

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques

Département de Biologie

Mémoire du Projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme

De Master 2 en Géologie

Option : Géodynamique des Bassins Sédimentaires

SUJET :

**Etude Sédimentologique et Pétrographique et Diagenétiques et
Pétrophysiques du Cambrien de Hassi Guettar**

(Sondages HGA-1, HGA-3, HGA-4).

Proposé par : Madame SERBAH Samira (Sonatrach Division Laboratoire)

Etudié par :

- BOUDJEMA Djouher
- OULDMADI Amina

Dérogé par

- M^{me} SERBAH .S
- M^r AMROUCHE.F

Soutenu le 23 Novembre 2015

Devant le jury composé de :

M ^r SAMI.L	MCA	UMMTO	Président.
M ^r AMROUCHE.F	MAA	UMMTO	Rapporteur.
M ^{lle} . LARARA.M	MAA	UMMTO	Examinatrice
M ^{me} SERBAH.S	Ingénieur	DTD/CRD	Co-promotrice.
M ^r KHOUDJAOUI.A	CHEFDE DEPARTEMENT	DTD/CRD	Examineur.

Promotion 2015

Sommaire

Remerciements	i
Dedicaces.....	ii
Liste des Figures	iv
Liste des Tableaux	vii
Liste des Planches	vii
ABSTRACT	viii
Résumé.....	ix
Chapitre I : Généralités	1
I. Introduction	3
I.1. Méthodologie	4
II. Cadre général	4
III. Cadre géographique.....	5
IV. Contexte géologique.....	6
V. Historique du champ de Hassi Messaoud	9
VI. Lithostratigraphique	10
VI.1. LE SOCLE.....	12
VI.2. L'INFRACAMBRIEN	12
VI.3. Le PALEOZOÏQUE.....	12
VI.3.1. Le Cambrien.....	12
VI.3.2 L'Ordovicien	15
□ Interprétation des cartes en isobathes de la structure.....	18
VI.4. LE MESOZOÏQUE.....	19
VI.4.1 Le Trias.....	19
VI.4.2 Le Jurassique.....	20
VI.4.3 Le Crétacé.....	21
VII. LE CENOZOÏQUE	22
VII.1.Eocène	22
VII.2. Miopliocène	22
VIII Aspect structural.....	23
IX. Evolution géodynamique.....	24
X Aspect pétrolier	29
X.1. Les roches réservoirs	29

X.1.1 Le Cambrien.....	29
Chapitre II : Sédimentologie	31
I. Introduction	32
II. Rappels et généralités	32
II.1. Notion de facies	32
II.2. Notion de séquences.....	32
II.3. Echelle ou ordre séquentiel.....	33
II.4. L'analyse séquentielle	35
II.5. L'analyse électro séquentielle.....	35
II.6. Diagraphies	35
II.6.1. LE GAMMA RAY	35
III. Rappel sur les environnements de dépôts.....	37
III.1. Les dépôts fluviatiles.....	37
IV. Le système littoral	39
V. La géomorphologie du littoral	40
VI. Les structures sédimentaires rencontrées dans les facies carottés du cambrien de HassiGuettar	40
VI.1. Les structures liées à l'activité des organismes	41
VI.2. Les structures sédimentaires liées à l'action des courants.....	41
VII. Description lithologique des puits HGA-1 et HGA-3, HGA-4	45
VII.1. Puits HGA-1	45
VII.2. Puits HGA-3	45
VII.3. Puits HGA-4	46
VIII. Essai d'interprétation et corrélation selon les environnements de dépôts.....	48
IX. Conclusion	49
Chapitre III : Etude pétrographique	50
I. Introduction	51
II. Pétrographie et minéralogie de puits HGA-1	52
II.1. Réservoir Ri	52
II.2. Réservoir Ra	56
III. Pétrographie et minéralogie de puits HGA-3	61
III.1. Réservoir Ri	61
III.2. Réservoir Ra	63
IV. Pétrographie du puits HGA-4	67
IV.1. Réservoir Ri	67

IV.2. Minéraux lourds	68
IV.3. Réservoir Ra	70
V. Pétrographie des roches magmatiques	71
VI. Conclusion	75
Chapitre IV :	76
Etude diagénétiques	76
I. Introduction	77
II. Rappels sur la diagenèse	77
II.1. Définition de la diagenèse	77
II.2. Les principaux mécanismes de la diagenèse	78
II.2.1. La compaction	79
II.2.2. La cimentation	80
II.2.3. La dissolution	80
II.2.4. La recristallisation	80
II.2.5. La transformation	81
II.2.6. Le remplacement minéralogique	81
II.2.7. Les fluides	81
III. Les phases de diagenèse	82
III.1. Eodiagenèse (diagenèse précoce)	82
III.2. Mesodiagenèse (diagenèse d'enfouissement)	83
III.3. Télodiagenèse (diagenèse tardive)	83
IV. Phénomènes dia génétique ayant affecté les puits de la région de HassiGuettar	84
IV.1. Compaction	84
IV.2. Cimentation	85
IV.3. La dissolution	97
V. Chronologie des phénomènes diagénétiques	98
VI. Caractérisation du milieu poreux	99
VII. LE CYCLE PRE-HERCYNIEN	102
VIII. EVENEMENT HERCYNIEN	103
IX. LE CYCLE POST-HERCYNIEN	103
I. Introduction	107
II. Définition de quelques notions	107
II.1. Porosité	107
II.1.1. Les types de porosité	107

II.2. Perméabilité	110
III. Influence des indices granulométriques	110
III.1. Relation granulométrie/qualité réservoir	110
III.2. Relation classement /qualité réservoir.....	110
III.3. Relation morphoscopie/ qualité réservoir.....	110
IV. Influence de la compaction.....	114
V. Influence de la cimentation	114
VI. Influence de la dissolution	115
VII. Influence de la fissuration.....	115
VIII. Influence de la tectonique sur les propriétés pétrophysiques des réservoirs.....	119
IX. Influence des phénomènes diagénétiques sur les qualités réservoirs	120
IX.1. Caractérisation de la porosité.....	122
X. <i>Conclusion</i>	122
<i>Conclusion Générale</i>	123
<i>Références Bibliographiques</i>	126
<i>Annexes</i>	131

Remerciements

*Au terme de cette étude, nous tenons à remercier le Bon **Dieu** qui nous a donné le courage et la volonté d'aller jusqu'au bout et de ramener ce présent travail à son point ultime.*

*Toute notre reconnaissance à, **M^r AMROUCHE FARID** pour son encadrement, et sa disponibilité.*

*Nous tenons à remercier aussi notre Co-promotrice **M^{me} SERBAH. SAMIRA** pour ses suggestions et ses orientations, et d'avoir fait tout son possible pour nous aider dans la maîtrise des technologies actuelles.*

*Nous tenons à remercier **M^r SAMI LOUNIS** d'avoir accepté de présider le jury.*

*Nous tenons à remercier **M^{me} Malika LARARA** d'avoir accepté d'examiner notre travail.*

*Nos remerciements vont également à tout le personnel du **DTD**, notamment : **SAIGHI Nesrdine, El Hadi** pour leur sympathie, leur gentillesse et leur disponibilité.*

On ne peut s'arrêter là, sans évoquer tout le corps chef de département stratigraphie

***M^r KHOUDJAOUI. A,** Puisque grâce à lui nous n'avons eu aucune difficulté à combler nos lacunes théoriques et à satisfaire notre curiosité scientifique.*

*A **M^r MOUISSI** qui a mis à notre disposition les moyens et la documentation nécessaire et qui a veillé au bon déroulement du stage.*

*Nos remerciements vont à **M^r CHERFIA. Mouloud** de nous à voir aider durant notre stage de fin d'étude au **DTD***

Enfin, à ceux qui ont contribué et collaboré de près ou de loin à l'élaboration de cette étude.

Merci à tous.

Merci pour tout.

L'ensemble du binôme.

Dedicace

*Je dédie ce travail à tous ceux qui m'ont orienté
durant ma vie et qui ont su me montrer le droit chemin, à
ceux qui m'ont apporté, amour, encouragement et
compréhension, pour mener à bien mes études.*

*Mes chers parents : source de mon courage et de mon
inspiration.*

Ma Sœur Amina et mon cher et unique frère Ahmed

A tous mes amis(es) de ma promo.

Boudjema Djouher

Dédicace.

C'est avec toute mon affection que

Je dédie ce modeste travail :

*A celui qui m'a donné vie et qui m'as apporté sans cesse son
amour, mon père.*

*A Ma très chère mère qui m'a apporté sans cesse amour, soutien
et encouragement ; et qu'elle trouve ici l'expression de mes vives
reconnaisances.*

Mes très chères sœurs Louiza et Nouara.

*Mon très cher et unique Frère Sidali je lui souhaite la réussite
dans Ses études*

A toute ma famille Ouldmadi et Oukaci

*A mes chers amis(es) sans oublier mon cher groupe Les
Amazingà mes amies(s) de ma promo surtout à Boussad merci*

Ouldmadi Amina

Liste des Figures

<i>Fig. I.1 .Situation géographique du champ HassiGuettar. (La Wec .2007)</i>	<u>5</u>
<i>Fig.I.2 Situation géologique du gisement HassiGuettar. (Document interne inédit).</i>	<u>7</u>
<i>Fig.I.3 : Zonation du champ de Hassi Messaoud (Benzaoui Said 2012-2013).</i>	<u>7</u>
<i>Fig I.4 coupe géologique régionale d'après (wec.2007)</i>	<u>8</u>
<i>Fig. I.5 colonne stratigraphique du gisement de Hassi Messaoud incluse la région de HassiGuettar. Selon Zeroug et al. 2007.</i>	<u>11</u>
<i>Fig. I.6 coupe géologique du champ de Hassi Messaoud (document interne inédit).</i>	<u>13</u>
<i>Fig I.7 Bloc diagramme de l'écorché géologique sous la discordance hercynienne du champ de Hassi Messaoud. (Rapport interne inédit 1998).</i>	<u>14</u>
<i>Fig I.8 coupe géologique NORD-SUD de la structure de Hassi Messaoud (document interne inédit)</i>	<u>14</u>
<i>Fig.I.9 colonne stratigraphique du gisement de Hassi Messaoud incluse la région de HassiGuettar selon Zeroug et al. 2007.</i>	<u>16</u>
<i>Fig.I.11 Carte en isobathe au toit du Cambrien Ri.</i>	<u>18</u>
<i>Fig. I.12 Carte en isobathe au toit du Cambrien Ra</i>	<u>18</u>
<i>Fig.I.13 Carte structurale au toit du cambrien (Ri, Ra), (documents interne inédit).</i>	<u>22</u>
<i>Fig.I.14 Carte structurale de HGA. (Document interne inédit)</i>	<u>23</u>
<i>Fig I.15 Exemple de vallée hercynienne du champ de Hassi Messaoud (document interne inédit).</i>	<u>26</u>
<i>Fig.II.1 Séquences lithologiques en série argilo- gréseuse (rapport interne inédit).</i>	<u>32</u>
<i>Fig. II.3(a) Classification de SHELL. (IFP, 1986)</i>	<u>35</u>
<i>FigII.3(b) image diagraphique théorique de séquences positives et négative (cas d'un sable plus résistant et moins poreux que l'argile). (IFP, 1986). comblement. (Université de Liège).</i>	<u>35</u>
<i>Fig. II.4 Profil des environnement de depot</i>	<u>36</u>
<i>Fig II.5 schéma d'un système fluviatile à chenaux en tresse et exemple d'une séquence de comblement. (Université de Liège).</i>	<u>37</u>
<i>Fig.II.6 unités morphologiques typiques d'un profil de plage sableuses modifie (CHAMLEY., 1988).</i>	<u>38</u>
<i>Fig. II-7 Section transversale depuis la plaine côtière jusqu'à l'Offshore, avec les Ichnofaciès de Cruziana et de Skolithos.</i>	<u>38</u>
<i>Fig. II.8 Les divers types de litage, en flaser, ondulé et lenticulaire, rencontrés dans les alternances argilo gréseuses</i>	<u>43</u>

<i>Fig :II.9 Litage Horizontal produit par les lits plats superieur (UPPERFLAT BED)</i>	<u>43</u>
<i>Fig. II.10 log sédimentologique du sondage HGA-4.</i>	<u>46</u>
<i>Fig.III.1 log pétrographique du puits HGA1.</i>	<u>51</u>
<i>Fig.III.2 Photos de sondage HGA-1</i>	<u>57</u>
<i>Fig.III.3 Photos de sondage HGA-</i>	<u>58</u>
<i>Fig.III.4 Photos de sondage HGA-1</i>	<u>59</u>
<i>Fig.III.5 log pétrographique du puits HGA3.</i>	<u>60</u>
<i>Fig.III.6 Photos de sondage HGA-3.</i>	<u>64</u>
<i>Fig.III.7 Photos de sondage HGA-3.</i>	<u>65</u>
<i>Fig.III. 8 log pétrographique de puits HGA-4.</i>	<u>66</u>
<i>Fig.III.9 Photos de Sondages HGA-4.</i>	<u>71</u>
<i>Fig.III.10 Photos de Sondages HGA-4.</i>	<u>72</u>
<i>Fig.III.11 Photos de Sondages HGA-4 :</i>	<u>73</u>
<i>Fig.IV.1 Les différents stades de la diagenèse en fonction de la pression et de la température (Cojan.Iet Renard. M. 2006).</i>	<u>77</u>
<i>Fig .IV.2.1 schéma montrant la croissance de la compaction avec l'enfouissement. (Rapport interne)</i>	<u>78</u>
<i>.IV.2.2Schéma montrant les différents mécanismes de diagenèse.</i>	<u>81</u>
<i>Fig.IV.3 Profil idéalise d'une marge continentale montrant les sites sédimentaires marins et les trois phases de diagenèse</i>	<u>83</u>
<i>Fig.IV.4 Observation sous la lumière polarisée de la variation des types de contact selon le degré de compaction; cote 3383,5 m/puits 1, cote 3328m/puits 1, cote 3379m/puits 1.</i>	<u>84</u>
<i>Fig.IV.5Observation sous la lumière polarisée de ciment siliceux.</i>	<u>84</u>
<i>Fig.IV.6 Diagramme montrant le degré de solubilité de la silice en fonction du PH et le degré de température. (Rapport interne inédit).</i>	<u>86</u>
<i>Fig.IV.7 Contact suturé entre deux grains de quartz. (Rapport interne inédit).</i>	<u>86</u>
<i>Fig.IV.8 observation en lumière polarisée d'un grès grossier à ciment kaolinitique.</i>	<u>88</u>
<i>Fig.IV.9 observation en lumière polarisée l'altération des micas (A) et(B) en dickite, Altération des micas en kaolinite (C), altération des micas en illite (D).</i>	<u>89</u>
<i>Fig.IV.10 observation en lumière polarisée de la formation de la kaolinite à partir de l'altération des micas et du feldspath.</i>	<u>90</u>
<i>FigVI.11 Influence de l'hydrolyse sur les minéraux argileux (Chamley et Hervé. Clay, 1989).</i>	<u>91</u>
<i>Fig.IV.12Les différents types d'illite</i>	<u>91</u>
<i>Fig.IV.13. (A) diagramme montrant la stabilité entre la kaolinite, l'illite, la chlorite et le feldspath K en admettant la saturation du quartz. (B) Chlorite en revêtement autours des grains détritiques.</i>	<u>92</u>

<i>Fig.IV.14 observation en lumière polarisée de la Chlorite en revêtement autour des grains détritiques</i>	<u>93</u>
<i>Fig.IV.15 observation en lumière polarisée de la glauconie en voie de transformation en illite dans un grès très fin.</i>	<u>93</u>
<i>Fig.IV.16 observation en lumière polarisée de la dolomie en revêtement autour des grains de quartz.</i>	<u>94</u>
<i>Fig.IV.17. (A) L'oxyde de fer en revêtement autour des grains de quartz. (B) Imprégnation du ciment argileux par l'oxyde de fer observé en lumière polarisé.</i>	<u>95</u>
<i>Fig.IV.18. grès moyen à grossier à argileux pyriteux observé en lumière polarisé.</i>	<u>96</u>
<i>Fig.IV.19 Les principales dissolutions observées. (A) Dissolution de l'anhydrite; cote 3373 m/puits 1. (B) Dissolution des carbonates; cote 3374 m/puits 1. (C) Dissolution de la silice; cote 3373 m/puits 1.</i>	<u>97</u>
<i>Fig.IV.20 altération des micas en dickite(A), altération des micas en kaolinite(B), illitisation de la kaolinite (C), précipitation des carbonates (D), développement de la porosité fissurale(E), porosité de dissolution(F).</i>	<u>98</u>
<i>Fig. IV.21 aspect des argiles (kaolinite, illite, chlorite) avec le quartz, la dickite, la pyrite au Microscope à balayage Côte 3489.50 m puits HGA-3.</i>	<u>99</u>
<i>Fig.IV.22 : séquence diagénétiques du cambro-ordovicien du champ de HassiGuettar.</i>	<u>100</u>
<i>Fig.IV.23 Evolution de la profondeur d'enfouissement du Cambro-ordovicien de la région de Hassi Messaoud (In : IFP, 1969).</i>	<u>103</u>
<i>Fig.V.1 Les types de porosité. (A) Microporositéintercristalline; cote 3372.5/puits 1. (B) Porosité de fracturation; cote 3371.5/puits 1. (C) Porositéintergranulaire et de dissolution; cote 3374/puits 1. (D) Porosité de dissolution; cote 3373/puits 1.</i>	<u>106</u>
<i>Fig.V.2 influence des indices granulométriques sur les propriétés pétrophysiques du puits HGA-1.</i>	<u>109</u>
<i>Fig.V.3 influence des indices granulométriques sur les propriétés pétrophysiques du puits HGA-3</i>	<u>110</u>
<i>Fig.V.4 Influence des indices granulométriques sur les propriétés pétrophysiques du puits HGA-4</i>	<u>111</u>
<i>Fig.V.5 Influence des différents ciments sur les propriétés pétrophysiques du puits HGA1.</i>	<u>114</u>
<i>Fig.V.6 Influence des différents ciments sur les propriétés pétrophysiques du puits HGA-3.</i>	<u>115</u>
<i>Fig.V.7 Influence des différents ciments sur les propriétés pétrophysiques du puits HGA-4.</i>	<u>116</u>
<i>Fig.V.8 Diagramme illustrant les différents modes de destruction de la porosité dans les grès.</i>	<u>117</u>
<i>Fig.V.9 : Représentation des courbes de compaction pour les grès avec différentes lithologies primaires.</i>	<u>118</u>
<i>Fig V.10 : COPL/CEPL de réservoirs de cambrien de Hassi Guettar.</i>	<u>120</u>

Liste des Tableaux

<i>Tableau 1 : des sondages et leurs épaisseurs en fonction de leurs réservoirs RI et Ra</i>	<u>3</u>
<i>Tableau 2 : les lames minces des sondages HGA-1,HGA-3,HGA-4</i>	<u>4</u>
<i>Tableau3 :Fig. I-10 : Epaisseur des corps éruptifs et leur encaissant. (Document interne inédit).</i>	<u>17</u>
<i>Tableau.4 Fig. I-16 : schéma structural interprétatif montre l'effet des plus importantes phases tectoniques sur le Sahara Algérien d'après (Boudjema et Beicip).</i>	<u>27</u>
<i>Tableau5 :Fig II.2 les caractères des ordres séquentiels</i>	<u>33</u>

Liste des Planches

<i>Planche A : les figures sédimentaires rencontrés dans les puits HGA1 et HGA3.et HGA-4</i>	<u>41</u>
<i>Planche B: Photo composite d'un terrier probablement (SKOLITHOS) dans une matrice argileuse</i>	<u>43</u>

ABSTRACT

The field of Hassi Messaoud is considered to share its dimensions and reserves, as one of the biggest in the world it covers an area of approximately 4200km² producing oil in the tank Cambro -Ordovician.

It is presented as a vast anticline dome facing North North East -South South West, located in the central part of the Triassic Basin, about 650 km south south east of Algiers and 350 km from the Tunisian border.

The Cambrian field of Hassi Messaoud was the subject of a detailed study of the latter tanks specifically <HassiGuettar) located south of Hassi Messaoud deposit.

The purpose of this work was used to study surveys of HassiGuettar HGA1.HGA3.HGA4 area in terms of sedimentology, petrophysics, petrographic and diagenetic.

The sedimentologic study is based on the given cores data and determinations deposits environments ranging from the fluvial middle shore up front.

Microscopic observation of thin sections has identified the major diagenetic phenomena that affected these facies tanks:

Development of siliceous cement release by the transformation of feldspar and mica clays.

The influence of these phenomena on the qualities tanks boils down by a favorable effect the dissolution of the siliceous cement, and the adverse effect of developments different cements.

Keywords: Hassi Messaoud - HassiGuettar- sédimentology – Diagnose - Cambrian- river - uppershoreface

Résumé

Le champ de Hassi Messaoud est considéré de par ses dimensions et ses réserves, comme l'un des plus grands au monde, il s'étend sur une superficie d'environ 4200km², produisant de l'huile dans le réservoir cambro-ordovicien.

Il se présente comme un vaste dôme anticlinal orienté Nord Nord Est- Sud Sud Ouest, il est situé dans la partie centrale du bassin triasique, à environ 650 Km au Sud Sud Est d'Alger et a 350 Km de la frontière tunisienne.

Le Réservoir cambrien de du champ de Hassi Messaoud a fait l'objet d'une étude détaillée plus précisément celui de (HassiGuettar) qui se trouve au sud du gisement de Hassi Messaoud.

L'objet de ce travail a permis d'étudier des sondages de la zone de HassiGuettar HGA1.HGA3.HGA4 sur le plan sédimentologique, pétrographique, diagénétiques et pétrophysiques.

L'étude sédimentologique est basée sur les données des carottes et les déterminations des environnements de dépôts qui vont du fluviatile jusqu'au marin peu profond (upper shorface).

L'observation microscopique des lames minces a permis de déterminer les phénomènes diagénétiques majeurs qui ont affecté ces facies réservoirs :

Le développement du ciment siliceux libéré par la transformation des feldspaths et des micas en argiles.

L'influence de ces phénomènes sur les qualités réservoirs se résume par un effet favorable par la dissolution du ciment siliceux, et un effet défavorable par le développement des différents ciments.

Mots Clés : Hassi Messaoud – Hassi Guettar- Sédimentologie- Diagenèse- Cambrien- fluviatile - uppershoreface

Chapitre I : Généralités

Chapitre I

Le Cambrien de la Plate Forme Saharienne :

Le Cambrien est largement répandu dans le Sahara algérien, son épaisseur varie d'une région à l'autre, mais peut parfois dépasser 1200 m ; sa puissance avoisine les 900 m dans les monts d'Ougarta. Il repose en discordance sur le socle précambrien et est essentiellement gréseux.

Les éléments sont grossiers, moyens à fins. La maturité du sédiment est faible comme en témoigne l'abondance des arkoses qui surmontent la série pourprée fini-précambrienne. Des niveaux quartzitiques bioturbés à Tigillites sont présents. Les structures sédimentaires les plus courantes sont les stratifications obliques qui témoignent d'un dépôt en contexte fluvial, alors que la présence des Tigillites plaide, lorsqu'elles sont présentes, pour un environnement marin littoral. Bien que les sources d'apport des sédiments ne soient pas bien identifiées, on peut supposer qu'elles se situent à l'emplacement actuel du Hoggar comme le suggère l'inclinaison générale des formations vers le Nord et les paléo courants orientés vers le Nord et le Nord-Ouest (Beuf et al., 1971). Dans la cuvette de Sbaâ, le Cambrien inférieur est marqué par la présence de grès beiges à galets centimétriques de quartz. Ces dépôts sont surmontés par des grès moyens à glauconie et Tigillites, et les dépôts cambriens s'achèvent vers le sommet, par des grès fins quartzitiques parfois argileux, riche en glauconie. Dans l'Ahnet, le Cambrien est représenté de la base au sommet essentiellement par des alternances de grès fins à moyens parfois grossiers et siliceux, et de grès moyens à grossiers quartzitiques mal classés. Dans la partie occidentale de la plate-forme saharienne, le sommet du Cambrien est marqué par la présence d'un niveau marin condensé, riche en lingules et en nodules phosphatés, la dalle à lingules, qui marque le maximum de la transgression marine. Du point de vue paléogéographique la sédimentation au Cambrien inférieur s'est effectuée sur la surface plane d'un plateau structuré en panneaux délimités par des failles anté-cambriennes avec des apports en provenance du Sud – Sud-Est (Beuf et al., 1971). L'influence marine commence à se manifester au Cambrien moyen par la présence des Tigillites et de la glauconie. D'une manière générale, au cours du Cambrien, l'influence marine est croissante d'Est en Ouest ; le Cambrien est gréseux, carbonaté et franchement marin dans l'Anti-Atlas marocain. Vers la fin du Cambrien moyen, ce sont les mouvements épirogéniques, qui vont influencer la sédimentation sur toute la bordure ouest de la plateforme saharienne ; prémices d'une transgression qui va se généraliser sur l'ensemble du Sahara au cours de l'Ordovicien (Legrand, 1985) in Thèse de Doctorat Akkouche M , 2007.

Chapitre I

I. Introduction

Dans le cadre de la collaboration entre la Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques et le CRD (centre de recherche et développement) actuellement DTD, il nous a été proposé un sujet de mémoire de fin d'étude se rapportant à : L'étude sédimentologique et diagénétique de cambrien de HassiGuettar.

Problématique :

Pour comprendre la distribution des qualités pétro physiques du Cambrien de Hassi Guettar et orienter son exploration et son exploitation on va faire les études suivantes :

- La caractérisation des environnements de dépôts des puits HGA-1 HGA-3 HGA-4 par une description des carottes prélevées dans le puits HGA-3.
- L'étude de la composition pétrographique et minéralogique afin de mieux cerner l'impact des phénomènes dia génétiques sur les qualités pétro physiques du réservoir.

Dans cette étude on se basera sur la description du Cambrien des trois sondages HGA-1 , HGA-3 et HGA-

Puits	Réservoirs	Carottes N à N	Intervalles	Epaisseurs (m)
HGA-1	RI	11 à 13	3482-3537,65	55,65
	RA	13 à 17	3537,65-3600	62,35
HGA-3	RI	8 à 10	3457,2-3506	69
	RA	11 à 14	3506-3575	48,8
HGA-4	RI	1 à 6	3419,61-3489,5	69,89
	RA	7 à 6	3489,5-3529	39,5

Tableau 1 : des sondages et leurs épaisseurs en fonction de leurs réservoirs RI et RA

Chapitre I

I.1. Méthodologie :

- La description de 537 lames au microscope optique polarisant pour évaluer le paramètre granulométrique et morphoscopiques des éléments, et mettre en évidence les phénomènes diagénétiques et les différents types de porosités.
- L'utilisation des données radio cristallographiques de 459 échantillons, (voir les annexes) afin de déterminer les minéraux essentiels de la roche, de connaître la nature des minéraux argileux ainsi que leurs proportions approximatives.

Puits	Numéro de lames	Diffraction aux Rayons X
HGA-1	145	46
HGA-3	226	242
HGA-4	166	171

Tableau 2 : les lames minces des sondages HGA-1,HGA-3,HGA-4

II. Cadre général

La plate forme saharienne située au sud de l'Algérie Alpine comprend un socle précambrien sur lequel repose en discordance une puissante couverture sédimentaire. Elle est structurée au paléozoïque en plusieurs bassins séparés par des zones hautes.

Cette plate forme a été affectée par des mouvements tectoniques ayant donné naissance à des zones hautes et basses et des dorsales (Amguid, Idjerran ...).

Le môle de Hassi Messaoud, de forme ovoïde et de direction NE-SW est situé au Nord de la plate forme saharienne entre les méridiens 5°40' et 6°20' Est et les parallèles 31°30' et 32°00' Nord, il occupe une superficie de 5 400 Km ; il est le résultat d'une histoire paléotectonique très complexe.

La périphérie du champ de Hassi Messaoud est constituée de zones faillées avec des Horst et Grabens. Ces zones périphériques hautes situées en aval par rapport au gisement Hassi Messaoud contiennent des accumulations d'huile.

Parmi ces accumulations le gisement **HASSI GUETTAR** située au Sud Ouest du Champ de Hassi Messaoud.

Chapitre I

• Zonation du champ de HASSI MESSAOUD

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

Actuellement, le champ est subdivisé en 25 zones productives. ces zones sont relativement indépendantes et correspondent a un ensemble de puits qui communiquent entre eux litho logiquement et se comportent de la même manière de point de vue pression.

Le champ de Hassi Messaoud est divisé en deux parties distinctes : Nord et Sud, chaque partie à sa propre numérotation (Benzaoui.Said 2013)

III. Cadre géographique

HassiGuettar correspond à une structure satellite située au Sud Ouest du champ

De Hassi Messaoud, dans le bloc n°427, entre les longitudes 5°30' et 6°30' Ouest et la latitude 30°50' et 31°40' Nord (Aouimer., 2004-2005).

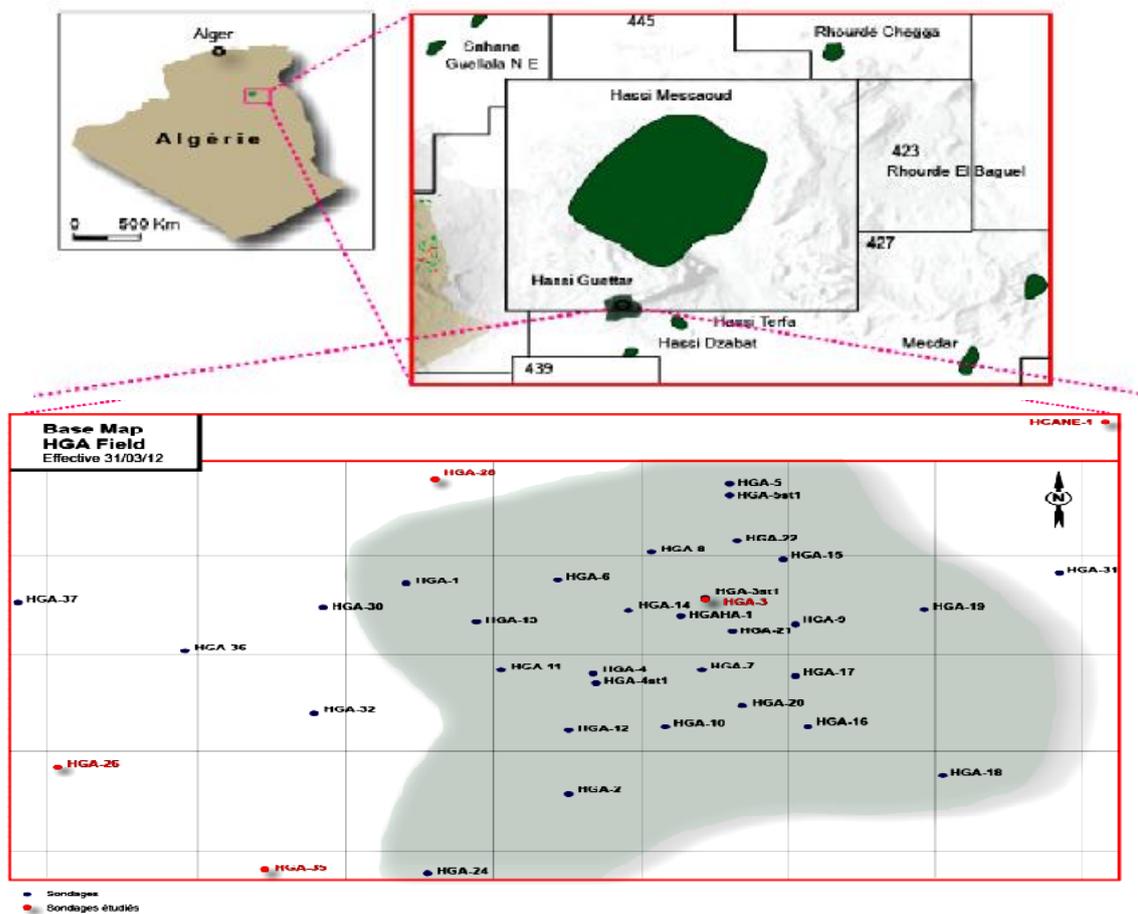


Fig. 1.1 : Situation géographique du champ HassiGuettar.

IV. Contexte géologique

La structure de HassiGuettar est située sur la dorsale Amguid El Biod / Hassi Messaoud, Fig.I.2ses limites sont :

- L'ensellement de Touggourt au Nord.
- La dorsale d'Amguid, qui sépare le bassin d'Illizi de celui de Mouydir, au Sud Est.
- Le bassin de Berkine à l'Est
- Le bassin d'Oued Mya à l'Ouest.
- Le dôme de Dahar au Nord-Est.

Elle est répartie sur trois zones hautes :

- Le dôme de Hassi Messaoud.
- Le bourrelet d'El Agreb - El Gassi plus au sud.
- Le bourrelet de Hassi Brahim à l'Est.

Ce périmètre est considéré comme étant un grand dôme compartimenté en blocs (Horsts et grabens)(Rapport interne inédit), affecté par un réseau complexe de failles très denses de directions NE-SW et NW-SE, issues du socle et héritées des événements anté-hercyniens.

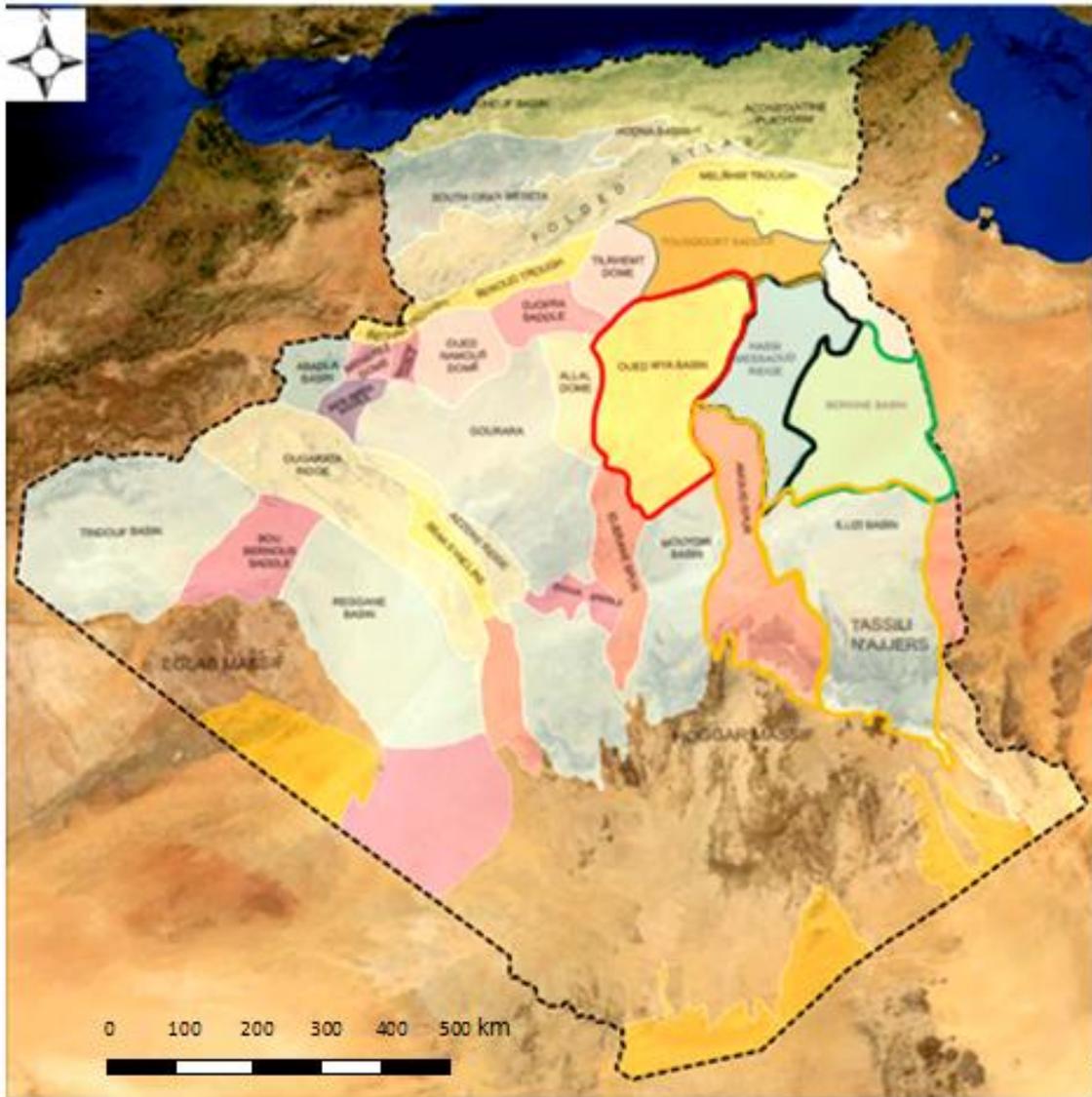


Fig.I.2 : Situation géologique du gisement Hassi Guettar. (Document interne inédit).

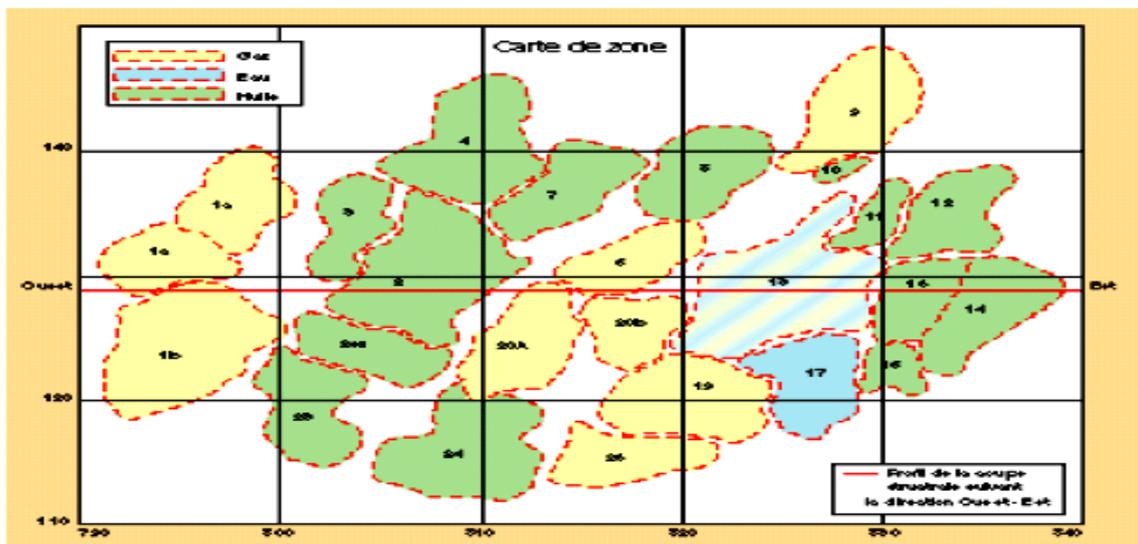


Fig.I.3 : Zonation du champ de Hassi Messaoud (BenzaouiSaid 2012-2013).

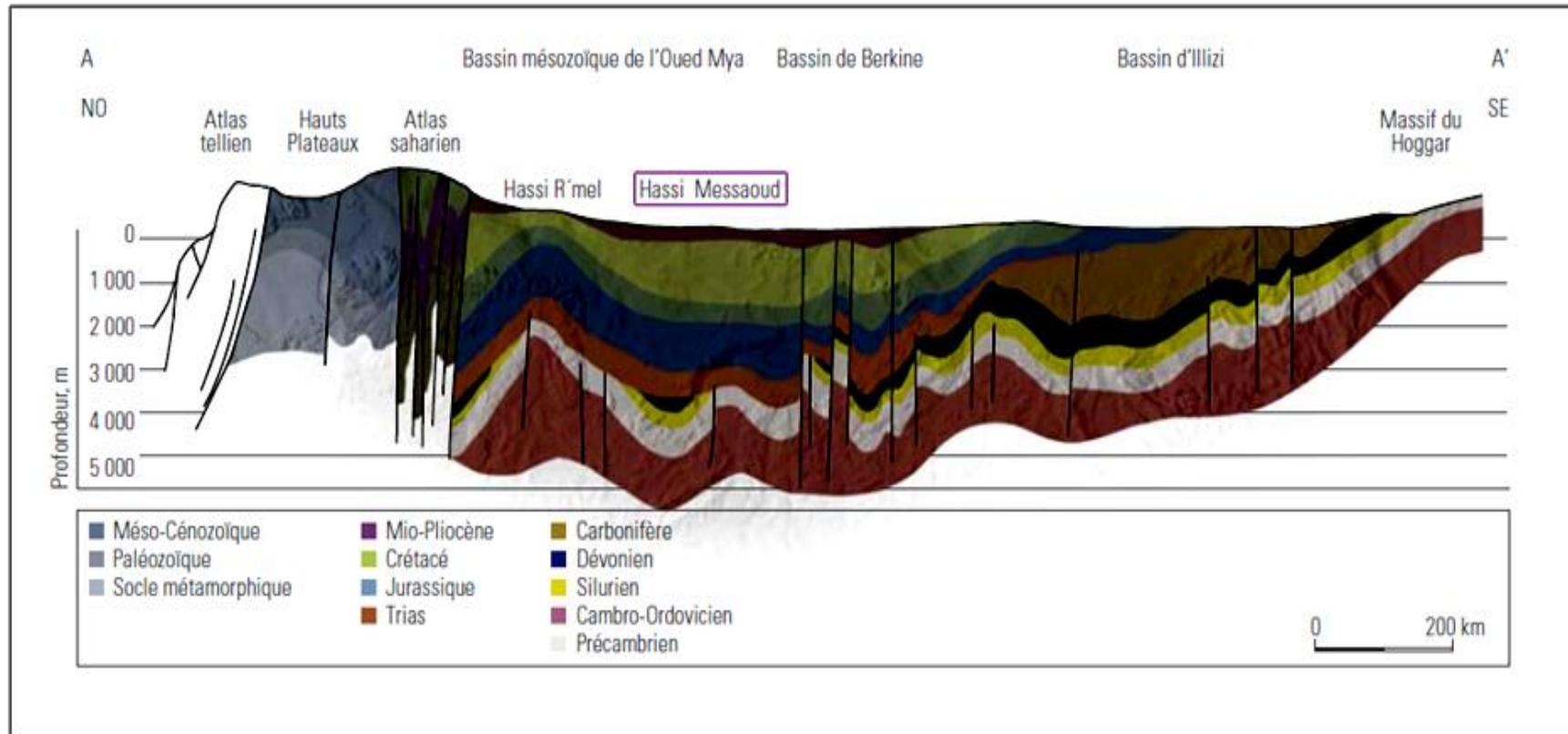


Fig I.4 : coupe géologique NO-SE régionale d'après (wec .2007)

LA GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE (Fig I.4) :

Se présente sous l'aspect d'une cuvette synclinale comblée de dépôts sédimentaires sur une épaisseur d'environ 5000 m. Les dépôts continentaux tertiaires et quaternaires occupent le centre de la cuvette.

V. Historique du champ de Hassi Messaoud

Le gisement de Hassi Messaoud fut découvert le 16 janvier 1956 par la Société Nationale de la recherche Pétrolière en Algérie (SN REPAL). Le premier sondage Messaoud 1(MD1) a rencontré une accumulation d'huile dans le réservoir Cambrien Ra à 3338 m de profondeur .

En 1957, la compagnie française du pétrole en Algérie (C.F.P.A) à la suite de l'obtention de la partie septentrionale du champ confirmait ce résultat par le forage OM1 situé a environ 7km au Nord-Nord Ouest du puits MD1.

Le champ de Hassi Messaoud a été divisé en deux concessions distinctes attribuées à la C.F.P.A pour la partie Nord et la partie Sud à la SN.REPAL à laquelle revient la paternité de la découverte

La mise en production avait commencé en 1958 avec 20 puits d'exploitation

Depuis la découverte du gisement de Hassi Messaoud plusieurs travaux lui ont été consacrés.

EN 1960, Millot et al ;ont étudié l'évolution des grés Cambro-ordoviciens du Sahara central.

En 1963, A.Tillous et J.Malenfer ont détaillé les aspects stratigraphiques, structuraux et de réservoir

Dans la même année, Montadert apporta les premières réflexions d'ordre sédimentologiques applicables aux réservoirs de Hassi Messaoud.

En 1970, A,Balduchi et G.Pommer ont précisé la structure de Hassi Messaoud en la plaçant dans un contexte régional.

En 1971, S,Beuf et al ;ont établi une synthèse de l'évolution sédimentologique et paléogéographique du paléozoïque inférieur du Sahara.

En 1972, J.Gautier, D, Massa et al ; ont étudié la fracturation du réservoir du champ, retraçant ainsi les grandes phases tectoniques qui ont affecté la région.

En 1979, L'IFP a réalisé plusieurs travaux qui ont abouti à la délimitation dans le champ de Hassi Messaoud de 25 zones productives.

Chapitre I

Il existe également des rapports internes de la SONATRACH. On peut citer l'étude réalisée par R.Kerdali et N.Hadibi sur les quartzites de Hamra en Novembre **1996**.

Les universitaires ont contribué également avec des mémoires d'ingénieurs nous citerons par exemple :

- Une étude sédimentologique du cambro-ordovicien du gisement de Hassi Messaoud fait par Ait Ali et Hammouche en 1997.
- Une étude sur l'influence de la mise en place des intrusions intra-cambriennes sur les qualités réservoirs dans le secteur Sud Ouest du champ de Hassi Messaoud a été réalisée par O.Bendjeda en 1998.
- la caractérisation sédimentologique, diagénétiques et pétro physique du cambro-ordovicien du gisement de Hassi Messaoud réalisée par Amirouche en 2000.

VI. Lithostratigraphique

Du point de vue stratigraphique, les terrains traversés par tous les sondages HGA sont presque les mêmes à l'exception des intercalations éruptives qui sont distribuées de façon discontinue avec des épaisseurs variables. La coupe stratigraphique type de la région se présente ainsi (*Fig. I.5*).

Chapitre I

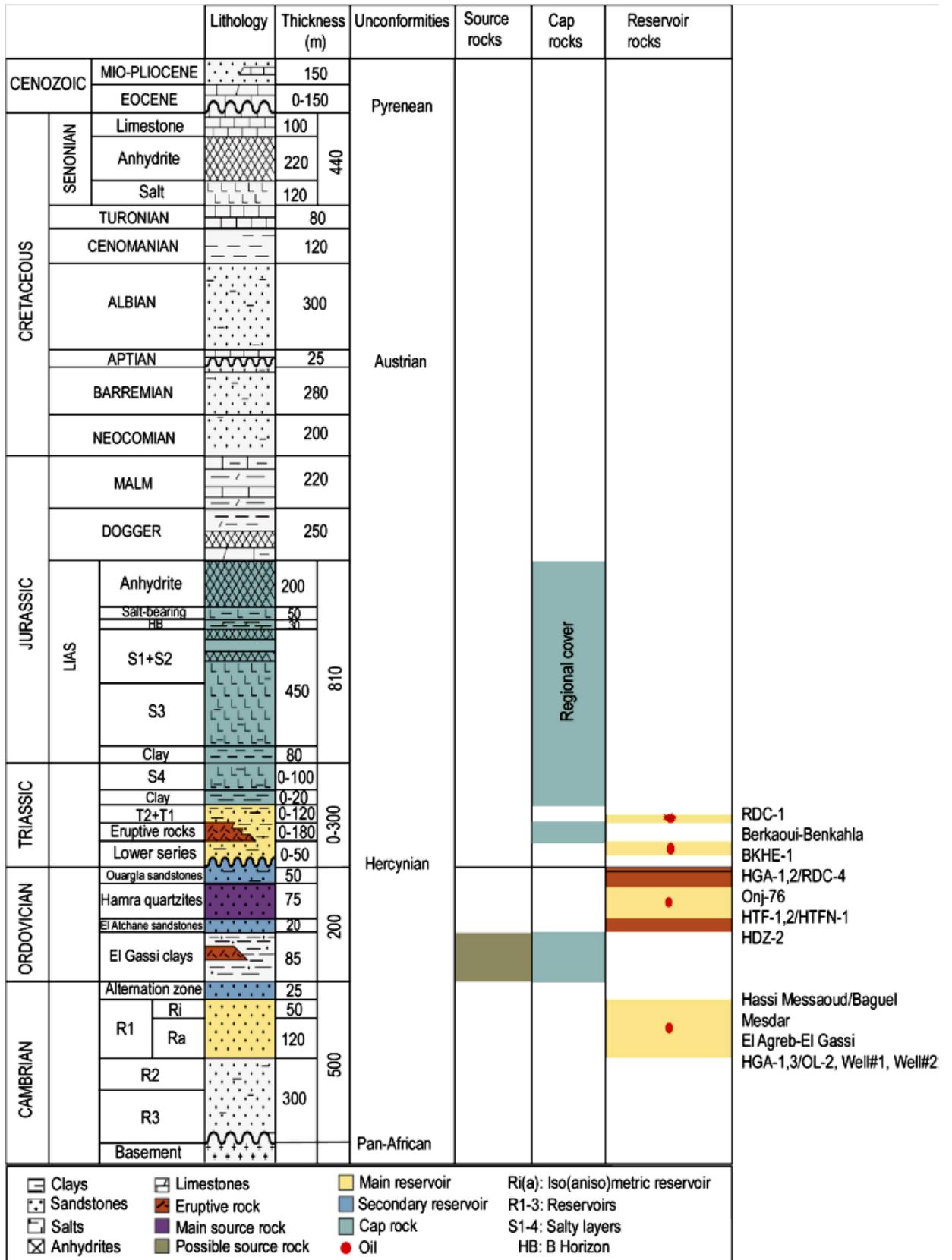


Fig. I.5 : colonne stratigraphique du gisement de Hassi Messaoud, la région de Hassi Guettar incluse Zeroug et al. 2007.

VI.1. LE SOCLE

Il est représenté par des granites porphyroïdes roses, déduit par analogie avec le champ de Hassi Messaoud.

VI.2. L'INFRACAMBRIEN

Correspond à des grès argileux rouges mis en évidence au Nord de la région sur une épaisseur de 45 m.

VI.3. Le PALEOZOÏQUE

Ses dépôts s'étalent en discordance majeure sur un soubassement précambrien, il comprend :

VI.3.1. *Le Cambrien*

Sa subdivision en cinq zones obéit à des critères granulométriques tels que la taille des grains diminuant vers le haut et le pourcentage des argiles évoluant dans le sens inverse.

De bas en haut, le Cambrien comprend : (*Fig I.7*)

✓ Les unités R_3 et R_2

Constituées de grès micro conglomératiques, quartzitiques et argileux, à ciment illitique ; ces deux unités ne présentent aucun intérêt pétrolier

La zone R_3 est constituée principalement par des grès grossiers, conglomératiques à la base avec un ciment argilo-dolomitique.

La zone R_2 de granulométrie plus fine, à un ciment plus argileux (kaolinite).

✓ L'unité R_a

Elle est représentée par des grès an isométriques, parfois micro- conglomératiques, siliceux à silico-quartzitiques, de couleur gris blanc à blanc ; avec des intercalations de joints d'argile grise, indurée, silteuse, micacée et feuilletée, soulignés par des traces d'illite et la présence de Tigillites.

L'unité R_i

Elle est formée de grès isométriques fins à moyens, siliceux à silico- quartzitiques, localement durs, intercalés de passées d'argile noire, indurée, silteuse et micacée avec une abondance de Tigillites ainsi que des traces de pyrite et de lignite. En plus de ces faciès,

Chapitre I

cette couche réservoir renferme aussi des intercalations de roches ignées observées dans quelques sondages.

✓ La zone des alternances (Fig I.6)

C'est une zone où les lits d'argile noire sont indurée, silteuse et micacée alternent avec des grès gris clair, fins à très fins avec une abondance des Tigillites.

La coupe ci-dessous (Fig. I.6) représente les champs de Hassi Messaoud montrant le trias repose en discordance sur l'ordovicien et parfois sur le Cambrien.

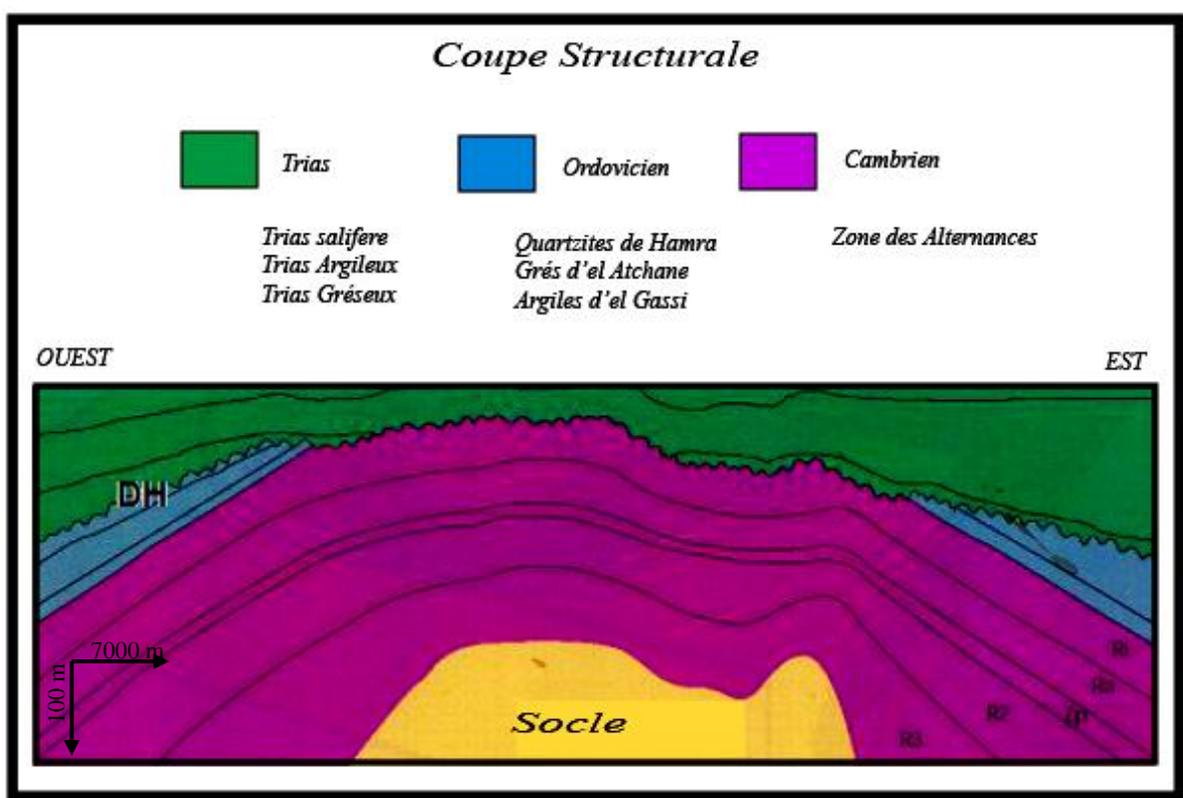


Fig. I.6 : coupe géologique du champ de Hassi Messaoud (Yahiaoui.,L.2010).

✓ Description du réservoir du champ de Hassi Messaoud Fig (I.7)

Le Cambrien est représenté par des niveaux gréseux hétérogènes fin grossier, recoupés par des pellicules siliceuses argilo-micacés, ces matériaux sont dit grés de Messaoud.

De bas en haut, le réservoirs Cambrien est devisé en quatre niveaux lithologiques R3,R2 ,Ra pour les grés de Hassi Messaoud et le Ri pour les Grés de Hassi Messaoud et les Grés d'el Gassi.

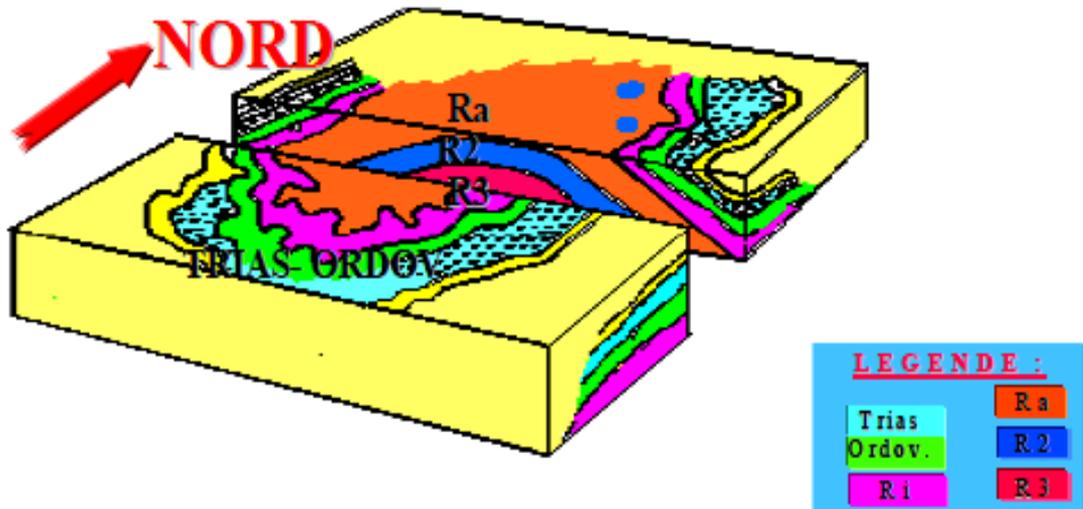


Fig I.7 : Bloc diagramme de l'écorché géologique sous la discordance hercynienne du champ de Hassi Messaoud. (Yahiaoui ,L.2010).

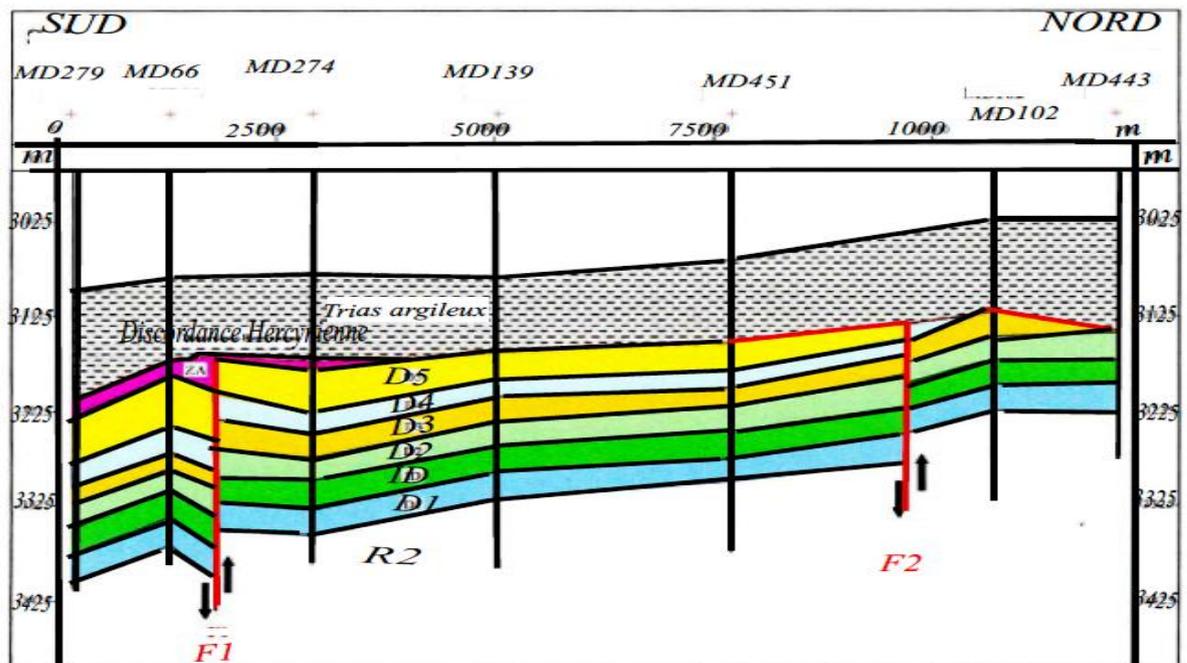


Fig I.8: coupe géologique NORD-SUD de la structure de Hassi Messaoud (Yahiaoui., L.2010)

VI.3.2 L'Ordovicien

Il est subdivisé, d'après (Aouimer,.2005), en plusieurs unités dont les changements de faciès ont été rencontrés dans le périmètre étudié. Ces unités sont les suivantes de bas en haut :

✓ **Les argiles d'El Gassi**

C'est une argile grise à gris foncé, silteuse, indurée, localement schisteuse avec passées de grès gris blanc à gris vert, fin à moyen, rarement grossier, silico- argileux à quartzitique, pyriteux, glauconieux avec présence de corps éruptifs rencontrées dans quelques sondages.

✓ **Les grès d'El Atchane**

Ils sont représentés par des grès de 30 m d'épaisseur en moyenne, de couleur gris clair, siliceux à quartzitiques, parfois micacés avec présence de glauconie ; ils sont intercalés de fines passées d'argile gris foncé, silteuse, micacée et indurée

✓ **Les quartzites de Hamra**

Ce sont des grès fins à moyens, silico-argileux à quartzitiques avec de fines passées d'argiles grises vertes, indurées et silteuses

Chapitre I

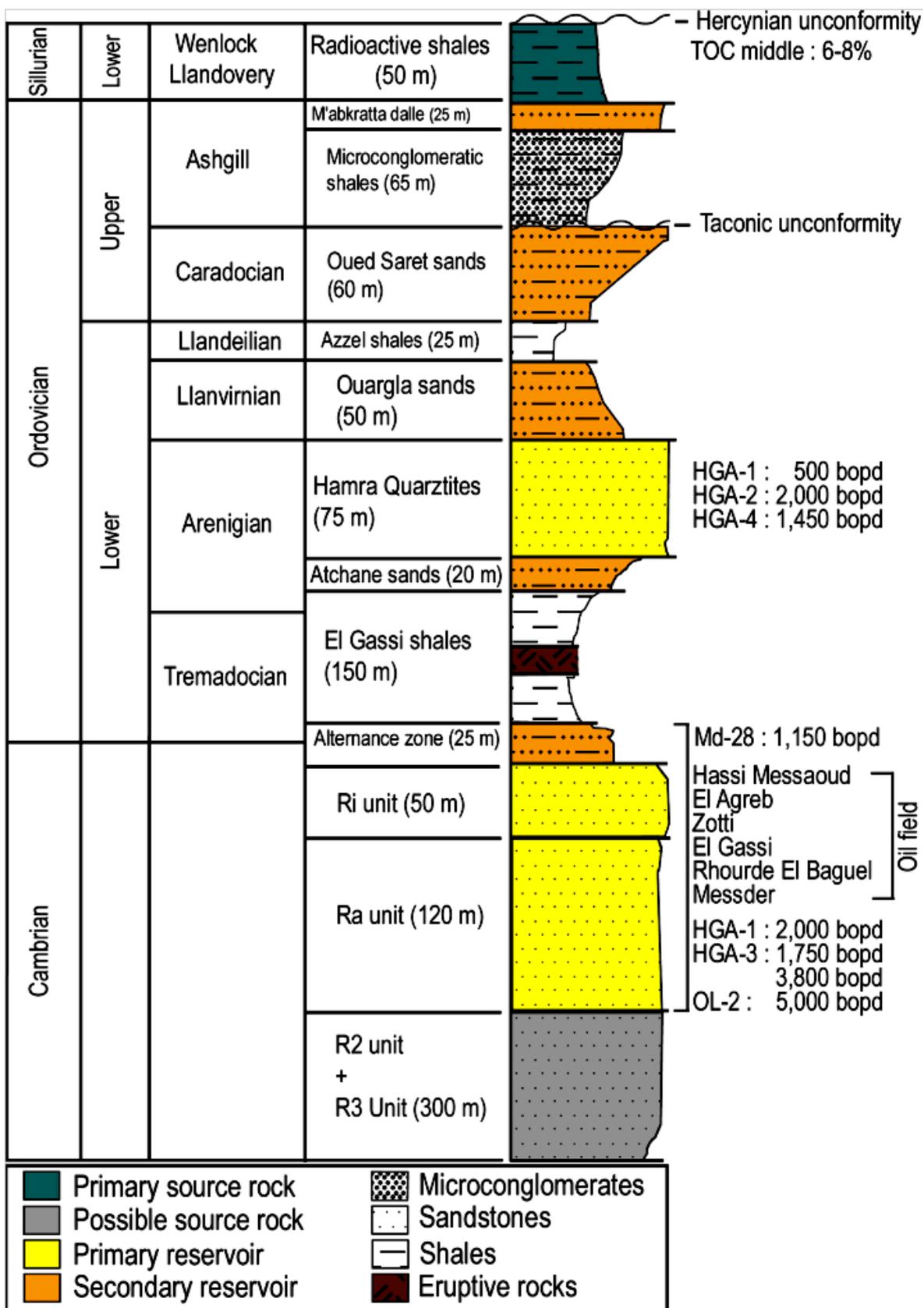


Fig.I.9: colonne stratigraphique du gisement de Hassi Messaoud ainsi la région de Hassi Guettar Zeroug et al. 2007.

Chapitre I

✓ intrusions magmatiques

dans les grés des réservoirs Ra et Ri et dans les Argiles d'El Gassi. L'épaisseur de ces intervalles éruptifs varie de 19m à 33m dans le Ri, de 5m à 69m dans les Argiles d'El Gassi et de 7m dans le Ra (traversé par un seul sondage HGA18).

La plupart des sondages ont traversé deux intervalles éruptifs dans le même encaissant, dans d'autres puits 3 intervalles sont rencontrés dans le même faciès et parfois un seul intervalle est rencontré, surtout dans les grés des réservoirs Ri et Ra.

Ces corps éruptifs sont des roches sombres, d'une texture très fine, et parfois fracturée.

Le tableau suivant donne l'épaisseur des corps éruptifs et leur encaissant dans chaque puits :

Nom du puits	Epaisseur du corps éruptif	Les couches encaissantes
HGA-1	35	Argiles d'El Gassi
HGA-10	27	Réservoir RI
HGA-11	15	Argiles d'El Gassi
HGA-12	19	Réservoir RI
HGA-13	22.5	Argiles d'El Gassi
HGA-14	43	Argiles d'El Gassi
HGA-15	54	Argiles d'El Gassi
HGA-16	31	Réservoir Ri
HGA-2	5	Argiles d'el Gassi
HGA-3	48	Argiles d'El Gassi
HGA-4	22	Réservoir RI
HGA-5	69	Argiles d'El Gassi
HGA-6	63	Argiles d'El Gassi
HGA-7	29	Argiles d'El Gassi
HGA-8	57	Argiles d'El Gassi
HGA-9	41	Argiles d'El Gassi
HGA-17	33	Réservoir Ri

Tableau3 : Epaisseur des corps éruptifs et leur encaissant. (Document interne inédit).

✓ Interprétation des cartes en isobathes de la structure

Carte en isobathe au toit de Cambrien Ri (Fig I.11)

Cette carte est similaire que la carte en isobathe au toit du Cambrien Ra à part que le deuxième axe est moins bien marquée. En effet les courbes en isobathes ont tendance à être orientée N-S dans la partie occidentale.

Cette configuration pourrait être due aux jeux de failles définissant ainsi un horst.

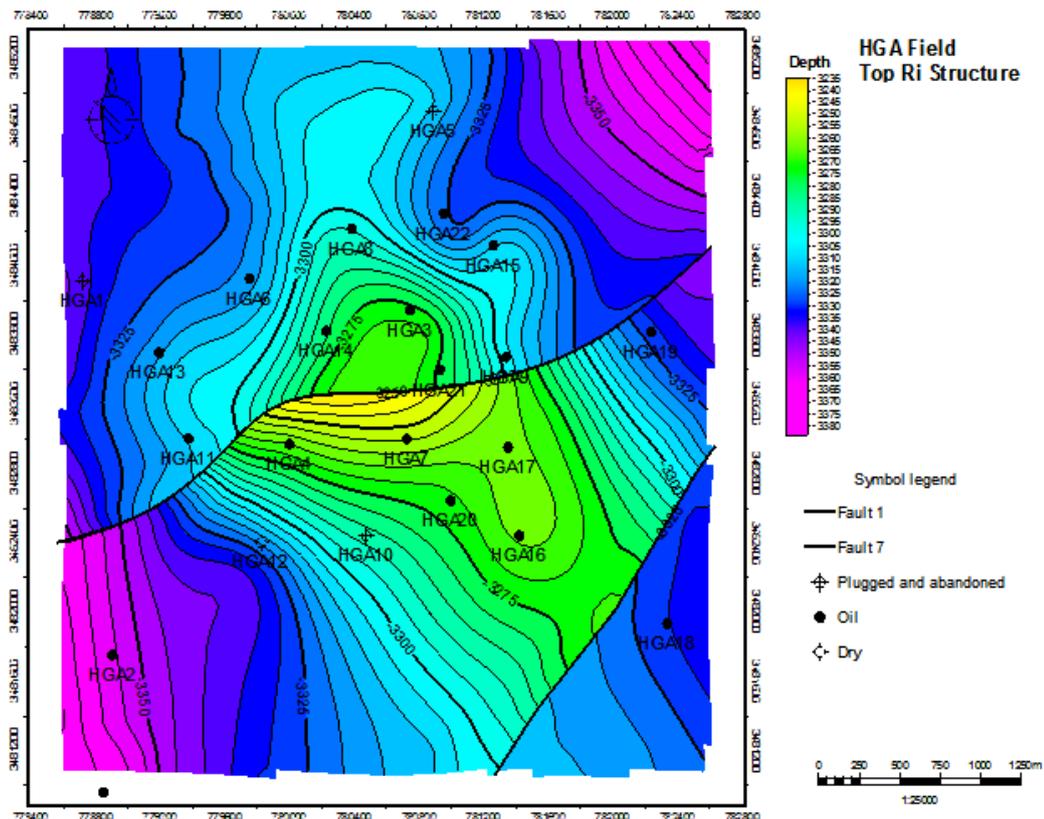


Fig. I.11 : Carte en isobathe au toit du Cambrien Ri.(rapport interne inédit)

Carte en isobathe au toit de Cambrien Ra : (Fig II.12)

Cette carte montre une structure anticlinale, deux axes de structuration sont présents, le premier d'orientation NW-SE et le deuxième NE-SW, cette structure est subdivisé en trois blocs par deux failles En effet les courbes en isobathes ont tendance à être orientée N-S aussi bien dans la partie occidentale que la partie orientale à part la partie centrale.

Chapitre I

Cette configuration pourrait être due aux jeux de failles définissant ainsi un horst.

L'architecture de cette structure est régie par deux accidents majeurs qui sont :

- Accidents NE-SW dans la partie Est ainsi que la partie Ouest de la structure et E-W dans ça partie centrale.
- Accidents NNE-SSW dans la partie Sud-Ouest de la structure.

En effet ces accidents découpent la structure montrant un jeu postérieur à la structuration.

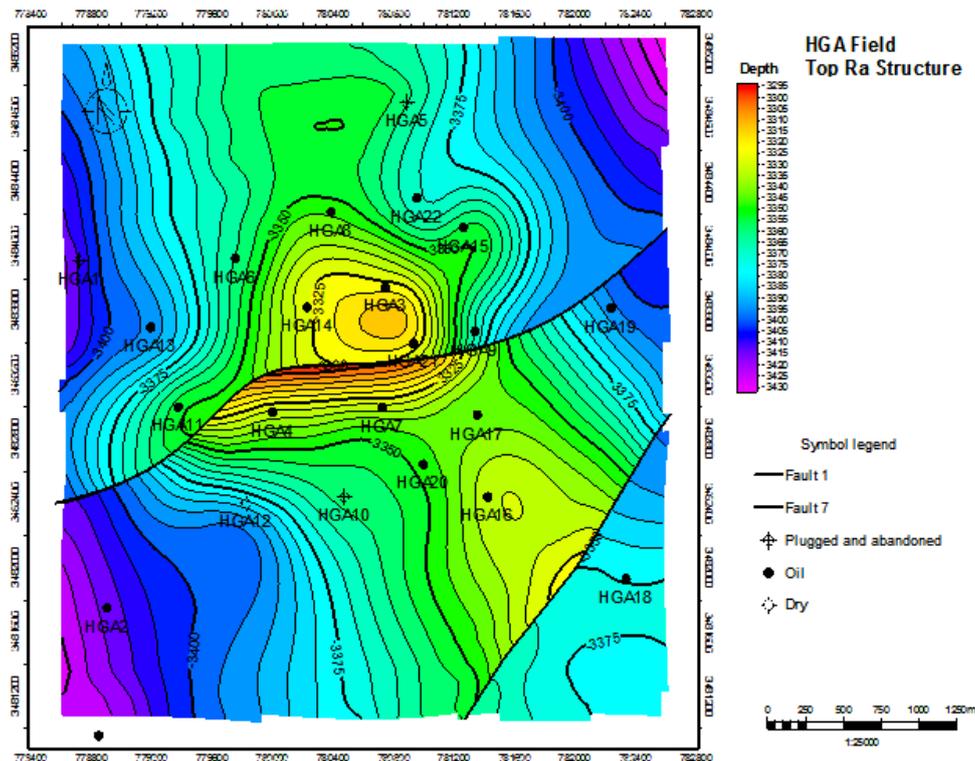


Fig. I.12 : Carte en isobathe au toit du Cambrien Ra.

VI.4. LE MESOZOÏQUE

Il repose en discordance sur les formations primaires est représenté par ses trois systèmes géologiques :

VI.4.1 Le Trias

Il repose en discordance sur les terrains paléozoïques, il est subdivisé dans la zone d'étude en quatre termes :

- La série inférieure.
- Le Trias éruptif.

Chapitre I

- Le Trias argileux

Le Trias salifère

- La série inférieure :

Constituée essentiellement par une argile silteuse à silto-sableuse avec des passées de grès à siltstone argileux.

- Le Trias éruptif :

Ce sont des roches éruptives gris brun, vertes, parfois violacées riches en minéraux verts avec des passées d'argile brunes, indurées, silteuses (Aouimer,, 2005)

- Le Trias argileux :

Il est formé d'argile brune rouge, silteuse, à silto-sableuse, tendre et indurée alternant avec des passées de grès fin, blanc verdâtre.

- Le Trias salifère

Il est limité à sa base par un niveau repère dolomitique « D2 » ; sa constitution est la suivante :

- ✓ Le Trias salifère « S₃ ».
- ✓ Le Trias salifère « S₂ ».
- ✓ Le Trias salifère « S₁ ».

VI.4.2 Le Jurassique

Les sédiments du Jurassique sont largement représentés dans la région de Hassi Guettar, ce sont des dépôts lagunaires et marins, confirmés par la présence de calcaire qui forme l'horizon « B ». Il est représenté par :

➤ *Le Lias :*

C'est essentiellement une anhydrite blanche à passées d'argiles grises à gris verdâtre, parfois brune, dolomitique et de dolomie microcristalline beige et dure. Il comprend :

- L'horizon «B» :
- Le Lias salifère « LS₂ » :
- Le Lias dolomitique « LD₂ » :
- Le Lias salifère « LS_j » :

- Le Lias dolomitique « LD_J » :

- *Le Dogger* :

Il est subdivisé essentiellement en deux séries

- a) Le Dogger lagunaire :

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

- b) Le Dogger argileux :

Formé essentiellement par des argiles bariolées, tendres, silteuse, en alternance avec quelques niveaux gréseux gris blanc et quelques rares passées dolomitiques.

- *Le Malm* :

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

VI.4.3 Le Crétacé

- *Le Néocomien* :

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

- *Le Barrémien* :

Il est formé par une alternance de grès fin à moyen, parfois grossier, bien classé, friable et d'argiles vertes et brunes, ainsi que des niveaux de dolomie microcristalline.

- *L'Aptien* :

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

- *L'Albien* :

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

- *Le Cénomaniens* :

Chapitre I

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

➤ Le Turonien :

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

➤ Le Sénonien :

Il est fortement développé dans la région de HassiGuettar et, se subdivise en trois parties :

a) Le Sénonien salifère :

Il est formé de bancs de sel massif translucide, microcristallin, intercalés de bancs d'anhydrite et de quelques joints d'argile moyennement dure.

b) Le Sénonien lagunaire :

Il est constitué par des niveaux d'anhydrite blanche, cristalline; intercalés de bancs de dolomie et de lits d'argile légèrement silteuse, indurée.

c) Le Sénonien carbonaté :

Il est formé par des niveaux de dolomie claire, cristalline, parfois vacuolaire, passant par endroits à des calcaires dolomitiques gris blancs argileux.

VII. LE CENOZOÏQUE

VII.1.Eocène

C'est une formation carbonatée représentée par des calcaires dolomitiques crypto cristalline avec des nodules de silex.

VII.2. Miopliocène

Essentiellement constitué par des sables jaunâtres moyens à grossiers, silico-carbonatés, intercalés de lits d'argile gris vert et de calcaire dolomitique microcristallin tendre à induré

VIII Aspect structural

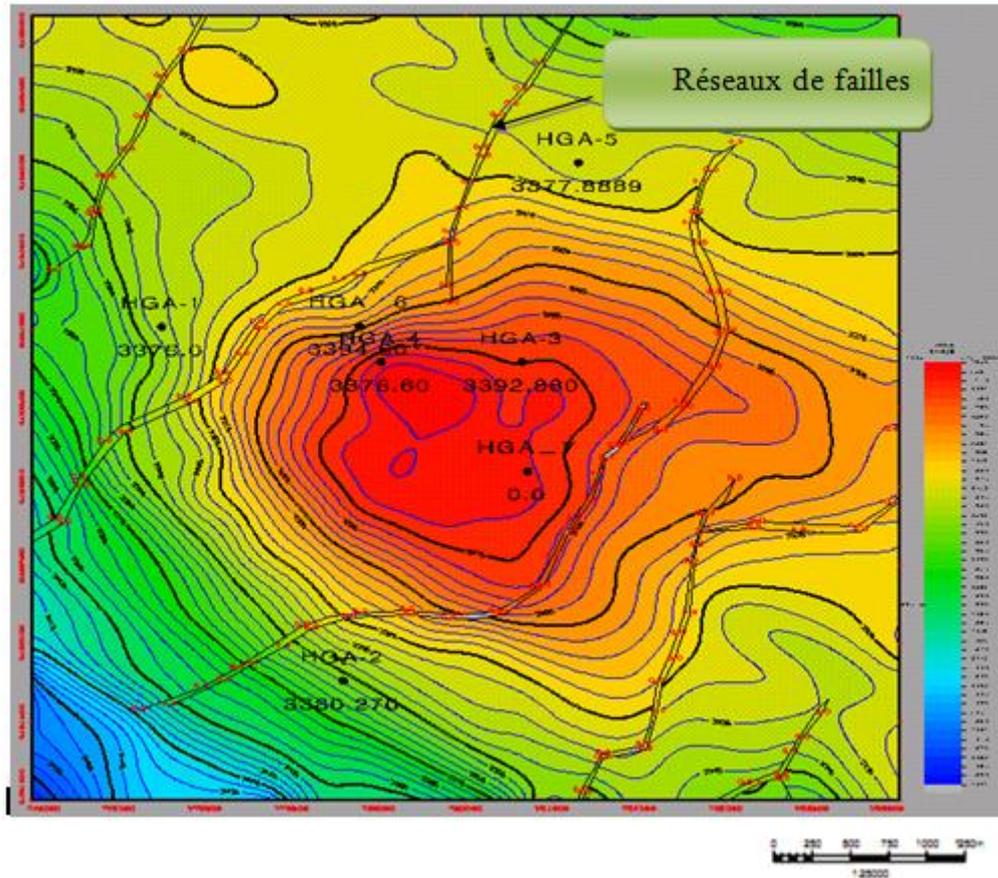


Fig.I.13 : Carte structurale au toit du cambrien (Ri, Ra), (documents interne inédit).

La structure de Hassi Guettar se situe dans le prolongement Sud et Sud-ouest du champ de Hassi Messaoud. Elle se présente sous forme d'un horst entaillé par un réseau de failles anciennes du socle (de direction NW-SE et NE-SW). Elles sont héritées des événements antéhercyniens ayant joué ultérieurement.

La zone de Hassi Guettar a été affectée par phase distensive cambro- ordovicienne, expliquant ainsi les faibles variations d'épaisseur des argiles d'El Gassi et la mise en place des roches éruptives. (Aouimer .,2004-2005).

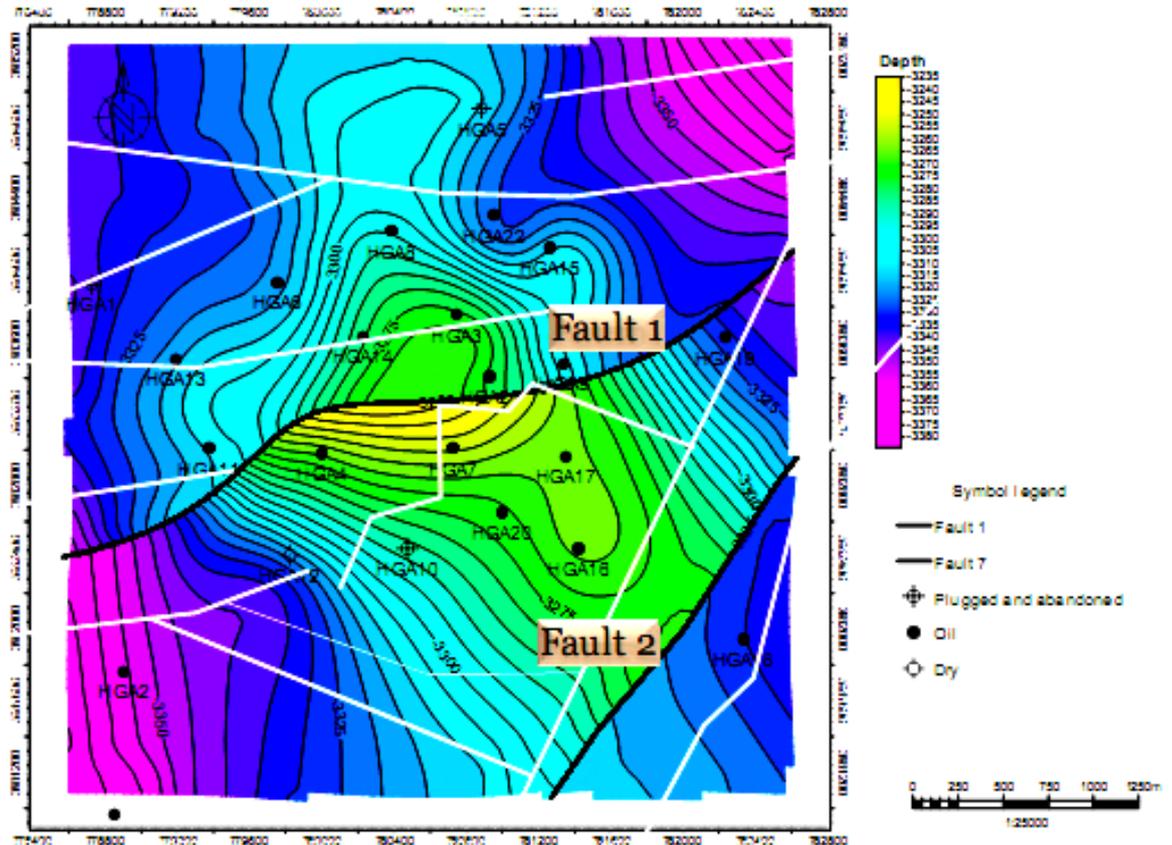


Fig.I.14 Carte structurale de HGA. (Document interne inédit).

IX. Evolution géodynamique

Les mêmes phases tectoniques ont agit sur Hassi Messaoud et HassiGuettar :

➤ LA PHASE PANAFRICAINNE (650 MA)

C'est une phase compressive de direction Est-Ouest, due a la collision continentale entre le craton Ouest Africain rigide et le bloc Est Africain plastique (Bertrand et.R.Caby .1978).provoquant une tectonique cassante, représentée par un réseau de failles de directions Nord-Est Sud-Ouest.

suivie d'une érosion intense qui s'est installée jusqu'au cambrien conduisant a la formation d'une surface de pénéplanation appelée surface infra-tassilienne cette pédiplaine marque le début d'une histoire cratonique du Sahara.

Des mouvements distensif de direction Nord-Ouest –Sud-Est interviennent au cambro-ordovicien ; qui sont à l' origine de l'étirement de la croute continentale suivie d'une subsidence tectonique et plus tard thermique

Chapitre I

Cette distension provoque un jeu de faille normale (Nord- Est Sud-ouest) préexistant dans le socle accompagnée de volcanisme (BEICIP, Franlab. 1979)

➤ **La distension cambro-ordovicienne**

Les séries Cambro-ordoviciennes présentent des caractères d'instabilité tectoniques matérialisées par des variations d'épaisseur et la présence de passées et coulées volcaniques intercalées dans les grés du Cambrien et les argiles d'El Gassi (Boudjema..A., 1987) Cette distension serait à l'origine de l'étirement de la croûte continentale, accompagnée de subsidence tectonique et, plus tard, thermique.

➤ **La phase caradocienne** :(Phase de compression taconique)

C'est une phase de compression traduite par la formation de plis d'axe Nord-Sud et par le soulèvement du bouclier Réguibat (Eglab) et Targui (Hoggar), suivi d'une érosion pouvant atteindre le socle.

➤ **La phase de compression calédonienne (~400 MA)**

Cette phase tectonique a eu lieu entre la fin du Silurien et le début du Dévonien. Elle est accompagnée par un soulèvement général avec exondation d'une grande partie du Hoggar et de ses parties méridionales (Boudjema.A., 1987) Elle est marquée aussi par l'absence de sédiments dévoniens et caractérise toute la surface de l'axe structural d'El Biod.

➤ **La phase hercynienne : (~225 à 250 MA)**

D'après (Boudjema.A., 1987) Les mouvements Hercyniens se subdivisent en deux phases majeures.

• **Les mouvements hercyniens précoces**

Ces mouvements se résument en une phase tectonique compressive (N040°) dite phase « Viséenne » (Boudjema.A., 1987) Cette phase tectonique a causé l'individualisation de certaines structures appuyées sur des accidents orientés NW-SE, parmi lesquelles : Zarzaitine- Ifeane, Dôme à Collénias, etc...

Les mesures de stries effectuées sur le terrain dans les grés du Khenig (Dévonien supérieur) indiquent une direction de serrage N040 compatible avec la formation des structures précédentes. (Boudjema.A., 1987)

Chapitre I

Cette direction N040 a été aussi signalée dans les calcaires à Orthocères du Dévonien inférieur (Muraille de Chine), de la chaîne d'Ougarta, Cette phase serait aussi responsable de la formation des plis de cette chaîne. » (Boudjema.A., 1987)

- **Les mouvements hercyniens majeurs**

Le schéma structural actuel de la région est le résultat des contraintes compressives hercyniennes de direction Nord 120°. Des contraintes compressives de direction Est 120°, perpendiculaires aux accidents majeurs, sont responsables des bombements NE-SW et des jeux de failles de même direction dont résultent les horsts et les grabens.

Ces contraintes sont suivies d'une phase de relaxation qui a mis en place les grabens triasiques.

- **LA PHASE AUTRICHIENNE (~110MA)**

Les premiers mouvements de cette phase marquent des phénomènes d'inversions tectoniques détectées au Lias avec un maximum à l'Aptien.

cette phase est sub-synchrone à l'achèvement de la mise en place des hydrocarbures à Hassi Messaoud.

- **LA PHASE ATLASIQUE (EOCENE)**

C'est une phase compressive de direction N.NE - S.SW, d'âge fini Eocène début Miocène. Elle se traduit par une érosion locale des terrains éocènes et une lacune du Miocène.

Postérieure à la formation des hydrocarbures, cette phase a probablement donné naissance à des barrières de perméabilité dues au décalage des niveaux réservoirs, favorisant ainsi la création de fractures colmatées qui ont permis la détérioration des caractéristiques pétrophysiques du réservoir.

Les Paléo vallées hercyniennes (Fig I.15)

D'après des études précédemment faites, il a été mis en évidence l'existence de paléo vallées qui sont caractérisée par un remplissage plus épais au tiras, avec une série éruptive à la base, elles sont contrôlées par les niveaux d'érosion, plus profond au niveau des axes par apport à l'interflancs.

Chapitre I

Six paléo vallées ont été détecté au champ de Hassi Messaoud, dans certain cas ,les ancs de ces paléo vallées forment des falaises et canyon étroits avec un tracé pouvant être parfois méandriforme.

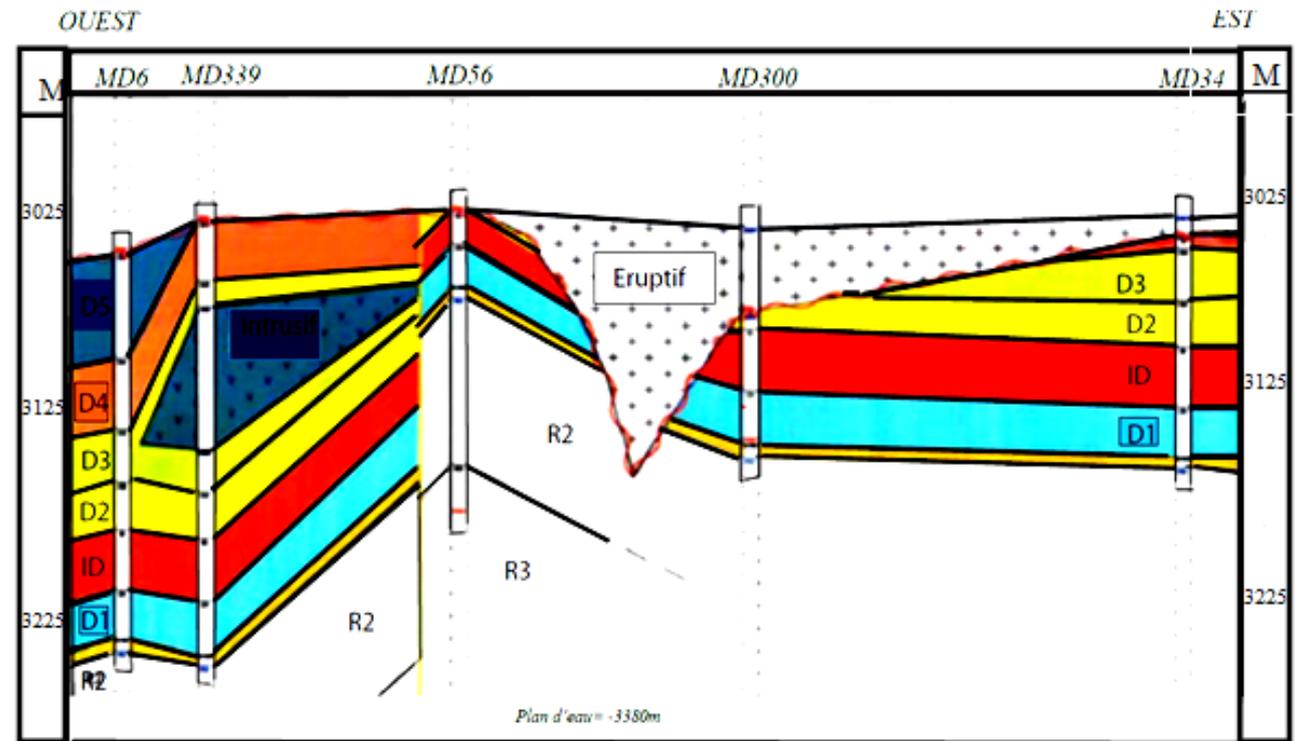


Fig1.15: Exemple de vallée hercynienne du champ de Hassi Messaoud (Yahiaoui. l.2010).

Chapitre I

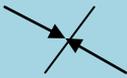
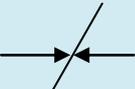
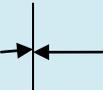
ERE		Epoque D'intervention Maximale	Noms de phases	Nature et Direction Des Phases	Effet sur les jeux des failles
Cénozoïque	NEOGENE	Miocène	Alpin tardif Tertiaire Tardif N.0.60	N.0.60 	Jeu en compression des accidents N.0.60
	PALEOGENE	Eocène	Alpin Moyen Eocène N.160	N.160 	Jeu en compression des accidents N.160
Mésozoïque	Craïacé		Phase Autrichienne	N.0.90 	Jeu en inverse sur les Accidents N.0.90
	Jurassique				
	Trias		Alpine Précoce		
	Permien		Phase Hercynienne Tardive	N.120 	Jeu en inverse sur les failles NE-SW
Paléozoïque	Carbonifère	Visien	Phase Hercynienne Précoce	N.040 	Jeu en inverse sur les failles NW-SE
		Supérieur	Phase Frasnien	NW-SE 	Jeu en failles Normale sur les failles NE-SW (variations de facies et d'épaisseur) Volcanisme
	Moyen				
	Inferieur		Phase		
	Silurien		Calédonienne	E.W ? 	Jeu en inverse sur les failles N-S (Erosion sur les moles subméridien)
	Ordovicien				
	Cambrien		Phase Panafricaine Tardive	E.W ? 	Tectonique cassante réseau NE-SW et NW-SE (caractérisation du Sahara central)

Tableau4 :Fig. I-16 : schéma structural interprétatif montre l'effet des plus importantes phases tectoniques sur le Sahara Algérien d'après (Boudjema et Beicip).

X Aspect pétrolier

L'huile de Hassi Guettar provient des argiles radioactives du Silurien. Elle présente les mêmes caractéristiques que celle du champ de Hassi Messaoud ; sa migration s'est faite à travers la surface de discordance hercynienne et/ou les zones de développement des grès triasiques, qui ont drainé l'huile de la roche mère Silurienne vers les roches réservoirs du Cambro-ordovicien. Cette migration est accentuée grâce à un pendage favorable vers le Sud. Le drainage latéral devient parfois vertical suivant les plans de failles. (Daoud F.Z., (1996)

X.1. Les roches réservoirs

X.1.1 Le Cambrien

Il est constitué par les grès de Messaoud, représentés par les unités R_i , R_a et la zone des alternances

- **L'unité R_a**

Elle est formée par des grès mal classés de taille supérieure à 1mm. C'est une succession de lits millimétriques grossiers et fins avec de bons paramètres pétro physiques : porosité de 4 à 18% et la perméabilité de 60 à 100/md.

- **L'unité R_i**

C'est le réservoir principal dans la région de Hassi Guettar constitué de grès fins à moyens, bien classés, siliceux à silico-quartzitiques, présentant de faibles caractères pétro physiques.

Parfois améliorés sensiblement par la transformation du ciment argileux, illite en kaolinite permettant un gain de porosité.

- **La zone des alternances**

Elle assure une bonne production, c'est un niveau fortement altéré, caractérisé par une alternance de bancs d'argile indurée et de quartzite fin et isométrique.

Chapitre I

- **Les roches couvertures**

Les séries argilo salifères du Lias et à des degrés moindres la série inférieure et les roches éruptives du Trias, jouent le rôle de couverture et assurent une étanchéité pour les Réservoirs ordoviciens ; quant aux réservoirs cambriens, c'est l'épaisse série des argiles d'El Gassi qui leur assure une étanchéité parfaite.

- **Les roches mères**

Comme dans toute la plate forme saharienne et en particulier dans le champ de Hassi Messaoud, les argiles noires radioactives siluriennes constituent la roche mère des réservoirs de Hassi Guettar. Ces argiles riches en matières organiques, de nature amorphe et d'origine marine, sont absentes dans la structure de Hassi Guettar à cause de l'érosion hercynienne.

Le remplissage des réservoirs de Hassi Guettar en hydrocarbures s'est fait, par migration grâce à un pendage favorable vers le Sud, à partir des roches mères siluriennes préservées au Sud de Hassi Messaoud et dans les bassins avoisinants tel qu'Oued Mya, Mouydir et Berkine. (Daoud F.Z., (1996).

- **Types de pièges**

Les pièges rencontrés dans la structure de Hassi Guettar sont essentiellement liés à des horsts (résultat d'une activité tectonique complexe).

- **Migration des hydrocarbures**

Le remplissage des réservoirs de Hassi Guettar en hydrocarbures s'est fait par migration grâce à un pendage favorable vers le Sud, à partir des roches mères siluriennes préservées au Sud de Hassi Messaoud et dans les bassins avoisinants tel qu'Oued Mya, Mouydir et Berkine. (DAOUD.A-1996)

La migration primaire s'est effectuée au sein du Silurien, ensuite à travers les niveaux gréseux triasiques au contact de la discordance hercynienne (migration secondaire).

Les réservoirs Cambro-ordoviciens affleurant à la discordance hercynienne sont alimentés à partir des grés triasiques et la surface d'érosion qui sont en « up dip » au Nord et Nord-Ouest par rapport au chemin de migration.(UP DIP: Top inclinaison).

Chapitre II : Sédimentologie

I. Introduction

La reconstitution des environnements de dépôt d'une zone d'étude, nécessite une approche sédimentologique comprenant plusieurs étapes, telle que la description détaillée des carottes basée essentiellement sur la lithologie, les structures sédimentaires et les critères biologiques (fossiles et bioturbations).

Cependant, n'ayant pas pu effectuer une mission de description de carottes à Hassi Massoud, nous avons réalisé une approche sédimentologique basée sur les photos de carottes disponibles des puits décrits (documents Sonatrach/Division Laboratoire).

II. Rappels et généralités

II.1. Notion de faciès

Un faciès est caractérisé comme étant une masse de roche sédimentaire qui peut être définie et distinguée des autres par cinq paramètres : la géométrie, la lithologie, la paléontologie (fossiles), les structures sédimentaires et le type de paléo courant, (In O .Serra. 1985).

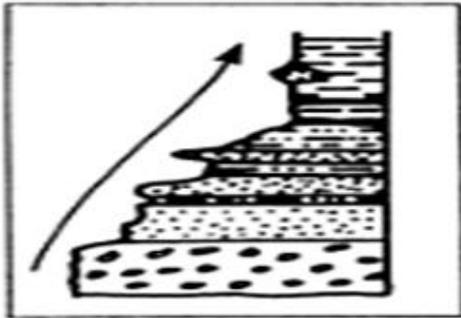
II.2. Notion de séquences

C'est une succession lithologique, formant une suite naturelle sans interruptions importantes, arrangées dans un ordre logique défini et limité par des discontinuités, on compte deux types de séquence :

- Séquence positive : (*Fig.II.1*) présente une évolution grano –décroissante, évoluant des particules les plus grossières au plus fines vers le haut
- Séquence négative :(*Fig.II.1*) présente une évolution grano-croissante vers le haut

II.3. Echelle ou ordre séquentiel

Certains auteurs Delfaud (1974-1975) et Kazitani(1986) « tableau II.2» reconnaissent plusieurs types de discontinuités classées dans une typologie scalaire, selon un ordre croissant, chaque ordre correspond à un phénomène géologique qui reflète des mécanismes sédimentaires simples ou complexes



Séquence positive
Granodécroissantes



Séquence Négative
Granocroissante

Fig.II.1: Séquences lithologiques en série argilo- gréseuse (rapport interne inédit).

Chapitre II

<i>Séquentiel</i>	<i>Dénomination</i>	<i>Anatomie et échelle des facies</i>	<i>Sédiments</i>	<i>Mécanismes</i>	<i>Discontinuités</i>
0	<i>Lamine</i>	<i>Feuillet micro facies</i>	<i>Processus sédimentaire Feuillets stromatolitiques, Valvaire</i>	<i>Phénomènes météorologiques ou climatologiques de courtes durées, marée</i>	<i>Sans discontinuités</i>
1	<i>Banc</i>	<i>Macro facies</i>	<i>Milieu de sédimentation intertidal</i>	<i>Hydrodynamisme aérodynamisme chimisme</i>	<i>Joints, diastèmes</i>
2	<i>Rythme</i>	<i>Nappe</i>	<i>Environnement : plateforme PFI</i>	<i>Mécanique des nappes sédimentaires</i>	<i>Surface durcie, perforée ravinement</i>
3	<i>Membre</i>	<i>Méso facies</i>	<i>Situation dans l'aire de sédimentation</i>	<i>Variation de la mécanique des nappes sédimentaires</i>	<i>Surface durcie, ravinement, ferruginisation</i>
4	<i>Formation</i>	<i>Corps</i>	<i>Type de sédimentation delta</i>	<i>Mécanique du corps sédimentaire</i>	<i>Surface durcie ferruginisée condensation de faune placage de faune plagebréchique ou conglomératique, ravinement</i>
5	<i>Série</i>	<i>Méga facies</i>	<i>Grands litho facies : silicoclastique</i>	<i>Dynamique du bassin, subsidence</i>	<i>Discordance cartographique poly zone de condensation</i>
6	<i>Groupe</i>	<i>Bassin</i>	<i>Grands types sédimentaires : molasses, flychslithogénites</i>	<i>Variation des paramètres océanologiques</i>	<i>Discordances, vacuité</i>
7	<i>Faisceau</i>	<i>Giga facies</i>	<i>Type de remplissage : géosynclinal, de plateforme mobile</i>	<i>Destruction et reconstitution de Pangée</i>	<i>Discordance, magmatisme métamorphisme</i>
8	<i>super faisceau</i>	<i>Croute</i>	<i>Evolution du remplissage : géosynclinal a la plateforme stable</i>	<i>Constitution crustale réaménagement géochimique du manteau supérieur</i>	<i>Epaississement de la tectosphere, trappes, vacuité à l'échelle des ères</i>

Fig. II.2: Tableau 5 : montre les caractères des ordres séquentiels (d'après Kazi-Tani., 1986).

II.4. L'analyse séquentielle

L'analyse séquentielle peut être comprise comme une méthode d'organisation de l'information sédimentaire, un découpage qui permet d'individualiser des motifs séquentiels.

Des paquets de facies organisés et répétitifs, (Delfaud.J, 1974).

II.5. L'analyse électro séquentielle

C'est une méthode diagraphique introduite pour compléter le découpage séquentiel, quand les puits ne sont carottés que sur des intervalles limités, elle permet la reconnaissance de nombreux phénomènes géologiques : cycle de dépôt, environnements et discontinuités sédimentaires

II.6. Diagraphies

Les diagraphies sont des enregistrements continus des variations physiques (densité, porosité) des roches traversées par un forage ,l'application des diagraphies a la géologie n'a cessé de se développer avec l'apparition de nouveaux procédés d'enregistrement et de techniques d'interprétations plus élaborées.

II.6.1. LE GAMMA RAY

C'est un enregistrement de radioactivité gamma naturelle des formations. Les seuls éléments radioactifs ayant une concentration notable dans les matériaux naturels sont le potassium, l'uranium et le thorium.

Il existe quatre types de formes d'après les ingénieurs de SHELL1958.,) *Fig.II.3(a)*, cependant trois types de formes sont souvent rencontrés :

- **La forme en cloche** : elle correspond à une séquence positive et caractérise généralement les dépôts de chenaux fluviaux.
- **La forme en entonnoir** : elle correspond à une séquence négative et le front de delta progradant ou les dépôts de barres littorales.
- **La forme cylindrique** : elle correspond à une séquence neutre et caractérise le domaine de plage, les lits de rivières anastomosée et le domaine de dunes éoliennes (SERRA., 1987).

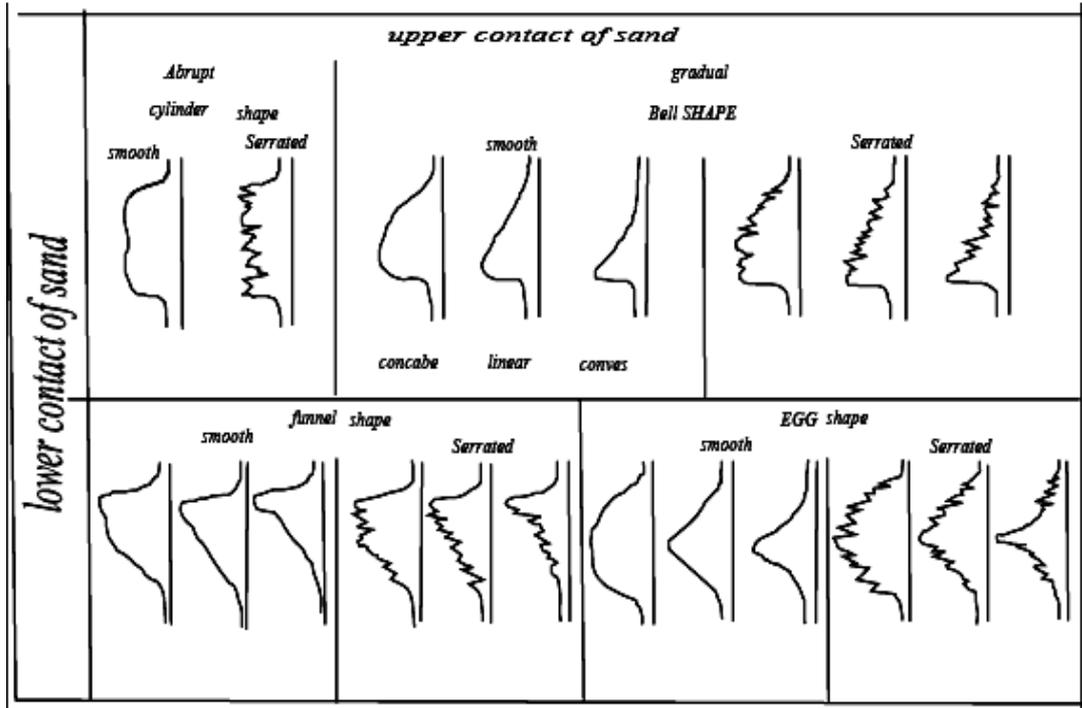
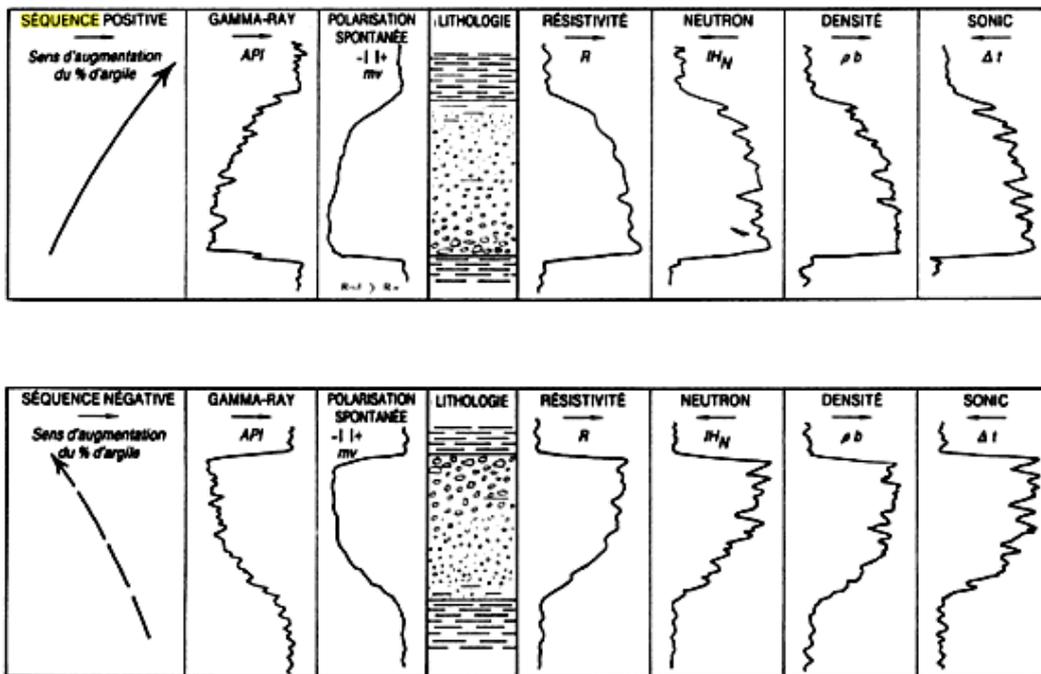


Fig. II.3(a) Classification de SHELL. (IFP, 1986)



FigII.3(b) : image diagraphique théorique de séquences positives et négative (cas d'un sable plus résistant et moins poreux que l'argile). (IFP, 1986).

III. Rappel sur les environnements de dépôts

III.1. Les dépôts fluviaux

Regroupant les dépôts qui s'accumulent par ruissèlement de l'eau sur le continent .ce type de sédimentation est influencé par plusieurs facteurs (le climat, la topographie, la végétation, la nature du substratum, le contexte structural et l'apport sédimentaire).

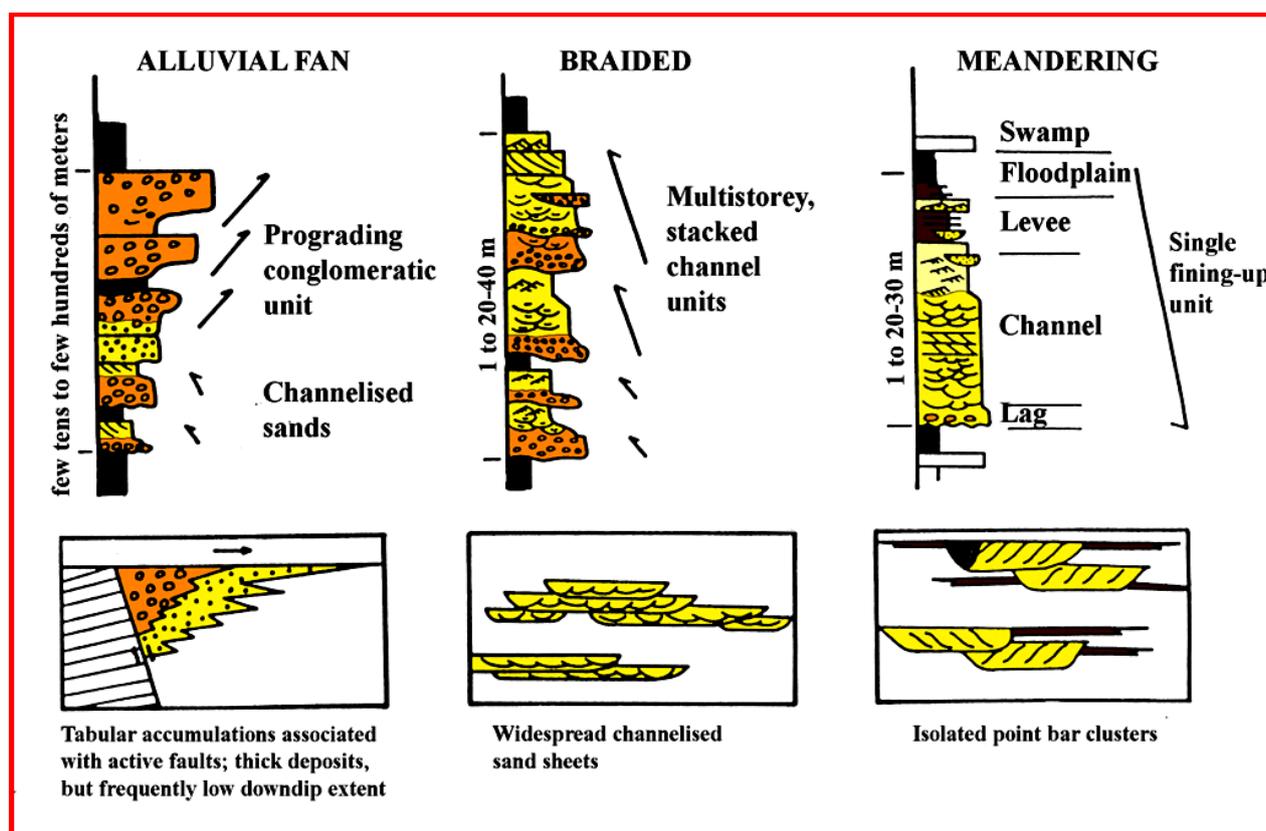


Fig. II.4 : Profil des environnements de dépôt (Rapport interne inédit).

Les dépôts fluviaux anastomosés :

Ils se forment dans les zones à fort gradient topographique et /ou lorsque le débit est très variable. Morphologiquement ces fleuves se distinguent par une faible sinuosité du lit majeur par la présence d'un réseau complexe de chenaux séparés par de nombreuses barres ; la largeur des fleuves est souvent importante (peut atteindre quelques kilomètres), avec une profondeur fréquemment faible (de 5 à 10m). Ces fleuves caractérisent par des régimes de crues brutales, ce qui s'observe dans les facies.

Chapitre II

Le dépôt de ce style de fleuve est ordinairement grossier (sables et graviers), avec des figures sédimentaires de forte énergie et nombreuses surfaces d'érosion et un rapport sable/argile supérieur à 1, faible pourcentage de silt.

Généralement deux types de dépôts peuvent se distinguer dans les systèmes de fleuve anastomosé :

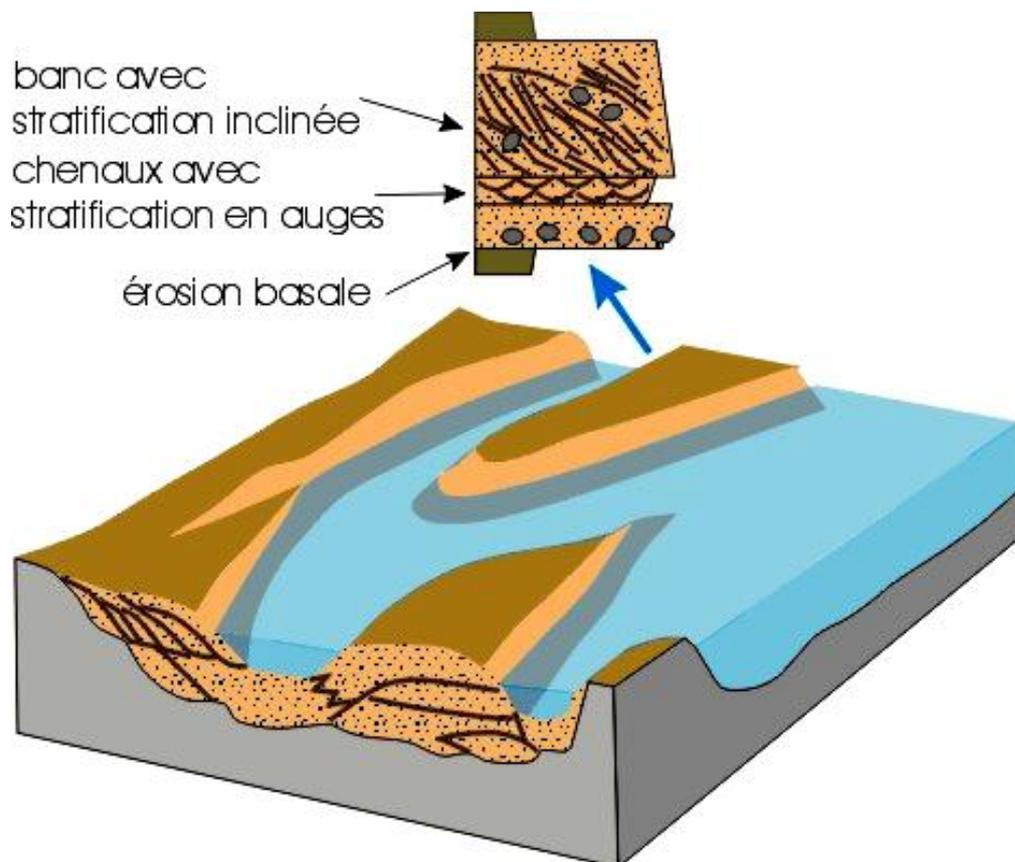


Fig II.5 : schéma d'un système fluvial à chenaux en tresse et exemple d'une séquence de comblement.

- **Les chenaux :** se marquent par des séquences à base érosive et des dépôts grossiers. L'épaisseur de ces séquences varie de moins de 1 mètre à moins de 10 mètres.
- **Les dépôts de barres :** forment le sommet de séquence et représentent la partie sommitale du remplissage des chenaux. Ils sont constitués de sédiments plus fins, sable fin à grossier, des stratifications souvent obliques de type tabulaire, des rides et des laminations parallèles, les dépôts sont souvent multilatéraux avec des épaisseurs jusqu'à 10 à 30 mètres et des extensions latérales fréquemment très grandes, pouvant atteindre des dizaines de kilomètres.

IV. Le système littoral

Ce système regroupe tous les environnements qui se situent dans la zone transitionnelle entre le domaine fluviatile et le domaine marin franc « fig II.5 ».ils sont conditionnés par un nombre important de facteurs : quantité et nature du sédiment arrivant à la mer, caractéristiques du bassin marin récepteur (notamment la salinité relative des eaux, courants, morphologie, bathymétrie, taux de subsidence, activité tectonique, fluctuations du niveau de la mer.

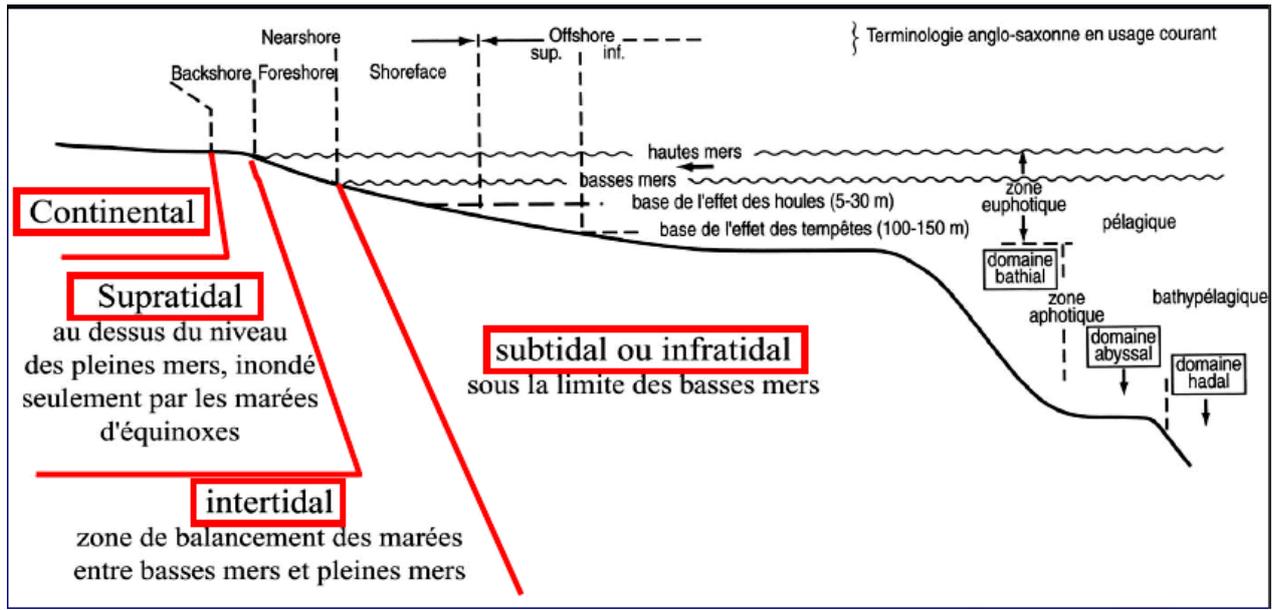


Fig.II.6 : unités morphologiques typiques d'un profil de plage sableuses modifié (CHAMLEY., 1988).

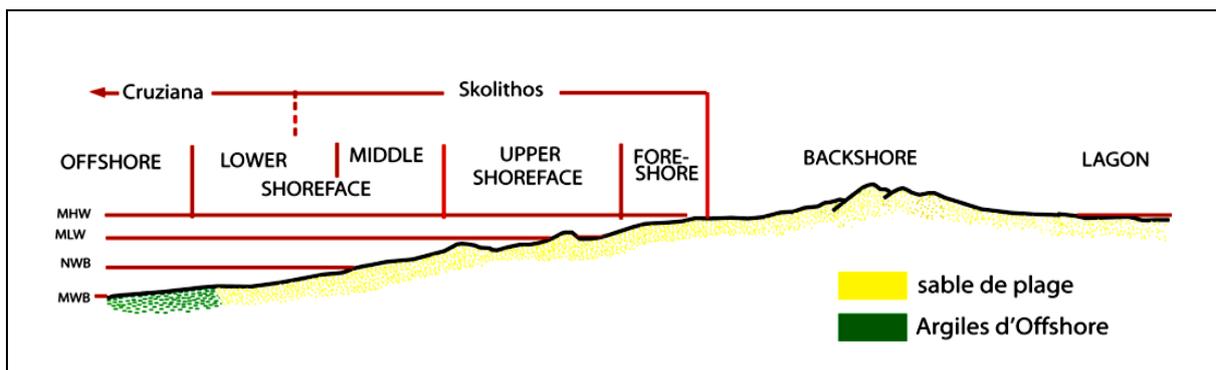


Fig. II-7: Section transversale depuis la plaine côtière jusqu'à l'Offshore, avec les Ichnofaciès de Cruziana et de Skolithos.

V. La géomorphologie du littoral

Le domaine littoral avec plage comprend plusieurs zones (*Fig. II.6*)

- a) **Cordon dunaire** : la limite entre cette zone et la plage correspond au niveau marin atteint lors des marées exceptionnelles et les marées d'équinoxe.
- b) **Backshore** : ou encore l'arrière plage, il correspond à la zone supratidale, c'est la zone émergée, souvent formée de dunes éoliennes.
- c) **Foreshore** : ou l'avant plage, correspond à la zone intertidale, située entre le niveau de la marée haute et celui de la marée basse.
- d) **Shoreface** : ou zone pré littorale, correspond à la zone s'étendant depuis le niveau de la marée basse jusqu'à la zone de base d'action des vagues, il est subdivisé en :
 - **UpperShorface**: C'est une zone à haute énergie, caractérisée par une sédimentation relativement grossière, à structures obliques à entrecroisées à petite et /ou grande échelle, les bioturbations sont rares. Elle est composée surtout de bioturbation verticale.
 - **Middle Shorface**: C'est une zone à énergie modérée caractérisée par une sédimentation fine, laminés à rares rides vers le sommet et présente ainsi une intense bioturbation, les structures sédimentaires sont essentiellement des flaserbedding.
 - **LowerShorface** : caractérisée par une alternance d'argile noirs et de grés fins, où les bioturbations deviennent fréquentes. Les structures sédimentaires sont essentiellement des litages et stratifications en mamelon (Hummocky cross stratification HCS).
 - **Zone de transition** : correspond à la limite entre les sables littoraux et les argiles du large ou offshore. Elle est caractérisée par les dépôts de silt argileux à bioturbation modérée.
- e) **Offshore** : il correspond au domaine marin ouvert (le large). C'est une zone à faible énergie, elle est caractérisée par une sédimentation fine, argileuse ou argilo-silteuse. les structures sédimentaires sont rares à absentes.

VI. Les structures sédimentaires rencontrées dans les facies carottés du cambrien de HassiGuettar

Pour préciser les conditions hydrodynamiques de transport des particules (énergie et type de courants) pour déterminer les environnements de dépôts il faut reconnaître les structures sédimentaires observées sur les carottes, on a deux familles de structures sédimentaires.

VI.1. Les structures liées à l'activité des organismes

- **Les Tigillites**

Les Tigillites sont liées au genre scolithes (SKOLITHOS HALDMANE ., 1840), d'après la majorité des auteurs leur origine est animale. Elles sont présentes dans les grés et les argiles sous forme de tubes verticaux nettement bien développés, fins, centimétriques, généralement remplis de sédiments plus fins ou plus grossiers que celui qui les environne.

Ces structures caractérisent un milieu où l'action des vagues se fait ressentir, c'est un milieu marin peu profond.

VI.2. Les structures sédimentaires liées à l'action des courants

- **Stratifications horizontales :**

Dans les grés et les silts la formation de ces stratifications est due à des courants tractifs en milieu de moyenne à haute énergie (upper fiat bed) (*Fig.II.7*) Pour les sédiments plus fins (argiles) elle se produit sans mouvements de particules, et cela par simple décantation (lower plane bed) ; elles indiquent un milieu de dépôts calme.

- **Les stratifications obliques ou entrecroisées**

Les plans de ces stratifications sont orientés suivant les directions déterminées par les courants dominants au moment du dépôt ; ces plans sont obliques par rapport à l'horizontale. C'est le transport d'un sable par saltation et roulement en milieu moyennement agité suite à l'action des vagues, ce phénomène est rencontré dans les facies de plage et dans les talus deltaïques

- **Les stratifications lenticulaires (lenticular-bedding)**

Lorsqu'une zone de dépôt est soumise périodiquement à un courant porteur de sable, les rides vont être isolées et vont former au sein d'un sédiment argileux des lentilles sableuses

- **Les flaser-bedding : (*Fig.II.8*)**

Ce sont des structures qui se forment par préservation entière ou partielle des lentilles boueuses dans les creux des rides sableuses, elles résultent de l'alternance des périodes d'activité de courant avec des périodes calmes (absence de courants) L'existence de ces structures montre une influence tidale, on les retrouve dans les barres d'embouchures du front de delta

Chapitre II



HGA-3, 3560.45m à 3560.60 m

structure entrecroisées en auges



HGA-3, 3554.50m à 3554.91 m

Grès argileux à structures laminaires



HGA-3, 3489.35m à 3489.62 m

Argile noire silteuse plus ou moins bioturbés



HGA-3, 3476.50m à 3476.73 m

Grès massif intensément bioturbé



HGA-3, 3486.20 m à 3486.40 m

Facies hétérolithique bioturbé



HGA-3, 3495.50 m à 3495.70 m

Grès à stratification horizontales
Perturbé par la bioturbation de milieux



HGA-3, 3494.77 m à 3494.94 m

Grès à stratification ondulées en ride de vague

Planche A : les figures sédimentaires rencontrés dans les puits HGA1 et HGA3.

LPx2 Côte 3454,74m HGA-3

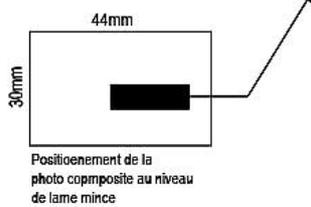
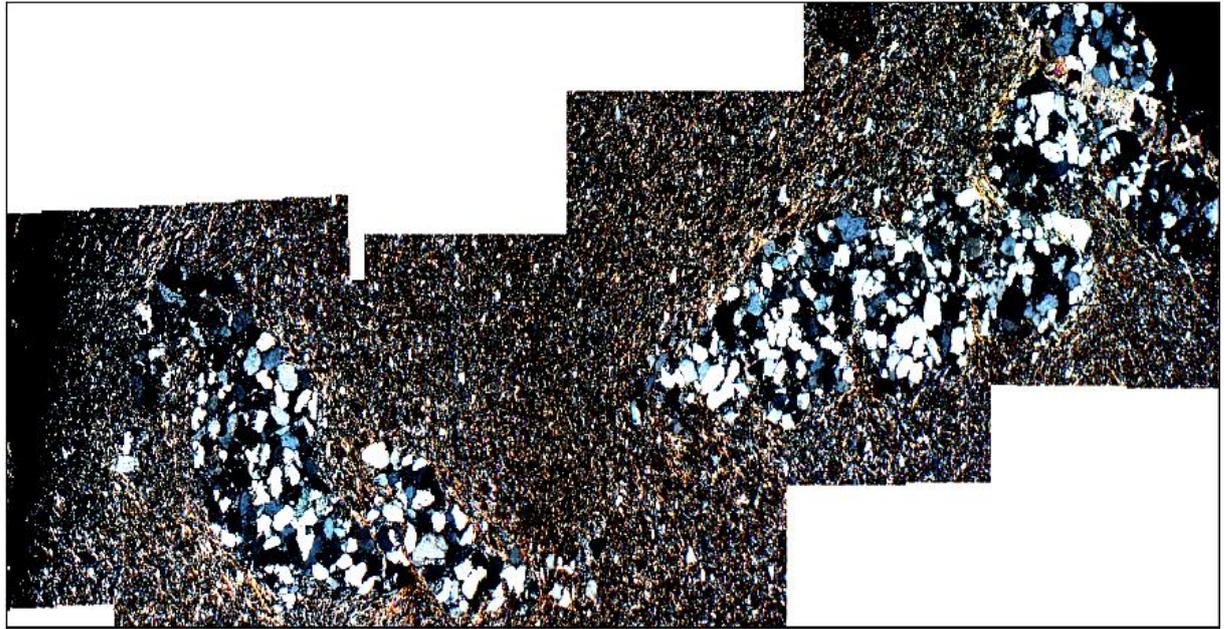


Planche B: Photo composite d'un terrier probablement (SKOLITHOS) dans une matrice argileuse

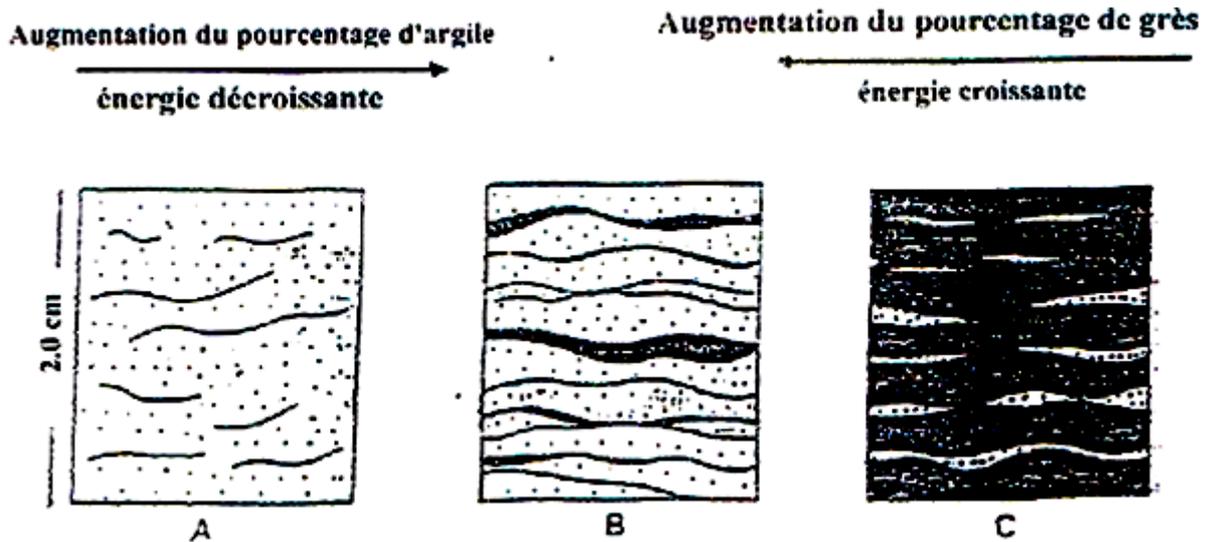


Fig. II.8 : Les divers types de litage, en flaser, ondulé et lenticulaire, rencontrés dans les alternances argilo gréseuses

- Litage en flaser (flaser bedding)
- Litage (wavy bedding)
- Litage lenticulaire (lenticular bedding)

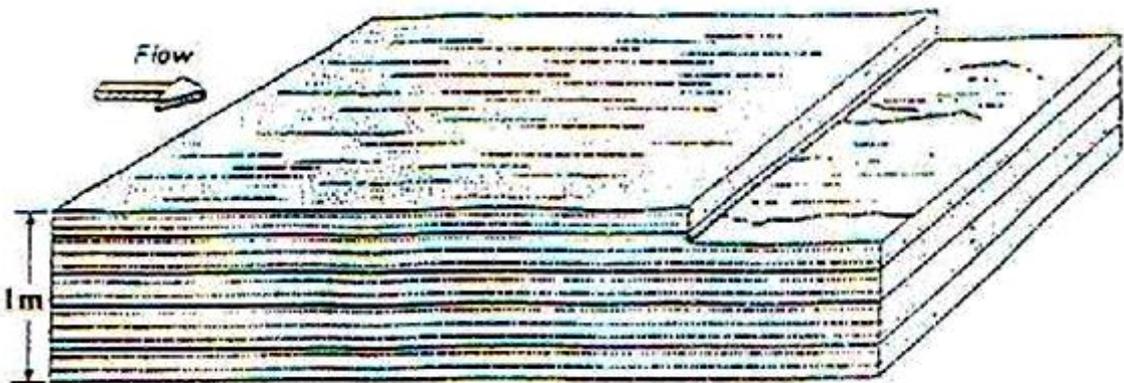


Fig : II.9 : Litage Horizontal produit par les lits plats superieur (UPPERFLAT BED) (HARMS. Et Al., 1975).

VII. Description lithologique des puits HGA-1 et HGA-3, HGA-4

La description a été faite principalement sur la lithologie .les structures sédimentaires les traces fossiles et les autres caractéristiques permettant de remonter aux environnements de dépôts

VII.1. Puits HGA-1

Caractérisé pas un ensemble sédimentaire essentiellement gréseux à granulométrie plus ou moins grossière avec quelques niveaux silteux argileux à structures entre croisés qui indique un milieu fluvatile dont l'épaisseur est de 40 m

En remontant dans la série on retrouve un ensemble gréseux avec des stratifications obliques à quelques niveaux silteux argileux à Tigillites et des wavybedding(structures ondulés) qui indique un milieu fluvio-marginal dont l'épaisseur est de 37 m

L'intervalle (3523-3510) n'a pas été carotté.

En remontant dans la série on retrouve un ensemble gréseux avec une intense bioturbation a passées silteuses et argileuses indiquant un milieu marin ou UpperShorface dont l'épaisseur est de 15m

Vers la fin de la série on trouve des niveaux argileux silteux bioturbés avec des lentilles gréseuses qui indiquent un milieu du middle shore face dont l'épaisseur est de 3m.

VII.2. PUITES HGA-3

Ensemble sédimentaire essentiellement gréseux a granulométrie plus ou moins grossière, présence de structures entrecroisées indiquant un milieu fluvatile sur une épaisseur de 11m

En remontant dans la série, un ensemble sédimentaire gréseux avec une influence marine qui n'est pas assez visible elle devient franche par la suite avec l'apparition de passées argileu-silteuses a wavy bedding.

Cet ensemble sédimentaire présente les caractéristiques d'un environnement fluvatile-marginal dont d'épaisseur est de 49m

Vers le haut de la série on retrouve un ensemble sédimentaire gréseux avec une intense bioturbation (ces bioturbations indiquent un milieu marin upperShoreface) dont l'épaisseur est de 59m

Vers la fin de la série il ya des lentilles gréseuses fortement bioturbés avec des passées silteuses argileuses marqué par des structures horizontales qui indique un milieu marin (middle Shoreface) dont l'épaisseur est de 5m.

VII.3. PUIITS HGA-4

Les séquences de ce membre sont granodécroissantes, constituées de grès beiges a bruns, moyens à grossiers, silico-argileux, a stratifications obliques à entrecroisées, et des films d'argiles noires avec la présence de fissures subverticales ouvertes. Les structures sédimentaires rencontrées dans cette unité sont identiques à celle de HGA-1 et HGA-3.

Interprétation du Gamma Ray

■ L'unité RA (3489.5-3529m)

La réponse diagraphique du gamma ray est cylindrique avec des pics accentués

Cette unité correspond à un membre de 39.5 m d'épaisseur.les séquences de ce membre sont granodécroissantes constituées de grès beiges a bruns, moyens a grossiers, silico-argileux, a stratifications obliques a entrecroisées, et des films d'argiles noires avec la présence de fissures subverticales ouvertes.

■ Unité Ri (3419.61-3489.5m)

Le passage du membre Ra au membre Ri se fait a la profondeur 3489.5 m.il est marqué par un changement dans la réponse du gamma ray : passage d'un pic très radioactifs vers un pic moins radioactifs.

L'examen de la diagraphie de ce réservoir montre une évolution cylindrique dentelée avec des contacts inférieurs et supérieurs abrupts et la présence de plusieurs pics très radioactifs

Cette unité correspond a un membre de 69.89 m d'épaisseur .les séquences de ce membre sont granodécroissantes et sont formées de grés beiges a bruns, fins a moyens rarement gossiers, silico-argileux, massifs a Tigillites et des fissures subverticales ouverte.

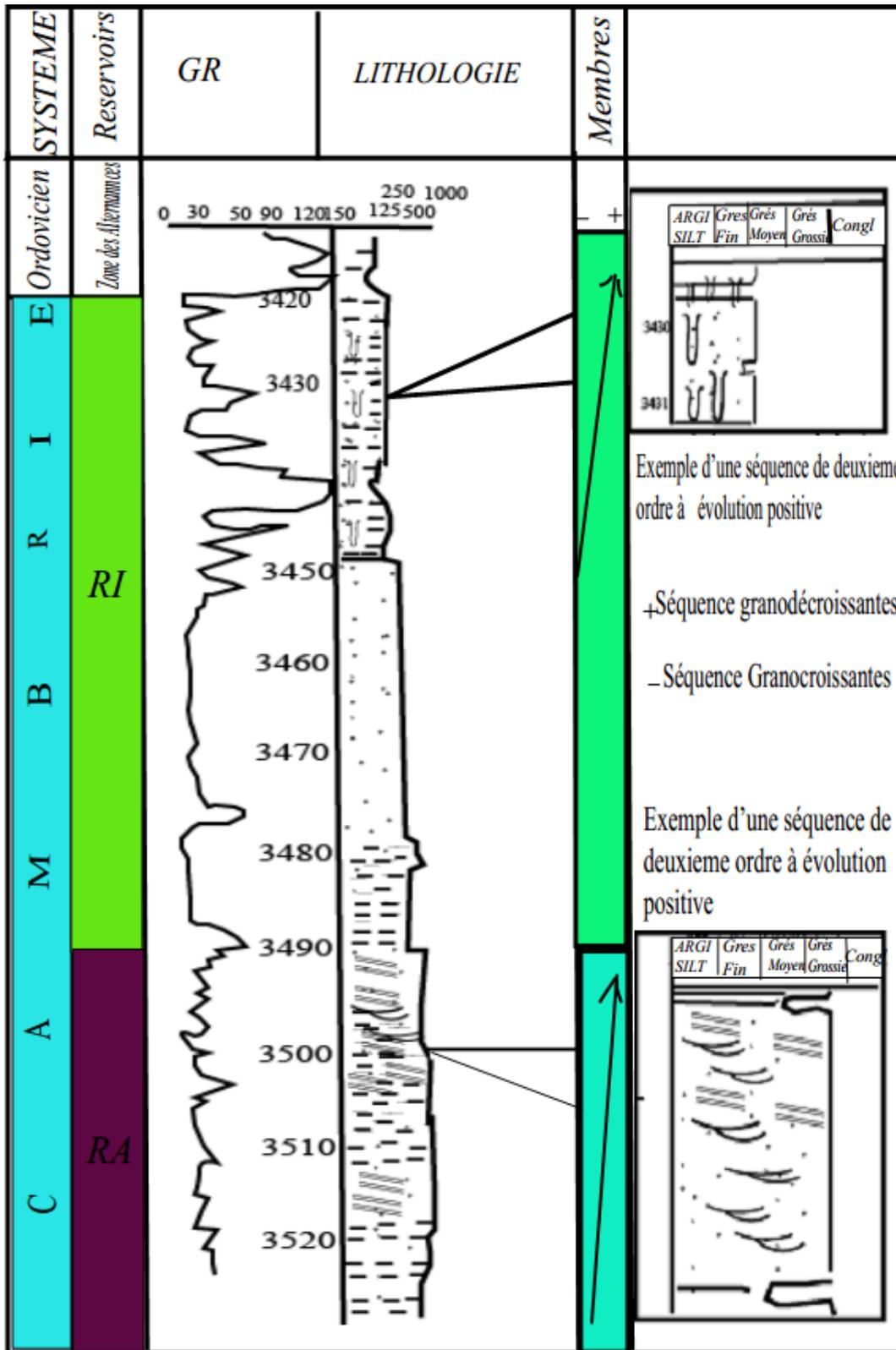


Fig. II.10 : log sédimentologique du sondage HGA-4.

VIII. Essai d'interprétation et corrélation selon les environnements de dépôts

La corrélation elle s'est faite entre le puits HGA-1 et HGA-3 par manque de données on n'a pas inclus le HGA-4.

L'étude des puits HGA1 et HGA3 nous a permis de voir la géométrie des corps gréseux a travers les deux puits et leurs variation d'épaisseur.

Les niveaux gréseux quartzitiques a structure sédimentaires entre croisées en auges avec présence de silts argileux a structures laminaire caractérisant un milieu fluvatile qui s'amincie dans le puits HGA-3.

La géométrie du cortège Gréseux s'épaissi du puits HGA-1 vers HGA3 caractérisant un milieu fluvio- marin (exprimer par les premières incursions marines a bioturbations avec des minces passées argileuses silteuses a stratifications en HSC (wavy bedding) .

on signale un intervalle qui na pas été carotté. [3523-3510].

Ensemble sédimentaires gréseux intensément bioturbés par une ichnofaune a caractère mono génique (tubes de skolithos) qui s'épaissi du puits HGA-1 vers le puits HGA-3 caractérisant un environnement marin ou (Upper Shoreface).

Au sommet des deux puits un facies marquer par des lentilles gréseuses a passés silteuses argileuses a bioturbations diverses témoignant d'un environnement marin (Middle-lower shoreface).

On conclue que La corrélation entre les deux sondages étudiés a été tenté pour comprendre la distribution latérale des réservoirs.

On a un maximum d'inondation MFS dans les deux sondages HGA-1 et HGA-3 (une MFS ce qui viennent après ce sont des argiles d'el Gassi.).

Nous constatons qu'en général nous avons un épaissement de niveaux argileux vers HGA3 et donc ce dernier est situé dans la partie la plus distale par rapport à HGA1

IX. Conclusion

L'objectif de cette étude sédimentologique, sur les réservoirs Cambriens du champ Hassi-Guettar à travers le sondage HGA-1, HGA-3 HGA-4 nous a permis de déterminer plusieurs environnements de dépôts, à partir de la description des carottes, basée sur la reconnaissance d'un certain nombre de faciès qui sont ensuite rassemblés en quatre (04) principales associations caractéristiques chacune d'un environnement de dépôts. On en distingue de bas en haut :

- Des grès quartzitiques grossiers à granules de quartz structures sédimentaires de types entrecroisés enauges témoignant d'une dynamique fluviale.
- Des grès quartzitiques à granulométrie moyenne, d'épaisseur pluridécimétrique et à quelques incursions marines (Skolithos de petite taille) séparés par des argiles silteuses
- Des grès quartzitiques marins peu profonds (Upper-shoreface) caractérisés par une granulométrie moyenne à fine, intensément bioturbés et à quelques structures sédimentaires peu visibles, telles que les stratifications planes horizontales.
- Au sommet un faciès d'épaisseur plurimétrique avec des lentilles gréseuses et a (bioturbation diverses) témoignant d'un environnement marin (Middle to lower shore face).

Chapitre III : Etude pétrographique

I. Introduction

L'étude des compositions pétrographiques et minéralogiques du cambrien de Hassi Guettar est basée sur l'examen au microscope optique polarisant de 537 lames minces, échantillonnées dans deux puits (HGA1, HGA3). Cette étude va nous permettre de déterminer les caractères suivants :

- la composition pétro-minéralogique des sédiments.
- la morphoscopie, la granulométrie et le classement.
- l'évolution qualitative et quantitative des deux principales phases (la phase clastique et la phase de liaison).
- les types de contacts et déformations des grains.
- les différents types de réseaux poreux et leurs proportions.

Cette étude sera complétée par un examen radiocristallographiques qui nous aidera à déterminer les grandes familles des argiles présentes dans les réservoirs du cambrien de HassiGuettar.

II. Pétrographie et minéralogie de puits HGA-1

II.1. Réservoir Ri (3492-3537,65)

- **Éléments figurés : (fig.III.1)**

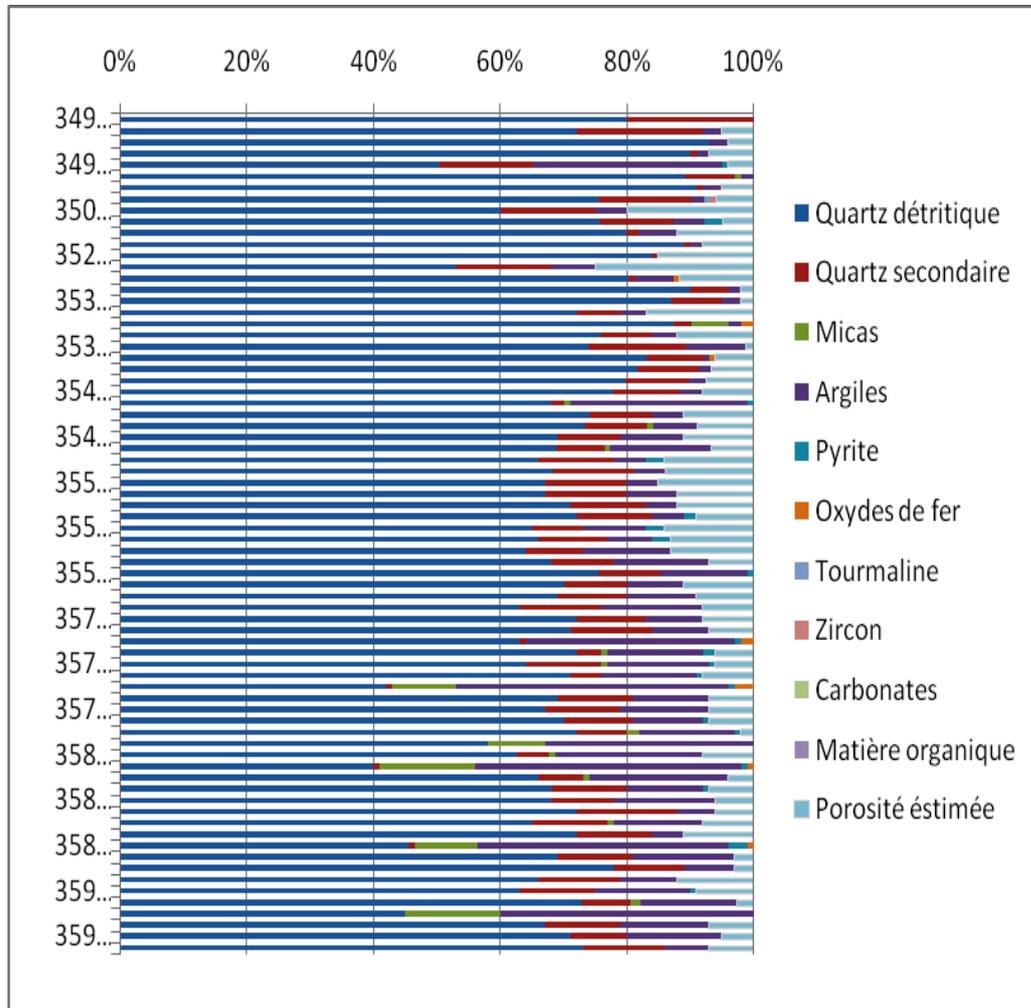


Fig.III.1 : log pétrographique du puits HGA1.

- **Quartz**

A hauteur de 97%, le quartz est le constituant principal des grés de Hassi Guettar. L'observation au microscope polarisant des lames minces des sondages HGA-1 du réservoir Ri montre plutôt une forte présence de grains fins et moyens et plus rarement des grains grossiers. L'observation nous montre également que les grains très fins à fins sont fréquents dans les facies les plus argileux. Le classement des grains de quartz est variable et rarement bien classé. Il est à

Chapitre III

constater que la morphoscopie est sub-arrondie à sub-anguleux et parfois anguleux. Elle dépend de la taille des grains, plus les grains sont fins plus ils sont anguleux.

Les contacts entre les grains de quartz sont plus souvent concavo-convexes à sutures rarement droites. Ces types de contacts dépendent du degré de compaction de la roche et de la variation des fréquences des différents ciments.

On note également la présence de quartz polycristallin mais souvent en trace. Ils sont étroitement liés à un fort régime hydrodynamique. **Fig.III.2 (G et H).**

- **Micas**

On distingue deux types de micas : la biotite et la muscovite. Leur pourcentage total varie de 1 à 6%. On les retrouve souvent à l'état trace, plus le pourcentage des argiles est élevé plus on les trouve fréquemment, ce qui nous renseigne sur la relation entre les argiles et les micas.

La muscovite est plus abondante, elle est représentée sous deux formes :

- sous forme de lamelles dispersées avec un faible pourcentage 1%.
- les micas sont fréquemment transformés en illite. **Fig.III.3 (E et F).**

- **Minéraux lourds**

On note la présence en trace du zircon et de la tourmaline dans les facies étudiés, leur pourcentage atteint rarement les 1%. Leur existence est liée à leur grande résistance aux altérations et aux transformations durant de longs transports et sédimentations.

- **Ciments**

Grace à l'étude pétrographique ainsi qu'aux analyses radiocristallographiques,(voir les annexes) on a pu mettre en évidence la présence des ciments suivants dans le réservoir Ri du sondage HGA-1:

- Ciments siliceux (de nourrissage et de compaction).
- Ciments argileux.
- Ciments pyriteux.
- Ciments ferrugineux.

- **Ciments siliceux**

Ils se développent autour et entre les grains de quartz. Ils peuvent être d'origines différents . Ils représentent la majeure partie du ciment total, avec un pourcentage qui varie entre 15 et 20 %. On distingue deux types de ciments : le ciment siliceux de nourrissage et le ciment siliceux de compaction. **Fig.III.2 (A)**.

- **Ciments siliceux de nourrissage**

Il se matérialise par des auréoles d'impuretés autour des grains de quartz et il occupe principalement les espaces poreux inter granulaire. Avec un pourcentage qui varie de 9 à 10 %, ce ciment est plus fréquent que celui de compaction.

- **Silice de compaction**

Il se matérialise par des contacts entre grains concavo-convexes à sutures, dus exclusivement au phénomène de compaction qui augmente en fonction de la profondeur. Cette silice est localisée entre les grains ou bien en petits cristaux formant ainsi des plages isolées (silice microgrenue). Comme il a été notifié auparavant, son pourcentage est moins important que celui de la silice de nourrissage, il oscille de 0 à 6%.

- **Ciments argileux**

On distingue trois types d'argiles : la kaolinite, illite et illite-montmorillonite dont leur pourcentage total varie de 1% à 40%.

- **Kaolinite** : elle est caractérisée généralement par des plaquettes pseudo-hexagonales bien délimitées et une biréfringence de premier ordre.

Selon les résultats radiocristallographiques, (voir les annexe) elle représente plus de 90% d'argile, développée en plages entre les grains de quartz en s'association avec l'illite. **Fig.III.3 (E et F)**.

✓ **Illite** : elle forme une très faible partie de l'argile totale, qui atteint ou dépasse rarement 10% « fig.III.1 ». Elle se développe entre les grains de quartz en association avec la kaolinite et parfois en fin liseré autour des grains de quartz. On remarque que son pourcentage est plus élevé dans le réservoir Ra. Fig.III.3 (E et F).

✓ **Illite-montmorillonite** : avec un faible pourcentage qui varie de 0% à 4%, cette apparition de ce type d'inter stratifié est témoin de la transformation de la kaolinite en illite.

✓ **Ciment pyriteux**

C'est un ciment accessoire. En lumière réfléchi, il apparaît avec un éclat métallique jaune vif. Son pourcentage dépasse rarement les 1%.

• **Ciment ferrugineux**

Il se présente en association avec l'argile oxydée. Selon (Nedjari et al. 2012), il suffit de 1% d'oxyde de fer pour colorer un facies, dans notre cas elle atteint rarement 1%.

• **Ciment anhydritique**

Décelé à travers l'analyse radiocristallographiques d'une manière discontinue et en trace.

• **Porosité**

La porosité est le vide existant entre les grains et les différents ciments. Elle est définie comme étant le rapport de volume des vides sur le volume total de l'échantillon.

La porosité primaire liée aux conditions de dépôt est caractérisée par les pourcentages des différents constituants, les indices granulométriques et la profondeur.

Au microscope polarisant, cette porosité est mieux observée sur les plaques minces lorsque cette dernière est imprégnée de bleu de méthylène.

L'observation microscopique nous a permis de mettre en évidence quatre types de porosités. La porosité totale est évaluée à 11%.

- **Porosité inter granulaire:** observée entre les grains, cette porosité est influencée par les différents phénomènes diagénétiques tel que la compaction, la cimentation...etc. Dans le réservoir Ri de HGA-1, elle représente la porosité la plus importante avec un pourcentage qui oscille entre 1 et 8%. Fig.III.4 (I).

- **Porosité de dissolution :** cette porosité résulte de la dissolution des ciments siliceux. Son pourcentage oscille entre 1 et 3%. Fig.III.4(J).

- **Porosité inter cristalline :** elle est développée dans les plages de kaolinite, sa présence est généralement en trace. Fig.III.4(H).

- **Porosité de fracture**

Ce type de porosité se matérialise par des fissures sub-horizontales ou sub-verticales. Elle ne dépasse pas 1% et sa répartition est limitée dans l'intervalle (3499,5-3505.5m). Elle peut être en

relation soit avec les mouvements de la phase hercynienne ou à des phases de mouvements postérieurs **Fig.III.4(K)**.

II.2. Réservoir Ra (intervalle 3537,65- 3599,3m)

- **Éléments figurées (fig.III.1)**
- **Quartz**

Dans ce réservoir les grains de quartz sont moyens à grossiers rarement fins, mal classés, sub-arrondies à sub-anguleux. Les contacts entre les grains sont selon les niveaux :

- concavo-convexe à suturés dans les niveaux gréseux propres (taux d'argile faible à nul).
- droit à flottants dans les niveaux riches en argiles.
- la taille des grains moyens varie de 0,35 à 1,25 mm dans les niveaux propres et entre 0,075 à 0,125 mm dans les passés siliceux.

Le pourcentage total de quartz dans ce réservoir oscillent entre 62% et 77% dans les grés propres et entre 30 à 54% dans les passés silteuses et argiles gréseuses. **Fig.III.3 (G et H)**.

- **Micas**

Leur répartition verticale est presque continue avec la présence de la biotite et de la muscovite. La muscovite est plus abondante dans les passées argilo-silteuses sous forme d'un lit aligné suivant une certaine direction. Son pourcentage peut atteindre 7% dans les niveaux gréseux. Ces micas sont en forme de lamelles dispersées mais en traces, ils dépassent rarement 2%. **Fig.III.3(E et F)**.

- **Minéraux lourds**

Représentés par le zircon et la tourmaline, en traces qui atteignent rarement 1%. Leur présence peut se justifier grâce à leur résistance.

- **Ciments**

Les ciments principaux dénombrés dans ce réservoir sont les mêmes que dans le réservoir Ri.

- **Ciments siliceux**

Ils sont subdivisés en ciments siliceux de nourrissage précoce et de compaction tardive, avec un pourcentage qui varie de 1 à 19 %.

- **Ciments siliceux de nourrissage** : Ils se développent autour de grains de quartz en formant des auréoles totales d'impuretés Avec un pourcentage qui varie entre 3 à 9 %, ce dernier est plus important que celui de compaction.

✓ **La silice de compaction**

Elle occupe l'espace intergranulaire de quartz ou bien sous forme de plages de silice. Elle se matérialise dans les lames par des types de contacts concavo-convexes à suturés. D'après les résultats, leur pourcentage oscille entre 1 et 8 %.

- **Ciments argileux**

- **Kaolinite** : représente 90% de l'argile total et elle se dépose en plages entre les grains de quartz pour réduire la porosité primaire et engendre une porosité inter cristalline

- **L'illite** : son pourcentage dépasse rarement les 10 %. Elle se présente soit en association avec la kaolinite soit en lisérés autour des grains de quartz. Il est à noter que l'illite est rarement issue de la transformation de la kaolinite et de l'altération des micas.**Fig.III. (E et F).**

- **Ciment pyriteux**

Il est moins présent que les autres ciments. Il se localise dans la porosité primaire et intergranulaire, dans les porosités de dissolution et dans la porosité fractures. Sa présence n'est pas régulière, avec des proportions qui ne dépassent pas 4%.

- **Ciment ferrugineux**

Il se présente en association avec l'argile oxydée avec des valeurs très faibles, il atteint rarement 1%.

- **Porosité**

Elle est représentée par la porosité primaire intergranulaire et la porosité secondaire de dissolution ainsi que la porosité intercrystalline mais parfois par la porosité de fracture. Son pourcentage total varie de 1 à 25 %.

- ✓ **La porosité intergranulaire** : elle représente plus de 50% de la porosité totale du réservoir, et est matérialisée par le vide entre les grains de quartz.**Fig.III.4. (I).**

Chapitre III

- ✓ **La porosité de dissolution** : c'est le résultat de la dissolution du ciment siliceux « photo 9 » qui engendre généralement des pores de grandes dimensions, favorisant ainsi l'interconnexion. Son pourcentage représente 40% de la porosité totale. **Fig.III.4(j)**
- ✓ **La porosité intercrystalline** : elle est développée dans des plages de kaolinite, son pourcentage est inférieur à 2%. **Fig.III.4(K).**
- ✓ **La porosité de fracture** : elle est très rare et n'est présente que dans certains niveaux. Son pourcentage atteint rarement 1%. **Fig.III.4(L).**

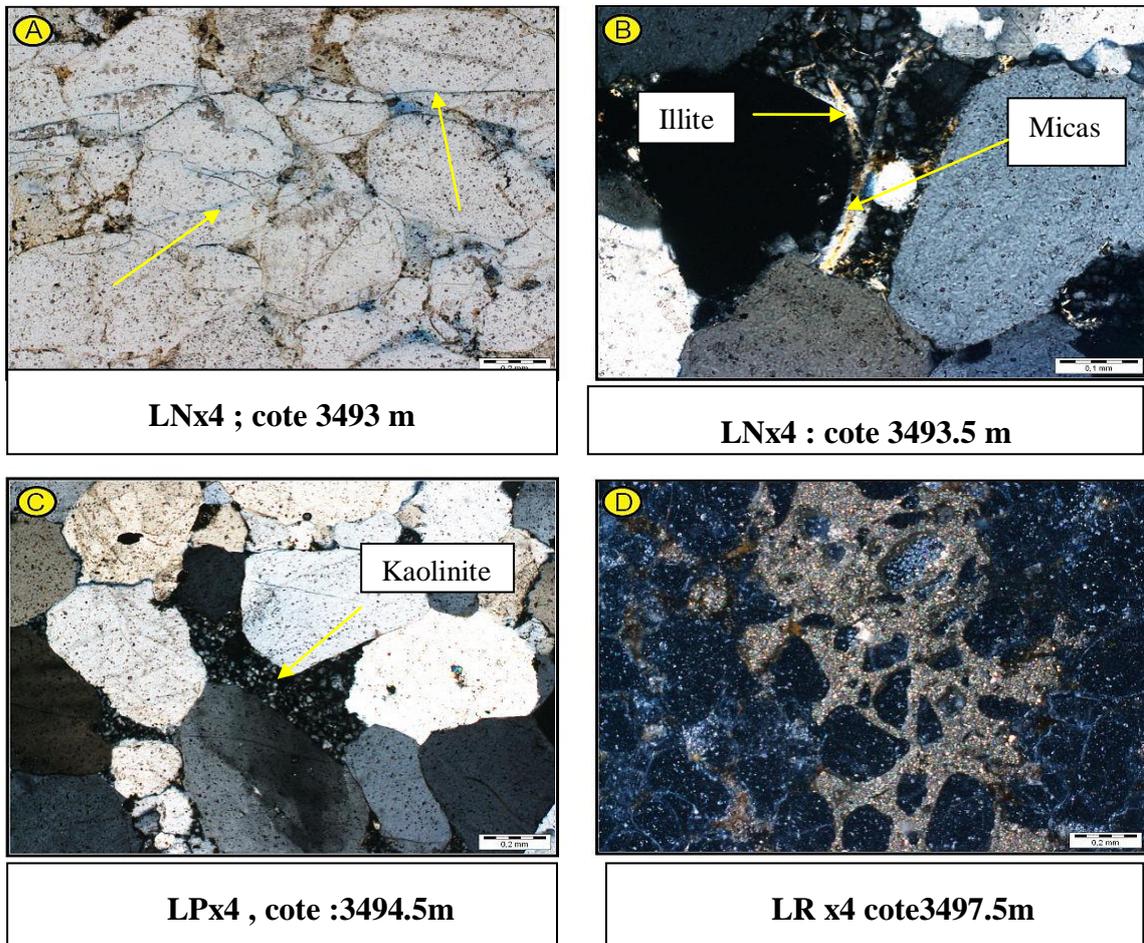


Fig.III.2

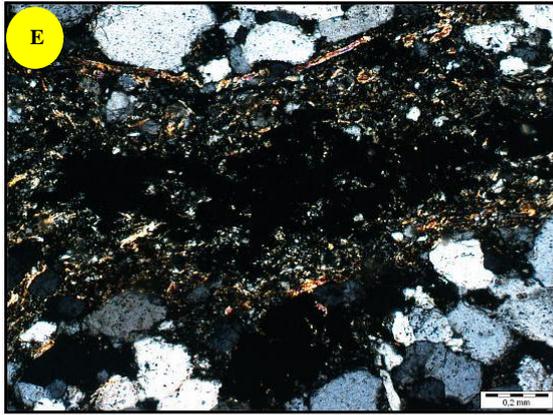
Photos de sondage HGA-1 :

Photo A : grés grossier à ciments siliceux argileux avec une Porosité fissurale.

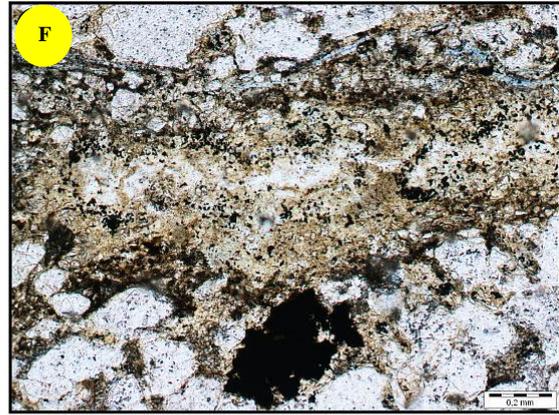
Photo B : grés grossier à ciments argileux siliceux qui montre l'altération des micas en illite.

Photo C : grés moyen à grossier à Ciment argileux (kaolinitique).

Photo D : grés moyen à ciment pyriteux.



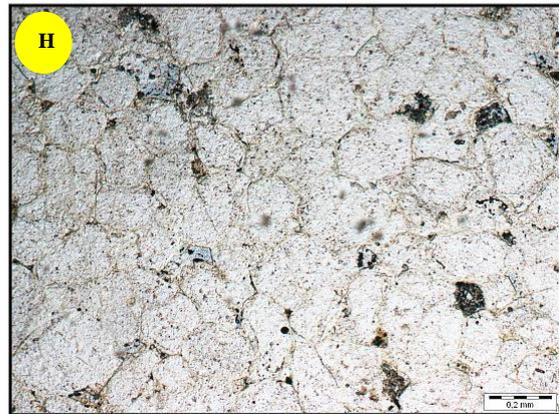
LP x2 Côte: 3503,59m



LN x2 Côte: 3503,59m



LP x2 Côte: 3524,52m



LN x2 Côte: 3524,52m

Fig.III.3

Photos de sondage HGA-1 :

Photo E et F : Claste argileux dans un Grés moyen à ciment argileux (kaolinite, illite) ainsi l'altération des micas en illite.

Photo G et H : Grés moyen à grossier à ciment siliceux qui montre les caractéristiques des grains de quartz la morphologie des grains (arrondi a sub-arrondi) et les contacte (concavo-convexe, droit, ...)

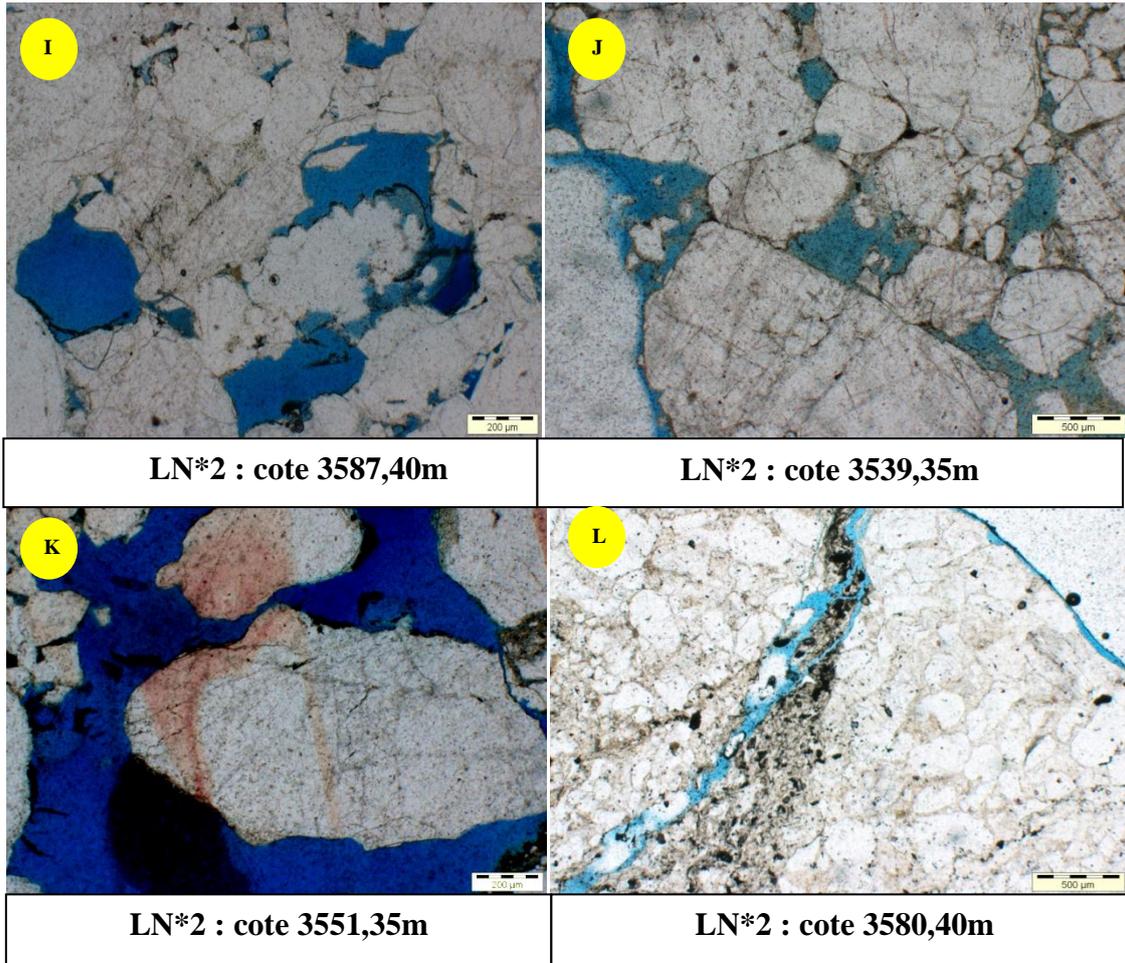


Fig.III.4 :

Photos de sondage HGA-1 :

Photo I : grés moyen à grossier à ciment siliceux montre le développement de la porosité inter-granulaire entre les grains de quartz.

Photo j : grés grossier à ciment siliceux montre la porosité e la dissolution (dissolutions de la silice).

Photo k : grés grossier à ciment siliceux qui montre la porosité intergranulaire

Photo L : développement de la porosité de fracture dans un joint stylolitique.

III. Pétrographie et minéralogie de puits HGA-3

III.1. Réservoir Ri (3457,20-3506m)

- **Éléments figurés (fig.III.5)**

L'ensemble des observations pétrographiques montrent que le réservoir Ri du puits HGA-3 est composé de grains de quartz, de micas et accessoirement de minéraux lourds. Ces éléments sont grossièrement cimentés par la silice, l'argile et la pyrite.

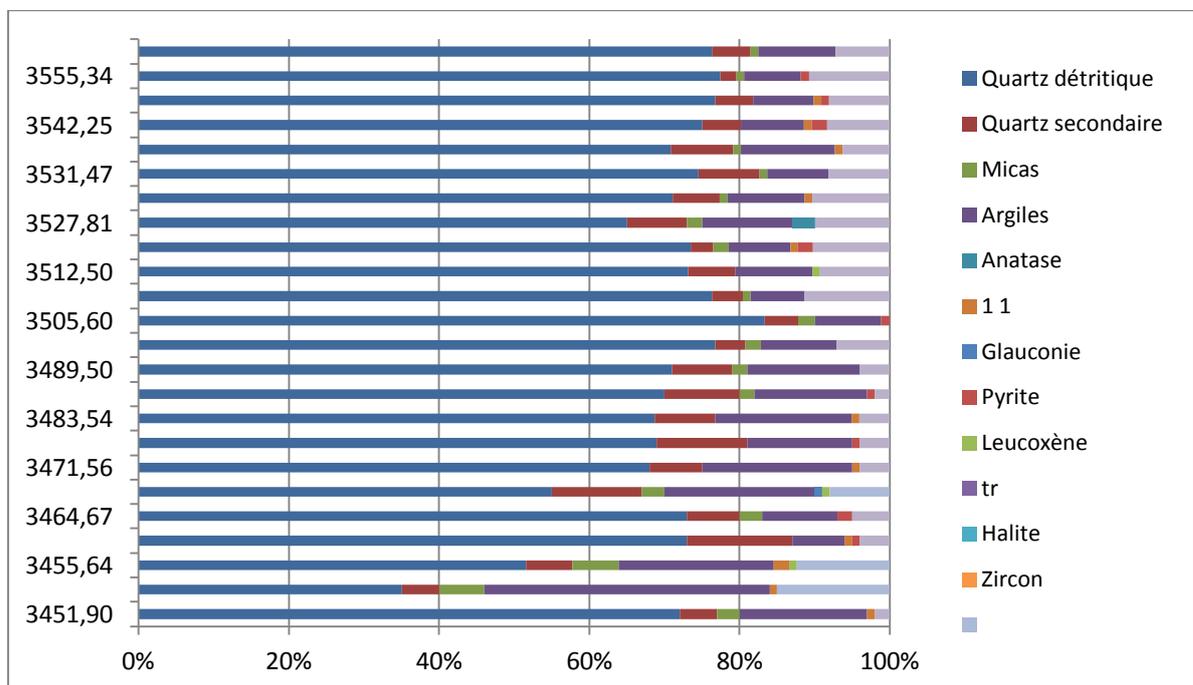


Fig.III.5 : log pétrographique du puits HGA3.

- **Les grains de quartz**

L'ensemble des observations pétrographiques montre des grains de quartz grossiers à moyens, sub-arrondis à sub-anguleux, mal à très mal classés avec des contacts droits à concavo-convexes rarement suturés leur pourcentage total oscille entre 65 et 76 %.

- **Les micas**

Comme dans le puits HGA-1, les micas sont de deux types, les muscovites et les biotites. Ils sont le plus souvent en traces avec un pourcentage qui ne dépasse pas 4%, sauf dans les échantillons riches en argiles où ils peuvent atteindre 7%. Les micas noirs sont généralement transformés en illite. **Fig.III.7 : (A et B).**

- **Les minéraux lourds**

Ils sont moins fréquents dans le réservoir Ri du puits HGA-3 et leur répartition verticale est discontinue. Ils sont représentés par le zircon et la tourmaline sous forme de traces. L'absence des autres types est probablement due à leurs transformations durant le transport, la sédimentation et l'enfouissement.

- **Le ciment**

Les ciments trouvés dans ces réservoirs sont essentiellement des ciments argileux, siliceux et pyriteux.

- **Ciment siliceux**

Il est développé en deux phases, la première correspond au ciment siliceux de nourrissage et la deuxième est représentée par la silice de compaction qui est secondaire par rapport à la première. Le ciment de nourrissage est développé autour des grains de quartz, il est caractérisé par les auréoles d'impuretés. Son pourcentage oscille de 2 à 20% par rapport au pourcentage total. La silice de compaction est favorisée par les contacts convavo-convexes à suturés et sa proportion est moins fréquente que la silice de nourrissage (1 à 8%).

- **Le ciment argileux**

Le ciment argileux est probablement représenté par la kaolinite. Durant l'enfouissement la kaolinite s'est transformée particulièrement en illite. La répartition verticale de la proportion de l'argile totale est très variable (5 à 27%). La kaolinite représente parfois la totalité de l'argile, néanmoins dans certains échantillons elle diminue jusqu'à 70%. Par contre l'illite est moins abondante, son apparition verticale est discontinue et son pourcentage varie entre 5 et 30%. On constate que la chlorite est présente sous forme de traces dans l'échantillon cote 3464.25. *Fig.III.7 : (C et D)*

- **Le ciment pyriteux**

C'est le ciment le plus tardif et le moins abondant par rapport aux autres ciments. Il se présente généralement sous forme de traces, son pourcentage ne dépasse pas 4% et se développe dans les vides intergranulaire ainsi que dans la porosité secondaire de dissolution.

- **La porosité :** La porosité de dissolution varie entre 1 et 3% et la porosité inter cristalline en traces. *Fig.III.6 : (A et B et C).*

III.2. Réservoir Ra (intervalle 3506-3572m)

Les faciès qui constituent ce réservoir sont des grés bruns à beiges moyens à très grossiers, mal à très mal classés, siliceux-argileux et à stratifications obliques. Ces grés sont intercalés par des passées centimétriques d'argile.

- **Les éléments figurés (fig.III.5)**
- **Les grains de quartz**

L'ensemble des observations pétrographiques montrent des grains de quartz (puits HGA-3) grossiers à moyens, sub-arrondis à sub-anguleux. Leur pourcentage total oscille être 59% et 79%.

Fig.III.7 : (7)

- **Les micas**

Comme dans les niveaux décrits ci-dessus, les micas de ce réservoir sont composés par la muscovite et la biotite, leur pourcentage total peut atteindre 7%, mais le plus souvent ils se présentent sous forme de traces. Généralement les micas blancs (muscovite) sont transformés en illite. *Fig.III.7 : (E)*

- **Minéraux lourds**

Ils sont représentés par le zircon et la tourmaline sous forme de traces. Leur répartition verticale est discontinue.

- **Les ciments**

Identiques aux réservoirs décrits ci-dessus, les ciments qui constituent les faciès de ce réservoir sont les ciments : argileux, siliceux et rarement pyriteux.

- **ciment argileux**

Il est généralement plus fréquent que le ciment siliceux, son pourcentage varie de 5 à 20%. On distingue trois types de minéraux argileux : l'illite, la kaolinite et la chlorite. Cette dernière apparaît uniquement à la cote 3534.25 avec un pourcentage de 5%. La kaolinite représente 90% du pourcentage total. Le plus souvent, ce ciment argileux se développe entre les grains de quartz et réduit la porosité primaire par ailleurs la kaolinite engendre une porosité secondaire intercrystalline déconnectée. *Fig.III.6 : (C et D)*.

■ **Ciment siliceux**

Ce ciment est développé en deux phases, la première a donné la silice de nourrissage matérialisée par les auréoles d'impuretés autour des grains de quartz et son pourcentage peut atteindre 12%. La deuxième phase est la silice de compaction résultant du phénomène de compaction qui augmente avec l'enfouissement. C'est un ciment difficile à mettre en évidence car il est confondu avec les contacts entre les grains du type concavo-convexes à suturé. Sa proportion est moins importante que celle du ciment de nourrissage de 2 à 6%.

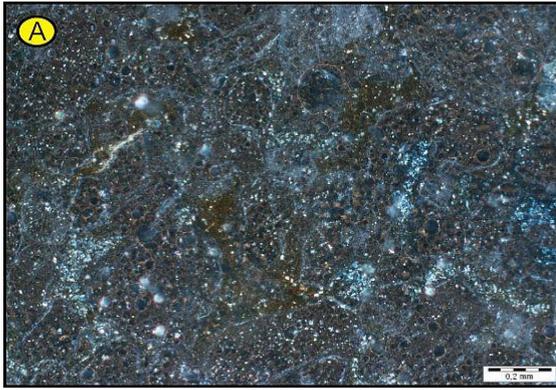
■ **Le ciment pyriteux**

C'est le ciment le moins fréquent, il se présente généralement sous forme de traces, son pourcentage ne dépasse pas les 4%. Il se développe principalement dans les vides intergranulaires ainsi que dans la porosité secondaire de dissolution. On constate que dans ce réservoir, le ciment pyriteux est moins fréquent que dans le réservoir Ri et que son apparition verticale est discontinuée voir le log pétrographique HGA-3.

✓ **La porosité** : Du point de vue qualités réservoirs, la porosité observée sur les lames minces est subdivisée en trois types : La porosité inter granulaire, la porosité de dissolution et la porosité intercrystalline. Il est à noter que ce réservoir est plus poreux que le réservoir Ri (1 à 11%). La porosité primaire représente environ 60% du total (1 à 7%), la porosité de dissolution varie de (1 à 5%) parfois en traces et la porosité intercrystalline est présente uniquement sous forme de traces (voir log pétrographique de puits HGA-3).

Fig.III.6 : (A et B et C).

Chapitre III



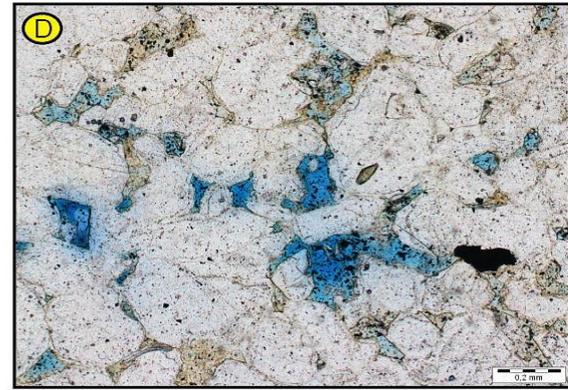
LR x4 Côte: 3527,81m



LN x2 Côte: 3512,50m



LN x4 Côte: 3516,47m



LN x2 Côte: 3539,50m

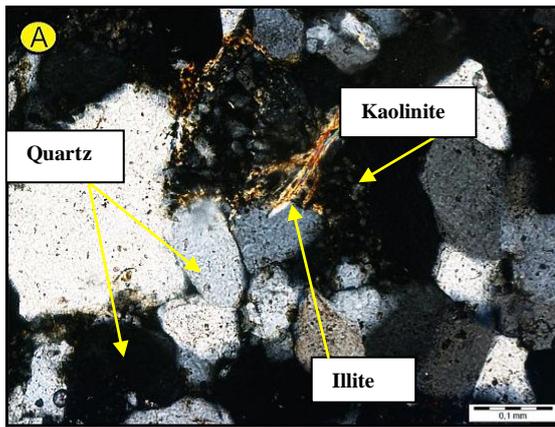
Fig.III.6 :

Photos de sondage HGA-3 :

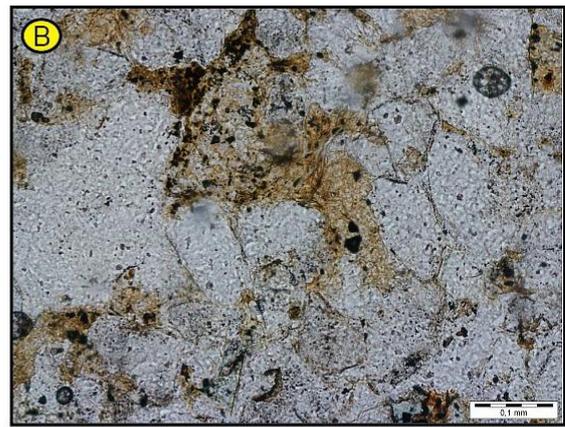
Photo A : existence de l'anatase type d'oxyde autour des grains en forme d'auréole.

Photo B et C, D : Des Grés grossiers présentent une porosité moyenne de différents types (dissolution, intergranulaire, intercrystalline).

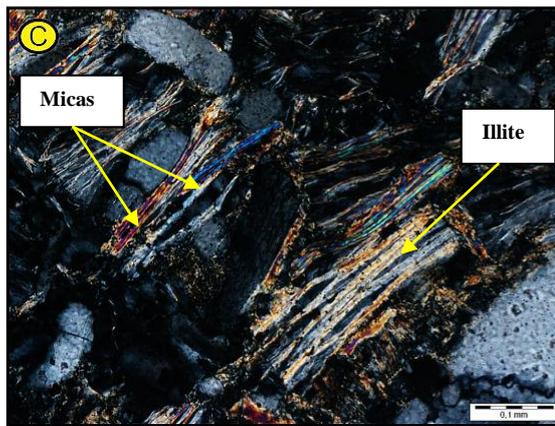
Chapitre III



LP x10 Côte: 3485,19m



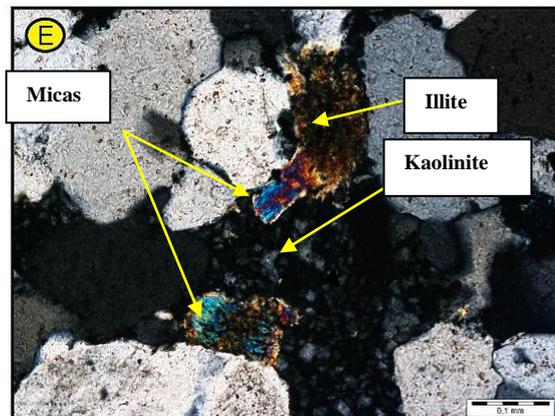
LN x10 Côte: 3485,19m



LP x10 Côte: 3489,50m



LN x10 Côte: 3489,50m



LP x10 Côte: 3489,50m



LN x10 Côte: 3489,50m

Fig.III.7 :

Photos de sondage HGA-3 :

Photos A et B : des micas de type muscovite en voie de transformation en illites dans un grés moyen à fins

Photos C et D : grés moyen à ciments argileux (illite, kaolinite).

Photo E : grés moyen à grossier qui montre la Transformation des micas en illite.

Photo F : Pores plus au moins connectés dans un grés moyen (porosité estimée est de 4 %).

IV. Pétrographie du puits HGA-4

IV.1. Réservoir Ri (3419 à 3489,5)

✓ Éléments figurés (fig.III.8)

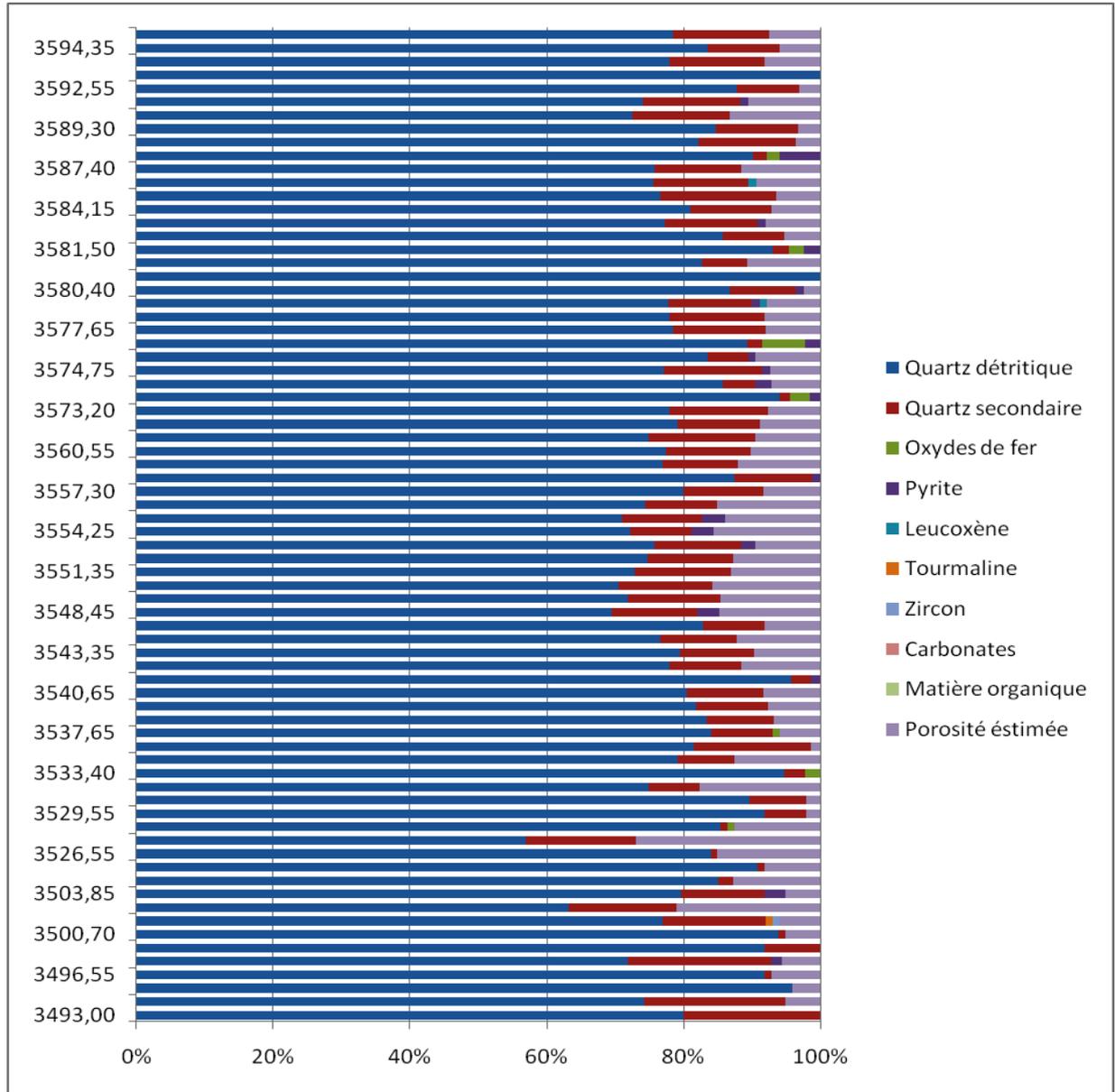


Fig.III. 8 : log pétrographique de puits HGA-4.

✓ Quartz

Les grains de quartz de ce réservoir sont fins à moyens rarement grossiers, sub arrondis à subanguleux et parfois anguleux à subanguleux. Leur classement est variable, moyen à mauvais. Les contacts sont généralement concavo-convexes à suturés. Le pourcentage de ces grains est compris entre 49 et 89%. *Fig.III.9 : (C et D)*.

✓ Micas

Ils sont toujours représentés par la biotite et la muscovite, avec un pourcentage généralement inférieur à 9%, leurs pourcentages augmentent en fonction de la proportion des argiles.

IV.2. Minéraux lourds

Leur valeur est en trace et ils sont toujours représentés par le zircon et la tourmaline. *Fig.III.9 : (E)*

✓ Ciments

En plus des ciments siliceux, argileux et rarement pyriteux, il y a le ciment carbonaté qui est absent dans les autres puits.

■ Ciments argileux

Il est composé de la kaolinite, de l'illite et du chlorite. Son pourcentage total varie de 1 à 44%.

- **Kaolinite** : représente généralement la majeure partie du ciment argileux (20 à 90%). Elle est développée en plages entre les grains de quartz.
- **Illite** : est moins fréquente que la kaolinite mais parfois elle peut atteindre 100% dans certains échantillons (voir chapitre diagenèse)
- **Chlorite** : c'est la moins fréquente, son apparition est discontinue, avec un pourcentage qui varie entre 5% et 10% et parfois en trace. Entre les cotes 3454 et 3463 le pourcentage du chlorite peut atteindre les 87%, probablement du à un fort apport de Mg qui peut être lié à l'intrusion magmatique (voir chapitre diagenèse).

■ Ciment siliceux

Il est généralement plus important que le ciment argileux. Ce ciment est représenté par la silice de nourrissage précoce et la silice de compaction tardive. Avec un pourcentage total qui varie de 1% à 8%. *Fig.III.9 : (A et B)*.

Chapitre III

- **La silice de nourrissage** : toujours développée autour des grains de quartz. Son pourcentage oscille entre 4% et 11%.
- **La silice de compaction** : moins important que la silice de nourrissage. Elle se développe entre les grains de quartz et elle est favorisée par les contacts entre les grains, ce qui illustre une forte compaction, son pourcentage varie de 2% à 6%.
- **Ciment pyriteux**

Prend place dans les vides de porosité de dissolution, intergranulaire et dans les fissures avec un pourcentage de 2 à 9 %.

- **Ciments carbonaté**

Ce ciment est développé dans le réseau poreux de dissolution et dans les fissures avec un pourcentage de 2 à 3%. Il est représenté par la sidérite, dont l'origine est due à la remonter des roches éruptives de type dolérite (voir chapitre diagenèse). *Fig.III.10 : (B et D)*.

- **Ciment ferrugineux**

Il est toujours en trace atteint rarement 1%. *Fig.III.10 : (C)*

- ✓ **Porosité**

La porosité dans ce réservoir présente une faible proportion (1 à 7%). Elle est subdivisée en quatre types.

- **Porosité intergranulaire** : elle représente 60% de la porosité totale.
- **Porosité de dissolution** : elle est matérialisée par des golfes de dissolution et elle présente 30% du pourcentage total.
- **Porosité intercrystalline** : elle se développe dans des plages de kaolinites, sa présence et sous forme de trace.

-Porosité de fracture : elle est plus présente que dans les autres puits, mais avec des valeurs moins importantes que les autres types de porosités. Elle est observée seulement dans certaines lames, avec un pourcentage qui ne dépasse pas 2%.

Ces porosités sont le résultat des mêmes phénomènes décrits antérieurement. (Voir porosité de puits HGA-1).

IV.3. Réservoir Ra (3489,5- 3529,5m)

✓ **Eléments figurés (fig.III.3)**

✓ **Quartz**

Les grains de quartz sont les constituants pétrographiques les plus répondu de ce réservoir, ils sont moyens à grossiers, parfois micro-conglomératiques, mal à très mal classés, sub-arrondis à sub-anguleux et à contacte concavo-convexes à suturés. Leur pourcentage total oscille entre 63% et 85%.

✓ **Micas**

Les micas dans ce réservoir sont comme ceux des autres réservoirs décrits précédemment, à souligner qu'ils sont dominés par la muscovite et rarement par la biotite, avec un pourcentage inférieur à 1% sauf dans les fines passées argileuses où ils peuvent atteindre 6%.

✓ **Minéraux lourds**

Ils sont représentés par le zircon et la tourmaline, sont en trace avec des pourcentages très faibles. *Fig.III.10 : (A)*

✓ **V.2.4- Ciments**

✓ **Ciments argileux (fig.III.3)**

Son pourcentage total oscille entre 3% et 24% représenté en grande partie par :

- **Kaolinite** : elle se développe entre les grains de quartz, dont le pourcentage varie entre 80% à 100%.
- **Illite** : présente uniquement dans certains échantillons en association avec la kaolinite. Son pourcentage est inférieur à 20%.
- **Chlorite** : on note son apparition au niveau de la cote 3496,5 avec un pourcentage qui atteint 5%. Cette chlorite est déterminée uniquement par radiocristallographie.
- **Ciments siliceux**

Il est plus abondant que le ciment argileux (3 à 30%), il est développé en deux phases *Fig.III.9 : (A et B)*.

- **Ciments siliceux de nourrissage** : représente la première phase caractérisée par un nourrissage complet des grains de quartz. Ce ciment siliceux est plus fréquent (4% à 11%), il est caractérisé par des auréoles d'impuretés.

- **La silice de compaction** : représente la deuxième phase, cette dernière est due au phénomène de compaction, elle se matérialise par des contacts concavo-convexes à suturés, son pourcentage oscille de 1 à 5%.

- **Ciment pyriteux**

Il se présente souvent en trace et de façon discontinue le long de ce réservoir. Cette pyrite est développée dans les réseaux poreux intergranulaires et de dissolutions. *Fig.III.9 : (F)*.

- **Ciment ferrugineux**

Elle présente les mêmes caractéristiques que dans le réservoir Ri. *Fig.III.10 : (C)*.

- ✓ **Porosité**

Elle est moyenne et parfois faible (1% à 8%). D'après les observations de toutes les lames, on peut compter quatre types de réseaux poreux :

- **Porosité intergranulaire** : elle oscille entre 1% et 6%. *Fig.III.11 : (A)*
- **Porosité de dissolution** : elle est due à la dissolution du ciment siliceux, son pourcentage varie entre 1% et 4%. *Fig.III.9 : (B)*
- **Porosité intercrystalline** : rarement développé.
- **Porosité fissurale** : est observée dans certains échantillons mais plus fréquemment que les puits précédentes. *Fig.III.9 : (D)*.

Ces porosités peuvent être en relation avec les mouvements de la phase hercynienne ou à des phases de mouvements postérieurs.

V. Pétrographie des roches magmatiques

Les roches magmatiques sont rencontrées exclusivement dans les réservoirs Ri des puits HGA-4 dans l'intervalle 3448,5 à 3478m.

L'observation des lames minces des roches éruptives qui apparaissent dans le cambrien à la base du réservoir Ri montre qu'elles ont une texture doléritique composée de plagioclases en lattes obliques plus ou moins jointifs et des biotites. Cette masse intrusive est affectée par de nombreuses fissures ouvertes souvent remplies par d'argile et une intense altération. Les feldspaths sont épigénèses en argile et les biotites en chlorite.

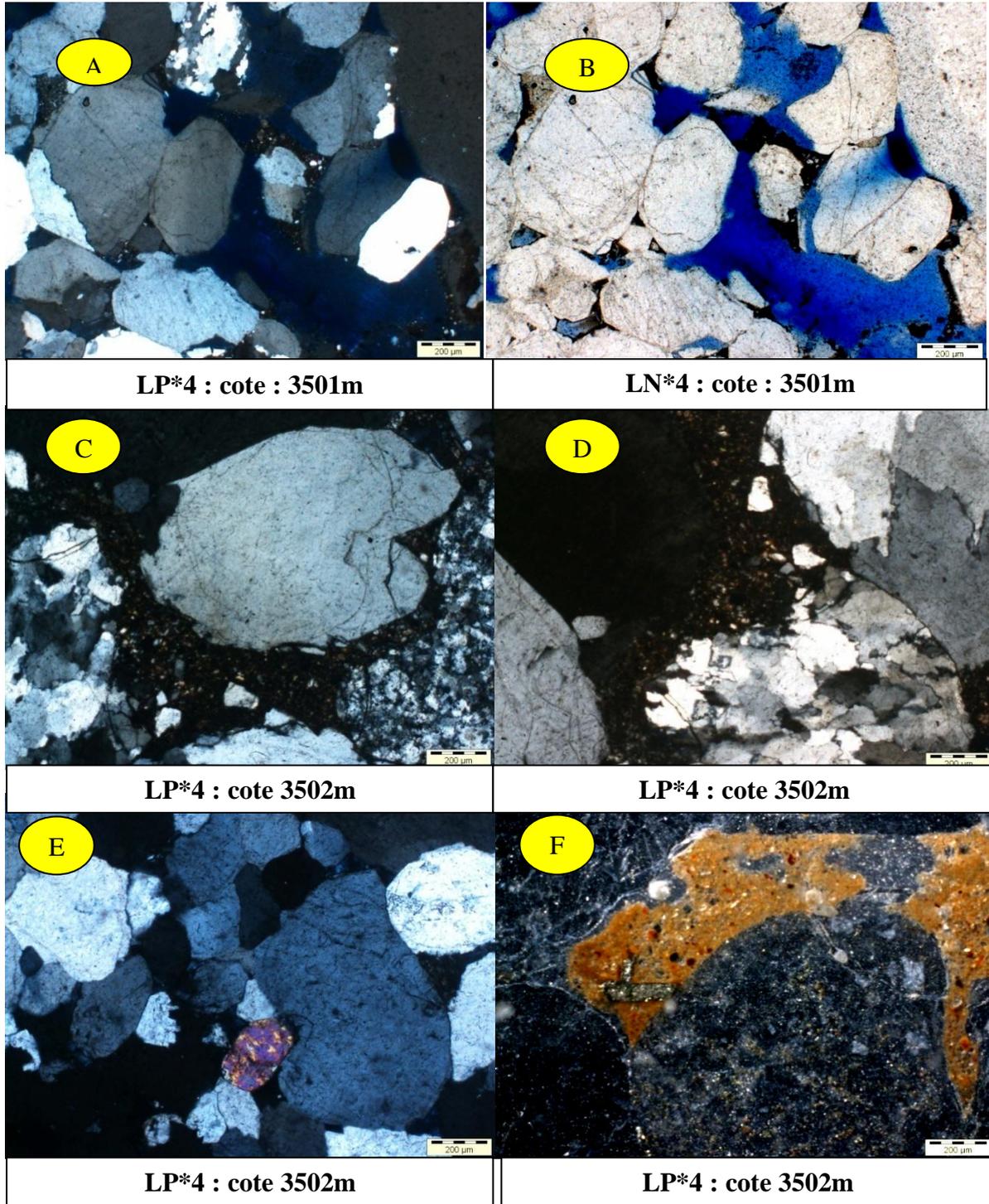


Fig.III.9 :

Photos de Sondages HGA-4 :

Photos A et B : gré moyen à grossier a ciment siliceux et argileux avec le développement de la porosité de dissolution et inter-granulaire.

Photos C et D : grés grossier à ciment siliceux et argileux (grés e quartz polycristalin).

Photo E : grés moyen a grossier a ciment siliceux, présence des minéraux lourd (zircon).

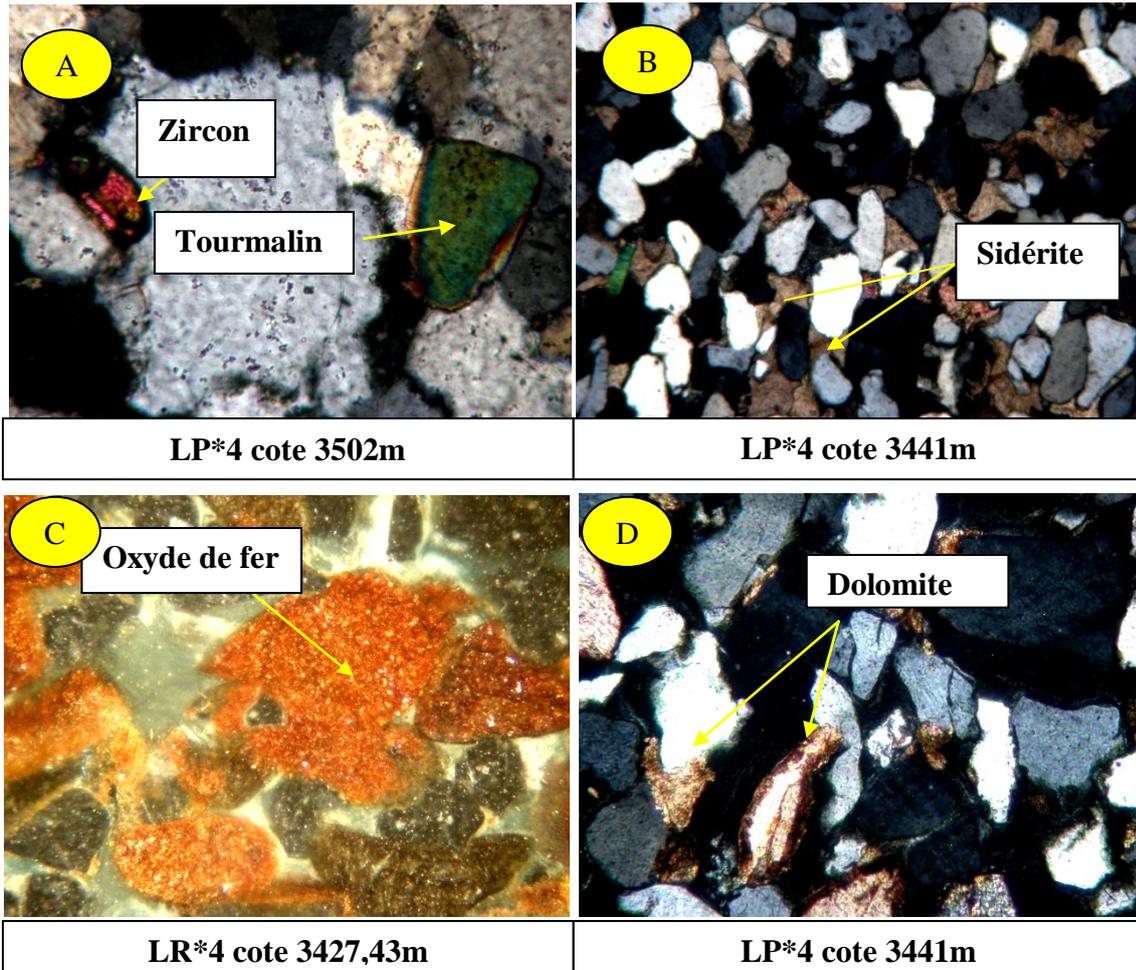


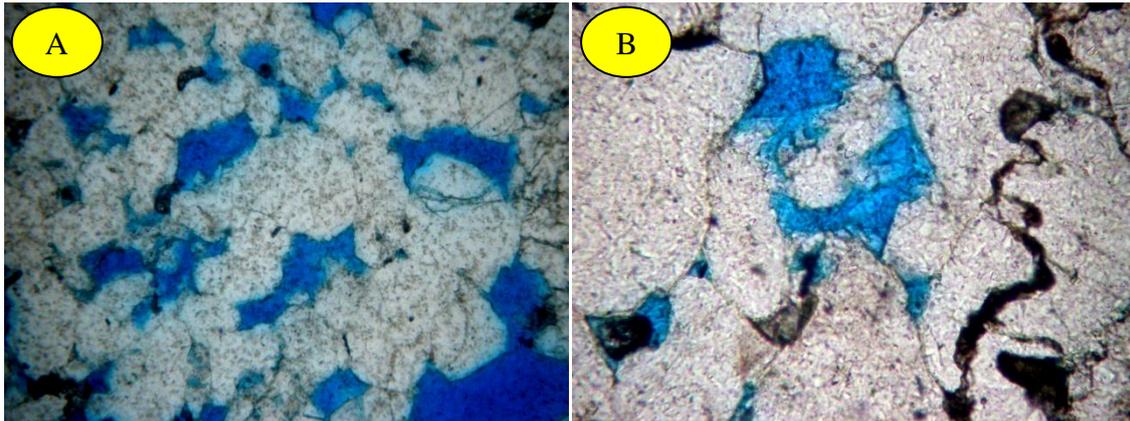
Fig.III.10 :

Photos de Sondages HGA-4 :

Photo A : grés moyen à ciment siliceux, présence des minéraux lourds (zircon et tourmaline).

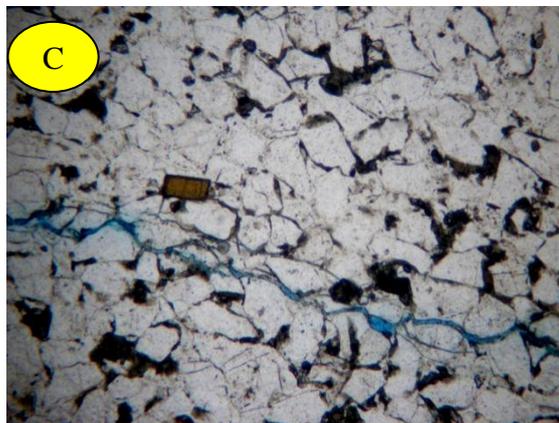
Photo B et D : grés fin à ciment siliceux et carbonaté (siderite et dolomite).

Photo C : grés moyen à grossier à ciment siliceux et ferrugineux (oxyde de fer).



LN*4 : cote 3504,5m

LN*10 : cote 3517,5 m



LN*4 : 3495,5m

Fig.III.11 :

Photos de Sondages HGA-4 :

Photo A : grés moyen à ciment siliceux montre une porosité inter-granulaire.

Photo B : grés moyen à grossier à ciment siliceux montre une porosité de dissolution.

Photo C : grés fin à moyen à ciment siliceux argileux montre une porosité fissurale.

VI. Conclusion

L'étude pétrographique et minéralogique conduit aux conclusions suivantes :

➤ Similitudes relative des faciès entre puits, en effet les microfaciès présentent les mêmes constituants, seul le pourcentage des éléments figurés ainsi que la granulométrie et la morphoscopie des grains varient.

➤ L'analyse granulométrique a permis de distinguer plusieurs ensembles (grains fins, moyen et grossiers). La décroissance de la taille des grains confirme la polarité positive des séquences, qui signifie la diminution de l'agent de transport.

➤ Le réservoir Ra est caractérisé par une fraction détritique grossière, mal classée et une morphoscopie anguleuse à sub-anguleuse dans les trois puits avec une amélioration du classement et de la diminution de la taille des grains de HGA-4(sud) et HGA-3 et HGA-1(nord), ce qui confirme la direction de transport du sud vers le nord et une source d'apport au sud.

➤ Le réservoir Ri est caractérisé par une fraction détritique fine à moyenne, moyennement classée et une morphoscopie sub-arrondie à sub-anguleuse dans les trois puits, ce qui indique que ce matériel a subi un transport assez long.

➤ Le cortège minéralogique est formé de 71% à 87% de quartz, le reste est composé d'argile (kaolinite, illite, et/ou chlorite). Les micas, la pyrite et les minéraux lourds sont en trace.

➤ L'absence ou la rareté des feldspaths suggère une forte évolution diagénétique au cours de laquelle ceux-ci sont transformés en kaolinite.

➤ Le ciment est siliceux et argileux dans l'ensemble, mais la pyrite, la sidérite, et l'anhydrite peuvent exister en très faible proportion dans les pores de dissolution.

➤ Selon les données radiocristallographiques (voir les annexes), le minéral argileux le plus dominant est la kaolinite, car on le retrouve dans tous les microfaciès avec des pourcentages variables.

➤ La pyrophyllite n'existe que dans le réservoir Ri du puits HGA-4.

➤ L'ensemble de ces observations servira à l'étude des phénomènes dia génétiques.

Chapitre IV :

Etude diagénétiques

I. Introduction

La description de 250 lames minces au microscope optique polarisant ainsi que les données de la diffractométrie aux rayons X ont permis de déterminer des modifications diagénétiques variées ; certaines se sont manifestées précocement, juste après le dépôt des sédiments et d'autres plus tard au cours de l'enfouissement.

Ce chapitre est axé sur la détermination des principaux phénomènes diagénétiques observés que nous exposerons en détails. Nous proposerons ensuite d'établir une chronologie des phénomènes en fonction des événements géodynamiques qui ont marqué la région.

II. Rappels sur la diagenèse

II.1. Définition de la diagenèse

La diagenèse inclut toutes les modifications physiques et chimiques qui se produisent dans un sédiment après son dépôt mais avant le métamorphisme. La limite diagenèse métamorphisme est arbitraire (Cojan.I., Renard. M., 2006). On peut la placer à l'anchizone (Fig.IV.1). L'évolution diagénétique permet de maintenir la composition et les conditions physiques des sédiments en équilibre avec le champ de contraintes extérieures. Le produit final possédera une texture et une composition qui dépendra de la provenance des matériaux mais aussi de leur évolution post-dépôt (Cojan .I.Renard. M., 2006).

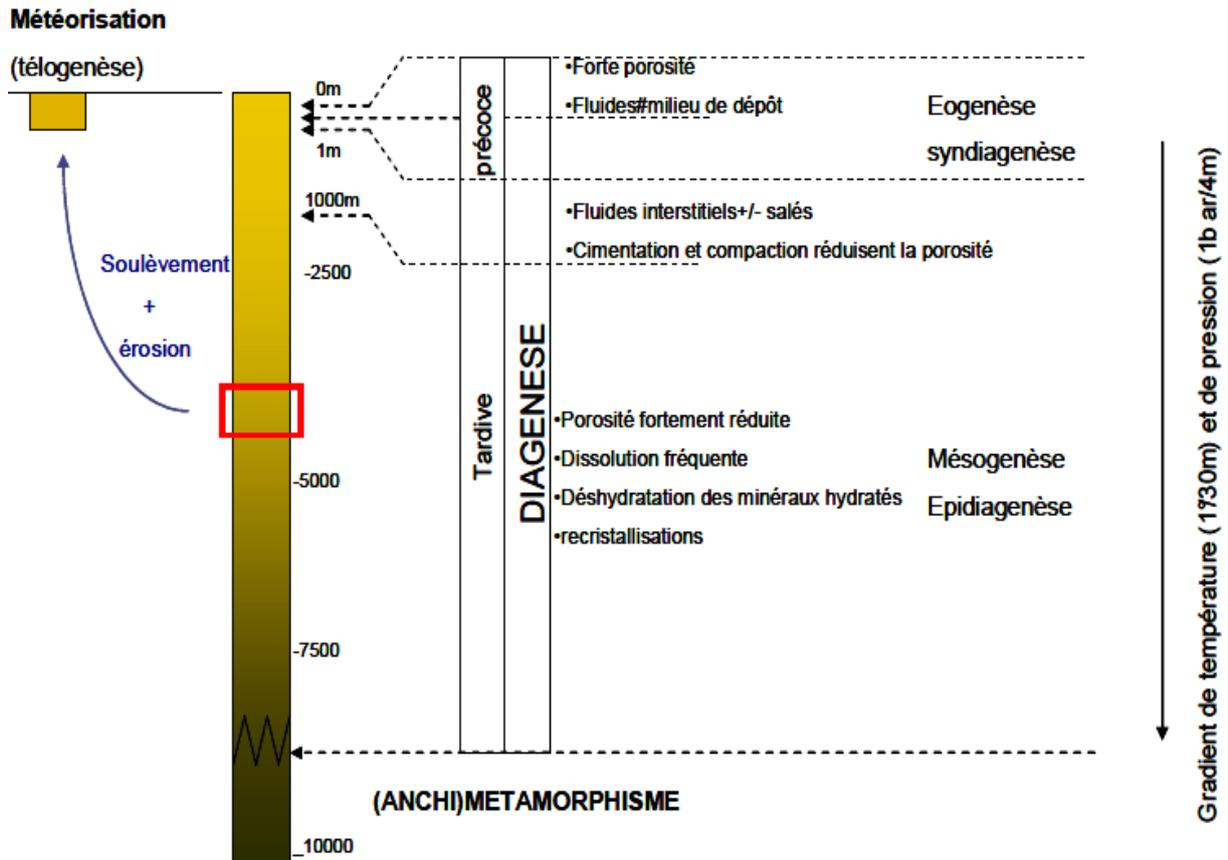


Fig.IV.1 Les différents stades de la diagenèse en fonction de la pression et de la température (Cojan.IetRenard. M. 2006).

II.2. Les principaux mécanismes de la diagenèse

De nombreux paramètres impliqués dans les transformations diagénétiques, résultent de la grande diversité et complexité des évolutions observées. On peut distinguer les processus suivants:

- L'activité bactérienne limitée à la diagenèse précoce,
- Les mécanismes physiques, dominants dans les premiers stades de la compaction,
- Les transformations chimiques qui traduisent les interactions entre les fluides interstitiels et les particules.

II.2.1. La compaction

Le tassement d'une couche sédimentaire sous l'action du poids des sédiments sus-jacents correspond à la compaction. Ce mécanisme conduit à l'établissement d'un assemblage plus compact des particules par l'expulsion d'une partie de l'eau interstitielle dans les premiers décimètres d'enfouissement, et ensuite par déformation et dissolution des particules.

La compaction comprend dans une première phase au cours de laquelle les mécanismes physiques dominent (compaction physique), qui se traduit par un réarrangement des particules et une réduction du volume rocheux au détriment des vides originaux, donc par la diminution de la porosité initiale.

Lorsque les possibilités de réarrangement simple sont épuisées, on observe alors la déformation ou la fragmentation des particules. Les transformations chimiques qui sont la dissolution/ précipitation (compaction chimique) se développent ensuite.

Les profondeurs auxquelles la compaction mécanique laisse place à la compaction chimique dépendent essentiellement de la granulométrie des sédiments, mais aussi de la composition chimique des particules (Fig.IV.2).

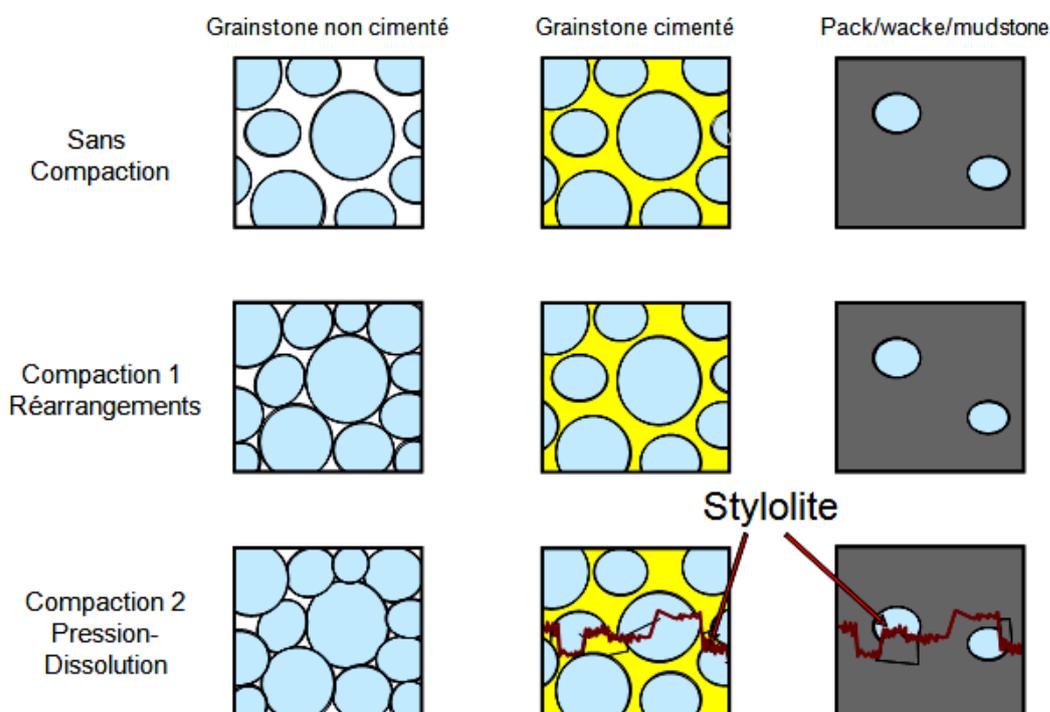


Fig .IV.2.1- schéma montrant la croissance de la compaction avec l'enfouissement.

II.2.2. La cimentation

La précipitation correspond à la cristallisation des solides à partir d'une solution aqueuse (Fig. IV.2.1), elle contribue à la réduction de la porosité par cimentation des pores et à la transformation des sédiments meubles en roches dures.

Les minéraux diagénétiques les plus fréquents sont les carbonates, les silicates et les minéraux ferrifères. On distingue assez facilement les cristaux secondaires qui se sont développés dans les pores, de ceux dont la croissance s'est faite au détriment d'un matériel préexistant. Les inclusions fluides de ces minéraux diagénétiques constituent d'excellents témoins des paramètres de leur milieu de précipitation (température, composition chimique des fluides interstitiels) (Burley, SD et Worden.R., 2003).

II.2.3. La dissolution

La dissolution, par de nombreux aspects peut être considérée comme la réaction inverse de la précipitation. Elle contribue largement à la croissance de nouveaux minéraux grâce au renouvellement des éléments en solution. Les phénomènes de dissolution liés à l'action d'eaux météoriques acides chargées en CO₂ sont particulièrement importants, car ils créent des réseaux poreux secondaires qui peuvent augmenter considérablement le potentiel réservoir d'une roche (**Fig. IV.2.2**) (Burley, SD et Worden.R., 2003).

La pression-dissolution conduit à une dissolution sélective sur les points de contact des particules soumis à la contrainte maximale. Dans les cas les plus favorables, les effets de la pression-dissolution conduisent à une réduction appréciable de la porosité.

Les traces laissées par ce type de réaction sont :

Les interpénétrations des grains. Cet engrenage des grains est la cause première de réduction de la porosité.

Les stylolithes correspondent à une surface de dissolution formée d'un ensemble de colonnette.

II.2.4. La recristallisation

Dans ce cas, on n'observe pas de changement dans la composition chimique des minéraux mais, une évolution sous les conditions de pression et température données, vers une stabilité plus grande, donc une énergie libre plus faible. L'exemple le plus connu est celui de la recristallisation de la silice. tel que L'opale, qui est une forme amorphe de la silice constitue le premier précipité

qui se transforme en opale et enfin en quartz, allant vers une plus grande stabilité (Burley. SD et Worden.R., 2003).

II.2.5. *La transformation*

C'est le résultat du remplacement d'un minéral par son polymorphe. Le cas le plus fréquent est celui de l'aragonite qui se transforme en calcite (Burley. SD et Worden.R., 2003).

II.2.6. *Le remplacement minéralogique*

C'est le processus par lequel un nouveau minéral prend la place d'un autre (*Fig.IV.2.2.B*). La dolomitisation, la pyritisation et la silicification appartiennent à cette catégorie, à laquelle se rattache également la transformation du gypse en anhydrite et de la smectite en illite) (Burley. SD et Worden.R., 2003).

II.2.7. *Les fluides*

Ils jouent un rôle important dans toutes ces réactions. Les fluides immobiles réagissent avec les minéraux dans un système fermé. L'évolution de leur composition est directement en fonction des transformations diagénétiques. Au contraire, les écoulements fluides permettent un renouvellement des réactifs mais entraînent également les produits de la réaction. Dans ce système ouvert, la composition des fluides ne reflète pas directement l'évolution diagénétique (Burley.SD et Worden.R., 2003).

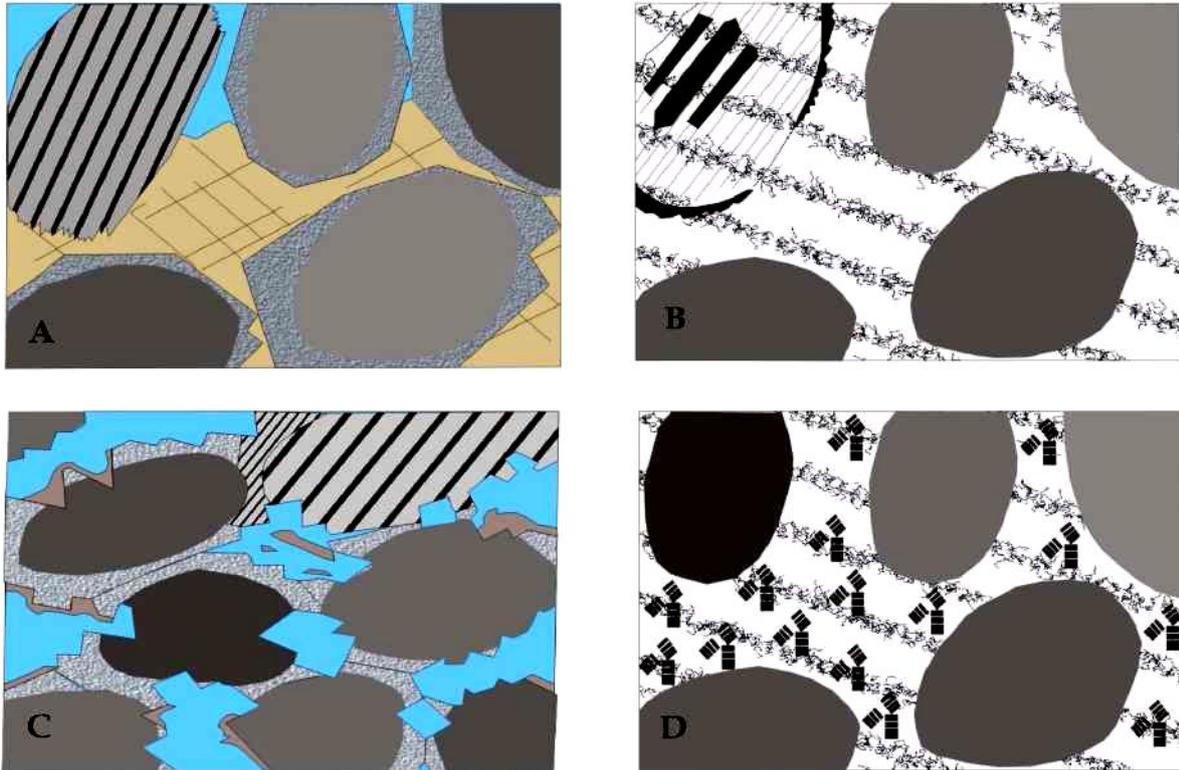


Fig.IV.2.2- Schéma montrant les différents mécanismes de diagenèse. (A) cimentation siliceuse+ ciment albite+ précipitation de la calcite. (B) remplacement du feldspath par la kaolinite. (C) Corrosion et dissolution des carbonates. (D) la dickitisation de la kaolinite.

III. Les phases de diagenèse

Les nombreux chercheurs ayant étudié les phénomènes diagénétiques ont reconnu trois principales phases diagénétiques : la diagenèse précoce (éodiagenèse), la diagenèse profonde (mesodiagenèse) et la phase finale d'émergence (télo-diagenèse)

III.1. Eodiagenèse (diagenèse précoce)

Cette phase correspond à l'intervalle de temps s'écoulant entre le dépôt final et le début de l'enfouissement effectif. Elle affecte la partie supérieure des sédiments, où la chimie des eaux interstitielles est fondamentalement contrôlée par l'environnement de surface. Mais elle peut aussi affecter des roches sédimentaires anciennes enfouies qui au cours de leur histoire ont été exposées à la surface à la faveur de mouvements tectoniques de surrection. Les sédiments sont alors soumis à un lessivage plus ou moins intense. Cette phase est également le siège d'extrêmes variations de pH et du potentiel d'oxydoréduction (*Fig.IV.3.A*).

La limite maximale de l'eodiagenèse se trouve à une profondeur d'environ 1 à 2 Km avec un gradient géothermique entre 30° et 70° C (Burley et Worden ; 2003).

III.2. Mesodiagenèse (diagenèse d'enfouissement)

Cette phase désigne la période post-dépôt, comprise entre le début de l'enfouissement et le début de processus diagénétiques liés à une imersion. Elle correspond à l'intervalle de profondeur où agissent les phénomènes liés à la compaction et à la maturation thermique de la matière organique. Elle affecte plusieurs centaines à milliers de mètres de sédiments, et conduit en général à une réduction importante de la porosité (Burley et Worden; 2003). Ainsi, la pression et température dépendent des taux de sédimentation et de subsidence qui reflètent le contexte géodynamique et affectent tous deux le gradient géothermique (*Fig.IV.3.B*)

III.3. Télodiagenèse (diagenèse tardive)

Cette phase s'applique à la période durant laquelle les roches, ayant préalablement été enfouies, sont influencées par les processus diagénétiques associés à l'érosion. La télodiagenèse est caractérisée par la modification des eaux interstitielles, à la suite de la pénétration des eaux météoriques, et par la réintroduction de conditions oxydantes (*Fig.IV.3.C*). Elles affectent généralement une tranche peu épaisse près de la surface du sol (Burley et Worden;2003).

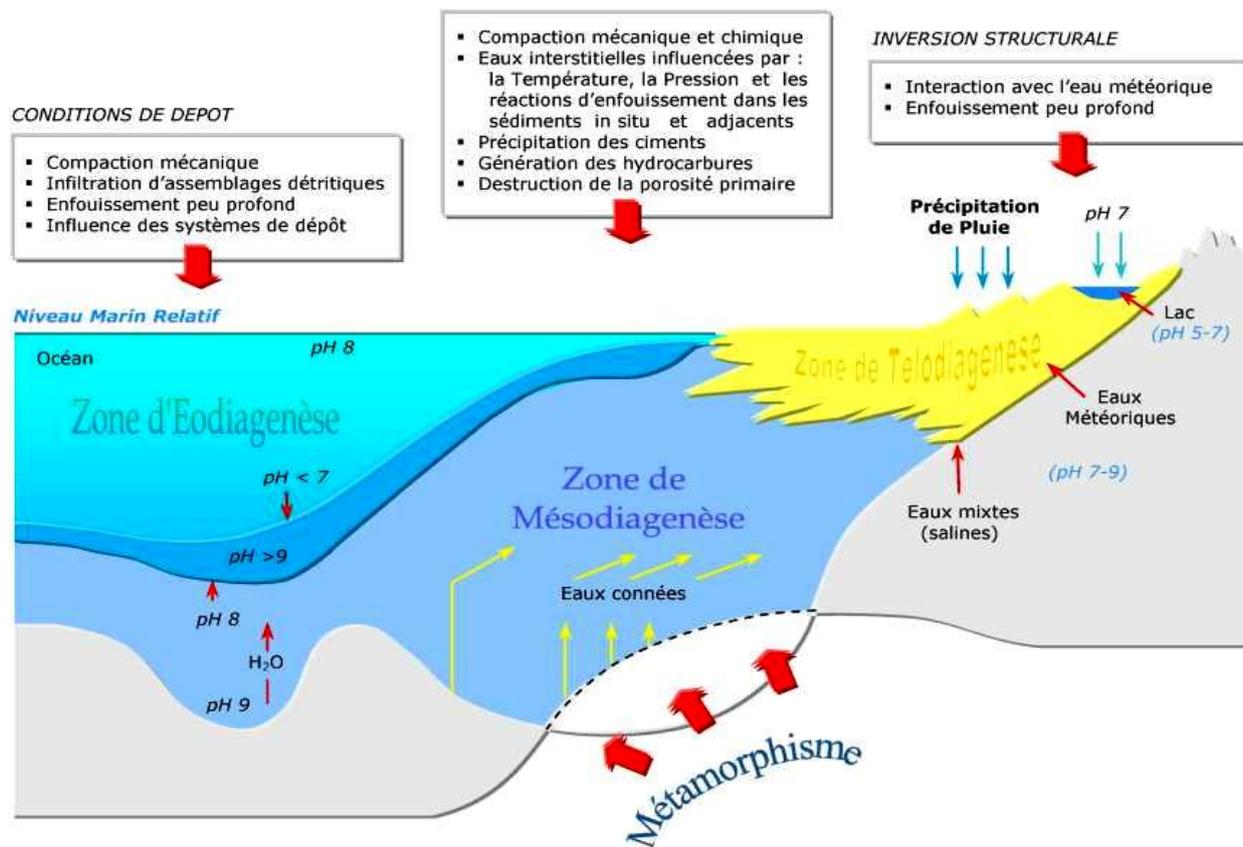


Fig.IV.3 : Profil idéalisé d'une marge continentale montrant les sites sédimentaires marins et les trois phases de diagenèse : (A) diffusion durant l'éodiagenèse, (B) mouvement de fluides ascendants durant la mesodiagenèse, (C) mouvement de fluides descendants durant la télodiagenèse (Serra; 2003, Burley et Worden2003).

IV. Phénomènes dia génétique ayant affecté les puits de la région de HassiGuettar

IV.1. Compaction

La compaction dans les grés se traduit par quatre processus : le réarrangement des grains, la déformation plastique des composants ductiles, la dissolution et des fracturations.

Vue l'hétérogénéité dans les grés cambriens de Hassi Guetter, la compaction est difficile à estimer.

Au niveau des grés inférieurs du réservoir RI des sondages (HGA-1, HGA-3, HGA-4), la compaction est très fortement soulignée par l'abondance des stylolithes et les contacts entre grains principalement de type suturé (**Fig.IV.4**) et concavo-convexe. Les stylolithes renferment des résidus essentiellement illitiques.

Chapitre IV

La compaction au niveau des grains de quartz est accompagnée de la précipitation du ciment siliceux dans les pores voisins et ce sont les niveaux supérieurs de ces puits qui sont concernés par ce mécanisme. La compaction est à l'origine également d'une diminution considérable de la porosité.

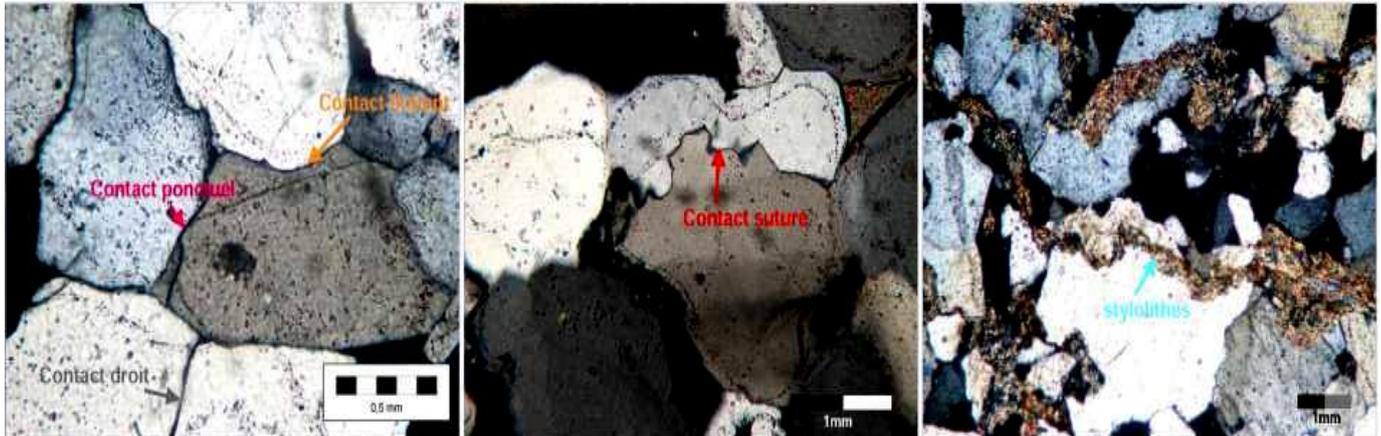


Fig.IV.4 Observation sous la lumière polarisée de la variation des types de contact selon le degré de compaction; cote 3383,5 m/puits 1, cote 3328m/puits 1, cote 3379m/puits 1.

IV.2. Cimentation

Les ciments dans les grès cambrien de HassiGuettar sont dominés essentiellement par le ciment siliceux et le ciment argileux et accessoirement par les carbonates, les sulfates, le ciment ferrugineux et pyriteux.

- ✓ **Le ciment siliceux** : est le ciment le plus fréquent dans tous les grés de HassiGuettar mais sa répartition est variable, bien que certains intervalles montrent peu ou pas de silice.

Plusieurs sources du ciment siliceux peuvent être évoquées comprenant les réactions feldspath-argiles, la transformation des smectites en illite, les dissolutions des grains de quartz lors de la compaction et leur précipitation dans les pores.

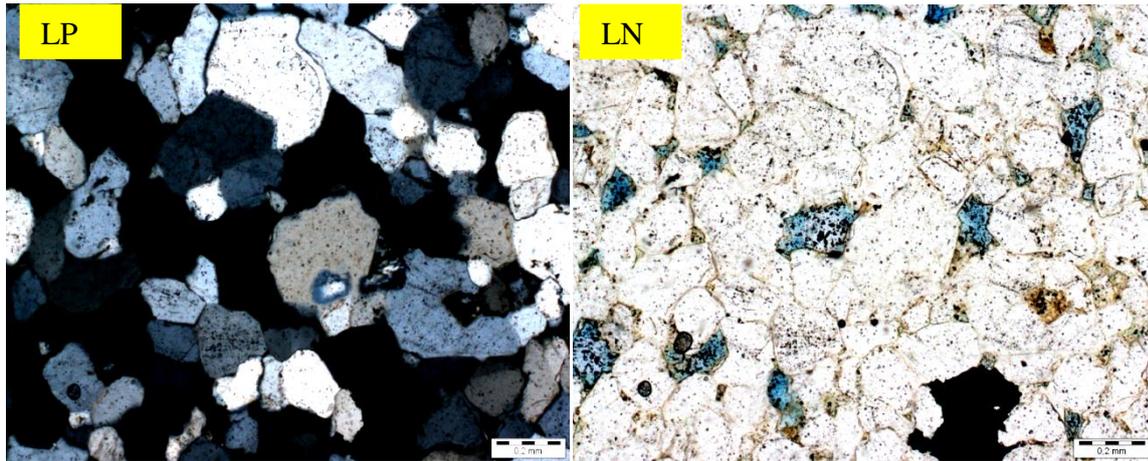


Fig.IV.5:LP, LN*2 Côte 3460,15m puits Observation en LP et en LPNA de ciment siliceux.

✓ **La silice de nourrissage** : Est fortement liée à l'abondance du ciment argileux et à la forme cristalline des grains de quartz, effectivement, les grains monocristallins présentent des auréoles de nourrissage bien développées tandis que les grains polycristallins ou les fragments lithiques montrent des accroissements moins évolués. La taille des grains est un facteur influant ; le quartz monocristallin de petite taille présente une auréole de nourrissage plus importante que celle du quartz plus grossier.

Dans les trois sondages, on remarque que les auréoles de nourrissage montrent des formes généralement irrégulières et discontinues particulièrement dans le puits HGA-4. La présence d'un revêtement d'illite autour des grains de quartz détritiques, inhibe la nucléation et donc la formation d'une auréole de nourrissage, ce qui améliore la qualité réservoir.

Vue l'importance du ciment siliceux, il devient le premier à contrôler la préservation de la porosité. Il se forme à une température d'environ 70° à 80°, mais généralement, il se développe à une température qui dépasse 80°-100° et en théorie, il peut continuer à se former même après la mise en place du pétrole (Djarnia et Fekirine 1998).

Les origines probables de la silice sont l'illitisation des feldspaths potassiques et des micas, la kaolinitisation des feldspaths et la réaction feldspath smectite (montmorillonite) pour produire l'illite.

Mais le ciment siliceux peut provenir également d'une source externe qui est liée à la circulation des fluides de surface ou les fluides hydrothermaux. Ces fluides de surface d'origine, météoriques sont couramment très dilués, oxydes, saturés en CO₂ et sont ainsi potentiellement acides. Ce qui contraste avec les eaux associées à la diagenèse d'enfouissement (mesodiagenèse)

Chapitre IV

qui sont typiquement salines, réductrices avec une faible concentration en CO_2 et un PH presque neutre.

Les mécanismes de la télodiagenèse se réalisent dans les quelques mètres ou dizaines de mètres au dessous de la surface, ce qui favorise la circulation de fluides météoriques vers les aquifères et par conséquent la précipitation du ciment siliceux.

Le ciment siliceux est représenté aussi par la silice interstitielle générée par pression-dissolution. Cette silice se trouve en faible quantité dans les trois sondages.

Le mécanisme générateur de ce ciment est la compaction chimique qui intervient en profondeur et peut durer longtemps conduisant ainsi à une diminution considérable de la porosité. La solubilité des grains de quartz augmente avec l'accroissement de la pression, de la température et du PH (*Fig.IV.6*).

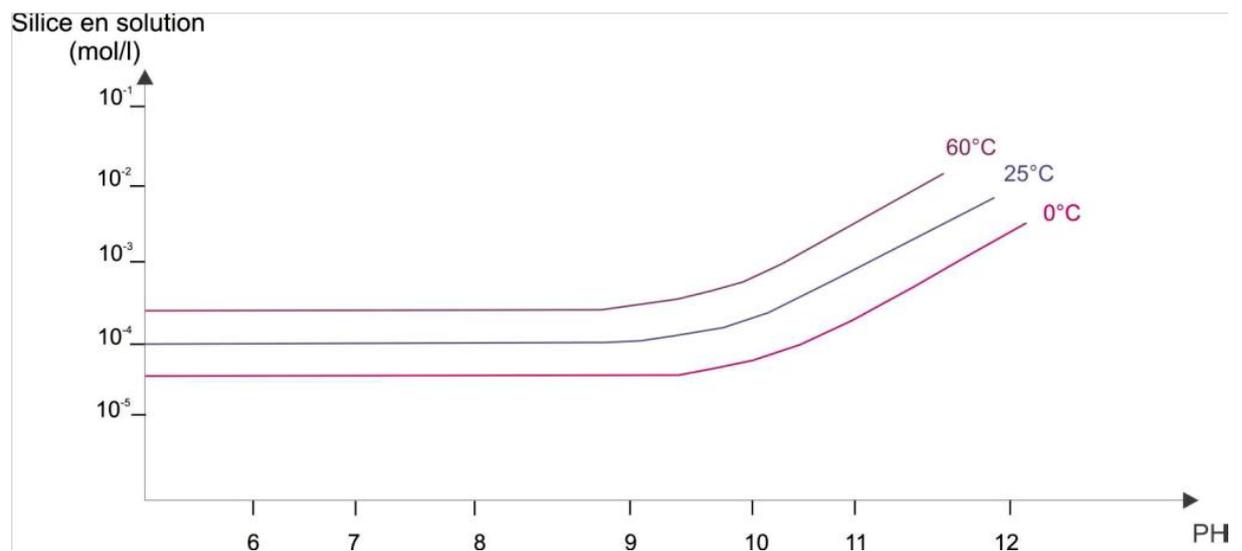


Fig.IV.6 Diagramme montrant le degré de solubilité de la silice en fonction du PH et le degré de température. (Rapport interne inédit).

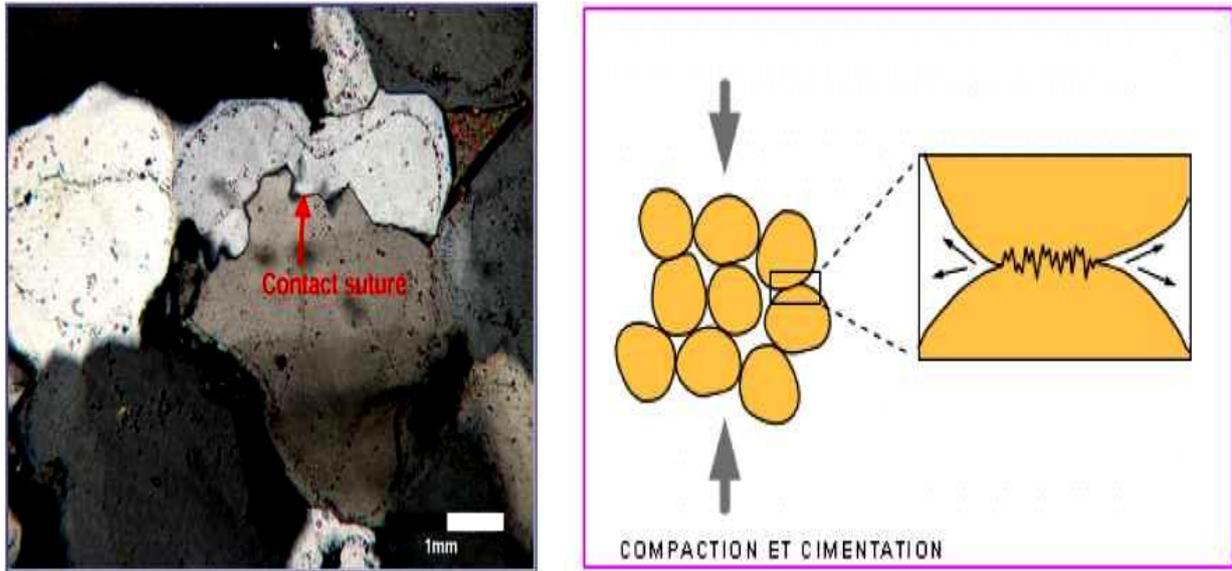


Fig.IV.7 Contact suturé entre deux grains de quartz. (Rapport interne inédit).

✓ **Silice de compaction** : elle est localisée dans les espaces intragranulaire, c'est par les contacts entre les grains de types concavo-convexes et suturés qui engendrent une pression et dissolution. Dans notre cas ce ciment est tardif par rapport au ciment de nourrissage, Suite au développement presque total de la silice de nourrissage qui inhibe le processus de compaction.

Des expériences de compaction faites sur le quartz par Schutjens (1991) révèlent qu'à une température qui n'excède pas 250°C, la compaction se traduit par la fissuration des grains alors qu'à une température d'environ 300°C, elle s'exprime par la pression-dissolution via les limites de grains. Le produit de dissolution est alors transféré par les fluides interstitiels et de leur saturation en silice, il y'a précipitation

✓ **Le ciment argileux**: présent des proportions plus ou moins élevées dans tout le réservoir de Hassi Guettar, avec des teneurs moyennes de 20 à 30%.

Dans la région de Hassi Guettar. Selon les résultats radiocristallographiques (voir les annexe), le cortège argileux est composé de grand partie par la kaolinite et l'illite ; le chlorite dans le puits HGA-4 ; la pyrophyllite dans le réservoir Ri du puits HGA-4 et l'illite – montmorillonite dans le réservoir Ri du puits HGA-1.

Chapitre IV

✓ **La kaolinite** : La kaolinite constitue le ciment argileux le plus abondant, elle se présente en feuillets pseudo-hexagonaux colmatant les pores, mais elle est détruite en profondeur au profit de l'illite.

Plusieurs facteurs semblent contrôler la néoformation de la kaolinite. Le développement de cette argile est fréquent dans des grès massifs et connectés (perméables), soulignant l'importance du flux des eaux dans la transformation. La formation de la kaolinite est contrôlée par le faciès sédimentaires et le climat.

Le mécanisme le plus courant de kaolinitisation des grès est le lessivage des micas et des feldspaths K (deux sources potentielles d'aluminium), par des eaux acides et météoriques infiltrées dans les grès lors des surrections des bassins sédimentaires (*Fig.IV.8*).

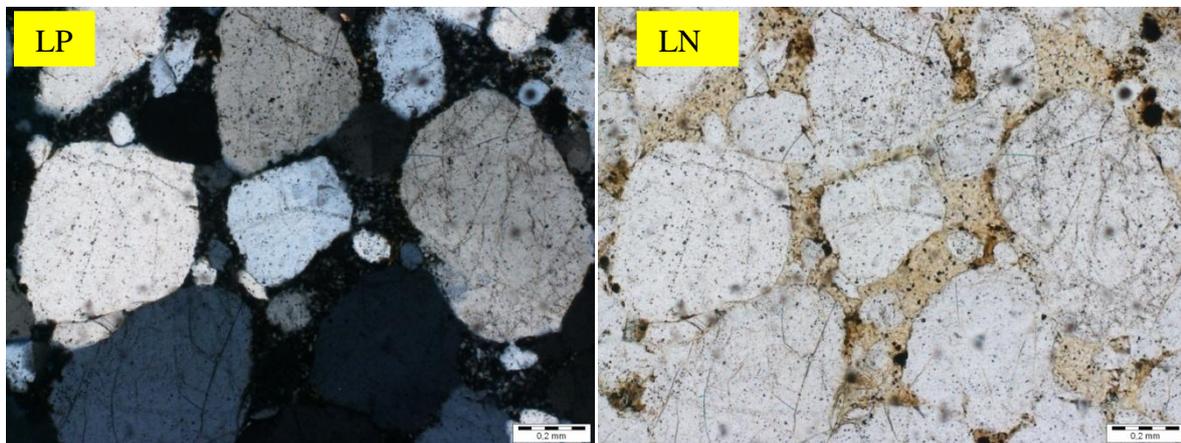


Fig.IV.8 : LP ,LN*2 Côte 3500,15m puits observation en lumière polarisée d'un grès grossier à ciment kaolinitique.

✓ **Altération des micas:**

La kaolinite peut résulter de l'altération des micas, L'altération des micas se fait à faible température (<50°C) selon une réaction chimique :



Quartz feldspath K kaolinite

Cette réaction permet la formation de kaolinite et de surcroissances sur les feldspaths potassiques. Le lessivage de la muscovite et son remplacement par la kaolinite sont généralement considérés comme un événement diagenétique précoce, réalisé à faible température et avant la compaction mécanique, favorisé par des eaux de surfaces météoriques et plutôt acides. Les eaux responsables de la kaolinitisation des micas sont modifiées et acidifiées par oxydation de la

Chapitre IV

matière organique. Il n'est pas nécessaire d'avoir des eaux franchement acides pour attaquer le mica. Cette transformation diagenétique est toutefois considérée comme insuffisante pour rendre compte de la quantité d'argile secondaire couramment observée dans les grès.

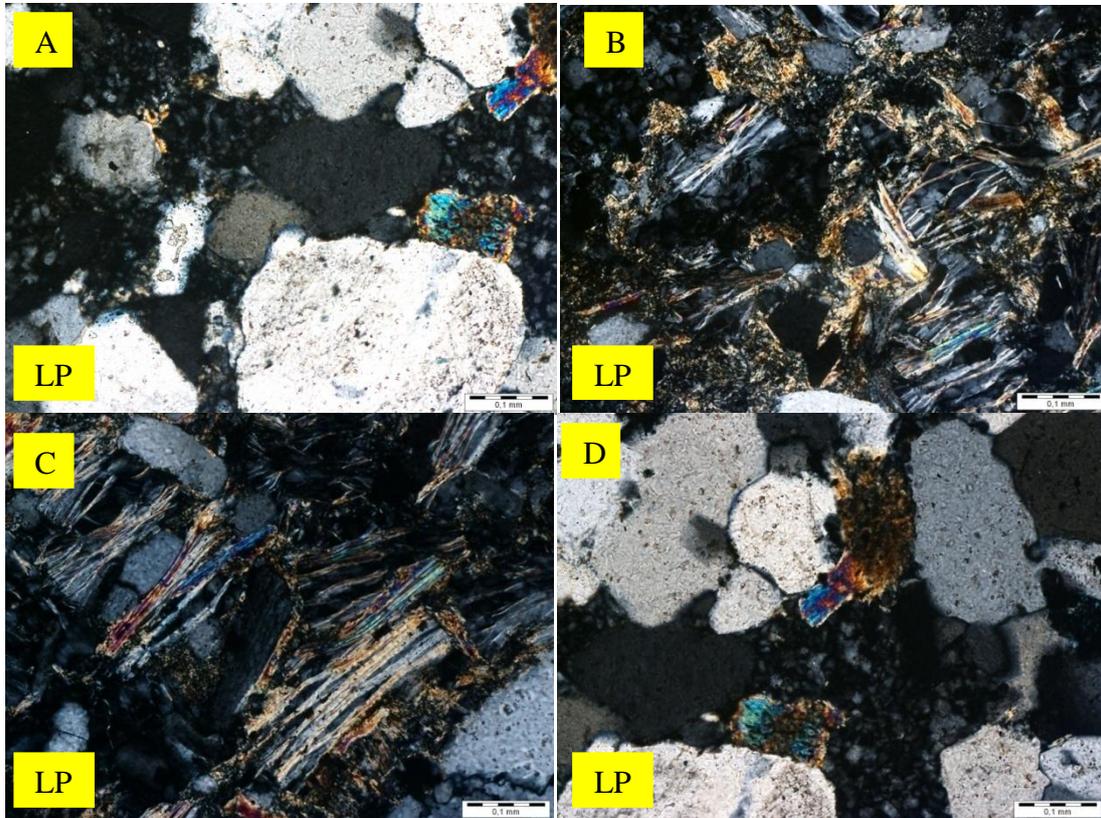


Fig.IV.9 LP, LN*2 observation en lumière polarisée l'altération des micas (A) et(B) En dickite, Altération des micas en kaolinite (C), altération des micas en illite (D).

✓ Altération des feldspaths

La kaolinite, remplissant et cimentant les pores, serait un produit de la dissolution des feldspaths. L'altération partielle ou complète des feldspaths et la néoformation de la kaolinite dans les pores sont des observations pétrographiques très souvent associées. Cependant, la kaolinite ne remplace pas le feldspath in situ (à la différence des micas), mais précipite dans des pores voisins, ce qui implique une mobilité de l'aluminium à l'échelle de quelques grains au moins.

La kaolinite précipitée dans des pores est surtout caractéristique des facies fluviatiles et marins peu profonds pour lesquels l'infiltration d'eaux météoriques est aisée, à la différence des facies marins distaux, souvent moins perméables.

La profondeur maximale de dissolution des feldspaths et formation de la kaolinite est estimée de 1500 à 2000 m (soit une température maximale de 80°C) (B.Marchal, 2000).

Chapitre IV

Toutefois, d'après Worden et Burley (2003). La destruction du feldspath et la formation de la kaolinite se réalise durant la télodiagenèse donc tardivement car les roches sont de nouveau exposées aux conditions de surface, facilitant ainsi l'infiltration des eaux météoriques acides et riches en CO₂.

L'hypothèse la plus probable qui explique la présence du ciment kaolinitique dans tous les grés de Hassi Guettar, serait le grand soulèvement qu'a connu la région durant la phase hercynienne majeure au Permien.

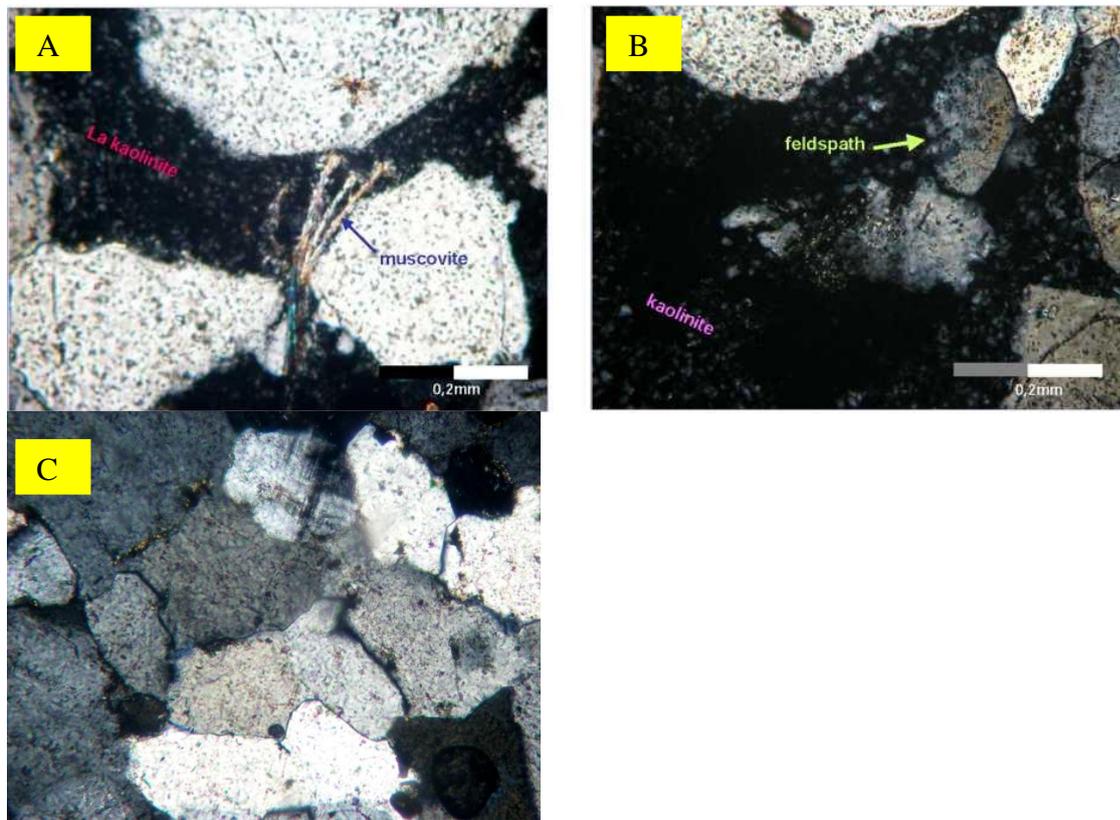


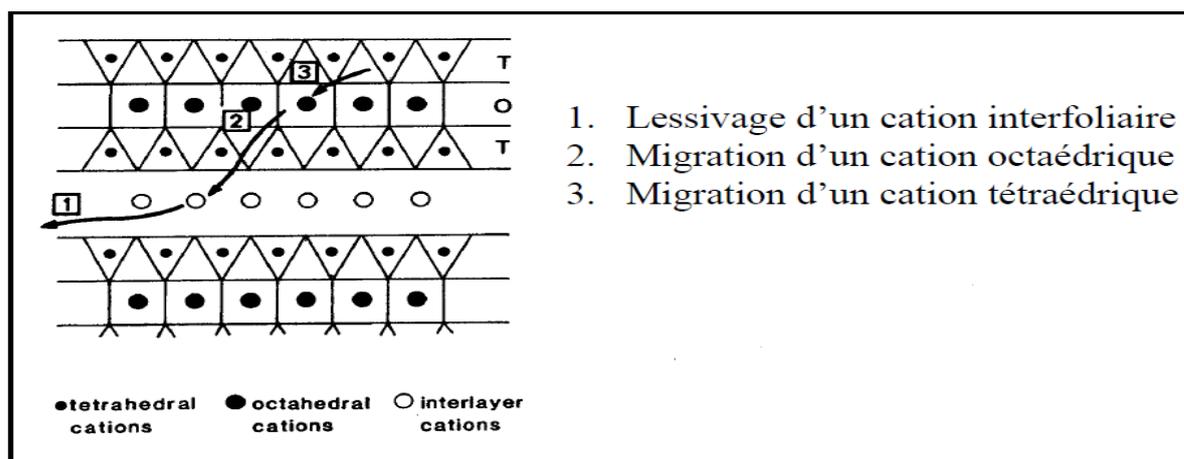
Fig.IV.10 : observation en lumière polarisée de la formation de la kaolinite à partir de l'altération des micas et du feldspath.

✓ **L'illite**: Le ciment illitique s'observe en proportion plutôt élevée dans le puits HGA1 vers HGA3.

Dans le sondage HGA-1, on remarque une prédominance de l'illite dans certains niveaux. Cette illite n'est certainement pas de la même origine car elle se montre sous deux formes ; antigénique et détritique. Cette dernière apparaît en coating (revêtement) autour des grains de quartz tandis que l'illite diagenétique s'observe épigenisant le ciment kaolinitique.

Chapitre IV

L'illite en pore lining était à l'origine une smectite (montmorillonite) qui a subi un remplacement progressif par l'illite à une température supérieure à 70°-90°C (Burley et Worden 2003). La transformation de la smectite en illite implique un piégeage d'Al et K tout en préservant plus ou moins la structure, cette réaction peut se faire par transformation en étapes successives, avec production d'intermédiaires interstratifiés ou par néoformation, impliquant une phase de dissolution et la précipitation d'illites avec des interfaces gonflantes de type smectite. Ce type d'argile s'observe à faible valeur dans les deux puits.



FigVI.11 : Influence de l'hydrolyse sur les minéraux argileux (Chamley et Hervé. Clay, 1989).

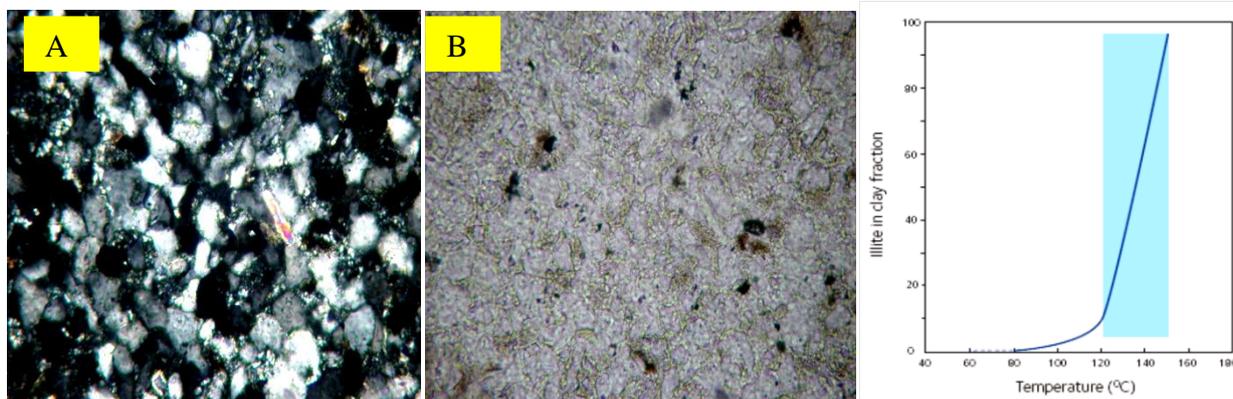


Fig.IV.12: Les différents types d'illite. (A) l'illite épigénèse les plages de kaolinite; cote 3843m/puits 2. (B) illite en revêtement autour des grains de quartz; cote 3872,50m/puits 2. (C) Intervalle thermique de la formation de l'illite, d'après Buller et al (2005).

■ Illite-Montmorillonite

À l'aide des résultats Radiocristallographiques (voir les annexe), on a pu mettre en évidence de l'interstratifiés illite- montmorillonite. Son pourcentage varie de 0 à 4 %, cet interstratifié

Chapitre IV

marque l'évolution de la kaolinite vers illite ou la chlorite par fixation du potassium ou du magnésium.

■ chlorite

On note exceptionnellement du chlorite dans le réservoir Ri de puits HGA-4, on peut relier ce pourcentage de chlorite à une aggradation de minéraux argileux cause par un approvisionnement important de solutions riches en magnésiums (suite à l'altération des minéraux ferromagnésien de la Roche intrusive et de la zone d'alternance riche en micas).

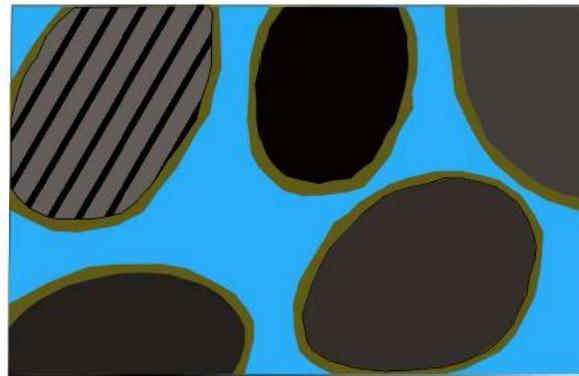
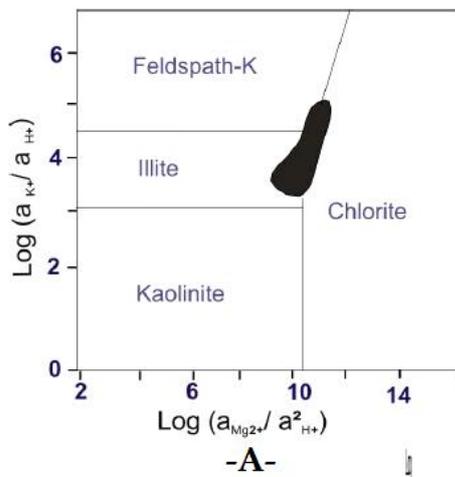


Fig.IV.13. (A) diagramme montrant la stabilité entre la kaolinite, l'illite, la chlorite et le feldspath K en admettant la saturation du quartz. (B) Chlorite en revêtement autour des grains détritiques.

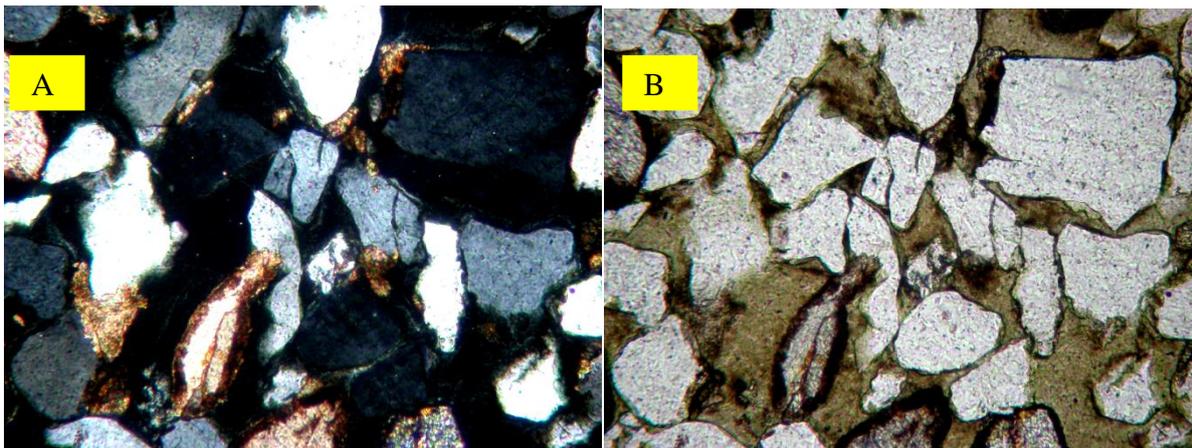


Fig.IV.14; LP, LN*2 observation en lumière polarisée de la Chlorite en revêtement autour des grains détritiques.

Chapitre IV

✓ La glauconie

C'est un minérale très précoce, il est présent dans le sondage HGA-3 au niveau de la Zone des Alternances et les Argiles d'El Gassi car il s'agit de formations marines littorales. Les minéraux glauconitiques sont des phyllithes riches en fer des leur apparition sous la forme d'une sméctite glauconitique de composition chimique spécifiée.

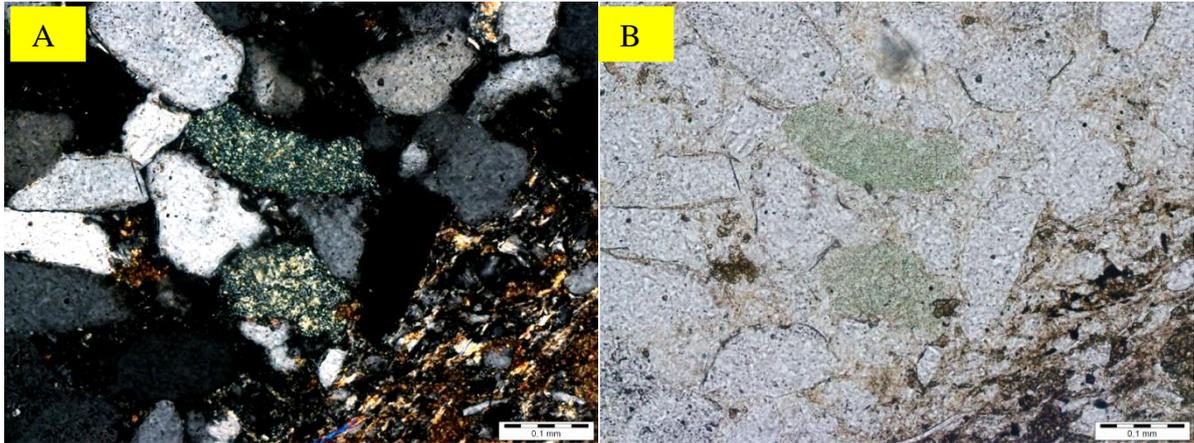


Fig.IV.15 : LP, LN*2 observation en lumière polarisée de la glauconie en voie de transformation en illite dans un grés très fin.

✓ **Précipitation des carbonates:** Le ciment carbonate est rencontré uniquement dans le réservoir Ri de puits HGA-3 et HGA-4.

Le ciment carbonate y est représenté par la calcite (CaCO_3), la dolomie $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ et la sidérite (FeCO_3) (**Fig.IV.11**). Les trois types de ciment carbonate peuvent aussi bien se former durant l'éodiagenèse que la mesodiagenèse.

L'augmentation de la température en profondeur permet la recristallisation du ciment carbonate, particulièrement le ciment calcitique.

La cristallisation tardive des carbonates (notamment la dolomie ferrifère) peut aussi se développer en l'absence de minéraux carbonates préexistants. Ceci résulte probablement de la présence de CO_2 et du fer qui proviennent soit de la décomposition des grains ou bien des formations carbonatées ou évaporitiques sus-jacentes.

Le ciment carbonaté précoce ou tardif possède un impacte très important sur la perméabilité des grés, car il cimente les pores et obture la porosité, cependant, il est souvent dissout mais remplacé par d'autres ciments (Burley et Worden 2003).

✓ La dolomie

Se montre également en faible proportion dans les grés de Hassi Messaoud et elle se différencie du ciment calcitique par son aspect "sale".

La dolomie se forme en présence de fluides riches en bicarbonate (CaCO_3) et magnésium, durant la mesodiagenèse à une température semblable à celle de la formation du ciment siliceux et illitique (environ 100°C) selon la réaction suivante :

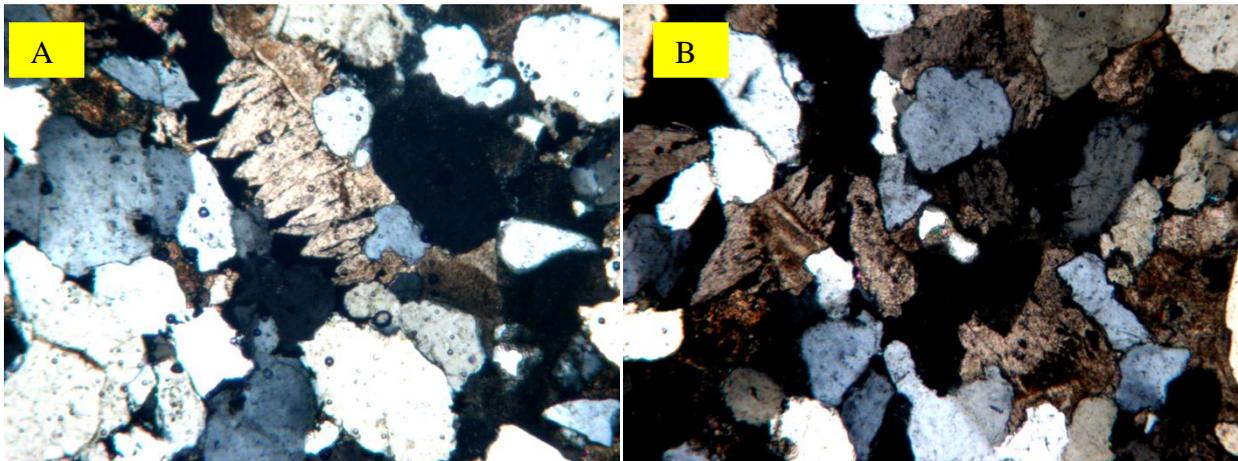
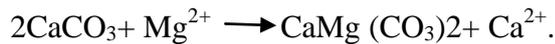


Fig.IV.16:LP, LN* observation en lumière polarisée de la dolomie en revêtement autour des grains de quartz.

✓ **Le ciment ferrugineux** : on l'observe en quantité plus ou moins importante dans les trois puits ou il atteint les 6% par endroit. Il se montre soit en coating (revêtement) autour des grains de quartz (**Fig. IV.12.A**) ou bien imprégnant le ciment argileux (notamment la kaolinite illitisée).

Le ciment ferrugineux est représenté par l'hématite. Le fer peut être mobilisé près des écoulements fluviaux, ceci est dû à sa grande accumulation qui ne réagit pas avec l'eau de mer. Il provient de l'altération des biotites, amphiboles, chlorites, etc. Comme la dissolution de ces minéraux se fait souvent dans des conditions réductrices, le fer est transporté à l'état Fe^{+2} , soluble. Il précipite à l'état d'oxyde et devient insoluble dès que le milieu devient suffisamment oxygène (la circulation d'eaux oxygénées à travers les systèmes de fractures lors des périodes de remise en surface). Une fois à l'état d'oxyde, le fer est très peu affecté par la diagenèse. Le fer peut aussi précipiter sous forme de pyrite (Burley et Worden 2003).

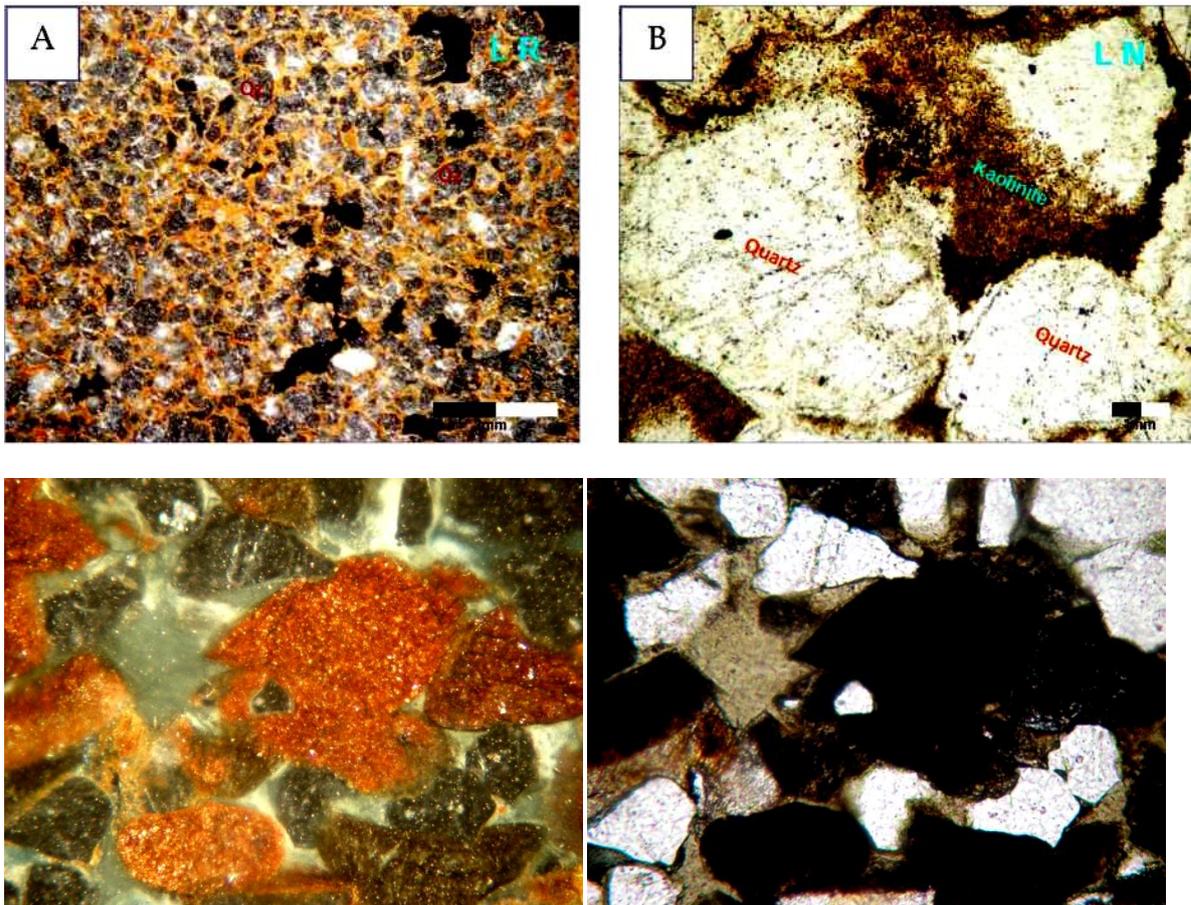
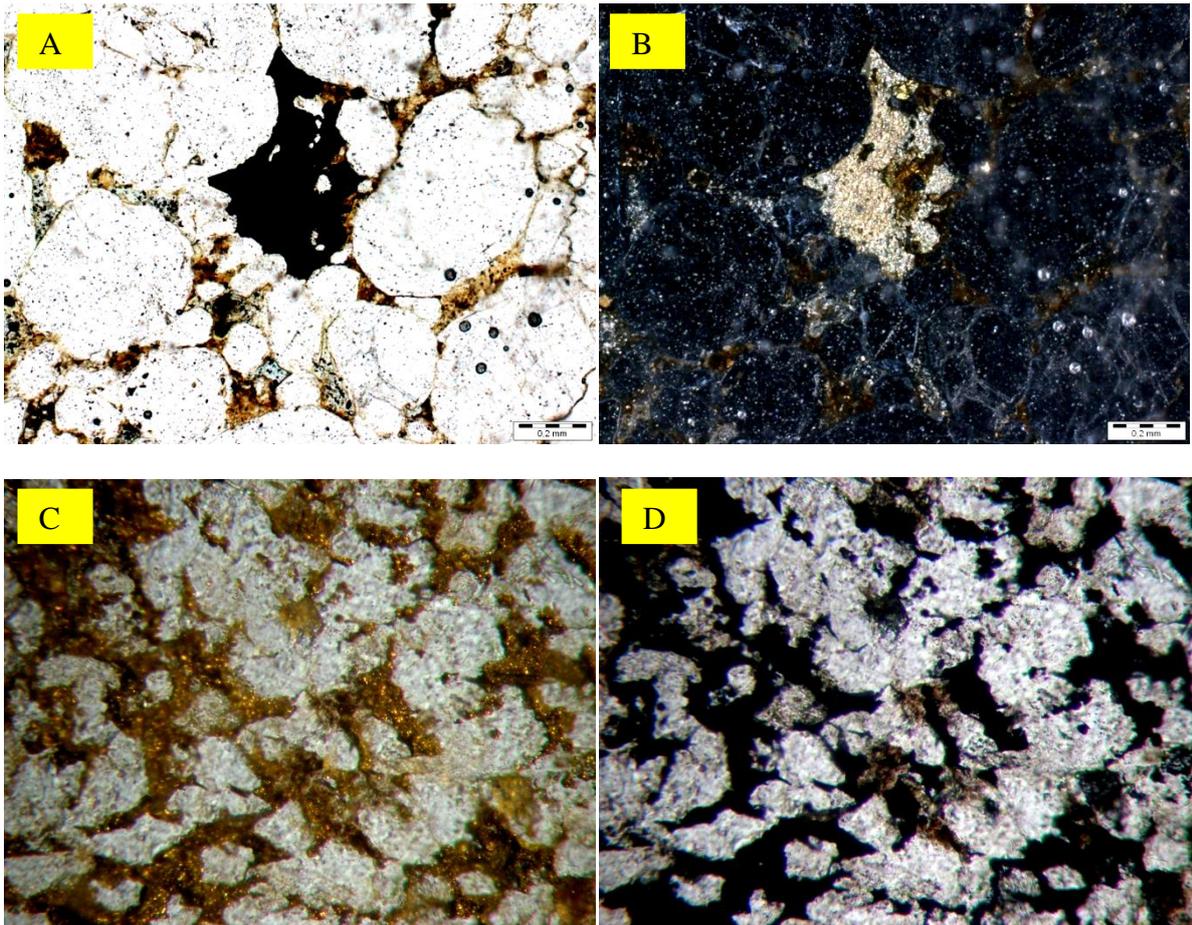


Fig.IV.17.LP ,LN*2 (A) L'oxyde de fer en revêtement autour des grains de quartz. **(B)** Imprégnation du ciment argileux par l'oxyde de fer observé en lumière polarisée analysée

✓ **Le ciment pyriteux** : est présent dans les sondages HGA-1 et HGA-4 en quantité négligeable, tandis que dans le puits HGA-3 il s'observe avec des valeurs importantes. Il se montre en pore filling entre les grains de quartz (**Fig.III.14**).

Le ciment pyriteux (FeS^{+2}) se forme durant l'éodiagenèse, mais aussi au cours de la diagenèse d'enfouissement et il occupe généralement moins de 1% du volume globale des grès.

La pyrite de la diagenèse d'enfouissement serait le ciment le plus tardif à se former et elle est souvent associée à une réduction en hématite, en présence des hydrocarbures.



*Fig.IV.18.LP ,LN*2grés moyen à grossier à argileux pyriteux observé en lumière Réfléchie.*

IV.3. La dissolution

Un grand volume de la porosité intergranulaire observé en lames minces est secondaire, généré par le processus de dissolution, qui a affecté les grains détritiques (quartz) et les ciments.

La dissolution a été observée dans les trois puits et affecte essentiellement le ciment siliceux, les grains de quartz, le ciment carbonate, l'anhydrite et galets argileux ainsi qu'un volume non négligeable d'argiles laminées et dispersées, aboutissant à la création de réseaux poreux secondaires et à l'élargissement des microfissures. Les pores secondaires sont souvent isolés, mais deviennent interconnectés quand ils sont associés à la microfissuration.

Ce phénomène est dû à la remise en mouvement de solutions diverses notamment les eaux météoriques acides riches en CO_2 au cours de la télodiagenèse (contact avec l'air) mais aussi par les réactions de décarboxylation de la matière organique dans les niveaux roches mères (au cours de l'enfouissement). Cette réaction devient importante à partir de 100°C .

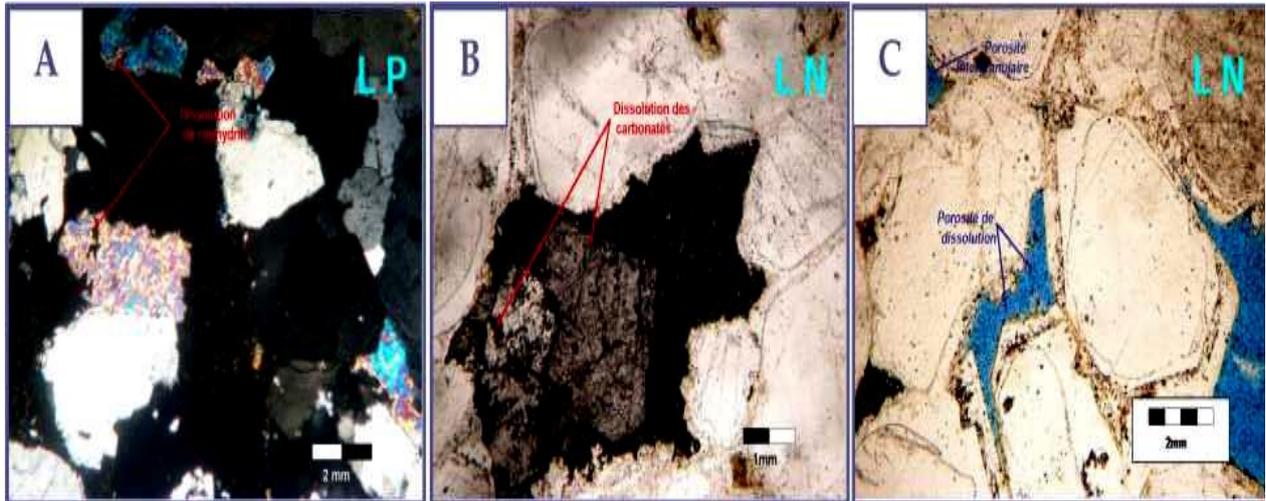


Fig.IV.19 : Les principales dissolutions observées. (A) Dissolution de l'anhydrite; cote 3373 m/puits 1. (B) Dissolution des carbonates; cote 3374 m/puits 1. (C) Dissolution de la silice; cote 3373 m/puits 1.

V. Chronologie des phénomènes diagénétiques

Les principaux phénomènes diagénétiques sont illustrés ci-après dans la **Fig.IV.22** Cette succession est basée uniquement sur les évidences texturales des principales phases minéralogiques antigéniques observées sur lames minces. Dans les trois des puits étudiés, on ne note pas de variations significatives des phases diagénétiques.

Au cours du dépôt des sédiments nous assistons à la mise en place de certains éléments tels que le quartz, la kaolinite, les micas et des interstratifiés. Durant l'enfouissement précoce, accompagnant la compaction, une solidification s'opère donnant lieu à une obturation d'une partie des pores et l'altération de certains minéraux tels que les argiles interstratifiées (Illite/Montmorillonite) en illite.

Phénomène probablement lié à une tectonique intense, favorisant ainsi, la précipitation des sulfates de Baryum.

Avec la circulation en profondeur des eaux riches en SiO_2 , la silice secondaire se développe en une silice intergranulaire. avec l'enfouissement et l'augmentation de la température, des processus plus tardifs ont lieu, tels que l'intensification de la stylolitisation et la transformation de certains minéraux comme les micas qui montrent une exfoliation de leurs feuillets provoqués par la pénétration d'eau et des produits d'altération de l'illite **Fig.IV.20(C)** et éventuellement de la kaolinite. **Fig.IV.20 (B)**.

Chapitre IV

Nous notons aussi qu'avec l'augmentation de la profondeur et l'élévation de la température et du PH devenant plus basique, les eaux riches en CaCO_3 permettent la précipitation des carbonates **Fig.IV.20 (D)**, et la dissolution de la silice créant une porosité de dissolution **Fig. IV.20 (F)**, avec apparition de la dickite (Puits HGA-3). **Fig.IV.20(A)**.

VI. Caractérisation du milieu poreux

L'enchaînement des processus diagénétiques influence intensément les qualités réservoirs du Cambro-ordovicien. La précipitation de certains ciments au début de l'enfouissement, tels que l'illite et la silice aura tendance à obturer une bonne partie de la porosité et s'en suit alors par une détérioration de la porosité. Mais, avec l'augmentation de la température, la dissolution intensive de la silice, la formation et la bonne cristallinité de la dickite, **Fig.IV.20(A)**, une amélioration des qualités réservoirs à lieu.

Par ailleurs, il faut noter que cette porosité est associée à une porosité de fractures **Fig.IV.20(E)** Issues du développement d'un réseau de microfissures.

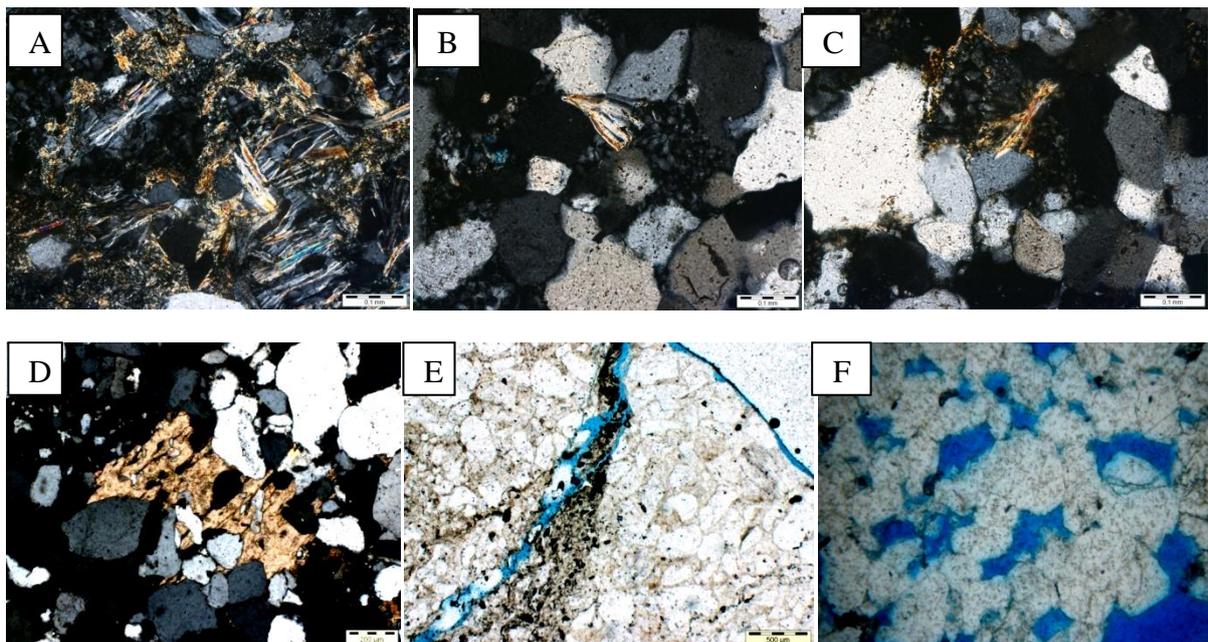


Fig.IV.20: altération des micas en dickite(A), altération des micas en kaolinite(B), illitisation de la kaolinite (C), précipitation des carbonates (D), développement de la porosité fissurale(E), porosité de dissolution(F).

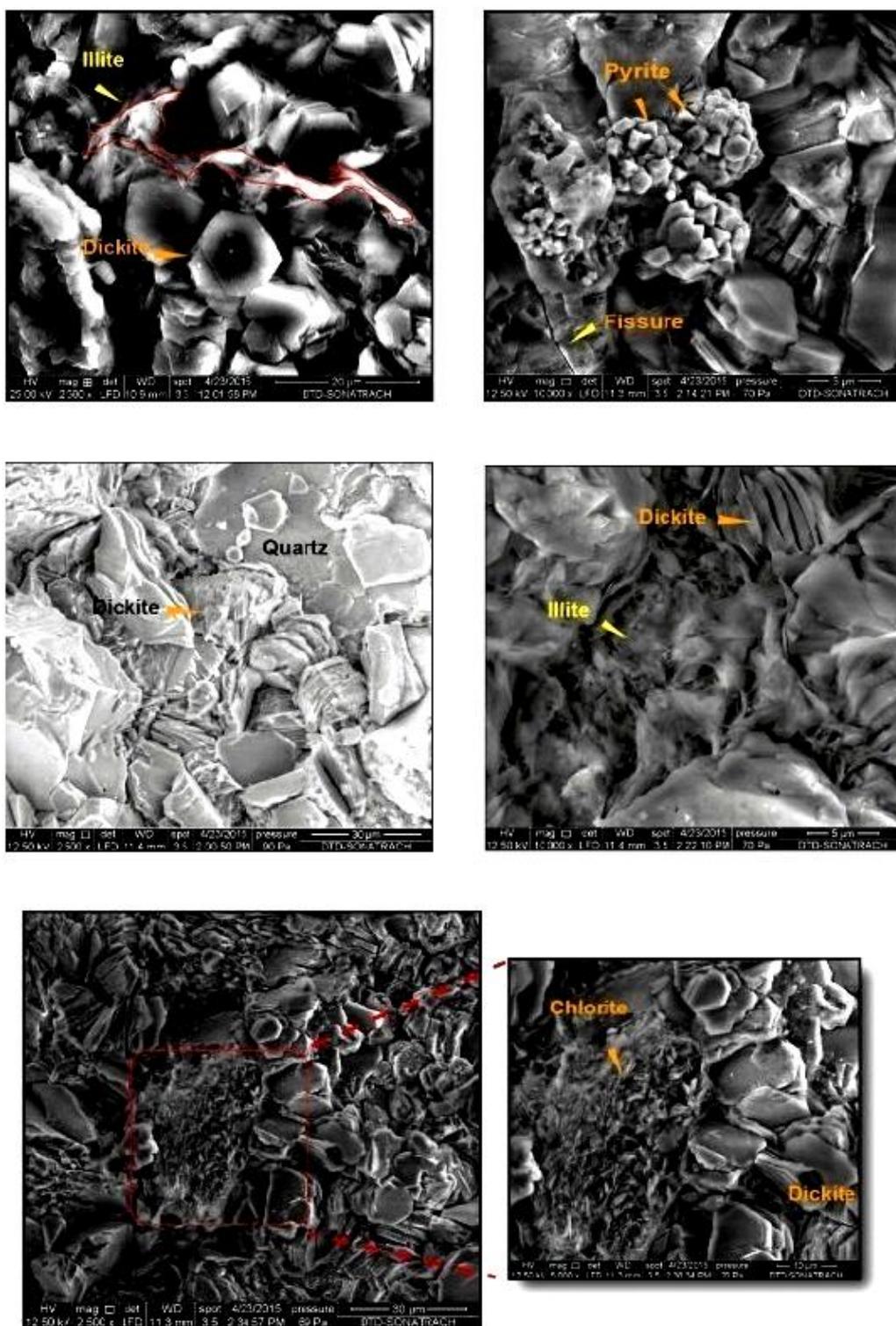


Fig. IV.21 : aspect des argiles (kaolinite, illite, chlorite) avec le quartz, la dickite, la pyrite au Microscope Electronique à balayage Côte 3489.50 m puits HGA-3.

Chapitre IV

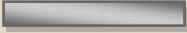
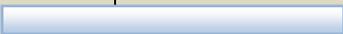
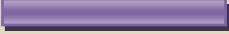
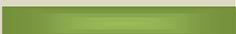
Événements Diagénétiques	précoce	D'enfouissement	tardive
Infiltration des argiles détritiques			
Précipitation de la kaolinite, de l'illite et de la montmorillonite.			
Transformation de (inter stratifiée . Illite-mont) Et illite			
Revêtement chloriteux des grains			
Dissolution des feldspaths et des minéraux instables			
Formation de la silice de nourrissage			
Précipitation de la sidérite			
Compaction chimique (silice secondaires)			
Intense stylolisation			
Formation de la baryte			
Illitisation des micas			
Précipitation des Carbonates			
Formation de la pyrite (épigénisation de la M.O)			

Fig.IV.22 :séquence diagénétiques du cambro-ordovicien du champ de HassiGuettar.

Chapitre IV

La séquence diagénétiques des grés réservoirs de Hassi Guettar proposée ci-dessous s'est produite durant trois stades ; eodiagénétique, mesodiagénétique et telodiagénétique qui peuvent être regroupés en cycle pré-hercynien et un cycle post-hercynien.

Remarque : la discordance tectonique et hercynienne sont superposées au dessus des grés cambro-ordoviciens de Hassi Guettar. On peut donc dire que l'événement Taconique pourrait avoir contribué à la structuration du dôme de Hassi Messaoud, ce qui a probablement contrôlé en partie, la diagénèse de ces grés.

VII. LE CYCLE PRE-HERCYNIEN

Les sédiments sont transportés par des réseaux fluviaux à forte énergie, s'écoulant vers le Nord et ont recouvert progressivement la paleotopographie sous un climat plutôt froid. Le taux de sédimentation était très faible, excepté aux abords des accidents tectoniques actifs durant le Cambrien. Au cours de l'Arenig une activité tectonique locale a réactivé l'ancien réseau de failles cambriennes à Hassi Messaoud (document IFP inédit 2003).

Les sédiments ainsi préservés sont composés originellement de grains de quartz, de feldspaths, de micas, de débris lithiques et de minéraux lourds. Ces dépôts connaissent un enfouissement progressif donc une compaction mécanique importante dans les premiers 500m. Ce stade diagénétique est fortement influencé par les conditions de surface déterminées par le climat et l'infiltration des eaux météoriques. A ce stade la biotite s'altère en chlorite. Le revêtement des grains détritiques en montmorillonite (chapitre3) est également précoce.

Cette montmorillonite se transforme en illite en profondeur à des températures d'environ 70° à 90°C, suivie par la formation du ciment siliceux de nourrissage. L'illite fibreuse serait formée au cours du Carbonifère avec l'augmentation du flux thermique qui enregistrait une valeur maximale de 100 MW / m² (MAKHOUS, Manzern.2004 Géologie sédimentaire Bassins. Environnements de dépôts. Formation du pétrole), ceci a été prouvé par DJARNIA, M.R 1991). Qui a daté cette illite et où il a trouvé un âge de 324Ma.

L'enfouissement des grés conduit à une compaction notable et par conséquent la dissolution des grains de quartz et la précipitation de la silice dissoute à des températures qui atteignent les 300°C.

La maturation de la matière organique et la formation de la pyrite se sont faites tardivement, durant l'enfouissement Carbonifère (l'événement Viséen).

VIII. EVENEMENT HERCYNIE

Durant le Permo-Carbonifère, toute la plate forme saharienne à connu un soulèvement très important qui a cause l'érosion de plus de 3000m de sédiments. A Hassi Messaoud l'érosion a même atteint le Cambrien, il n'y a que les niveaux de l'Ordovicien inferieur qui ont été préserves, ainsi le Cambro-ordovicien est de nouveau expose a la surface permettant aux eaux météoriques de s'infiltrer via les fractures héritées de cette phase tectonique.

Durant ce stade, on a un début de kaolinisation de l'illite (conditions lessivâtes) et altération du feldspath potassique en kaolinite qui précipite dans les pores de dissolution des carbonates.

Cette érosion hercynienne est responsable également de la croissance de la porosité et de la perméabilité et donc de l'amélioration des qualités réservoirs de HassiGuettar.

La formation de l'hématite se fait aussi durant cette période. (Document IFP inédit 2003).

IX. LE CYCLE POST-HERCYNIE

La compression hercynienne est suivie d'une relaxation a l'échelle mondiale durant tout le Mésozoïque conduisant a l'installation d'un système en horsts et grabens, ce qui a permis l'accumulation de plus de 4Km de séries continentales et marines du Mésozoïque, qui se sont déposées en discordance sur les grés cambro-ordoviciens (Gianluca Badalini and Carlos Primez 2001).

Au Trias, la région de Hassi Messaoud à connu un volcanisme doleritique et dont on trouve les traces dans les sondages pétroliers.

La circulation des fluides depuis la surface (Trias) est responsable de la précipitation des ciments carbonate et sulfate au cours de la nouvelle phase eodiagénétique. Ces ciments ont colmate les fissures et les pores créés durant l'Hercynien mais la circulation des fluides acides conduit à leur destruction et par conséquent la création d'une porosité secondaire de dissolution.

Nous avons aussi le remplacement du gypse par l'anhydrite qui se fait durant la mesodiagenèse à des températures d'environ 50° à 120°C.

La kaolinite poursuit son développement jusqu'a des températures d'environ 80°, avec la croissance de la température et de la pression, les feuillets de la kaolinite commencent à s'ordonner en dickitea partir de 80° à 130°C.

Chapitre IV

Le remplacement de la kaolinite par l'illite ou la chlorite se fait à des températures de 165° à 200°C selon la formation des eaux de pores. Cette altération s'est produite avec l'enfouissement important qu'ont connu les grés durant la phase post-hercynienne. Certains auteurs pensent que la deuxième phase de migration des hydrocarbures serait à l'origine de la formation de la pyrite tardive au cours du Jurassique supérieur Crétacé inférieur (réduction du fer qui se combine avec les sulfures du pétrole). (Document IFP inédit 2003).

Chapitre IV

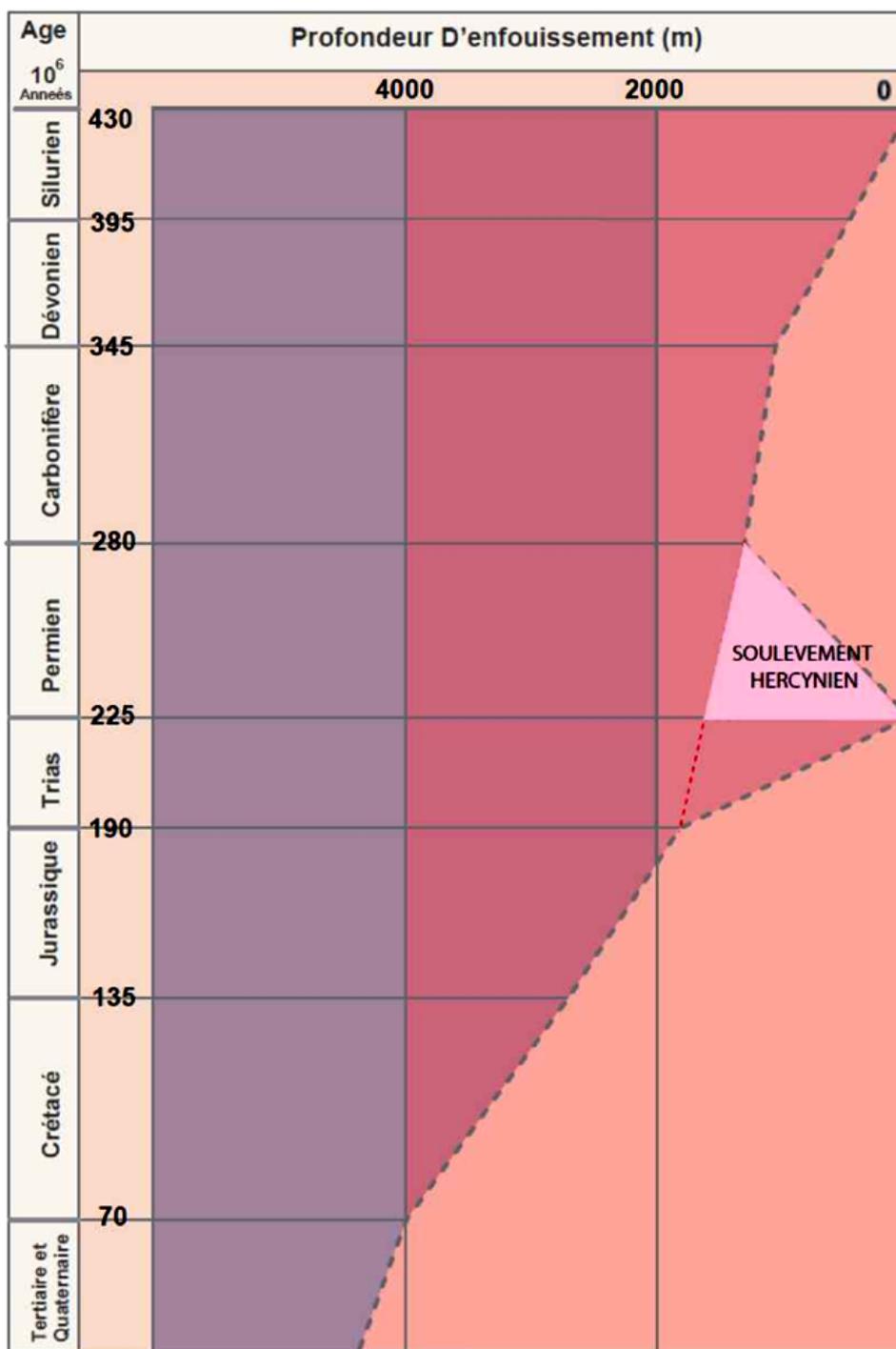


Fig.IV.23 : Evolution de la profondeur d'enfouissement du Cambro-ordovicien de la région de Hassi Messaoud (In : IFP, 1969).

Chapitre V : Influence des différents Facteurs sur les qualités Réservoirs

I. Introduction

Cette présente étude va mettre en évidence, l'influence des conditions de dépôts et des phénomènes diagénétiques sur la qualité réservoirs.

La méthodologie est basée sur des corrélations entre les courbes d'évolution verticale des proportions des différents ciments, et celle des caractéristiques pétrophysiques (porosité et perméabilité).

II. Définition de quelques notions

II.1. Porosité

La porosité ϕ d'une roche est sa propriété de présenter les vides, pores et fissures. Elle s'exprime quantitativement par le pourcentage du volume poreux par rapport au volume total de la roche.

$$\Phi(\%) = \frac{V_v}{V_t} \cdot 100$$

V_v = volume des vides.

V_t = volume total de la roche.

Cette porosité dépend de l'arrangement et du classement des grés. (In : IFP, 1969).

II.1.1. Les types de porosité

✓ **Les macropores** : sont facilement repérables à l'œil nu ou au microscope à faible grossissement (supérieur à 100 μ m) et ils incluent les porosités intercrystalline, intergranulaire, de dissolution et de fracturation.

✓ **Porosité intergranulaire** : il s'agit de la porosité présente entre les éléments figures de la roche, généralement, elle correspondra aux espaces poreux non occlus par la cimentation siliceuse. Ces pores sont généralement bien connectés (*Fig. V.1. C*).

a) **Porosité intragranulaire** : cette porosité est contenue dans les éléments figures, il s'agit de vacuoles au sein d'éléments ou de vides de dissolution.

b) **Porosité intercrystalline** : ce sont des pores qui ont été obturés localement par les auréoles de nourrissage (*Fig. V.1A*).

c) **Porosité moldique (de dissolution)** : il s'agit le plus souvent de macroporosité obtenue par dissolution, la matière dissoute pouvant être de la calcite ou de la dolomite ou encore

des évaporites... Généralement, la porosité moldique est comblée par la croissance des cimentations, mais parfois elle est partiellement ou totalement conservée. Ce type dépend du taux de dissolution et de la circulation des fluides qui déstabilisent les ciments (*Fig.V.1D*).

d) Porosité de fracture : porosité secondaire ou tardive, les microfissures seront très importantes dans les altérations en œuvre. Dans certains niveaux des deux puits, des macrofractures se sont formées, leur porosité est généralement obturée par de la calcite ou l'anhydrite (*Fig.V.1.B*). Les pores secondaires sont souvent isolés, mais deviennent interconnectés quand ils sont associés à la microfissuration.

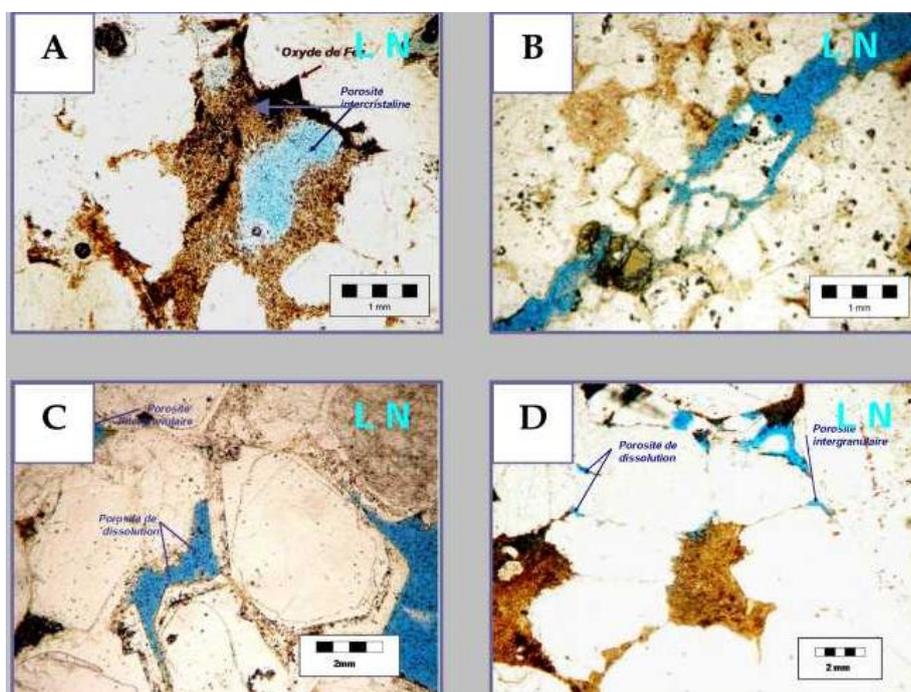


Fig.V.1 Les types de porosité. (A) Microporosité intercrystalline; cote 3372.5/puits 1. (B) Porosité de fracturation; cote 3371.5/puits 1. (C) Porosité intergranulaire et de dissolution; cote 3374/puits 1. (D) Porosité de dissolution; cote 3373/puits 1.

e) Les micropores : se caractérisent par des pores étroits, ainsi les niveaux à microporosité présentent une faible perméabilité et par conséquent ils apportent peu à la production des hydrocarbures. Ce type inclut la microporosité inter agrégats:

f) Microporosités inter agrégats: se trouvent entre les agrégats de la kaolinite ou la dickite.

g) Autres termes descriptifs de la porosité

h) Porosité occlue : il s'agit d'espaces poreux totalement déconnectés du réseau poreux et non accessibles aux fluides mouillants. Comme elle est totalement déconnectée du réseau poreux, l'importance de ce type de porosité dans la dégradation de la roche est quasiment nulle. Nous considérerons donc ce type de porosité comme négligeable.

i) Porosité libre et porosité piégée : ici encore, il s'agit de la caractérisation d'une fraction de la porosité en fonction de son comportement vis-à-vis des fluides mouillants. La porosité libre se sature en fluide mouillant et celui-ci sera totalement restitué lors de la désaturation du milieu. La porosité piégée a un comportement différent car soit elle ne se sature pas en fluide lors de l'imbibition du milieu, soit elle ne restitue pas les fluides lors du drainage. Les pores ayant une porosité piégée sont classiquement des pores à trois dimensions dont les tailles d'accès sont réduites par rapport à la dimension totale du pore, ou des milieux où les circulations de fluides mouillants sont difficiles.

j) Porosité interconnectée ou non connectée : les macrospores pourront être connectés entre eux par de petits pores capillaires de forme globalement cylindrique (mauvais degré de connexion) ou alors ils se connecteront directement les uns avec les autres (fort degré de connexion). Un fort pourcentage de porosité piégée peut indiquer que les pores sont mal connectés, mais il faut surtout relier le taux de connexion de la porosité au degré de perméabilité aux fluides.

k) Porosité initiale dite aussi porosité primaire : La porosité primaire est une porosité que le sédiment possédait lors de son dépôt ou de sa formation, par exemple entre les grains.

l) Porosité secondaire : s'est formée au cours de l'histoire des grès soit par des phases de dissolution ou de fracturation. L'histoire d'un grès montre très souvent une alternance entre des phases de diminution de la porosité (poronécrose par compaction, cimentation...) et des phases de création de porosité (porogénèse par dissolution, fissuration...). Ainsi, la porosité

m) primaire pourra être partiellement ou totalement obturée par des phases diagénétiques postérieures.

II.2. Perméabilité

Un milieu poreux ne permet le déplacement de fluides que dans la mesure où ses pores sont liés entre eux, on dit alors qu'il est perméable. La perméabilité présente ainsi la facilité avec laquelle une formation permet à un fluide de viscosité donnée de la traverser.

La perméabilité absolue d'un fluide est alors donnée d'après la loi de Darcy :

$$Q = k \cdot \frac{S}{\mu} \cdot \frac{dp}{dx}$$

Q est le débit du fluide monophasique.

S est la section de la formation.

μ est la viscosité de fluide.

$\frac{dp}{dx}$ est le gradient de pression. (In : IFP, 1969).

III. Influence des indices granulométriques

Le résultat des analyses pétrographiques des échantillons des trois puits étudiés montrent que les indices granulométriques des grès qui constituent le réservoir Ri et Ra sont très variables.

III.1. Relation granulométrie/qualité réservoir

La corrélation entre les courbes d'évolution verticales et celle de la porosité

« *Fig.V.1, 2,3* » montre une amélioration de la porosité en fonction de l'augmentation de la taille des grains moyens.

III.2. Relation classement /qualité réservoir

Elle n'est pas aussi évidente que la relation granulométrie qualité réservoir *Fig.V.(1, 2,3)*, cependant on peut noter que parfois la porosité augmente en fonction de l'amélioration du classement des grains de quartz.

L'imperforation de la relation entre classement et qualité réservoirs peut être due à l'influence d'autres facteurs liés à la condition de dépôt (pourcentage des liants) et certains phénomènes diagénétiques (cimentation, pression dissolution ...).

III.3. Relation morphoscopie/ qualité réservoir

Cette relation existe, elle se traduit par une augmentation de la porosité et parfois de la perméabilité en fonction de l'arrondi des grains de quartz *Fig. V. (2, 3,4)*.

Chapitre V

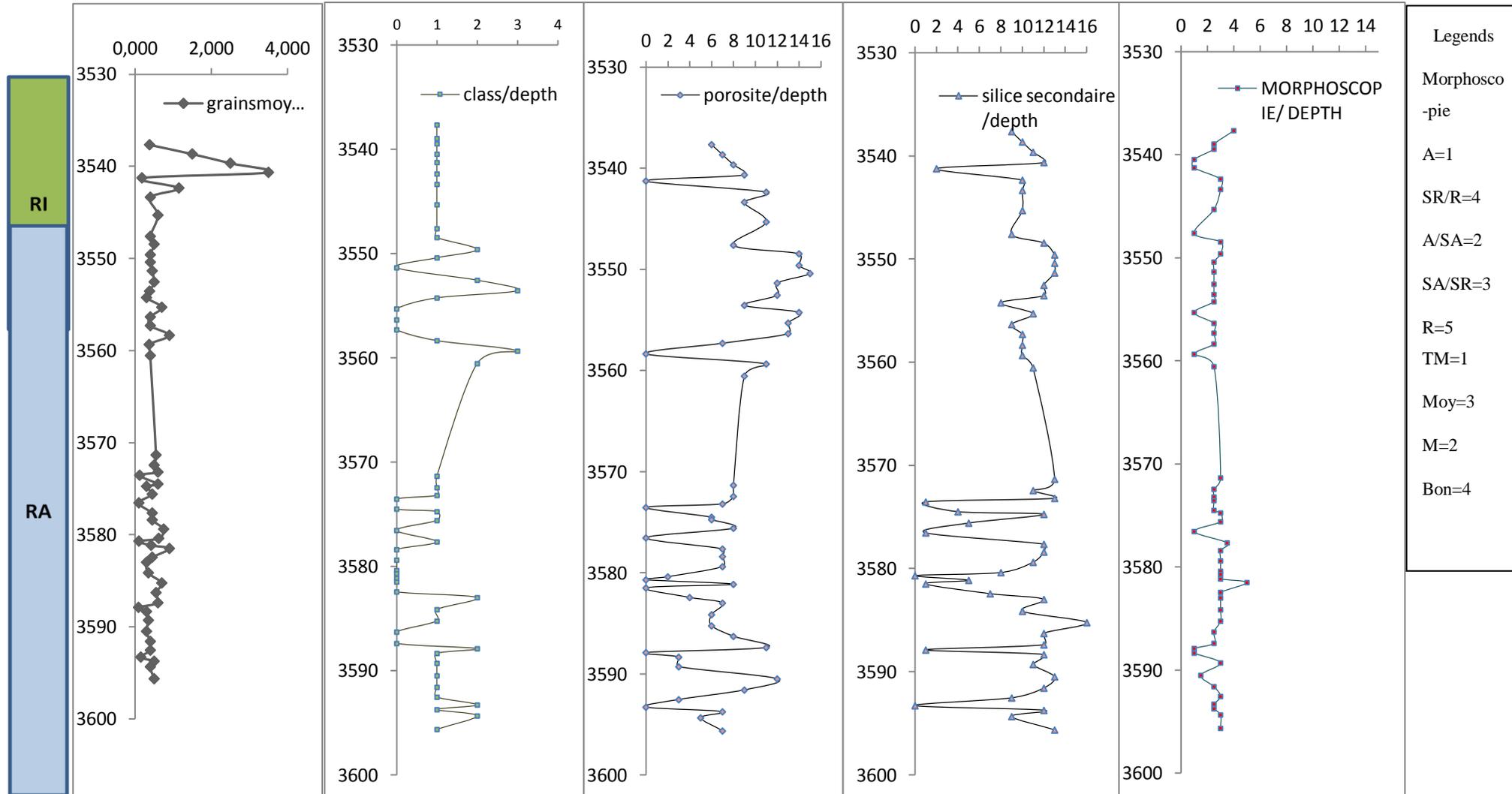


Fig. V.2 : influence des indices granulométriques sur les propriétés pétrophysiques du puits HGA-1

Chapitre V

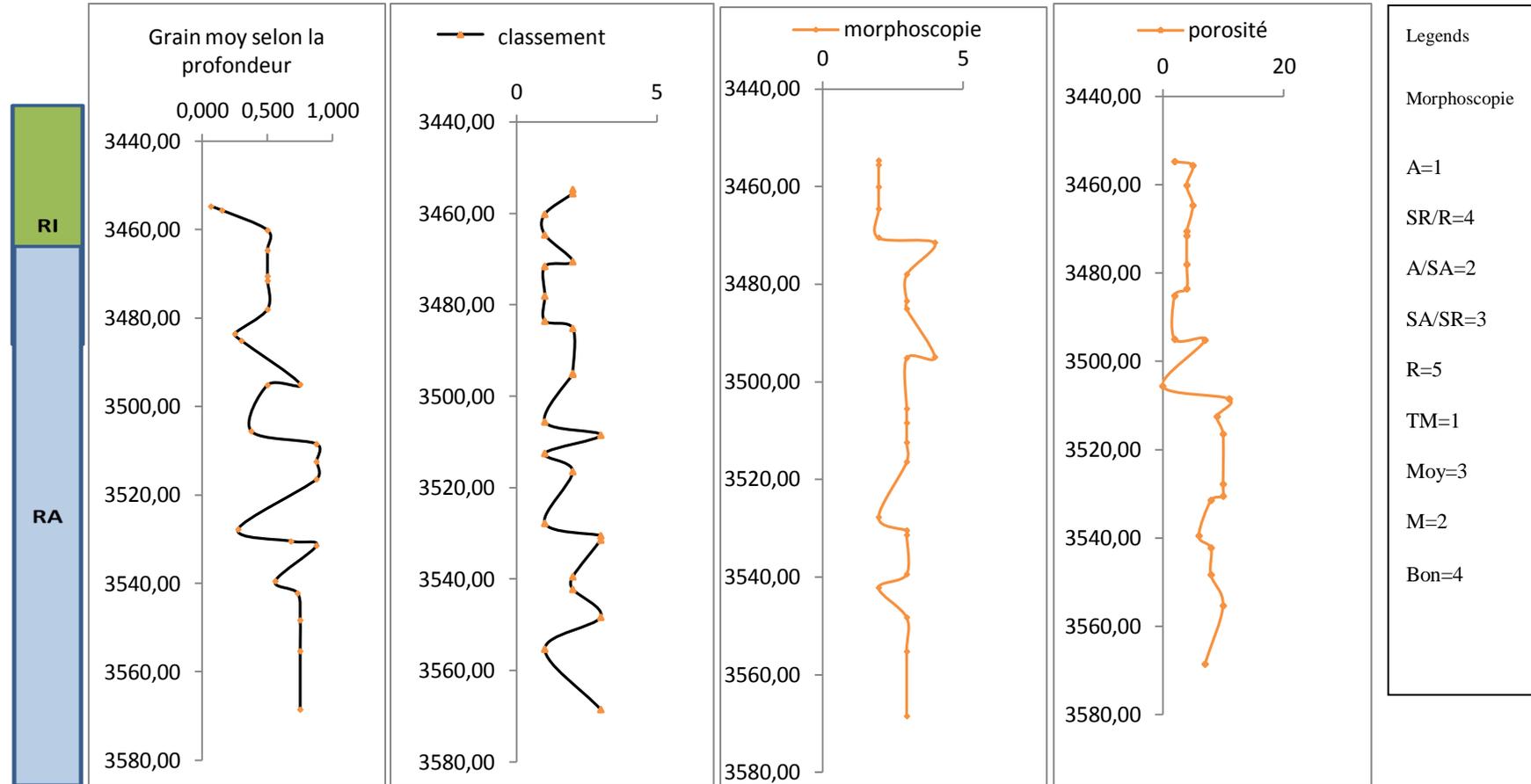


FIG. V.3 : influence des indices granulométriques sur les propriétés pétrophysiques du puits HGA-3

Chapitre V



Fig.V.4 : influence des indices granulométriques sur les propriétés pétrophysiques du puits HGA-4.

D'après les données recueillies concernant les propriétés réservoir des trois puits et les observations lors de l'étude diagénétiques, nous pourrions conclure que, mis à part les facteurs pétrographiques liés à l'environnement de dépôt, tel que la granulométrie et le classement, les modifications diagénétiques ont une grande influence sur les qualités réservoir, ceci se résume comme suit:

IV. Influence de la compaction

L'enfouissement des séries sédimentaires se traduit par un réarrangement et un empilement important des grains, ainsi une diminution du volume de la roche et par conséquent la détérioration des propriétés réservoir.

V. Influence de la cimentation Fig. V. (3, 4,5)

Elle se traduit d'une manière générale par une diminution des porosités- perméabilités, donc des qualités réservoir.

✓ **Le ciment argileux:** qu'il soit reparti dans les espaces intergranulaires en remplaçant les phases dissoutes ou bien obturant les vides (illite), le ciment argileux diminue la porosité et la perméabilité. Néanmoins, la kaolinite garde une certaine porosité intercrystalline. La chlorite et l'illite quand elles entourent des grains de quartz détritiques, inhibent la nucléation et donc la formation d'une auréole de nourrissage ce qui améliore la qualité réservoir. *Fig. V. (3, 4,5)*

✓ **Le ciment siliceux :** quand il s'agit d'un nourrissage, ce dernier inhibe la compaction. La porosité primaire n'est pas dégradée, par contre s'il est en partie constitué par le ciment interstitiel de pression-dissolution, il y'a dégradation totale des propriétés réservoir notamment la porosité.

Fig. V. (3, 4,5)

✓ **Le ciment carbonate et anhydritique :** Les ciments dolomitique, calcitique et anhydritique existent en faible proportion, mais ils se développent entre les grains colmatant ainsi la porosité primaire et les fissures réduisant la porosité secondaire, La présence de siderite, en association avec les argiles est également néfaste pour les qualités réservoir.

✓ **Le ciment pyriteux:** généralement postérieur aux autres ciments, et souvent lié à la migration des hydrocarbures. Sa présence dans les pores et les fissures diminue la porosité et la perméabilité. *Fig. V. (4, 5,6)*

VI. Influence de la dissolution

La dissolution affecte le quartz, le ciment siliceux, et carbonate, engendrant une porosité importante, mais colmatée par les ciments argileux (kaolinite).

VII. Influence de la fissuration

Les fissures quand elles ne sont pas remplies et quand elles deviennent interconnectées, elles sont très favorables pour les qualités réservoir, car elles permettent la circulation des fluides. Mais quand elles sont colmatées par la silice, elles constituent des barrières de perméabilité.

Chapitre V

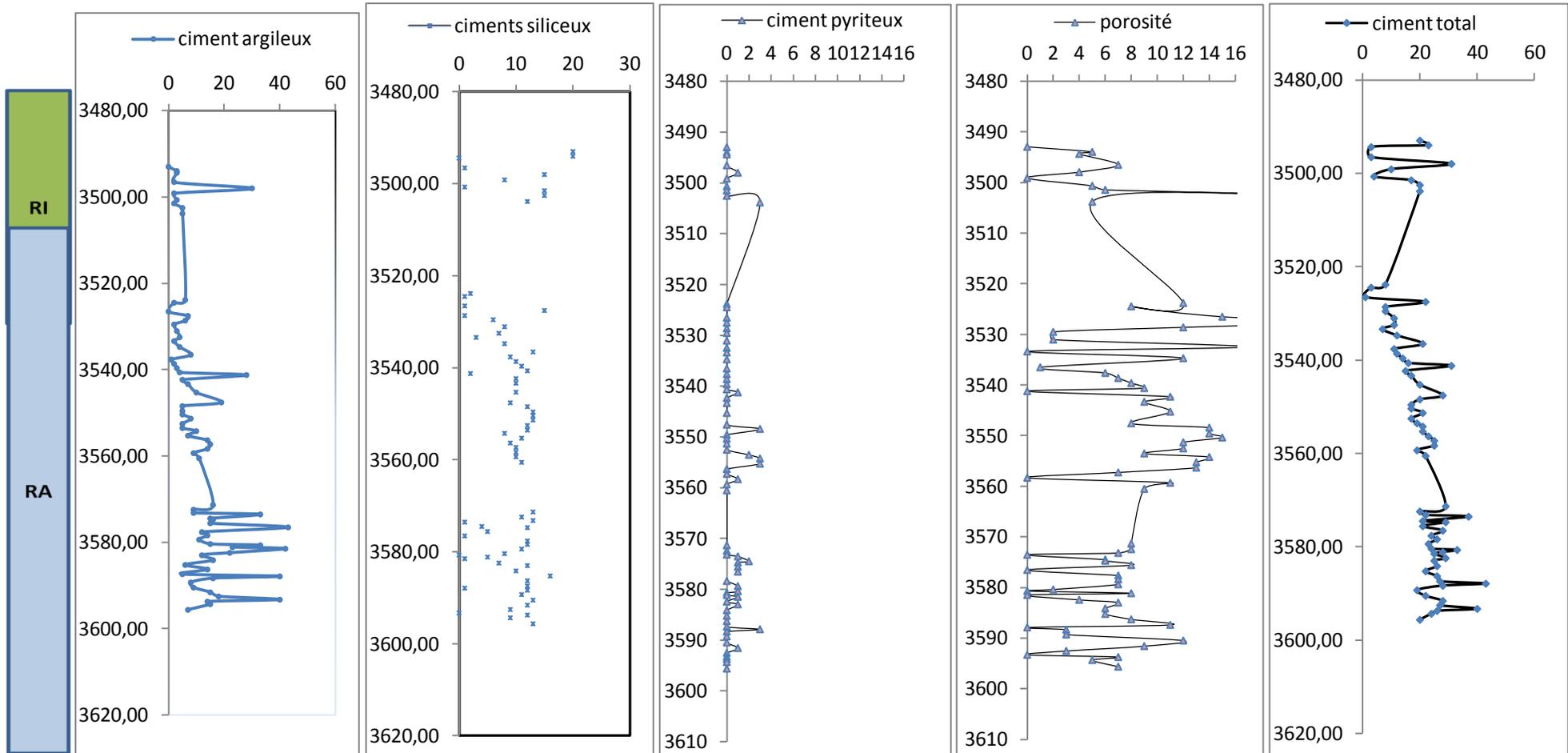


Fig. V.5 : influence des différents ciments sur les propriétés pétrophysiques du puits HGA-1

Chapitre V

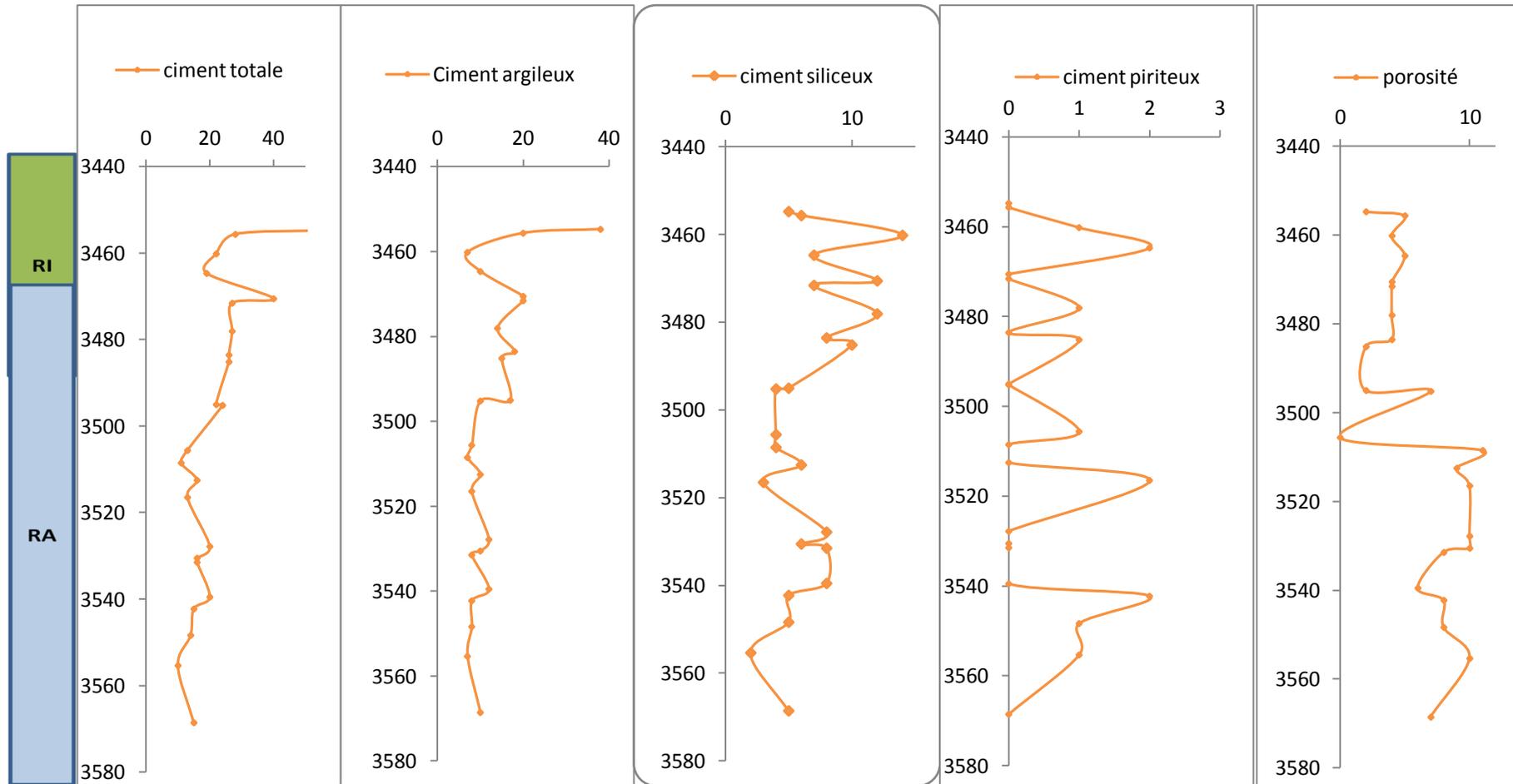


Fig. V.6 : *influence des différents ciments sur les propriétés pétrophysiques du puits HGA-3*

Chapitre V

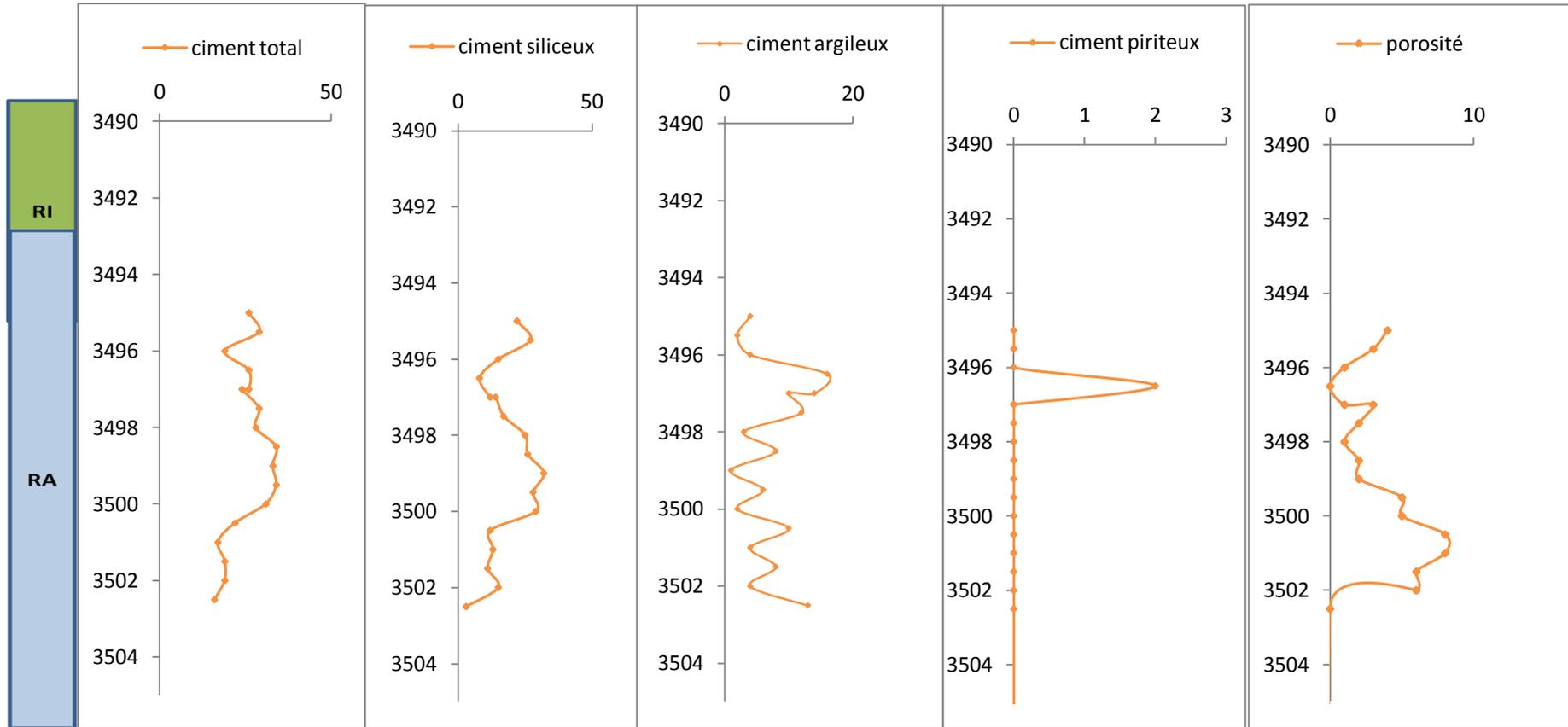


Fig. V.7: influence des différents ciments sur les propriétés pétrophysiques du puits HGA-4.

VIII. Influence de la tectonique sur les propriétés pétrophysiques des réservoirs

Les résultats d'étude structurale décrite dans le premier chapitre montre que les séries cambro-ordovicienne de la région de HassiGuettar sont affectées principalement par la phase hercynienne qui était à l'origine de la structuration de cette région engendrant des accidents de direction SW-NE.

A moindre degré les phases tectoniques postérieures sont à l'origine de rejeu des anciennes accidents de faible importance. L'effet de cette tectonique sur les séries de cambrien de HassiGuettar se manifeste sur la création de fissure sub-verticale ouverte ayant amélioré considérablement la perméabilité en plus de la porosité. Ces fissures sont parfois colmatées partiellement par la pyrite, et par les carbonates, comme le cas de HGA-3.

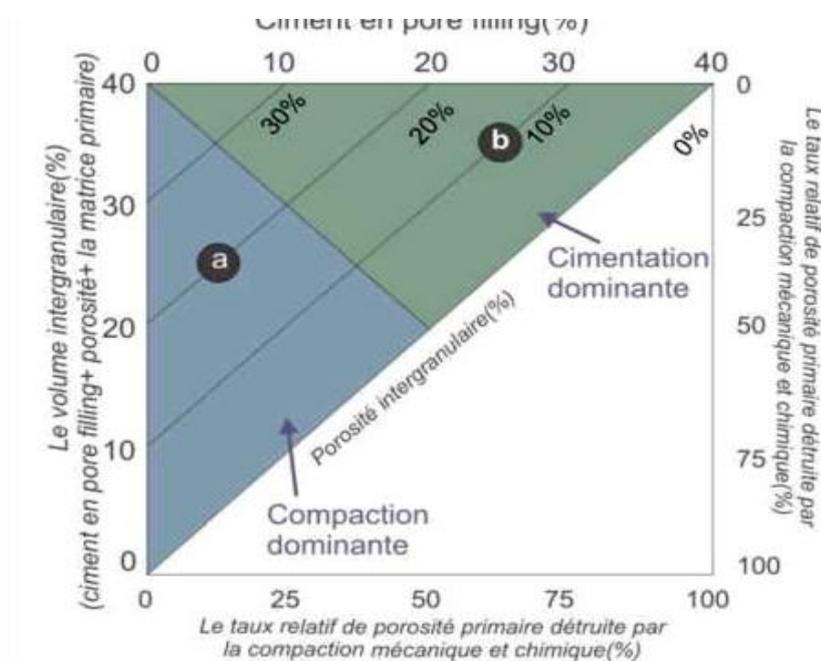


Fig. V.8 Diagramme illustrant les différents modes de destruction de la porosité dans les grès.

Le volume intergranulaire vaut la somme de la porosité intergranulaire préservée, les ciments en pore filling et la matrice et n'inclue pas les ciments qui remplacent les grains détritiques ou qui colmatent les pores secondaires. La porosité primaire simulée est de 40%. Le champ "a" représente les grès dominés par les porosités qui sont détruites par la cimentation. Ces grès ont 5% de ciments et 20% de porosité intergranulaire et donc 25% de porosités sont détruites par compaction. Alors que dans le champ "b", les grès présentent 25% de ciments mais 10% de porosité inter granulaire et donc seulement 5% de porosité sont détruite par compaction (Burley et Worden 2003).

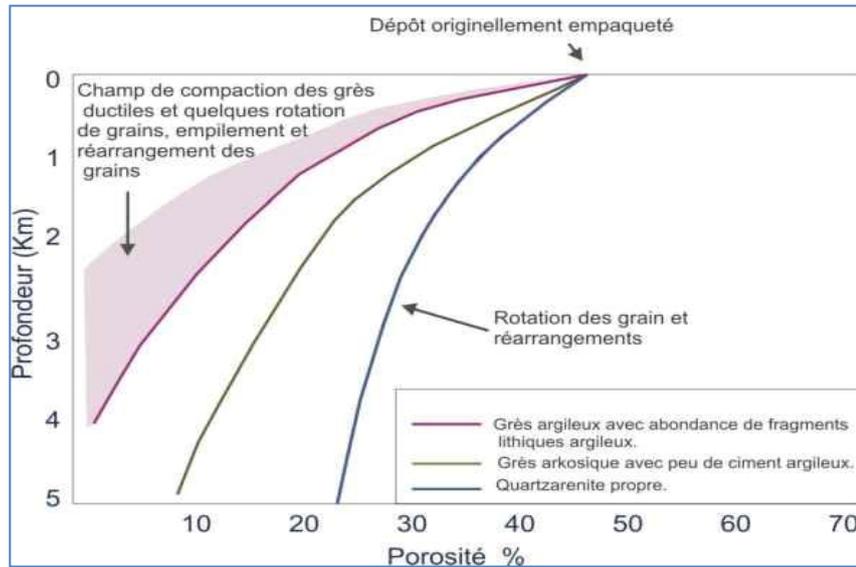


Fig. V.9 : Représentation des courbes de compaction pour les grès avec différentes lithologies primaires.

Les grès déposés ont une porosité initiale de 45%. Les grès compacts à grains ductiles atteignent des valeurs faibles de porosités de 26%, ceci en raison du réarrangement des grains. La quantité croissante des grains ductiles conduit à de faibles porosités pour une profondeur donnée car les grains argileux sont écrasés et forment en dernier lieu une pseudomatrice (Burley et Worden 2003).

IX. Influence des phénomènes diagénétiques sur les qualités réservoirs

Les plots des figures (4, 5, 6) traduisant l'évolution verticale des différents paramètres pétrophysiques corrélés avec celle de la porosité, semblent démentir

L'existence d'une relation négative entre la porosité et le développement des différents ciments argileux, pyriteux, et siliceux.

Cet effet néfaste de la cimentation sur les qualités réservoirs du cambrien est confirmé par l'étude (ci-après) de la perte de porosité suivant la méthode de LUNDEGNAID, (1991).

✓ Perte de porosité

Il est tout à fait que la perte de porosité dans les réservoirs argilo-gréseux est due essentiellement à la cimentation et la compaction mécanique. Dans ce paragraphe, on essaiera de déterminer lequel des deux phénomènes est plus influent sur la perte de porosité dans les réservoirs du cambrien dans la région d'étude.

L'étude de la perte de porosité est basée sur les diagrammes de Paul D. Lundegard (1991). Ce diagramme exploite les résultats pétrographiques et consiste à quantifier la perte de porosité due au phénomène de compaction et perte de porosité causée par la cimentation.

On supposant que la porosité initiale des réservoirs (P_i) égale à 45%, on considère deux paramètres pétrographiques obtenus par l'observation au microscope optique, la porosité totale (P_o) et le ciment totale (C)

La perte de porosité par la compaction (COPL : compactional porosity loss) serait :

$$\text{COPL} = P_i \left(\frac{(100 - P_i) * P_{mc}}{100 - P_{mc}} \right)$$

Et la perte de porosité par la cimentation (CEPL : cementational porosity loss) serait :

$$\text{CEPL} = (P_i - \text{COPL}) * (C / P_{mc})$$

Où la P_{mc} est la somme de la porosité estimée total et du ciment total.

L'exploitation du diagramme se base sur l'établissement du graphe de COPL en fonction de CEPL. Si les points se rapprochent plus de l'axe qui porte les valeurs de COPL, la perte de porosité est due à la compaction mécanique, et si les points sont du côté de l'axe qui porte les valeurs de CEPL, la perte de porosité est alors due au phénomène de cimentation.

L'application de cette méthode aux réservoirs gréseux du cambrien de HassiGuettar (*Fig. V.10*) montre que la perte de porosité est due essentiellement à la compaction.

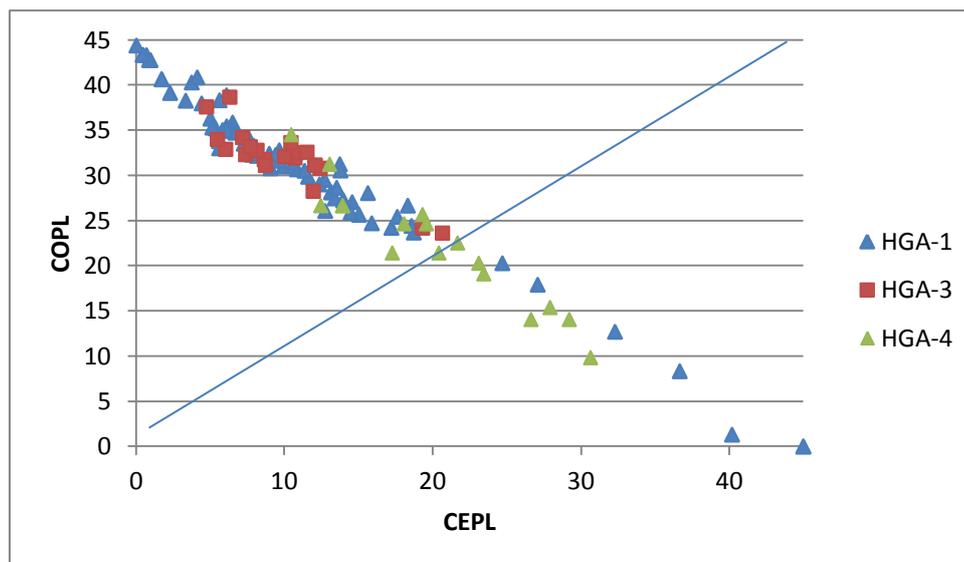


Fig. V.10 : *COPL/CEPL de réservoirs de cambrien de HassiGuettar.*

IX.1. Caractérisation de la porosité

L'ensemble des échantillons étudiés au microscope à montré que l'essentiel du réseau poreux est constitué par la porosité intergranulaire et la porosité de dissolution.

Cependant, la porosité intergranulaire préservée de la compaction est généralement la plus importante, le reste étant représenté par l'espace de l'espace de porosité de dissolution généralement de grande dimension.

X. Conclusion

L'influence des différents phénomènes sur les qualités réservoirs se traduit par deux effets :

1. Effets favorables :

- Les indices de granulométrie.
- Développements du ciment siliceux et de nourrissage qui à une influence indirecte par inhibition des processus des processus de compactions.
- Dissolution des ciments siliceux.
- L'influence de la phase tectonique traduite par porosité de fracture.

2. Effet défavorable :

- Développement du ciment argileux, pyriteux et carbonatés (facultatif pour le sondage HGA-3).

Conclusion Générale

Conclusion générale

Conclusion générale

L'étude sédimentologique menée de façon détaillée sur les 123m de carottes du puits HGA-3, a permis de déterminer les principales facies dans les dépôts du Cambrien. Ces associations reflètent une succession de quatre (04) environnements de dépôt :

- A la base des grès quartzitiques grossiers à granules de quartz millimétriques et structures sédimentaires de types entrecroisées en auges témoignant d'une dynamique fluviale.
- Des grès quartzitiques à granulométrie moyenne d'épaisseur pluridécimétrique à quelques incursions marines (Skolithos de petite taille) séparés par des argiles silteuses à structures de vagues (centimétriques) indiquant un environnement (Fluvio-marin).
- Des grès quartzitiques marin peu profond (Upper-shoreface) caractérisé par une granulométrie moyenne à fine intensément bioturbés à quelques structures sédimentaires peu visibles telles que stratifications planes horizontales.
- Au sommet un facies d'épaisseur plurimétrique et hétérolithique (bioturbation diverses) témoignant d'un environnement (Middle-lowershoreface).

Les deux niveaux gréseux constituant les réservoirs du champ de HassiGuettar dénommées Ri et Ra sont attribuées au cambrien.

- Le niveau Ra constitue une séquence d'ordre 3.
 - Les séquences d'ordre deux de ce membre présentent une granulométrie décroissante vers le sommet.
- La corrélation de ces deux membres à travers des deux puits montre :
 - Une diminution d'épaisseurs vers le sud.
 - Une argilosité croissante vers le nord.
 - Une granulométrie décroissante vers le sommet des séquences et vers le nord.
 - L'étude granulométrique montre que les grés de ce membre proviennent du sud, transporté par roulement.
- Ces grés sont déposés dans un milieu fluviale à régime anastomosé.
- Le niveau Ri constitue un membre.
 - La polarité granulométrique des séquences de ce membre est positive.
 - Les dépôts argileux gréseux de la zone Ri reflètent un environnement littoral calme peu profond à régime transgressif, ou l'action des vagues se fait ressentir.
- Le niveau Ri dans le puits HGA-4 est marqué par une intrusion magmatique.

Conclusion générale

- De point de vue pétrographique, les grés du cambrien sont constitués principalement de quartz, on trouve aussi des micas et accessoirement des minéraux lourds, ces éléments figurés, sont cimentés par les ciments siliceux, argileux, pyriteux et carbonatés (HGA-4).
- Le niveau poreux est représenté par la porosité intergranulaire, de dissolution, fissurale et intercrystalline.
- L'ensemble des observations pétrographiques nous ont permis de déterminer les phénomènes diagénétiques majeurs qui ont affecté ces faciès réservoirs ; parmi lesquels on peut citer le développement de ciment siliceux libéré par la transformation des feldspaths et des micas en argiles, l'aggradation et la dégradation des argiles, le développement de la pyrite, les dissolutions du ciment et la précipitation des carbonates.
- L'influence de ces phénomènes diagénétiques sur les qualités réservoirs se résume par un effet favorable de la dissolution du ciment siliceux, et l'influence défavorable des développements des différents ciments. L'effet des conditions de dépôts se manifeste favorablement par l'augmentation de la taille des grains, l'amélioration de leur classement et de leur morphologie.

Références Bibliographiques

AKOUCHE M. ,2007

Application de la datation par trace de fission a l'analyse de la thermicité de bassins a potentialités pétroliers exemple (la cuvette de Sbaa et de bassin de l'ahnet-nord),These Doctorat P **283**

AOUMER S., 2005

Etudes des corps éruptifs cambro-ordoviciens du champ de Hassi Guettar par les diagraphies. Mémoire d'ingénieur P **79**.

BENZAOUI Z ., 2013

Stimulation par acidification ou puits OMK 842, MD 414, OMJ 711 champ de Hassi Messaoud.Mémoire de Master en production P **93**.

B.E.I.C.I.P.SONATRACH ., 1978

Etude géologique du champ de Hassi R'mel.1ere partie : étude sismique et structurale.

2eme partie : étude géologique des réservoirs (Rapport interne CRD SONATRACH).

BURLEY SD. & WORDEN R .,2003

Sandstone diagenesis: recent and ancient. Reprint series volume 4 of the International Association of Sedimentologists. Blackwells,Oxford pp.**3-44**.

BEUF S. et.al., 1971

Les grés du paléozoïque inférieur du Sahara Algérien. Edition Technip. Paris P **464**.

BOUDJEMA A., 1987

Evolution structurale du bassin pétrolier triasique du Sahara Nord-oriental (Algérie), Thèse de doctorat, Paris XI. P **290**.

Chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du Gaz Naturel comité des Techniciens, 1986.

Corps sédimentaires exemples sismiques et diagraphies. Paris.

CHAMLEY H ., 1987

Sédimentologie .Edition Dunod, coll. Géoscience, Paris. P **175**.

COJAN. ISABELLE.et RENARD. MAURICE., 1997

Sédimentologie. Masson (édition paris Rééd 1999,2003,2006.P 418

CONRAD G., 1969

L'évolution continentale post-hercynienne du Sahara Algérien (Saoura, Erg chech, Tanezrouft et Ahnet-Mouydir). Edition ENRS. Paris. P 527 .

DAOUD F.Z., 1996

La perméabilité des sols fins compactés. Thèse de Doctorat de l'institut polytechnique de Lorraine, P 194.

DELFAUD J., 1974

Typologie scalaire des séquences sédimentaires en fonction du milieu de dépôts France, vol.XVI, N°06 P 393-343.

DJARNIA M.R. 1991

Unconventional resources in Algeria: appraisal result from the Hamra Quartzite reservoir vol17 P 313-327.

DJARNIA M.R et FEKIRINE B., 1998

Sediment logical and digenetic controls on cambro Ordovician reservoirs quality in the southern Hassi Messaoud area.(Saharan platform Algéria) in: petroleum Géology of north Africa (ed) .D.S Macgregor . special publication No 132 p 167-175.

DUNOYER DE SEGONZAC.G.D.1969

L'évolution des grandes familles de minéraux argileux dans la diagenèse profonde et l'épizone métamorphique. Service carte géologique, Alsace Lorraine ,Mémoire 29 p 320.

FABRE J.1976

Introduction a la géologie du Sahara Algérien et régions voisines .Edition S.N.E.D, Alger. P422.

FEKIRINE B et SAADI M.,1997

Rapport de fin de sondage HGA-1(Rapport interne CRD SONATRACH).

Rapport de fin de sondage HGA-3(Rapport interne CRD SONATRACH).

Rapport de fin de sondage HGA-4(Rapport interne CRD SONATRACH).

GIANLUCA. BADALINI and CARLOS .PIRMEZ. 2001

Useful discussions about channels and sub marine slope processes. Sedimentology, 8.

HAMEL A. ,1988

Etude géologique des grès triasique du gisement pétrolier de Hassi R'mel (Algérie). Thèse de doctorat, université de FRANCHE-COMTE.

HARMS, JC, al

Structures and sequence in clastic rocks,soc,paléont,Minéral,(shoct course,N°9 p **251**.

IFP. 1969 Intergrated Study Of a Fractured Middle East Reservoir With Stratiform Super-K.

J.L.BLES. , 1969

Les relations des microfractures avec les plissements dans la région du Djbel Ben Tadjin et Km30 (Sahara occidentale –Algérie. Pub Serv.Géol.Algérie ,(Nlle série) Bull.n°39,p **193-204**

KADI B., 1999

Etude pétrographique et diagénétiques des réservoirs cambro-ordoviciens de Hassi-Guettar. (Rapport interne C.R.D SONATRACH).

KAZI-TANI N., 1986

Evolution géodynamique de la bordure Nord-africaine: le domaine inter-plaque Nord-algérien, approche mégaséquentielle. Thèse de doctorat, université de Pau. 2vol p **870**.

KAZI-TANI N., 1995

Stratigraphie séquentielle et sédimentologique. Séminaires-ateliers Sonatrach Inédit.

MAKHOUS MANZERN., 2004

Géologie sédimentaire Bassins. Environnements de dépôts. Formation du pétrole.

MILLOT G., 1964

Géologie des argiles, Masson et Cie Edition, Paris. P **449**

NEDJARI., et Al 2012

Le passage DEVONIEN-CARBONIFERE dans les régions de l'Ougarta Timimoune et de l'Ahnet p **109.**

SERRA O., 1985

Diagraphies différées : base de l'interprétation des données diagraphiques (1^{ère} édition); ELF. Aquitaine.p **361.**

SERRA O., 1979

Diagraphie différée : Base de l'interprétation. Rev. A.Fr.Tech.Petr., num°227, Paris. p **328.**

SERRA O. ,1987

Diagraphie différée : Base de l'interprétation Bull. Centre de recherches SNPA, Tome2-Pau.

SERRA O., 2003

DIAGRAPHIE ET APPLICATION. Auteur :Lorenzo Serra, Oberto Serra Edt : Technip,serra log, Total Fina Elf P**586.**

TUCKER M.E., 1982

Sedimentary and petrology. An introduction .Blackwell, Oxford. P **416.**

YAHIAOUI L., 2010

Analyse complexe et evaluation des programs des puits short radius et horizontaux a Hassi Messaoud Aspect Géologique et Application dans la partie Sud .Magister P **205.**

Annexes

RESULTATS D'ANALYSES PETROGRAPHIQUES DU PUITHS HGA - 1

COTES	G.MAX	G.MOY.	QTZ.POLY.	QUARTZ	SILICE	MICAS	ARGILE	KAOLL.	ILLITE	MONT.	PYRITE	C.TOTAL	POROSITE	INTERCL.	INTRACL.	DISSOLL.	INTERCR.
3492.4	1.075	0.3		70	14		12	10	2			14	4	3			1
3493.6	0.875	0.25		70	11		18	11	3			25	5	3			2
3494.4	1.15	0.25		69	7		14	16	2			25	6	4			2
3495.35	1	0.3		73	6		20	16	4			26	1	1			
3496.55	0.9	0.375		76	13		10	8	2			23	1	1			
3496.6	1	0.45		73	12		12	10	2			24	3	2			1
3498.4	0.75	0.2		52	0	3	44	22	21	1	1	45	0				
3499.15	0.75	0.2		65	5	2	25	13	12	1	2	32	1			1	
3500.7	0.1	0.375		70	5		16	13	3		4	25	5	3			1
3501.5	0.1	0.3		63	13		15	13	2		3	31	6	4			1
3502.55	0.8	0.2		67	11		14	12	2			25	8	6			1
3503.85	0.425	0.15		63	15	2	20	15	5			35	0				
3524.5	0.925	0.325		65	13		16	13	3		1	30	5	3			1
3505.5	0.8	0.35		70	14		7	6	1		3	24	6	4			1
3506.7	0.55	0.175		77	13		6	5	1		1	20	3	2			1
3523.85	0.75	0.325		64	11		15	12	3			26	10	6			3
3524.5	1	0.3		61	11		17	14	3			28	11	7			3
3525.6	0.95	0.25		60	12		16	13	3			28	12	8			3
3526.55	1	0.25		60	12		15	13	2			27	13	8			4
3527.65	1	0.3		63	13		12	10	2			25	12	8			3
3528.65	1.125	0.25		63	12		13	10	3			25	12	8			3
3529.55	1	0.375		66	12		10	9	1		1	23	11	8			2
3530.6	1.25	0.5		72	8		13	11	2			21	7	5			1
3531.7	1.75	0.5		70	12		12	11	1			24	6	3			2
3532.5	1.76	0.575		70	13		10	9	1			23	7	4			2
3533.4	0.875	0.075		54		9	35	30	5		2	37					
3534.75	1.625	0.675		66	14		12	11	1			26	8	6			1
3535.4	1.25	0.125		62	1	7	30	25	5			31					
3536.55	1.395	0.625		67	13		13	12	1			26	7	5			1
3537.65	1.75	0.625		71	14		9	8	1			23	6	4			1
3538.95	4.75	0.875	3	64	15		10	8	2			25	8	5			2
3539.45	3	0.675	3	65	14		8	7	1			22	10	6			3
3540.45	2.25	0.625	3	68	15		7	6	1			22	7	5			1
3541.25	1.25	0.075		45		6	49	30	19			49					
3542.35	4	1.25	3	60	15		8	7	1			23	14	8			4
3543.35	2.25	0.375		65	14	2	7	6	1			21	12	8			2
3544.25	0.2	0.075		34		9	56	51	5		1	57					
3545.3	2.25	0.625	2	54	17	2	10	9	1			27	15	9			4

RESULTATS D'ANALYSES PETROGRAPHIQUES DU PUITHS HGA - 1

COTES	G.MAX	G.MOY.	QTZ.POLY.	QUARTZ	SILICE	MICAS	ARGILE	KAOLL.	ILLITE	MONT.	PYRITE	C.TOTAL	POROSITE	INTERCL.	INTRACL.	DISSOLL.	INTERCRI.
3580.7	0.875	0.075		58	9	33	30	3				33			1	1	2
3581.15	1.375	0.425		63	6	1	26	24	2			32	4				
3581.5	0.625	0.075		40	15	45	43	2				45					2
3582.45	1.5	0.5		67	6	1	24	23	1			30	2		2	2	2
3583	1	0.25		72	12		10	10				22	6		1	1	2
3584.15	1.125	0.3		71	9		16	15	1			25	4				
3584.6	0.625	0.15		54	7	39	37	2				39			5	1	1
3585.25	1.75	0.75	2	71	15	7	7					22	5				
3586.3	1.75	0.625	3	65	12	1	16	15	1			28	3			1	2
3587.4	1.5	0.5	1	73	12		6	6	3			18	8		5	3	
3587.9	0.225	0.075		40	12	48	46	2				48	0				
3588.35	2.25	0.45		69	12	16	15	1				28	3			2	1
3589.3	1.65	0.4		75	12	10	10					22	3			2	1
3590.5	1.25	0.375		66	13		9					22	12		6	5	1
3591.6	1.5	0.5		63	12	15	15				1	28	9		5	3	1
3592.55	1.75	0.375		68	9	2	18	16	2			27	3			1	2
3593.3	0.625	0.175		45	9	15	40	38	2			40					
3593.75	1.75	0.6		67	12	14	13	1				26	7		1	4	2
3594.35	1.26	0.425		71	9	15	14	1				24	5		2	2	1
3595.65	2.75	0.625		73	13	7	7					20	7		4	2	1
3596	1.25	0.075		40	13	47	45	2				47					
3596.35	1.725	0.4		54	11	1	18	17	1			29	16		5	8	1
3597.3	2.25	0.5		62	12	11	10	1				23	15		8	6	1
3598.5	2.25	0.075		64	12	1	9	9	1			21	14		8	5	1
3599.2	0.25	0.075		25	12	63	67	6				63					
3599.6	2.75	0.075		64	14	5	5					19	17		9	8	

RESULTATS D'ANALYSES PETROGRAPHIQUES DU PUIT HGA - 3

COTES	G.MAX	G.MOY.	QIZ.POLY.	QUARTZ	SILICE	MICAS	ARGILE	PYRITE	CARBO.	C.TOTAL	POROSITE	INTRACL.	DISSOLUT.	INTERCR.
3451.5				20		13	67			80				
3453	0.6	0.125		50		5	45			50				
3455	0.25	0.175		45	2	4	42		7	55				
3456.2	0.55	0.25		74	11	3	12			26				
3456.6	0.575	0.25		71	12	2	10		5	29				
3457.2	0.875	0.5		71	14		15			29				
3458	0.875	0.5		60	8	3	27			38	2	1	1	
3458.3	0.75	0.425		73	22		5			27				
3458.8	0.75	0.625		59	11		26			37	4	1	2	1
3459.6	1.375	0.625		63	17		16	1		34	3	1	1	1
3459.6	0.75	0.425		75	13		7			20	5	2	2	1
3460	0.75	0.45		70	13		15			28	2	2		
3460.6	0.875	0.45		76	14		7			21	3	3		
3461.2	1	0.5		68	12		19			31	1	1		
3461.5	1	0.625		66	12		16			28	6	4	2	
3462	1	0.5		59	14		18	1		33	8	5	3	
3462.5	0.975	0.5		64	13		17			30	6	4	2	
3463.2	1.125	0.5		73	12		10			22	5	4	1	
3463.8	1	0.375		66	12		19			31	3	2	1	
3464.5	1.125	0.5		67	13		12	1		26	7	5	2	
3465	1	0.55		65	12		15			27	8	5	3	
3465.45	0.875	0.4		72	12		10	1		23	5	5		
3466	0.975	0.45		67	11		19			30	3	2	1	
3466.4	0.75	0.325		67	11		16			27	6	4	2	
3467	0.755	0.325		65	11	1	18	1		31	4	3	1	
3467.5	0.875	0.5		71	11		15			26	3	2	1	
3468	1.125	0.45		65	13	1	17			31	4	3	1	
3468.4	0.75	0.25		75	13		10	1		24	1	1		
3469	0.875	0.325		76	14	1	9			24				
3469.5	0.75	0.3		82	13		5			18				
3470	0.625	0.35		80	12		6	1		19	1	1		
3470.5	1	0.325		66	12	2	18	1		33	1	1		
3471	0.9	0.25		74	11	1	13	1		26				
3471.5	0.9	0.25		69	10	2	16	2		30	1	1		
3472	0.825	0.45		71	9		17	1		27	2	1	1	
3472.5	0.725	0.15		65	4	1	27	1		33	2	1	1	
3473	0.875	0.4		74	11	1	10			22	4	2	2	
3473.6	0.75	0.375		72	11		12			23	5	3	2	
3474	0.85	0.325		82	12		6			18				
3474.6	0.625	0.325		79	13		7			20	1	1		
3475.3	0.5	0.275		63	5	7	20	4		36	1	1		
3476	0.55	0.225		68	5	2	24	1		32				

RESULTATS D'ANALYSES PETROGRAPHIQUES DU PUIITS HGA - 3

COTES	G.MAX	G.MOY.	QTZ.POLY.	QUARTZ	SILICE	MICAS	ARGILE	PYRITE	CARBO.	C.TOTAL	POROSITE	INTRACL.	DISSOLUT.	INTERCRI.
3476.5	0.575	0.2		66	7	1	25	1		34		4	1	
3477	0.8	0.225		69	13	1	10	2		26	5	4	1	
3477.5	0.55	0.275		69	12		13			25	6	5	1	
3478	0.625	0.3		75	0	1	20			21	4	2	2	
3478.5	0.625	0.375		65	7	2	23			32	3	2	1	
3479	0.575	0.4		77	11		5			16	7	5	2	
3479.5	1	0.375		77	12		5	3		20	3	3		
3480	1.125	0.5		71	10	1	18			29				
3480.8	0.775	0.2		64	13	1	22			36				
3481	0.75	0.175		66	13	1	19			33	1	1		
3481.5	0.625	0.225		66	11	1	18	1		31	3	2	1	
3482	0.625	0.25		68	12	1	16			29	3	2	1	
3482.5	0.65	0.275		73	3	4	17	3		27				
3483	0.625	0.25		73	8	1	13	1		23	4	3	1	
3483.6	0.8	0.275		75	5	2	18			25				
3484	0.55	0.325		74	8		14			22	4	3	1	
3484.4	0.625	0.25		66	11	1	20	2		34				
3485	0.575	0.25		71	2	2	25			29				
3485.5	0.5	0.2		60	10	3	27			40				
3486	1	0.25		65	1	4	30			35				
3486.5	0.5	0.2		81	12		7			19				
3487	0.6	0.5		74	12	1	11			24	2	2		
3487.5	0.5	0.175		70	7	3	18			28	2	2		
3488	0.9	0.275		71	8	1	17			26	3	2	1	
3488.5	0.875	0.25		73	10	1	16			27				
3489	0.7	0.275		73	13	2	9	3		27				
3489.4	0.625	0.225		73	11	1	15			27				
3490	0.8	0.475		69	14	1	11			26	5	4	1	
3490.8	0.5	0.125		68	11	2	17			30	2	1	1	
3491.4	0.65	0.475		75	11		10			21	4	3	1	
3492	0.625	0.35		73	10	2	12			24	3	2	1	
3492.7	0.6	0.2		65	9	1	18			28	7	4	3	
3493.3	1.25	0.2		64	11	2	17			30	6	4	2	
3493.8	0.625	0.375		65	4	5	26			35				
3494	0.5	0.25		72	9	2	15			26	2	2		
3494.7	0.75	0.275		69	11	1	19			31				
3495.2	0.875	0.3		69	13	1	15			29	2	1	1	
3495.6	1.125	0.25		65	11	3	20			34	1	1		
3496.2	0.875	0.375		73	12		10			22	5	4	1	
3497	1	0.3		68	8		18			26	6	5	1	
3497.5	1	0.25		75	9		13			22	3	3		
3498	0.875	0.25		71	7		20			27	2	2		

RESULTATS D'ANALYSES PETROGRAPHIQUES DU PUITHS HGA - 4

COTES	G.MAX	G.MOY.	QTZ.POLY.	QUARTZ	SILICE	MICAS	ARGILE	PYRITE	CARBO.	POROSITE	INTRACL.	DISSOLU.	INTERCR.	FRACTU.
3408	0.25	0.075		45		7	42		6					
3413.47	0.3	0.075		39		6	52		3					
3417.49	0.875	0.2		73	13	1	10		3					
3419.61	1.075	0.425		74	11		13	2						
3420.44	1.125	0.25		79	14		7							
3421.53	0.75	0.275		72	12	1	15							
3422.4	0.875	0.5		73	12		10			5	3	2		
3424.38	0.825	0.5		75	9		14	1		1	1			
3425.44	0.925	0.5		75	11		11	1		2	1	1		
3426.54	0.85	0.3		77	10		10	1		2	1	1		
3427.43	0.875	0.25		25		6	69							
3428	1	0.375		81	10	1	7	1						
3429	0.95	0.45		73	10		16			1	1			
3430	1	0.5		77	11		12							
3431	1.125	0.3		73	12	1	13			1	1			
3432	1	0.65		68	13		14	3		2	2			
3433	1.3	0.375		77	12		9			2	2			
3434	0.675	0.3		74	11		7			8	6	2		
3434.5	0.5	0.175		68	11		15			6	4	1	1	
3435	0.4	0.225		82	12		6							
3436	0.75	0.225		73	11	1	13			2	1	1		
3437	0.525	0.25		78	14	1	5			2	1	1		
3438	0.7	0.25		66	6	3	25							
3438.5	0.65	0.25		66	12	1	21							
3439	0.5	0.1		67	10	4	18			1				1
3439.5	0.4	0.15		30		5	60							
3440.5	1.25	0.425		67	13	1	7			5				
3441	0.2	0.05		20		12	68							
3442	0.625	0.3		80	12		5			2	1	1		
3443	0.95	0.4		80	12	1		1		4	2	1		1
3443.5	0.525	0.2		71	11	2	10			5	1			1
3444	0.25	0.1		79	13	1	7							
3444.5	0.375	0.15		25		3	72							
3445	0.85	0.25		79	12	1	8							
3446	0.75	0.275		59	11	1	14			5	2	1		2
3446.5	2.075	0.375		63	11	1	16			9	4	4		
3447	0.75	0.25		66	12		15	1		2	4	3		1

RESULTATS D'ANALYSES PETROGRAPHIQUES DU PUITZ HGA - 4

COTES	G.MAX	G.MOY.	QIZ.POLY.	QUARTZ	SILICE	MICAS	ARGILE	PYRITE	CARBO.	POROSITE	INTRACL.	DISSOLU.	INTERCRI.	FRACTU.
3512	3.5	1	3	69	16		9			3	2	1		
3513	2.875	0.5	1	69	12		14			4	3	1		
3514	1.5	0.5		63	13	1	18			5	3	2		
3515	2	0.625		63	13	1	17			6	5	1		
3516	2.5	0.5		69	13		11			7	5	2		
3517	2.25	0.375		71	11		15			3	2	1		
3517.5	1.325	0.3		70	11		13			6	4	2		
3518	3.75	0.5		69	12		11			8	5	3		
3519	1.15	0.375		70	10		18			2	1	1		
3520	1.25	0.25		62	11		18			9	6	3		
3521.2	1.5	0.45		68	12		12			8	6	2		
3522	2.125	0.6	1	63	13	2	14			7	5	2		
3523	2.15	0.75	2	64	11	1	13			9	6	3		
3524	1.875	0.375		68	13		12			7	5	2		
3525	1.375	0.4		66	12		22							
3526	2.5	0.375		69	9	2	18			2	2			
3527.2	1.25	0.25		69	7	2	20			2	1			1
3528.8	1.5	0.375		70	12		10			8	5	3		
3529	1	0.125		60		7	33							
3529	1.5	0.425		76	12		8			4	3	1		

RESULTATS D'ANALYSES RADIOCRISTALLOGRAPHIQUES DU PUITHS HGA - 1

COTES	MINERAUX ARGILEUX			MINERAUX NON ARGILEUX					PYRITE
	KAOLINITE	ILLITE	I-M	QUARTZ	DOLOMITE	SIDERITE	ORTHOCL.	PLAGEO.	
3491.3	85	15	tr	74					
3493	90	10	tr	71					
3495.35	90	10	tr	88					
3498.4	50	45	5	50					
3499.15	50	45	5	72					
3503.85	85	15		80					
3506.7	90	10		94					
3523.85	90	10		93					
3526.55	90	10		92					
3529.55	90	10		96					
3533.4	85	15		52					
3537.65	90	10		94					
3540.45	95	5		94					
3548.45	95	5		82					
3550.4	90	10		36					
3551.25	95	5		93					
3552.55	95	5		97					
3554.25	90	10		32					
3555.3	95	5		85			3		
3556.4	95	5		85					
3557.3	100	tr		90					
3559.25	100	tr		93					
3559.35	100	tr		85					
3561.4	100	tr		86					
3563.25	100	tr		84					
3564.35	95	5		30					
3566.3	95	5		91					
3568.35	95	5		74					
3570.35	95	5		79					
3572.45	100	tr		88					
3573.2	95	5		76					
3575.6	95	5		78					
3577.65	95	5		83					
3579.4	95	5		74					
3581.5	90	10		43					

RESULTATS D'ANALYSES RADIOCRISTALLOGRAPHIQUES DU PUIITS HGA - - 1

COTE	MINERAUX ARGILEUX		I-M	MINERAUX NON ARGILEUX					PYRITE
	KAOLINITE	ILLITE		QUARTZ	DOLOMITE	SIDERITE	ORTHOCL.	PLAGEO.	
3583.05	100	tr		77					
3584.25	100	tr		78					
3587.4	95	5		84					
3588.3	95	5		86					
3590.5	100	tr		82					
3591.6	100	tr		74					
3593.3	95	5		48					
3594.35	100	tr		84					
3596.35	95	5		76					
3598.5	100	tr		78					
3599.6	90	10		22					

RESULTATS D'ANALYSES RADIOCRISTALLOGRAPHIQUES DU PUIITS HGA - 3

COTES	MINERAUX ARGILEUX				MINERAUX NON ARGILEUX										
	KAOLINITE.	ILLITE	CHLORITE.	CHLO.GONF.	I - M	QUARTZ	CALCAIRE	DOLOMITE	SIDERITE	ORTHO.	PLAGEO.	ANHYD.	BARYTINE	HALITE	PYRITE
3345	60		40			7					9				
3350.9				100		2	4				12				
3374.5				100		30	1	tr			tr				
3379				100		2	1				10				
3384.7	50					6					13				
3399		35	60		5	tr	3	4		4	tr				
3400		20	80		tr	4	12	2	tr		6				
3401.1		tr	100			6	8	18			tr				
3406	80	tr	20			10		6	2		2				
3407	20	65	10		5	6		7	3		5				
3409.1	70	30	tr			75			2		tr				
3451.5	70	25	5			27			2		tr				
3453	85	15	tr			60			1		tr				
3455	70	25	5			45			5		tr				
3456.2	85	15	tr			90			tr						
3456.6	100	tr				94			2						
3457.2	90	10				95							tr		
3458	90	10				95						tr			
3458.3	100					96						tr			
3458.8	100					93									
3459.2	100					95		tr							1
3459.6	100					97						tr			tr
3460	100					96									
3460.6	100					97									
3461.2	100					96									
3461.5	100					98									
3462	100					97						tr			
3462.5	100					97						tr			
3463.8	100					96						tr			
3463.9	100					90						tr			
3464.25	70	30	tr			40			tr						
3464.5	100					98									
3465	100					98									
3465.45	100					98									
3466	100					98									tr

RESULTATS D'ANALYSES RADIOCRISTALLOGRAPHIQUES DU PUIT HGA - 3

COTES	MINERAUX ARGILEUX					MINERAUX NON ARGILEUX					PYRITE				
	KAOLINITE.	ILLITE	CHLORITE.	CHLO.GONF.	I - M	QUARTZ	CALCAIRE	DOLOMITE	SIDERITE	ORTHOC.		PLAGEO.	ANHYD.	BARYTINE	HALITE
3466.4	100					98						tr			tr
3467	100					98						tr			tr
3467.5	100					98						tr			tr
3468	100					98						tr			tr
3468.4	100					98						tr			tr
3469	100					97						tr			
3469.5	100					97						tr			tr
3470	100					98						tr			
3470.5	100					98						tr			tr
3471	80	20				96						tr			
3471.5	100	tr				97						tr			
3472	100					98						tr			
3472.5	70	30				58			tr			tr			
3473	100					98						tr			
3473.6	100					98						tr			tr
3474	100					98						tr			
3474.6	100					98						tr			tr
3475.3	80	20				73					tr	tr			tr
3476	85	15				85						tr			
3476.5	80	20				65			tr			tr			tr
3477	100					94						tr			
3477.5	100					98						tr			
3478	95	5				96						tr			tr
3478.5	100	tr				97						tr			
3479	100	tr				97						tr			
3479.5	100	tr				97						tr			
3480	95	5				85						tr			
3480.8	95	5				97						tr			
3481	100	tr				98						tr			
3481.5	95	5				95						tr			tr
3482	100	tr				94						tr			
3482.5	90	10				82						tr			
3483	90	10				90						tr			
3483.6	90	10				96						tr			tr

RESULTATS D'ANALYSES RADIOCRISTALLOGRAPHIQUES DU PUIITS HGA - 4

COTES	MINERAUX ARGILEUX			MINERAUX NON ARGILEUX							HALITE	PYRITE	
	KAOLINITE	ILLITE	CHLORITE	PYROPHY.	QUARTZ	DOLOMITE	SIDERITE	ORTHOCL.	PLAGEO.	ANHYD.			BARYTINE
3408	75	20	5		45		2		tr				
3413.47	70	30	tr		40		6		tr				
3417.49	80	20	tr		94		tr					tr	
3419.61	75	25	tr		95				tr				
3420	90	10	tr		98				tr				
3420.44	100	tr	tr		98				tr				tr
3421.1	85	15	tr		98				tr				tr
3421.53	75	25	tr		80		tr		tr				tr
3422	95	5			97								
3422.48	90	10			98								
3423	95	5			98								
3423.5	75	25			98								
3424	80	20			98								tr
3424.38	75	25	tr		96								tr
3425	90	10	tr		97								tr
3425.44	85	15			98								
3426	85	15			98								
3426.54	85	15			98								
3427	95	5			98								
3427.43	40	50	10		28		tr						
3428	60	40	tr		98								
3428.5	70	30		tr	96								
3429	5	90	tr		98								
3429.5		90		10	98								
3430		70	tr	30	98								
3430.45	60	30		10	58				tr				
3431	70	30		tr	98								
3431.5	75	20		5	98								
3432	50	50		tr	98								
3432.38	50	50		tr	98								tr
3433	60	40		tr	98								
3433.45	50	50		tr	98								
3434	70	30		tr	98								
3434.5	75	20		5	95								
3435	60	40		tr	98								
3435.5	60	30	tr	10	66								
3436	70	30			98								
3436.5	70	30			97								
3437	80	20			98								
3437.5	60	30	10		62								
3438	70	25	5		62			tr					
3438.5	40	60	tr		80								4

RESULTATS D'ANALYSES RADIOCRISTALLOGRAPHIQUES DU Puits HGA - 4

Page 2

COTES	MINERAUX ARGILEUX				MINERAUX NON ARGILEUX										HALITE	PYRITE	
	KAOLINITE	ILLITE	CHLORITE	PYROPHY.	QUARTZ	DOLOMITE	SIDERITE	ORTHOCL.	PLAGEO.	ANHYD.	BARYTINE	HALITE	PYRITE				
3439	80	20	tr	tr	70												
3439.5	70	25	5		40		2	tr									tr
3440	70	25	5		46		1	tr									
3440.5	90	10	tr		75		7	tr									
3441	70	25	5		45		tr	tr									
3441.5	75	20	5		30		tr	tr									
3442	60	40	tr		98												
3442.5	20	80			90												
3443	50	50			96		1										
3443.5	0	100			76		3										
3444	80	20			63												
3444.5	70	15	15		12												
3445	20	80	tr		98												
3445.5	60	40	tr		98												
3446	20	80			96												
3446.5		100			97												
3447	tr	100			98												
3447.5	tr	100			98												
3448	tr	100			97												
3448.75	60	40			96												
3449.5	45	50	5		2		15	tr									
3451	65	30	5		10		30										
3460.5	50	50	50		12		tr										
3467	20	80	80		11												
3470.1	20	80	80		10		4										
3474.4	60	10	30		10		12										
3475	80	80	20		5		tr										
3478.25	100				98		10										
3478.7	100				96												
3479	95	5			95												
3479.5	95	5			97												
3480	90	10			95												
3480.5	100	tr			98												
3481	85	15			98												
3481.7	85	15	tr		94												
3482	100	tr			97												
3482.8	100	tr			98												
3483.2	100	tr			98												
3483.8	80	20			65												tr
3484.2	100				98												
3484.6	100				98												
3485	100				95											tr	2

Annexes

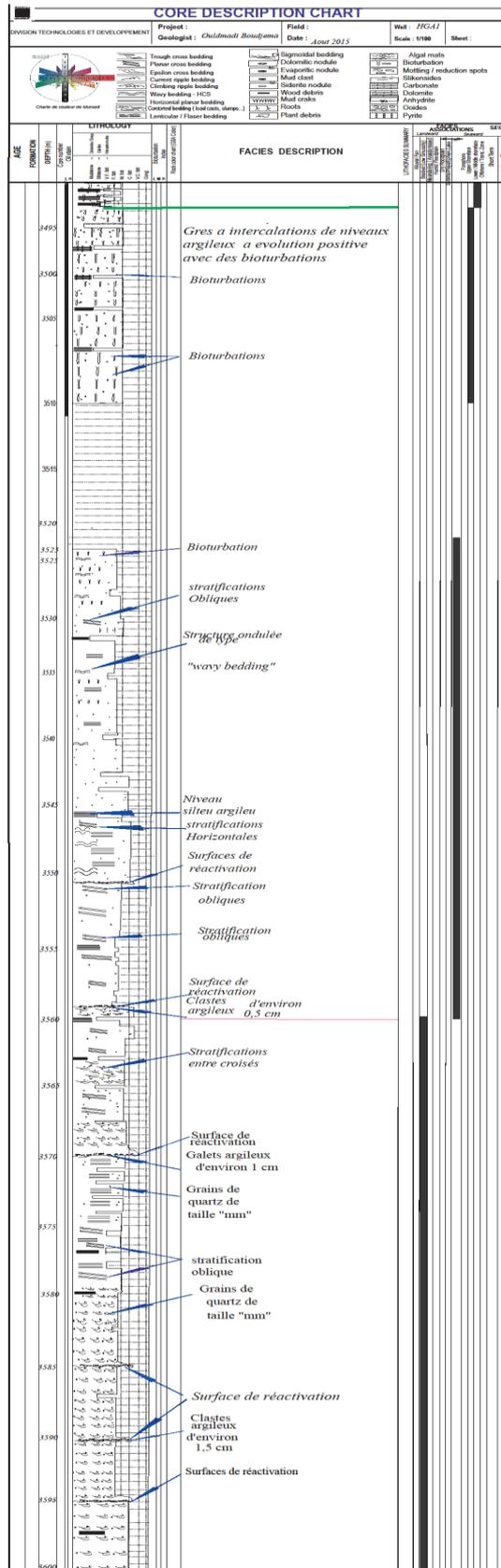
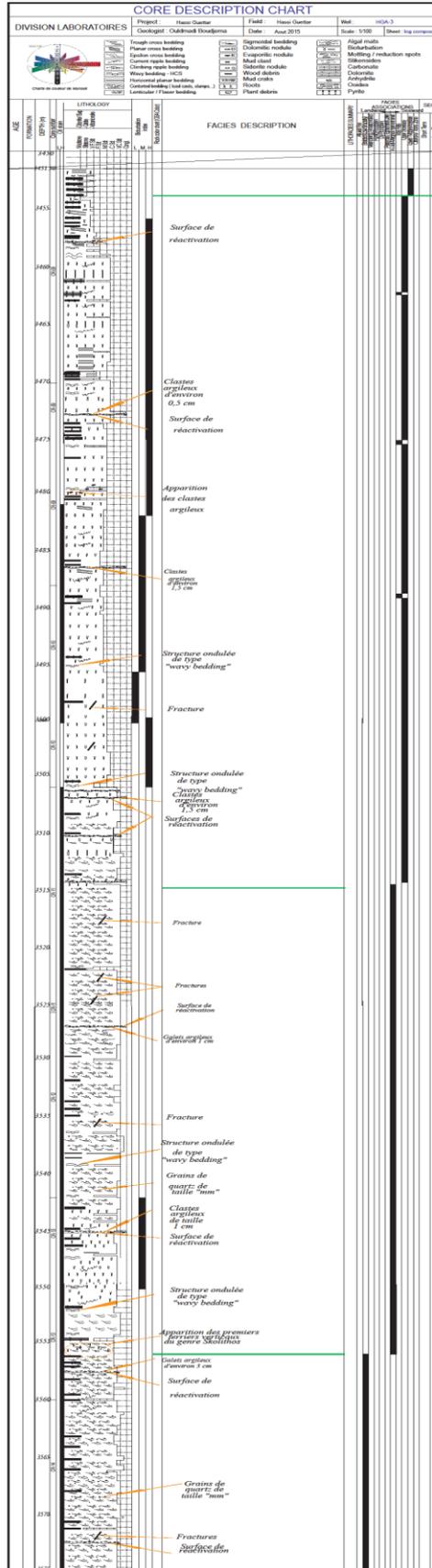


PLANCHE C

Annexes



?

PLANCHE D

Annexes

Essai de corrélation entre les deux sondages HGA-1 et HGA-3

