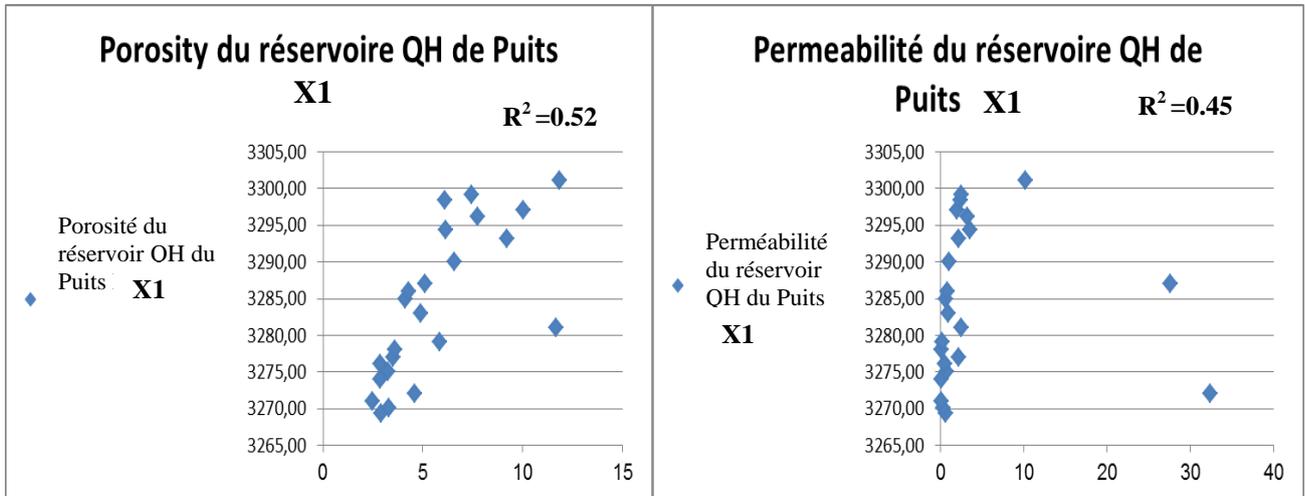


Fig. II.34.: Profile de porosité (A gauche) et de perméabilité (A droite) du réservoir Quartzite de Hamra du Puits X1

La porosité dans ce puits montre une distribution en deux zones et qui sont :

- ✓ Zone1 : (3269m-3279m) : Les valeurs de porosité inférieures à 6%.
- ✓ Zone2 : (3280m-3301m): les valeurs de porosité entre à 6% et 12%,

Cependant, les valeurs de la perméabilité sont faibles en intervalle (3269m-3286m) avec des valeurs qui ne dépassent pas 1md à l'exception du point 3272m où elle atteint 32.36 md.

Des valeurs de perméabilité assez importantes entre 3287m et 3301m avec des valeurs qui peuvent atteindre 10.15md.

12.3.2. Corrélation Porosité / Perméabilité du Puits X1 (fig. II.35)

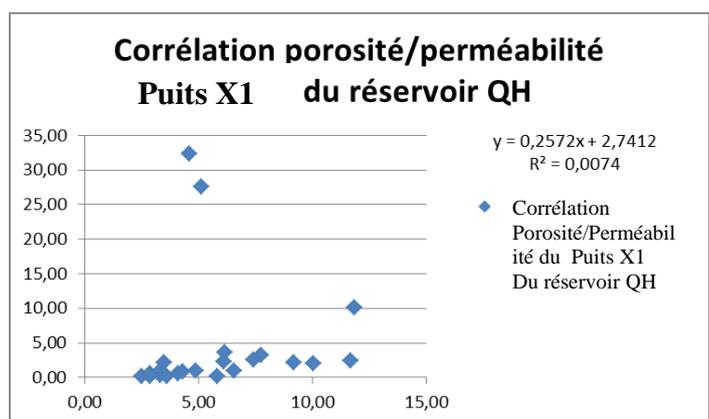


Fig II.35: Grès quartzitique, bioturbé correspondant à la zone linéaire de l'évolution porosité /perméabilité du Puits X1

Le coefficient de corrélation entre la perméabilité et la porosité du Puits HGA16 est mauvais $R^2 = 0,007$. On note également que la perméabilité varie indépendamment de la porosité.

Cette distribution s'explique par la nature de ces valeurs qui correspondent à la perméabilité de fracturation.

12.3.3. Porosité et perméabilité du Puits X2

Les graphes suivants montrent l'évolution verticale de la porosité et de la perméabilité en fonction de la profondeur (fig. II.36)

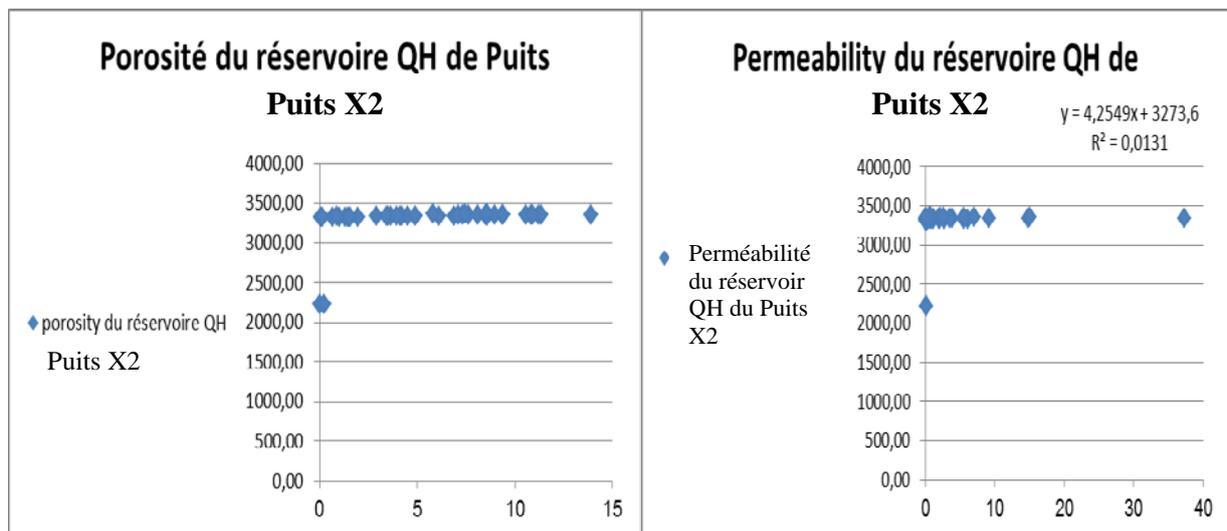


Fig. II.36: Profile de porosité (A gauche) et de perméabilité (A droite) du réservoir Quartzite de Hamra du Puits X2

L'évolution verticale de la porosité dans le Puits X2 montre une distribution en deux intervalles :

- (3316m-3221m) : les valeurs sont supérieures ou égales 0.7 %.
- (3222m-3359m) : les valeurs sont de 1% à 13%.

Cette distribution montre qu'il y a une hétérogénéité dans la distribution du volume d'argile dans le réservoir.

L'évolution verticale de la perméabilité montre trois intervalles :

- (3316m et 3329 m) : la perméabilité est très faible avec une moyenne de **0.7md** à l'exception du point **3326m** où elle atteint **2.67md**.
- (3330m et 3335m) : la perméabilité est moyenne, elle est de l'ordre de **2md** à **9md**
- (3336m et 3359m) : la perméabilité est moyenne, elle varie de **1.5md** à **19.56md**

12.3.4. Corrélation Porosité / Perméabilité du Puits X2 (fig. II.37)

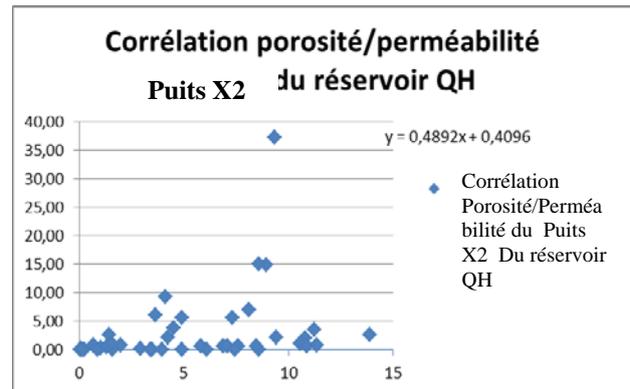
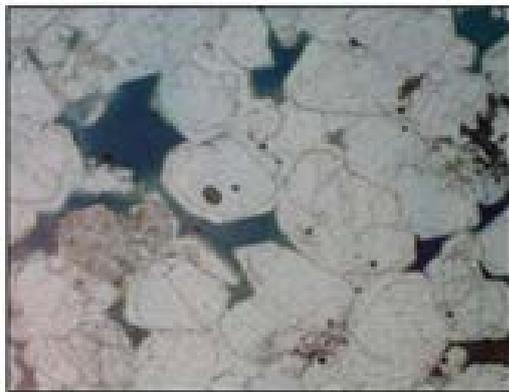


Fig. II.37 : Grès quartzitique, fin à moyen caractérisant le faciès dominant et correspondant à la zone linéaire de l'évolution porosité /perméabilité du Puits X2

Sur la courbe de corrélation entre les valeurs de la perméabilité et celles de la porosité, on remarque que ces dernières sont distribuées en un nuage de points avec une mauvaise corrélation $R^2 = 0,086$. La relation entre ces deux paramètres est expliquée par l'origine de la porosité et la nature de la perméabilité.

12.3.5. Corrélation entre Porosité / Perméabilité de l'ensemble des Puits de la Zone A.

La corrélation des porosités et des perméabilités sur l'ensemble des puits étudiés dans la zone A est schématisée dans le graphe ci-dessous (fig. II.38)

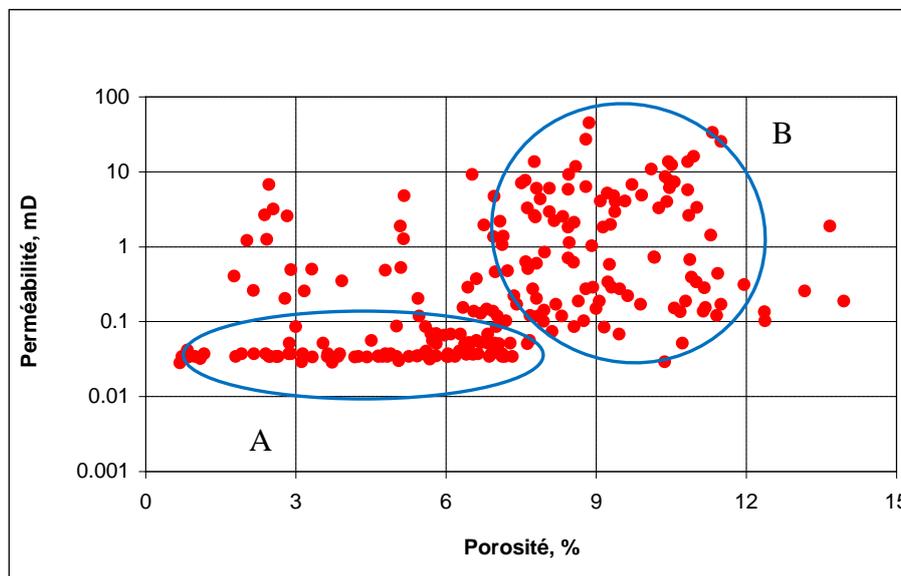


Fig. II.38 : Corrélation entre la porosité et la perméabilité sur l'ensemble des Puits de la zone A et qui montre deux tendance : A : Porosité augmente et perméabilité constante ce qui suggère la non communication des pores dans la roche et qui peut être aussi expliqué par l'absence au bien le manque de fractures susceptibles d'améliorer la perméabilité de la roche. B : Porosité augmente et il on est de même pour la perméabilité. Dans ces parties du réservoir la fracturation est relativement importante ce qui explique cette amélioration de la perméabilité.

12.3.6. Porosité et perméabilité du Puits X3

Les graphes suivants montrent l'évolution verticale de la porosité et de la perméabilité en fonction de la profondeur (fig. II.39)

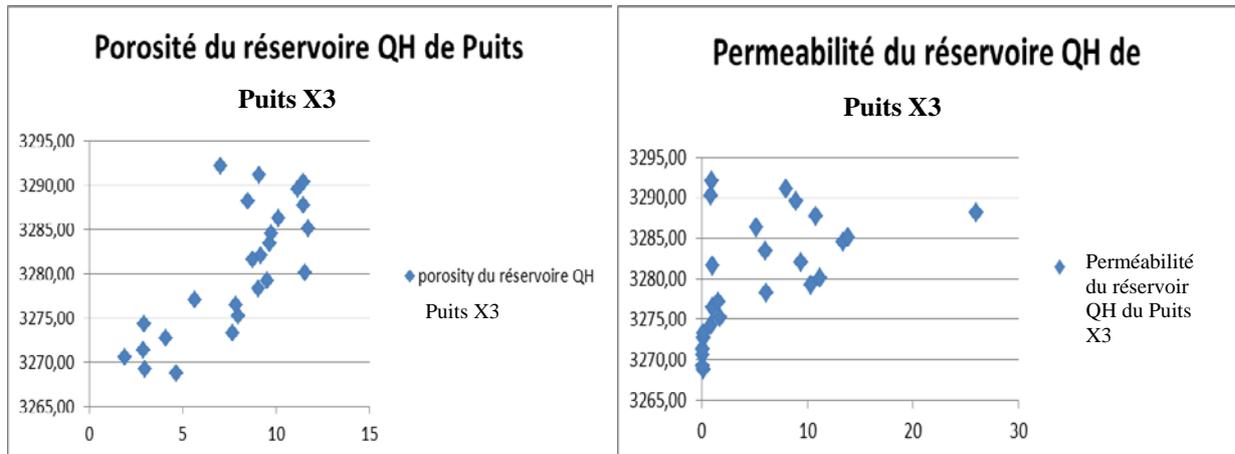


Fig. II.39 : Profile de porosité (A gauche) et de perméabilité (A droite) du réservoir Quartzite de Hamra du Puits X3

L'évolution verticale de la porosité du Puits X3 montre une distribution en deux intervalles :

- (3268m-3277m) : les valeurs faible de porosité, elles avoisinent 5.6%.
- (3278m-3292m): les valeurs moyennes de porosité, elles sont de 9 à 11%.

Dans ce puits on note que les valeurs de la perméabilité sont faibles à moyenne. On distingue deux intervalles :

- (3268m-3277m) avec des valeurs qui ne dépassent pas **1.5md**.
- (3278m-3292m) avec des valeurs comprises entre **6.11md à 25.98md**.

12.3.7. Corrélation Porosité / Perméabilité du Puits X3 (Fig. II.40)

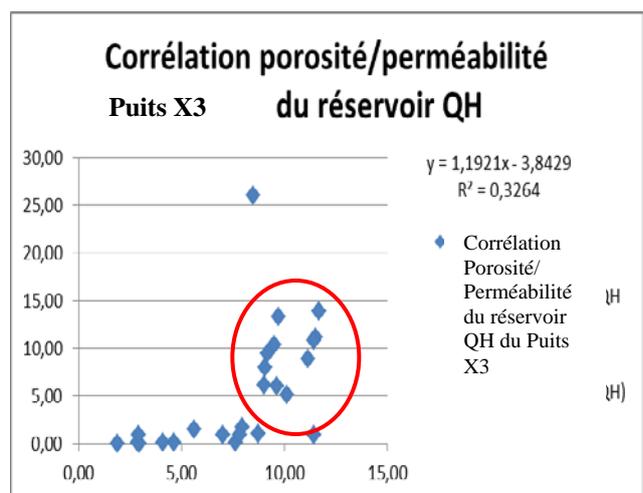
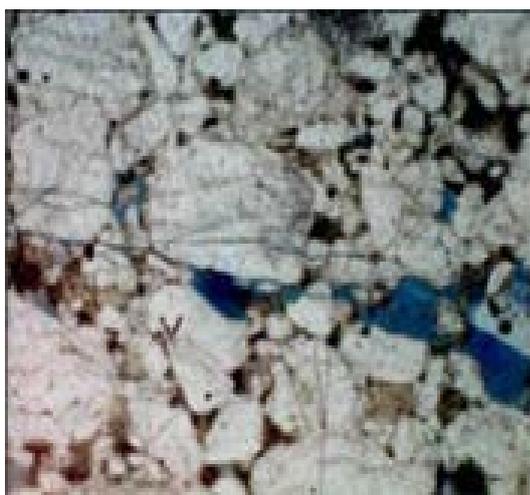


Fig. II.40: Grès quartzitique, fin à moyen présentant des micro-fissures susceptibles d'améliorer localement la perméabilité, ils correspondent à la zone de l'évolution porosité /perméabilité (cercle rouge) du Puits X3

Une relation exponentielle entre la perméabilité et la porosité existe avec un mauvais coefficient de corrélation de $R=0,32$. La porosité ne varie pas avec la perméabilité. Cette relation est expliquée par la perméabilité qui est liée à la fracturation.

12.3.8. Corrélation entre porosité / perméabilité de l'ensemble des Puits de la Zone B.

La corrélation des porosités et des perméabilités sur l'ensemble des puits étudiés dans la zone B est schématisée dans le graphe ci dessous (Fig. II.41)

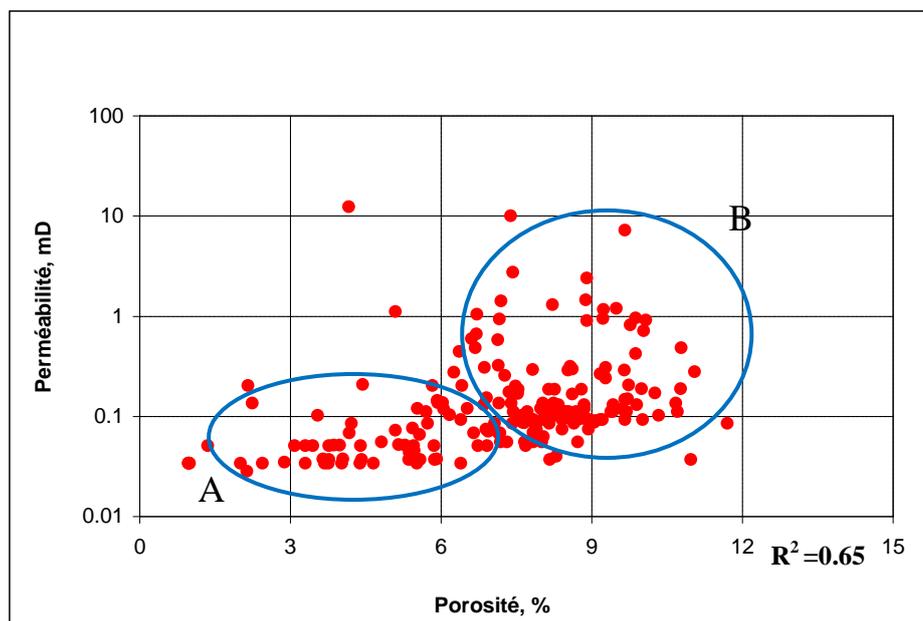


Fig. II.41: Corrélation entre la porosité et la perméabilité sur l'ensemble des Puits de la zone B et qui montre des tendances similaires à celles observées dans la zone A ces tendances sont : A Porosité augmente et perméabilité constante. B : Porosité augmente et perméabilité augmente.

Zone B : la même configuration s'observe (fig. II.25) sauf pour la troisième tendance à savoir :

- Porosité augmente perméabilité constante
- Porosité augmente perméabilité augmente (entre 0.1 et 1 mD)
- Porosité augmente perméabilité diminue (entre 10 et 1 mD)

Zone C : malgré le peu de mesures dont on dispose, la tendance est vers un accroissement proportionnel entre la perméabilité et la porosité (fig. II.26) :
Porosité augmente, perméabilité augmente.

12.3.9. Porosité et perméabilité du Puits X4

Les graphes suivants montrent l'évolution verticale de la porosité et de la perméabilité en fonction de la profondeur (Fig. II.42).

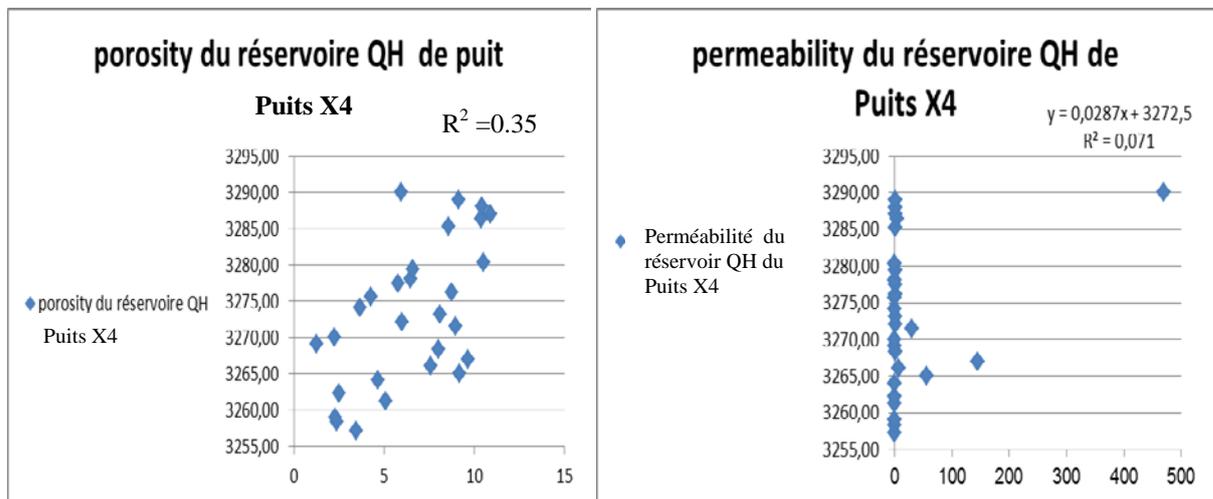


Fig. II.42: Profil de porosité (A gauche) et de perméabilité (A droite) du réservoir Quartzite de Hamra du Puits X4

La porosité est faible et le coefficient linéaire de corrélation est de $R^2=0.35$.

Les valeurs de la porosité dans ce puits montrent une distribution en deux zones :

- ✓ Zone1 : (3257m-3264m): Les valeurs de porosité sont inférieures à 4%.
- ✓ Zone2 :(3265m-3268m) : les valeurs de porosité sont supérieures à 5%.

La perméabilité de ce Puits est très faible et le coefficient linéaire de corrélation $R^2=0,07$.

Les valeurs de la perméabilité sont les mêmes sur la plus part des points prélevés, elles ne dépassent pas 5md à l'exception de certaines valeurs due à la fracturation de la formation.

12.3.10. Corrélation Porosité / Perméabilité du Puits X4 (fig. II.43)

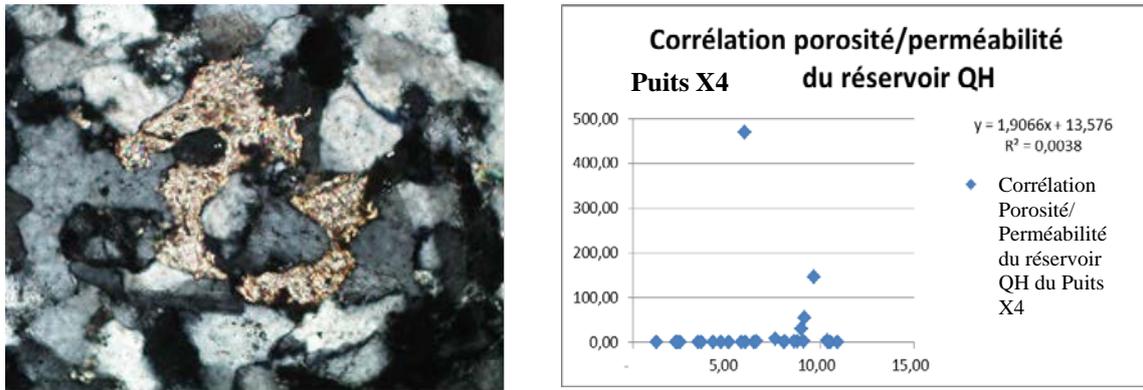


Fig. II.43 : Grès quartzitique, fin à moyen, avec des espaces poreux résiduels colmatés par les carbonate, ce faciès dominant et correspondant à la zone linéaire de l'évolution porosité /perméabilité du Puits X4

Sur la courbe de corrélation entre les valeurs de la perméabilité et celles de la porosité, on remarque que ces dernières sont distribuées en un nuage de points avec une mauvaise corrélation, le coefficient linéaire de corrélation $R^2 = 0,003$, est très faible car le réservoir est compact est peu fracturé.

12.3.11. Corrélation entre porosité / perméabilité de l'ensemble des Puits de la Zone C (Fig. II.44)

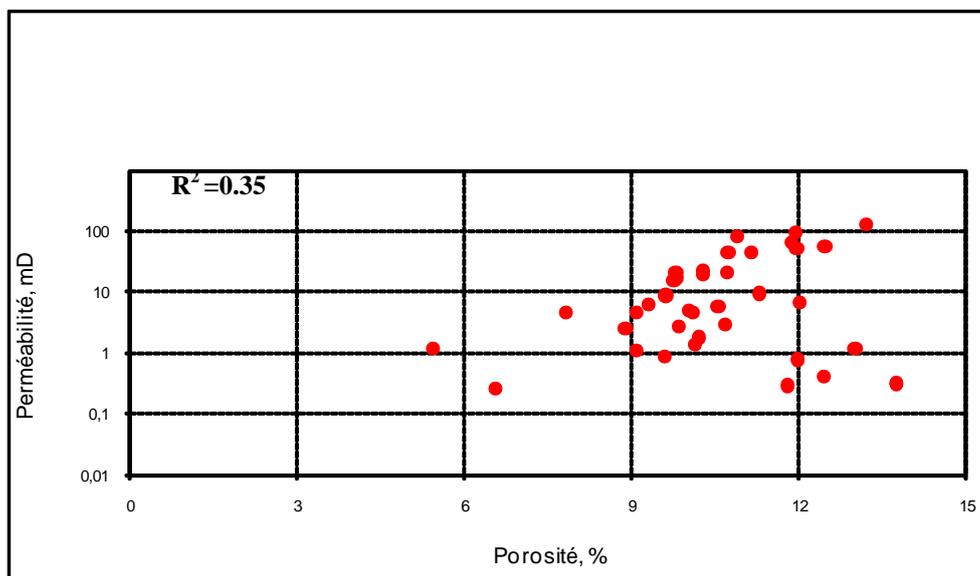


Fig. II.44: Corrélation entre la porosité et la perméabilité sur l'ensemble des Puits de la zone C et qui montre une seule tendance : Porosité augmente et perméabilité augmente cette observation nous indique que la fracturation semble être importante dans certains Puits favorisant ainsi la circulation des fluides par contre dans certain Puits cette fracturation est insignifiante.

13. Conclusions de l'analyse des mesures de porosité et perméabilité

- Les quartzites présentent de faibles porosités et perméabilités avec de mauvaises corrélations pétrophysiques à l'exception de la zone C.
- Augmentation de porosité et perméabilité dans les zones fracturées cas de la zone B .
- La comparaison des corrélations de perméabilité en fonction de la porosité des trois champs montre une évolution similaire pour les zone A et B. Pour la zone C cette similitude n'est observée que dans la partie bonne porosité et bonne perméabilité.

I. Introduction

Dans des réservoirs potentiels où la qualité de la matrice est médiocre, les réseaux de fractures naturelles peuvent améliorer la performance globale (AUBOIN.J (1999)), malgré l'importance de ces structures, l'évaluation des fractures a généralement été qualitative plutôt que quantitative. Ce chapitre examine la distribution des fractures et leurs relation avec les accidents tectonique sur l'axe de la zone A et de la zone B et ces alentours et cela au niveau du réservoir Ordovicien quartzites de Hamra. La connaissance des paramètres de fracture et de leurs distributions spatiales est très importante pour l'exploration ainsi que pour le développement des champs pétroliers. Le choix d'intervalles d'essai est simplifié une fois que les zones de fractures et leurs orientations sont connues.

I-1 Les fractures

La surface d'une fracture peut-être plane, ou ondulée avec une amplitude plus ou moins importante GENTER. A et al (1997), les fractures sont toujours subverticales et peuvent présenter une cimentation qui peut être partielle ou totale. Sur la base de ces critères plusieurs types de fractures ont été définis à partir des carottes. Dans ce paragraphe, nous aborderons successivement:

- Les fractures qui ont toutes une origine géologique, ce sont les fractures naturelles.
- Les fractures indéterminées, elles peuvent avoir une origine naturelle ou artificielle.

I-1-A- Fractures naturelles:

1- Cracks : Les cracks sont des fentes de taille très réduite et souvent assez épaisse. Le rapport longueur sur largeur est inférieur à 5, elles sont rarement planes et dans le cadre de cette étude on les trouve souvent associées à un intervalle stratigraphique, possiblement lié à une phase d'émersion. La **Figure III.1 A et B** illustre ce type d'objet.

2- Fracture de type X: Ce type de fractures est illustré sur la **Figure III.1 C, D, et E**.

Ces fractures sont très précoces, elles témoignent des phénomènes de pré compaction et n'ont donc pas une origine tectonique AKCHICHE.R, OUABBAS.N (2000). La plupart de ces fractures sont totalement cimentées, elles se caractérisent par un rapport longueur/épaisseur très petit (< 10) et un pendage souvent faible (entre 40° et 70°). Ces fractures sont généralement très petites, et tortueuses, leur longueur varie entre 2 et 10 cm et leur impact sur la production est toujours nul.

3- Fracture de type Y: Les fractures de type Y sont un autre type de fractures diagénétiques et précoces (**Fig. III.2.A et B**), elles ont une forme plus plane et elles sont plus sécantes que les fractures de type X, leur extension verticale est souvent supérieure à 10 cm et le rapport longueur/épaisseur est inférieur à 100. Leur pendage est aussi plus important (sub-vertical), elles sont généralement totalement cimentées par de la calcite. Leur impact sur la production est généralement nul et leur formation est probablement postérieure à celle des fractures de type X.

4- Fractures de type S: Ces fractures sont liées à la présence de stylolites, elles se situent souvent dans un environnement riche en fentes de tension générées par le mécanisme de

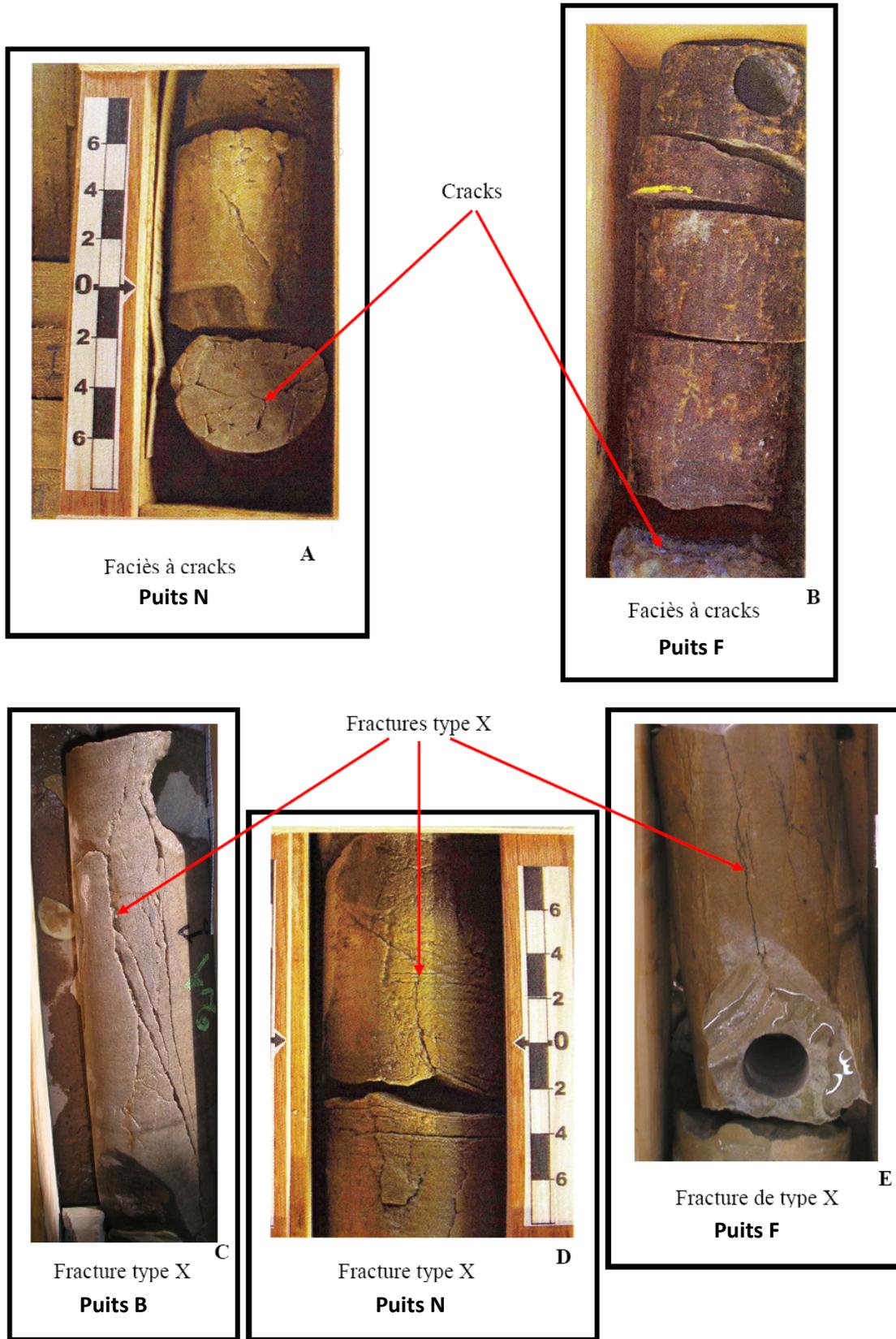


Fig III-1 : Faciès à cracks et fracture type 'X' dans les Puits : N, F, B.

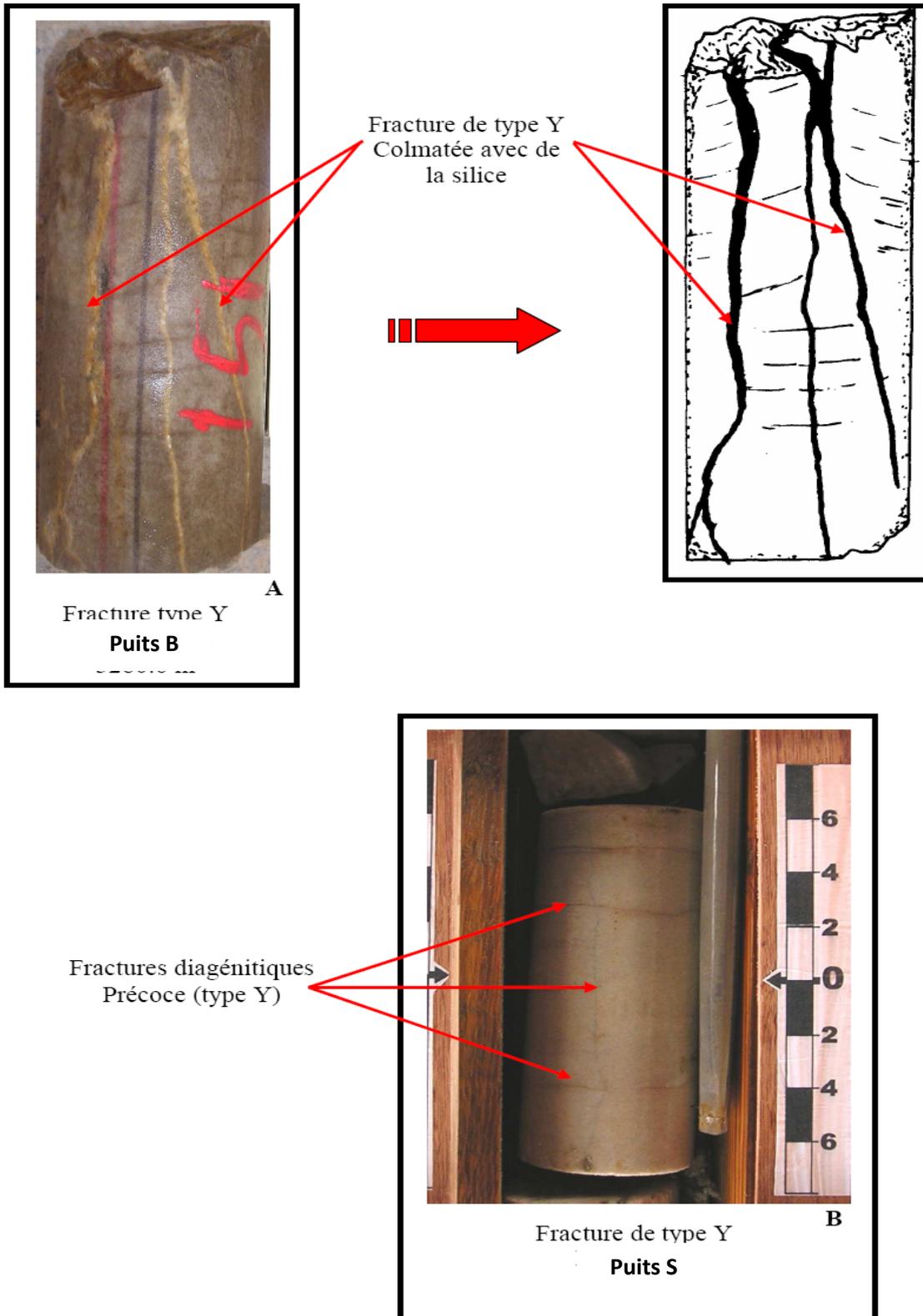


Fig III-2 : Fracture type 'Y' dans les Puits B et B

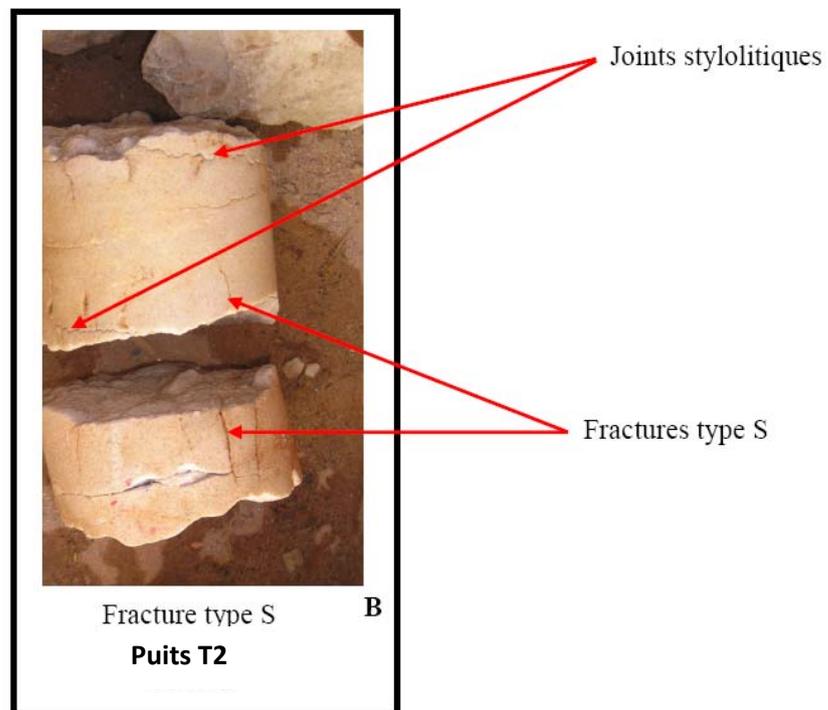
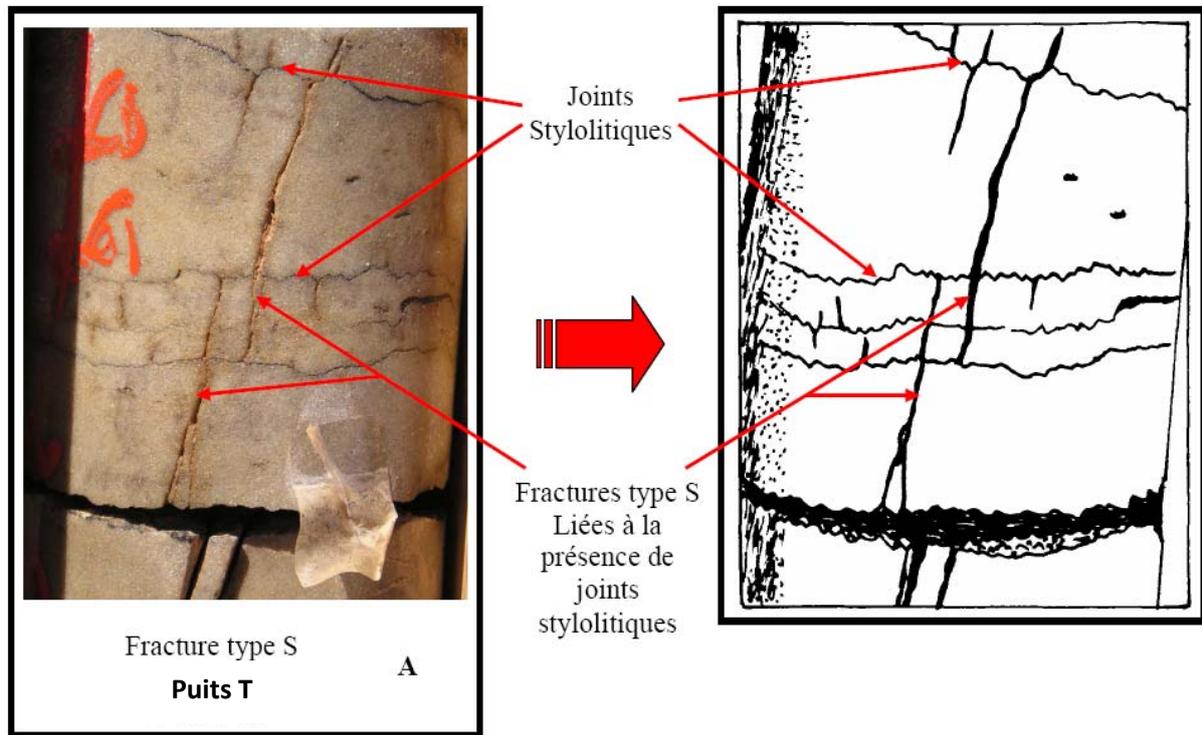


Fig III-3 : Fracture type ' S 'dans les Puits T et T2.

pression/dissolution à l'origine des stylolites. La **Figure III.3 A et B** présente quelques stylolites remarquables. Un stylolite de grande amplitude pour la **figure III.4.A et C** avec un intervalle stylolitisé et silicifié pour la **figure III.4 B**. L'intervalle qui contient le stylolite est souvent plus compact que la matrice comme le montre le schéma (**Fig. III.4 D**), le matériel dissous lors de la stylolitisation va colmater l'environnement immédiat. La plupart de ces fractures de type S dont plusieurs exemples cités précédemment, sont enracinées dans les stylolites, elles sont généralement de petite taille et souvent cimentées. Cependant dans le cadre de cette étude, plusieurs fractures «partiellement ouvertes» ont été inventoriées.

5- Fractures de type Z: Ce sont les fractures tectoniques (**Fig. III.5 et Fig.III.6**). Ces fractures ont un plan qui coupe véritablement la roche, leur extension verticale est grande (de 1cm à 1m sur les carottes). Elles présentent généralement un rapport longueur/épaisseur > 100. Elles sont fréquemment «partiellement cimentées», et donc très intéressantes d'un point de vue hydraulique. Lorsqu'une cristallisation est observée sur l'une des faces de la fracture, cela indique qu'elles sont probablement ouvertes en condition réservoir (**Fig.III.5 A**) ALIEV. M et al (1971) Ces fractures sont généralement subverticales, la **Figure III.5 B** présente un exemple de placage minéralogique. Dans le cas où un puits traverse une faille on peut observer des fractures associées à des brèches tectoniques (**Figure III.6 A et B**), mais les fractures de type Z peuvent être groupées en systèmes et former des couloirs (**Fig. III.6 C**), ou résulter de la reprise de fractures plus anciennes.

I-1-B- Fractures indéterminées:

a- Fractures de type U: Dans le cas où l'origine tectonique d'une fracture n'est pas certaine, c'est-à-dire dans le cas d'une fracture ouverte mais dont la surface ne présente ni cristallisation, ni placage minéralogique, on dira que la fracture est de type U (uncemented). On parle alors de fracture sèche (**Fig.III.6 D**). Cette fracture peut être induite par le forage ou la manipulation des carottes, ou être ouverte dans le réservoir et être d'origine tectonique, sans qu'il soit possible de conclure PUTOT. C et al (2001).

b- Les stylolites

Les joints stylolitiques sont des surfaces irrégulières finement irisées de petits pics et des creux en forme de colonnes ou de cônes qu'on appelle des pics stylolitiques ou stylolithes (J.Aubouin 1999). Ils sont souvent caractérisés par une concentration de matériaux insolubles, s'observent surtout dans les calcaires ou ils se forment par concentration résiduelle des minéraux, suite à la dissolution sous contrainte d'un niveau donné. Les pics résultent probablement de variation dans la vitesse de dissolution, elle-même subordonnée à une distribution irrégulière des impuretés insolubles. Ils sont donc parallèles à la direction du raccourcissement. En raison de leur mode de formation, les joints stylolitiques tendent à s'orienter perpendiculairement à la contrainte σ_1 (maximale), les stylolites pointant dans cette direction, donc ils sont fréquemment perpendiculaires aux fractures d'extension (A. Nicolas, 1984).

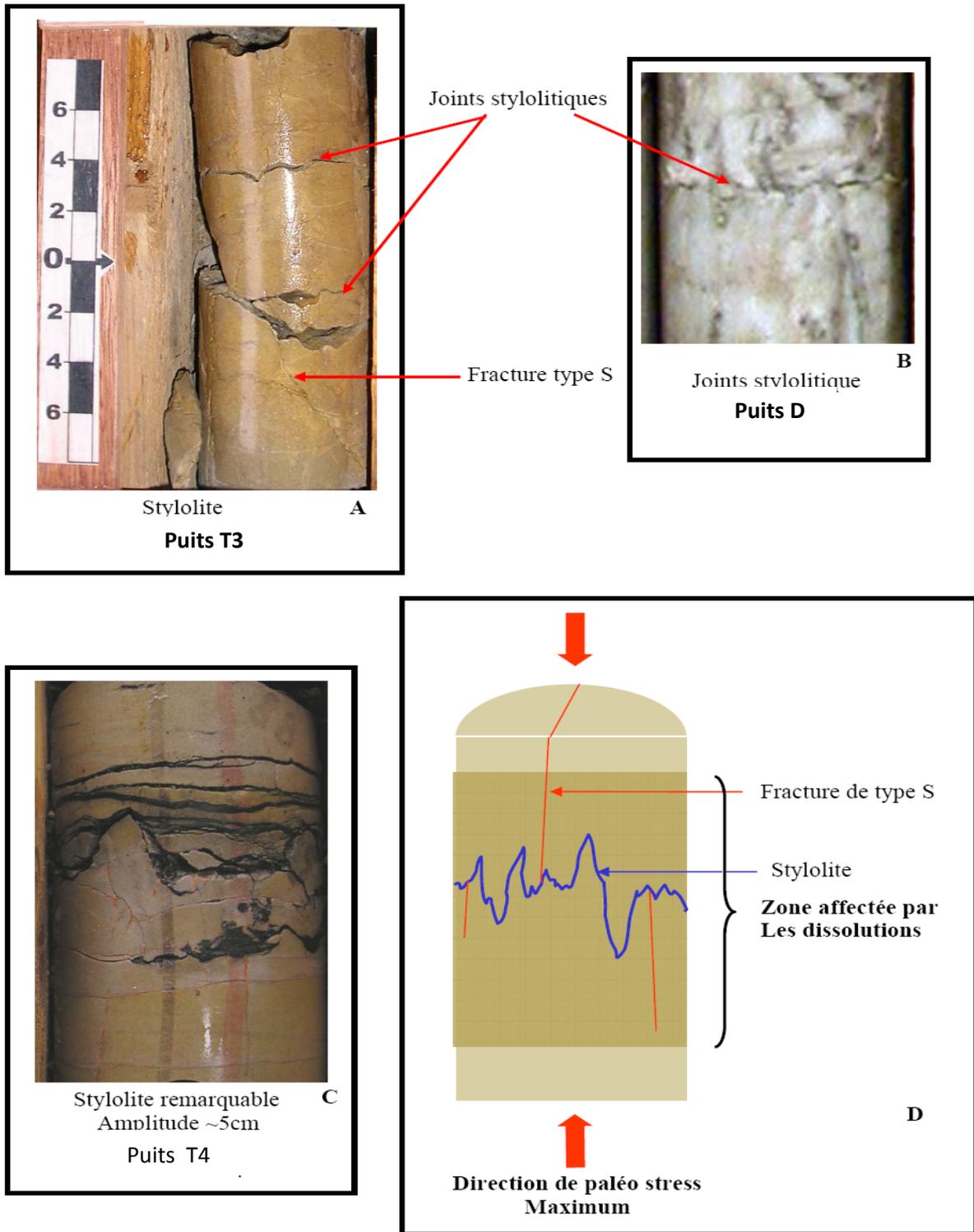


Fig III-4 : Fracture type 'S' et joints stylolitiques dans les Puits T3, T4 et D.

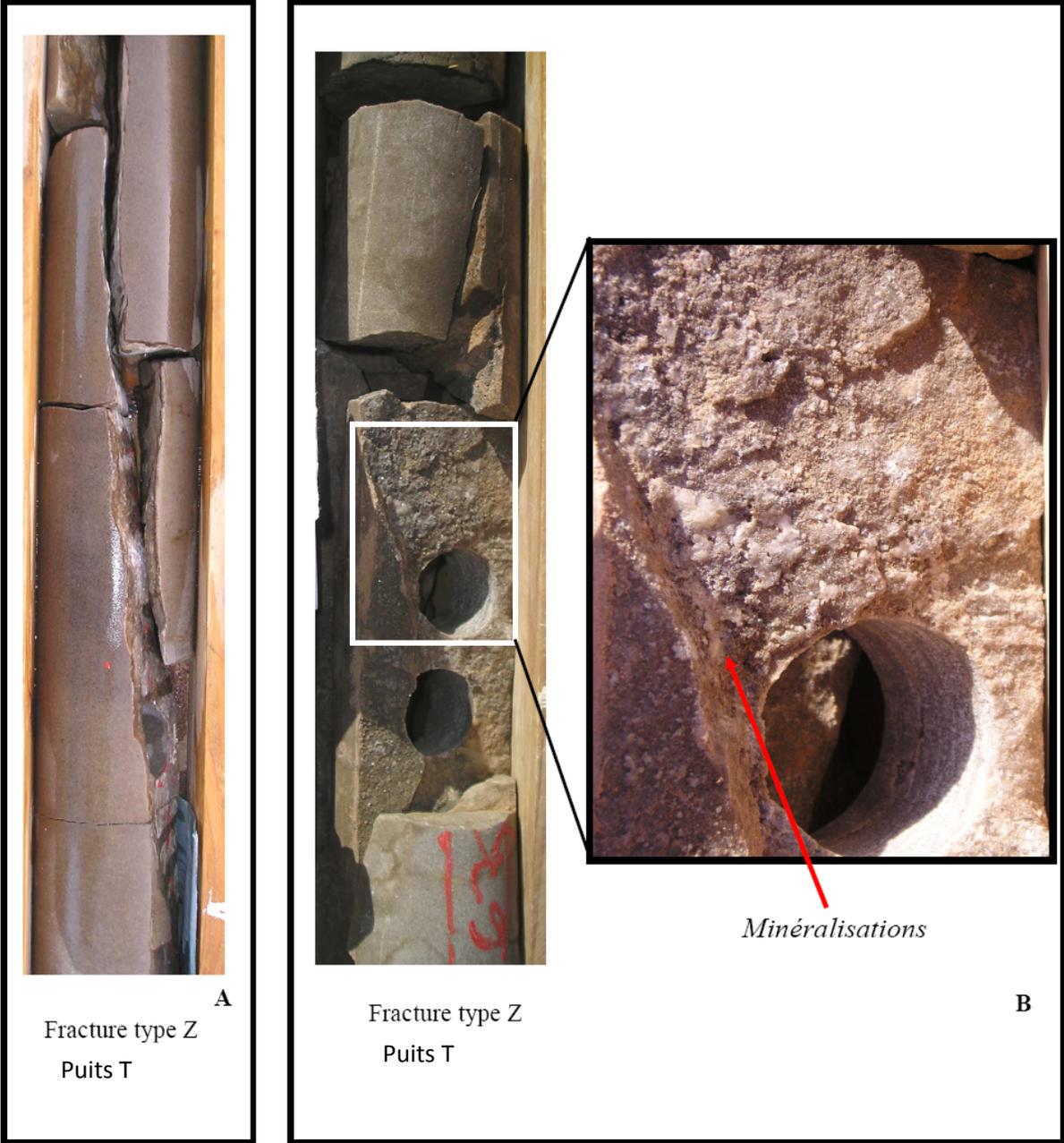


Fig III-5 : Fractures type 'Z' associées à des minéralisations dans le Puits T.

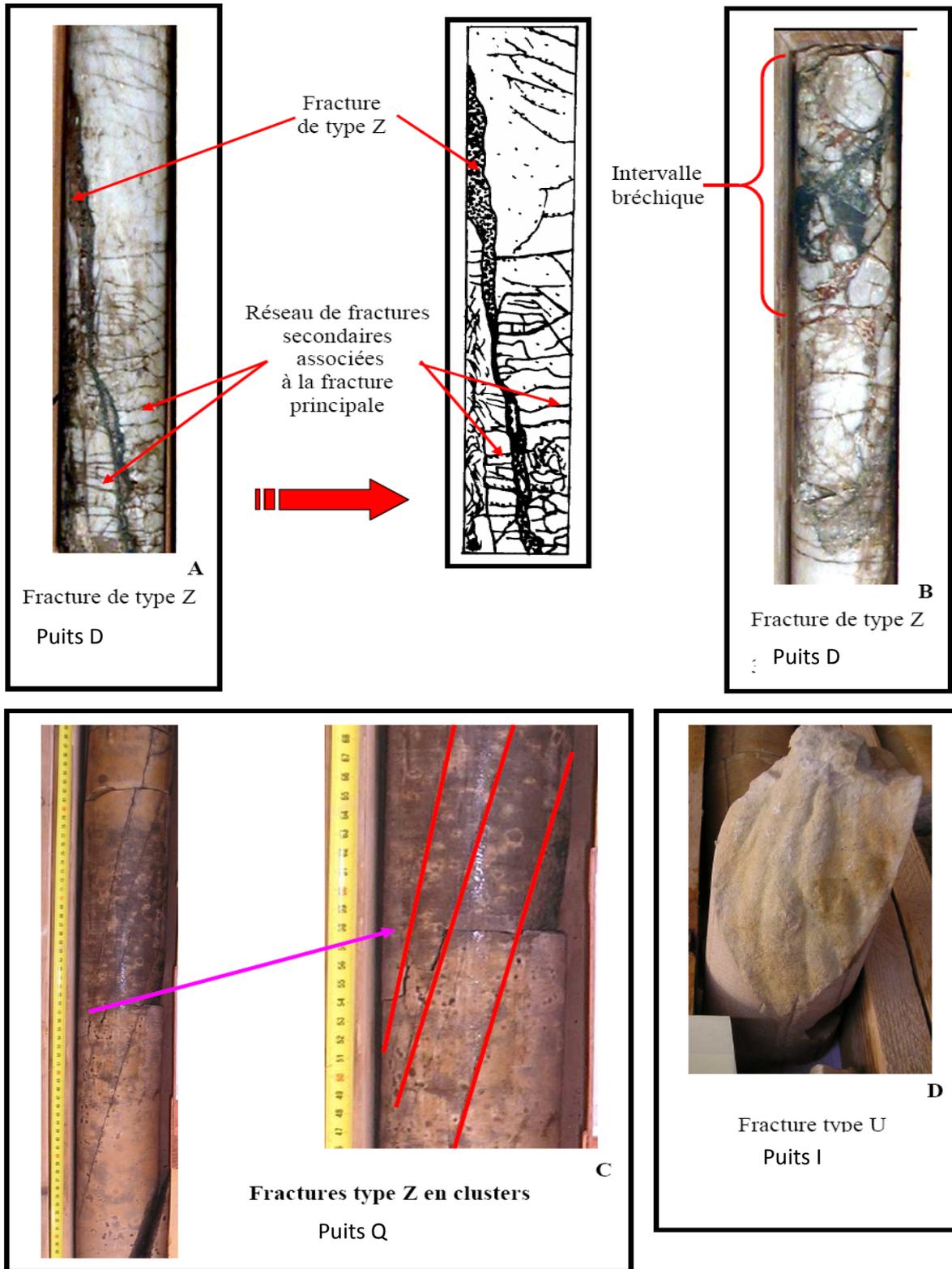


Fig III-6 : Fractures types 'Z' et 'U' dans les Puits D, Q et I.

La stylolitisation induit une densification de la roche de part et d'autre du stylolite et par conséquent une diminution de la porosité. De tels intervalles sont plus propices à la formation de fractures. Ces structures sont liées à un phénomène de pression dissolution, selon leurs origines ils sont subdivisés en deux (02) catégories.

b-1-Stylolites d'origine diagénétique.

Dites aussi stratiformes, il s'agit des stylolites développés pendant la compaction du sédiment. La direction de la contrainte principale appliquée est sub-verticale NICOLAS. A (1989) et NELSON.R. (2001). Dans cet état de contrainte, les pics stylolitiques sont verticaux, parallèles à la contrainte maximale et les plans stylolitiques sont horizontaux .

Dans cette catégorie, nous avons pu observer deux principaux types, distingués sur la base de l'amplitude des pics stylolitiques.

- **Les stylolites stratiformes:** Leur amplitude est inférieure à 5 cm, et leur extension latérale peut être hectométrique.
- **Les micro stylolites:** De faible amplitude (<2mm) et souvent en grand nombre, les micro stylolites observés semblent s'être formés à partir de fines lamines argileuses noires.

b-2 Les stylolites tectoniques

Qui sont de types conique (BLES .J.L, FEUGA .B (1981)) présentent au moment de leur formation un plan porteur vertical et des pointes horizontales (P.Trémolières, 1981). Les pics stylolitiques sont alors sub-horizontaux et les plans stylolitiques sub-verticaux, selon M.Mattauer, 1973, cet état de contrainte correspond à des phases tectoniques compressives.L'extension des stylolites tectoniques est moins importante que celle des stylolites stratiformes.

C-Plans de glissement et stries

Il est parfois possible d'observer des plans de glissement dont l'existence est signalée soit par la présence de stries qui indiquent un déplacement (PERRODON.A (1985)), soit par l'observation d'une surface lustrée. Quelques exemples de ces objets sont présentés sur la **Figure III.7 A et B**, notons qu'il est parfois possible d'observer des miroirs de fractures (faille de très petite échelle) présentant des stries de déplacement ainsi que dans certains cas exceptionnels, une minéralisation qui permet de déduire le sens du déplacement.

I-1-D-Les Colmatants (ou minéralisation)

Les fractures observées sur les carottes de sondage sont vides ou colmatées ou bien partiellement vide. Celles colmatées constituent alors des barrières de perméabilité, s'opposant ainsi à l'écoulement des fluides. Il existe différents types de colmatant, représentés essentiellement par ;



Stries de déplacement

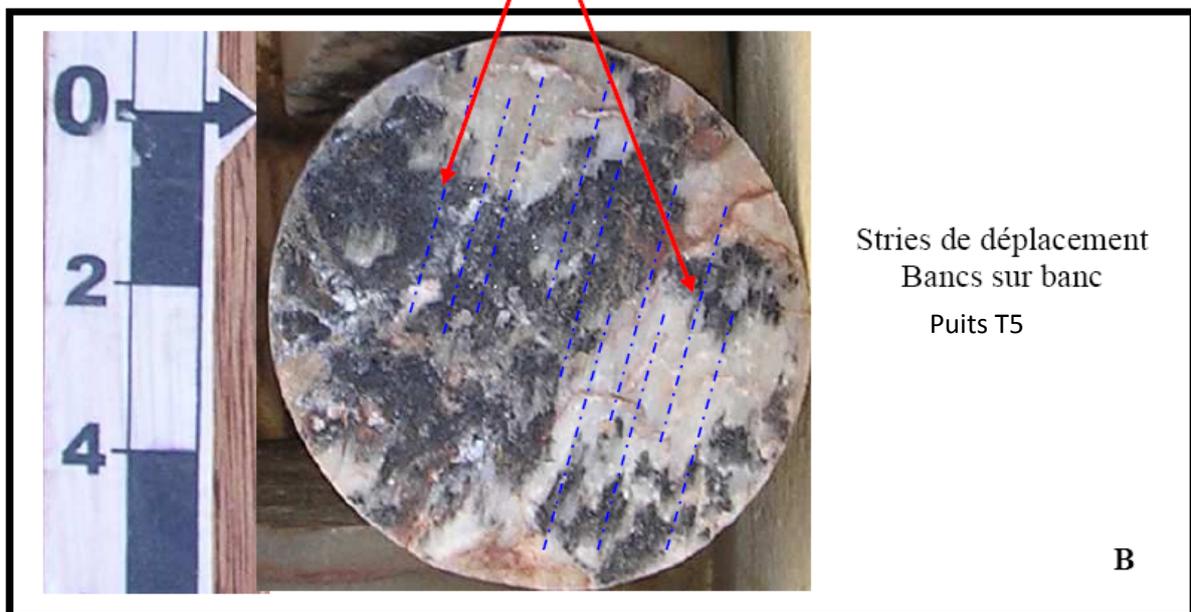


Fig III-7 : Stries de déplacement dans les Puits Q et T5.

a- Le Bitume :

On le considère comme le résultat de l'altération, à l'occasion de l'érosion post hercyniennes (Gauthier, 1971) des hydrocarbures d'un gisement paléozoïque. Ce colmatant est une substance organique se présentant souvent par endroit, noirâtre sous forme de très fine pellicule sur les bords de la fracture, et quelque fois en masse plus importantes. Ce colmatant peut facilement être confondu avec des argiles imprégnées.

b- L'Argile :

Ce colmatant peut avoir plusieurs origines (DJADOUN. A, et al (2008)), forme un remplissage de fracture très précoce. Fragments argileux provenant de silts et mobilisés par une tectonique ou une circulation de fluide etc.

c- La Pyrite :

Elle est assez facilement identifiable, elle se rencontre souvent dans des fractures assez épaisses (1 mm et plus). Ce colmatant existe sur tout le réservoir et implique la présence d'une faille, il est sensible à l'altération superficielle.

d- La Silice :

On la trouve souvent dans les fissures fines. Microscopiquement, la silice est constituée de grain de quartz avec une taille nettement inférieure par rapport à ceux des grès proprement dits, elle proviendrait de la circulation des eaux interstitielles chargées en silice.

e- L'Anhydrite :

On suppose qu'elle est liée au Trias sus-jacent.

f- Le sel gemme :

Il se présente que sous forme de résidus dans de grosses fractures (au voisinage de la discordance), il est généralement dissout par la boue de forage, il est donc rarement observé dans son intégralité sur carotte. A partir de là, certainement que de nombreuses fractures originellement colmatées par du sel, aient été assimilées à des fractures vides. L'origine de ce colmatant est rattachée au Trias sus-jacent

II. Résultats par Puits

Pour chaque Puits, une fiche a été réalisée (voir planches). Cette fiche présente une synthèse statistique des différents types de fractures qui ont été observés, le nombre et la longueur cumulée des fractures par type. Un calcul d'indice de stylolitisation et de fracturation moyen est obtenu suivant la même méthode que celle utilisée, par Beicip-Franlab, dans l'étude des réservoirs d'âge Cambrien du champ de Hassi Messaoud, à savoir :

IFm : Longueur cumulée des fractures / Hauteur de carotte récupérée.

ISm : Longueur cumulée des stylolites/ Hauteur de carotte récupérée.

a . Le Puits N

Ce Puits, est le plus grand décrit dans cette étude, puisque la longueur totale des dix-neuf carottes atteint 136.5 m avec une récupération moyenne de 97%. Le diamètre est des 6.5 cm, pour toutes les carottes à l'exception de la première où il est de 10 cm.

Ce Puits (Planche III.1), se classe dans les Puits peu fracturés observées sont majoritairement tectonique (Type Z) et plutôt ouvertes. La présence d'une faille dans l'environnement de ce puits est exclue et des fractures précoces de type Y reprises en Z ont été également observées (Fig. III.8 A).(une deuxième famille de fracture qui modifie les fractures type Y) On relève, à la cote 3244. 7 des figures de glissement banc sur banc, qui indiquent un contexte compressif ou bien évoquant ainsi, un déplacement relatif aux jeux de faille normale (Fig. III. 8 B)

Remarques ; des photos de ce Puits ont été utilisées à titre d'exemple pour montrer :

- Un faciès à cracks (fig. III.1 A)
- Des fractures précoces de type X (Fig. III.1D)

Les stylolites sont présent sur tout le Puits en dehors d'un intervalle qui inclut les carottes c=3 et C=4.

Conclusion

Puits globalement peu fracturé, la fracturation de type Z est diffuse, ce Puits est très stylolitisé.

b. Le Puits A :

L'intervalle carotté présente énormément de « gaps » ARAB.M (2001), ce qui rend l'analyse des carottes assez difficile dans ce puits. Néanmoins on a pu décrire un réseau de fractures dans la partie supérieure colmatée d'oxyde et d'argile. Dans cette partie, on observe un conglomérat à éléments sub-anguleux à anguleux (zone bréchique) . La partie centrale est faiblement fissurée. Cependant la partie inférieure de l'intervalle carotté est plus fracturée, elle est colmatée de silice et d'oxyde.

Numéro de carotte	Top	Base	Intervalle carotté (m)	Intervalle récupéré (m)	récupération (%)
1	3197	3208	11	11	100
2	3208	3223,4	15,4	15,4	100
3	3223,4	3241,4	18	18	100
4	3241,4	3255,1	13,6	13,1	96
5	3255,1	3259,3	4,2	3,4	80
6	3259,3	3260,4	1,2	0,7	65
7	3260,4	3271,6	11,2	10,9	97
8	3271,6	3273,4	1,8	1,7	92
9	3273,4	3279,2	5,8	5,8	100
10	3279,2	3290	1,9	1,9	100
11	3290	3293,3	3,3	2,9	88
12	3293,3	3294,6	1,3	1,3	100
13	3294,6	3301,2	6,6	6	91
14	3301,2	3302,2	1	1	100
15	3302,2	3320,2	18	18	100
16	3320,2	3331	11,4	11,4	100
17	3331	3340,7	9,1	7,8	86
18	3340,7	3342,7	2,2	1,9	88
19	3342,9	3347,2	4,3	4,3	100
				136,5	

Fractures

X	Cimenté	Part. ouverte	Ouverte	Total	IF X
Nombre	41	0	0	41	
Long. cumulée (cm)	145	0	0	145	0,01

Y	Cimenté	Part. ouverte	Ouverte	Total	IF Y
Nombre	26	4	1	31	
Long. cumulée (cm)	324	45	5	374	0,03

Z	Cimenté	Part. ouverte	Ouverte	Total	IF Z
Nombre	3	21	13	37	
Long. cumulée (cm)	240	782	355	1377	0,1

S	Cimenté	Part. ouverte	Ouverte	Total	IF S
Nombre	1	5	6	12	
Long. cumulée (cm)	5	33	65	103	0,01

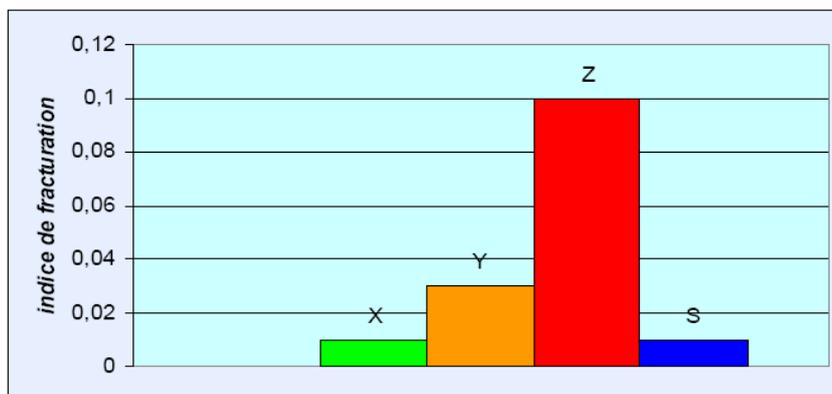
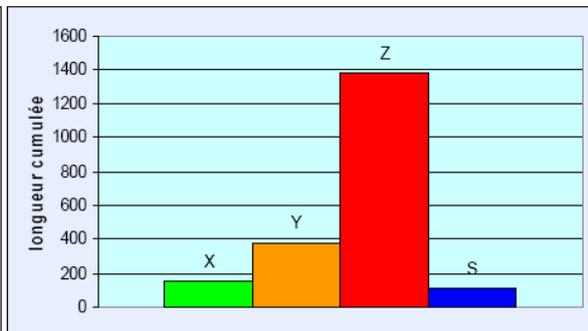
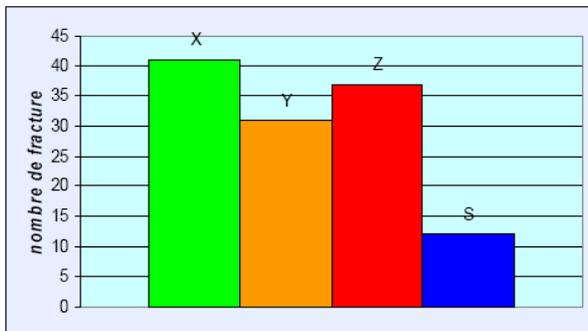


Planche III-1 : Description des carottes pour la fracturation du Puits N (Beicip franlad, 2006)

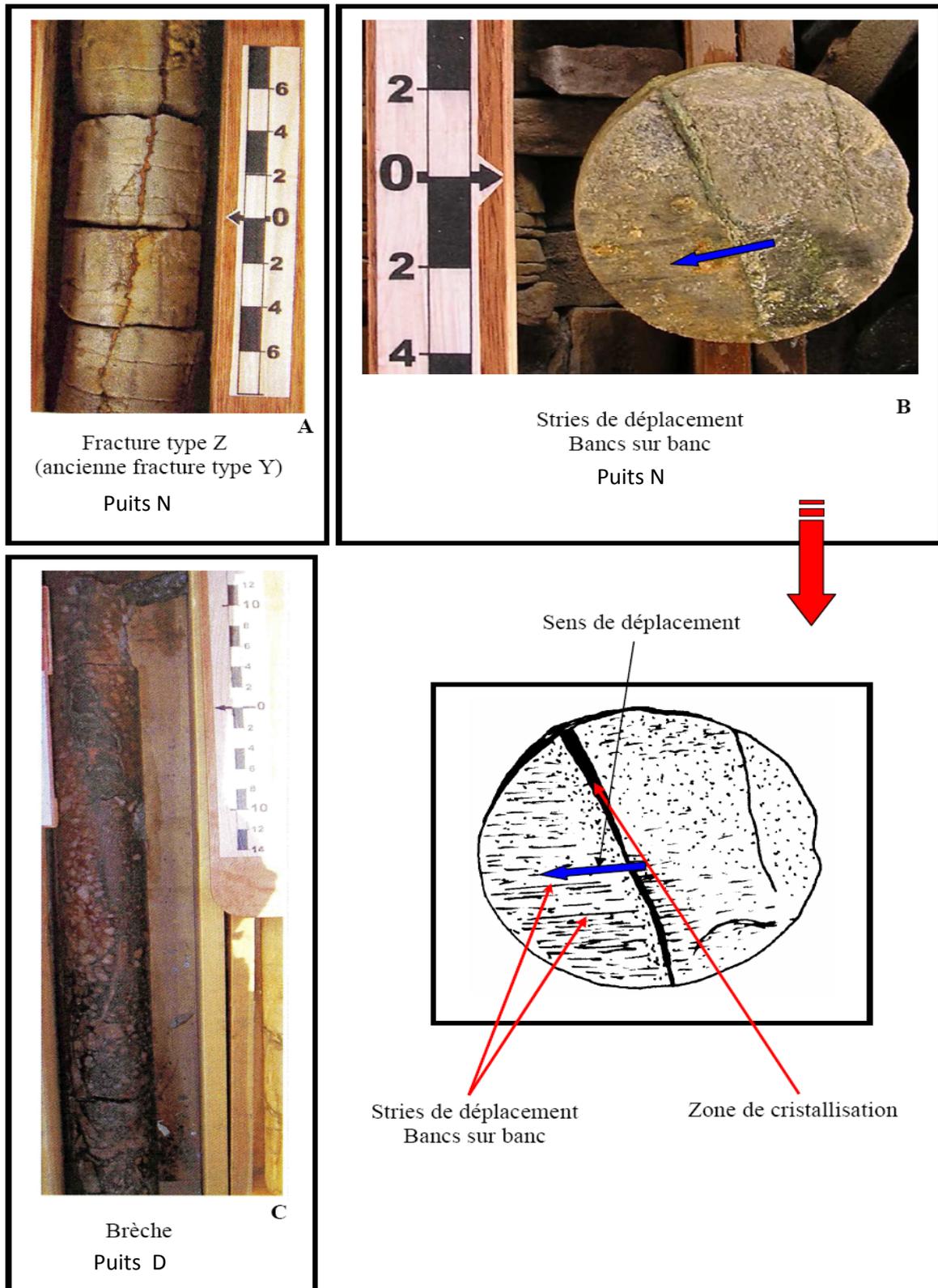


Fig III-8 : Brèche, fracture type 'Z' et Stries de déplacement bancs sur banc dans les Puits D et N.

c.Le Puits B

Deux carottes ont été décrites dans l'ordovicien de ce Puits, C=1 et C=2 pour une longueur totale de 36 m avec une récupération moyenne de 100%. Dans ces carottes, le diamètre est faible 5 cm.

Ce Puits (Planche III.2) se caractérise par un nombre très important de fractures de type Z (tectonique). 62 fractures de catégorie « ouvertes » ou « partiellement ouvertes » ont été observées.

Un niveau de brèche de 10cm a été relevé à 3257.5. Les fractures observées, sont majoritairement « partiellement ouvertes ».

Les fractures Z sont clairement liées à la présence d'une faille (DJERA. M (2001)), les autres types (X et Y) sont négligeables comparées aux fractures de type Z. Il n'y a pas de fractures de type S.

L'indice de fracturation moyen calculé qui concerne les fractures de type Z est de 0.48, cet indice est élevé, classe ce Puits dans la catégorie des Puits fracturés.

Les fractures de type Z se concentrent dans l'intervalle supérieur des Quartzites de Hamra, entre les cotes 3246m et 3263 m. La plupart des fractures précoces étant quant à elles localisées dans la partie inférieure des Quartzites de Hamra dans des faciès de grès poreux non perméables.

La carotte se débite au niveau des fractures en lames verticales de 2 cm d'épaisseur. L'intervalle 3254.5 à 3262.5 présente un système de fractures organisées en relais, dont le maximum se situe à la cote 3259.5

Numéro de carotte	Top	Base	Intervalle carotté (m)	Intervalle récupéré (m)	récupération (%)
1	3245	3263	18	18	100
2	3263	3281	18	18	100
				36	

Fracture

X	Cimenté	Part. ouverte	Ouverte	Total	IF X
Nombre	0	7	0	7	
Long. cumulée (cm)	0	10	0	10	0

Y	Cimenté	Part. ouverte	Ouverte	Total	IF Y
Nombre	9	0	0	9	
Long. cumulée (cm)	100	0	0	100	0,03

Z	Cimenté	Part. ouverte	Ouverte	Total	IF Z
Nombre	0	45	17	62	
Long. cumulée (cm)	0	1065	660	1725	0,48

S	Cimenté	Part. ouverte	Ouverte	Total	IF S
Nombre	0	0	0	0	
Long. cumulée (cm)	0	0	0	0	0

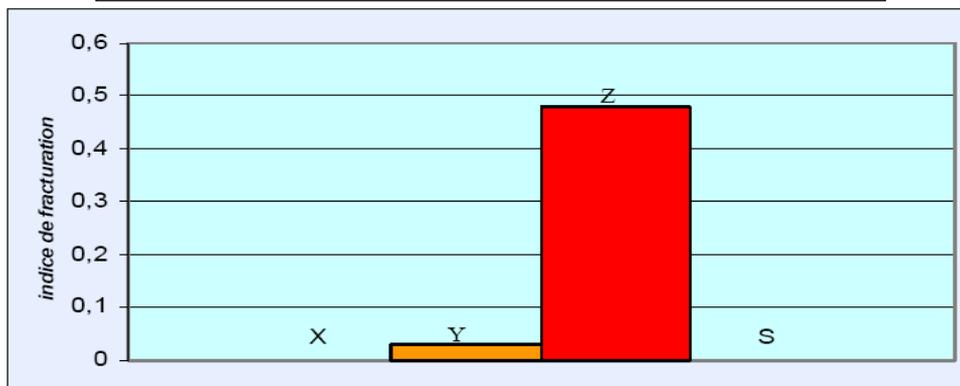
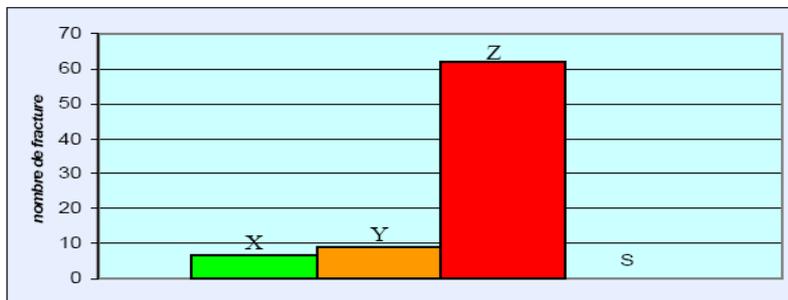
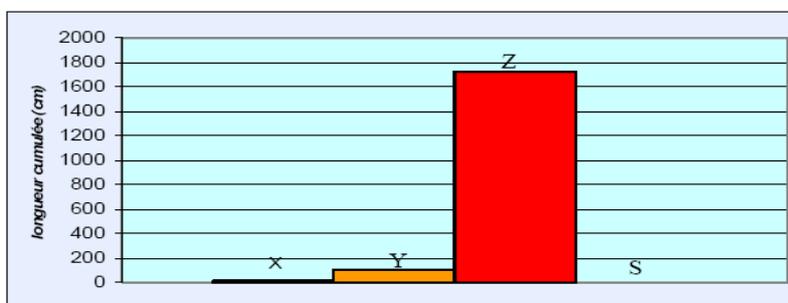


Planche III -2 : Description des carottes pour la fracturation du Puits B (Beicip franlad, 2006)

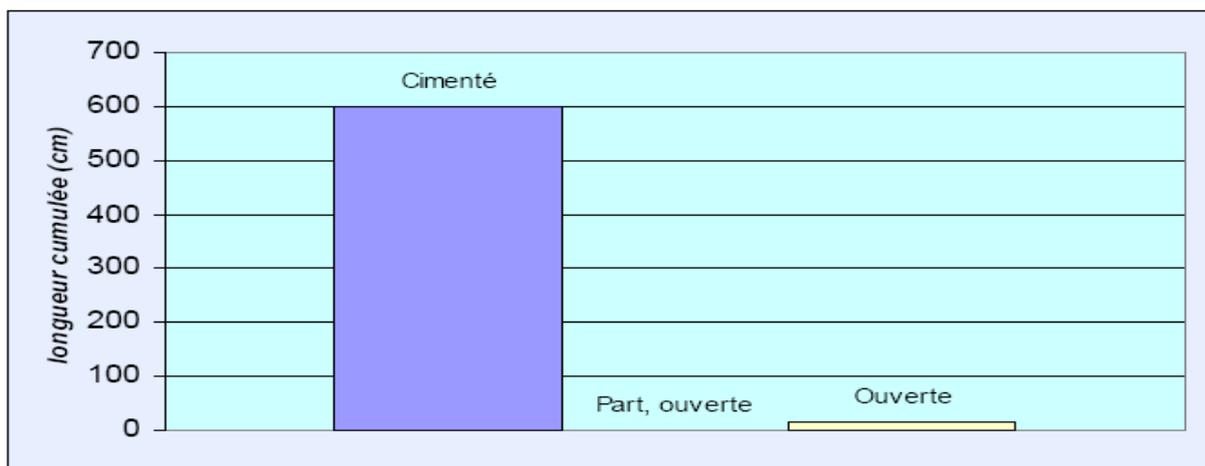
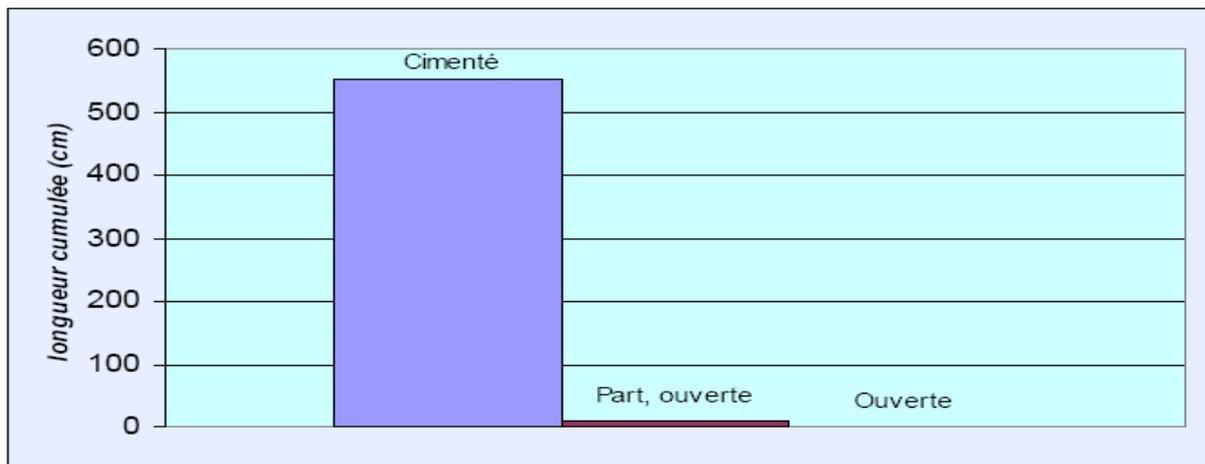
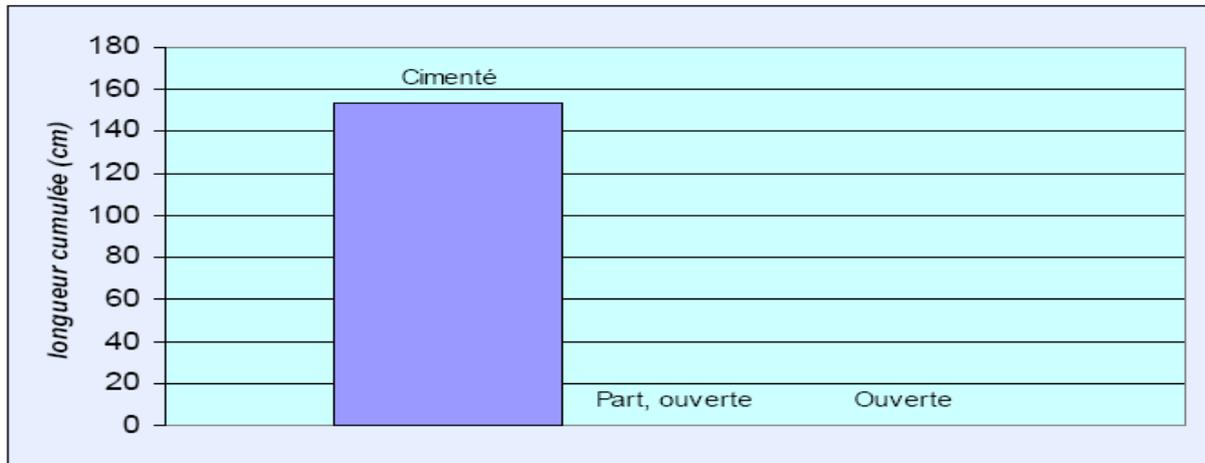


Planche III-3 : Histogrammes des fractures ouvertes, partiellement ouvertes et cimentées du Puits B (Beicip franlad, 2006)

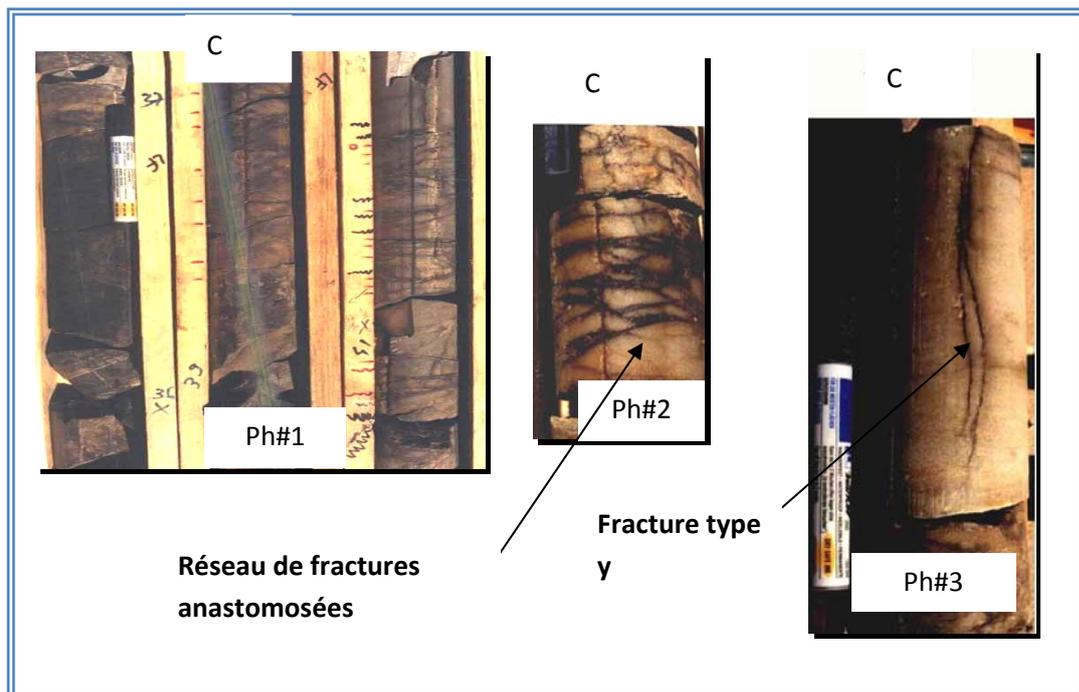
Les stylolites de ce Puits se situent majoritairement dans la partie supérieure des Quartzites de Hamra. L'indice moyen de stylolitisation de ce Puits est moyen (1.56).

Conclusion

Puits très fracturé, traversé par une faille dans la partie supérieure des Quartzites de Hamra, avec de nombreux fractures Z « partiellement ouvertes ». Le Puits est moyennement stylolitisé avec absence de fractures de type S.

d. Le Puits C :

Ce puits présente un intervalle très déformé dans la partie supérieure (3284m à 3289m), s'étalant sur 5 m. Cet intervalle montre des structures de cisaillements (Ph#2), où les fissures sont remplies de pyrite et de bitume (Ph#1). Cette zone est probablement traversée par une branche de failles qui passerait à proximité du puits. Celle ci aurait causée la dismigration des hydrocarbures existants dans ce réservoir (vu la forte concentration de bitume et de pyrite liée à la dégradation des hydrocarbures) (Ph#2 et 3). Les fissures peuvent être semi-colmatées (Ph#8). La fracturation diminue en fonction de la profondeur, ainsi que le taux de bitume, laissant la place à la pyrite et à la silice (Ph 3). Puits peu stylolitisé



Exemple de réseau de fractures anastomosés colmatées de bitume Ph01, et fracture verticale bifurquée, colmatée de pyrite ph03 et des fractures subhorizontales semi-ouverts ph01

e. Le Puits D

Deux carottes ont été décrites dans l'Ordovicien de ce Puits, C=1 et C=2 pour une longueur totale de 24 m avec une récupération moyenne de 92%. Le diamètre de ces carottes est assez important (8.8 cm).

Ce Puits (Planche III.4), est traversé par une importante faille comme en témoignant les intervalles bréchiques tous rencontrés dans la partie supérieure de la carotte C=1 (Fig. III.8 Cet III.9.A) sur un intervalle de 8m, qui est très silicifié.

La silicification diminue notablement dans l'intervalle de 3256 à 3258m qui s'explique par une augmentation de l'argilosité qui coïncide avec un faciès à cracks qui évoque un paléosol à 3256.5m. Cet intervalle précède une zone intensément fracturée composée de fractures ouvertes qui adoptent deux directions orthogonales, avec les pendages différents (55° et 90°) (Fig. III.9. B) (AMAROUCHE.A, GHODBANE.N (2003)).

C e Puits répond à un schéma observé à plusieurs reprises dans le cambrien de Hassi Messaoud (Fig. III.10.A), où l'objet faille est associé à la fois à :

- Une brèche.
- Une silicification intense due à la présence de la faille.
- Un système de fractures ouvertes qui délimite la zone silicifiée de la matrice saine.

Les fractures de type S sont marginales lorsque l'on considère la fracturation totale de ce Puits

La stylolitisation est importante à la base de la carotte C=2

L'indice moyen de stylolitisation est de 0.92, classe ce Puits dans la catégorie des Puits moyennement stylolitisés.

Conclusion

La partie réservoir est très fracturée, elle est traversée par une faille avec de nombreuses fractures tectoniques (Type Z) « partiellement ouvertes ». Puits moyennement stylolitisé.

f. Le Puits L

La fracturation est plus intense à la base de l'intervalle. Elle est essentiellement colmatée ou semi colmatée par de la silice.

Six carottes ont été décrites dans l'Ordovicien de ce Puits, C=1 et C=6 pour une longueur totale de 76.4 m avec une récupération moyenne de 96.7%. Dans ces carottes, le diamètre est assez faible, il est de 6.5 cm pour la carotte C=1 et 5cm pour toutes les autres carottes.

Ce Puits (Planche III.5) présente tous les types de fractures X, Y, Z et S qui apparaissent cependant en faible quantité. Les fractures les plus représentées en longueur cumulée, sont les fractures de type Z.

Les intervalles les plus fracturés se situent entre 3387.5 à 3389m et 3395.5 à 3396m.

On relève un intervalle de 3341.5 à 3345m, avec concentration de stylolites associés à des fractures « partiellement ouvertes » de type S.

Numéro de carotte	Top	Base	Intervalle carotté (m)	Intervalle récupéré (m)	récupération (%)
1	3243	3260	17	16	94
2	3292	3301	9	8,1	89
				24	

Fracture

X	Cimenté	Part, ouverte	Ouverte	Total	IF X
Nombre	0	0	0	0	
Long, cumulée (cm)	0	0	0	0	0

Y	Cimenté	Part, ouverte	Ouverte	Total	IF Y
Nombre	0	0	0	0	
Long, cumulée (cm)	0	0	0	0	0

Z	Cimenté	Part, ouverte	Ouverte	Total	IF Z
Nombre	20	5	1	26	
Long, cumulée (cm)	540	100	100	740	0,31

S	Cimenté	Part, ouverte	Ouverte	Total	IF S
Nombre	0	2	0	2	
Long, cumulée (cm)	0	10	0	10	0

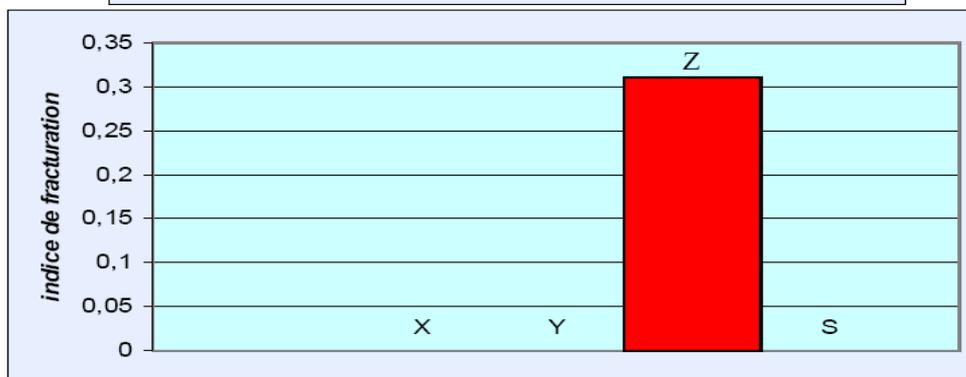
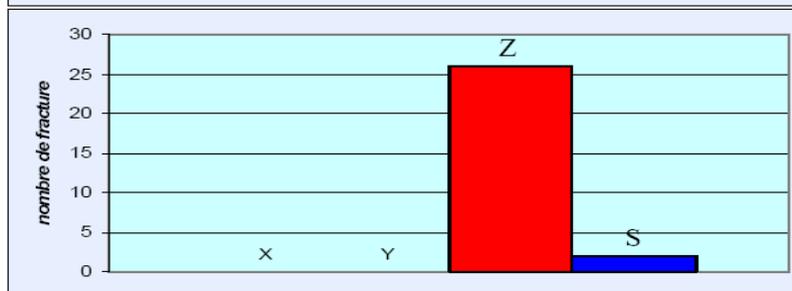
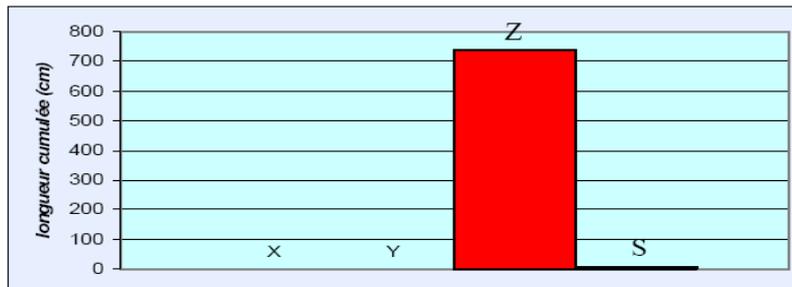


Planche III-4 : Description des carottes pour la fracturation du Puits D (Beicip franlad, 2006)

Numéro de carotte	Top	Base	Intervalle carotté (m)	Intervalle récupéré (m)	récupération (%)
1	3334	3341,5	7,5	7,5	100
2	3341,5	3346	6	4,7	78
3	3349	3367	18	17,5	97
4	3367	3379,5	12,5	12,3	98
5	3379,5	3396,5	17	16,5	97
6	3397	3415	18	18	100
				76,4	

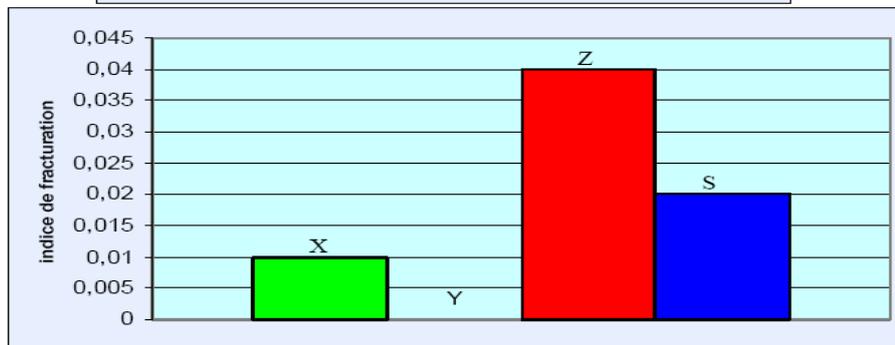
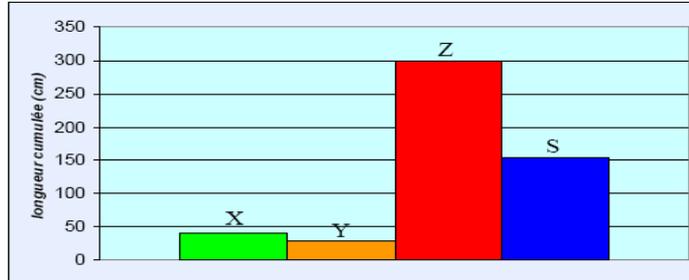
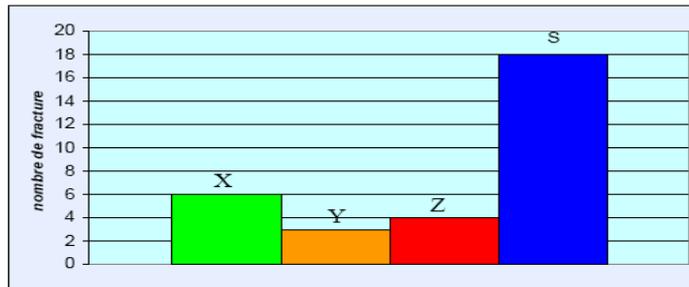
Fracture

X	Cimenté	Part. ouverte	Ouverte	Total	IF X
Nombre	5	1	0	6	
Long, cumulée (cm)	32	10	0	42	0,01

Y	Cimenté	Part. ouverte	Ouverte	Total	IF Y
Nombre	2	0	1	3	
Long, cumulée (cm)	23	0	5	28	0

Z	Cimenté	Part. ouverte	Ouverte	Total	IF Z
Nombre	0	1	3	4	
Long, cumulée (cm)	0	30	270	300	0,04

S	Cimenté	Part. ouverte	Ouverte	Total	IF S
Nombre	6	11	1	18	
Long, cumulée (cm)	59	85	10	154	0,02



Planche

Planche III-5 : Description des carottes pour la fracturation du Puits L (Beicip franlad, 2006)

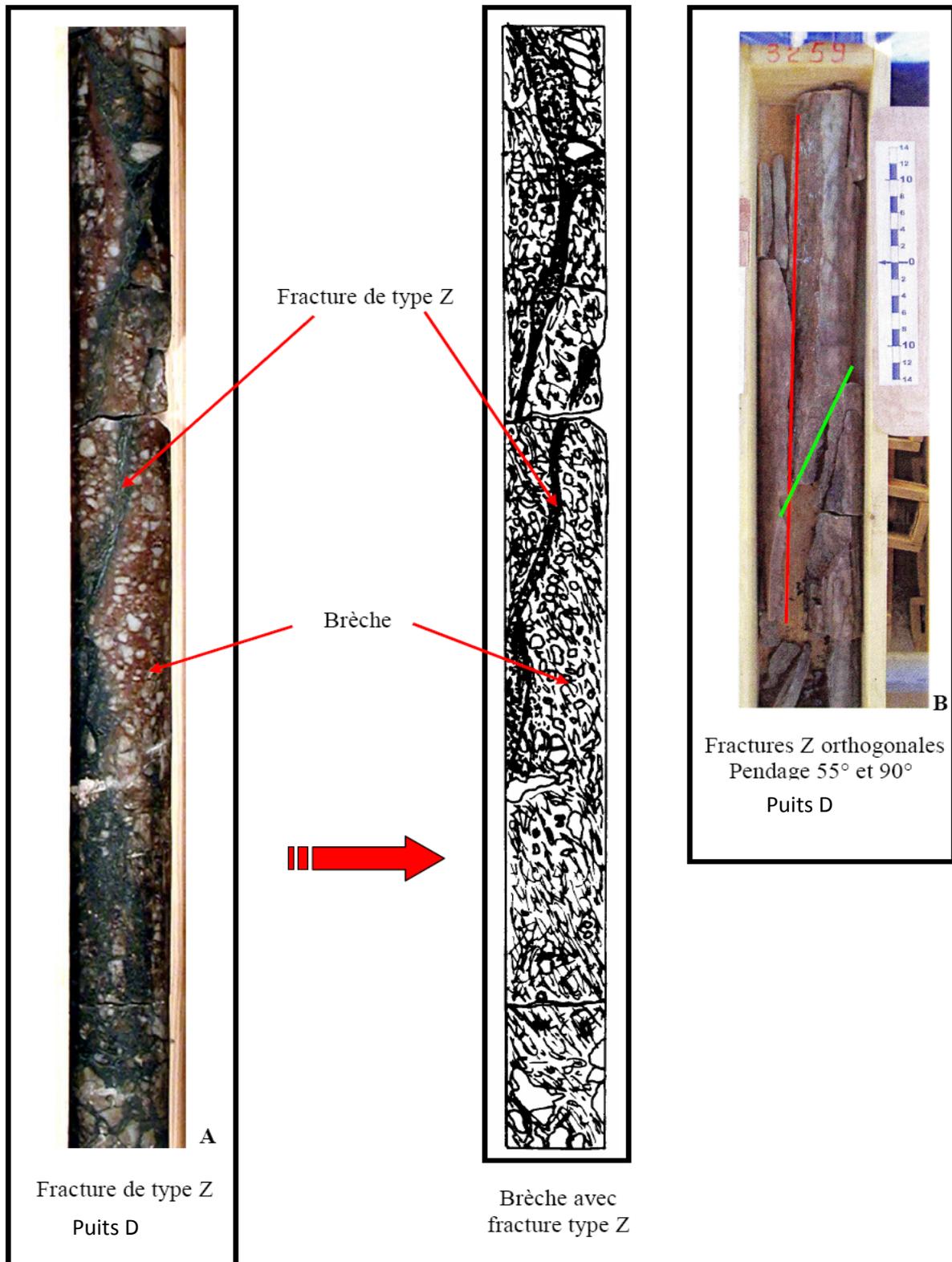


Fig III-9 : Brèche avec fracture type 'Z' dans le Puits D

L'indice de fracturation moyen calculé est de 0.04 pour les fractures de type Z et de 0.02, pour les fractures de type S, ces indices sont faibles. Le Puits est classé dans la catégorie des Puits peu fracturés.

Les stylolites de ce Puits se répartissent à peu près uniformément dans les carottes C=2 et C=5. L'indice moyen de stylolitisation de ce Puits est faible (0.73).

Conclusion

Le Puits L est un puits peu fracturé avec quelques fractures tectonique « ouvertes », l'intensité de la fracturation est importante à la base de l'intervalle. Présence de fractures de type S « essentiellement colmaté ou semi colmatée par la silice » Puits peu stylolitisé.

g. Le Puits P

Une seule carotte a été décrite dans l'ordovicien, C=1 pour une longueur totale de 17m. La récupération moyenne est de 100%.

Ce Puits (Planche V.6) se caractérise par une forte proportion de fractures précoces de type Y qui sont majoritairement « cimentées ». La concentration de ces fractures est plus importante, vers la base de la carotte (3331 et 3335m). L'indice de fracturation moyen est de 0.16 classe ce Puits dans la catégorie des Puits moyennement fracturés. On note que toute la carotte est silicifiée avec des fractures Z souvent très fines (Fig. II.10.B), et que certaines fractures Y ont été reprises en fractures de type Z (3332 m). Il est donc possible que ce Puits soit sous l'influence d'une faille de petite ampleur (ALIOUCHE. H, AYAD. M (1999)).

L'indice moyen de stylolitisation de ce Puits est moyen (1.35)

Conclusion

Puits moyennement fracturé et moyennement stylolitisé.

h. Le Puits I

Deux carottes ont été décrites dans l'Ordovicien, C=1 et C=2 pour une longueur totale de 27.8. La récupération moyenne est de 62% avec un diamètre de carottage de l'ordre de 6.5cm

Ce Puits (Planche III.7,8) est traversé par un grand nombre de fractures de type Z de grande taille.

Les fractures « cimentées » (Fig. III.11.A) sont très dominantes par rapport aux fractures « partiellement ouvertes ». On note à 3369m un intervalle bréchiq, celui-ci est situé dans la carotte C=1, cet épisode est relié à l'intervalle non récupéré qui de 17m. Ce puits ne contient aucune fracture précoce de type X et Y, et une seule fracture de type S a été relevée. L'indice de fracturation moyen de 0.39 classe ce Puits dans la catégorie des Puits fracturés.

Remarques : dans ce Puits, sur un intervalle gréseux à forte composante argileuse, un plan de fractures présentant une surface en relief qui rappelle un effet de gouges, compte tenu de la plus forte argilosité et que ces reliefs convergent en un même point, il est vraisemblable que

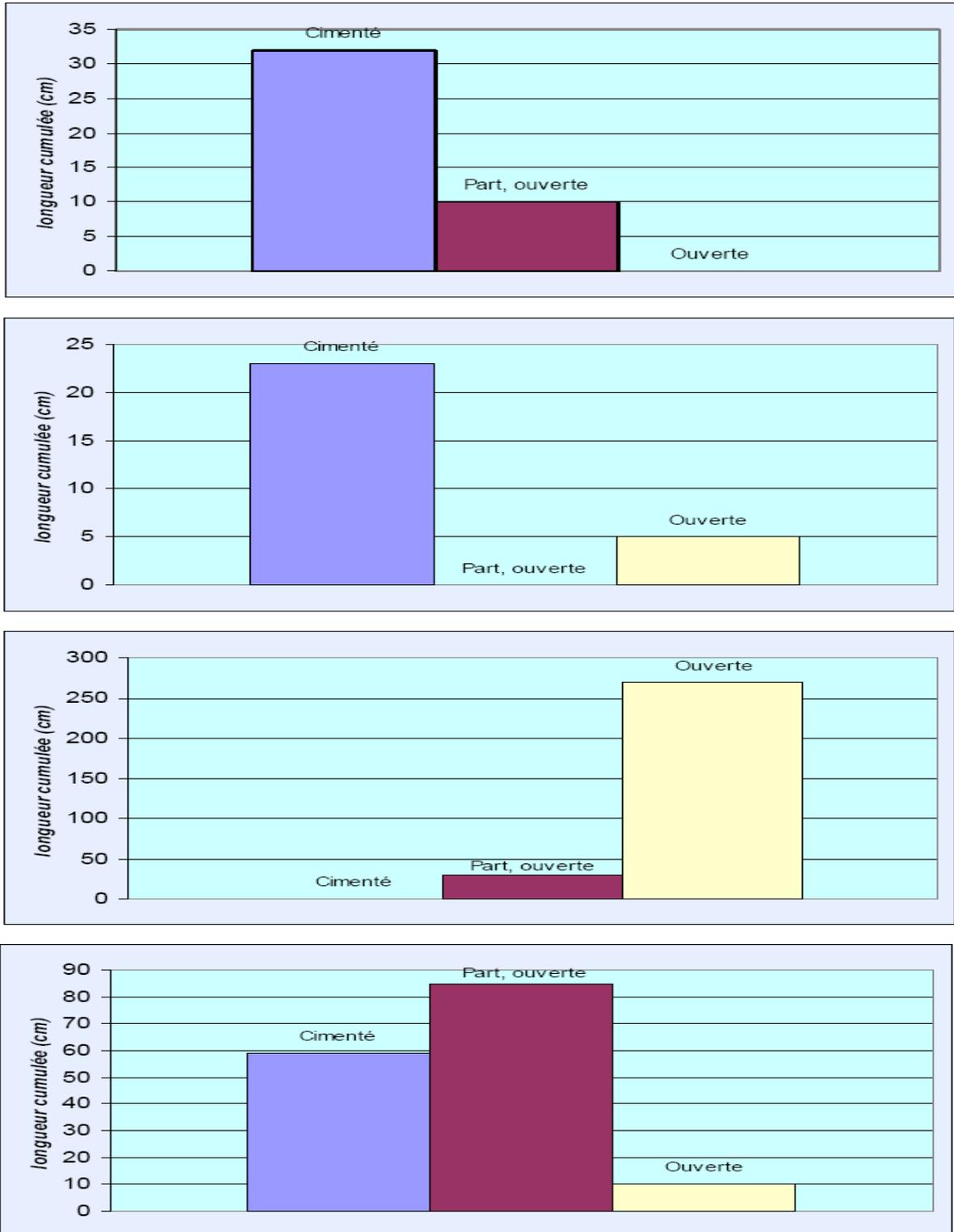
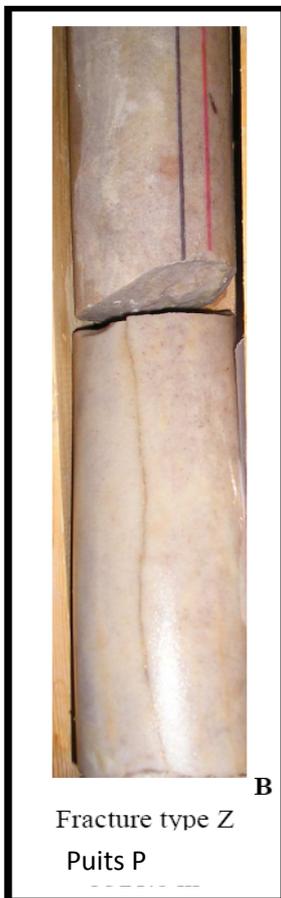
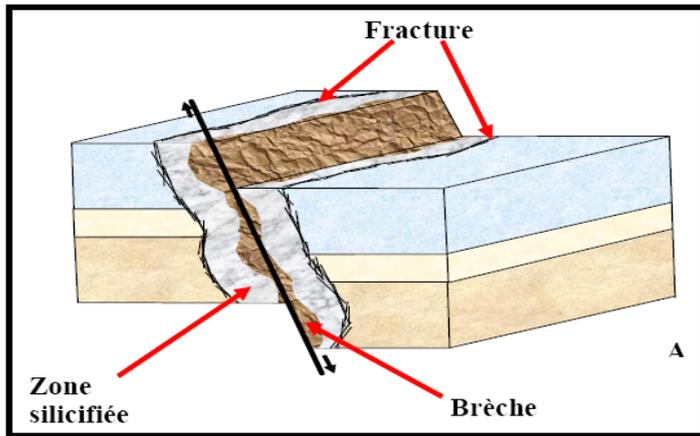


Planche III-6 : Histogrammes des fractures ouvertes, partiellement ouvertes et cimentées du Puits P (Beicip franlad, 2006)



Fracture type Z
Puits F
3376.3 à 3378.8m

Puits



Fig III-10 : Fracture type 'Z' dans les Puits F et P

Numéro de carotte	Top	Base	Intervalle carotté (m)	Intervalle récupéré (m)	récupération (%)
1	3364	3391	27	10	37
2	3420	3438	18	17,8	98,9
				27,8	

Fracture

X	Cimenté	Part, ouverte	Ouverte	Total	IF X
Nombre	0	0	0	0	
Long, cumulée (cm)	0	0	0	0	0

Y	Cimenté	Part, ouverte	Ouverte	Total	IF Y
Nombre	0	0	0	0	
Long, cumulée (cm)	0	0	0	0	0

Z	Cimenté	Part, ouverte	Ouverte	Total	IF Z
Nombre	19	9	3	31	
Long, cumulée (cm)	515	280	300	1095	0,39

S	Cimenté	Part, ouverte	Ouverte	Total	IF S
Nombre	1	0	0	1	
Long, cumulée (cm)	5	0	0	5	0

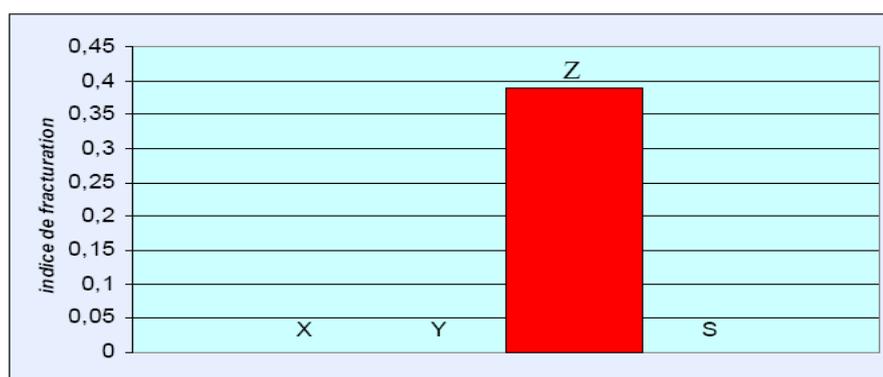
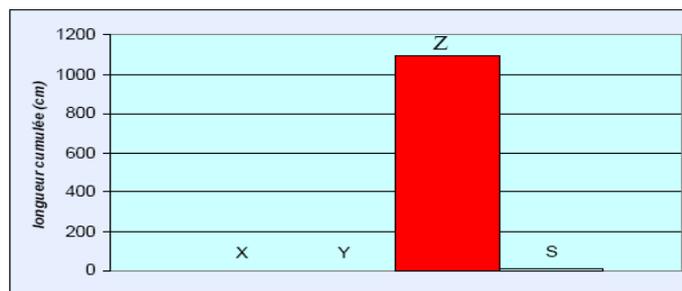
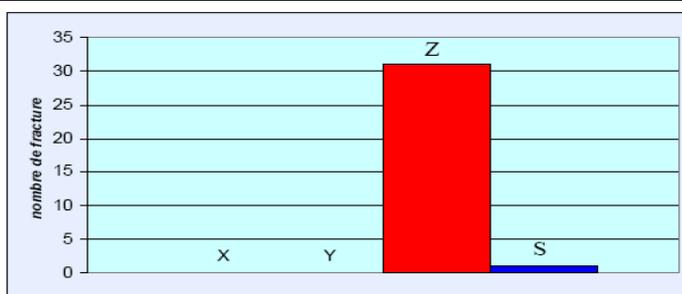


Planche III-7 : Description des carottes pour la fracturation du Puits I (Beicip franlad, 2006)

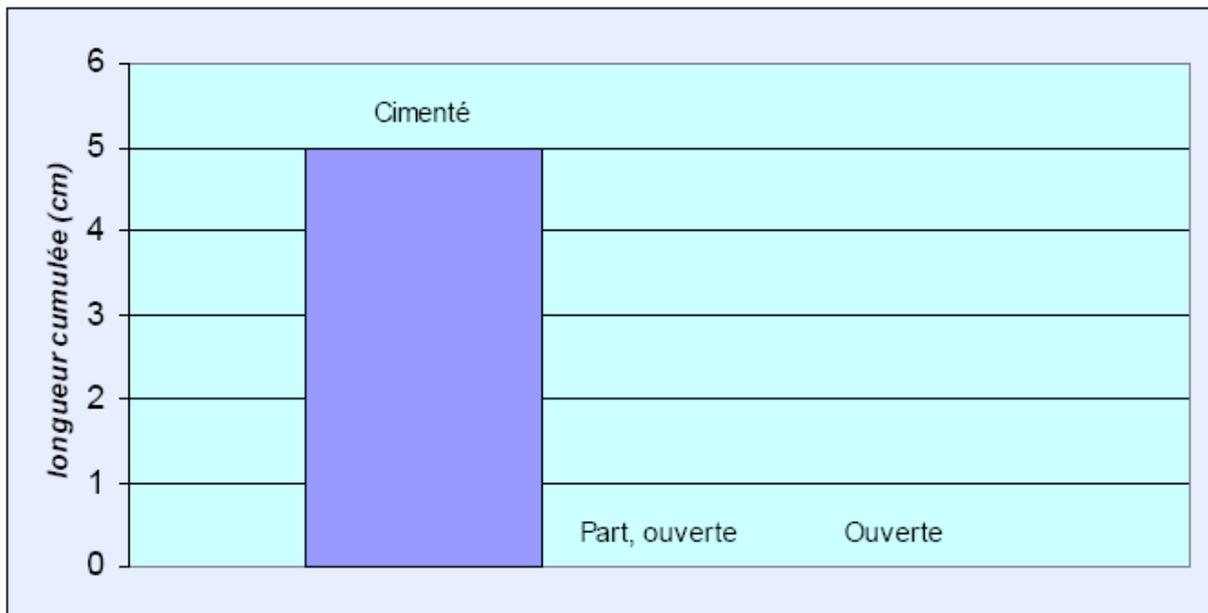
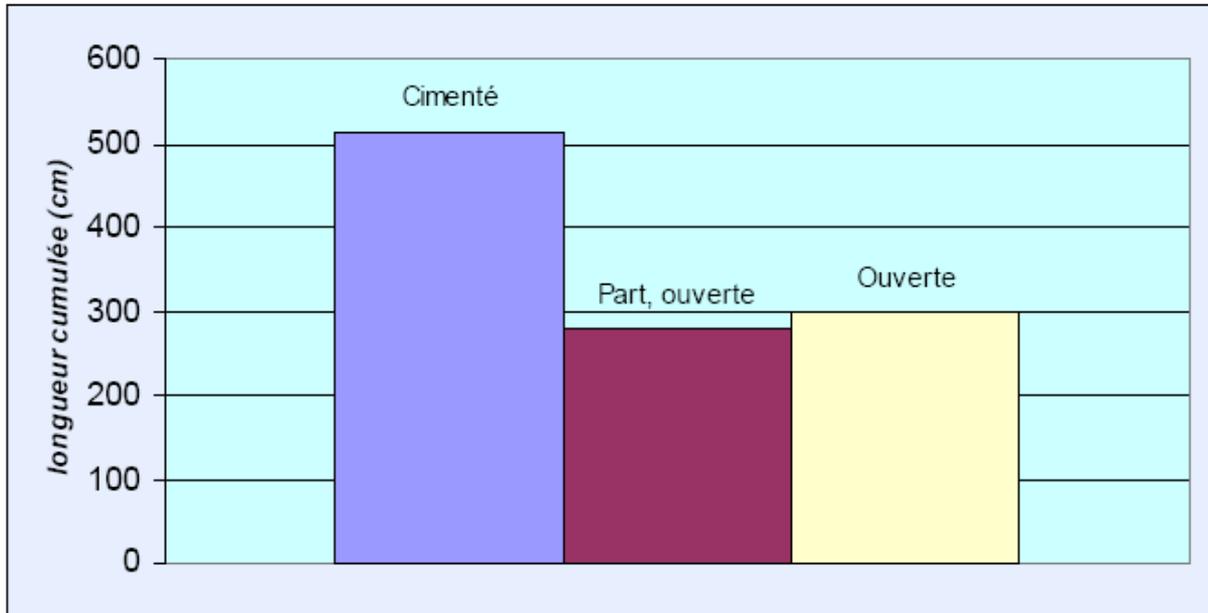


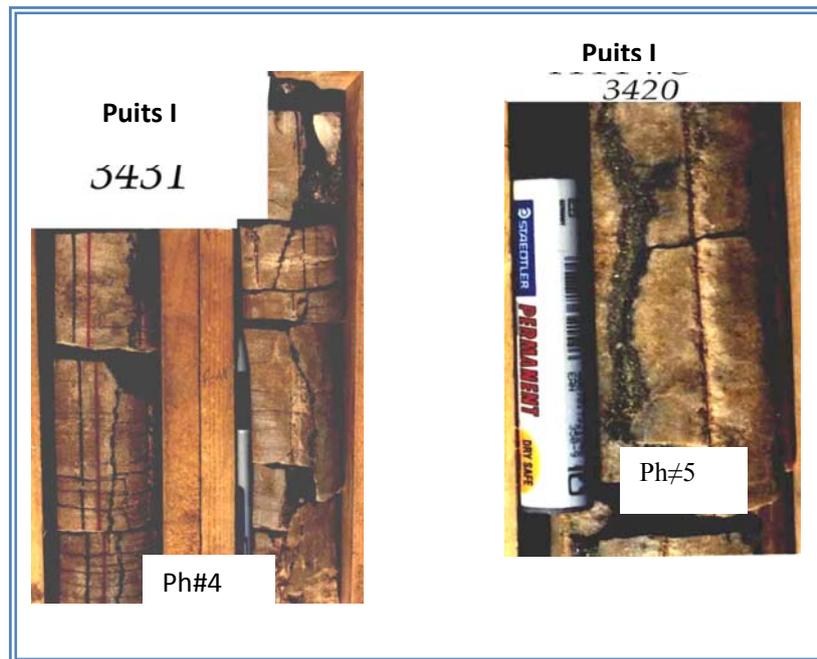
Planche III-8 : Histogrammes des fractures ouvertes, partiellement ouvertes et cimentées du Puits I (Beicip franlad, 2006)

cette fracture a été générée par la torsion dans le carottier durant la phase de carottage. Cette fracture est de type U (voire Fig.III.6 .D)

L'indice moyen de stylolitisation de ce Puits est faible, il est de 0.61.

Conclusion

Puits très fracturé, traversée par une faille dans la partie supérieure des Quartzites de Hamra, avec des fractures de type Z « cimentées ». Ces fractures sont colmatées essentiellement par de la pyrite (Ph#4 et 5) et localement par de la silice et des carbonates. Le Puits est peu stylolitisé.



Exemple d'une grande fracture colmatée de pyrite ph05 et des petites fractures colmatées soit par la silice, soit par les carbonates ph04.

i. Le Puits E :

La fracturation est assez importante à la base colmatée de pyrite et de silice (ARAB.M (2001)). La partie supérieure de l'intervalle montre des fissures colmatées de bitume. Les fissures non colmatées se retrouvent dans la partie supérieure.

J. Le Puits F

Deux carottes ont été décrites dans l'Ordovicien, C=1 et C=2 pour une longueur totale de 36m avec une récupération moyenne de 100%. Dans ces carottes, le diamètre du carottage est important (10cm).

Ce Puits (Planche III.9, 10) se caractérise par deux intervalles fracturés (3369 à 3373m et 337 à 3379m) présentant des fractures verticales de type Z, pluri-métrique. Ces fractures

Numéro de carotte	Top	Base	Intervalle carotté (m)	Intervalle récupéré (m)	récupération (%)
1	3349	3367	18	18	100
2	3367	3385	18	18	100
				36	

Fracture

X	Cimenté	Part, ouverte	Ouverte	Total	IF X
Nombre	15	0	0	15	
Long, cumulée (cm)	153	0	0	153	0,04

Y	Cimenté	Part, ouverte	Ouverte	Total	IF Y
Nombre	31	1	0	32	
Long, cumulée (cm)	550	10	0	560	0,16

Z	Cimenté	Part, ouverte	Ouverte	Total	IF Z
Nombre	9	0	1	10	
Long, cumulée (cm)	600	0	15	615	0,17

S	Cimenté	Part, ouverte	Ouverte	Total	IF S
Nombre	0	0	0	0	
Long, cumulée (cm)	0	0	0	0	0

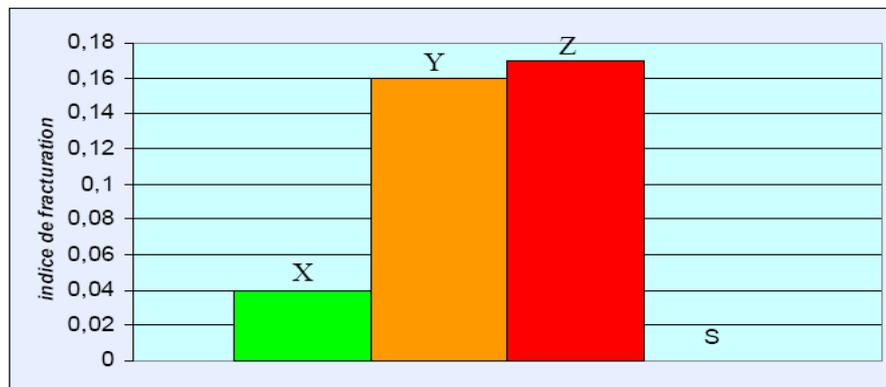
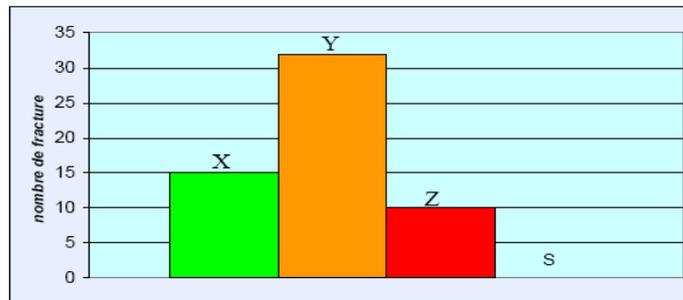
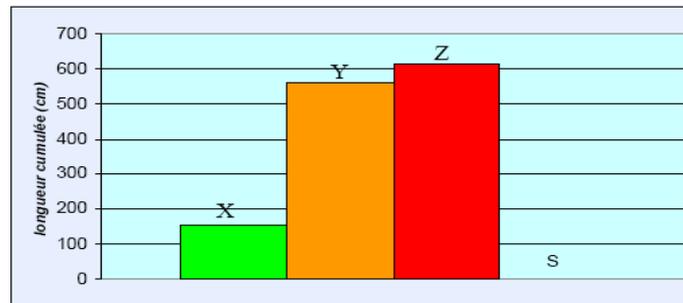


Planche III-9 : Description des carottes pour la fracturation du Puits F (Beicip franlad, 2006)

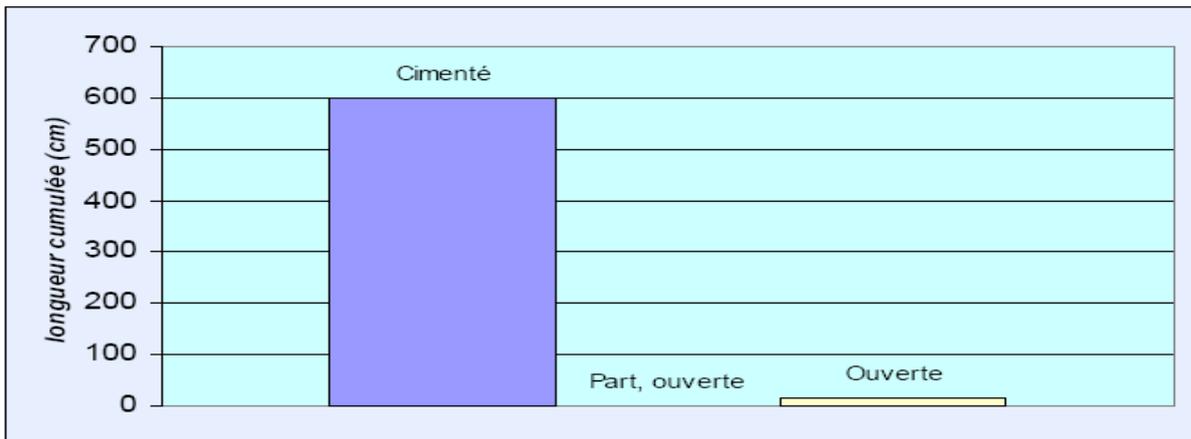
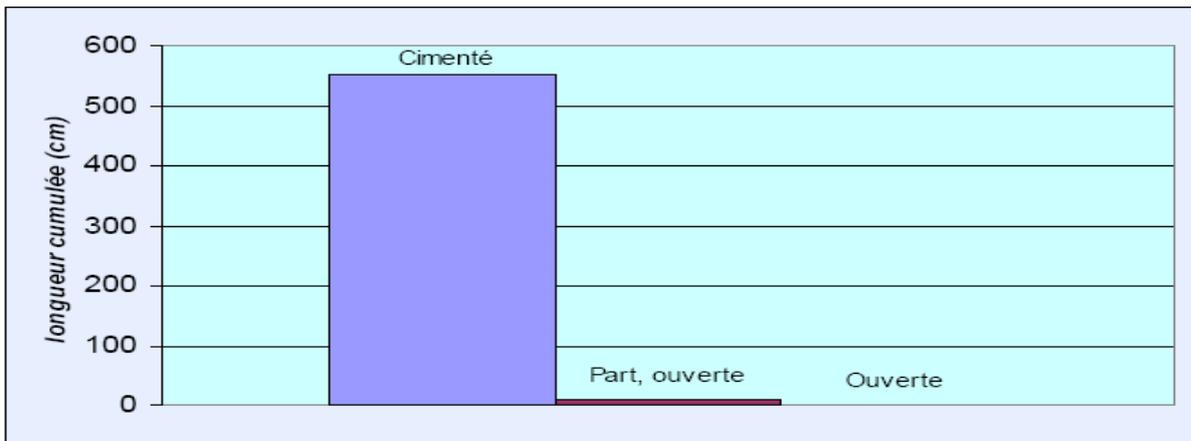
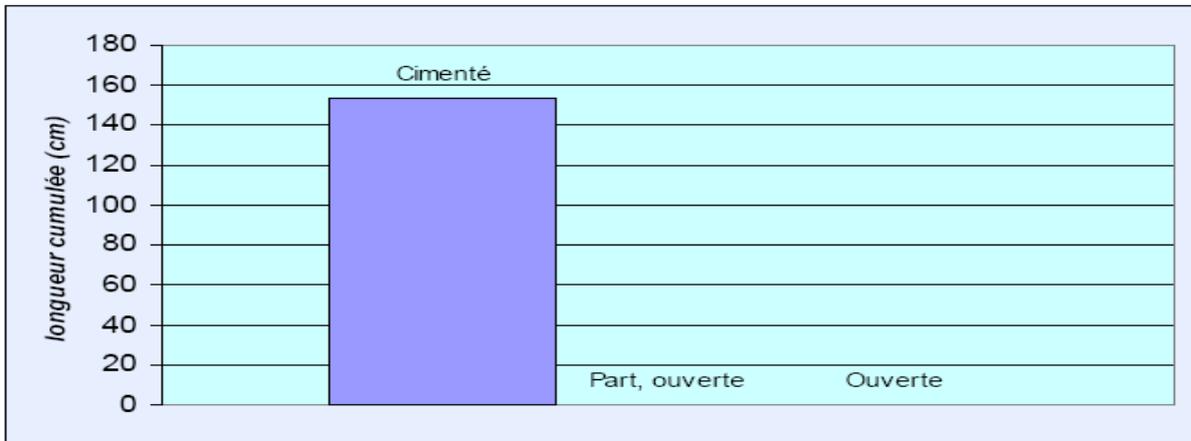


Planche III-10: Histogrammes des fractures ouvertes, partiellement ouvertes et cimentées du Puits F (Beicip franlad, 2006)

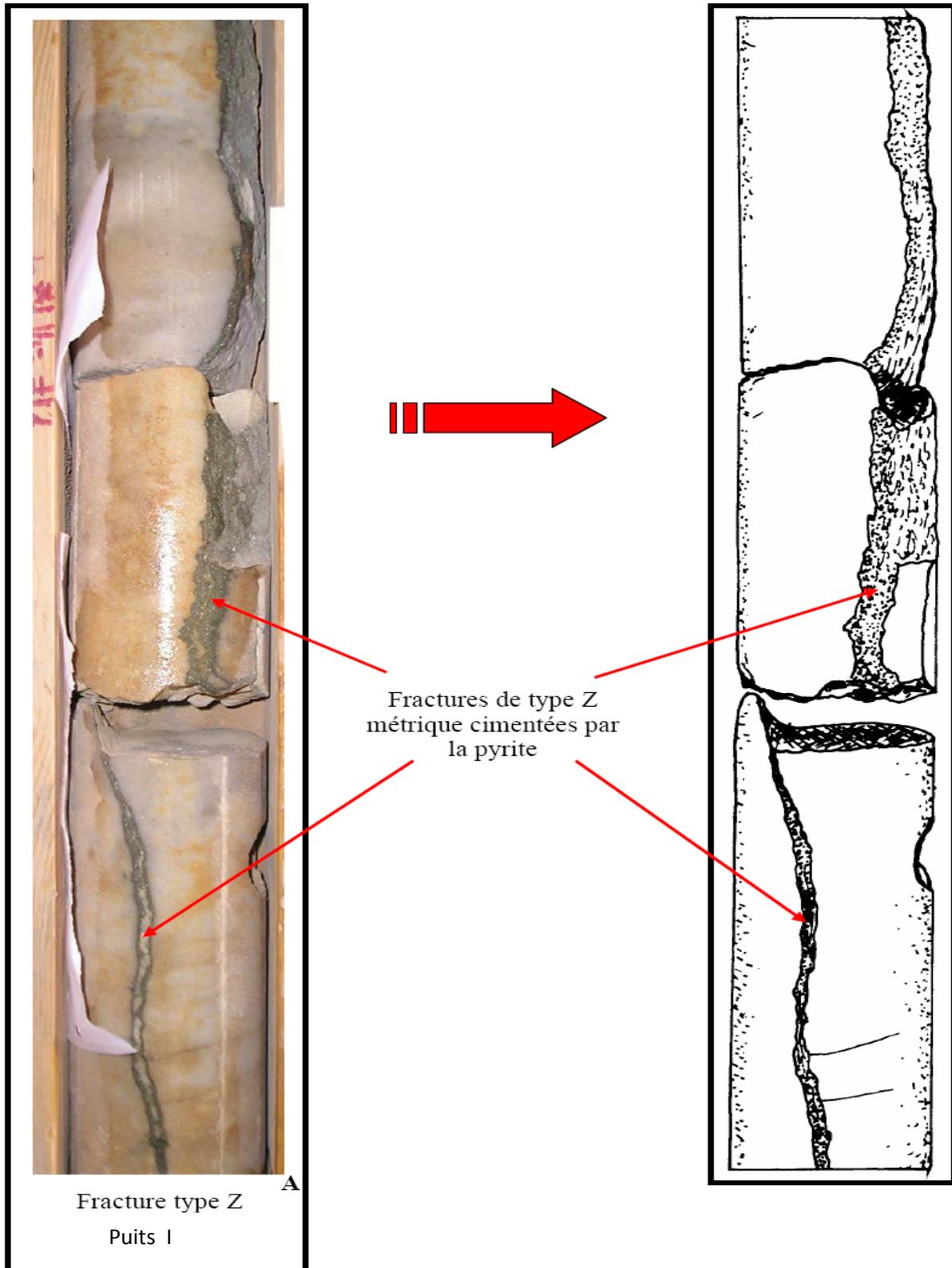


Fig III-11 : Fracture type 'Z' cimentée par la pyrite

clairement délimitées à la fois dans leur partie supérieure et inférieure, évoquent les fractures diffuses dont l'extension est contrôlée par les limites de bancs.

Dans ces fractures, plusieurs minéralisations (silice, calcite) les colmatent en totalité, qui est associées à une silicification qui imprègne la matrice sur une épaisseur de 2cm de part et d'autre de ces grandes fractures, ces dernières joueront un rôle de barrière verticale.

De nombreux intervalles craquelés composés de nombreuses fractures précoces de type X dont l'organisation apparaît comme étant aléatoire, ont également été relevés sur ce Puits, ainsi que des niveaux de grès argileux associés à de nombreuses fractures de type Y, très verticale, discontinues et organisées en réseau orthogonaux. Ces intervalles qui ont une épaisseur moyenne de 30cm, apparaissent comme étant les témoins d'un paléosol. Aucune fracture de type S n'a été identifiée sur ce Puits.

Les indices de fracturation moyens respectivement de 0.16 et 0.17 pour les fractures de type Y et les fractures de type, classent ce Puits dans la catégorie des Puits moyennement fracturés.

L'indice de stylolitisation de 3.19 est important, classe ce Puits comme étant fortement stylolitisé.

Conclusion

Puits moyennement fracturé, présentant deux intervalles associés à des fractures de type Z, diffuses et cimentées. l'intervalle supérieur est relativement plus déformé colmaté de pyrite. L'intervalle basal est colmaté essentiellement de bitume et de silice (Ph#12. Puits fortement stylolitisé.

k. Le Puits Q

Trois carottes ont été décrites dans l'Ordovicien, C=1 à C= 3 pour une longueur totale de 45.2m avec une récupération de 100%, suivant un diamètre de carottage assez important (8.8 cm). L'intervalle décrit se situe dans la partie médiane des Quartzites de Hamra.

Ce Puits (Planche III.11) présente une intense silicification ainsi que plusieurs système de fractures parallèle sub-verticales de taille métriques de type Z groupées en clusters. On constate également à la base de la carotte C=1 une grande fracture métrique, cette fracture est ouverte (3364m) et présente un épais placage centimétrique argilo-pyriteux.

Une autre fracture du même type est observée à la profondeur 3370.5m (voir Fig. III.6.C), bien qu'aucune brèche majeure n'ait été observée, ce Puits se situe dans l'environnement immédiat d'une importante faille. Le pendage très important ($\approx 90^\circ$) des fractures en clusters et la présence d'une surface de glissement banc sur banc en surface lustrée (voir Fig. III.7 .A), évoquent des mouvements en décrochements.

La carotte C=3 présente une stylolitisation importante accompagnée de très nombreuses fractures de type S, reliées en réseaux.

Numéro de carotte	Top	Base	Intervalle carotté (m)	Intervalle récupéré (m)	récupération (%)
1	3349	3365	16	16	100
2	3365,5	3377,7	12,2	12,2	100
3	3379	3396	17	17	100
				45,2	

Fracture

X	Cimenté	Part, ouverte	Ouverte	Total	IF X
Nombre	0	0	0	0	
Long, cumulée (cm)	0	0	0	0	0

Y	Cimenté	Part, ouverte	Ouverte	Total	IF Y
Nombre	0	10	0	10	
Long, cumulée (cm)	0	100	0	100	0,02

Z	Cimenté	Part, ouverte	Ouverte	Total	IF Z
Nombre	30	26	10	66	
Long, cumulée (cm)	625	945	340	1910	0,42

S	Cimenté	Part, ouverte	Ouverte	Total	IF S
Nombre	12	18	3	33	
Long, cumulée (cm)	90	620	55	765	0,17

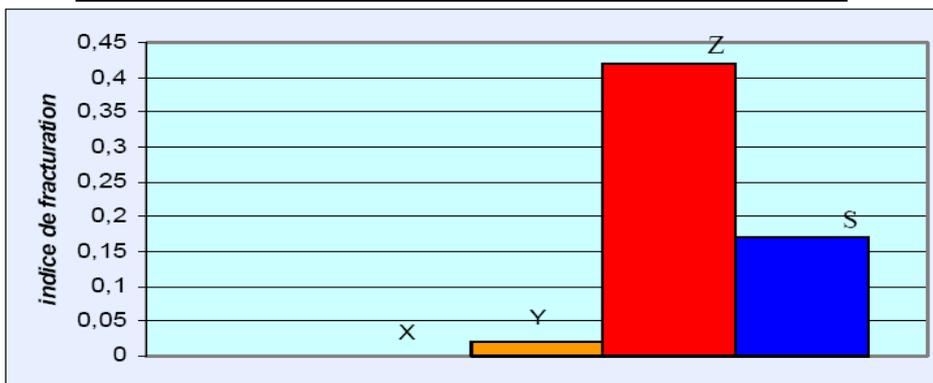
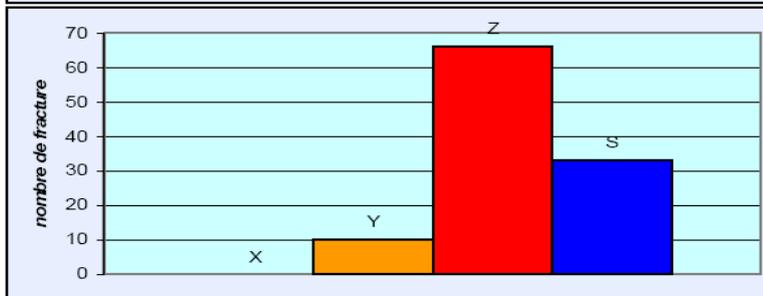
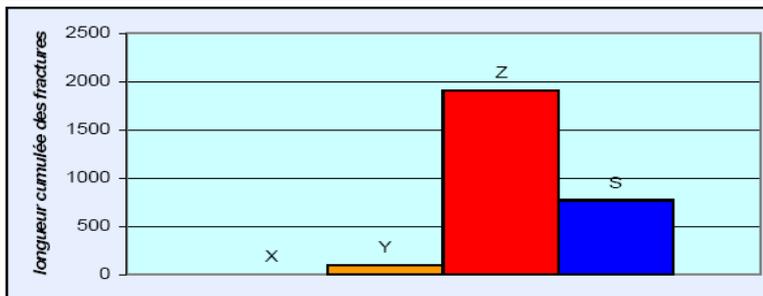


Planche III-11 : Description des carottes pour la fracturation du Puits Q (Beicip franlad, 2006)

X	Cimenté	Part, ouverte	Ouverte	Total
Nombre	63	10	0	73
Long, cumulée (cm)	335	23	0	358

Y	Cimenté	Part, ouverte	Ouverte	Total
Nombre	77	20	3	100
Long, cumulée (cm)	1202	215	25	1442

Z	Cimenté	Part, ouverte	Ouverte	Total
Nombre	83	107	49	239
Long, cumulée (cm)	2550	3202	2070	7822

S	Cimenté	Part, ouverte	Ouverte	Total
Nombre	22	38	10	70
Long, cumulée (cm)	174	768	130	1072

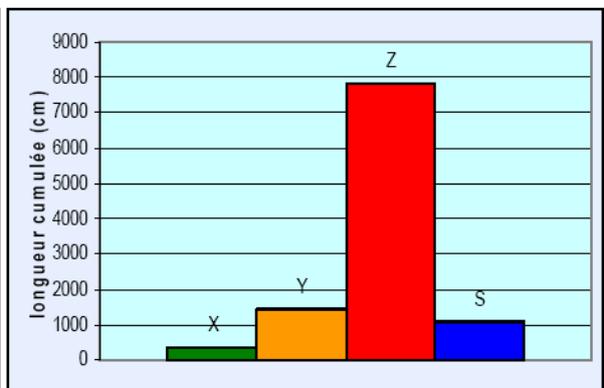
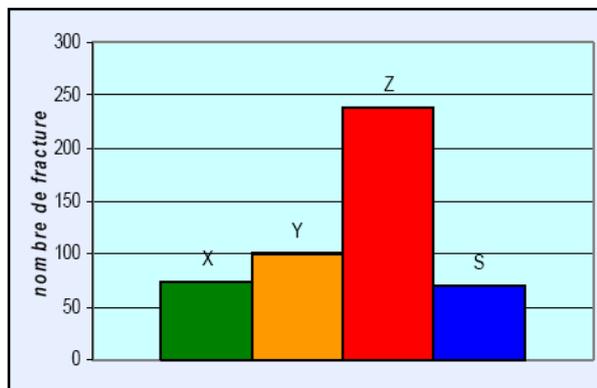
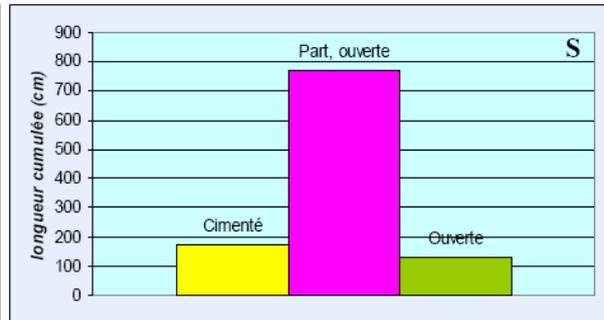
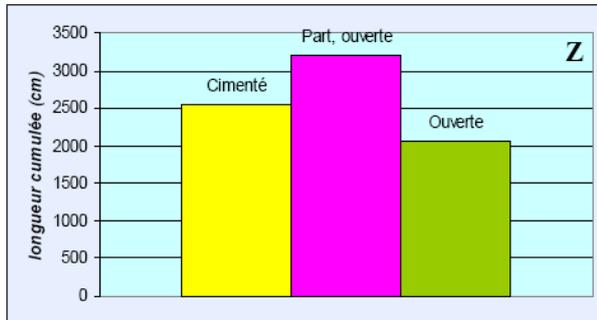
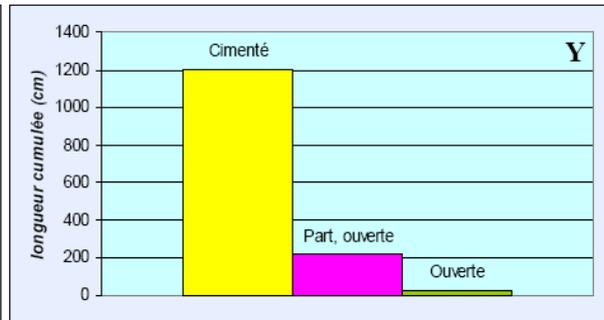
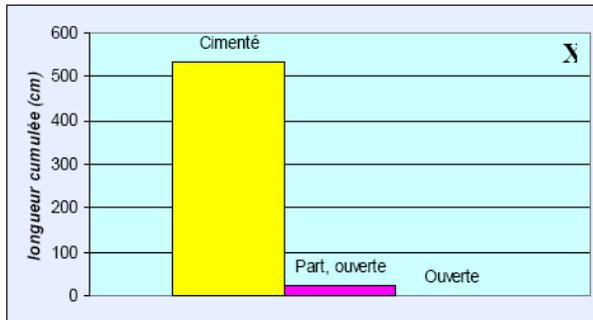


Planche III-12 : Description des carottes pour l'ensemble des Puits. (Beicip franlad, 2006)

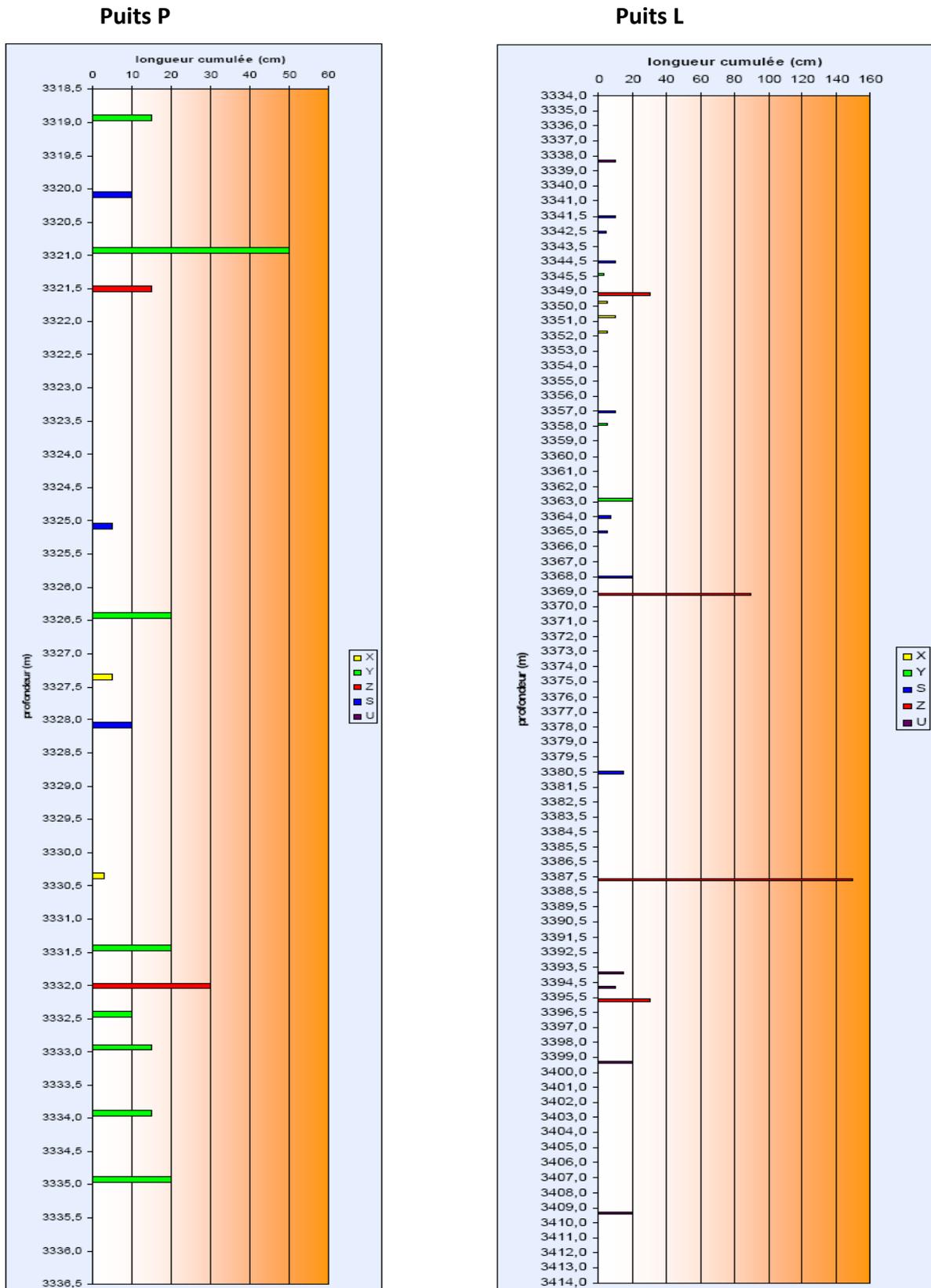


Planche III-13 : Distribution verticale des types et de l'intensité des fractures dans les Quartzites de Hamra (Beicp franlad, 2006)

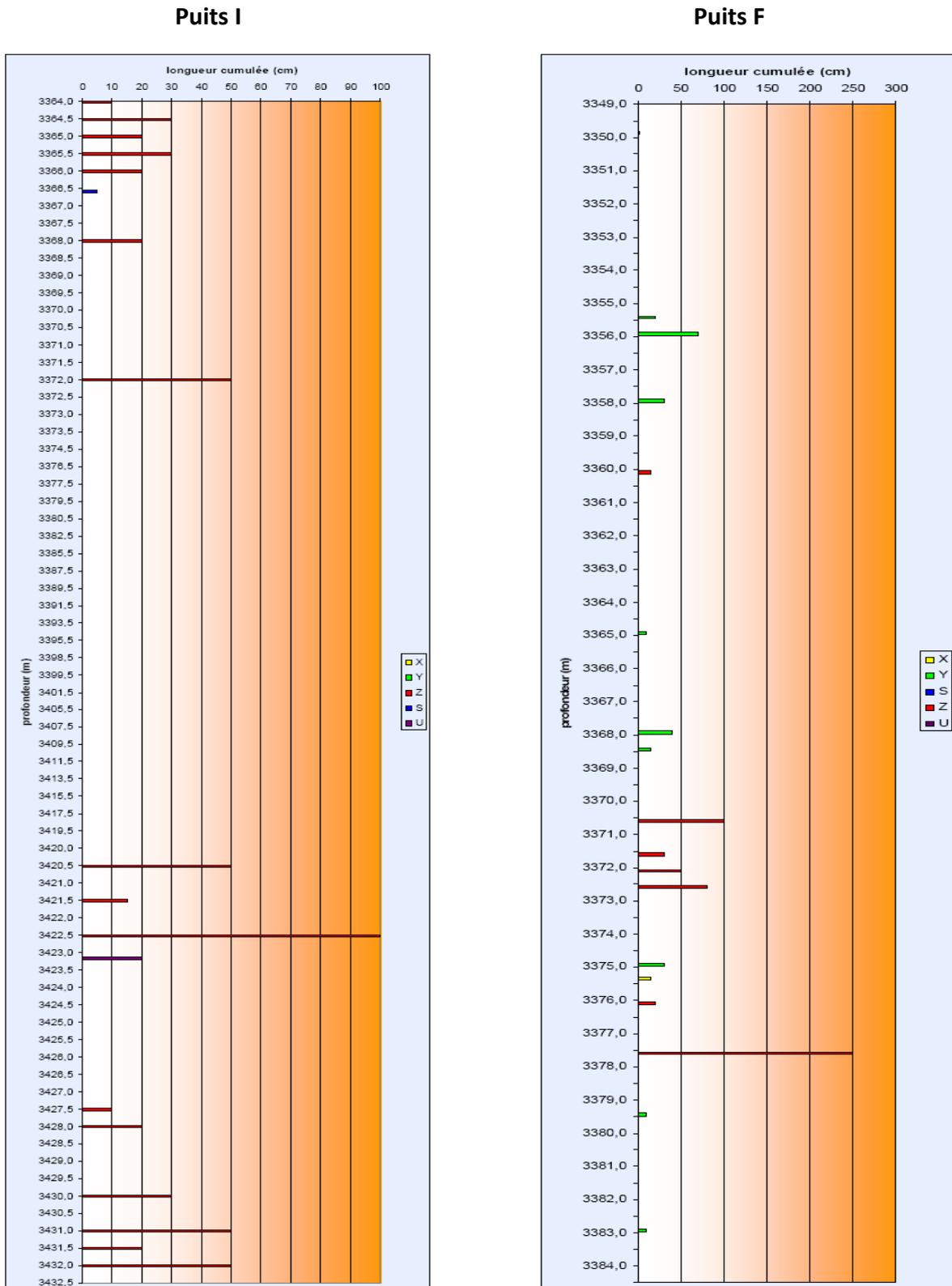


Planche III-14 : Distribution verticale des types et de l'intensité des fractures dans les Quartzites de Hamra (Beicip franlad, 2006)

Puits B

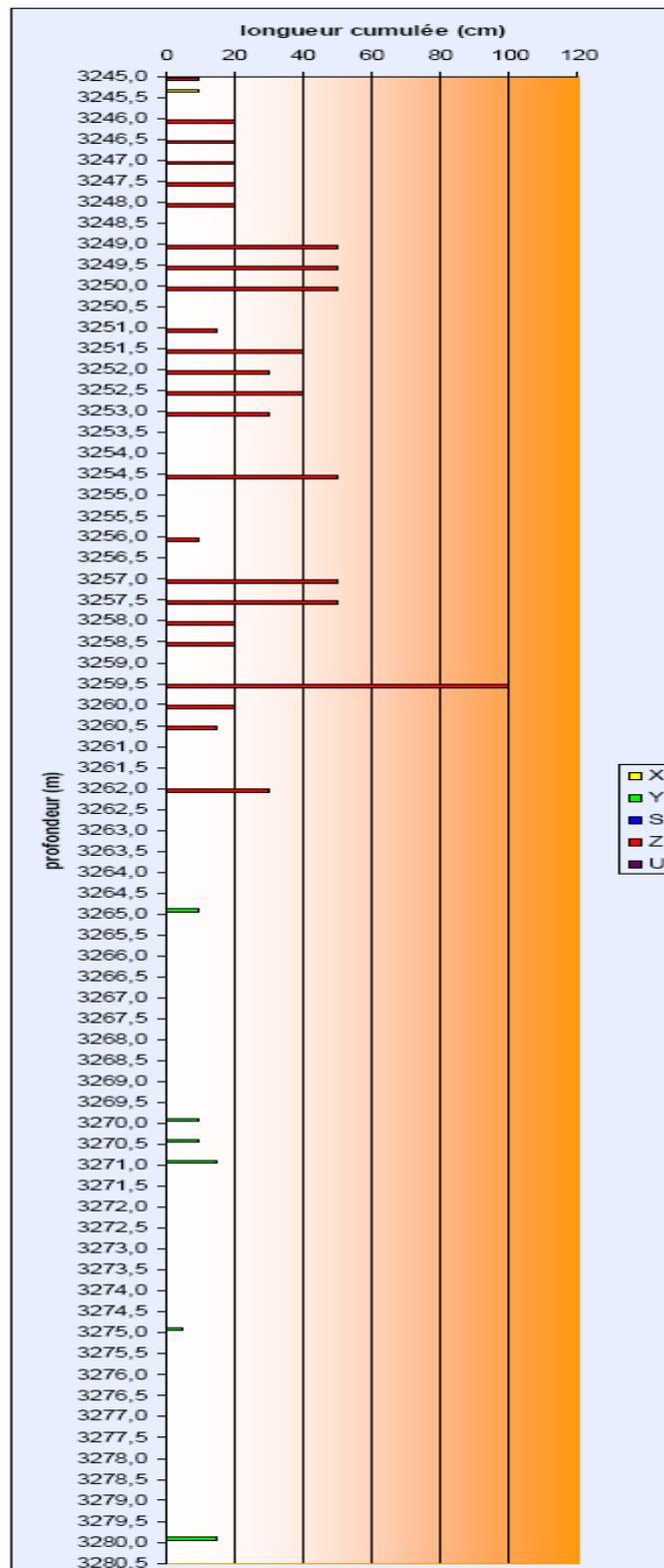


Planche III-15 : Distribution verticale des types et de l'intensité des fractures dans les Quartzites de Hamra (Beicip franlad, 2006)

L'indice moyen de fracturation de ce Puits est de 0.42 pour les fractures de type Z et de 0.17 pour les types S, il est classé dans la catégorie des Puits très fracturés, les fractures tectoniques sont prépondérantes par rapport aux fractures de type S, qui sont cependant bien représentées.

L'indice de stylolitisation de 1.59 est supérieur à 1, classe ce Puits comme fortement stylolitisé.

Conclusion

Puits très fracturé, les fractures tectoniques sont majoritaires dus au voisinage de ce Puits à un accident tectonique majeur (D'après la sismique). Le Puits est fortement stylolitisé.

III- Analyse des données de fractures

L'exploitation des données de fractures à partir des fichiers nous a permis :

- D'établir une classification des Puits en fonction de leur intensité de fracturation.
- De construire une carte synthétique qui présente l'intensité de la fracturation et le type dominant de fractures tectonique observées dans les Quartzite de Hamra.
- D'estimer une corrélation entre faciès et type de fractures.

III-1. Classification des Puits

Les premiers résultats, centrés sur la nature des fractures et leurs intensités, sont synthétisés sur le tableau (III .1). Ils font ressortir trois catégories de Puits :

- Les Puits fortement fracturés, ces le cas des Puits B, D, I et P
- Les Puits dont la fracturation est tectonique (Type Z), s'explique par la présence d'une faille. La qualité de la matrice de ces Puits est généralement dégradée par silicification.
- Les Puits moyennement fracturés, cas de P et F. Cette classe est la plus complexe, on observe en effet que le type de fractures dominant est variable. Les fractures précoces (Type Y) sont majoritaires sur les Puits P et F. Les fractures tectoniques (Type Z) bien que présente sur ces Puits, sont bien représentées sur F ou elles expriment une fracturation diffuse.
- Les Puits peu fracturés, tels N et L, les fractures tectoniques de ces Puits correspondent à un fond de fractures diffuses

Une synthèse des fractures qui concerne l'ensemble des Puits fait ressortir la prédominance numéraire des fractures de types Z (Planche III.12), et permet également de montrer l'importance de ces fractures (BELKASMIN (2001)), dont la longueur cumulée est très dominante.

Une autre synthèse concernant l'ouverture des fractures (Cimentée, partiellement ouvertes, colmatées) suivant les types de fracture (X, Y, Z, S) est également présentée sur cette planche (III.12), elle montre que :

- Les fractures précoces de type X et Y sont presque toujours colmatées
- Les fractures tectoniques (type Z) sont ouvertes, partiellement ouvertes ou bien colmatés avec des proportions similaires.
- Les fractures de type S, sont presque toujours partiellement ouvertes.

Conclusion

Ces fractures, pourront donc jouer un rôle positif sur la production, notamment en termes d'amélioration de la perméabilité, leur impact sur la porosité restant faible.

III-2 Distribution des fractures dans les Quartzite de Hamra

L'objectif est de déterminer la logique de distribution des fractures dans les Quartzites de Hamra, pour cela, nous avons exploité les fichiers fractures, pour créer des histogrammes de fracturation

III-2.1.Distribution verticale des types et de l'intensité des fractures dans les Quartzites de Hamra

Une synthèse de l'ensemble de ces histogrammes est présentée sur les planches (III.13, 14 et 15), ces planches concernent l'intervalle des Quartzite de Hamra pour la zone N, A, B et C.

Les fractures décrites sur les différentes carottes sont ainsi positionnées par rapport à l'intervalle complet des Quartzites de Hamra (BELLOUL. D, OUAHRANI. L (2006)). Cela permet de se rendre compte de leur position réelle à l'intérieur de l'unité.

D'un point de vue général, on constate que :

- La zone est affectée par la fracturation d'origine tectonique, et notamment par les failles
- Les fractures diffuses ont été identifiées sur la zone.

III-2 .1.1 Analyse des zone A, B et C

A l'intérieur de cette zone la fracturation tectonique semble affecter plutôt les parties supérieure et médiane des Quartzite de Hamra (BENDJEMA. A(1999)).

Les fractures associées à la présence de stylolites (Type S) n'apparaissent pas dans l'intervalle supérieur, et leur proportion semble augmenter avec la profondeur pour atteindre un maximum dans la portion supérieure de la partie basale.

Afin de caractériser, la distribution verticale de l'intensité de la fracturation tectonique dans les Quartzites de Hamra, nous avons arbitrairement découpés le réservoir en sous unité :

-Quartzites de Hamra supérieur

-Quartzites de Hamra moyen

-Quartzite de Hamra inférieur

Pour chacun de ces intervalles dans chaque Puits, nous avons déterminé qualitativement une intensité de fractures :

-1 pour les fractures tectoniques de type Z peu abondantes

-2 pour les fractures tectoniques de type Z moyennement abondantes

-3 pour les fractures tectonique de type Z très abondantes.

Les résultats sont présentés sur la Planche III.16. Le tableau montre le résultat de cette détermination qualitative, et le graphe présente une synthèse de ces résultats.

Le graphe montre que :

-Les fractures liées aux failles sont moins représentées en profondeur. Cependant, les failles, ont une extension latérale en rapport avec leur échelle verticale. Dans le cas où elles représentent des objets de grande extension géographiques, elles vont recouper tous les réservoirs. On peut donc s'attendre à les observer avec une intensité relativement homogène à toutes les profondeurs du réservoir.

-Le nombre d'intervalle peu fracturé diminue avec la profondeur, tandis que les intervalles moyennement fracturés augmentent avec la profondeur dû probablement aux variations lithologiques.

III-2.2.Distribution verticale et de l'intensité des fractures dans les Quartzites de Hamra avec le type de colmatant

Les graphe suivants (fig .III.12, 13, 14, 15, 16, 17 et 18) montrent l'évolution verticale de la fissuration et le type de colmatant dans les Puits de E,L,H,A,B,C.

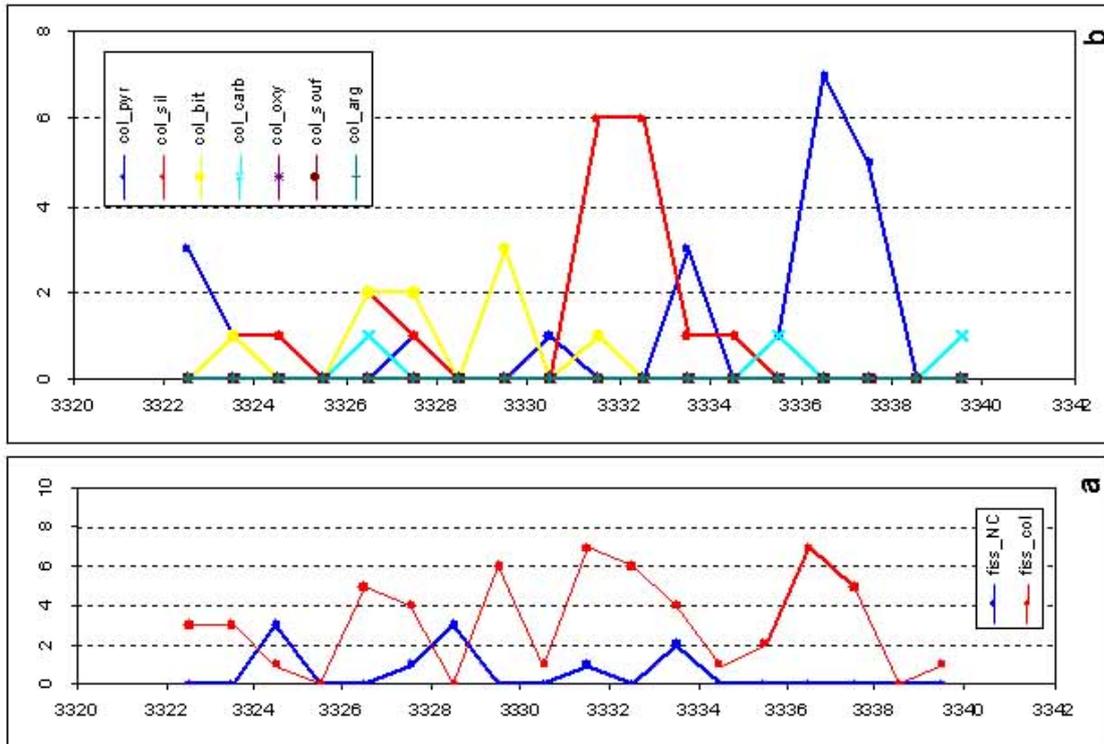


Fig.III.12 : Evolution verticale de la fissuration (a) et le type de colmatant (b) ; Puits E

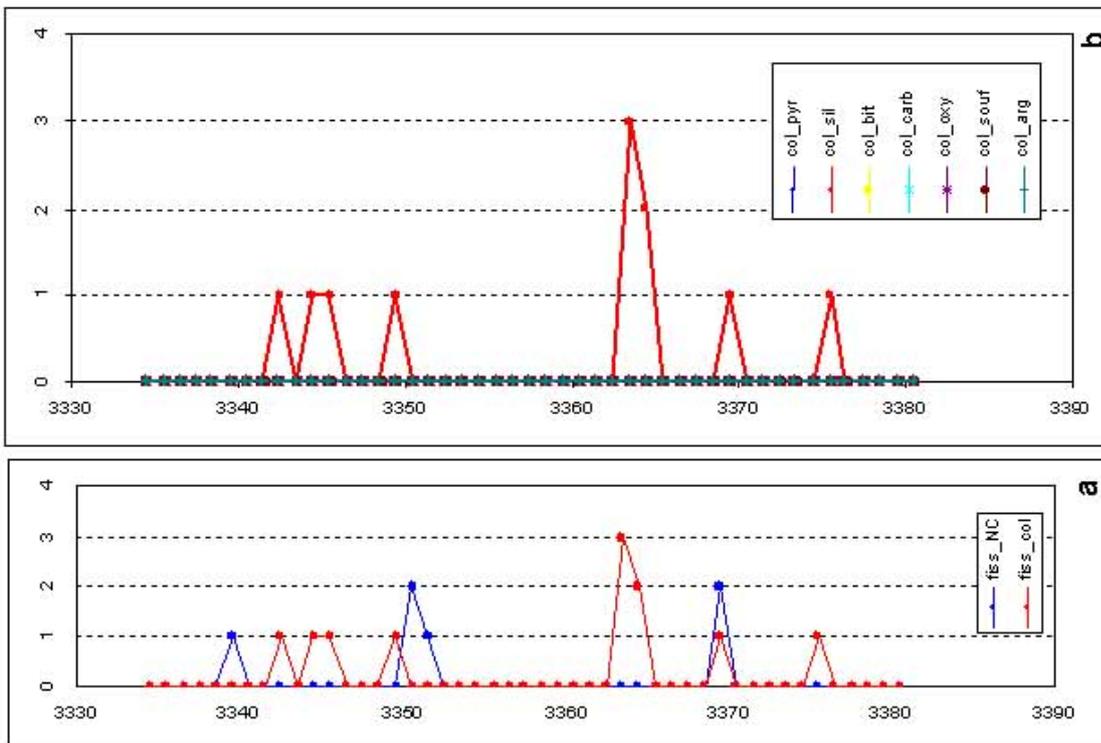


Fig.III.13 : Evolution verticale de la fissuration (a) et le type de colmatant (b) ; Puits L

L

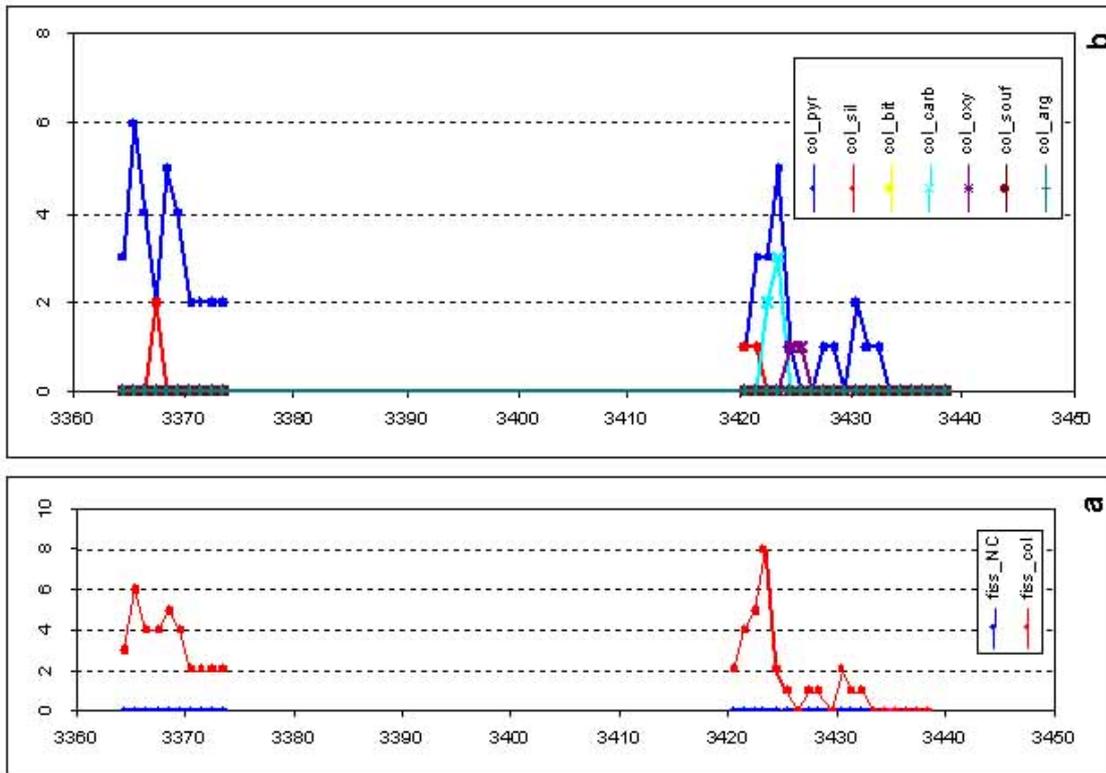


Fig.III.14 : Evolution verticale de la fissuration (a) et le type de colmatant (b) ; Puits

Q

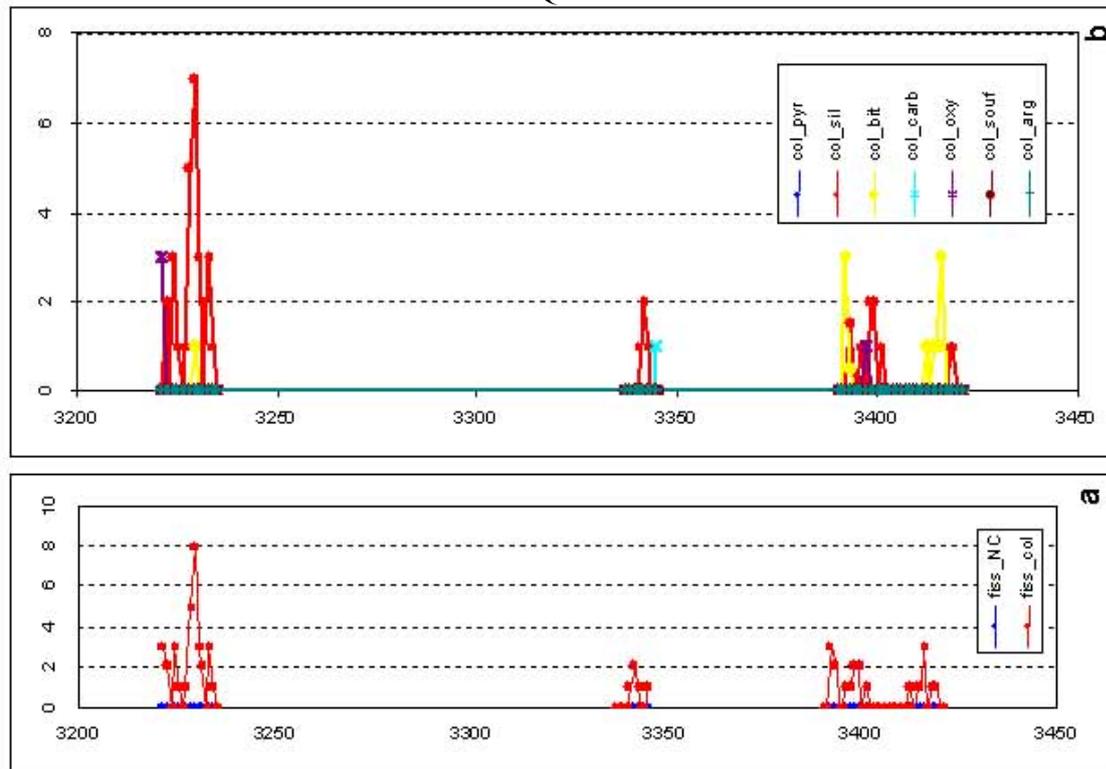


Fig.III.15 : Evolution verticale de la fissuration (a) et le type de colmatant (b) ; Puits

H

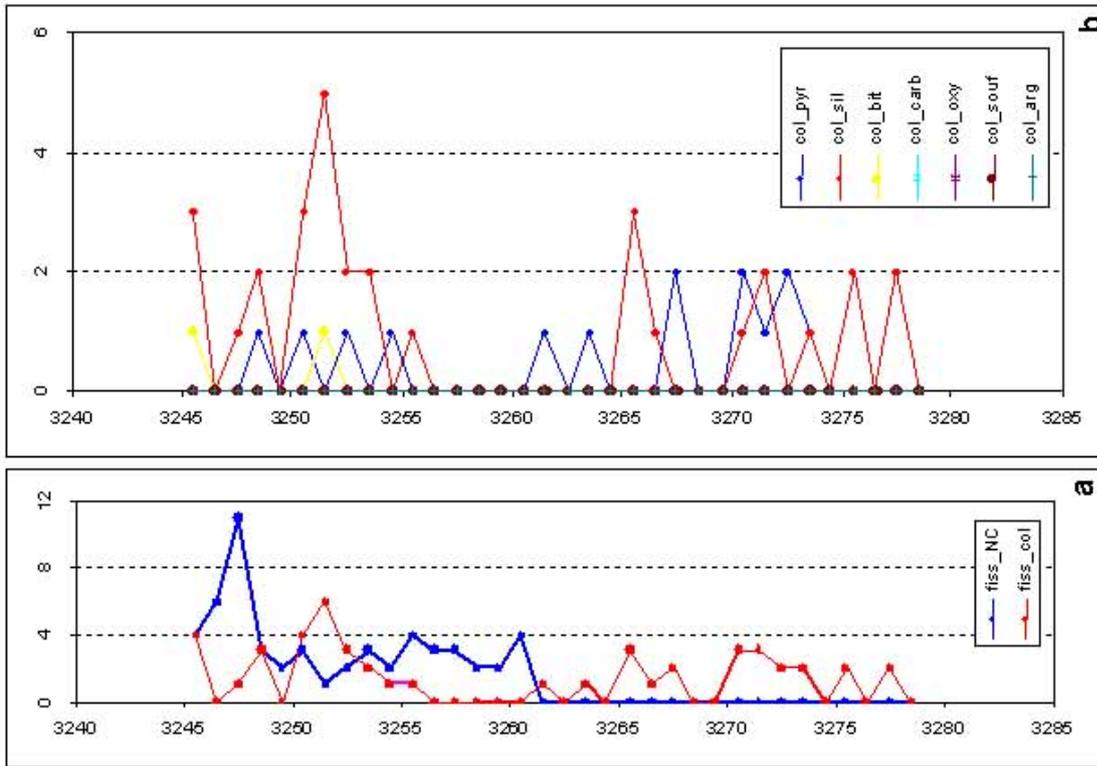


Fig.III.16 : Evolution verticale de la fissuration (a) et le type de colmatant (b) ; Puits

B

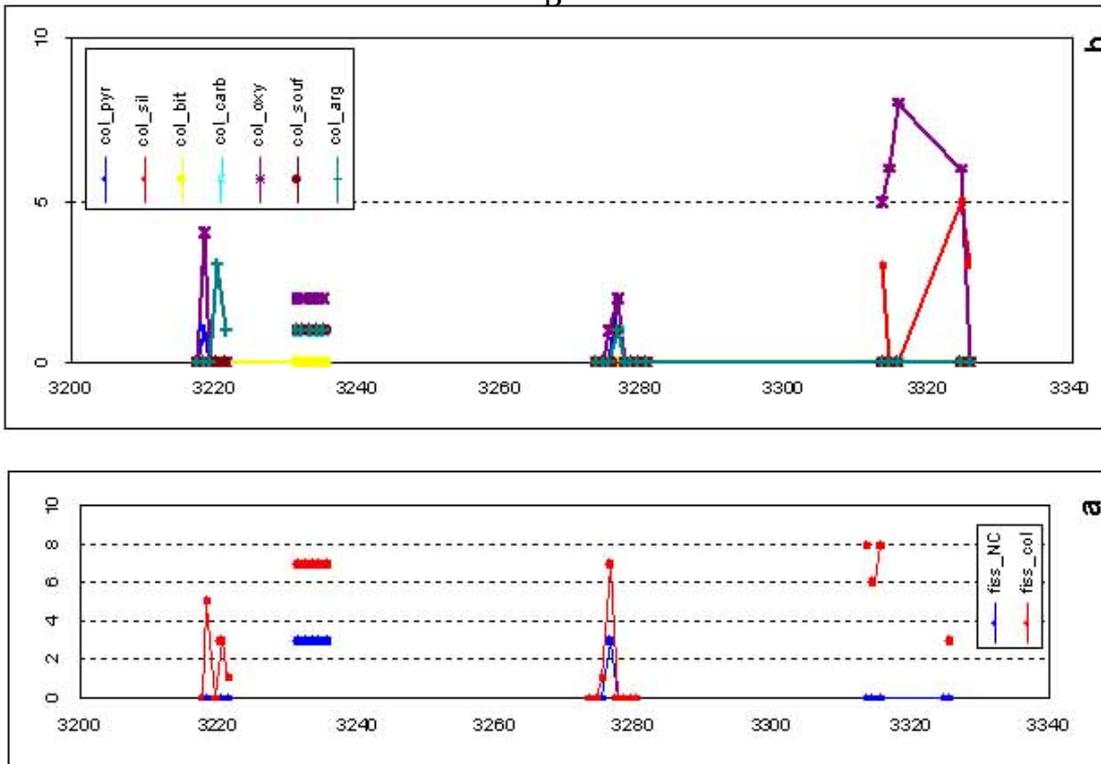


Fig.III.17 : Evolution verticale de la fissuration (a) et le type de colmatant (b) ; Puits

A

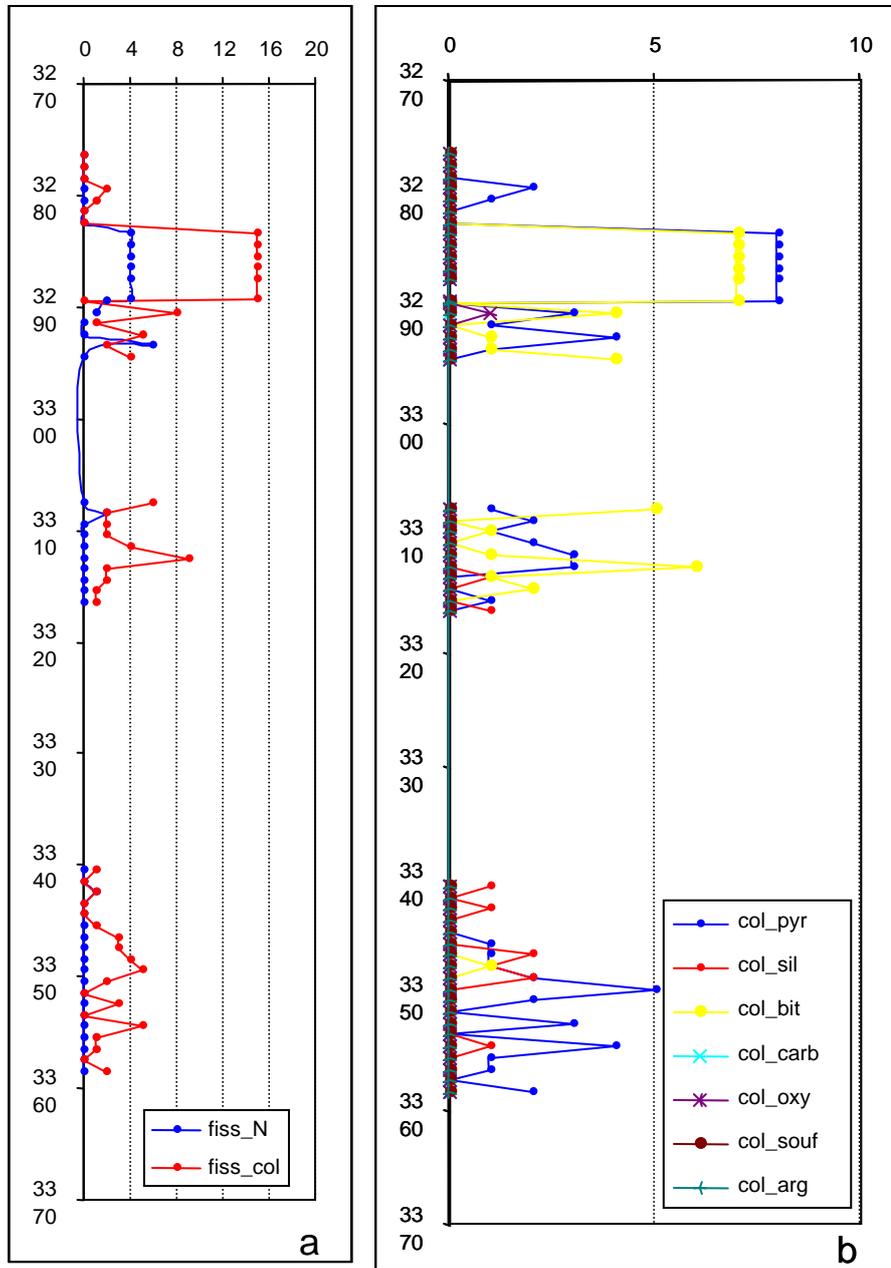


Fig.III.18 : Evolution verticale de la fissuration (a) et le type de colmatant (b) ; Puits

C

III-2.3. Distribution horizontale des types et de l'intensité des fractures dans les Quartzites de Hamra

L'objectif est de réaliser une cartographie de l'intensité et du type de fracturation qui soit la plus complète possible. Pour cela, l'information résultant des descriptions des carottes a été complétées, par les données de fractures disponibles dans les fiches de description des carottes de la Sonatrach.

III-3. Synthèse cartographique de la fracturation

Une synthèse cartographique de la fracturation a été réalisée, elle se présente sous forme d'une carte (Fig.III.19), regroupant la zone N, A, B, C.

Cette carte fait ressortir une fracturation qui atteint un maximum d'intensité sur toute la zone d'étude (axe structural de Hassi D'zabat), et s'exprime principalement par la présence des failles et des couloirs dont l'orientation est ENE-WSW (.AMOURA.A et al (2000))

La zone N, A, B dans le détail est plus fracturée, certains Puits tels L et N apparaissent comme peu fracturés (AMOURA.A (2005)). Cela exprime une variation latérale de la fracturation qui peut être extrêmement rapide, ceci est dû au fait que les fractures s'organisent en réseaux anastomosés, qui peuvent délimiter des zones matricielles exemptes de fracturation.

Conclusion

La description détaillée des carottes des puits (N, A, B, C, D, E, F, Q, I, H, L et P) a montré l'existence de fissures généralement colmatées, semi colmatées ou non colmatées. Le type de colmatant est représenté par de la pyrite, bitume, silice et localement argile et oxydes.

Les conclusions que l'on peut dégager à travers cette description sont :

- Tous les intervalles carottés dans les Quartzites de Hamra sont fracturés, à l'exception de Hassi-Guettar où cette fracturation est faible à inexistante.
- La fracturation des quartzites de Hamra a une extension régionale
- Les fractures sont en générale colmatées ou semi colmatées.
- Augmentation de l'intensité de la déformation et du colmatage à proximité des failles majeurs.
- Le puits C passant par une faille qui aurait joué un rôle majeur dans la dismigration des hydrocarbures, pourrait expliquer la non productivité de ce puits.
- Le colmatage est lié à la circulation de fluides chargés en éléments chimiques. Cependant le colmatage ne peut se faire sur échelle régionale, qui plus est, quand il existe, il ne peut être homogène dans toute la fissure, ce qui peut laisser des espaces intra-fissurales colmatés permettant le passage et la circulation des fluides.

Puits	N	B	D	L	P	I	F	Q
QH sup	2	3	-	1	1	3	1	-
QH moy	2	-	3	1	2	3	2	3
QH inf	2	-	3	2	2	-	1	1



1 peu fracturé
 2 moy fracturé
 3 très fracturé

	1. Peu fracturé	2. Moy fracturé	3. Très fracturé	
QH sup	3	1	2	6
QH moy	1	2	3	6
QH inf	2	3	1	6

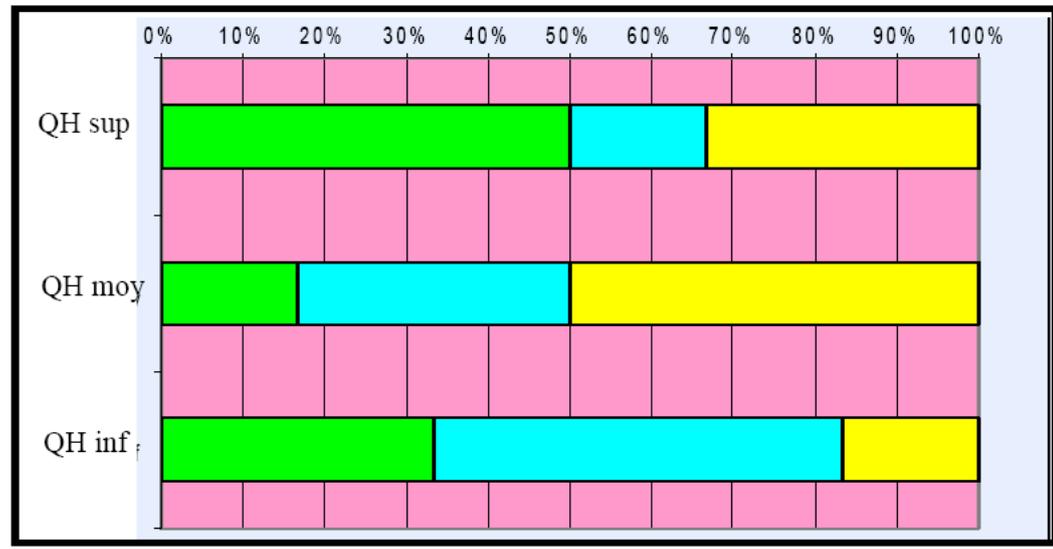
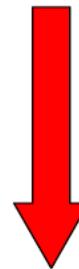


Planche III-16 : Répartition verticale de la fracturation dans les Quartzites de Hamra (Beicip franlad, 2006)

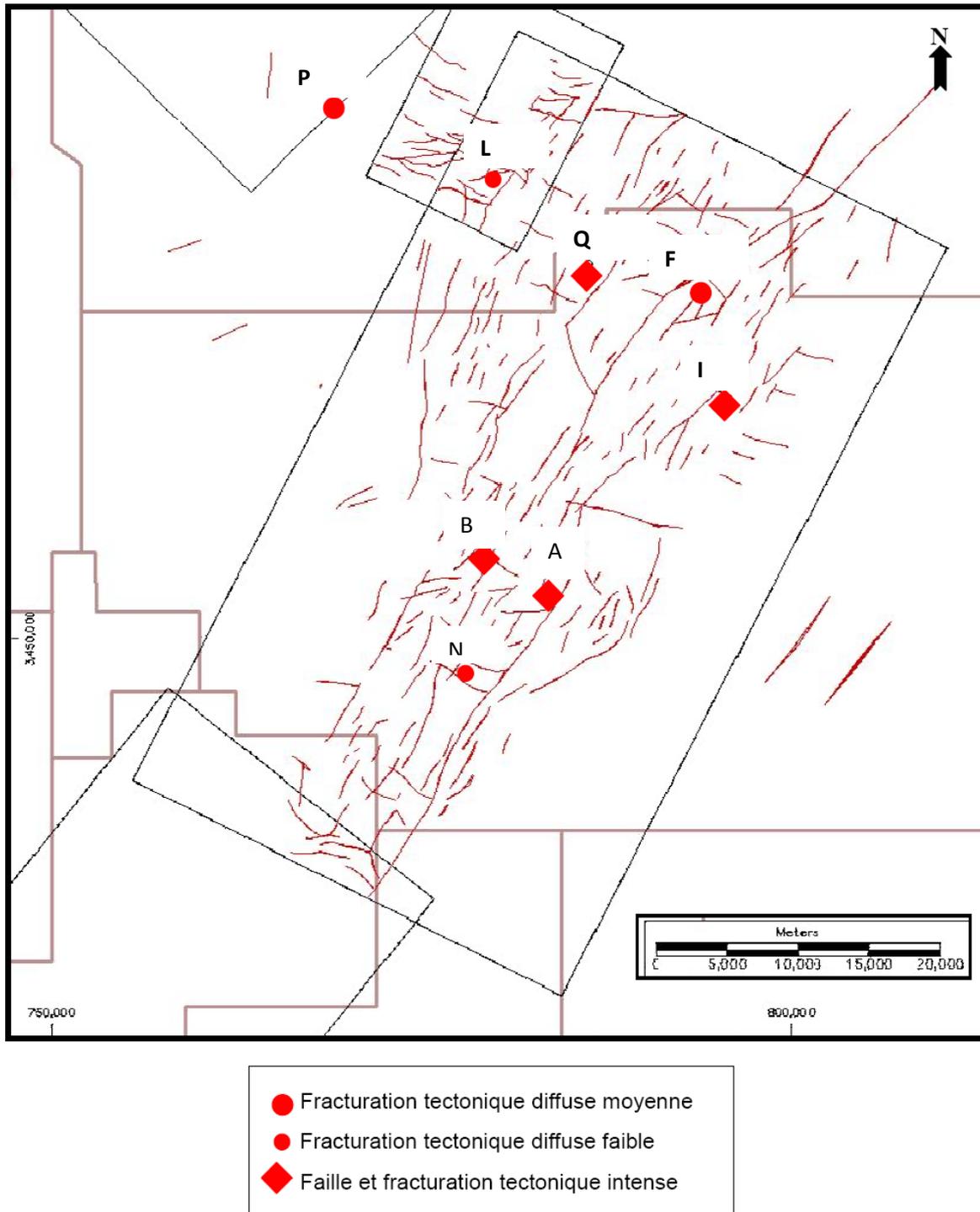


Fig III-19 : Intensité de fracturation pour chaque Puits déterminée à partir des carottes et des fiches carottes

III-4. Corrélation entre faciès et types de fractures

Un premier test de corrélation entre types de fractures et électrofaciès a été effectué sur échantillon de quatre (4) Puits (B, I, Q, F). (Fig.III.20 et Fig. III.21).

a- Fractures de type Z

Les Puits B et C (Fig. III.20) contiennent tous deux, de larges intervalles fracturés constitués de fractures de type Z. Cela s'explique par le fait que ces deux Puits verticaux sont traversés par une faille dans la partie réservoir. On observe que dans le Puits B, les faciès affectés par les fractures Z peuvent être indifféremment les grès poreux non perméables, ou les grès compacts, et dans le Puits.

Le Puits I, ces fractures affectent les grès compacts et des grès poreux perméables. Il n'existe donc pas de corrélation évidente entre une lithologie et le type de fracture Z lié à la présence d'une faille.

On note que les grandes fractures diffuses observées dans le Puits F, se situent dans des grès poreux perméables. Mais, dans la mesure où ces fractures n'ont été observées que sur un Puits, il n'est pas possible de tirer de conclusions relatives à leur corrélation avec ce type de faciès.

b- Fractures de type Y

Les fractures Y sont situées dans des grès poreux non perméables dans le Puits B (Fig.V.6). On les trouve dans les grès compacts du Puits P (Fig.III.21), dans les grès compacts et grès poreux du Puits F. Il n'y a donc pas de corrélation évidente entre un électrofaciès et le type de fracture Y.

c- Fractures de type X

Les fractures de type X apparaissent dans des niveaux de grès compacts (Puits P), et dans des niveaux de grès poreux perméables (Puits F). Il n'y a donc pas de corrélation évidente entre un électrofaciès de le type de fracture X.

d- Fractures de type S

Les fractures S apparaissent dans des niveaux compacts du Puits P, on va les retrouver dans des niveaux compacts mais également dans des niveaux poreux .Il n'y a donc pas de corrélation évidente entre un électrofaciès et le type de fracture S.

Conclusion

Dans l'état actuel, sur un faible nombre de Puits, il n'a pas été possible de corrélation entre un type de fractures et un électrofaciès.

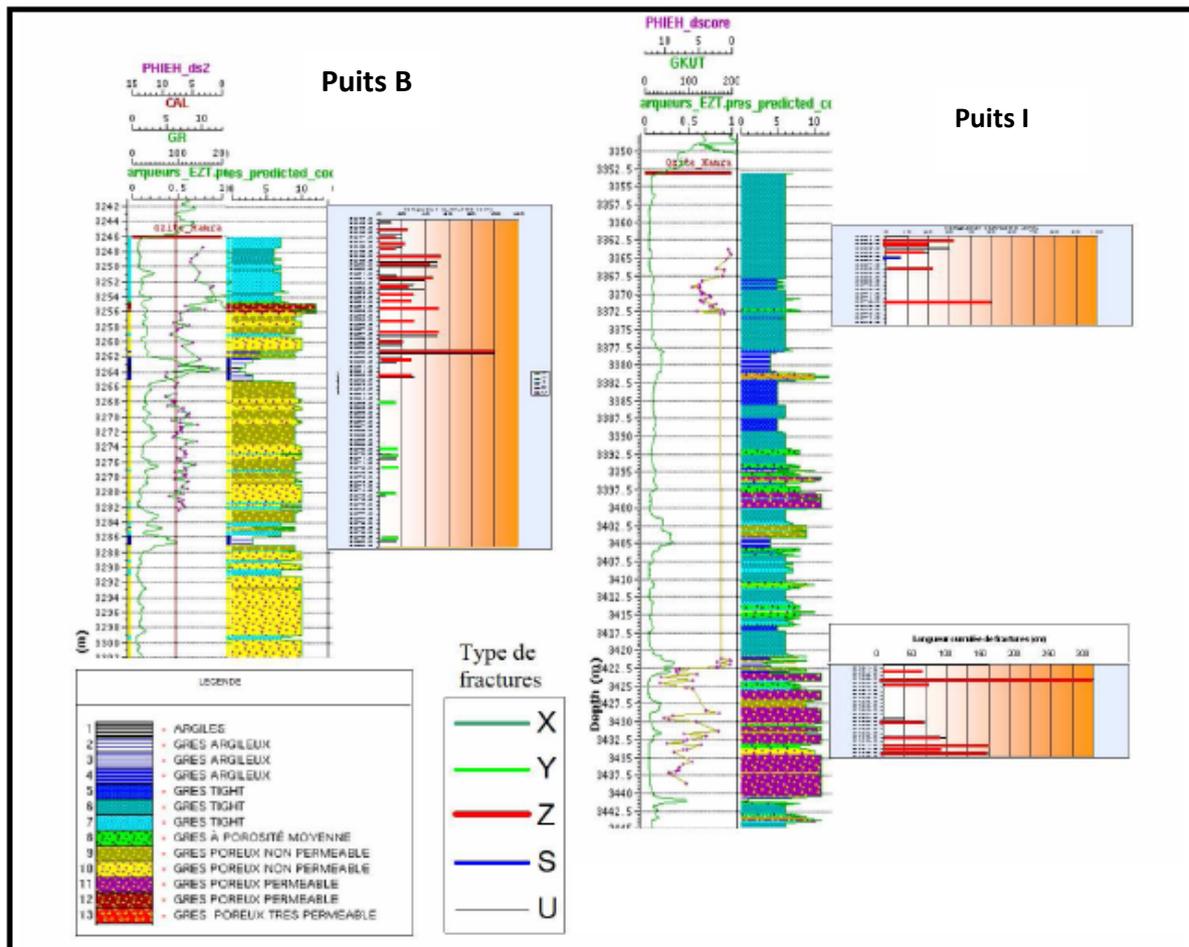


Fig III-20 : Corrélations entre électro-faciès et types de fractures (Beicip franlad, 2006)

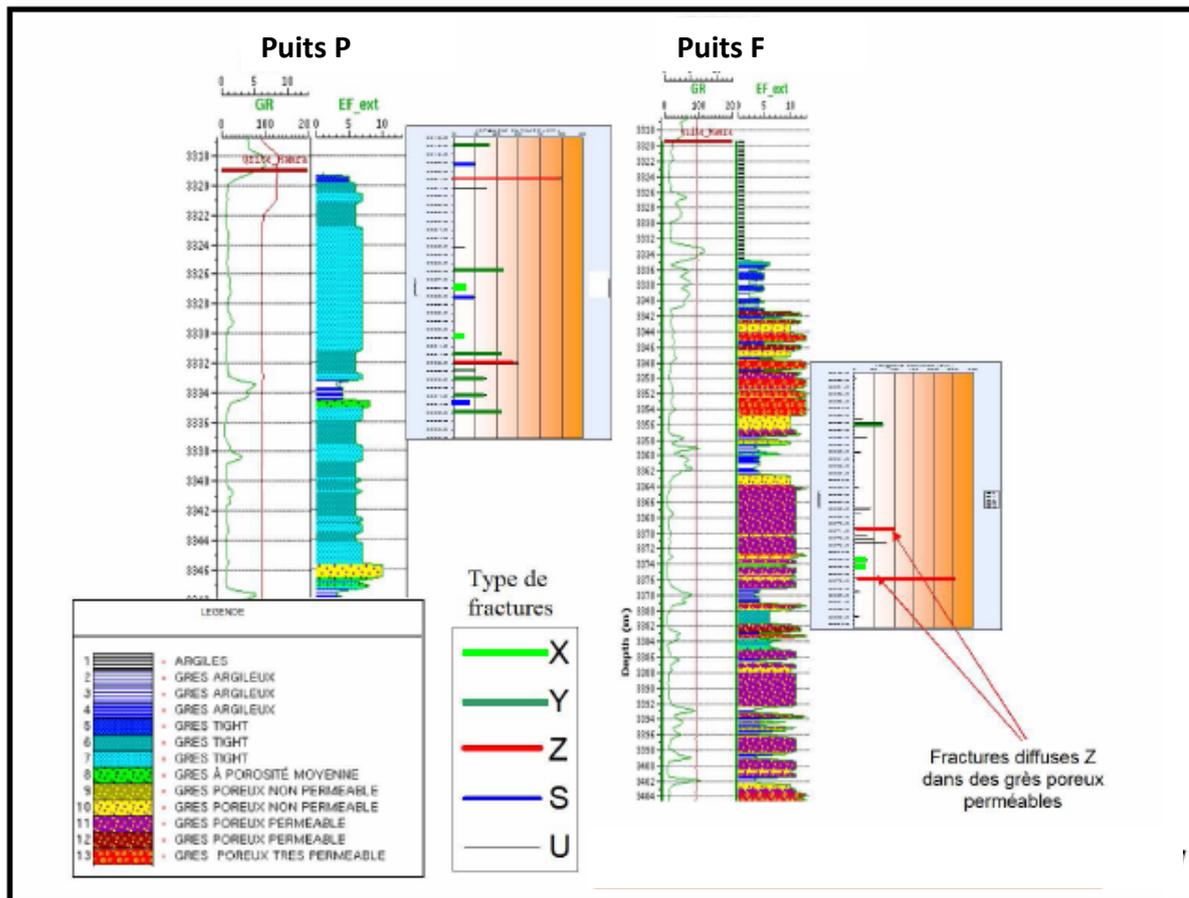


Fig III-21 : Corrélations entre électro-faciès et type de fractures (Beicipe franlab 2007)

IV. Analyse des données de stylolitisation

L'objectif de ce paragraphe, est d'essayer de comprendre la distribution des stylolites dans les Quartzites de Hamra.

IV-1. Distribution latérale de l'intensité de stylolitisation dans les quartzites de Hamra

Une carte a été construite (Fig.III.22), elle présente la répartition cartographique des Puits en fonction de l'intensité de stylolitisation des Quartzites de Hamra.

Cette carte est basée sur la mesure des amplitudes cumulées des stylolites réalisées sur carottes, qui ont permis de calculer, un indice de stylolitisation (Planche V.14 A). Sur la base de cet indice une classification suivant l'intensité de stylolitisation a été réalisée. Cette intensité est schématisée sur la carte de la (Fig.III.22).

Cette carte montre qu'il est possible d'observer une importante stylolitisation sur toute la zone d'étude. On notera dans les Puits très stylolisés :

-Au Sud, le Puits N

-Au Nord, les Puits Q, F et P

IV-2. Distribution verticale de l'intensité de stylolitisation dans les quartzites de Hamra

De la même manière dont on a réalisé l'étude de la répartition verticale des fractures dans les Quartzites de Hamra, nous avons effectué une approche similaire axée sur les stylolites, pour cela on a exploité les champs « Stylolites Classe 3 » et « Stylolites Small Stratiform » des fiches de description de carottes pour construire des histogrammes de stylolites (Planche III.17 .B).

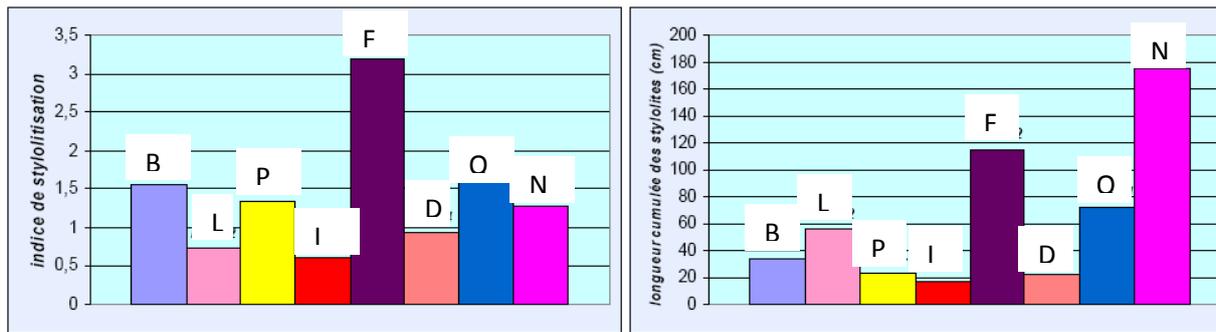
Cette planche, représente l'intensité des stylolites positionnées par rapport à l'intervalle complet des Quartzites de Hamra, sur cette planche la position des intervalles carottés décrits a été présentée. Elle permet uniquement de se rendre compte de l'importance de la stylolitisation, et du fait qu'elle peut être intensément représentée sur toute la hauteur des Quartzites de Hamra.

Afin de caractériser, la distribution verticale de l'intensité de stylolitisation, on a appliqué les mêmes étapes que pour l'étude des fractures (découper les quartzites en intervalles).

Pour et chacun de ces intervalles dans chaque Puits, on détermine qualitativement une intensité de la stylolitisation

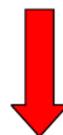
- 1- Pour une stylolitisation peu abondante
- 2- Pour une stylolitisation moyennement abondante
- 3- Pour une stylolitisation très abondante

Les résultats présentés sur la Planche III.17.B font clairement ressortir une augmentation de la stylolitisation avec la profondeur.

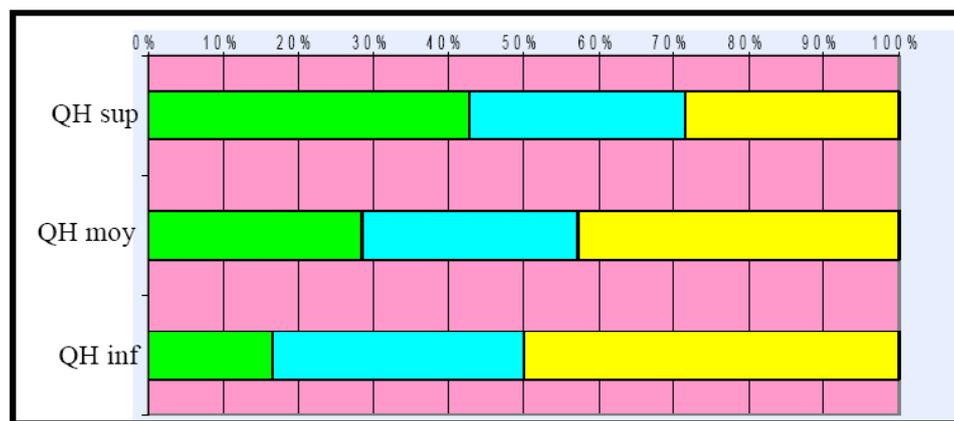


A

Puits	N	B	D	L	P	I	F	Q
QH sup	3	2	1	2	1	1	3	-
QH moy	3	-	1	3	2	2	3	1
QH inf	1	-	2	3	2	-	3	3



	1. Peu stylolitisé	2. Moy stylolitisé	3. Très stylolitisé	
QH sup	3	2	2	7
QH moy	2	2	3	7
QH inf	1	2	3	6



B

Planche III-17 : Répartition verticale de la stylolisation dans les Quartzites de Hamra (Beicip franlad, 2006)

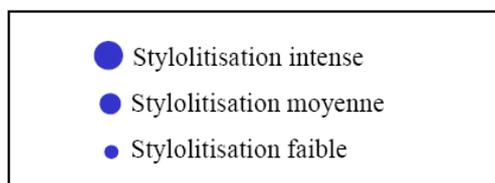
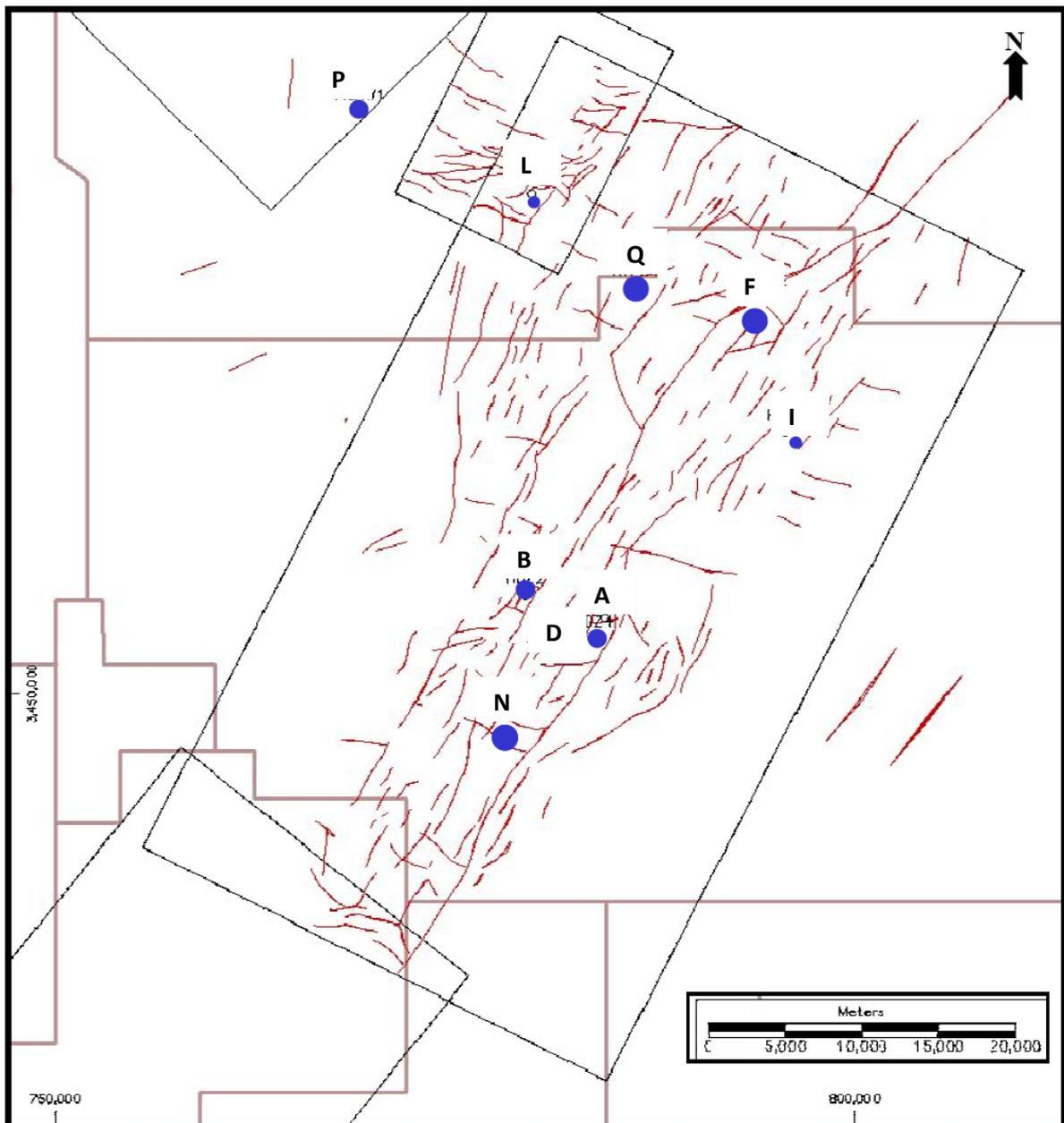


Fig.III-22 : Intensité de stylolitisé pour chaque Puits déterminée à partir des carottes et des fiche carottes.

V-Conclusion

La description des carottes de huit(08) Puits, a permis de dresser un bilan des différents types de fractures présentes dans les Quartzites de Hamra d'âge Ordovicien. Les principales sont les suivantes :

Les fractures

- Parmi les trois grands type de fractures diagénétiques (X et Y), tectonique (Z) et liées au stylolites (S), qui ont été identifiées, celles qui présentent le plus grand intérêt, dans le cadre d'amélioration du réservoir Quartzites de Hamra à la production des hydrocarbures sont :

-Les fractures tectoniques de type Z.

- Les fractures liées à la présence de stylolites de type S.

- Les fractures tectoniques (Z) prédominent en longueur cumulée. Elles coexistent dans une même proportion, suivant les trois états d'ouverture (ouverte, partiellement cimenté et colmaté). Elles peuvent être associées aux failles, organisées en couloir de fractures ou diffuses.

-Les fractures de type S, sont liées aux stylolites. Elles sont très nombreuses, cependant leur longueur cumulée reste assez faible, cela s'explique à la fois par leur lien à un objet (le stylolite) qui les limite suivant une direction et par un pendage parfois plus oblique que pour les fractures tectoniques. Ces fractures qui sont presque toujours partiellement ouvertes, pourront jouer un rôle positif sur la production, notamment en termes d'amélioration de la perméabilité, leur impact sur la porosité restant marginal (ALIOUCHE. H, AYAD. M (1999)).

Les stylolites

Les stylolites sont représentés sur la zone d'étude, dans les Quartzites de Hamra, l'importance de la stylolitisation augmente avec la profondeur, cela est dû en grande partie à la charge des sédiments sus-jacents.

Le puits E présente une importante fracturation bien qu' étant colmaté il laisse montrer au MEB un réseau de micro-fractures ouvertes.

De nature siliceuse ces échantillons présentent divers minéraux tels que : les micas, des feldspaths et des carbonates. Le ciment quant à lui est silico-argileux représenté par du quartz de nourrissage et des argiles essentiellement de l'illite et de la chlorite.

Concernant L, il est caractérisé par une bonne porosité. Les microfissures sont rarement observées.

IV. Etablissement du modèle 3D

1V-1. Introduction

Trois champs ont été ciblés dans ce projet pour connaître l'impact de la fracturation sur le réservoir (Zone A, B et C). Plusieurs facteurs font qu'aborder les trois champs en même temps ne nous permettront pas d'établir un modèle réaliste de la fracturation. Les facteurs en question sont :

- Structures différentes.
- Fracturation non identique partout liée au comportement de la matière.
- Colmatage des fissures ne se fait pas d'une façon uniforme dans tous les champs.
- Nature du colmatant variable en fonction des concentrations en éléments chimiques ramenés par la circulation des fluides.
- Les transformations diagénétiques peuvent être différentes d'un endroit à l'autre (différences liées à la circulation des fluides, fracturation, position structurale. ...).

La répartition de la fracturation dans la nature est conditionnée par :

- La direction des contraintes.
- La position structurale.
- La nature lithologique de la formation.
- La nature minéralogique de la roche.
- Le volume poreux dans la formation.

L'intensité de la fracturation est liée directement à :

- La densité de la formation.
- L'épaisseur de la formation.
- La proximité du réseau de faille régional.
- Le volume d'argile dans la formation.

Certains éléments peuvent se concentrer dans le réseau de fracturation tels que les éléments radioactifs.

L'analyse des données logs a permis d'observer des concentrations en éléments radioactifs (Th, K et U). Cette concentration a suscité notre intérêt et nous a laissé supposer une relation entre ces éléments et la fracturation.

Par manque de données, seul La zone A a pu être modélisée. En effet, il est indispensable de disposer d'un certain nombre d'éléments tels que :

- Log diagraphique (Sonic, GR, Densité, NGS).
- Carte au toit des quartzites (sismique)
- Information carotte (lithologie, répartition verticale de la fracturation).

On s'est donc concentré sur le champ de Hassi-Terfa pour établir le modèle.

Les éléments faisant l'objet d'une modélisation 3D correspondent à des variables continues donc une simulation conditionnelle peut servir comme algorithme de modélisation.

IV.2 Simulation conditionnelle

C'est un processus de cartographie qui quantifie les incertitudes. C'est donc une loi mathématique qui trace les contours d'un ensemble de données. L'image obtenue par simulation conditionnelle est une image qui reproduit les données réelles. Chaque image obtenue par simulation conditionnelle doit approximativement avoir :

- La même variance et la même moyenne que celles des points de contrôle.
- Le même variogramme que les points de contrôle.
- Les mêmes valeurs des points de contrôle (données au puits).

IV.3 Modélisation des éléments géologiques

Dans cette phase on a établi des modèles 3D pour les différents éléments géologiques qui seront comparés au modèle de fracturation.

Les éléments géologiques qui ont fait l'objet de modélisation sont :

- Gamma ray (GR)
- Volume d'argile (VSH)
- Potentiel photoélectrique (PEF)
- La concentration en potassium (K)
- La concentration en thorium (TH)
- La concentration en uranium (UR)
- La porosité (ϕ).

IV.4 Préparation des fichiers

IV.4.1 Fichier Marqueurs

Well	X	Y	Top_Qtzite	Bottom_Qtzite
HTFN1	1365347.11	3504499.06	-3334	-3450
HTF2	1361071.26	3498062.54	-3345	-3460
HTF3	1369627.90	3499056.26	-3353	-3479.5

Ce fichier sera utilisé pour établir les modèles 3D pour tous les éléments à modéliser.

IV.4.2 Fichier logs

```

WELL=HTF3    EASTING=1369627.9    NORTHING=3499056.26    KB=147.00
LOG=PHILOG
DEPTH PHILOG
3353 0
3353.25 0
3353.5 0.00351
3353.75 0.004405
3354 0.00862
.
WELL=HTFN1    EASTING=1365347.11    NORTHING=3504499.06    KB=149.00
LOG=PHILOG
DEPTH PHILOG
3334 0
3334.25 0
3334.5 0
3334.75 0
3335 8.874999E-3

```

Ce même modèle de fichier sera établit pour tous les éléments (GR, PEF, TH, K, Ur, VSH, PHI).

IV.4.3 Variogramme

1. Existence de plusieurs puits pour calculer « areal variogram » et pour décrire les anisotropies (fig :IV.1).
2. Existence des données verticales (au puits) pour le variogramme vertical (fig :IV.2).
3. Les corrélations entre les variances de chaque puits ont permis de déduire l'anisotropie dans les directions horizontales (fig :IV.3).

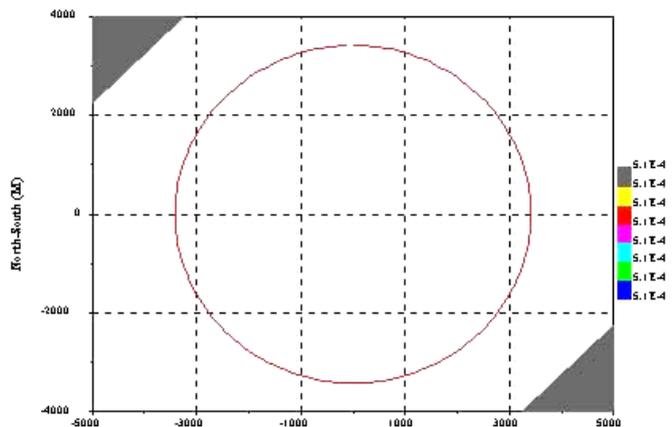


Fig.IV.1 : « Areal » variogramme

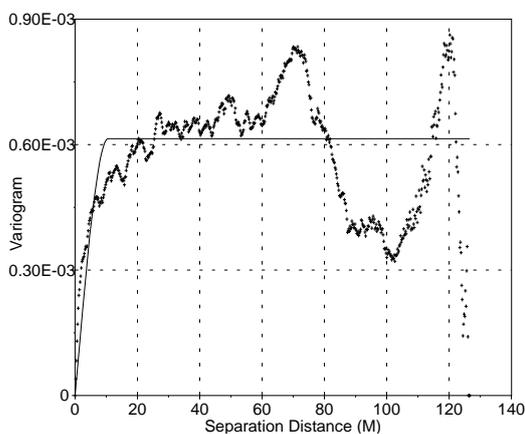


Fig.IV.2 : Variogramme verticale

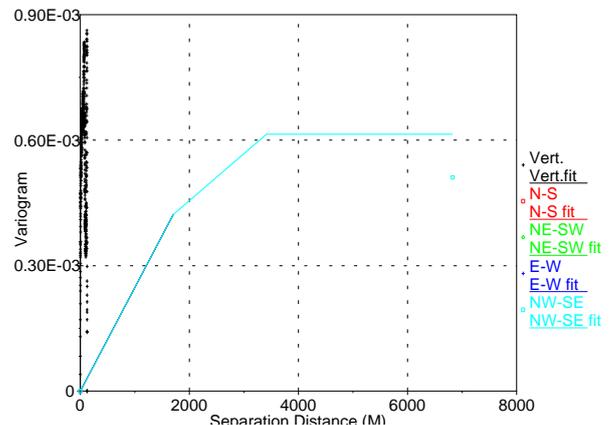


Fig.IV.3 : Variogramme horizontal

IV.4.4 Calcul de la fonction de distribution

1. Calcul des fréquences par classe
2. Etablissement de la fonction de distribution CDF (fig :IV.4)

IV.4.5 Maillage (Gridding)

La taille des blocs est fonction de la taille du champ.

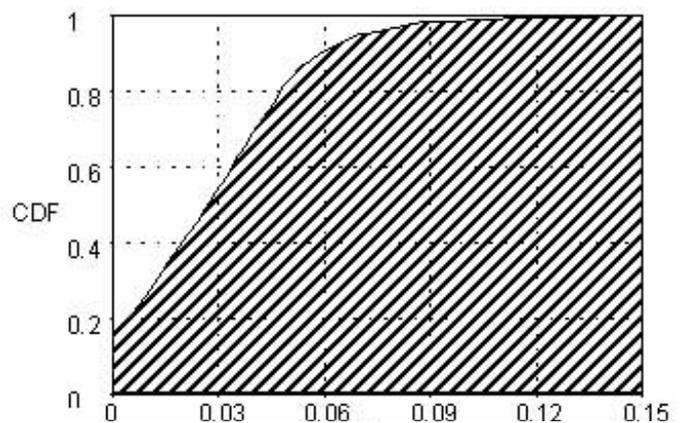


Fig.IV.4 : fonction de distribution CDF Porosité

Xmin = 1355718 Xmax = 1374050
 Ymin = 3493000 Ymax = 3508266

3. Taille blocs : la taille des blocs requise pour ce champ a été choisie selon un maillage serré (fig : IV.5) :

- Dans la direction des X : 150m.
- Dans la direction des Y : 150m.
- Dans la direction des Z : 10m.

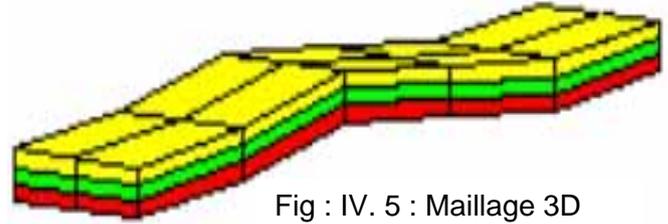


Fig : IV. 5 : Maillage 3D

Nombre de blocs dans la direction des X : 123

Nombre de blocs dans la direction des Y : 103

Nombre de blocs dans la direction des Z : 16

Nombre de blocs total : 202704

IV.4.6 Modélisation

Elle consiste à établir les modèles 3D des différents paramètres en utilisant

- Les informations des paramètres structuraux (variogramme) à savoir : pallier et porté.
- Les statistiques (fonction de distribution CDF).

Au cours de la simulation on génère des datas dans les zones non échantillonnées tout en reproduisant la fonction de distribution et les paramètres structuraux.

IV.4.6.1 Résultats de la modélisation

a. Modèle de Gamma Ray

Le modèle de GR (fig : IV.6) permet de déduire les passages gréseux à faible API et d'identifier ceux qui sont argileux à radioactivité élevée (API très élevée). En parcourant les « layer » de 1 à 16 du modèle, on note une nette prédominance des niveaux à faibles API, correspondant aux quartzites. Les fortes valeurs d'API, qui atteignent les 300API, correspondent quant à eux aux zones à fortes concentrations en éléments radioactifs (thorium).

b. Modèle de Volume Shale (Vsh)

Le modèle de Vsh (fig : IV.7) est identique au modèle de GR, montrant des « layer » à très faible volume d'argile.

Ce modèle montre par endroit des volumes d'argile très importants, valeurs qui ne reflètent pas la réalité vu qu'ils correspondent aux pics radioactifs du GR. Le volume d'argile Vsh est calculé suivant la formule ci dessous :

$$VSH = \frac{GR_{lu} - GR_{min}}{GR_{max} - GR_{min}}$$

GR_{lu} : Gamma Ray lu

GR_{max} : Gamma Ray maximum

GR_{min} : Gamma Ray minimum

c. Modèle de Thorium

Ce modèle (fig : IV. 8) montre par endroit de fortes concentrations en thorium, s'orientant selon une direction préférentielle Nord-Est Sud-Ouest.

Une direction qui coïncide aux directions majeurs des failles qui longent le champ de Hassi-Terfa.

d. Modèle de potassium

Après parcours de 16 « layers », on remarque la faible concentration en potassium (<1%) (fig : IV.9), à l'exception de quelques pics de potassium orientés selon les directions majeures des failles.

e. Modèle du Potentiel photoélectrique (PEF)

Le PEF (fig : IV.10), enregistrement diagraphique qui indique la densité de la formation, montre de faibles valeurs. Les fortes valeurs en PEF rencontrées se disposent elles aussi selon une direction préférentielle Nord-Est Sud Ouest.

f. Modèle de porosité Log

Le modèle de porosité (fig : IV.11) montre de faibles valeurs qui varient de 3 à 6%, cependant de bonnes porosités sont présentes du 7^{ème} au 16^{ème} layers à partir du haut (de l'ordre de 11%) (voir Fig : IV.13et 14).

IV.4.6.2 Commentaire sur les modèles

Les différents modèles établis sont comparés à la carte structurale du toit de la discordance Hercynienne (DH) dans la zone A afin de voir le comportement de chaque paramètre en présence de failles majeurs.

En parcourant les layers pour chaque modèle on observe :

- La concentration du thorium et potassium se fait selon une direction préférentielle Nord-Est Sud-Ouest.
- La même direction s'observe sur le modèle de GR et Vsh où les zones à très faibles Vsh suivent la même orientation.
- Le modèle de porosité montre des zones de bonnes porosités de direction Nord-Est Sud-Ouest et par endroit Nord- Ouest Sud-Est

IV.4.6.3 Modèle de fracturation

L'application de simulation conditionnelle pour modéliser la fracturation n'est réellement pas très adéquate du moment qu'une simulation conditionnelle modélise des variables continues dans l'espace cependant la fracturation est une variable discontinue, comme il a été cité au dessus que l'algorithme le plus approprié actuellement c'est « neural network ». Cependant on peut établir un modèle de la densité de fracturation utilisant une simulation conditionnelle et le comparer avec les directions de failles régionaux. Selon JORAND.C (2007) Le modèle de fracturation est établis a partir des cracks dans les calcaire, avec un aboutissement a des résultats en trois démentions de formations et d'orientation des diaclase, notre modèle de fracturation est établi en utilisant les données aux puits (résultats de description des fissures sur carottes).

Le modèle de fracturation établi sur la zone A montre (fig : IV.12),

- L'intensité de la fracturation diffère d'un layer à un autre et d'une position à une autre (voir carte de distribution de l'intensité de la fracturation par layer voir Fig : IV.16

- L'intensité de la fracturation se concentre selon certaines directions principalement Nord-Est Sud-Ouest. Cette direction coïncide exactement avec celle des failles majeures dans la zone A (voir carte structurale au toit de la DH, fig : IV.16)

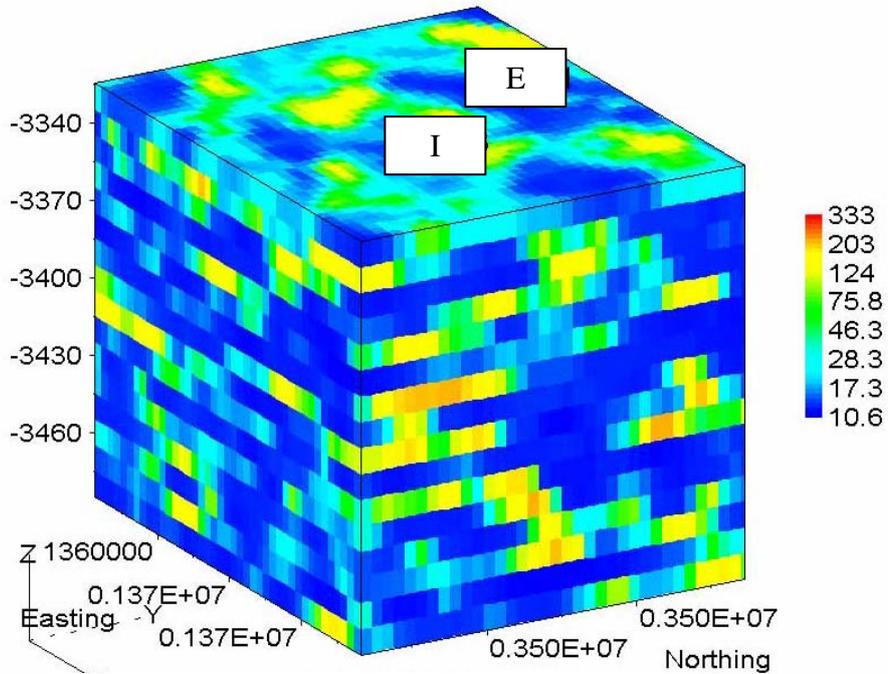


Fig.IV.6 : Modèle 3D du Gamma Ray

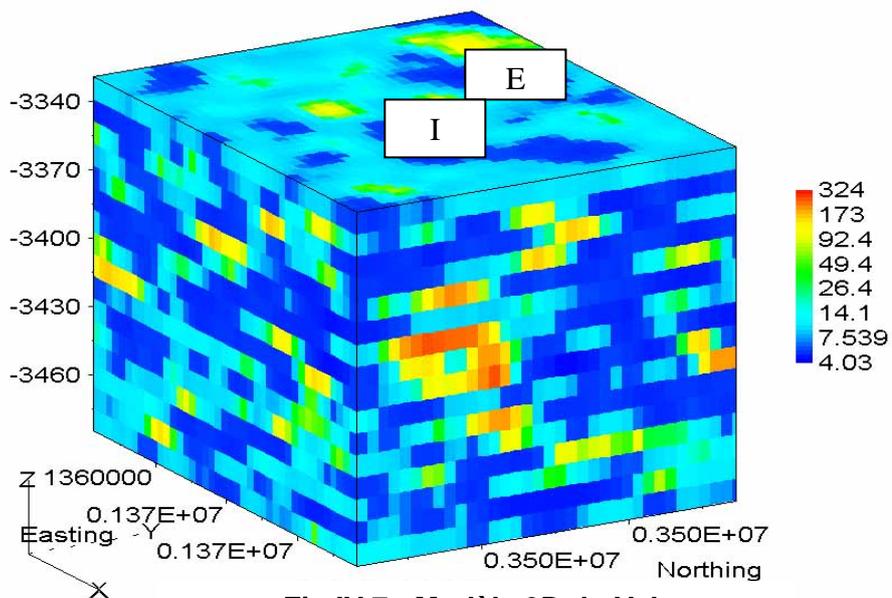


Fig.IV.7 : Modèle 3D du Vsh

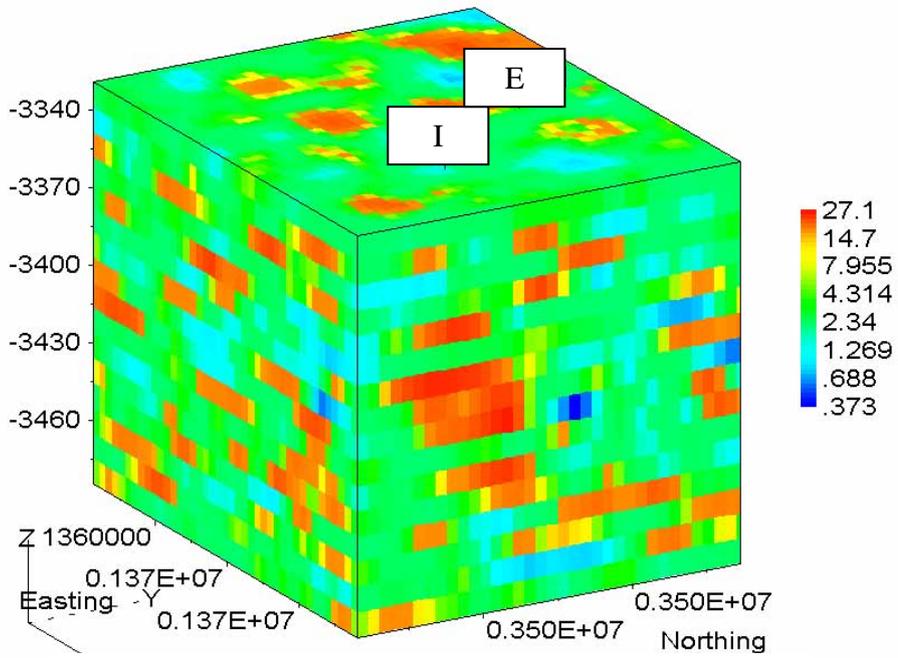


Fig.IV.8 : Modèle 3D du thorium

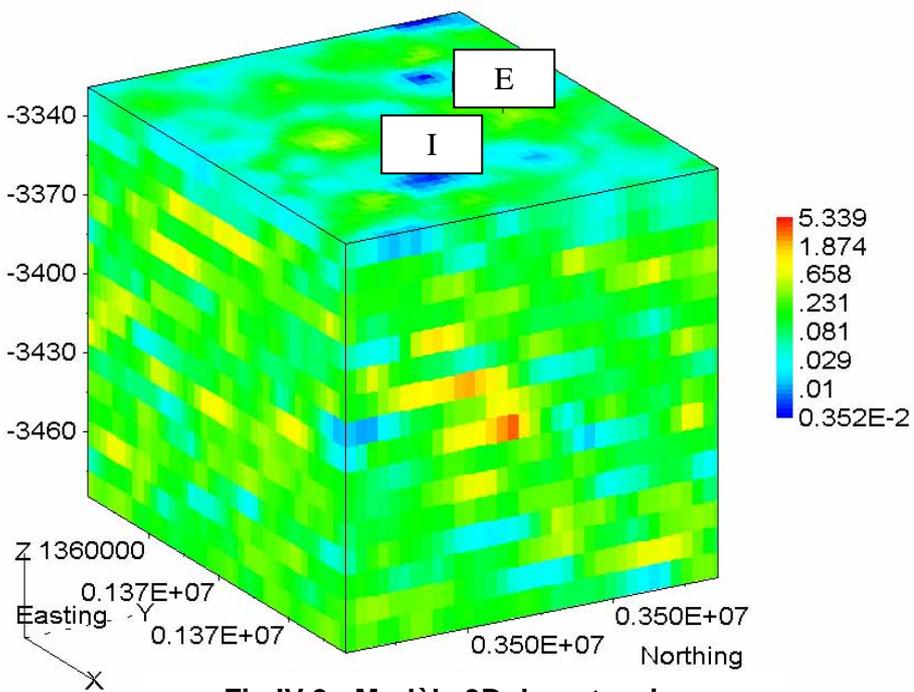


Fig.IV.9 : Modèle 3D du potassium

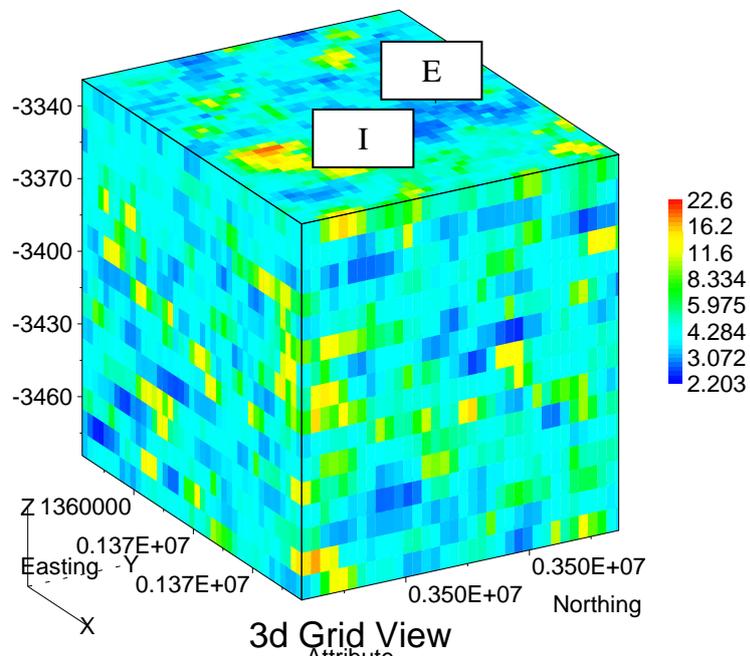


Fig.IV.10 : Modèle 3D du PEF

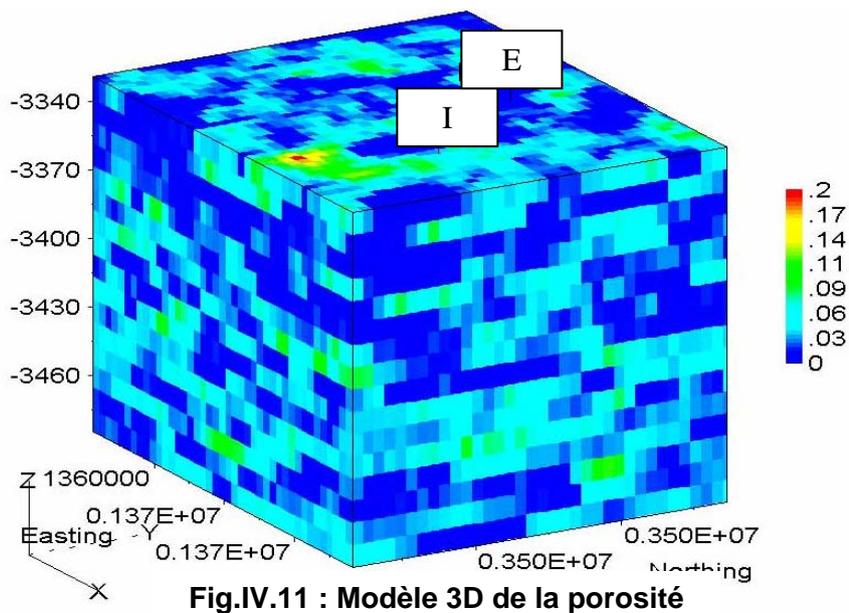


Fig.IV.11 : Modèle 3D de la porosité

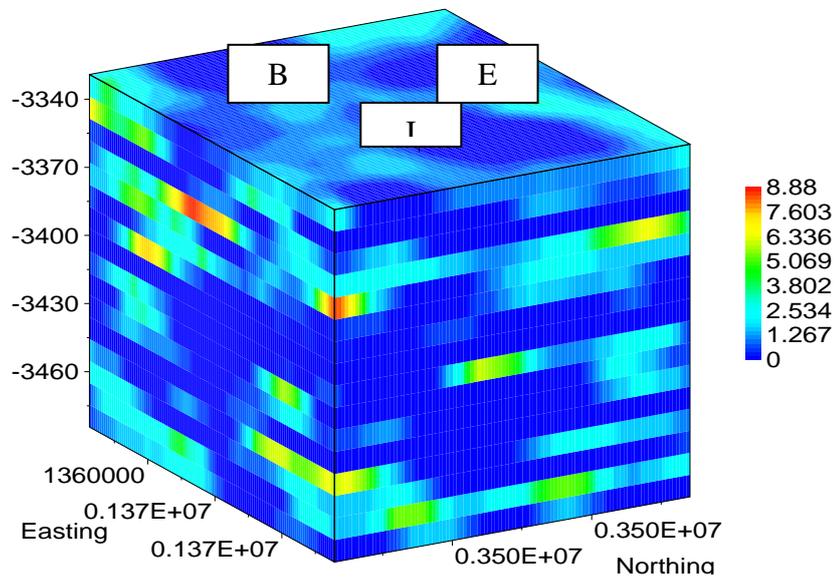


Fig.IV.12 : Modèle 3D de la distribution de l'intensité de la fracturation

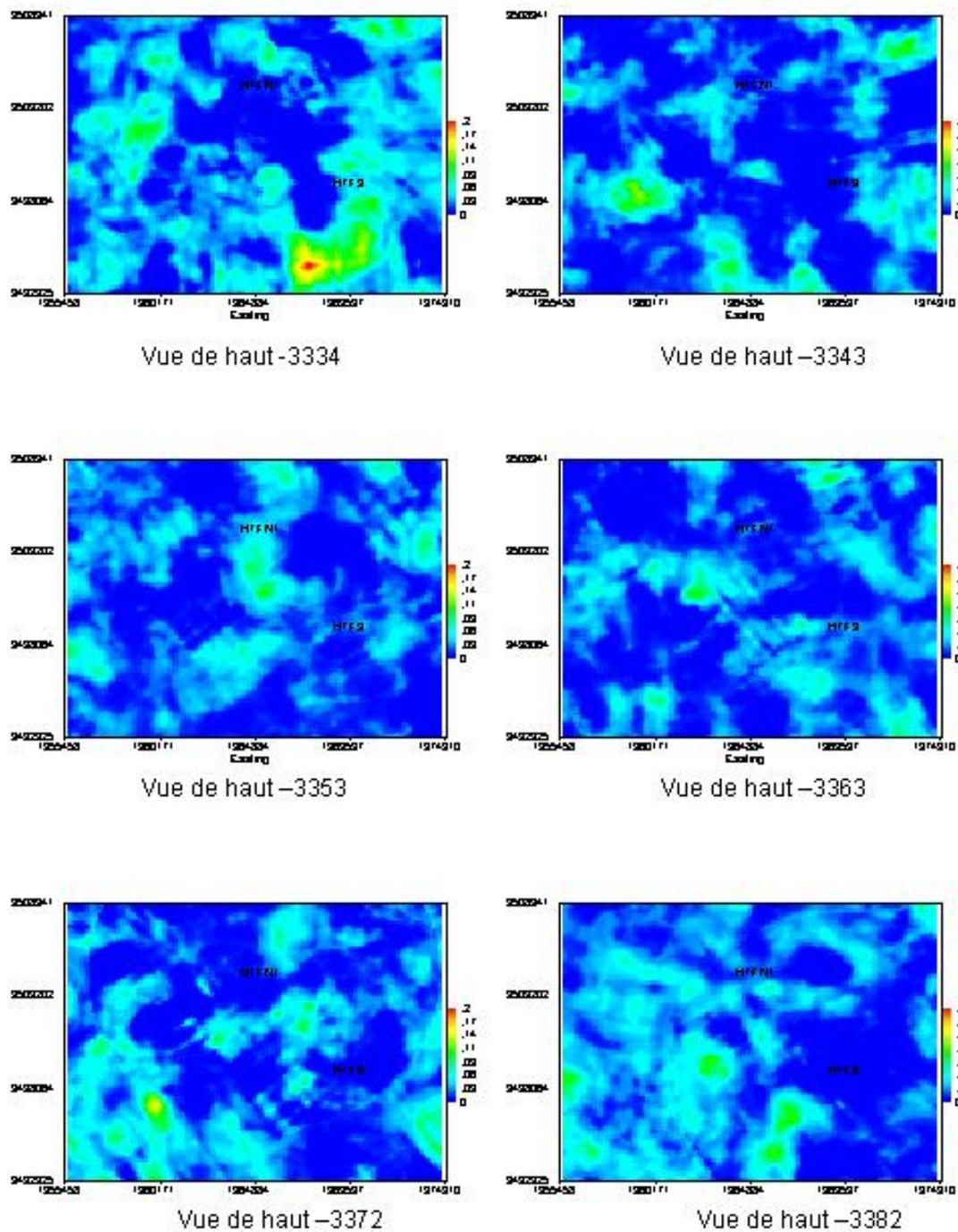


Fig.IV.13 : Carte de distribution de porosité des différents niveaux de la zone A

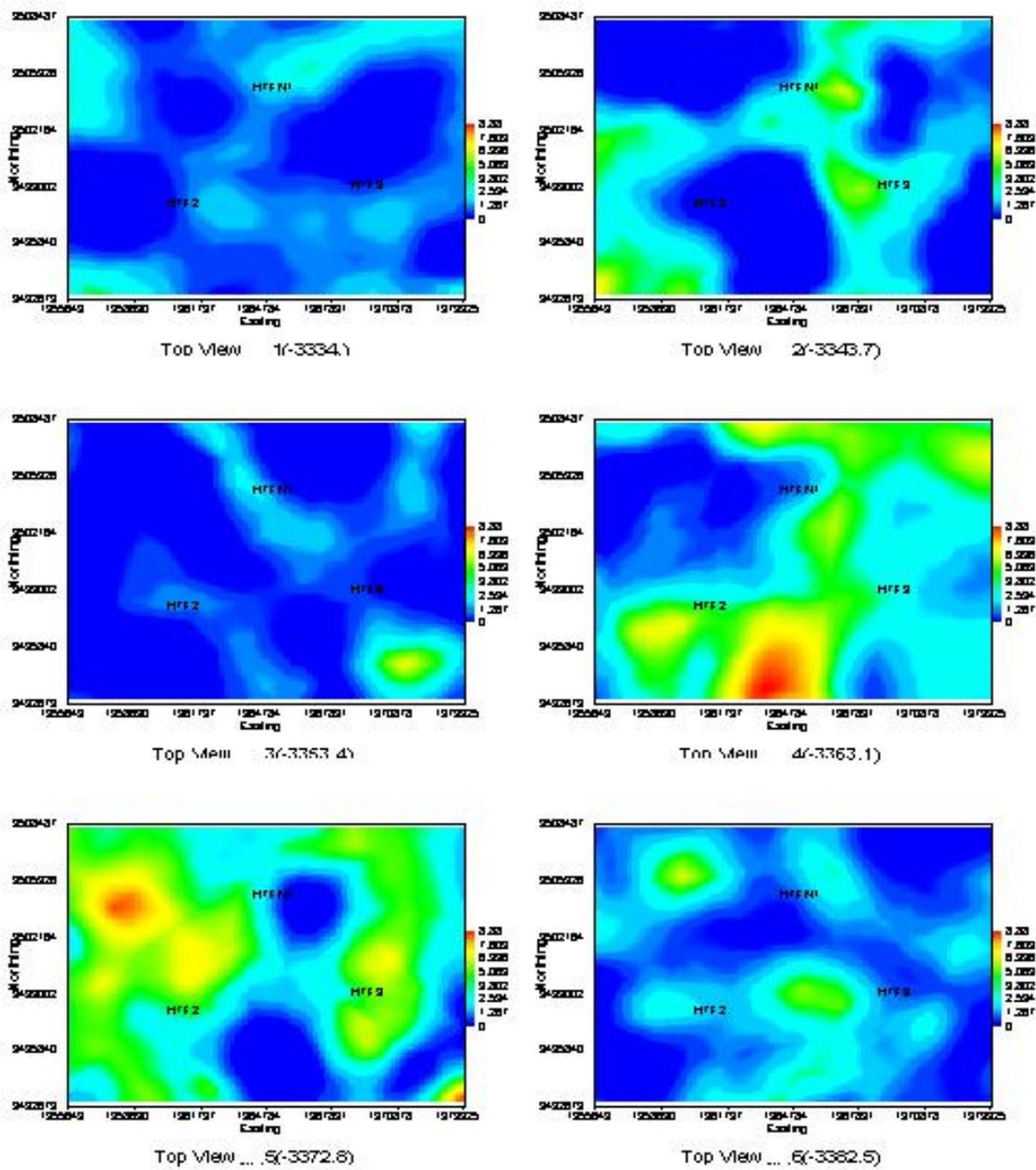


Fig.IV.14 : Carte de distribution de l'intensité de fracturation des différents niveaux de la zone A

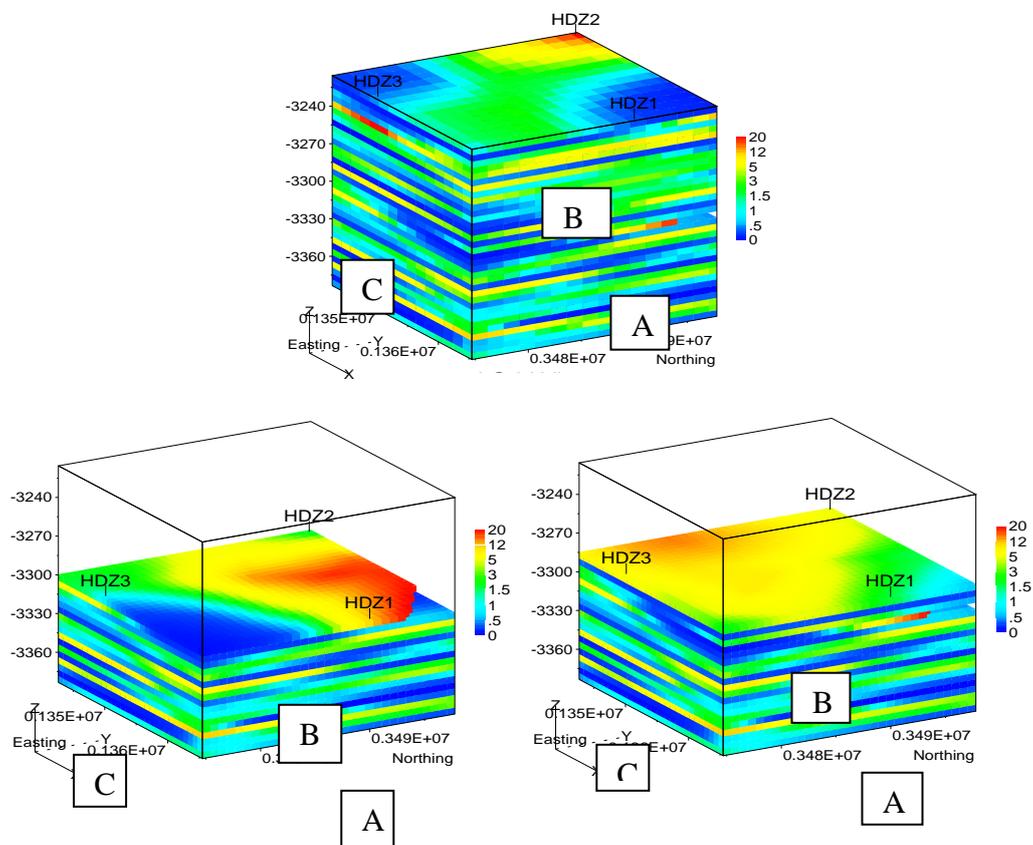


Fig. IV.15 : Modèle de distribution de l'intensité de fracturation de la zone B

Conclusions sur le modèle de fracturation

L'établissement du modèle de fracturation en utilisant une simulation conditionnelle confirme nos hypothèses de départ où l'intensité de fracturation :

- Se concentre selon les directions de failles majeures.
- Coïncide avec les directions de concentration d'éléments radioactifs (Thorium, Potassium)
- Cale avec la concentration de la porosité.

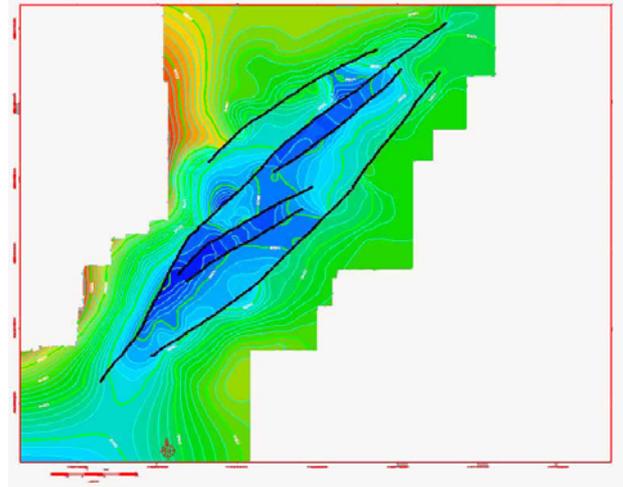


Fig.IV.16: Carte structurale au toit de la discordance hercynienne (DH)

IV.4.6.4 Modèle de fracturation de la zone B

Vu les résultats satisfaisants sur le modèle de la zone A, après calage avec la carte structurale (au toit de la DH), calage avec les différents « drivers », on a pensé à établir un modèle de l'intensité de fracturation de la zone B en utilisant les données au puits (résultats de description des fissures sur carottes). Cependant ce modèle doit être comparé au modèle structurale de la région qui n'est disponible.

a Maillage (Gridding)

Xmin = 1352610 Xmax = 1357020

Ymin = 3483010 Ymax = 3487480

Taille blocs

- Dans la direction des X : 150m.
- Dans la direction des Y : 150m.
- Dans la direction des Z : 5m

Nombre de blocs dans la direction des X : 30

Nombre de blocs dans la direction des Y : 31

Nombre de blocs dans la direction des Z : 34

Nombre de blocs total : 12345

b. Commentaire sur le modèle de fracturation

L'intensité de la fracturation se localise principalement à proximité du puits B, cependant à certains niveaux des puits A et C une forte concentration de fracturation s'observe également. Elles correspondent à des zones de fractures intenses matérialisées sur carottes par des zones bréchiques.

L'établissement d'un modèle 3D de la distribution de l'intensité de la fracturation a été construit en utilisant une simulation stochastique (séquentiel gaussien simulation).

Paramètre du grid :

Taille du bloc 200 x 200 m

Nombre de blocs X : 154

Y : 166

La (fig.IV.19) montre la distribution de l'intensité de fracturation dans certains niveaux selon des directions préférentielles (NE-SW et NW-SE et parfois N-S)

Conclusions Générales

Au cours de ce projet on a essayé d'aborder le problème des quartzites d'une façon plus rationnelle afin de répondre à la question challenge qui restait posée depuis la mise en évidence d'hydrocarbures dans la formation ordovicienne (quartzites de Hamra) sur sa productivité et sur les paramètres qui contrôlent le drainage (matricielle et/ou fissurale).

Plusieurs aspects ont été traités ainsi que divers moyens et outils ont été utilisés pour mieux cerner le problème :

- Description des carottes (lithologie et fracturation)
- Analyse pétrophysique (en conditions de laboratoire et sous contraintes)
- Analyse des propriétés capillaires, électriques et porométriques.
- Analyse des lames minces (minéralogie et fissuration).
- Analyse des données de diagraphie (Densité, Sonic, GR, Thorium, Potassium, Uranium, PEF, résistivité...).
- Analyse au microscope électronique à balayage.
- Modélisation de la fracturation.

Les résultats obtenus constituent réellement une ébauche aux travaux futures, pour élucider une fois pour toute le problème des quartzites.

Le résultat le plus important dans ce travail est la mise en place d'une méthodologie d'étude du réservoir ordovicien (quartzites de Hamra). Cette méthodologie devra être élargie en intégrant le maximum de données disponibles.

Les principaux résultats obtenus sont :

a Lithologie :

L'analyse des lithofaciès des niveaux carottés dans les quartzites de Hamra a montré l'existence de sept lithofaciès :

- Grès très fin à fin quartzitique à litage horizontal.
- Grès très fin à fin quartzitique à litage oblique.
- Grès très fin à fin quartzitique bioturbé.
- Grès très fin à fin, quartzitique à litage entrecroisé, granoclassé (exclusivement à HGA).

Conclusion générale

- Grès très fin à fin à « clay chips », à galets d'argile et films argileux.
- Grès très fin à fin quartzitique.

L'existence d'Ichnofaciès lié à la présence de **Skolithos**, qui sont parfois abondants à très abondants, caractéristiques d'un environnement marin type «**Uper Shoreface**».

b Minéralogie :

L'analyse des lames minces à montrer :

- Une granulométrie très fine à fine.
- Quartz très abondant d'une moyenne de 80%.
- Présence de feldspaths, micas, pyrite et matières organiques en faibles quantités, sauf dans les niveaux déformés.
- Argile essentiellement représentée par de l'illite et chlorite.
- Silice secondaire abondante (intergranulaire ou de nourrissage) peut atteindre les 15% obturant l'espace intergranulaire.

c Pétrophysique

L'analyse pétrophysique en conditions de laboratoire a révélé :

Un grand écart a été observé entre les porosités mesurées précédemment par la Division Opérationnelle de Hassi Messaoud et celles faites au laboratoire du CRD (écart pouvant atteindre 5%, valeur capitale lors de l'estimation des réserves en place).

De faibles valeurs de porosités et perméabilités dans les gisements de la zone A, B contrairement à la zone C où elles sont relativement bonnes.

L'analyse pétrophysique sous contraintes a révélé :

Un écart de porosité et perméabilité assez important entre les analyses pétrophysiques en conditions de laboratoire et sous contraintes (exemple : cas de Puits F où il est de 65% pour la perméabilité).

Cet écart est plus important dans les gisements de la zone A et C qu'à la zone B, cela est expliqué par l'inexistence de fissures dans ce dernier.

Conclusion générale

d Capillaire et électrique

Le facteur de cimentation ($m = 1.75$) montre que les échantillons du puits L sont bien cimentés. La saturation moyenne en eau irréductible est de 16.65% ceci est due à la bonne connexion des pores entre eux. De même, la fonction $J(S_w)$ montre que la structure poreuse de ce sondage est pratiquement la même pour tous les échantillons analysés avec absence de fissures. Ceci est illustré par l'homogénéité de l'allure des courbes de la fonction $J(S_w)$.

e Porométrie

La porométrie a révélé la présence de deux familles de pores (micro et mésoporosité) pour les puits H et I.

Les puits B, C et E sont caractérisés par une pression de déplacement élevée avec la présence d'un spectre unimodale montrant la dominance de la microporosité.

f Fracturation

L'analyse de la fracturation s'est effectuée sur plusieurs échelles macroscopique et microscopique (microscope polarisant et électronique à balayage)

L'analyse macroscopique

Sur carotte a montré :

L'existence de fissures qui sont généralement colmatées, semi colmatées ou non colmatées. Le type de colmatant est en générale de la pyrite, le bitume, la silice et localement de l' argile et des oxydes.

Les conclusions que l'on peut dégager à travers cette description sont :

- Tous les intervalles carottés dans les Quartzites de Hamra sont fracturés, à l'exception de la zone C où la fracturation est faible à inexistante.
- La fracturation des quartzites de Hamra peut avoir une extension régionale.
- Augmentation de l'intensité de la déformation et de colmatage à proximité des failles majeures.
- Le puits C est traversé par une faille qui aurait joué un rôle majeur dans la dismigration des hydrocarbures, ce qui explique la non productivité de ce puits.
- Le colmatage est lié à la circulation des fluides chargés en éléments, cependant il ne peut se faire sur une échelle régionale. De plus, le colmatage ne peut être homogène

Conclusion générale

dans la fissure ce qui peut laisser des espaces intra fissurales non colmaté permettant le passage et la circulation des fluides.

Se superpose aux évolutions pétrographique et minéralogique la fracturation précoce et tectonique, cependant tous les types de fractures ont été identifiées à partir d'une description de carotte, précoces (X et Y), tectoniques (Z) et liées au stylolite (S). Celles qui présentent le plus grand intérêt, dans le cadre de l'amélioration du réservoir quartzites de Hamra à la production des hydrocarbures sont :

- _ Les fractures tectoniques, type Z.
- _ Les fractures liées à la présence de stylolite, type S.

Les fractures tectoniques sont majoritaires en nombre et en longueur cumulée, elles présentent les trois types d'ouvertures (ouvertes, partiellement ouvertes et cimentées) dans une proportion similaire. Ces fractures peuvent être diffuses, associées aux failles ou organisées en couloir Les fractures liées aux stylolites sont très représentées, elles sont partiellement ouvertes, pouvant jouer un rôle positif sur la production notamment en terme d'amélioration de la perméabilité, leurs impacts sur la porosité reste marginal.

Dans les quartzites de Hamra, l'intensité de la fracturation tectonique est corrélée avec la stratigraphie, cette corrélation montre que la fracturation est plus intense dans l'intervalle moyen de ces quartzites.

D'autre part, la stylolitisation semble évoluer en fonction de la profondeur, donc l'intervalle inférieur des quartzites est le plus stylolitisé (mais le sommet des quartzites de Hamra souvent érodé), cela dû en grande partie à la charge des sédiments sus-jacents.

L'intensité de cette fracturation dans l'intervalle moyen des quartzites se superpose avec les séquences diagenétiques Q3 et Q4 où les conditions réservoir sont favorables à une accumulation d'hydrocarbures. Donc on peut conclure que, la fracturation joue un rôle très important sur la répartition des hydrocarbures.

Conclusion générale

L'analyse microscopique sur lames minces a montré :

L'existence de réseaux de fissuration connectés à certains niveaux, la porosité fissurale engendrée par ce réseau n'excède pas les 2%.

L'analyse microscopique (MEB) :

- Les fissures qui paraissent colmater (visible à l'œil nu), observées au MEB, ne le sont que partiellement (phénomène observé sur le puits E).
- A proximité d'une fissure se ramifie un réseau de microfissures très connecté.

Il est à noter la présence au niveau des fractures de cristaux de gypse sous deux formes différentes, rosacées et en bâtonnets cristallisés postérieurement à la fracturation.

- Présence de fissures ouvertes accentuées par la dissolution de la halite.
- Quant au Puits L, il est caractérisé par une bonne porosité avec l'inexistence des microfissures.

e Modélisation

L'essai de modélisation en utilisant une simulation conditionnelle appliquée sur la zone A a donné des résultats satisfaisants à savoir :

Confirmation des hypothèses de départ où l'intensité de fracturation :

- Se concentre selon les directions de failles majeures.
- Coïncide avec les directions de concentration d'éléments radioactifs (Thorium, Potassium)
- Corrélation avec la concentration de la porosité.

Les indicateurs de fracturations (concentration en thorium, potassium, uranium, volume d'argile, densité de la formation ...) peuvent être utilisés comme moyen de caractérisation dans les quartzites.

Bibliographie

- 1-** AGENTER. A, CASTAING. C, MARTIN.P (1997) : Évaluation de la fracturation des réservoirs par forage : Comparaison entre les données de carottes et d'imagerie de paroi ; Revue de l'institut français du pétrole VOL. 52, N° 1.
- 2-** AKCHICHE.R, OUABBAS.N (2000) : Etude structurale et pétrophysique de la région de Hassi Guettar (flan Sud-Ouest de Hassi Messaoud) .Mémoire d'ingénieur USTHB.
- 3-** ALIEV. M, AIT LAOUSSINE. N, AVROV. V, ALEKSINE. G, BAROULINE. G, LACOVLEV. B, KORJ. M, KOUVYKINE. J, MAKAROV. V, MAZANOV. V, MEDVEDEV. E, MKRTCHIANE. O, MOUSTAFINOV. R, ORIEV. L, OROUDJEVA. D, OULMI. M, SAID. A (1971) : Structures géologiques et perspectives en pétrole et en gaz du Sahara Algérien.
- 4-** ALIOUCHE. H, AYAD. M (1999) : Fracturation au niveau du réservoir Cambro – Ordovicien du champ de Hassi Messaoud .Mémoire d'ingénieur USTHB.
- 5-** AMAROUCHE.A, GHODBANE.N (2003) : Etude structurale et Petro physique de la région d'El Agreb-Ouest (Sud Ouest- de Hassi Messaoud).Mémoire d'ingénieur USTHB.
- 6-** AMOURA.A, SILEM.R, BELABDELOUAHAB.D (Décembre 2000) : Réévaluation du trend Hassi D'zabat, Hassi-Tarfa, Axe HDZ -2, HTF-1 Permis Hassi Dzabat (Bloc 427- 439a) (Rapport interne SONATRACH).
- 7-** AMOURA.A (2005) : Interprétation sismique 3D HDZ permis Hassi D'zabat Bloc (427-439a), (Rapport interne).
- 8-** AMOURA. A, (Décembre 2003) : Réinterprétation sismique de l'axe HTF-HDZ suite aux forages HTF-3 & HDZ-3 permis Hassi D'zabat, blocs 427- 439a (Rapport interne Sonatrach).
- 9-** ARAB.M (FEVRIER 2001) : Rapport de fin de sondage Hassi D'zabat -2, (HDZ-2).
- 10-** ARAB.M (MAI 2001) : Rapport de fin de sondage Hassi D'zabat -3, (HDZ-3)
- 11-** ARAB.M (OCTOBRE 2001) : Rapport de fin de sondage Hassi Terfa -2, (HTF-2).
- 12-** ATFEH Bilal : Méthode des lignes de courant appliquée à la modélisation des bassins (thèse doctorat – Université de Provence Aix Marseille1).
- 13-** AUBOIN Jean (1999) : Tectonique. Edition Dunod
- 14-** BAOUALI. B, HARCHAOUI. F, MESSAOUDI.M (1997) : Evaluation Géologique de la partie Ouest du permis Hassi D'zabat (Rapport interne Sonatrach).
- 16-** BEICIP FRANLAB (Mars2006), rapport d'avancement: Caractérisation et évaluation des réservoirs Ordoviciens du pourtour de Hassi Messaoud.
- 17-** BELABDELOUAHEB .D (2001) : Synthèse sur le réservoir Quartzites de Hamra. (Rapport interne Sonatrach).

- 18-** BELKASMI.N (2001) : Etude structurale et pétrophysique de la région de Hassi Guettar (Flan Sud Ouest de Hassi Messaoud). (Mémoire d'ingénieur USTHB).
- 19-** BELLOUL. D, OUAHRANI. L (2006) : Etude structurale du trend HTF- HDZ (Hassi Terfa-Hassi D'zabat, impact de la fracturation sur la production du réservoir Quartzite de Hamra. Mémoire d'ingénieur USTHB, Alger.
- 20-** BENDJEMA. A, MEDJAOUD. D, MEDAOURI. M, SAHOUI. S, DOUIDI-HAMIDI. L, KESSAB. D, TINOUCHE. S Chef de projet, LADDADA. D (1999) : Définition et réévaluation du potentiel pétrolier associé aux réservoirs Cambro-ordovicien du pourtour de Hassi Messaoud (Rapport interne Sonatrach).
- 21-** BESSA. F. (2004): Reservoir characterization and reservoir modeling in the northwestern part of Hassi Messaoud field Algeria .Phd à l'université de Hamburg, Germany, 98p
- 22-** BLES .Jean Louis, FEUGA .B (1981) : La fracturation des roches.
- 23-** BOUDELLA. A. (2004) : Caractérisation et modélisation des réservoirs pétroliers par les techniques de diagraphies différées. Thèse de Doctorat d'Etat, FSTGAT- USTHB, Alger. 160p.
- 24-** BOUDJEMAA. A (1987) : Evolution structurale du bassin pétrolier «Triasique» du Sahara Nord oriental (Algérie). Thèse doctorat, Université d'Orsay, Paris.
- 25-** BOUGCHICHE.K et TERZLI.F (1997) : Etude sédimentologique et diagénétique du Cambro-Ordovicien de la région Nord-Est et Est de Hassi Messaoud. Mémoire d'ingénieur USTHB.
- 26-** BERKOWITZ. B. (2000): Scaling of fracture connectivity in geological formations. GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 27, NO. 14.
- 27-** C.F.P (A). (1960): Etude de la limite Cambrien-Ordovicien dans la région de Hassi Messaoud Rapport interne.
- 28-** MACBETH. C, BOYD. M, RIZER. W, QUEEN. J (1998): Estimation of reservoir fracturing from marine VSP using local shear-wave conversion; Geophysical Prospecting, 1998, 46, 29-50
- 29-** DJADOUN. A , BOUDELLA. A, MESBAH.M, DJEDDI.M (2008): Nature et évolutions des ciments argileux des grès cambriens du réservoir Ra de la partie nord du gisement de Hassi Messaoud (Ourgla, Algérie). Bulletin du Service Géologique National
- 30-** DJERA. M (2001) : Synthèse Géophysique Trend HDZ-HTF-BST permis Hassi D'zabat (Rapport interne Sonatrach).
- 31-** DJEROUIT.N (2000) : Analyse structurale du champ de Hassi Messaoud et son implication sur les qualités Petro physique du réservoir. Mémoire d'ingénieur USTHB
- 32-** E.P TREATISE (2005): Fractured, Tight and Unconventional Reservoirs; Chapter 3

Fractured Reservoir Characterization Methods.

33- FABRE. J (1976) : Introduction à la géologie de la plateforme Saharienne.

34- FERD.R, ARAB.M, BERRAH.R, KOURTA.A (AOUT 2000): Rapport de fin de sondage Hassi Terfa -1, (HTF-1).

35- FOUCAUL Alain, J.F. Raoult : Dictionnaire de géologie. 5ème Edition

36- GAUTHIER. B, FRANSSSEN. R, DREI. S (2000): Fracture networks in Rotliegend gas reservoirs of the Dutch offshore: implications for reservoir behavior *Geology en Mijnbouw / Netherlands Journal of Geosciences* 79 (1).

37- GAUTHIER.J.M (1978) : Fracturation du champ de Hassi Messaoud Nord, étude tectonique et analytique. Thèse doctorat 3ème cycle Strasbourg - France.

38- Géologie de l'Algérie : Contribution de SONATRACH Division Exploration, Centre de Recherche et Développement et Division Petroleum Engineering et Développement

39- HASSAN.M; HOSSIN.A; COMBAZ.A. (1976): Fundamentals of the differential gamma ray log interpretation technique. SPWLA 17th Annual. Symposium Transaction.

40- HOSSAIN. M, RAHMAN. M (2002): A Shear Dilation Stimulation Model for Production Enhancement From Naturally Fractured Reservoirs; SPE Journal.

41- HACENE LHADJ. L. (1998) : Etude sédimentologique et diagénétique du secteur Sud-Ouest de Hassi Messaoud et apport de la fracturation à la production avec l'appui d'un outil à imagerie. Mémoire d'ingénieur USTHB.

42- HENRY.J (1994) : Géophysique des bassins sédimentaires. Edition Technip.

43- KFOURY Moussa (2004) : Changement d'échelle séquentiel pour des milieux fracturés Hétérogènes. Thèse doctorat à l'Institut National Polytechnique de Toulouse INPT.

44- KOURTA.A, FERRAZ.S, BENBELLIL.M, BENOUB.B (JUIN 2001) : Rapport de fin de sondage Hassi Terfa Nord -1, (HTFN-1).

45- MARAGHIA. Adel, TOUMI Sidi Ali (2003) : Interprétation des diagraphies pour les formations fracturées (champ de Hassi Messaoud). Mémoire d'ingénieur USTHB.

46- MASSA.D, RHULAND.M, THOVEVIN.J (1971-1972) : Fracturation du champ de Hassi Messaoud – Algérie.

47- MOUHOUBI.M : Evaluation géologique et proposition d'un prospect dans le permis de Hassi D'zabat. Mémoire ingénieur IAP.

48- M.R. CARLSON. (1999): Reservoir Characterization of Fractured Reservoirs in Western Canada. *Journal of Canadian Petroleum Technology; Special Edition, Volume 38, No. 13*

.

- 49-** NELSON.R. (2001): Geologic Analysis of Naturally Fractured Reservoirs 2nd Edition, Gulf Professional Publishing a subsidiary of Butterworth-Heinemann, Boston, MA.
- 50-** NICOLAS. A (1989) : Principes de tectonique. Edition MASSON.
- 51-** PERRODON Alain (1985) : Géodynamique pétrolière ; Genèse et répartition des gisements d'Hydrocarbures. Edition MASSON.
- 52-** PUTOT. C, CHASTANET.J, CACAS.MC et DANIEL. JM (IFP,2001) : Fracturation naturelle d'un massif rocheux (Diaclases et couloirs de fracturation) Oil & Gas Science and Technology –Rev.IFP Vol. 56, No. 5.
- 53-** QUESADA. D ; LEGUILLON. D ; PULOT.C (2007) : Contribution de la contrainte lithostatique à la fracturation naturelle d'un réservoir pétrolier. (18^{ème} congrès Français de Mécanique ; Grenoble).
- 54-** SCHLUMBERGER. (1989): Log Interpretation Charts, Houston.
- 55-** SNEIDER.R et Al (1990): The integration of Geology, Geophysics, Petrophysics and petroleum engineering in reservoir delineation, description and management.
- 56-** SN REPAL. (1962): Le Cambrien de la région de Hassi Messaoud, Erg El Agreb. Etude stratigraphique et sédimentologique. Colloque de la stratigraphie saharienne. 621-623.
- 57-** STEPHEN. A, HALL.R. , KENDALL.R, SONDERGELD. S. (2000): Analysis of anisotropic velocities in a core sample and avoa from a fractured vuggy carbonate reservoir. Copyright by the Society of Exploration Geophysicists.
- 58-** SUNIL. K, et al (2008): Mapping fracture corridors in naturally fractured reservoirs: an example from Middle East carbonates; technology feature (first break volume).
- 59-**TACHERIFT. N (2002) : Evaluation des prospects partie centrale du permis Hassi D'zabat Bloc 427 (Rapport interne Sonatrach).
- 60-** TAYFOUN. B (2000): Evolution of outcrop fracture patterns of geothermal reservoirs in southwestern turkey; Kyushu - Tohoku, Japan.
- 61-** Well Evaluation Conference (WEC, 1995) Sonatrach – Shlumberger.
- 62-** Well Evaluation Conference Algérie 2007.
- 63-** XAVIER BOY de la Tour : Le pétrole – au delà de mythe. Edition TECHNIP (IFP)
- 64-** YVES Barbies (1980) : Dictionnaire du pétrole. Edition SCM.