

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

Département des Sciences de la Terre et de l'Univers.



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En Vue De L'obtention Du Diplôme de Master en Géologie

Option : Géologie Pétrolière

THEME

**Validation des données structurales de la région
de Hassi Messaoud par la comparaison entre
les données d'imagerie de fond et les cartes
des linéaments gravimétriques**

Soutenu publiquement par :

- DJEMILI Brahim
- BOUBLAL Med Said

Le 26/05/2016

Devant le jury :

Président :	Mlle. BGUIRAT Lilya	Univ. Ouargla
Examineur :	Dr. ZEDOURI Abdelaziz	Univ. Ouargla
Encadreur :	Mr. MELOUAH Oualid	Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2015/2016

REMERCIEMENT

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

Nous tenons tout d'abord à remercier Mr Melouah Oualid notre encadreur, qui nous a prêté une attention particulière et qui à aucun moment n'a ménagé son effort et son savoir pour nous apporter de l'aide.

*Nous remercions aussi les membres de jury **BGUIRAT Lilya** et **ZEDOURI Abdelaziz** qui fait l'honneur d'accepter le jugement de notre travail.*

Nous tenons à témoigner toute notre profonde reconnaissance et tous nos remerciements les plus sincères, les plus chaleureux et les plus vifs à tout le personnel de Sonatrach, DP, Schlumberger et Baker Atlas d'avoir fait tout leur possible pour nous aider et nous orienter vers le bon chemin pour que nous réalisons un bon travail.

*Nous remercions également à tout le personnel du département **GEOLOGIE** de Sonatrach - DP- Irara*

notamment Faiza, Farouk, Bachir, Mobarek, Cherifa, Moulay, Toufik, Hanan..., leur disponibilité, et leur encouragement le long de notre stage.

Nous remercions aussi les membres de jury qui fait l'honneur d'accepter le jugement de notre travail.

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

Djemil. B &

Aboublal. M. S

Dédicace

Ce travail EST dédié particulièrement à mes très chers parents, cause ET raison de Mon existence:

Mon Père

Et ma Mère

A mon très chers frère Amina, Fatiha, Meriem, zineb, Aicha, Dounia, khouaoula, et hafssa

A mes amis de, mes collègues d'études et tous les autres sans exception.

A mes amis Malek, Abderrahmane, Mustapha, Hassan et tous.

Mon binôme de ce travail chéri, Djemili Brahim

A mes enseignants de l'université de Kasdi Merbah Ouargla particulièrement me promoteur Melouah Oualid.

ABOUBLAL Med Said

Dédicace

C'est avec toute mon affection que

Je dédie ce modeste travail :

Je dédie également à tous les membres de ma famille de proche:

*Ma mère, Mon père , Mes chère frères Khaled ,abdesselam et mes
chère sœurs Ikram,Houda et Hana,Mon amour Zineb.*

Et de loinsans exception et toute qui connu Moi.

*A toutes les familles Djemili, Banni et Kouidri petits et
grands.*

*Et mes amies de filière de géologie avec qui j'ai partagé les
meilleurs moments de ma vie d'étude*

A tous mes amis:

Farouk Khaled *, Sadek*, abdesselam *,Mahmoud* .*

Et à tous mes autres amis.

Surtout mon binôme Aboublal Med Said et toute sa famille

*Aussi à tous les enseignants de l'université KasdiMerbah
d'Ouargla.*

Et surtout l'enseignant Melouah Oualid.

Djemili Brahim.

Introduction.....(1)

Chapitre I : Généralité du champ de Hassi Messaoud

Partie 1 : Généralité

1. Cadre géologie régional de l'Oued M'ya(2)

Partie 2 : Cadre géologique local

1. Présentation du champ de Hassi Messaoud.....(3)

1.1. Historique de recherche (4)

1.2. Zonation du champ de Hassi Messaoud..... (4)

2. Situation géographique du champ de Hassi Messaoud.....(5)

3. Géologies locales du champ de Hassi Messaoud.....(6)

4. Lithostratigraphie du champ de Hassi Messaoud.....(7)

4.1. Le Socle..... (7)

4.2. Paléozoïque..... (8)

4.3. Mésozoïque..... (8)

4.2. Cénozoïque..... (10)

5. Intérêt pétrolier.....(12)

5.1. Roche mère..... (13)

5.2. Roches couvertures..... (13)

5.3. Pièges (13)

5.4. Migration des hydrocarbures..... (13)

5.5. Descriptions des réservoirs du champ de Hassi Messaoud..... (14)

6. Cadre tectonique et structurale.....(15)

6.1. Tectonique du champ de Hassi-Messaoud..... (15)

6.2. Structuration du champ de Hassi-Messaoud..... (16)

6.2.1. Structuration antétriasique..... (16)

6.2.2. Structurations Post-triasique..... (19)

6.2.3. Structuration actuelle..... (19)

Chapitre II : Matériels et méthodes

1. Méthode gravimétrique..... (21)

1.1. Définition.....	(21)
1.2. Principe.....	(22)
1.3. Appareillage de mesure.....	(24)
1.3.1. Gravimétrie absolue.....	(24)
1.3.2. Gravimétrie relative.....	(25)
1.4. Les données gravimétriques.....	(27)
1.4.1. Correction de latitude.....	(28)
1.4.2. Correction d'attitude.....	(28)
1.4.3. Correction de plateau.....	(28)
1.4.4. Correction de terrain.....	(29)
1.4.5. Anomalie de Bouguer.....	(30)
1.5. Séparation d'anomalie.....	(32)
2. Méthodes avancées de traitement des données gravimétriques.....	(32)
2.1. Déconvolution d'Euler.....	(32)
2.2. Signal analytique.....	(35)
2.3. La technique des gradients (gradient horizontal).....	(35)
3. Les imageries de fond.....	(36)
3.1. Introduction.....	(36)
3.2. Les objectifs principaux de l'étude de l'imagerie.....	(37)
3.3. Les outils d'imagerie.....	(46)
3.4. La différent type Les outils d'imagerie.....	(47)
3.4.1. Les outils de l'imagerie acoustique.....	(47)
3.4.2. Les outils de l'imagerie électrique.....	(50)

Chapitre III : Résultats et interprétation

1. Gravimétrie.....	(53)
Introductionon	
1.1. Séparation des anomalies.....	(53)
1.2. Carte des anomalies résiduelles.....	(54)
1.3. Gradient horizontal.....	(55)

1.4. Signal analytique.....	(56)
1.5. Déconvolution d'Euler.....	(58)
1.6. Cartographie structurale à partir de la gravimétrie.....	(62)
2. Imagerie de fond.....	(63)
Introductionon	
2.1. Break out.....	(64)
2.2. Pendages des couches.....	(67)
2.3. Fractures ouvertes et fermées.....	(78)
2.4. Cartographie structurale à partir de l'imagerie.....	(83)
3. Comparaison entre les deux méthodes.....	(84)
Conclusion et perspectives.....	(85)
Bibliographie	

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 Situation du bassin de l'Oued Mya à l'échelle régional	2
Figure I.2: Zonation du champ de Hassi Messaoud.....	4
Figure I.3 : Situation géographique du champ de Hassi Messaoud.....	5
Figure I.4: géologie locale du champ de Hassi Messaoud.....	6
Figure I.5: La colonne Lithostratigraphie du champ de Hassi Messaoud.....	12
Figure I.6: coupe géologique le réservoir principal du gisement de Hassi-Messaoud.....	15
Figure I.7 : Carte structurale du champ de Hassi- Messaoud.....	16
Figure I.8 : La Discordance de phase hercynienne.....	18
Figure I.9 : Principales phases tectoniques définies dans la plate forme saharienne.....	20
Figure II.1: Les hétérogénéités dans le sous-sol sont sources de variations de la pesanteur.....	21
Figure II.2: Deux masses dans un référentiel cartésien.....	22
Figure II.3: Le Champ Gravitationnel de la masse m.....	23
Figure II.4 : Potentiel Gravitationnel.....	24
Figure II.5.a: Gravimètres absolus nationaux FG5EO ISTEEM (Montpellier).....	25
Figure II.5.b.: Gravimètres absolus nationaux FG5EO ISTEEM (Aigoual).....	25
Figure III.6.a. Gravimètres relatifs CG3 de Scintrex.....	27
Figure III.6.b. Gravimètres relatifs CG5 de Scintrex.....	27
Figure II.7. Correction d'attitude ou l'air libre.....	28
Figure II.8. Correction du plateau.....	29
Figure II.9: Effet de relief sur la valeur de g théorique.....	30
Figure II.10 : Diagramme représentant l'ensemble des corrections à apporter aux données gravimétriques brutes pour obtenir l'Anomalie de Bouguer.(schémas d'après Gailler, 2010).....	31
Figure II.11: Principe de calcul de l'anomalie résiduelle sur un profil gravimétrique.....	32
Figure II.12 : Orientation de l'image sur puits vertical et horizontal.....	36

Figure II.13 : Identification des fractures à partir de l'imagerie de puits.....	36
Figure II.14 : Exemples des fractures ouvertes (des puits ONE321, MD 641).....	37
Figure II.15 : Exemples des fractures ouvertes (carottages des puits ONE321).....	38
Figure II.16 : Exemples des fractures fermées.(des puits OMPZ 123, OMN 14).....	39
Figure II.17 : Exemples des fractures fermées. (Carottages des puits OMN 14).....	40
Figure II.18 : Exemples des pendages structuraux (strates subhorizontal).....	41
Figure II.19 : Exemples des pendages structuraux (entre croisée).....	42
Figure II.20 : Schéma représentatif des paléo-courants.....	43
Figure II.21 : Analyse des fractures induites et breakouts.....	44
Figure II.22 : Exemples des Breakouts .(des puits MDZ 606 ,OMN 14).....	45
Figure II.23: réflexion de l'onde acoustique de l'outil l'imagerie acoustique.....	47
Figure II.24 : L'outil CBIL.....	48
Figure II.25: Outil UBI "Ultrasonic Borehole Imaging".....	49
Figure II.26 : Principe de fonctionnement de l'outil électrique.....	50
Figure II.27: L'outil Earth Imager.....	51
Figure II.28: L'outil OBMI (OIL-BASE MICRO IMAGER).....	52
Figure II.29: L'outil STAR Imager.....	53
Figure II.30: L'outil FMI (Formation Micro Imager).....	54
Figure III.1 : Carte des anomalies Globale.....	53
Figure III.2 : Carte des anomalie régionales.....	53
Figure III.3 : Carte des anomalie residuelles.....	54
Figure III.4 : Carte de gradient horizontal.....	55
Figure III.5 : Carte structurale de la zone d'étude.....	56
Figure A : Carte dérivé selon x.....	57
Figure B: Carte dérivé selon y.....	57
Figure C : Carte dérivé selon z.....	58
Figure III.6 : carte signal analytique selon les dérivés x,y,z.....	58

Figure III.7(a) : carte Déconvolution Euler des paramètres $SI = 0$, $W = 10*10km$, $Z = 15\%$.....	59
Figure III.7(b): carte Déconvolution Euler des paramètres $SI = 0.25W = 10*10km$, $Z = 15\%$.....	60
Figure III.7(c): carte Déconvolution Euler des paramètres $SI = 0.5 W = 10*10km$, $Z = 15\%$.....	60
Figure III.7(d): carte Déconvolution Euler des paramètres $SI = 0.75 W = 10*10km$, $Z = 15\%$.....	61
Figure III.7(e): carte Déconvolution Euler des paramètres $SI = 1$, $W = 10*10km$, $Z = 15\%$.....	61
Figure III.8 : Carte structurale a partir les données gravimétriques.....	62
Figure III.9 : Résultats des données gravimétriques.....	62
Figure III.10 : Carte position des puits de la région d'étude.....	64
Figure III.11: La rose de break out.....	65
Figure III.12: La rose de breakout.....	65
Figure III.13: La rose de breakout.....	66
Figure III.14: La rose de breakout.....	67
Figure III.15 : Exemple structures sédimentaires à faible pendage (dans les grés et les formations silteuses).....	68
Figure III.16: La rose des analyses de pendage des couches (Les grés et les formations silteuse).....	68
Figure III. 17 : Exemple structures sédimentaires à pendage élevé (stratifications obliques).....	69
Figure III.18: La rose des analyses des structures sédimentaires à pendage élevé (stratifications obliques).....	70
Figure III.19: Exemple des structures sédimentaires à faible pendage (dans les grés et les formations silteuses).....	71
Figure III.20 : Exemple des structures sédimentaires à pendage élevé (stratifications obliques).....	72
Figure III.21: La rose des analyses des structures sédimentaires à pendage élevé (stratifications obliques).....	73
Figure III.22 : Exemple des structures sédimentaires à faible pendage (dans les grés et les formations silteuse).....	74
Figure III.23 : La rose des Pendages des couches.....	74
Figure III.24 : Exemple des structures sédimentaires à pendage élevé (stratifications obliques).....	75
Figure III.25 : La rose des analyses des structures sédimentaires à pendage élevé (stratificationsobliques).....	76
Figure III.26 : Exemple structures sédimentaires à faible pendage.....	77
Figure III.27 : La rose des Pendages des couches.....	77

Figure III.28 : La rose des analyses des structures sédimentaires (stratifications obliques).....	78
Figure III.29 : Exemple de fracture naturelle (Fracture ouvert).....	79
Figure III.30 : Exemple de possibilité de fracture naturelle.....	80
Figure III.31 : Exemple des fractures naturelles (LOW AMP FRAC).....	81
Figure III.32 : La rose de fractures naturelles.....	81
Figure III.33 : Exemple des fractures naturelles (LOW AMP FRAC).....	82
Figure III.34 : La rose de fractures naturelles.....	82
Figure III.35 : Résultats de l'imagerie de fond.....	84

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1. Différentes outils d'imageries proposées par les principales compagnes de services.....	43
Tableau III.2 : Les différentes phases tectoniques et leurs directions avec les types du champ du Hassi Messaoud.....	83

Introduction générale

Introduction générale

La productivité des champs pétrolier est l'élément clés pour la mise en valeurs des ressources naturelles, la bonne connaissance des capacités de ces derniers dépend de plusieurs facteurs, la phase d'exploration permet de caractérisés le réservoir et d'estimer son potentiel, les capacités de production sont en fonction des paramètres pétro physiques, de la nature des fractures et de la distribution de ces derniers au sein du réservoir.

La cartographie structurale d'un bassin sédimentaire par la géophysique est une étape indispensable avant l'implantation des puits producteurs dans un champ petro-gaziers, Dans ce travail nous avons utilisés plusieurs techniques afin de mieux cernes le cotés structural de la partie Nord du Bassin de Hassi Massoud par le baie de la gravimétrie et de l'imagerie de fond.

Une Grande partie des géophysiciens de terrain exploite la gravimétrie pour la mise en évidence des grandes structures géologiques, des conduites karstiques mais rarement dans l'exploration pétrolière même si elle existe ; les informations fournit ce limite a la carte des anomalies de Bouguer, malgré que les techniques avances dans les traitements des signaux et des donnes gravimétriques permette d'atteindre des niveaux de connaissance extrêmement riche en information Géo-structural.

A travers cette études plusieurs techniques en gravimétrie ont était exploités tell que : Les gradients, les dérives, le signal analytique et la déconvolution d'Euler l'ensemble des informations extraites a partir de ces techniques va permettre de tracer une carte structural améliorer et synthétiques de la région de Hassi Massoud ,en combinaison avec l'imagerie de fond par divers outils les informations géologiques vont permettre d'affiner le choix de plusieurs paramètres indispensable a l'application de quelques techniques de traitement avances en gravimétrie .

L'imagerie de fond va permettre de localiser et de cartographie l'ensemble des fractures ouvertes et fermes au sein de 19 puits pétrolier forer de part et d'autre de la ville de Hassi Massoud

Ce travail va permettre aussi d'évaluer la validité des donnes gravimétriques fournie par le bureau gravimétrique international (BGI) et d'évaluer d'autre part la fréquence avec la quelle l'imagerie sera elle réaliser.

Le document s'organise en 3 chapitres :

Le premier chapitre englobe des généralités sur la région d'étude.

Le deuxième chapitre explique l'ensemble des techniques et des traitements effectues sur les donnes gravimétriques et sur les donnes d'imagerie.

Le troisième chapitre expose les résultats obtenu par les méthodes utilises (cartes, rosaces, log d'imagerie ...)

En fin une conclusion général qui résume les résultats obtenu et quelque recommandation sur l'utilité et la bonne exploitation des techniques

Chapitre I

Généralité

Partie 1 : Généralité:

❖ Cadre Géologie régional de l'Oued M'ya :

➤ Situation géographique de l'Oued M'ya :

L'Oued M'ya est un bassin de la plate-forme saharienne, correspondant à la partie occidentale de la province triasique, couvrant une superficie de 400 000 km². Les limites géographiques se présentent comme les meilleurs repères (**Fig. I.1**).

Les parallèles 31°15' et 33°00' limitent respectivement ensemble au sud et au nord, et les méridiens 6°15' et 3°30' limitent. Le bassin est limité par le haut structural Djemaa-Touggourt au nord, le bassin du Mouydir au sud, le haut structural d'Amguid-Messaoud l'est, et la voûte d'Allal l'ouest (**Fig. I.1**).

➤ Cadre géologique du bassin d'Oued Mya :

La région de l'Oued M'ya ne constitue qu'un sous bassin intracratonique. Sa bordure Nord s'ennoie progressivement vers la flexure saharienne où l'existence d'un fossé très subsident au mésozoïque donnera naissance à la chaîne péricratonique de l'atlas saharien.

L'évolution de la région de l'Oued Mya depuis le Cambrien comporte deux étapes majeures :

- ✓ La sédimentation du paléozoïque, pratiquement restreinte au paléozoïque inférieur et sa structuration pré-hercynienne.
- ✓ La création d'un bassin au trias et son évolution au cours du mésozoïque et du tertiaire.

Ces deux étapes principales de l'histoire régionale conduisent considérer deux mégacycles sédimentaires, paléozoïque et mésozoïque, classiquement séparés par la discordance hercynienne, avec la pérennité pendant tout le paléozoïque des zones hautes structurant la région (**WEC 2007**).

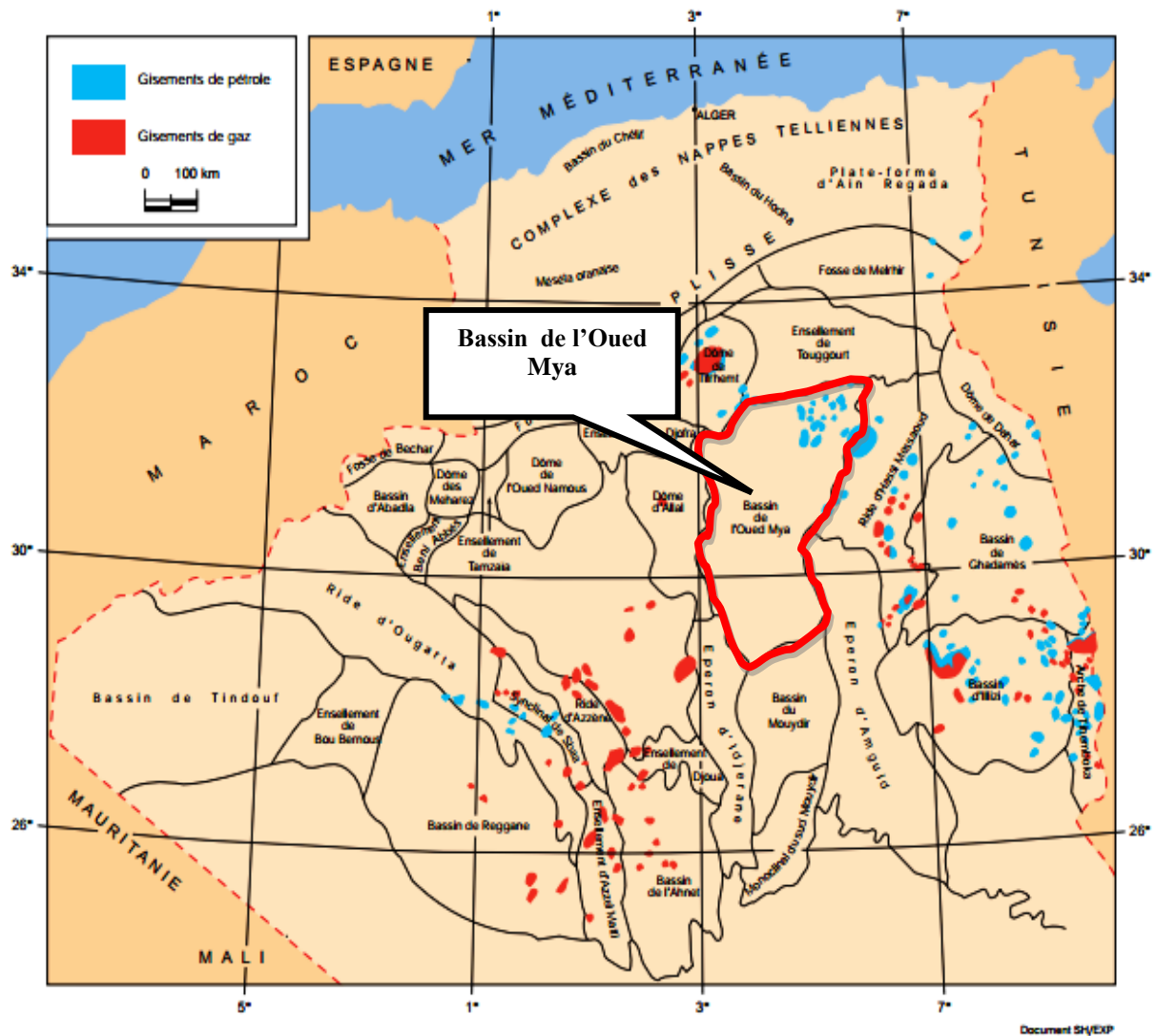


Fig. I.1 : Situation du bassin de l'Oued Mya à l'échelle régionale (WEC 2007).

Partie 2 : Cadre géologique local

2. Présentation du champ de Hassi Messaoud :

Le champ de Hassi-Messaoud est situé dans le bassin d'Oued Mya au Nord du Sahara à 950 Km au Sud-est d' Alger et 350 Km² de la frontière tunisienne. Il s'étend sur une superficie de 1600 Km². Ce gisement se caractérise par la formation Cambro-ordovicien est :

- Sa profondeur entre 3000 m et 3500 m.
- Son épaisseur environ de 200 m.
- La légèreté de son huile (API = 45.04).

➤ Sa pression initiale est de 482 Kf/cm², pour un point de bulle entre 140 et 200 Kf/cm².

Le réservoir d'huile est constitué de 4 couches qui sont par ordre croissant de leur profondeur : le Ri, Ra, R2 et R3. « **SONATRACH 2004** » .

1.1. Historique de recherche :

Le 16 janvier 1956 la SN. REPAL a amorcé le premier forage MD1 implanté à la suite d'une campagne de sismique réfraction, non loin du puits chamelier de Hassi-Messaoud.

Le 15 juin de cette même année, ce forage a mis en évidence dans les grés du Cambrien à la profondeur 3338 m une importante accumulation d'huile.

En mai 1957, le forage OM1 foré dans la concession Nord du champ de Hassi-Messaoud à 7 Km au NNW de MD1 par la compagnie française des pétroles (CFP (A)) confirmait la présence d'un grand gisement d'huile dans les grés Cambrien.

1.2. Zonation du champ de Hassi Messaoud :

Actuellement le champ est divisées en 25 zones de production (**Fig. I.2**), selon sa pression de gisement, Les zones sont Relativement indépendantes et correspondent à un ensemble de puits communiquant entre eux.

Certaines zones ont des limites parfaitement en accord avec la structure du champ, quelques limites de zones paraissant moins clairement définies du point de vue géologique.

Le champ de Hassi Messaoud est divisé en deux parties distinctes :

- Le champ Nord regroupe les puits : Omm13, Omn25, Omo14, Omp17, Omj11, Omk20, Oml65, Oni45, Onm43.
- Le champ Sud regroupe les puits MD, la numérotation est chronologique

Par exemple : MD1, MD2, MD3, MD4....

C'est une numérotation géographique complétée par une numérotation chronologique :

Par exemple Omn25:

O : permis d'Ouargla.

m : carrée de 1600km².

n : carrée de 100km².

2 : abscisse, 5 : ordonnée.

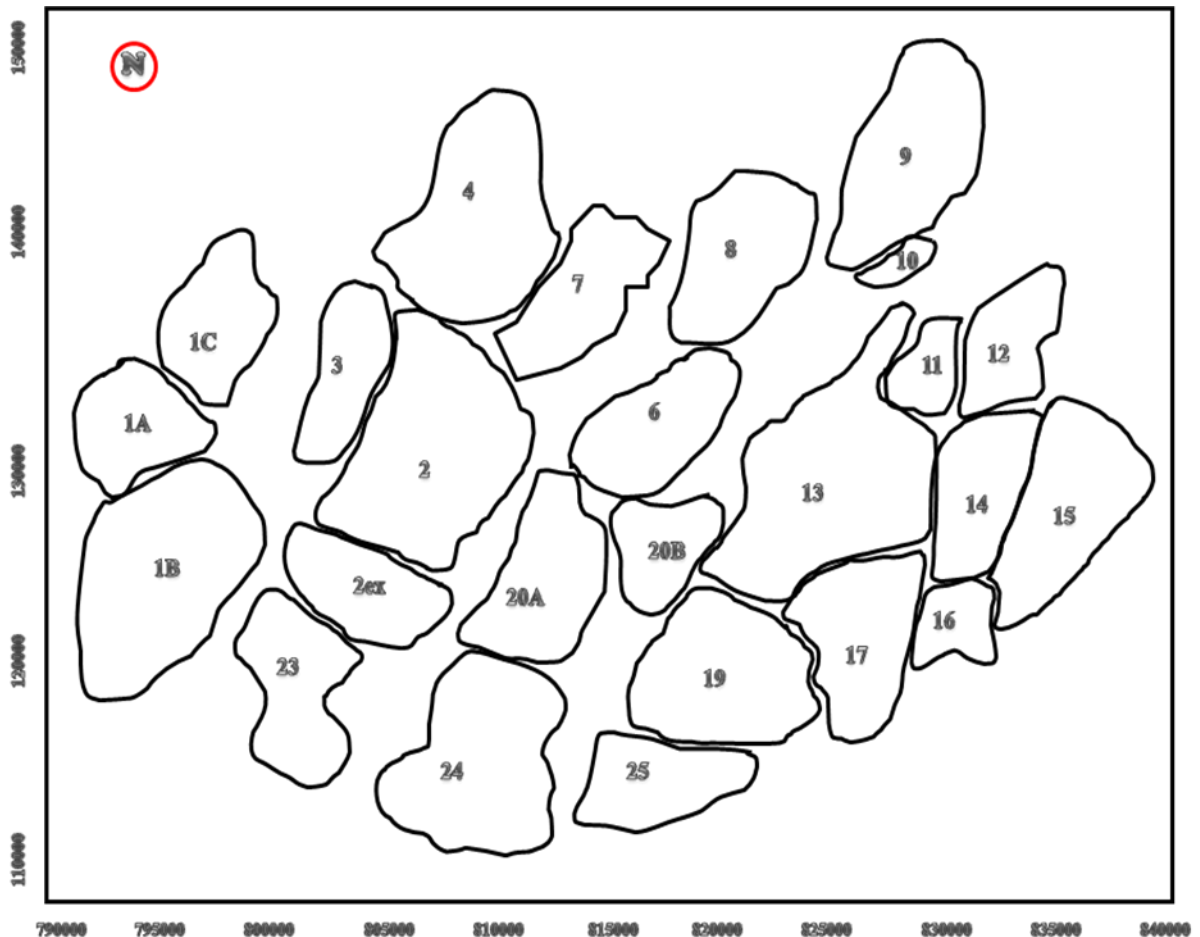


Fig. I.2 : Zonation du champ de Hassi Messaoud (coordonnée lempert sud d'Algérie)
(SONATRACH 2004) .

2. Situation géographique du champ de Hassi-Messaoud :

Le champ de Hassi Messaoud se situe au Nord Est du Sahara Algérien, à 850 KM au Sud Est d'Alger et 350 KM de la frontière Algéro-tunisienne. Les dimensions du champ atteignent 2500 KM², Avec une surface imprégnée d'environ 1600 KM², il est limite au Nord par Touggourt et au Sud par Gassi-Touil, et a l'Ouest par Ouargla, et a l'Est par El Bourma.

Sa localisation en coordonnées Lambert est la suivante :

X= 790.000 - 840.000 Est.

Y=110.000-150.000Nord.

Il est encadré par les latitudes 31°.30'et 32°.00' et les longitudes 5°.40'et 6°.20'.

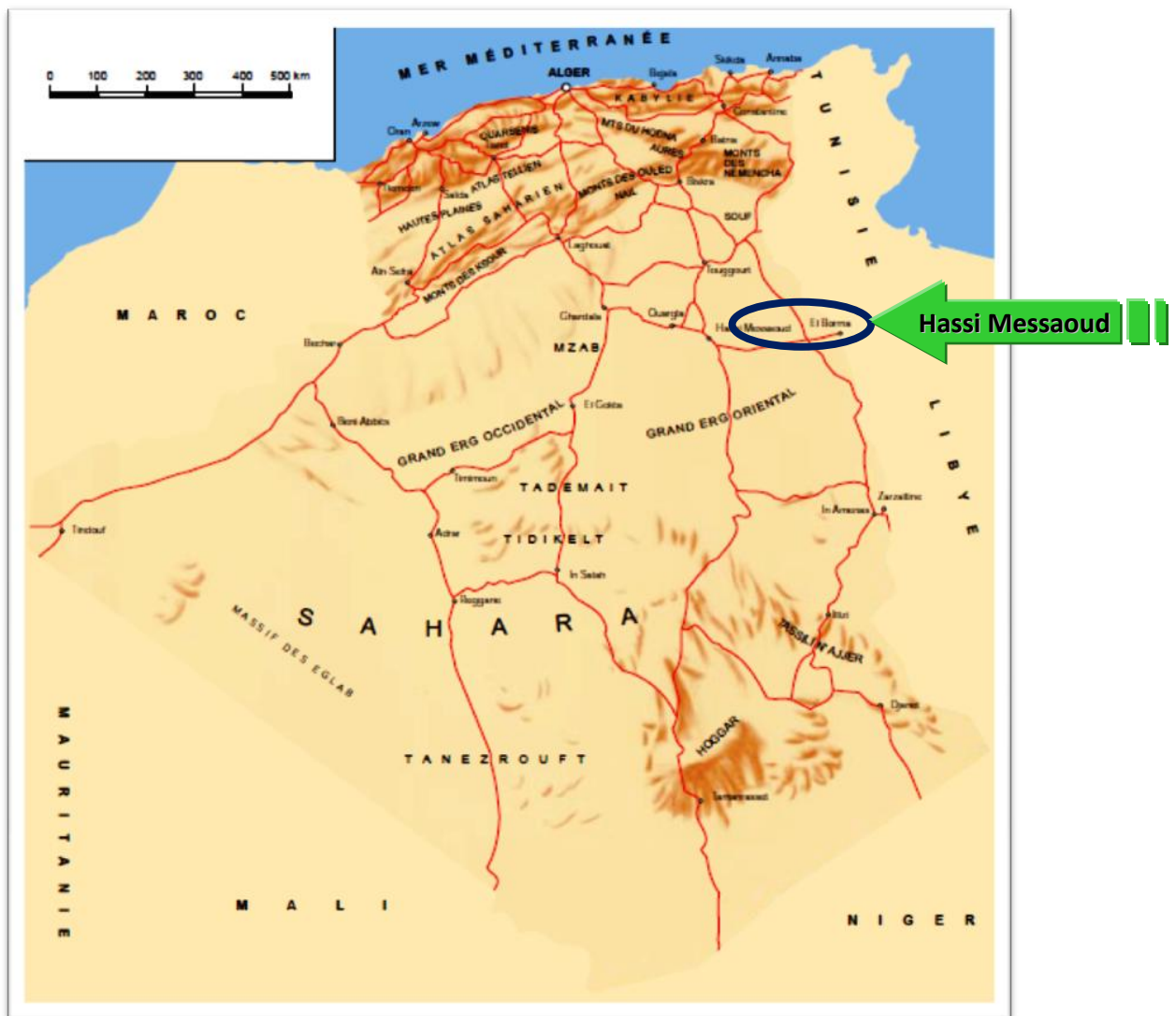


Fig. I.3 : Situation géographique du champ de Hassi Messaoud (WEC 2007).

3. Géologies locales du champ de Hassi Messaoud :

Le champ de Hassi Messaoud occupe la partie centrale de la province triasique. Par sa superficie et ses réserves, il est le plus grand gisement de pétrole d'Algérie qui s'étende sur près de 2200 km² de superficie, Il est limité :

- Au Nord-Ouest par les gisements d'Ouargla [Gellala, Ben Kahla et Haoud Berkaoui].
- Au Sud-ouest par les gisements d'El Gassi, Zotti et El Agreb.
- Au Sud-est par les gisements; Rhourde El Baguel et Mesdar.

Géologiquement, il est limité

- A l'Ouest par la dépression d'Oued M'ya.
- Au Sud par le môle d'Amguid El Biod.
- Au Nord par la structure Djammâa-Touggourt.
- A l'Est par les hauts fonds de Dahar, Rhourde El Baguel et la dépression de Ghadamès.

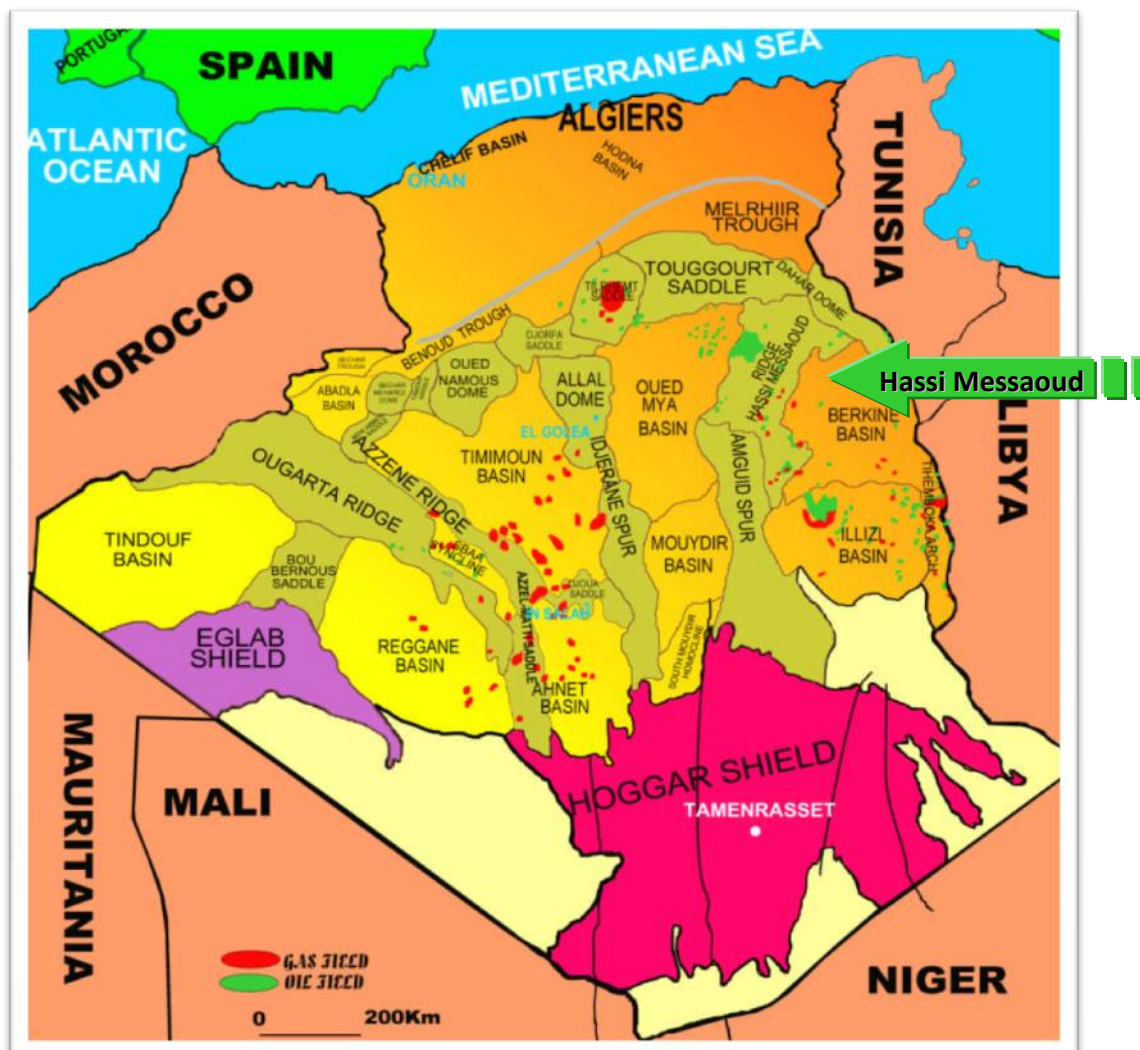


Fig. I.4: Situation géologique du champ de Hassi Messaoud (SONATRACH 2004).

3. Lithostratigraphie du champ de Hassi Messaoud :

Sur la dorsale de Hassi Messaoud une bonne partie de la série stratigraphique est absente. Ce sont les dépôts du Paléozoïque reposant sur un socle granitique, qui ont été érodés au centre de la structure au cours de la phase hercynienne.

De ce fait, les dépôts mésozoïques reposent en discordance sur le Cambro-ordovicien. En allant vers la périphérie du champ, la série devient plus complète. De la base au sommet on distingue à partir la colonne lithostratigraphique (**Fig. I.6**).

1. Le Socle : Rencontré aux environs de la profondeur de 4000 m, il est constitué de granite porphyroïde de couleur rose à deux micas.

2. Paléozoïque :

2.1. L'infracambrien : Unité géologique la plus ancienne reconnue au Nord de la structure par le forage Omg47 à une profondeur de 4092 m. Il est composé de grés argileux de couleur rouge, (e = 45 m).

2.1. Le Cambrien : Essentiellement constitué de grés hétérogènes, fins à très grossiers, entrecoupés de passées de siltstones argilo-micacés, ces matériaux dites Grés de Messaoud. On y distingue trois lithozones; R1 (Ri+Ra), R2 et R3.

2.2. Ordovicien : Dans sa représentation la plus complète il est constitué de quatre termes :

a- Les quartzites d'Hamra : (e = 12 à 75 m). Quartzites localement grossières présentant parfois des intercalations argileuses.

b- Les grés d'El Atchane : (e = 25 m). Grés fins à ciment argileux, bitumineux.

c- Les argiles d'El Gassi : (e = 50 m). Argiles schisteuses, carbonatées, vertes et noires.

d-Zone des Alternances : (e = 20 m). Argiles indurées, alternant avec des bancs quartzitiques isométriques et de grés moyens à fins.

4. Mésozoïque :

4.1. Trias :

Représenté par quatre niveaux :

a- Salifère : subdivisé en trois horizons.

- **TS1** : Ce niveau est représenté par des sels massifs, des passées d'anhydrite, et des intercalations d'argile dolomitique, (e = 46 m).
- **TS2** : Sel massif à intercalations d'anhydrite blanche et d'argiles gypsifères silteuses, (e = 189 m).
- **TS3** : Sel massif à traces d'argiles silteuses, tendres, (e = 202 m).

Les horizons TS2 et TS3 sont le siège de manifestations d'argiles fluentes.

b- Argileux : Argiles plus ou moins silteuses, dolomitiques et Anhydritique avec des intercalations de banc de sel au sommet, (e = 113 m).

c- Gréseux : Grés fins à ciment argileux, (e = 35 m).

d- Éruptif : Andésites altérées alternant avec des argiles ($0 < e < 92$ m) reposant par l'intermédiaire d'une discordance (hercynienne) sur les terrains du Primaire.

Les terrains du Trias argilo-gréseux (TAG) sont le siège de zones à pertes plus ou moins virulentes selon la position ou l'on se trouve sur le champ.

Le Trias repose en discordance directement sur le Cambrien au centre de la structure et sur l'Ordovicien au niveau des zones périphériques.

4.2. Crétacé :

a - Sénonien : constitué de deux niveaux :

- **Carbonaté** : (e = 107 m). Il est constitué de calcaire dolomitique avec de fines passées d'anhydrite.
- **Lagunaire** : niveau représenté par deux unités à faciès lagunaire :

La première **Anhydritique**, d'une épaisseur moyenne de 219 m, est composée d'anhydrite blanche, cristalline, de dolomie moyennement dure, de marne et de calcaire argilo dolomitique.

La deuxième **Salifère**, d'une épaisseur moyenne de 140 m, est constituée de sel massif à traces d'anhydrite.

b- Turonien : (e = 70 à 120 m). Ce sont des formations carbonatées, constituées de calcaire, craie, dolomie et quelques niveaux argileux.

c- Cénomaniens : (e = 145 m). Constitué par une alternance d'anhydrite et d'argile rouge, de marne grise et de dolomie.

d- Albien : (e = 350 m). Il est représenté par des grès et sables fins avec intercalations d'argiles silteuses.

e- Aptien : (e = 25 m). Représenté par deux bancs de dolomie cristalline encadrant un niveau argileux.

f- Barrémien : (e = 280 m). Représenté par des grès fins carbonatés alternant avec des niveaux d'argiles et grès dolomitiques.

g- Néocomien : (e = 180 m). Représenté par de la dolomie microcristalline, des marnes et des argiles avec de fines passées de grés.

4.3. Jurassique :

a- Malm : (e = 225 m). Représenté par des dépôts d'argile et de marne avec des intercalations de bancs calcaires et de dolomie accompagnées de quelques traces d'anhydrite.

b- Dogger : Représenté par deux niveaux :

➤ **Argileux** : (e = 105 m). Argiles silteuses, marnes dolomitiques à fines passées grés.

➤ **Lagunaire** : (e = 210 m). Anhydrite, dolomie argileuse, marne.

c- Lias : (e = 300 m). Il est représenté par cinq niveaux :

➤ **LD1** : dolomie grise, dure, anhydrite blanche avec parfois des passées d'argiles silteuses, (e = 65 m).

➤ **LS1** : bancs de sels et argiles avec des passées d'anhydrite blanche, (e = 90m).

- **LD2** : dolomies massives, microcristalline à quelques passées marneuses renfermant des eaux chlorurées calciques, (e = 55 m).
- **LS2** : Sel massif, blanc, translucide avec des intercalations argilo-salifère,(e = 60 m).
- **LD3** : marnes à passées dolomitiques, (e = 30 m).

5. Cénozoïque :

5.1. Mio-Pliocène : (e = 240 m).

Constitué par :

- sable blanc avec fines passées d'argile brun rouge, tendre à pâteuse,
- calcaire blanc, crayeux, tendre avec passées d'argile versicolore,
- marne gris-brun, fortement sableuse.

Ces terrains formant un recouvrement continental essentiellement sableux, se sont mis en place par l'intermédiaire de chenaux (grande disparité de leur granulométrie horizontale et verticale). Ils sont non consolidés et leur porosité est très importante ce qui entraîne des pertes partielles ou totales et des risques d'éboulement lors du forage. Ils reposent à leur base sur l'Éocène par une surface d'abrasion.

5.2. Eocène : (e = 120 m).

Constitué de :

- argile brun-rouge, fortement sableuse,
- marne et fines passées d'anhydrite blanche,
- calcaire dolomitique crayeux, avec parfois des rognons de silex.
- Le tertiaire renferme un complexe aquifère d'eau potable.

ERE	SYST	ETAGES		Ep moy	DESCRIPTION	
CENO-ZOIQUE	NEOGENE	MIO-PLIOCENE discordance alpine		240	Sable, calcaire, marne sableuse	
		EOCENE		120	Sable, calcaire à silex	
MESOZOIQUE	CRETACE	SENONIEN	CARBONATE	107	Calcaire, dolomie, anhydrite	
			ANHYDRITIQUE	219	Anhydrite, marne, dolomie	
			SALIFERE	140	Sel massif et traces d'anhydrite	
		TURONIEN	90	Calcaire crayeux avec quelques niveaux argileux		
		CENOMANIEN	145	Anhydrite, marne, dolomie		
		ALBIEN	350	Grés, sable avec intercalations d'argile silteuse		
		APTIEN	25	Dolomie cristalline avec niveau argileux, calcaire		
		BARREMIEN	280	Argile, grés, dolomie		
		NEOCOMIEN	180	Argile, marne, dolomie, grés		
	JURASSIQUE	MALM		225	Argile, marne, calcaire, grés et traces d'anhydrite	
		DOGGER	ARGILEUX	105	Argile silteuse, marne dolomitique avec fines passées de grés	
			LAGUNAIRE	210	Anhydrite, marne dolomitique, marne grise	
		LIAS	L.D 1	65	Dolomie, anhydrite, argile	
			L.S 1	90	Alternances sel, anhydrite et argile	
			L.D 2	55	Anhydrite et dolomie cristalline	
			L.S 2	60	Alternances sel et argile	
			L.D 3	30	Alternances de dolomie et de marne	
		TRIAS	SALIFERE	TS 1	46	Alternances de sel, d'anhydrite et de dolomie
				TS 2	189	Sel massif à intercalations d'anhydrite et argile gypsifère
				TS 3	202	Sel massif et traces d'argile
ARGILEUX	113		Argile rouge dolomitique ou silteuse injectée de sel et d'anhydrite			
GRESEUX	35		Grés, argile			
ERUPTIF discordance hercynienne	0-92		Andésites altérées			
PALEOZOIQUE	ORDOVICIEN	QUARTZITES D'EL HAMRA		75	Quartzites fines avec traces de tigillites	
		GRES D'EL ATCHANE		25	Grés fins à ciment argileux, bitumineux	
		ARGILES D'EL GASSI		50	Argiles schisteuses, vertes ou noires, glauconieuses à graptolithes	
		ZONE DES ALTERNANCES		20	Alternance de grés et argile. Présence de tigillites	
	CAMBRIEN	Ri	50	Grés isométriques, fins, silteux		
		Ra	120	Grés à grés quartzitiques anisométriques à niveaux de silts		
		R2	100	Grés moyens à grossiers à ciment argileux illitique		
		R3	300	Grés grossier à ciment argileux, argile silteuse		
	INFRA-CAMBRIEN	45	Grés argileux rouges			
	S O C L E					Granite porphyroïde rose

Fig. I.5: La colonne Lithostratigraphie du champ de Hassi Messaoud (SONATRACH 2004).

5. Intérêt pétrolier:

5.1. Roche mère :

- **Silurien** : Les argiles du silurien constituent la roche mère, source génératrice des hydrocarbures à l'échelle de toute la plate forme saharienne.

Cette source est représentée par les argiles noires, carbonatées et radioactives, très riches en matière organique, d'une épaisseur qui varie de 20 à 70 m.

La matière organique est de nature amorphe. La présence de Tasmanacés confirme l'origine marine de cette matière et son apport pétrolier est évident.

Actuellement, on peut dire qu'après la dis-migration des hydrocarbures générés au paléozoïque, il y a eu une deuxième phase de génération plus importante qui a cessé à la fin du Crétacé suite à la diminution de la subsidence.

Le Silurien est préservé au Nord du champ de Hassi Messaoud, à l'Ouest (dans le bassin d'Oued Mya), au Sud-ouest (bassin de Mouydir) et à l'Est (bassin de Berkine).

5.2. Roches couvertures : La couverture des réservoirs ordoviciens est assurée respectivement par l'épanchement des roches éruptives ainsi que par les épaisses séries d'évaporites d'âges triasiques ou jurassiques.

6.3. Pièges : Les pièges désignent les zones les plus favorables à la présence des accumulations d'hydrocarbures, caractérisés par une faible pression et une plus basse température que celle des roches mères, et par une barrière qui oblige les hydrocarbures à s'accumuler. Il existe trois types de pièges :

- **Pièges structuraux** : Ces pièges sont le résultat de mouvements tectoniques tels que les anticlinaux ou pièges par failles.
- **Pièges stratigraphiques** : C'est la combinaison de deux milieux différents correspondant au passage d'un milieu perméable à un autre imperméable telque les lentilles gréseuses, les biseaux etc.
- **Pièges mixtes** : Ils sont à la fois structuraux et stratigraphiques, comme par exemple la structure de HMD (anticlinal tronqué par la discordance hercynienne).

Au niveau du bassin d'Oued Mya et le Nord-est de Hassi Messaoud les pièges reconnus jusqu'à présent sont de type stratigraphique et structural (mixtes).

5.4. Migration des hydrocarbures :

Les accumulations d'hydrocarbures du gisement de Hassi Messaoud et de tout gisement avoisinant proviennent probablement des deux bassins, Ghadamès et Illizi à l'Est et Oued Mya à l'West.

La migration primaire et l'alimentation de ces gisements se sont effectuées au sein du Silurien, en suite à travers les niveaux gréseuse triasique au contact de 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 NW par rapport au chemin de migration.

5.5. Descriptions des réservoirs du champ de Hassi Messaoud

Le réservoir principal du gisement de Hassi-Messaoud est hétérogène, discontinu et anisotrope. Cette anisotropie est marquée essentiellement par les silts. Ces passées de silts imperméables peuvent en fonction de leur étendue constituer des barrières à la ségrégation de fluides. Leur étendue, leur épaisseur, leur localisation et leur densité dans la série du Cambrien Ra feront l'objet de la corrélation présentée. (MEKMOUCHE S., 1994)

On y distingue quatre (04) lithozones (**Fig. I.7**) :

➤ **Lithozone R3** : Son épaisseur moyenne est de 370 m.

Il se compose de grés feldspathiques et micacés à grains moyens à très grossiers conglomératiques à la base, à ciment argileux abondant, admettant des passées de grés ferrugineux et d'argile silteuse.

➤ **Lithozone R2** : Son épaisseur moyenne est de 100 m.

Il se compose de grés moyens à grossiers micacés, mal classés à ciment argileux assez abondant et admettant des intercalations de silts. Les stratifications sont souvent obliques.

➤ **Lithozone Ra** : Son épaisseur moyenne est de 125 m.

Il se compose de grès à grès quartzites anisométriques moyens à grossiers, à ciment argileux et siliceux, admettant de nombreuses passées de siltstones centimétriques et décimétriques. Les stratifications sont souvent obliques à entrecroisées, parfois horizontales. Les **tigillites** sont présentes dans la partie supérieure de la série. L'ensemble du Ra a été érodé au centre du champ.

➤ **Lithozone Ri** : Son épaisseur moyenne est de 42 m.

Il se compose de grès quartzitiques, isométriques fins, bien classés, glauconieux à ciment argileux et siliceux, avec une présence abondante de tigillite.

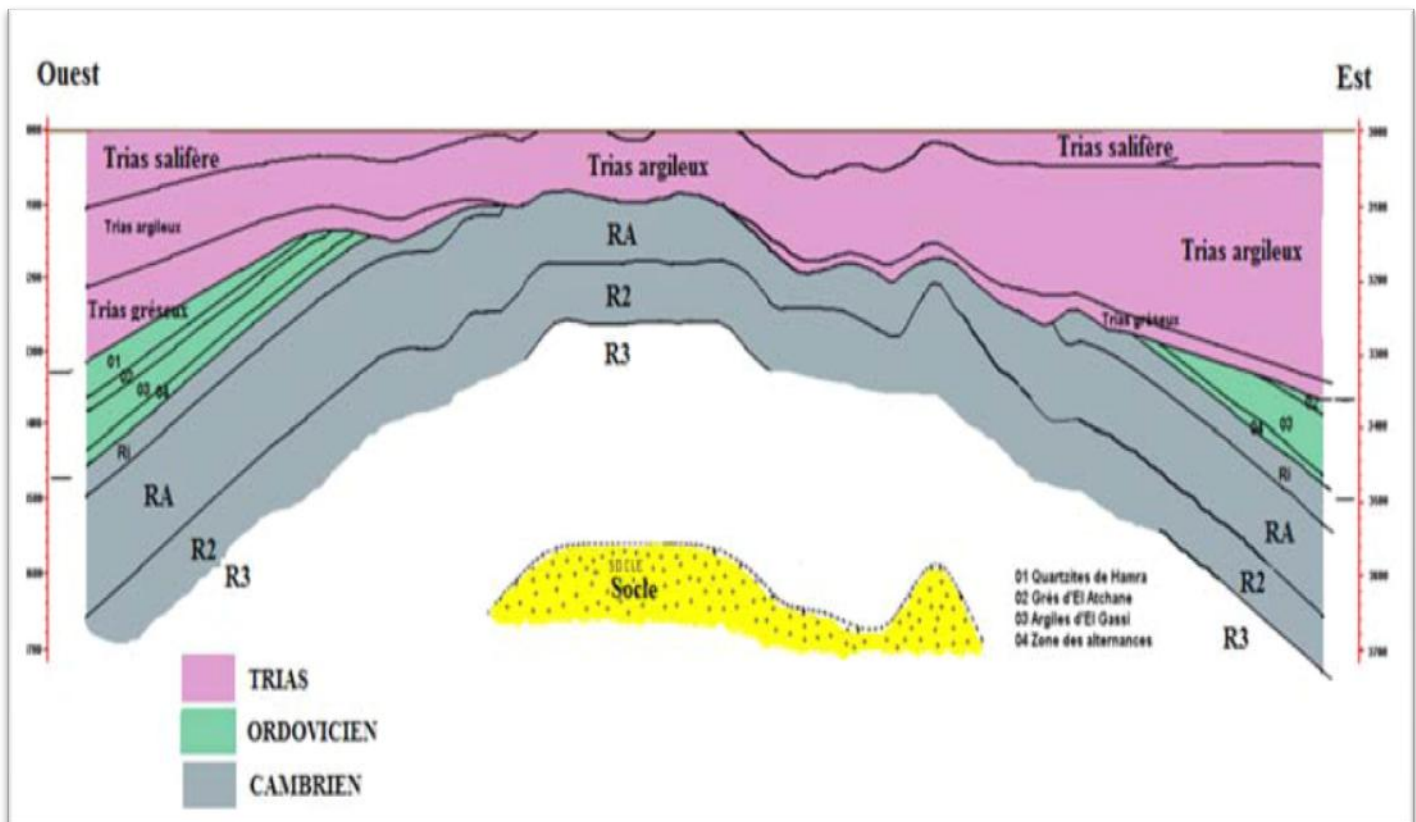


Fig. I.6: coupe géologique le réservoir principal du gisement de Hassi-Messaoud. **Boudjema** (1987).

6. Cadre tectonique et structurale :

6.1. Tectonique du champ de Hassi-Messaoud:

Elle est caractérisée par des compressions provoquant une tectonique cassante, représentée par des failles majeures verticales. Ces dernières sont décalées par un réseau de failles de direction NE-SW à déplacement dextre, et de direction NW-SE à déplacement sénestre. Ce système de faille à été interprété comme résultant

du mouvement de rencontre de deux blocs continentaux rigides : le craton Ouest-Africain et le môle est-saharien.

Les mouvements sont responsables des principaux axes structuraux de la plate forme saharienne et de son individualisation en bassins sédimentaires (Sonatrach, 1975).

La structure du champ de Hassi Messaoud se présente comme un vaste dôme anticlinal aplati, de direction générale NE-SW. Les accidents affectant le réservoir sont de deux types (Fig. I.8):

- Les failles de directions subméridiennes N.NE - S.SW ainsi que d'autres failles qui leurs sont perpendiculaires de direction NW-SE, ceci fait ressortir le caractère tectonique en Horst et Graben.
- Les cassures sans rejets qui ont eu un grand effet sur la fracturation du réservoir. (Ruhland M., Thouvenin J., 1971).

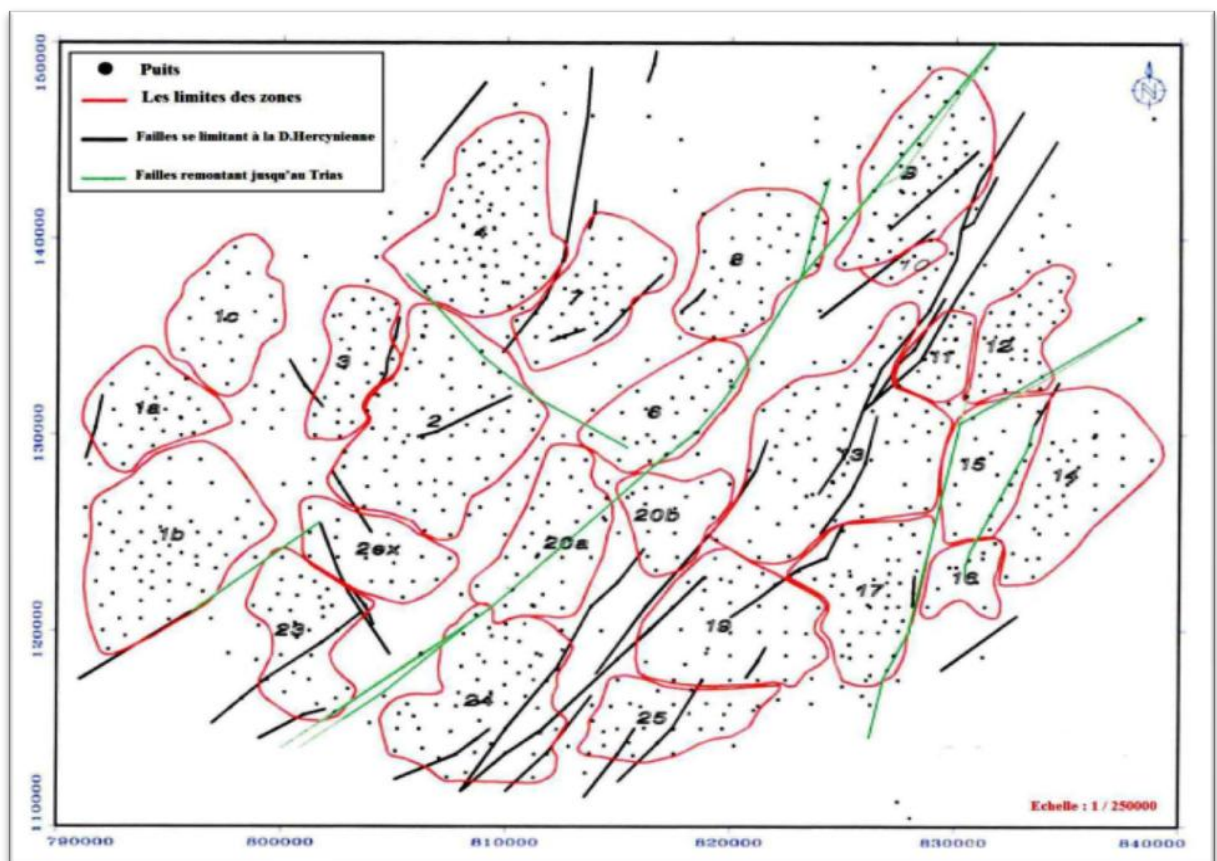


Fig. I.7 : Carte structurale du champ de Hassi Messaoud (Sonatrach/ Rapport 2002).

6.2. Structuration du champ de Hassi-Messaoud :

L'évolution structurale du gisement est le résultat de plusieurs phases tectoniques que l'on peut résumer chronologiquement comme suit :

6.2.1. Structuration anté-Triasique :**➤ Phase panafricaine :**

C'est une phase compressive de direction E-W, due à une collision continentale entre le craton West africain rigide et le bloc Est Africain plastique provoquant une tectonique cassante, représentée par un réseau de failles de directions NE-SW, NW-SE suivie d'une érosion intense qui s'est installée jusqu'au Cambrien conduisant à la formation d'une surface de pédiplanation appelée surface infra-tassilienne. Cette pédiplaine marque le début d'une histoire cratonique du Sahara.

Des mouvements distensifs de directions NW-SE interviennent au Cambro-ordovicien qui est à l'origine de l'étirement de la croûte continentale suivie d'une subsidence tectonique et plus tard thermique ; cette distension provoque un jeu de faille normale (NE-SW) préexistant dans le socle accompagnée de volcanisme.

➤ Phase Eo-Calédonienne précoce ou phase Anté-tramadocienne :

Datée d'environ 500 millions d'années, cette phase est marquée par la transgressivité des grès isométriques (Ri) connus sur les flancs du champ, après la mise en place du dépôt du réservoir (Ra).

Une structure Tardi-Cambrienne s'est produite avec érosion et failles s'établissant déjà suivant une direction NE-SW et accompagnée de volcanisme.

➤ Phase calédonienne:

Datée d'environ de 400 millions d'années, cette phase est régionalement connue par l'absence de sédiments de Dévonien et du Carbonifère dans toute la surface du haut fond d'El Biod. A noter qu'une hypothèse de non dépôt de ces sédiments a été retenue plutôt que celle de l'érosion hercynienne du fait que les faciès remaniés à la base du Trias gréseux proviennent du Cambro-ordovicien. Cette phase aurait débutée au Silurien ou au Dévonien inférieur

➤ Phase hercynienne :

Datée de 225 à 280 Ma, cette phase est responsable d'un grand bombement de direction NE-SW accompagnée du jeu de failles de même orientations, qui

compartimentent le réservoir en blocs ayant leur comportement propre. (Horst, Graben).

On marque une érosion de toute la couverture Paléozoïque à l'aplomb du gisement et par la disposition radiale de grandes vallées de creusement.

On peut dire qu'au cours de cette phase, on assiste à un serrage de direction NW-SE, c'est à dire, perpendiculaire aux accidents majeurs.

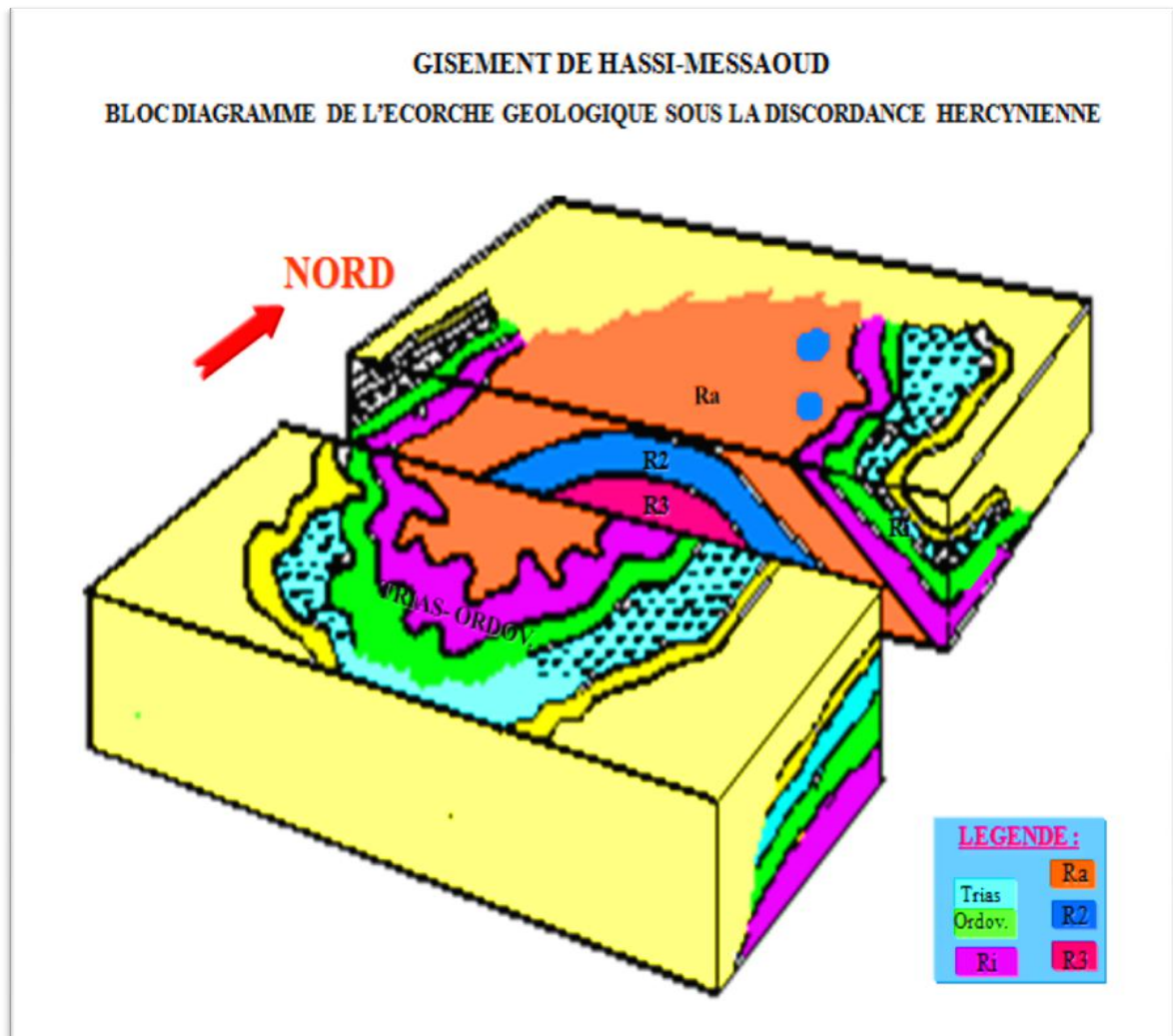


Fig. I.8: La Discordance de phase hercynienne. **Ruhland M., Thouvenin J., (1971).**

6.2.2. Structurations Post-triasique :

Les effets de cette phase sont relativement faibles et ne correspondent qu'à 50 à 100 m de fermeture structurale (2950-3050 m). Ces déformations s'accompagnent.

D'un basculement vers le NW d'environ 200 m entre la partie SE et NW; ce basculement a eu lieu au Mésozoïque. La fermeture NS est beaucoup plus importante que la fermeture WE et pourrait être due aux mouvements d'âge éocène qui est une phase tectonique atlasique avec une direction de compression NNW-SSE.

➤ **Phase autrichienne :**

Datée d'environ de 100 millions d'années, cette phase est un raccourcissement EW, elle a accentué la fermeture structurale et a provoqué des fracturations le long des failles anciennes qui ont probablement rejoué.

Elle est presque synchrone de la mise en place des hydrocarbures, car la formation de ces derniers a débuté au jurassique et s'est poursuivie pendant le Crétacé.

➤ **Phase Atlasique :**

C'est une phase dont la compression est de direction NNE-SSW, postérieure à la formation des hydrocarbures, donc elle est probablement à l'origine des barrières de perméabilité dues à un décalage des niveaux réservoirs.

6.2.3. Structuration actuelle :

Cette structuration montre une fermeture de 300 m entre les bordures et le top du gisement, elle est compressive à raccourcissement NS, elle a subi un faible réajustement épirogénique. Cette dernière a un allongement général NE-SW, et montre des culminations locales d'amplitude de l'ordre de la centaine de mètres, le rejet connu des failles ne dépasse pas 70 à 80 mètres.









ERE		EPOQUE D'INTERVENTION MAXIMALE	NOM DES PHASES	NATURE ET DIRECTION DES PHASES	EFFET SUR LES JEUX DE FAILLES
CENOZOIQUE	NEOGENE	MIOCENE	ALPIN TARDIF TERTIAIRE TARDIVE N.O 60	 N.O. 60	Jeu en compression des accidents N.O 60
	PALEOGENE	EOCENE	ALPIN MOYEN EOCENE N.160	 N. 160	Jeu en compression des accidents N. 160 et création de nouvelles structures
MESOZOIQUE	CRETACE		PHASE		
	JURASSIQUE		AUTRICHIENNE (ALPINE PRECOCE)	 N.O 90	Jeu en inverse sur les accidents N.O 90
	TRIAS				
PALEOZOIQUE		PERMIEN	PHASE HERCYNIEENNE TARDIVE	 N. 120	Jeu en inverse sur les failles NE - SW
	CARBONIFERE	VISIEN	PHASE HERCYNIEENNE PRECOCE	 N.O 40	Jeu en inverse sur les failles NW - SE
	DEVONIEN	Supérieur	PHASE FRASNIENNE	 N . W - S . E	Jeu en failles normales sur les failles NE - SW (Variation de faciès et d'épaisseur) (Volcanisme)
		Moyen			
		Inférieur			
		SILURIEN	PHASE		Jeu en inverse sur les failles N - S (Erosion sur les môles sub-méridien
		ORDOVICIEN	CALEDONIENNE	 E . W ??	" T i h e m b o k a ")
	CAMBRIEN	PHASE PANAFRICAINE TARDIVE	 E . W	Tectonique cassante réseau NE-SW et NW-SE (Caractérisation du sahara central)	

Fig. I.9:Principales phases tectoniques définies dans la plate forme saharienne.

Boudjema (1987).

Chapitre II

Matériels et méthodes

1. Méthode gravimétrique:

Introduction:

En géophysique appliquée, la gravimétrie sert à détecter les contrastes de densité du sous sol. Pour ce faire, on mesure en plusieurs points de l'espace les variations de l'accélération gravitationnelle. Examinons d'abord la nature du champ gravitationnel terrestre. **Giroux B., Chouteau M., (2008).**

1.1. Définition:

La méthode gravimétrique est basée sur la mesure des variations dans le champ gravimétrique causées par les variations horizontales de densité dans le sous-sol. C'est une technique importante utilisée pour faciliter la cartographie de la subsurface et elle est la méthode de base de plusieurs autres études géologiques.

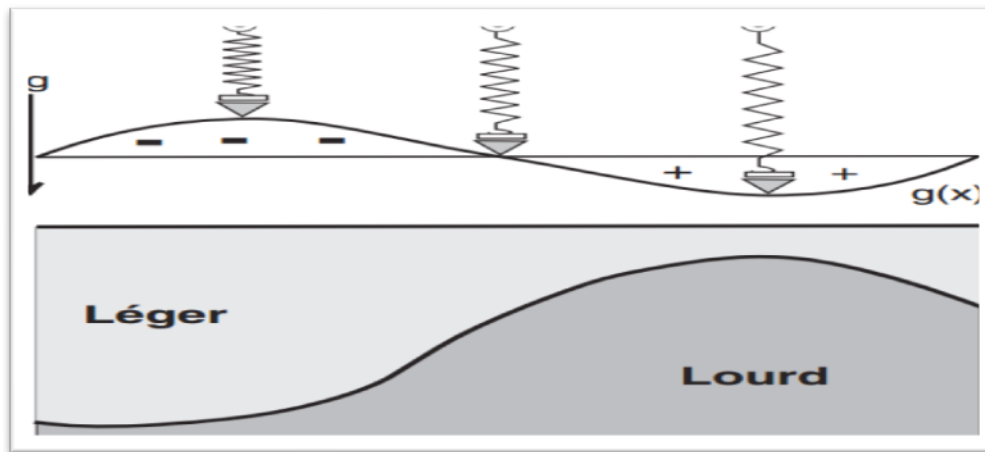


Fig. II.1: Les hétérogénéités dans le sous-sol sont sources de variations de la pesanteur. (Dunod, Paris, 2010)

1.2. Principe:

La méthode gravimétrique se base sur trois lois principes respectivement: celles de l'attraction universelle, Potentiel gravitationnel et Champ gravitationnel. Dans ce qui va suivre on donne une aperçue générale sur ces trois lois principales de la gravimétrie. **Abdessemed Mohamed Lamine, (2012).**

1.3. L'attraction universelle :

❖ 1 ère loi de Newton

Deux particules de masse m_1 et m_2 séparées par une distance r sont attirées l'une vers l'autre par une force F telle que:

$$\mathbf{F} = -\frac{G m_1 m_2}{r_1^2} \mathbf{r} \dots\dots\dots(1)$$

- \mathbf{F} : est la force appliquée sur la masse m_2 .
- \mathbf{r} : Le vecteur unitaire.
- r_1 : La distance entre les masses m_1 et m_2 .
- G : la constante universelle de la gravité.

Les termes r_1 et G sont données par:

- $r_1 = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$
- $G = 6.6742 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{Kg}$ (SI)

❖ 2^{ème} Loi de Newton:

Il faut appliquer une force \mathbf{F} à une masse m pour lui faire subir une accélération \mathbf{a} . Ceci se traduit par la relation:

$$\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a} \dots\dots\dots (2)$$

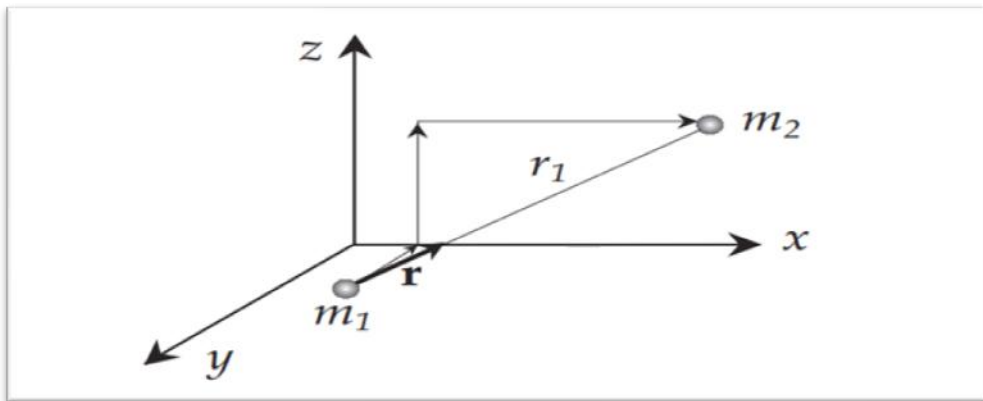


Fig II.2: Deux masses dans un référentiel cartésien. Chouteau M., (1999).

En utilisant les équations (1) et (2), on trouve que l'accélération d'une masse m à la surface du sol s'exprime par:

$$\mathbf{a} = -\frac{G M_T}{R_T^2} \mathbf{r} = \mathbf{g} \dots\dots\dots (3)$$

Où M_T est la masse de la terre (5.9736×10^{24} kg) et R_T le rayon moyen de la terre (6370 km). \mathbf{g} est dite accélération de la gravité, ou simplement gravité, et vaut en moyenne 9.797 m/s^2 .

En l'honneur de Galilée, on a nommé l'unité d'accélération gravitationnelle le gal avec :

$$1\text{gal} = 1\text{cm/S}^2 = 10^{-2} \text{ m/S}^2$$

$$1\text{mgal} = 10^{-3} \text{ gal} = 10^{-5} \text{ m/S}^2$$

1.3.1. Champ gravitationnel :

Soit une particule immobile en un point A de l'espace. Toutes les particules se trouvant autour de la masse m du point A subissent une accélération. Chaque point de l'espace est alors caractérisé par un vecteur accélération qui pointe vers A et qui est proportionnel à l'inverse du carré de la distance au carré. L'ensemble de ces vecteurs constitue le **Champ Gravitationnel** de la masse m.

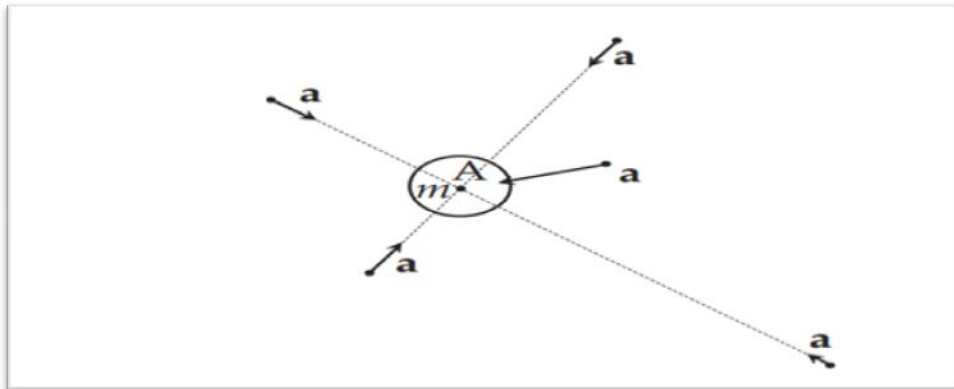


Fig. II.3: Le Champ Gravitationnel de la masse m. Chouteau M., (1999).

1.3.2. Potentiel gravitationnel :

Ainsi, on peut définir le **Potentiel Gravitationnel** en un point du champ gravitationnel comme le travail requis pour déplacer une masse unitaire de l'infini jusqu'à ce point s'il y a plusieurs masses, on somme la contribution de chacune des masses. Chouteau M., (1999).

$$U = \sum_{i=1}^N U_i = G \sum_{i=1}^N \frac{m_i}{R_i} \dots\dots\dots (4)$$

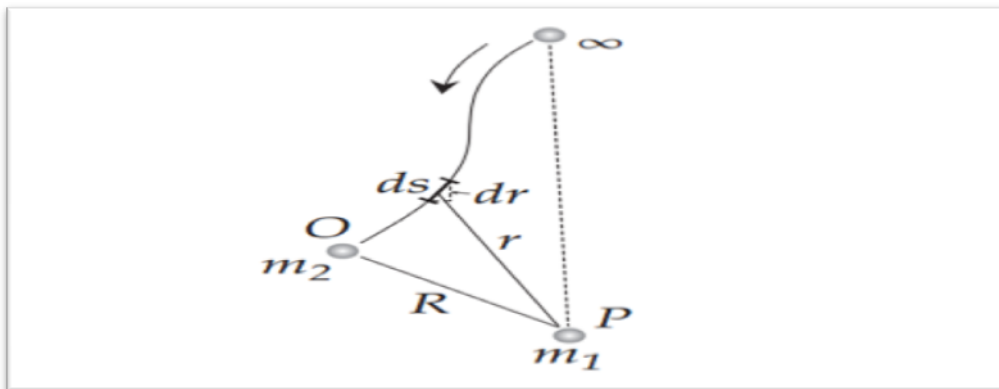


Fig. II.4 : Potentiel Gravitationnel. Chouteau M., (1999).

1.4. Appareillage de mesure:**1.4.1. Gravimétrie absolue:**❖ **Caractéristiques :****1. Principaux avantages :**

- Mesures absolues : pas de dérive instrumentale, pas de shift
- Mesures précises : FG5 (FG5 (22 μ gal)) – A10 (A10 (10 μ Gall))
- Mobilité relative (A10) : mesures dans des conditions de terrain

2. Principaux inconvénients :

- Instrumentation complexe et délicate
- Mesure dépendante d'autres standards (étalonnage laser)

3. Applications :

1. Réseaux et stations de référence :

- Etablissement de réseaux gravimétriques et géodésiques de référence
- Lignes d'étalonnage

2. Etude des variations temporelles du champ de pesanteur :

- Réseaux de réitération (volcanologie, hydrologie, rebond postglaciaire, séismes...)
- Observations semi-permanentes (marées terrestres, hydrologie, volcanologie...)

Il permet de mesurer directement l'intensité du champ absolu de la pesanteur. Son principe consiste généralement à mesurer la chute dans le vide d'une masse : le temps de parcours d'une distance donnée permet d'accéder directement à la valeur g . La masse utilisée est généralement un

prisme, les mesures de distance étant réalisées à l'aide d'un laser dans un interféromètre. Parmi les modèles utilisés on a le gravimètre absolu (modèle FG-5 de Micro-g Solutions Inc.) : est un instrument d'une précision remarquable (proche du micro gal) qui permet de mieux connaître le champ de pesanteur à la fois spatialement et temporellement .il est situé à l'Observatoire Gravimétrique de Strasbourg (Fig. II.5). Ecole d'Eté du GRGS:, (2010).



a. ISTEEM (Montpellier)



b. ISTEEM (Aigoual)

Fig. II.5: Gravimètres absolus nationaux FG5EO

Source: web site

1.4.2. Gravimétrie relative:

❖ **Caractéristique :**

1. Principaux avantages :

- Mesures en continu ((1 sec))
- Très forte sensibilité (~ 1ngal = 1 pico-g)
- Très faible dérive à long terme < 3 µGal/an

} Gravimètre le plus stable et
le plus précis au monde

2. Principaux inconvénients :

- Très basse température de fonctionnement (hélium liquide)
- Isolation thermique requise (Dewar cryogénique)
- Instrument relatif (étalonnage requis) et peu mobile (observation permanente)

3. Applications :

- Etude des variations temporelles du champ de pesanteur
- Enregistrements continus de haute précision (faible dérive instrumentale)
- Etudes locales à régionales (marées terrestres, hydrologie, Validation GRACE,...)
- Etudes globales (géodésie globale : mouvement du pôle...) / Réseau global GGP.

Ecole d'Eté du GRGS,(2010).**❖ Modèle CG3 de Scintrex:**

C'est un gravimètre électronique dont sa propre chambre mécanique, caractérisant par son ressort du quartz et ses tris pieds, leur température à l'intérieur -50°C à 50°C et 45°C à l'extérieur ainsi que 80°C à l'extérieur. La correction luni-solaire est faite automatiquement sur ce type de gravimètre en plus qui est un appareil automatique contenant un menu principal et sous menu qui permettent de savoir son fonctionnement. Sa précision de mesure est de l'ordre 10^{-2} milli gal.

❖ Modèle CG5 de Scintrex:

C'est le dernier cri du modèle Scintrex dont le même ressort et composants électroniques et chambre mécanique que CG3, mais la seule différence est que son écran est plus grand que celui de CG3. Les deux modèles sont illustrés aux Figures (**Fig. II.6**). (**Par: Abdessemed Mohamed Lamine,2012**).



a. Gravimètres relatifs CG3 de Scintrex



b. Gravimètres relatifs CG5 de Scintrex

Fig. II.6: Gravimètres relatifs de Scintrex

Source: web site.

1.4. Les données gravimétriques:

Les données gravimétriques brutes, enregistrées par le gravimètre, ont été transférées dans un ordinateur. Ces dernières ont été regroupées en fonction du numéro de la station, de la journée d'acquisition et de l'heure GMT. Une fois transférées et vérifiées, pour éliminer les erreurs de numérotation ou des données aberrantes en raison de problèmes d'instabilité du gravimètre, les corrections suivantes ont été apportées aux données gravimétriques. **Richer M., (2009).**

1.4.1. Correction de latitude:

Cette correction tient compte des variations de g avec la latitude dues à la rotation de la terre et à son aplatissement. A partir des mesures géodésiques mondiales, on sait que la terre est un ellipsoïde de révolution presque parfait. Sur cette surface, le champ gravitationnel peut être écrit par l'équation suivante (WGS-84) :

$$g_{th}(\Phi) = 9.7803253359 \frac{1 + 0.00193185265241 \sin^2 \Phi}{\sqrt{1 - 0.00669437999014 \sin^2 \Phi}} \dots\dots\dots (4)$$

Ou $g_{th}(\Phi)$ est la valeur du champ au point de latitude géodésique Φ . La correction Δ_L pour un déplacement l suivant un méridien est donc:

$$\Delta_L = \frac{\partial g_{th}}{\partial r} \times l \dots\dots\dots (5)$$

Avec:

$$Dl = R (\Phi) d \Phi = R_e d \Phi \dots\dots\dots(6)$$

Ou R_e est le rayon équatorial de la terre (6378.136 km). Finalement, si l est en mètres, on peut simplifier l'expression à:

$$\Delta_L \approx 8.1669 \times 10^{-4} \times l \times \sin 2 \Phi \text{ [mgal]} : (N \rightarrow S). \text{ Giroux B., Chouteau M., (2008).}$$

1.4.2. Correction d'attitude ou l'air libre :

Cette correction tient compte de la différence d'altitude entre la station de mesure et celle de référence, puisque si on se déplace vers le haut à une altitude h , on s'éloigne du centre de la terre et la gravité diminue et inversement. On peut calculer la correction à l'air libre en connaissant l'altitude h de chaque station de mesure par rapport au niveau de référence grâce à la formule suivante :

$$C_L = 0.3086 \times h$$

➤ C_L : Correction à l'air libre en [milli gal]

➤ h : Altitude de station de mesure en [m]

0.3086 : Constante de correction en [milli gal/m]. **Abdessemed Mohamed Lyamine (2012).**

➤

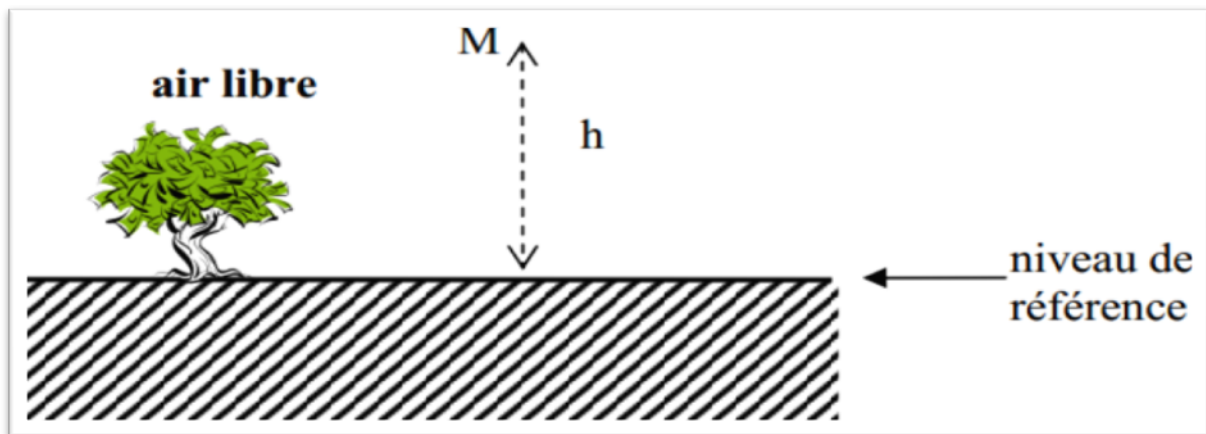


Fig. II.7: Correction d'attitude ou l'air libre. (principes et applications des mesures gravimétriques).

1.4.3. Correction de plateau:

La correction du plateau tient compte des masses situées entre les stations et le niveau de référence. Ces masses causent une attraction supplémentaire en augmentant les lectures aux stations. La correction du plateau élimine cet effet en supposant qu'une couche horizontale qui s'étend à l'infini se trouve entre la station et le niveau de référence La correction du plateau CP peut être déterminée par la formule-ci-

dessous:

$$C_p = 0.0419 \times \rho \times h \dots\dots\dots(8)$$

- **C_p**: Correction du plateau en [milli gal]
- **ρ**: Densité moyenne du plateau généralement prise 2.67 densité moyenne de la croûte terrestre en [g/cm³]
- **h**: Altitude de station de mesure par rapport à la référence en (mètre) 0.0419 : Constante de correction en [milli gal. g-1.cm3.m-1] .

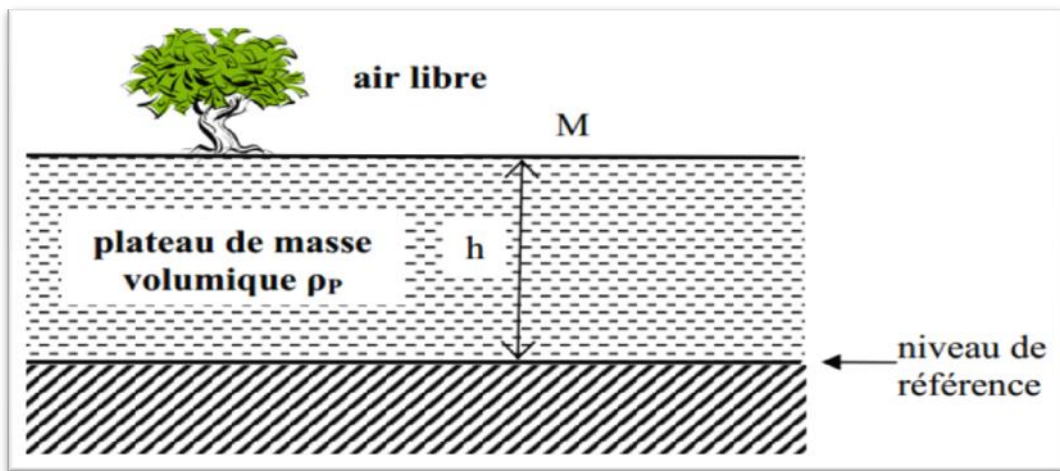


Fig.. II.8:Correction du plateau. (principes et applications des mesures gravimétriques).

1.4.4. Correction de terrain :

L'application de la correction de relief ou topographique (de la correction de Bouguer en considérant l'effet du relief), donne la possibilité de prendre en considération l'effet du relief et de réduire la valeur de la pesanteur à une valeur qui aurait été obtenue s'il y avait une tranche plate uniforme (sans élévations et dépressions) de masse au-dessous du point de réduction (dans les deux cas, un excès de masse au-dessus de plateau de Bouguer ou un manque de masse dans un dépression.la valeur de la pesanteur est réduite). C'est pourquoi, quand on fait la réduction topographique, on a la correction topographique toujours positive.

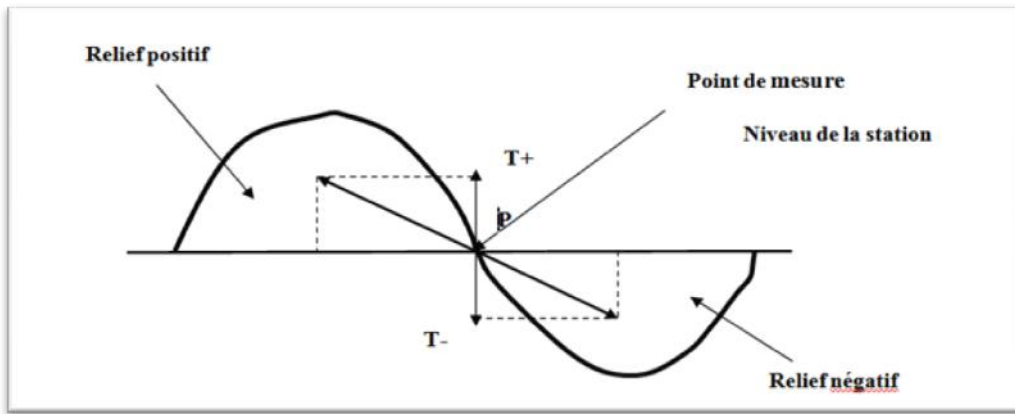


Fig. II.9: Effet de relief sur la valeur de g théorique. **Abdessemed Mohamed Lyaminen (2012).**

1.4.5. Anomalie de Bouguer :

L’anomalie de Bouguer est définie comme étant l’anomalie entre la mesure et le champ théorique à la station de mesure.

L’anomalie de Bouguer constitue la réponse gravimétrique causée par les hétérogénéités de densité du sous-sol. L’interprétation se fait donc à partir de celle-ci. Elle est donnée par:

$$\Delta_g = D_g \text{ (observée)} \pm 5 \text{ corrections}$$

O u les corrections sont :

- Correction dérive de l’appareil et des marées.
- Correction de latitude $\Delta_L = 8.1669 \times 10^{-4} \sin^2 \Phi$ mgal.
- Correction d’altitude $\Delta_h = 0.3086 h$ mgal.
- Correction de plateau $\Delta_p = - 0.04191 \rho_B h$ mgal.
- Correction de terrain Δ_t . **Giroux B., Chouteau M., (2008).**

Et ou h est en mètres et positif si la station est au-dessus du référentiel et négatif dessous, et

$$\Delta_g = g \text{ observée} - g_{\text{ref}} \dots\dots\dots(7)$$

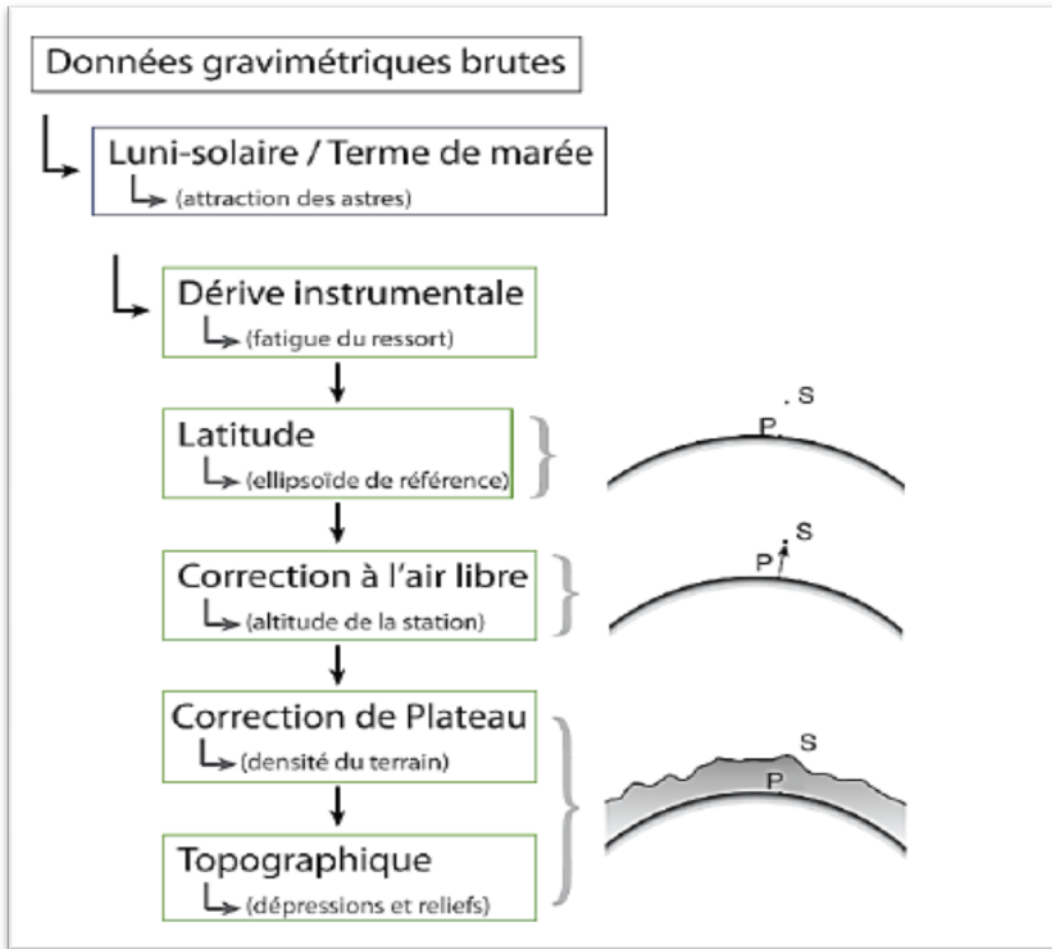


Fig. II.10 Diagramme représentant l'ensemble des corrections à apporter aux données gravimétriques brutes pour obtenir l'Anomalie de Bouguer. Gailler, (2010).

1.4.6. Séparation d'anomalie:

L'anomalie de Bouguer représente la combinaison ou la somme de tous les effets autrement dit d'anomalies étroites d'origine peu profonde (régionale) et celles d'origine superficielle (résiduelle). On peut écrire l'AB comme suit:

$$AB = R + S$$

Avec :

AB : Anomalie de Bouguer en [milli gal].

R : Anomalie régionale en [milli gal].

S : Anomalie résiduelle en [milli gal].

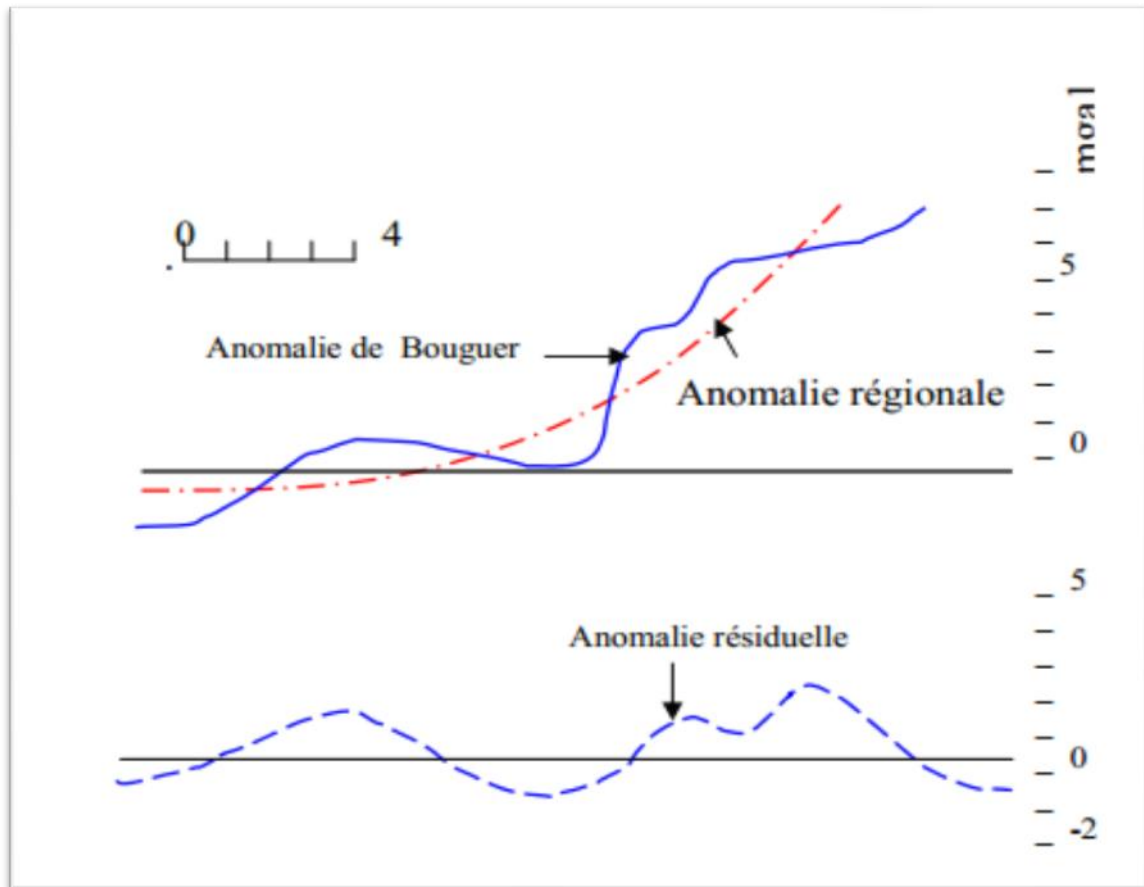


Fig. II.11 : Principe de calcul de l’anomalie résiduelle sur un profil gravimétrique.

2. Méthodes avancées de traitement des données gravimétriques:

2.1. Déconvolution d’Euler:

La méthode de la Déconvolution d’Euler, appliquée aux données magnétiques et gravimétriques, permet la localisation et la détermination des paramètres des sources gravimétriques, elle est basée sur un procédé mathématique représenté par l’équation d’homogénéité d’Euler (Thompson, 1982).

❖ Equation d’homogénéité d’Euler:

Selon la définition d’Euler, toute fonction $f(x, y, z)$ qui répond à la condition $f(tx, ty, tz) = t^n \cdot f(x, y, z)$ est une fonction homogène de degré n , et satisfait l’équation suivante (Thompson, 1982):

$$x \frac{\partial f}{\partial x} + y \frac{\partial f}{\partial y} + z \frac{\partial f}{\partial z} = n f \dots\dots\dots (1)$$

Cette équation est appelée: Equation d’homogénéité d’Euler ou équation d’Euler (1).

❖ Détermination des paramètres d’Euler:

➤ L’indice Structural:

L'équation d'Euler est donnée par l'expression suivante (Reid et al, 1990):

$$(\mathbf{x} - \mathbf{x0}) \frac{\partial T}{\partial x} + (\mathbf{y} - \mathbf{y0}) \frac{\partial T}{\partial y} + (\mathbf{z} - \mathbf{z0}) \frac{\partial T}{\partial z} = - \mathbf{N}(T - \mathbf{B}) \dots\dots\dots(2)$$

Ou **N** est appelé Indice Structural, il caractérise le type de source et **B** représente une constante locale qui caractérise le champ régional. (Thompson, 1982).

Thompson (1982) et Reid et al, (1990) ont montré que **N** prend des valeurs allant (de 0 à 3) suivant les Structure considéré:

- (0) pour un contact.
- (1) pour un dyke.
- (2) pour un cylindre.
- (3) pour une sphère.

Reid et al, (1990) ont conclu que de faibles indices structuraux allant de (0 à 1) fournissent les meilleures estimations des profondeurs.

➤ **Les dimensions de la fenêtre:**

Un autre paramètre rentre en jeu pou la détermination des solutions adéquates, c'est le choix de la dimension de la fenêtre.

Marson et Klingele (1993) ont remarqué que le choix approprié de la taille de la fenêtre dépend de la longueur d'onde de l'anomalie examinée et du pas de la grille.

➤ **La tolérance**

Les solutions minimales retenues sont au moins égales au pas de la grille et inférieures deux fois la taille de la fenêtre de déconvolution (Reid et al, 1990). Les solutions retenues pour la profondeur **Z₀** sont celles dont la tolérance vérifie la condition suivante (Thompson,1982).

$$TZ = \frac{z_0}{N\sigma_z} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

Ou **TZ** est la tolérance, et **σ** représente l'erreur quadratique moyenne de **Z₀**.

2.2. Signal analytique:

La méthode du signal analytique a été décrire pour la première fois par Nabighian (1972, 1974 et 1984), qui a proposé l'utilisation de l'amplitude du signal analytique calculée à partir des profils gravimétriques pour la détermination des profondeurs et des coordonnées des sources gravimétriques. Il a définie le signal analytique comme étant <<un champ complexe dérivent d'un potentiel complexe >>. Les parties réelles et imaginaires de cette fonction sont respectivement la dérivée horizontale et la dérivée verticale de l'anomalie.

❖ **Principe de la méthode du signal analytique:**

On appelle signal analytique associé à une fonction f définie dans un espace réel, le signal déterminé par la fonction (Gasquet et Witomski, 1995):

$$g = f + i.T.H. f \dots\dots\dots (4)$$

Ou << TH >> représente l'opérateur de la transformée de Hilbert.

Le signal analytique dans le cas 3D d'une anomalie gravimétriques M Dans un système (x, y, z) est donné par l'expression suivante (Nabighian, 1984 ; Roest et al, 1992):

$$AS(x, y) = \frac{\partial M}{\partial x} \vec{x} + \frac{\partial M}{\partial y} \vec{y} - i \frac{\partial M}{\partial z} \vec{z} \dots\dots\dots (5)$$

Ou $\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}$ sont les vecteurs unitaires dans les directions ox, oy et oz respectivement. L'amplitude du signal analytique sera définie par l'expression suivante (Keating et Sailhac, 2004):

$$|AS(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)^2} \dots\dots\dots (6)$$

2.3. La technique des gradients :

❖ **Le gradient horizontal :**

Le gradient horizontale d'amplitude est une technique de traitement aide d'interpréter et détecter les accidents structuraux et les contacts anormaux quelques soient leur orientation. L'amplitude de gradient est définie par l'équation suivante (Cordell Et Grauch, 1982):

$$\|GH(x, y)\| = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} \dots\dots\dots (7).$$

3. Les imageries de fond :

3.1. Introduction:

L'imagerie acoustique et électrique a considérablement évolué dans la reconnaissance des formations de subsurface. Elle lève aussi beaucoup d'incertitudes dans l'interprétation des milieux de dépôts. Son apport se résume en une meilleure connaissance de la tectonique du gisement, des couches (pendage et azimuth) ainsi qu'une meilleure approche de la fracturation. La maîtrise de l'imagerie de fond est une garantie pour la fiabilité des interprétations des phénomènes géologiques tout au long de leur formation en corrélation avec les données de carottes.

Comparées aux diagraphies classiques, l'imagerie se base sur la multiplication des mesures dans le même endroit et en un temps réduit ; ce qui lui permet d'obtenir une information détaillée de toute la paroi du puits (couverte des fois jusqu'à 100%). Son avantage principal est la

possibilité d'orienter l'image obtenue par rapport au Nord magnétique dans un puits vertical, et au top du trou dans un puits horizontal (Fig. II.13) Cette orientation est indispensable pour :

- Le calage en profondeur et l'orientation en azimuth des carottes.
- La déduction du sens du paléocourant et des azimuts de pendage des couches.
- La détection des contraintes tectoniques et leur changement au cours du temps.
- La détermination et l'orientation des fractures et des failles.
- La délimitation des séquences sédimentaires.

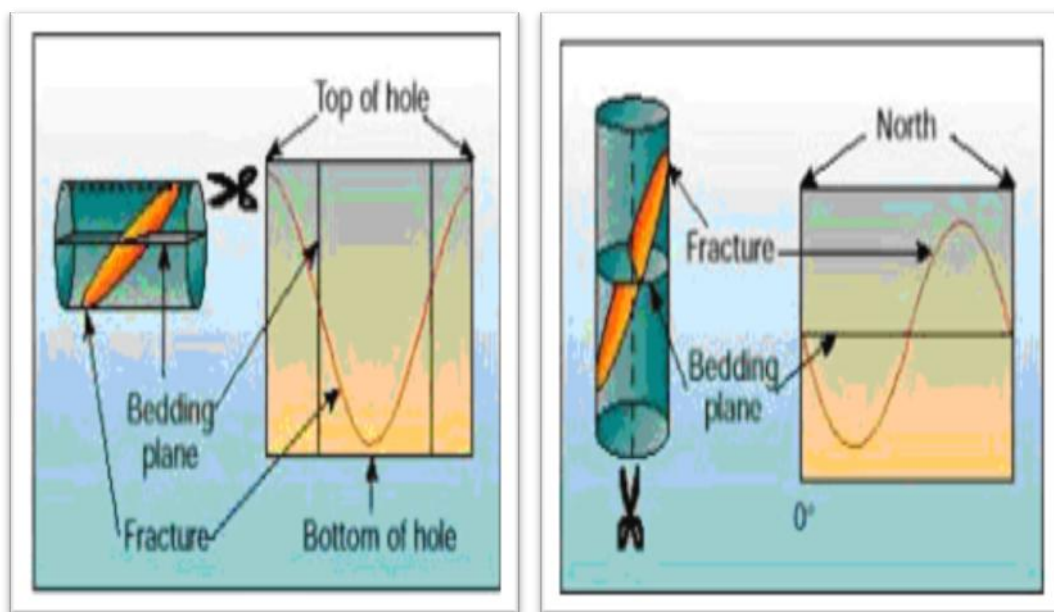


Fig. II.12 : Orientation de l'image sur puits vertical et horizontal. **Williams T., (2008).**

3.2. Les objectifs principaux de l'étude de l'imagerie:

- l'évaluation du réseau de fracturation du réservoir:

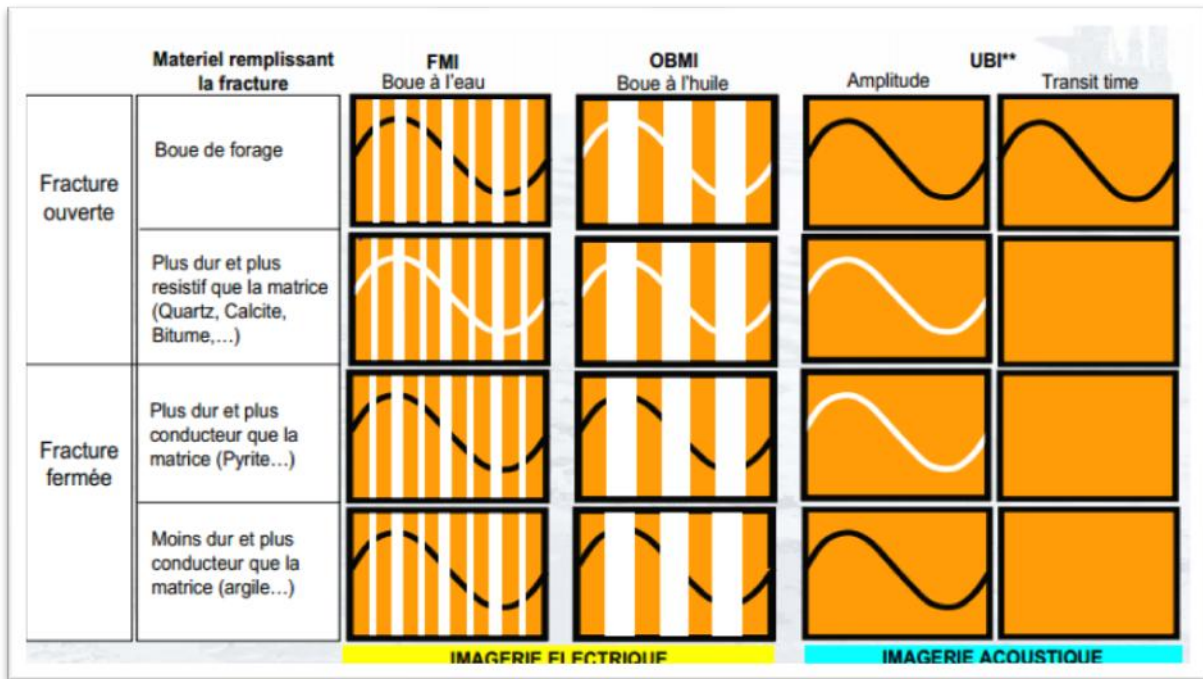
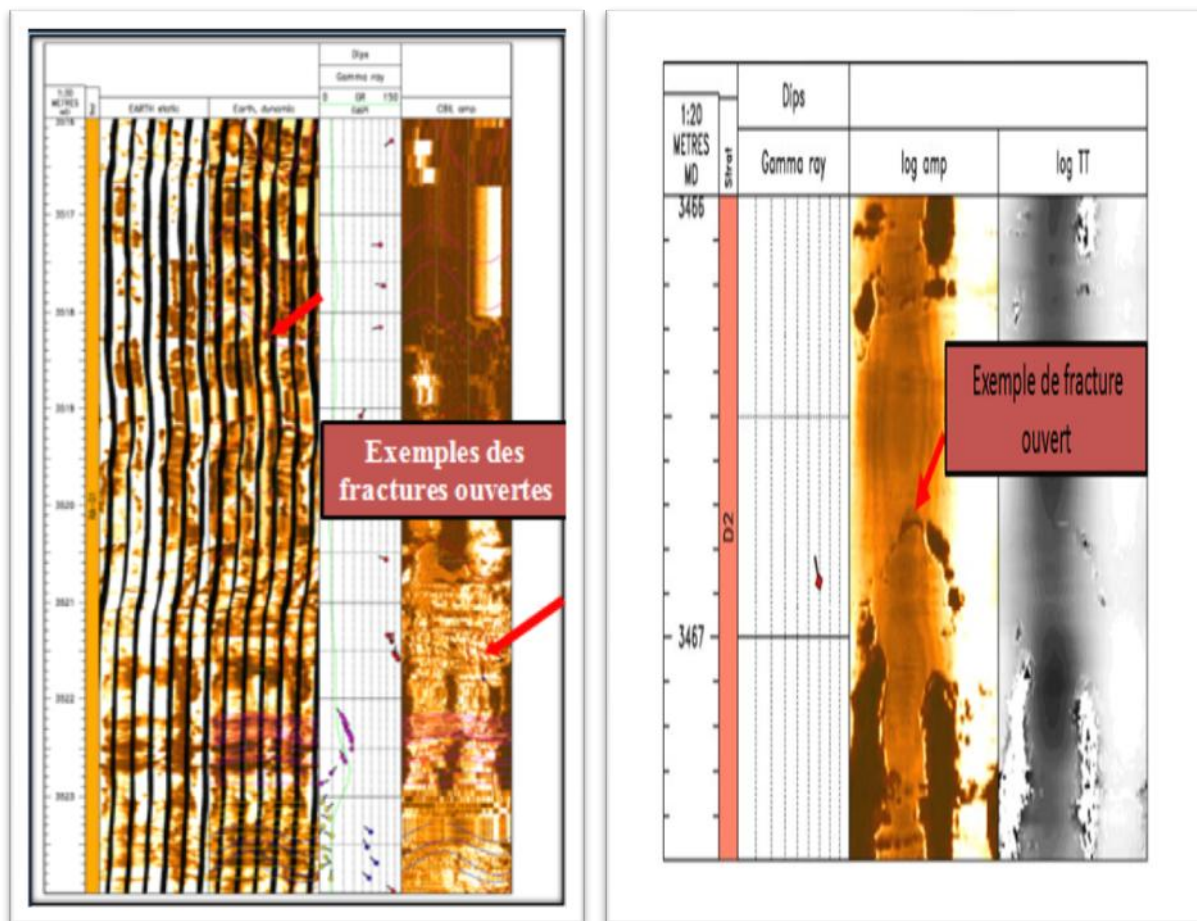


Fig. II.13: Identification des fractures à partir de l'imagerie de puits. (Document Schlumberger).

❖ Les Fractures:

- **Ouvertes et partiellement ouvertes :**

L'écartement des fractures ouvertes et partiellement ouvertes varie de 1 à 5 mm, par contre leur longueur varie de quelques millimètres à plusieurs centimètres (parfois 1 m). Les épontes de ces fractures sont souvent tapissées par de la pyrite ou de la silice. Contrairement aux fractures colmatées et partiellement ouvertes, les fractures ouvertes sont difficiles à identifier. Par exemple dans le puits MD 641 peu de fractures naturelles ont été observées à travers l'intervalle étudié. Ces fractures sont dispersées et discontinues, la majorité ont été identifiées sur l'imagerie de UXPL, avec un contraste foncé donc elles sont ouvertes. L'orientation moyenne attribuée à toutes les fractures identifiées est de 351°(NO). **Final-report imagerie des puits (MD 64, ONE 321).**



Puits MD 641

Puits ONE 321

Fig. II.14 : Exemples des fractures ouvertes.

Final-report-imagerie des puits (MD 641, ONE 321).

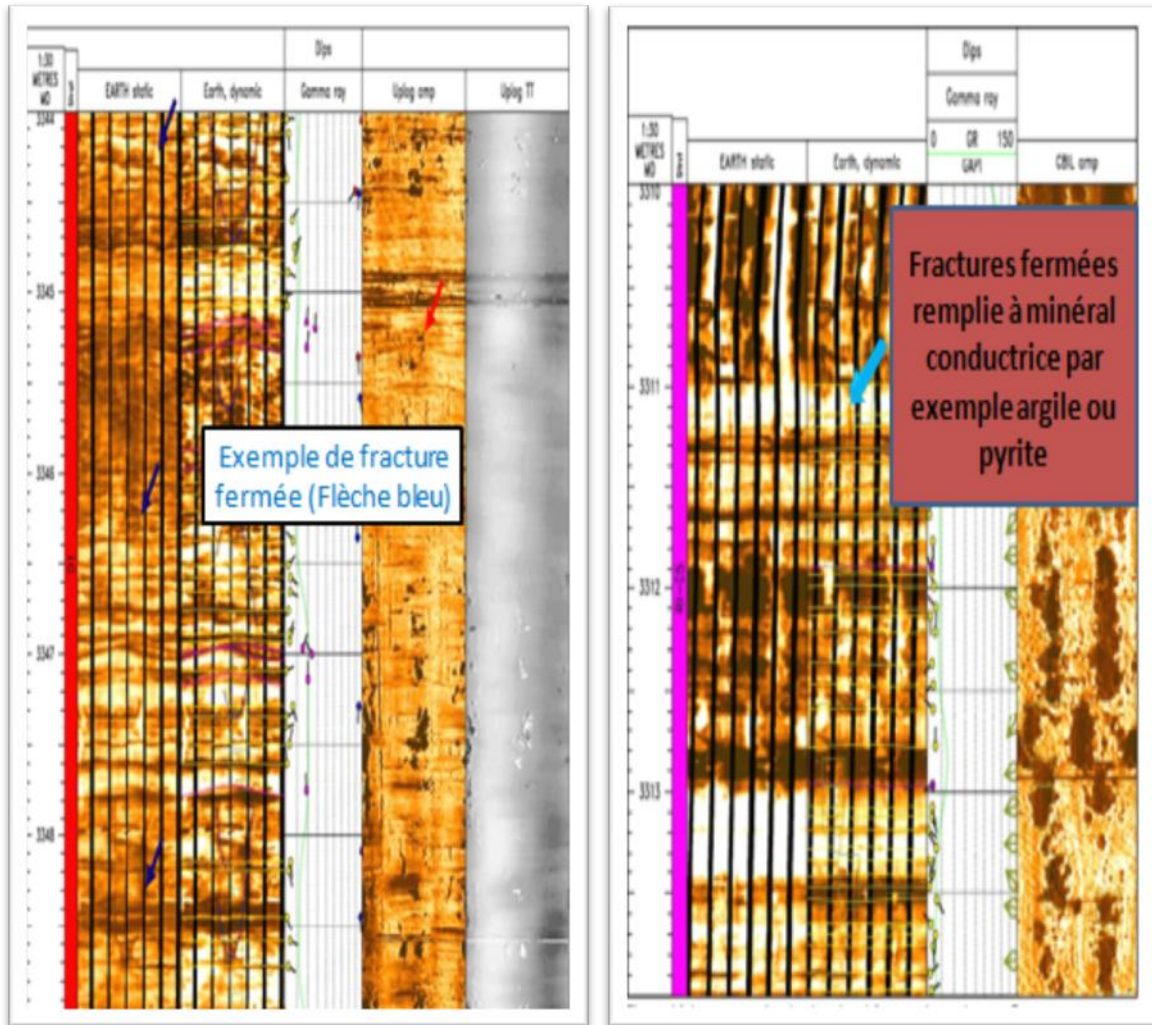


Fig. II.15 : Exemples des fractures ouvertes (carottages des puits ONE321)

- **Fermées :**

Ce sont des fractures colmatées, remplies par plusieurs colmatant qui sont la silice, l'argile et la pyrite. Par exemple dans le puits MD 641 peu de fractures naturelles ont été observées à travers l'intervalle étudié. Ces fractures sont dispersées et discontinues, la majorité ont été identifiées sur l'imagerie de UXPL, avec un contraste foncé donc elles sont ouvertes. Deux fractures cimentées ont également été identifiées sur l'imagerie d'EARTH

Imager avec un contraste foncé en indiquant la présence d'un ciment (pyrite ou Clay). L'orientation moyenne attribuée à toutes les fractures identifiées est de 351° (NO) et dans le puits OMN 14 La majorité des fractures observées sont de type CFRAC (fermées), partiellement remplies avec des minéraux conductifs ou résistifs, exemple vu entre 3340.5 et 3341m. Des fractures partiellement ouvertes sont rares dans le puits, identifiées au CBIL log, exemple d'image vu a 3389m. Les failles n'ont pas été identifiées au niveau des logs imagerie et des carottes disponibles.



Puits OMPZ 123

Puits OMN 14.

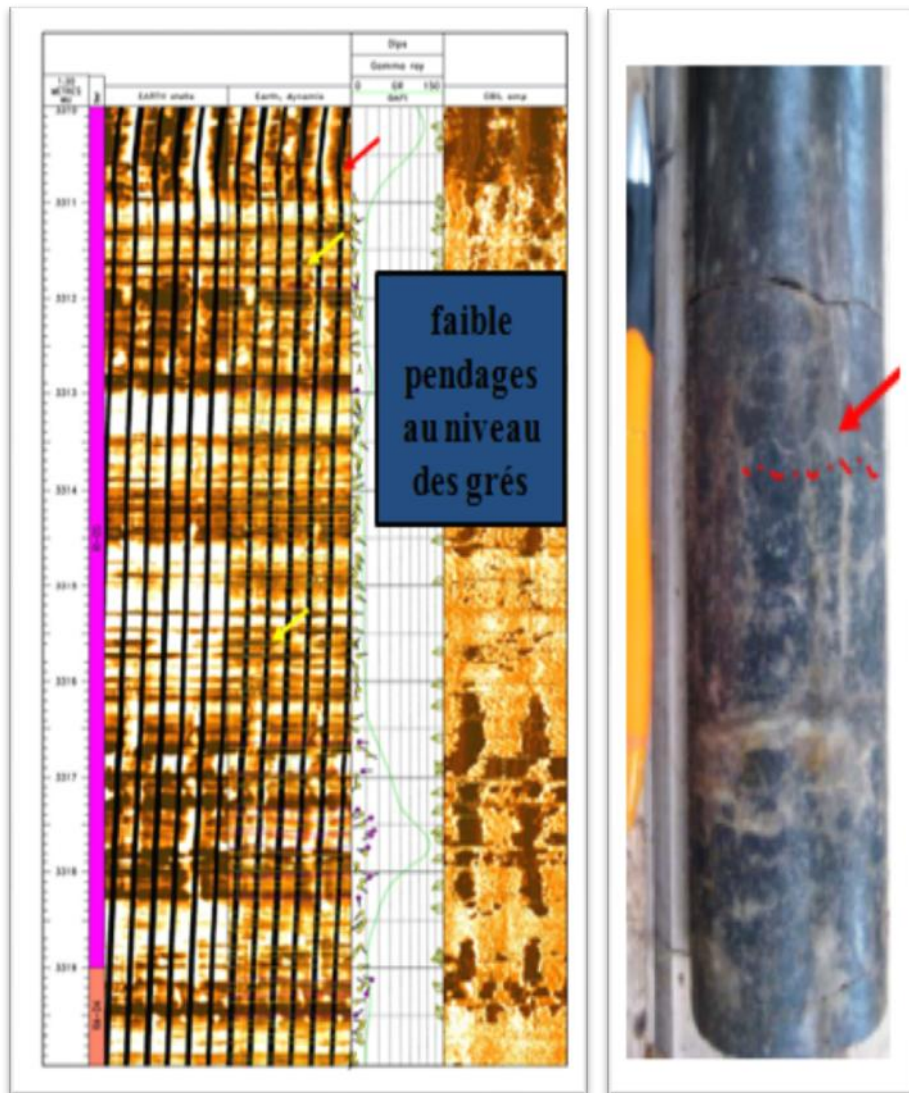
**Fig. II.16 : Exemples des fractures fermées.
Final-report-imagerie des puits (OMPZ 123, OMN 14).**



Fig. II.17 : Exemples des fractures fermées (carottages des puits OMN 14).

➤ l'identification des pendages structuraux:

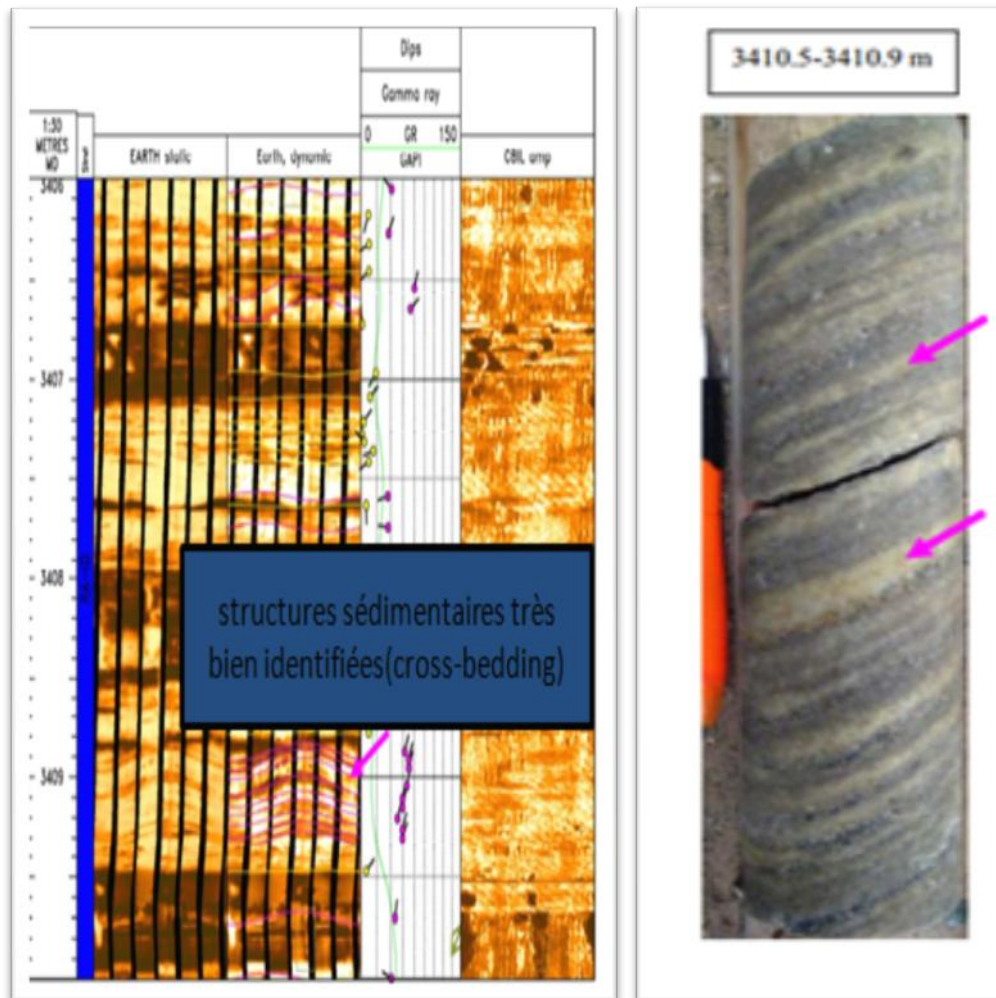
L'analyse de pendage structural est basée sur l'étude des structures sédimentaires à faible pendage, observées dans les grés et les formations silteuse. Par exemple dans le puits OMK-60 elles sont observées dans les formations R2 et R3. Une seule zone structurale est définie avec un pendage et azimuth de $0.8^\circ / 355^\circ$ (NNW), et dans le puits OMN-14 a révélé la présence d'une seule zone structurale, caractérisée par un faible pendage de 0.5° , et un azimuth de 303° . Ceci est basé principalement sur l'identification de couches à faible pendages au niveau des grés a bioturbation de l'unité D5.



Puits OMN 14.

Fig. II.18 : Exemples des pendages structuraux (strates sub-horizontales).

Final-report-imagerie des puits (OMN 14).



Puits OMN 14.

Fig. II.19 : Exemples des pendages structuraux (entre croisée).

Final-report-imagerie des puits (OMN 14).

- l'analyse des directions de paléo-courants à partir des pendages sédimentaires:

L'information des paléo-courants et les faciès sédimentaires sont importants pour prévoir et comprendre le sens des écoulements. On donne quelques exemples des puits pour s'avoir les directions de paléo-courants à partir des pendages sédimentaires :

Dans le présent puits OMK 60 un paléo-transport est orienté N à NNE est déduit à partir des structures sédimentaires.

Dans le puits OMJZ 203, ils indiquent une orientation de courant vers le NW dans un milieu de dépôt fluvial.

Dans le puits OMH-511, ils indiquent une orientation de courant vers le NNO dans un milieu de dépôt fluvial.



Fig. II.20 : Schéma représentatif des paléo-courants.

Source : disponible sur l'internrt.

➤ l'identification de l'orientation de la contrainte horizontale maximale in-situ dans les formations traversées:

❖ **Notions de breakouts et de contraintes:**

Les breakouts : lorsque la pression à l'intérieur du puits est inférieure à la pression de la formation (condition sous-pression), ceci peut causer l'effondrement ou des évasions de certaines parties de la paroi du puits.

La direction des breakouts correspond à la direction de la contrainte horizontale minimale (σ_h).

Fractures induites : lorsque la pression de la boue sur la paroi du puits dépasse la pression de fracturation de la formation (condition de forage surpassé), ceci conduit à des fissures de la paroi du trou.

La direction de fractures induites correspond à celle de la contrainte horizontale maximale (σ_H).

Par conséquent, un poids de boue optimale sera donc un paramètre essentiel dans une opération de forage. (Poppelreiter M., Carballido C., Kraaijveld M.,)

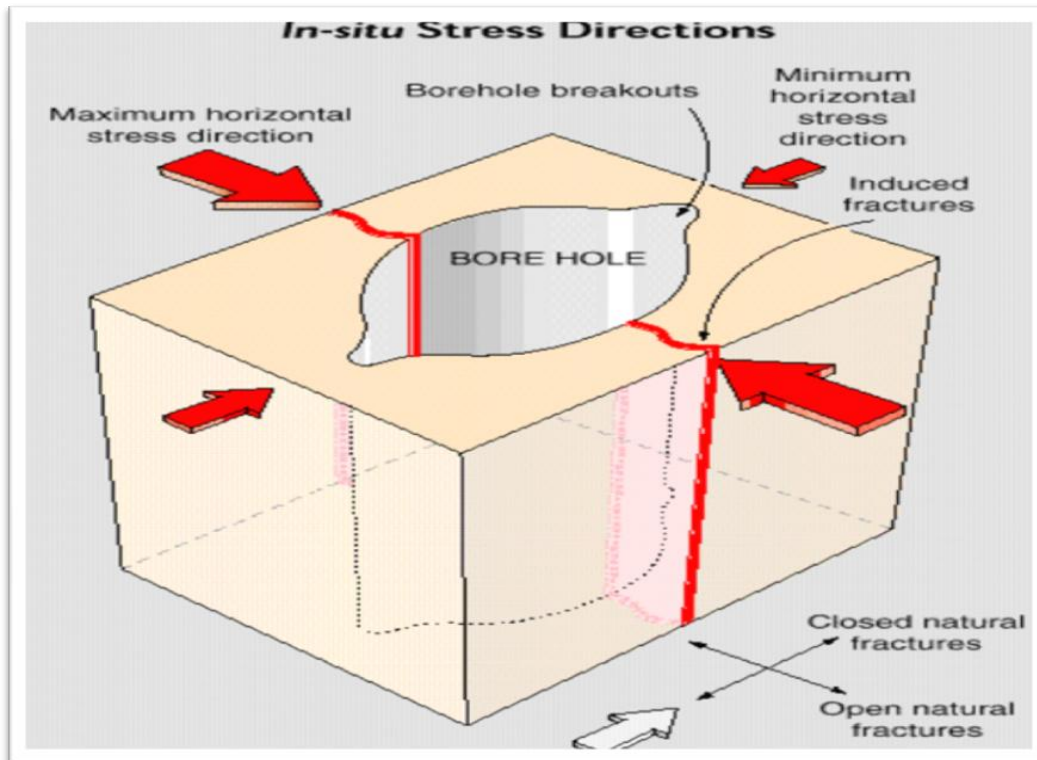
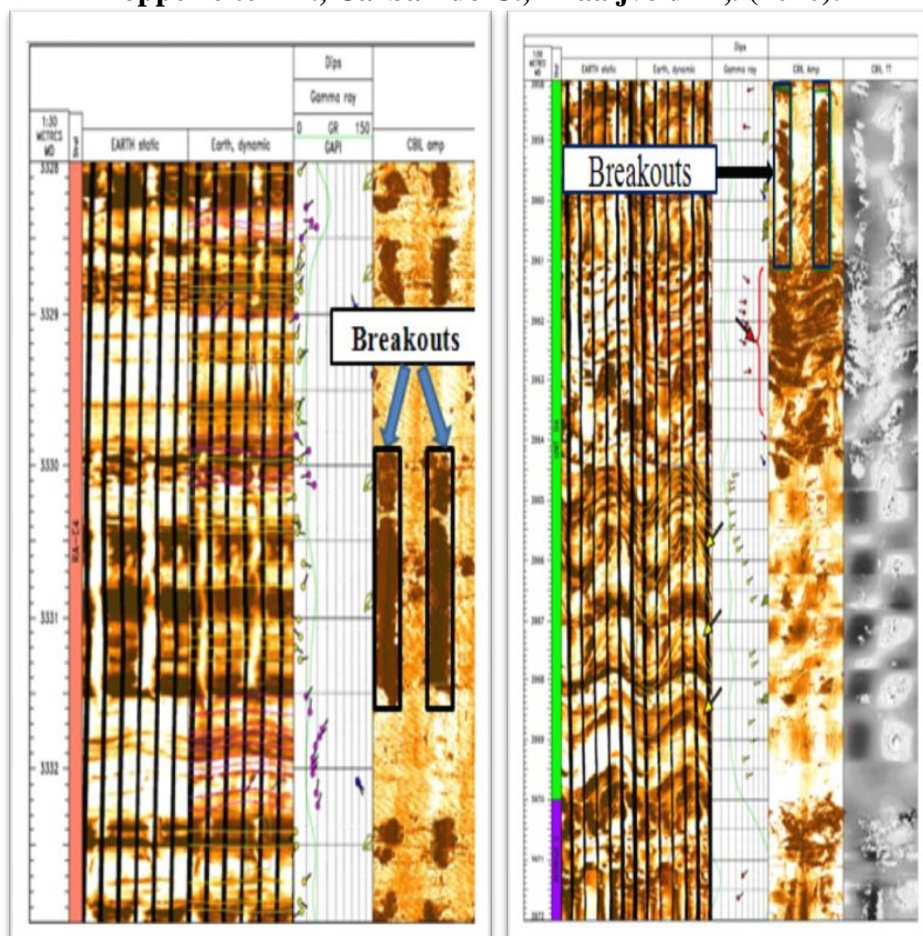


Fig. II.21 : Analyse des fractures induites et breakouts.
 Poppelreiter M., Carballido C., Kraaijveld M., (2010).



Puit MDZ 606.

Puits OMN 14.

Fig. II.22 : Exemples des Breakouts.

Final-report-imagerie des puits (MDZ 606 ,OMN 14).

3.3. Les outils d'imagerie:

L'imagerie est un type de Diagraphie, alors comme celui des Diagraphies classiques le principe reste le même c'est-à-dire que les principes fondamentaux de la physique ne changent pas et qui sont :

- Propagation des ondes acoustiques dans un milieu et enregistrement des valeurs de fréquence et d'amplitude de l'onde reçue.
- Mesure de la micro résistivité des couches à l'aide d'un signal électrique.

Le type d'imagerie utilisé est fonction de la nature de la boue utilisée, si elle est conductrice, on utilise un outil de résistivité et si elle ne l'est pas, on utilise un outil acoustique.

Son avantage principal est la possibilité d'orienter l'image obtenue par rapport au Nord magnétique dans un puits vertical, et au top du trou dans un puits horizontal. Cette orientation est indispensable pour :

- La présentation complète du trou par image 360°.
- La détermination de la limite gré/argile, des intervalles de stratification minces.
- Fournit des données de diamètre du trou avec une haute résolution acoustique.
- Donne une image sur la géométrie de la paroi du trou.
- Fournit une image détaillée du trou, avec une boue salé et une boue à base d'huile.
- Localisation et évaluation des intervalles de corrosions, l'usage mécanique,
- Fournit l'orientation et la corrélation des carottes.

3.4. Les différents types L'outils d'imagerie:

Il ya plusieurs outils d'imagerie utilisé proposées par les principales compagnes de services, cette outils trouver dans cette tableau suivant:

Tableau II.1. Différentes outils d'imageries proposées par les principales compagnes de services. (Documents « O-Serra final »).

Compagnies	Imagerie électrique	Imagerie acoustique
------------	---------------------	---------------------

Schlumberger	FMI (Boue à base d'eau) OBMI (Boue à base huile)	UBI
Haliburton	EMI (Boue à base d'eau)	CASTV CASTM
Baker Atlas	Earth Imager (Boue à base huile)	CBIL

3.4.1. Les outils de l'imagerie acoustique:

Les outils d'imagerie acoustique utilisent un transducteur piézoélectrique à rotation rapide pour émettre une impulsion sonore à haute fréquence vers la paroi du trou. L'outil d'imagerie acoustique enregistre ensuite l'amplitude de l'écho de retour, ainsi que le temps de déplacement total de l'impulsion sonore. Le temps de trajet de l'onde acoustique réfléchi et son amplitude sont mesurés dans différents azimuts et différentes directions à l'intérieur du puits de forage pour une profondeur donnée. Ces données sont ensuite traitées tel que les images de la réflectance de la paroi du forage (sur la base de l'amplitude de l'écho de retour) et le rayon du trou de forage (sur la base de temps de parcours d'impulsion). Il existe une grande variété d'outils d'imagerie acoustique disponibles, certains des outils les plus courants sont :

❖ Principe de l'outil :

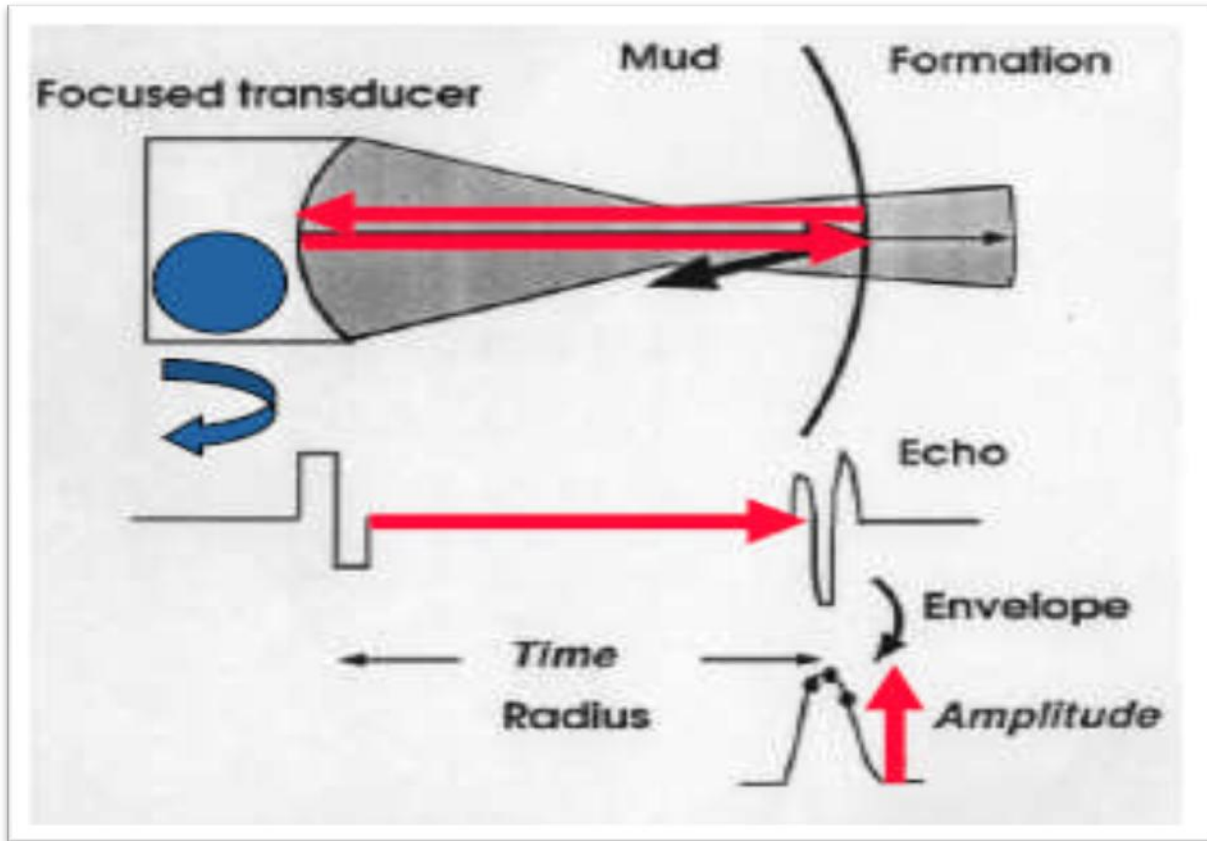


Fig. II.23: réflexion de l'onde acoustique de l'outil l'imagerie acoustique.

Montaggioni P., (Applications of Borehole Imaging to Fracture Characterization).

1. Outil CBIL "Circumferential Borehole Imaging Log":

L'outil CBIL, se base sur le principe physique (émission et réception des ondes acoustiques) pour reproduire une image en continu des parois d'un puits tubé ou non tubé. L'outil comprend un transducteur acoustique monté sur une section rotative, il envoie puis détecte l'impulsion acoustique réfléchi par la paroi du trou. L'amplitude réfléchi est en fonction du contraste acoustique de la formation et la boue dans le trou de forage. Le temps de déplacement dans les deux sens est en fonction de la vitesse dans la boue et la distance de la formation.

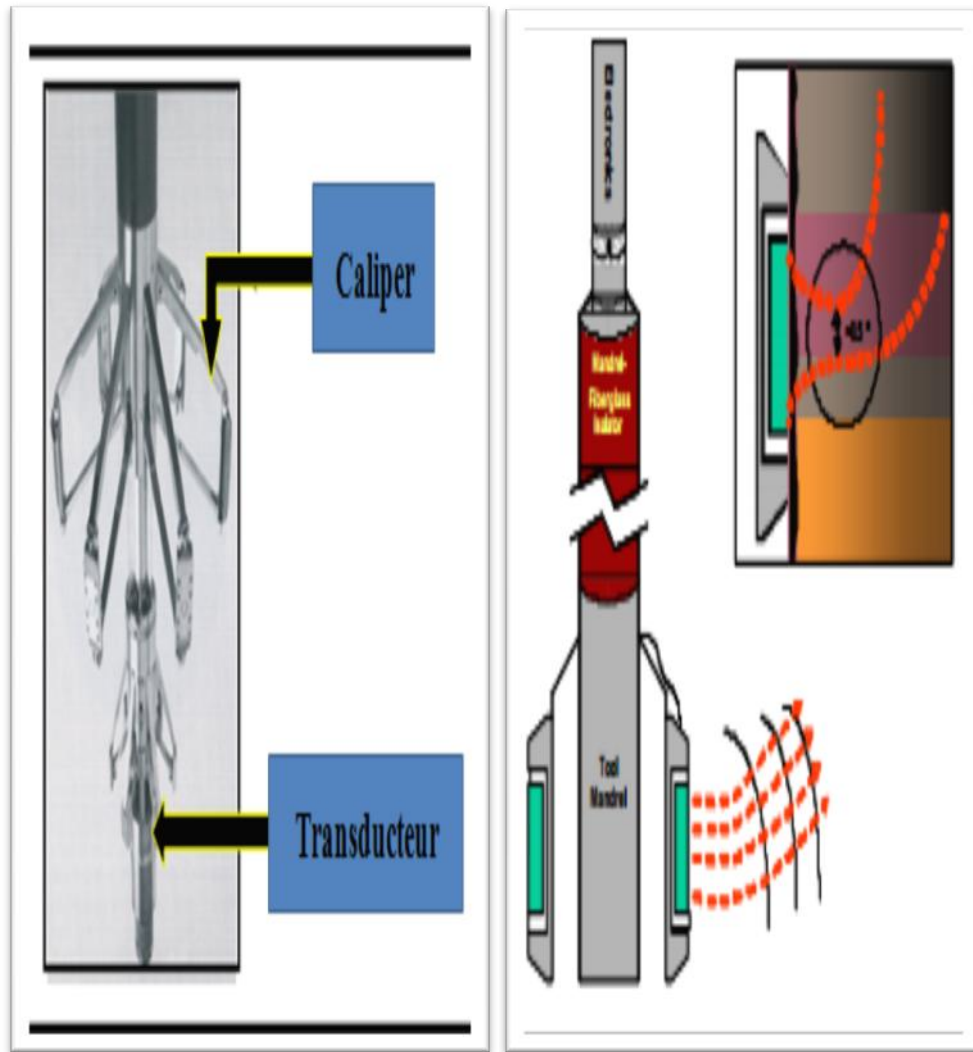


Fig. II.24: L’outil CBIL.

Montaggioni P., (Applications of Borehole Imaging to Fracture Characterization).

1. Outil UBI “Ultrasonic Borehole Imaging”:

L’UBI de la compagnie Schlumberger présente les mêmes caractéristiques que celles de l’CBIL, avec une forme différente. L’UBI est caractérisé par un transducteur à grande résolution qui pourvoit des images acoustiques en trou ouvert (open hole) même en boue à huile. Les informations sur la stabilité et la fracturation du puits peuvent être dérivée l’outil. L’outil est muni d’un transducteur rotatif qui fait à la fois fonction de transmetteur et de récepteur. Le transducteur existe en plusieurs dimensions, celles sont sélectionnées en fonction du diamètre du trou poultrasonique dans le fluide de forage, réduisant ainsi l’atténuation de l’amplitude de l’onde dans les fluides lourds et maintenant un bon rapport signal Le transducteur rotatif envoie 156 pulses par rotation et f seconde) assurant ainsi une couverture de 100% de la paroi du trou.

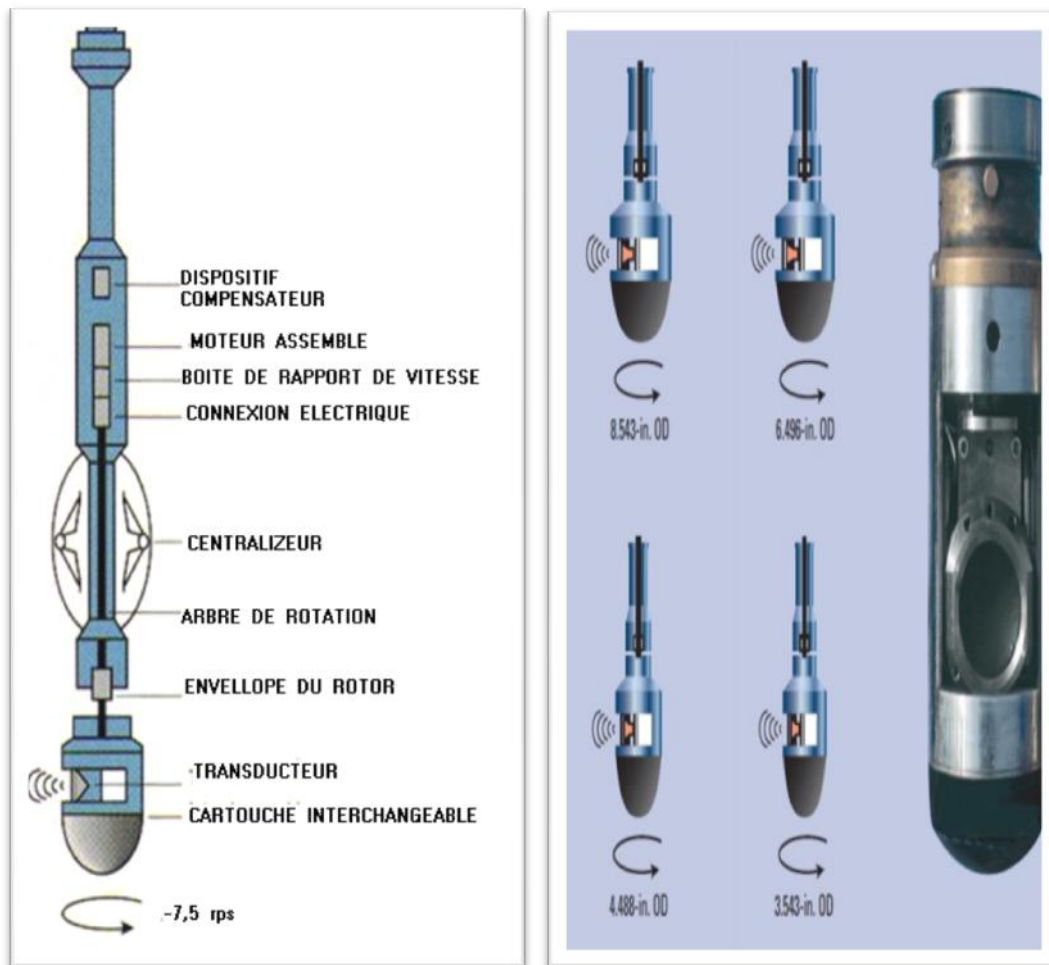


Fig. II.25: Outil UBI “Ultrasonic Borehole Imaging”. (Document Schlumberger).

Les outils de l’imagerie électrique :

Dans l’imagerie électrique de micro-résistivité, la stratification, le clivage, les fractures et les failles apparaissent comme des anomalies conductrices ou résistive avec une forme sinusoïdale. Les plans de stratification peuvent être facilement détectés par les contrastes de résistivité. Dans les roches du Paléozoïque fortement consolidés, peu poreux, l’imagerie de résistivité affiche les variations de minéralogie en particulier de la teneur en argile.

Alors que les plans de stratification sont délimitées comme des zones de changements de résistivité perceptibles, les plans de clivage se produisent aussi sombre, tels des lignes transversales régulières et espacées. Les fractures naturelles sont aussi visualisées, grâce à l’existence d’un contraste de résistivité entre la rupture et la formation où la roche change de structure au niveau du plan de la fracture.

❖ Principe de l'outil :

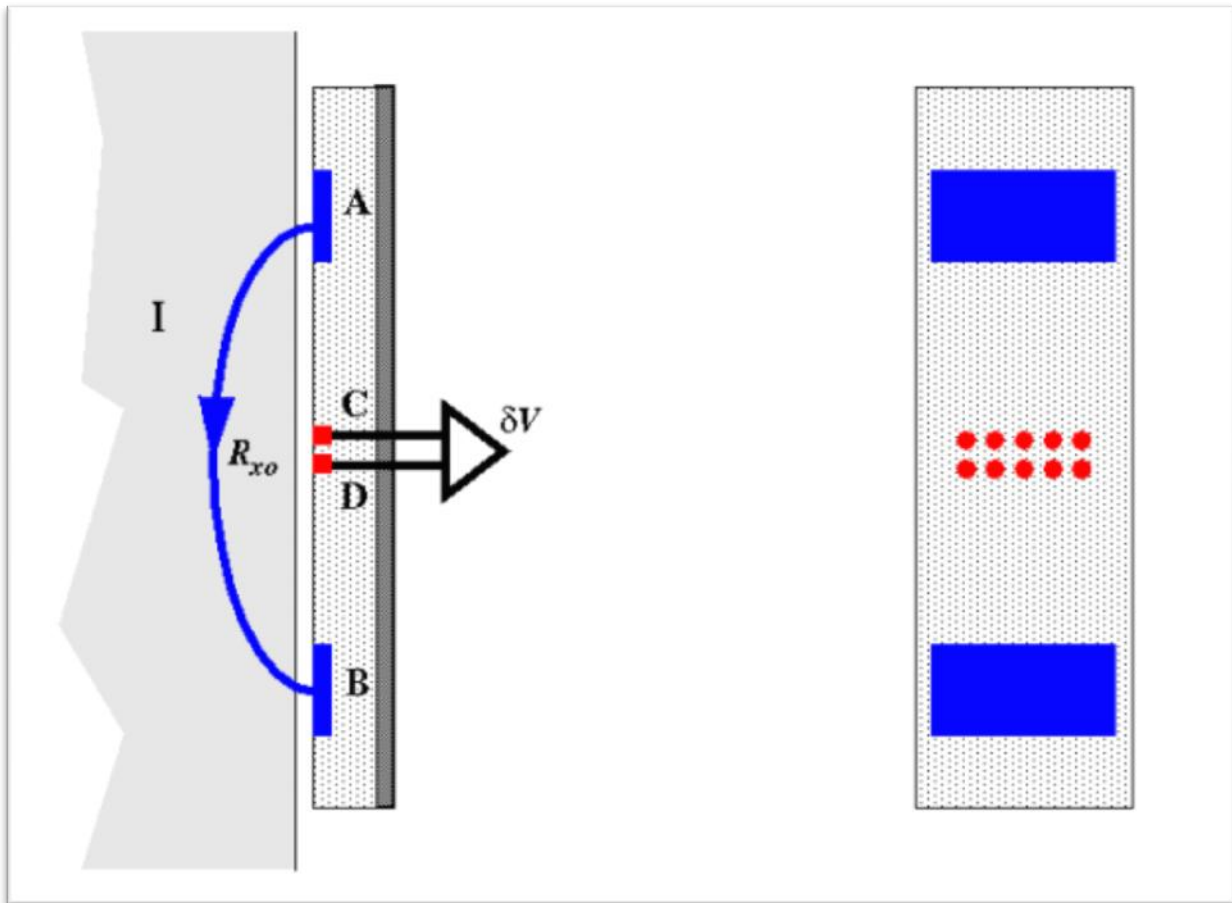


Fig. II.26 : Principe de fonctionnement de l'outil électrique (Document Schlumberger).

➤ **Les outils d'imagerie de micro-résistivité pour une boue à base d'huile:**

1. L'outil Earth Imager :

Lofts et al (en 2002) ont introduit un nouveau dispositif (Earth Imager) qui permet à l'imagerie de micro-résistivité d'enregistrer les détails de la formation en haute résolution ce qui, auparavant, n'était pas possible dans les boues non conductrice. La mise au point et la mesure de courants s'écoulent le long des gradients potentiels établis entre la partie inférieure du corps de l'instrument et le "zéro de potentiel". Ces courants se déplacent et répondent à la résistivité de la formation dans la partie Conductrice au-delà du trou.

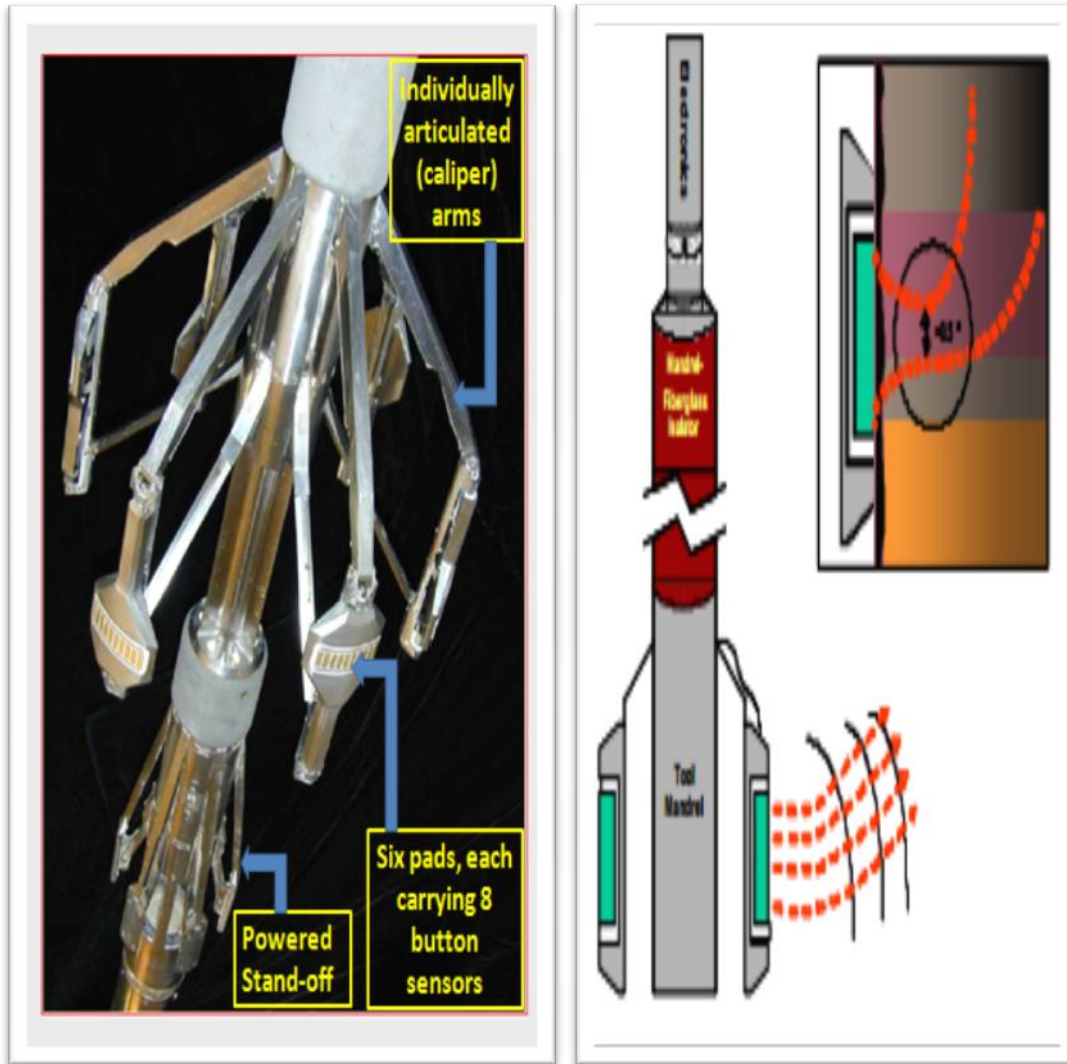


Fig. II.27 :L'outil Earth Imager.

Philippe Montaggioni (Applications of Borehole Imaging to Fracture Characterization).

1. L'outil OBMI (OIL-BASE MICRO IMAGER):

OBMI est la nouvelle génération des outils d'imagerie électrique de la compagnie internationale Schlumberger, fournit des images de micro-résistivité de la formation au voisinage immédiat de la paroi du puits pour une boue non conductrice. Cet outil donne des images de micro-résistivité assurant une sensibilité aux changements sédimentaires et une résolution verticale de 0.2 pouces pour des analyses très fines, ainsi que d'assurer une large couverture de la paroi du puits à plus de 80% dans un trou de diamètre de 8 ½ pouces, il est constitué de quatre bras ou chacun portant un patin qui transmet un courant dans la formation à travers des boutons électrodes.

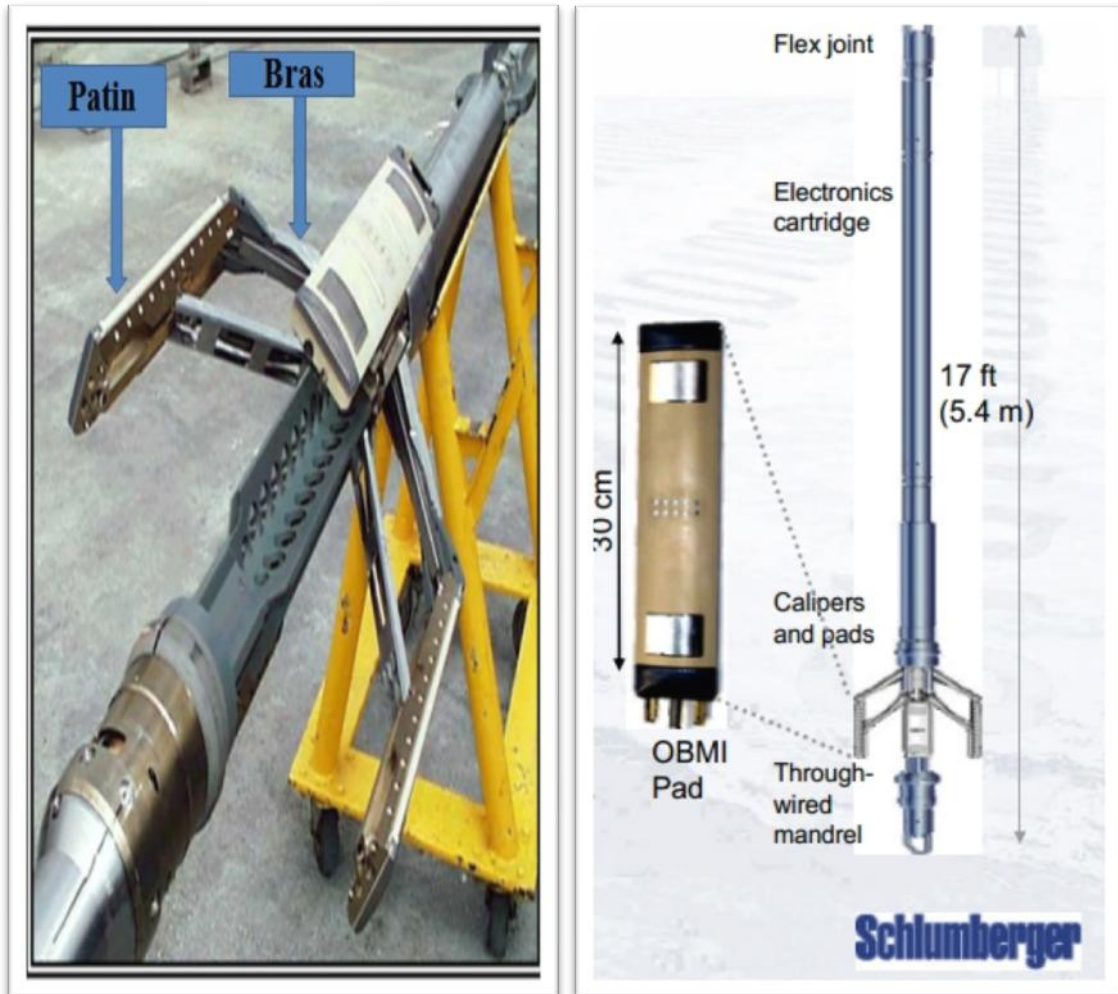


Fig. II.28 : L'outil OBM (OIL-BASE MICRO IMAGER). (Document Schlumberger)

➤ Les outils d'imagerie de micro-résistivité à base d'eau :

1. L'outil STAR Imager :

Le service Baker Hughes STAR Imager offre des images de résistivité de formation à haute résolution dans les systèmes de boue conductrice (à base d'eau). Les datas de STAR Imager permettent de reconnaître les événements structuraux et sédimentaires et représente une base solide pour la définition de la géologie détaillée du réservoir. La haute résolution de l'imagerie de résistivité, améliore l'évaluation de réservoir dans des environnements géologiques allant de roches clastiques, finement stratifiées aux carbonates très complexes. Ces images peuvent être utilisées pour la différenciation des types de fractures, la détermination du champ de contraintes à la paroi du puits, les faciès sédimentaires et l'interprétation du milieu de dépôt.



Fig. II.29 : L'outil STAR Imager. BakerAtlas Hughes (2010).

2. L'outil FMI (Formation Micro Imager) :

Le fullbore Formation MicroImager est l'outil Schlumberger le plus récent dans le domaine de l'imagerie électrique. Il assure l'acquisition d'images dans les boues conductrices.

Les images de microrésistivité assurent:

- une sensibilité aux changements sédimentaires très petits aussi bien qu'aux événements tectoniques plus importants,
- une résolution verticale de 0.2 in pour des analyses très fines,
- une très large couverture de la paroi du puits, 80% dans un trou de 8 in de diamètre.

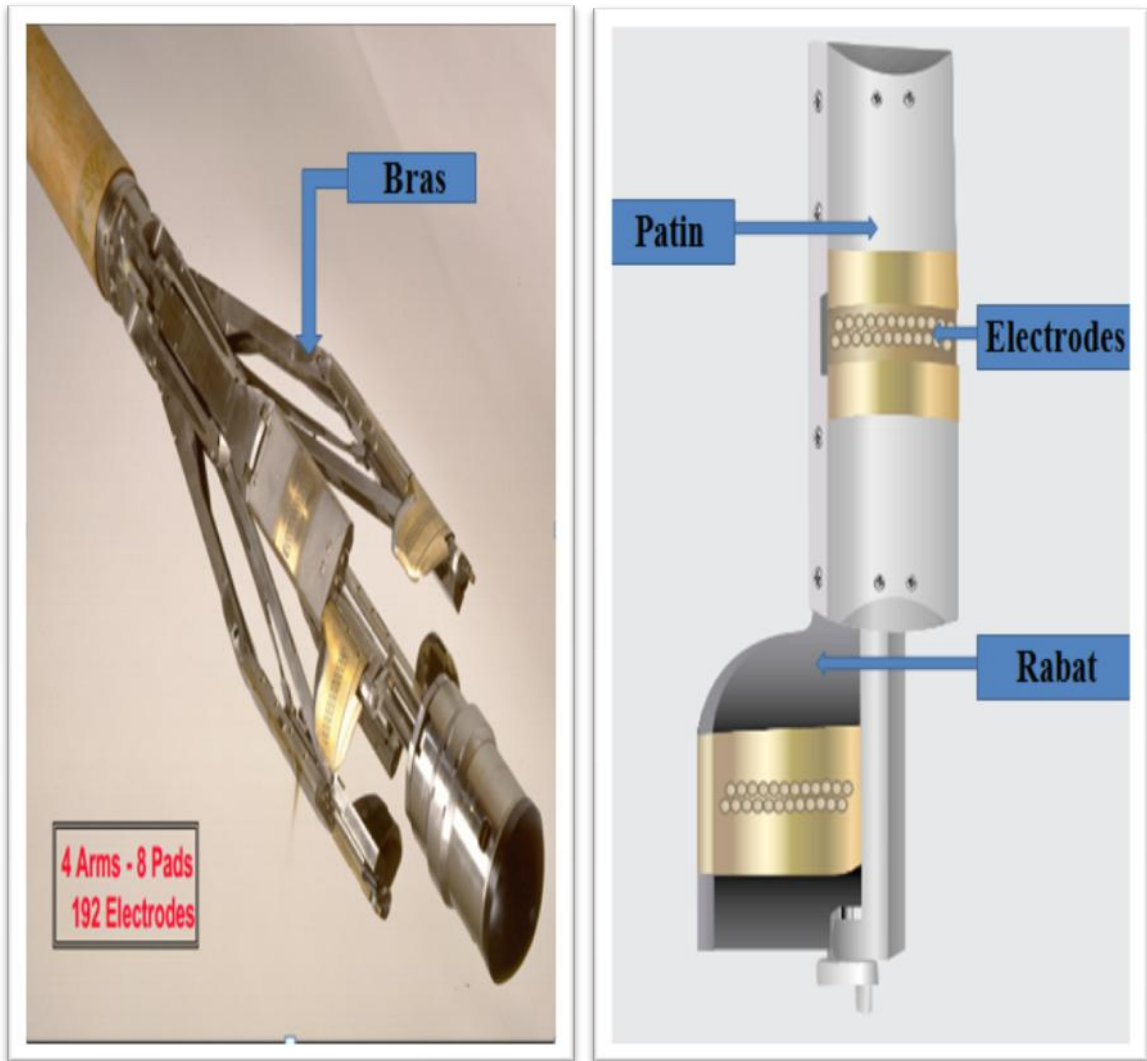


Fig. II.30 : L'outil FMI (Formation Micro Imager). (Document Schlumberger).

Chapitre III

Résultats et interprétation

1. Gravimétrie:

Introduction :

A travers cette études plusieurs techniques en gravimétrie sur l'ensemble 289 de donnés a partir du le béreau gravimétrique international (BGI).

ont était exploités tell que: Les gradients, les dérives, le signal analytique et la déconvolution d'Euler l'ensemble des informations extraites a partir de ces techniques va permettre de tracer une carte structural améliorer et synthétiques de la région de Hassi Massoud ,en combinaison avec l'imagerie de fond par divers outils les informations géologiques vont permettre d'affiner le choix de plusieurs paramètres indispensable a l'application de quelques techniques de traitement avances en gravimétrie .

❖ Séparation des anomalies:

La carte des anomalies global obtenu a partir de 289 point de mesure gravimétrique suivant un maillage de 3km^2 entre chaque point en général les mesures reflètes une distribution homogène des densités au sein de la zone d'étude ,la partie Nord et centrale intercalé entre $Y1=3510000$ et $Y2=3540000$ représente des anomalies extrêmement négatifs vue le déficit de masse causé par la faible densité des formations ,dans la partie sud de la région d'étude les anomalies gravimétriques sont négatifs avec des valeurs comprise entre -49.8 mgal et -40.5 mgal,l'interprétation de ce type de carte n'a pas d'importance significatif et la séparation des anomalies par la technique des polynômes ou par l'analyse du spectre de puissance permettra de mieux exploité ces donnes.

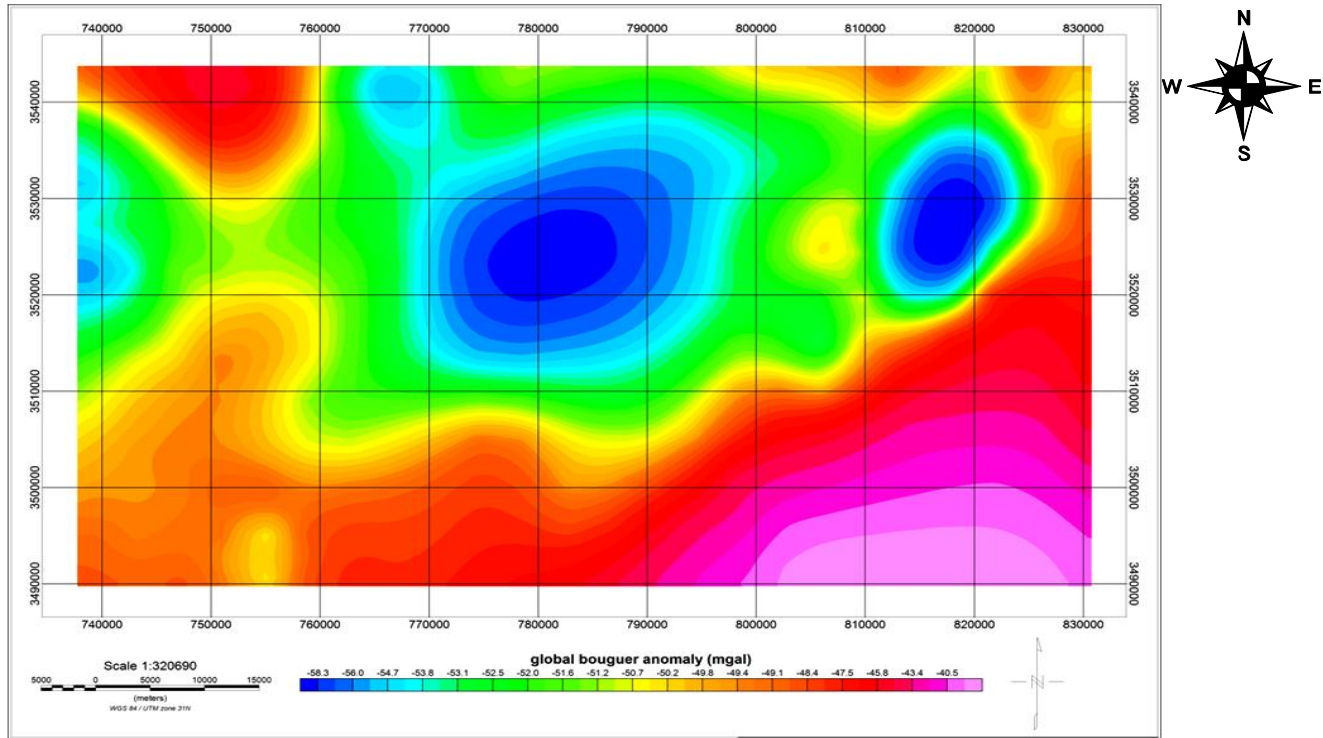


Fig. III.1 : Carte des anomalies Globale.

1.1. Carte des anomalies régionales:

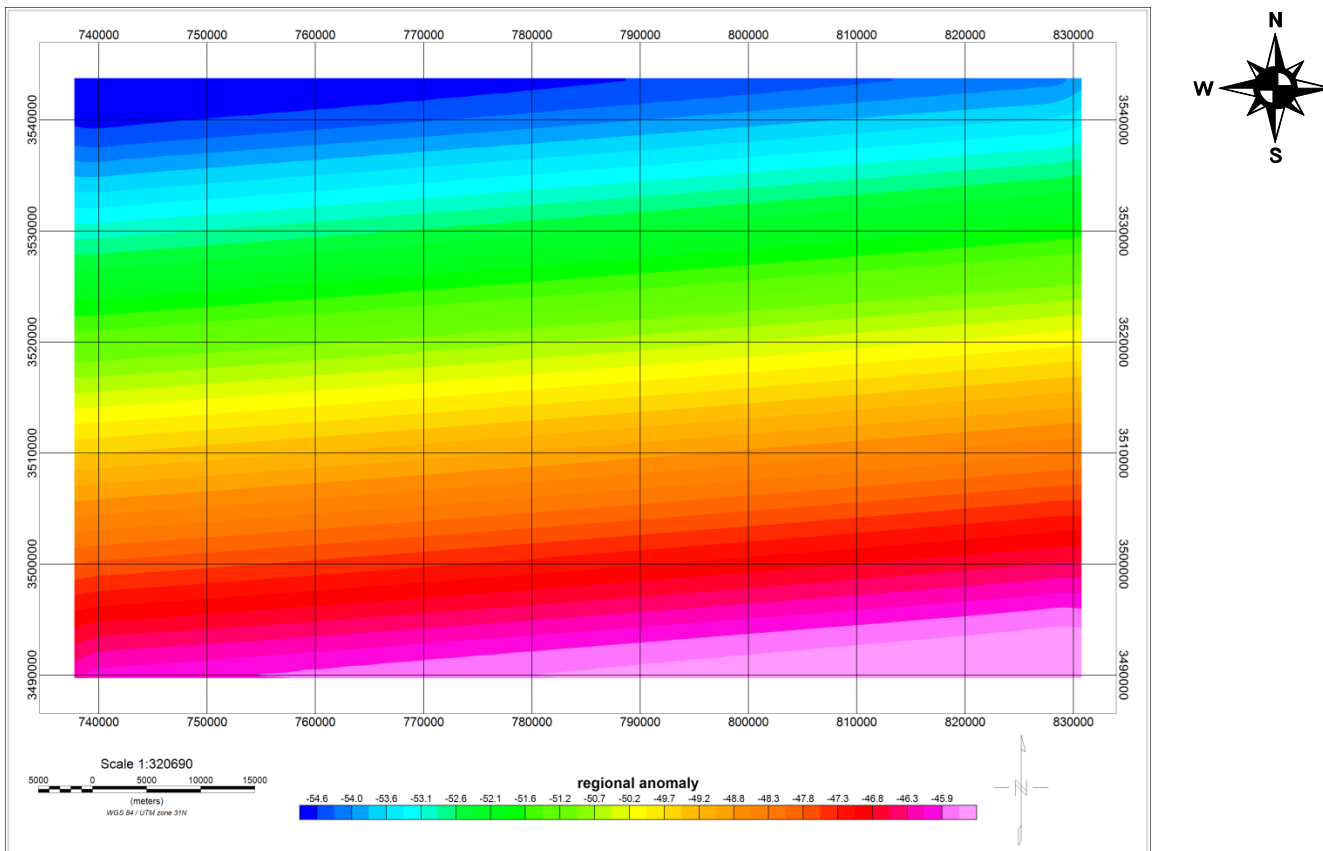


Fig. III.2: Carte des anomalie régionales.

1.2. Carte des anomalies résiduelles:

Au centre de la figure et entre les coordonnées $x_1=770000$ et $x_2=800000$ apparaît une anomalie négatifs en allant vers le centre elle devient de plus en plus négatifs jusqu'à atteindre la valeur de -7.1 mgal due a des fortes épaisseurs de sédiments en forte relation avec les structures en Horsts et Graben qui caractérise la région.

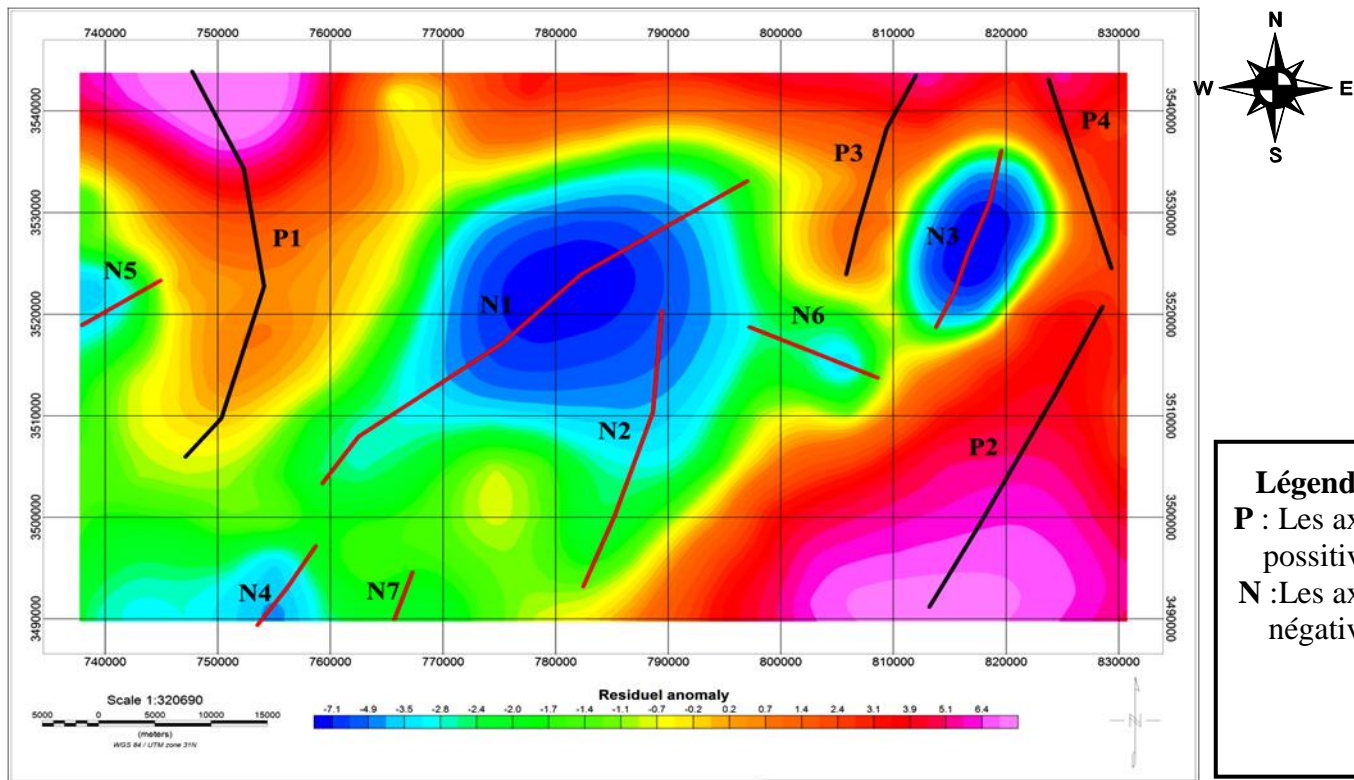


Fig. III.3 : Carte des anomalie residuelles.

Entre $x_1=810000$ et $x_2=820000$ une deuxième anomalie négatif apparaît ayant les mêmes caractéristiques que la précédentes mais de dimension moins importantes seules un profil gravimétriques et la modélisation en 2D permet d'avoir une idées plus précise sur la géométrie et la densité de ces corps .deux anomalies extrêmement positifs intercale l'anomalie négatif centrale l'une situés a l'extrême NW et l'autre a l'extrême SE de la zone d'étude l'ordre de grandeur de ces dernières et de plus de 6 mgal.

L'origine de ces structures est attribuées a la présence de matériaux géologique de nature différente ce qui implique directement la valeurs de ce densité

Dans la partie centrale de la carte l'anomalie négatif peut être attribuée a un fasse d'affrontement produit par des failles orientée NE-SW.

La structure Horst et Graben connus dans Hassi Messaoud – Djamaa confirme ces interprétations s’intercale centre dans anomalie expriment positifs traduisant une structure de Horst de fait a d’autre de l’anomalie négatifs situé au centre de la carte ces général plusieurs axe positifs et négatif sont mention cet qui représente d’une part l’effet de la tectonique et d’autre part la présence de formation dense de nature éruptive tell le andésite altérée qui détecté durant le forage dans la partie centrale du bassin de Hassi Messaoud.

1.3. Gradient horizontal:

La carte de gradient horizontal est représenté par de maxima orientés généralement de centre la N-S et NW-SE. Ces failles affectant le socle précambrien générés des structures en graben dans la partie Ouest du bassin.

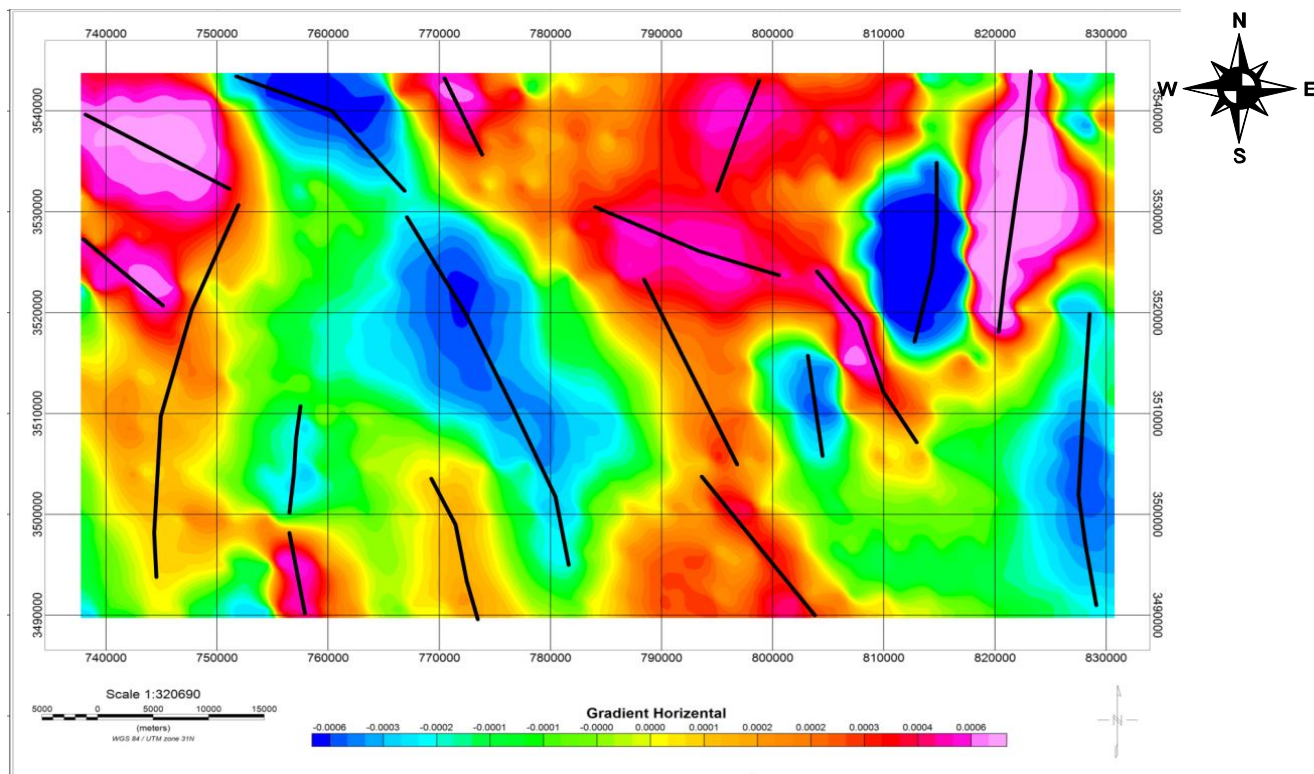


Fig. III.4 : Carte de gradient horizontal.

Ces orientations sont en concordance avec les données géologiques et la cartographie sismique du bassin de Hassi Messaoud (**Fig. III.5**) tout de même interprétations de ces cartes est sommaire, la combinaison des cartes de dérivés selon x,y et des gradient avec le signal analytique et le gradient horizontal permet de générer un modèle de carte structurale plus valable et riche en informations.

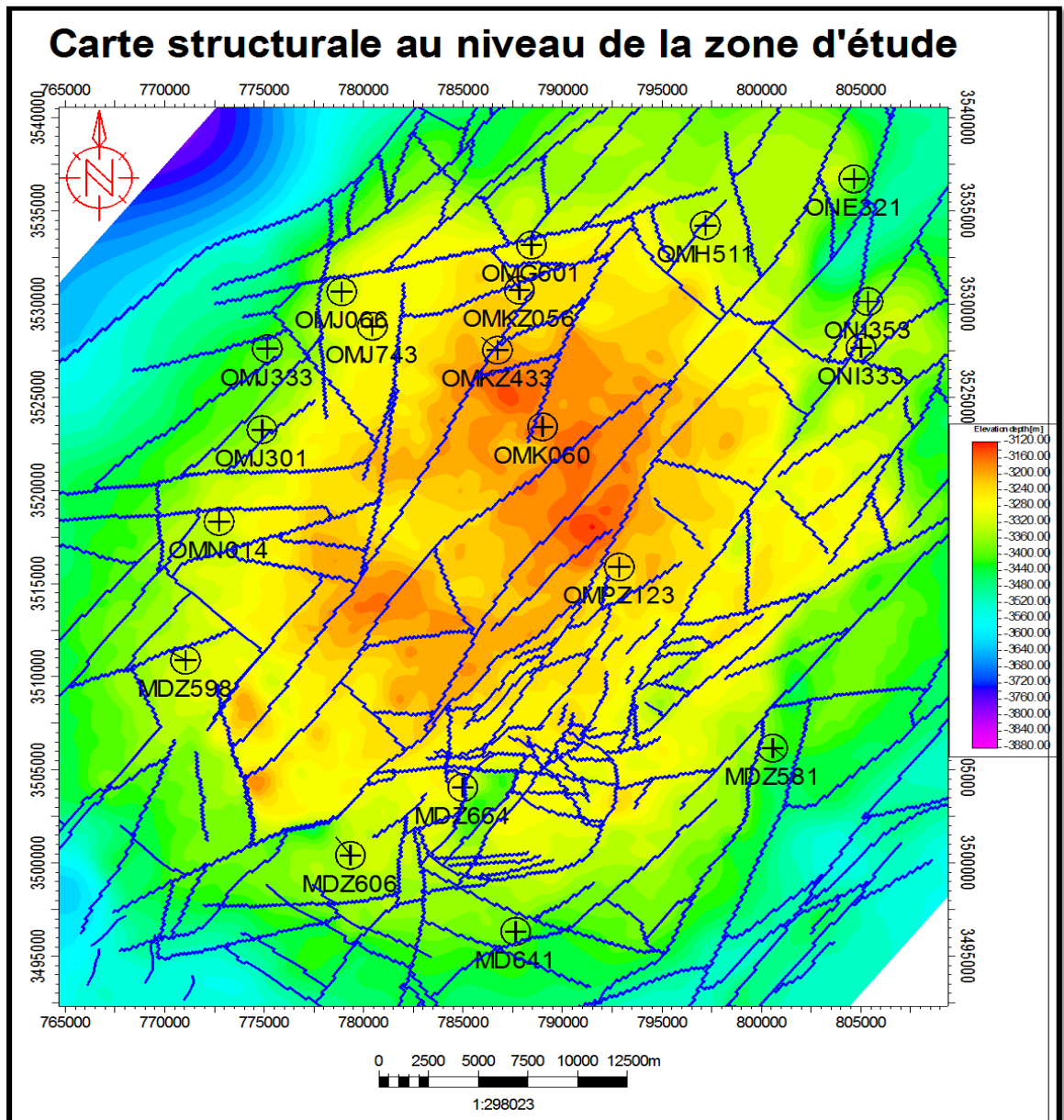


Fig. III.5 : Carte structurale de la zone d'étude.

1.4. Signal analytique :

❖ Carte de dérivé selon x :

Les dérivés selon x,y permette de déterminer les structures géologiques onts respectivement selon x,y.

La premiere carte (Fig.A) représente dérivée selon x de la région de Hassi Messaoud plusieurs structures sont identifiable dans le centre de la carte la majorité des anomalie sont orientés verts le NE-SW par centre dans la E et W de la carte les anomalies sont orietés vers le N-S.

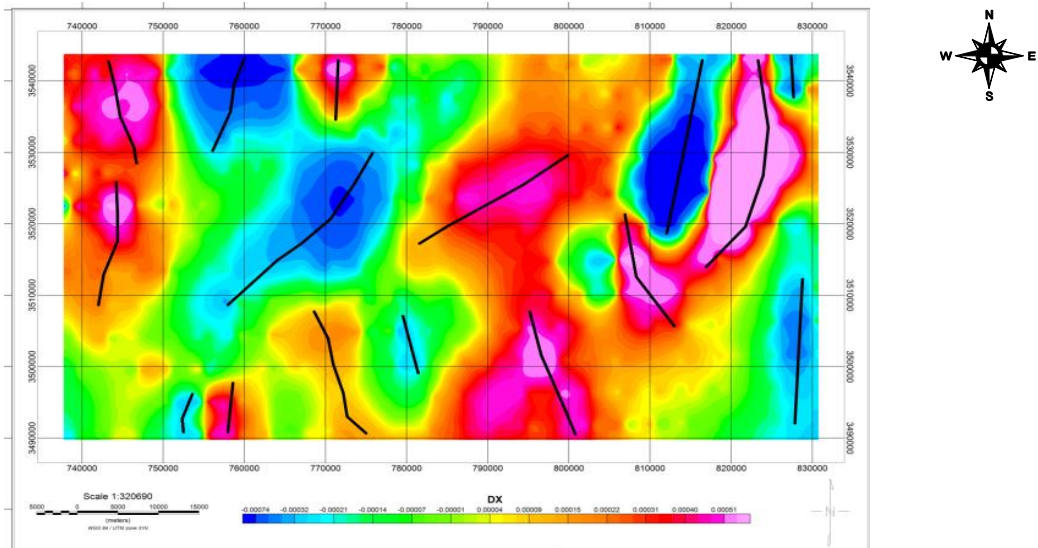


Fig. A : Carte de dérivé selon x.

❖ Carte de dérivé selon y:

La combinaison des cartes de dérivée selon x,y permet de mieux interpréter les cartes obtenues.

La carte de dérivée selon y (**Fig.B**) permet de déterminer l'ensemble des structures orientées selon la direction x. Généralement les mêmes orientations sont identifiées sur toutes les cartes. La majorité des structures sont orientées vers le NE-SW.

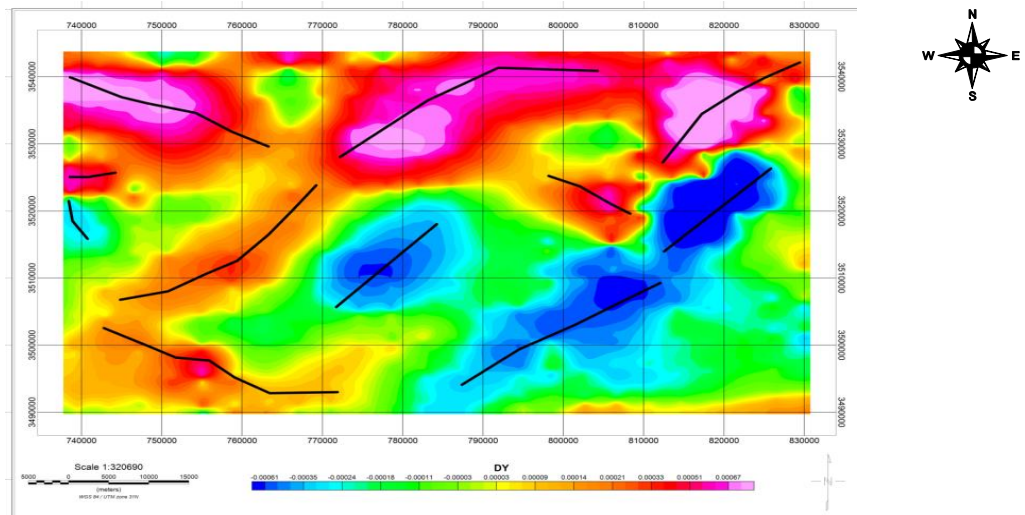


Fig. B : Carte de dérivé selon y.

❖ Carte de dérivé selon z:

La carte des dérivés selon z (**Fig.C**) représente en général les mêmes structures identifiées sur la carte des anomalies résiduelles. La seule différence est les valeurs des anomalies.

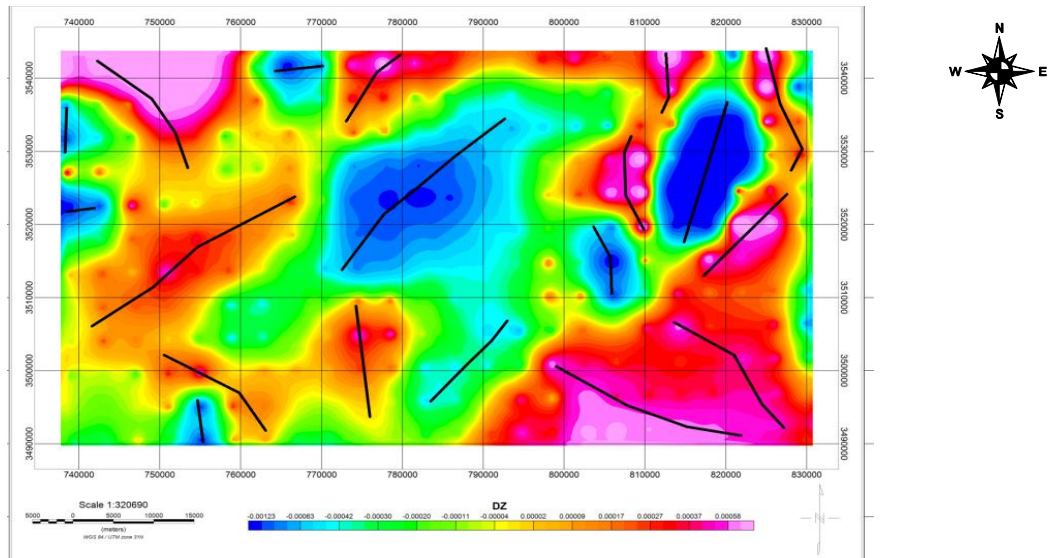


Fig. C : Carte dérivé selon z.

Fig. III.6: crarte signal analytique selon les dérivés x ,y ,z.

1.5. Déconvolution d'Euler:

La déconvolution d'Euler est un technique basée sur la résolution de l'équation d'Euler plusieurs paramètres sont pris en considération pour optimisation de solution optimale.

Entre la gravimétrie et magnétisme la signification des valeurs de l'indice structurales (IS, N,) ne sont pas identique .dans ce travaille l'objectif principale est de crée un carte structurale améliorée a partir de la combinaison de Cinque (5) techniques (dérivée x, dérivée y, gradient horizontal, signal analytique, et déconvolution d'Euler).

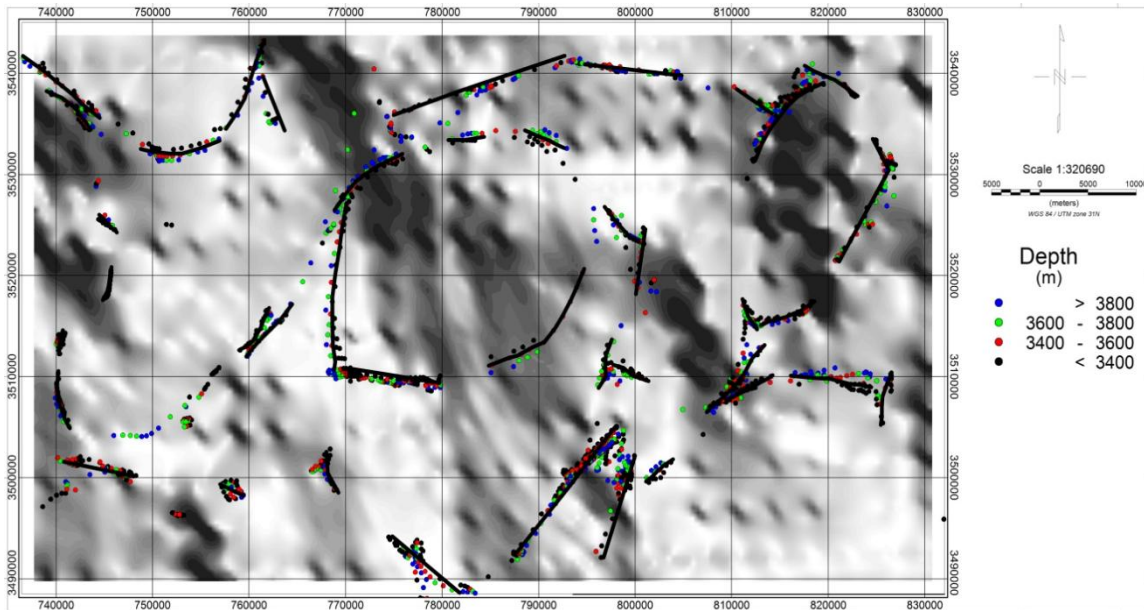


Fig. III.7 (a) : Carte Déconvolution Euler des paramètres $IS = 0$, $W = 10*10\text{km}$, $Z = 15\%$.

La déconvolution Euler est technique délicate car le choix juste des paramètre de déconvolution et l'éléments clés pour l'acquisitions d'informations correct ,dans ce travail nous avons choisir $IS=0$ cela ce base sur correction entre divers cartes ($IS=0, IS=0.25, IS=0.5$) et la carte structurale du champ Hassi Messaoud obtenu a partir des données géologiques dans d'autre travaux les auteurs (**Qing Chen et al,2014**) ce base sur choix d'une accident connus et d'affectée la modélisation en ce basant sur les choix de plusieurs paramètres (plusieurs dimension de la fenêtre ,plusieurs valeurs des indices structurales selon l'objectif et des valeurs variables de la tolérance Z).

N'autre choix réside dans $IS=0$, $W=10*10\text{ km}$, $Z=15\%$, les solutions d'équation Euler permet d'avoirs plusieurs résultats pour les besoins de ce thème les solutions sont limité entre

3000-4000m de profondeur cela est en adéquation avec les données de l'imagerie de fond réalisé dans les réservoirs cambro-ordovicien (R1, R2 et R3) les résultats obtenus indique la présence de failles orienté généralement entre NE-SW et NW-SE.

La partie central de la carte (**fig. III.8**) est crée par un réseau de faille bidirectionnel héritée des accidents tectonique affectant le socle précambrien donnant néssance a des structure géologique Horst et graben.

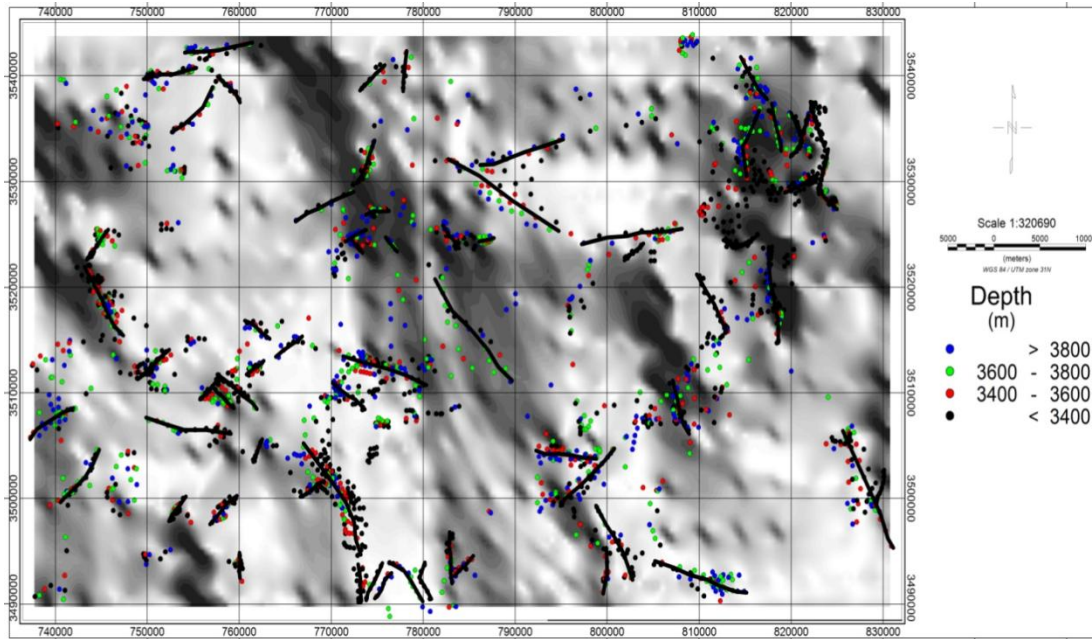


Fig. III.7 (b) : Carte Déconvolution Euler des paramètres $IS=0.25, W=10*10km, Z=15\%$.

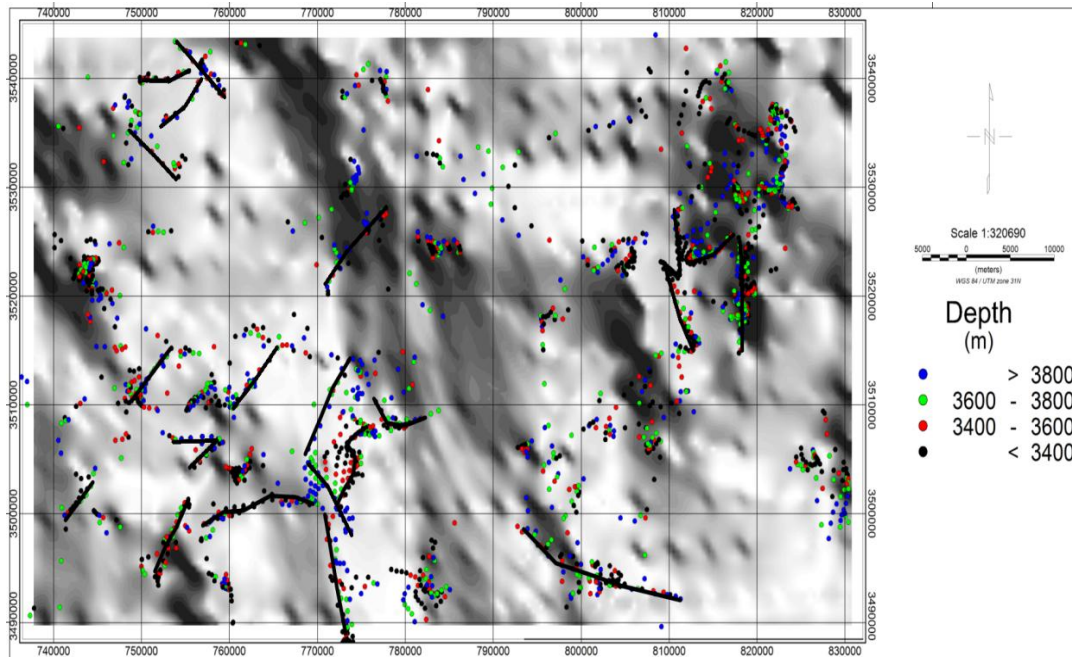


Fig. III.7 (c) : Carte Déconvolution Euler des paramètres $IS=0.5, W=10*10km, Z=15\%$.

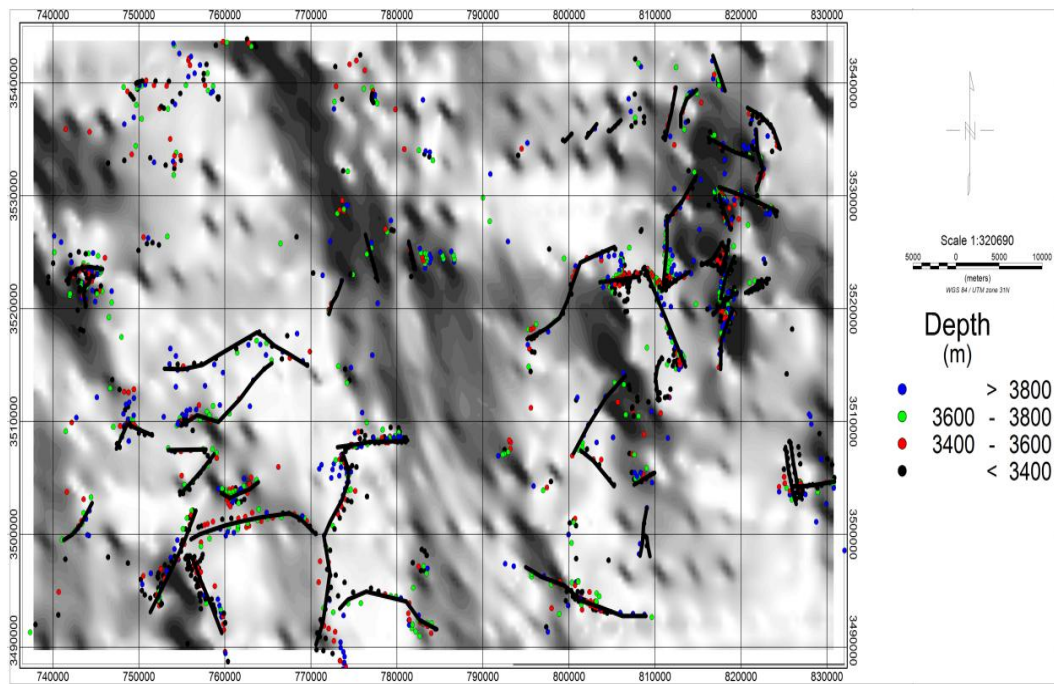


Fig. III.7 (d) : Carte Déconvolution Euler des paramètres $IS=0.75, W=10*10km, Z=15\%$.

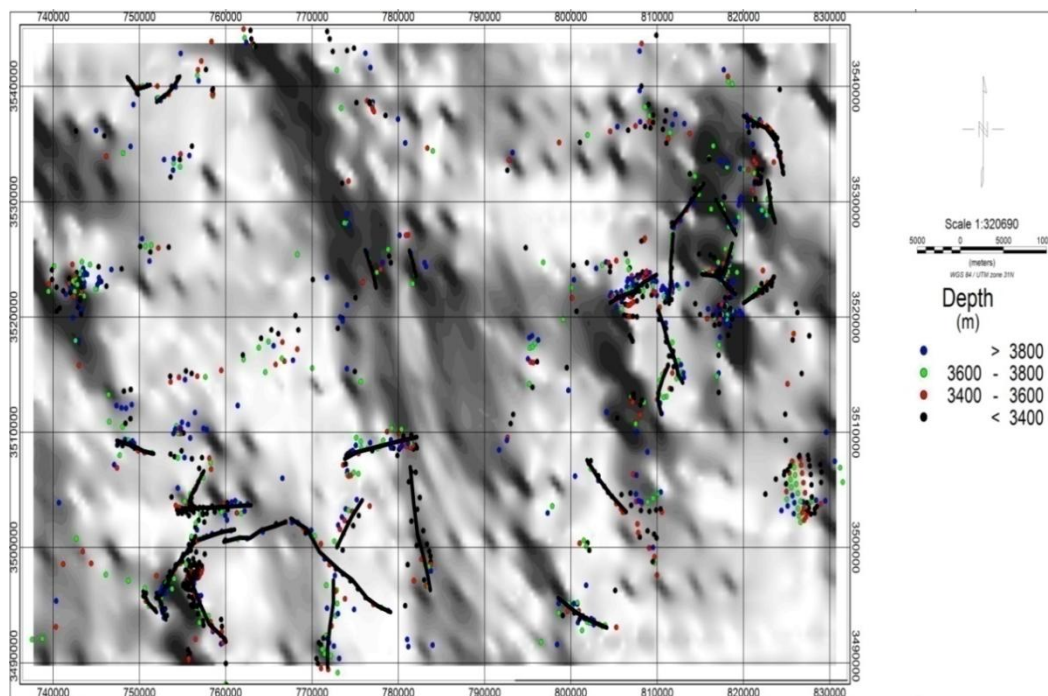


Fig. III.7 (e) : Carte Déconvolution Euler des paramètres $IS = 1, W = 10*10km, Z = 15\%$.

1.6. Cartographie structurale à partir de la gravimétrie :

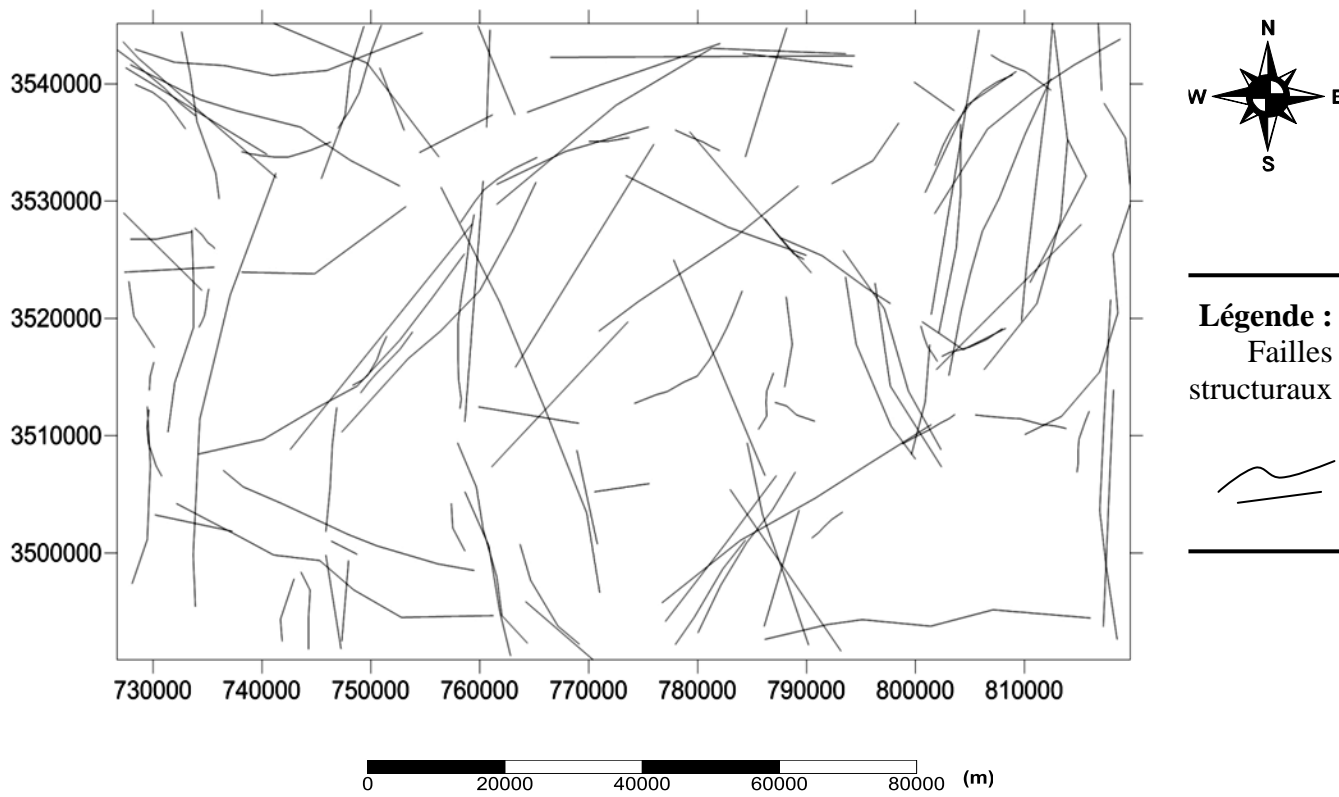


Fig. III.8 : Carte structurale a partir les données gravimétriques.

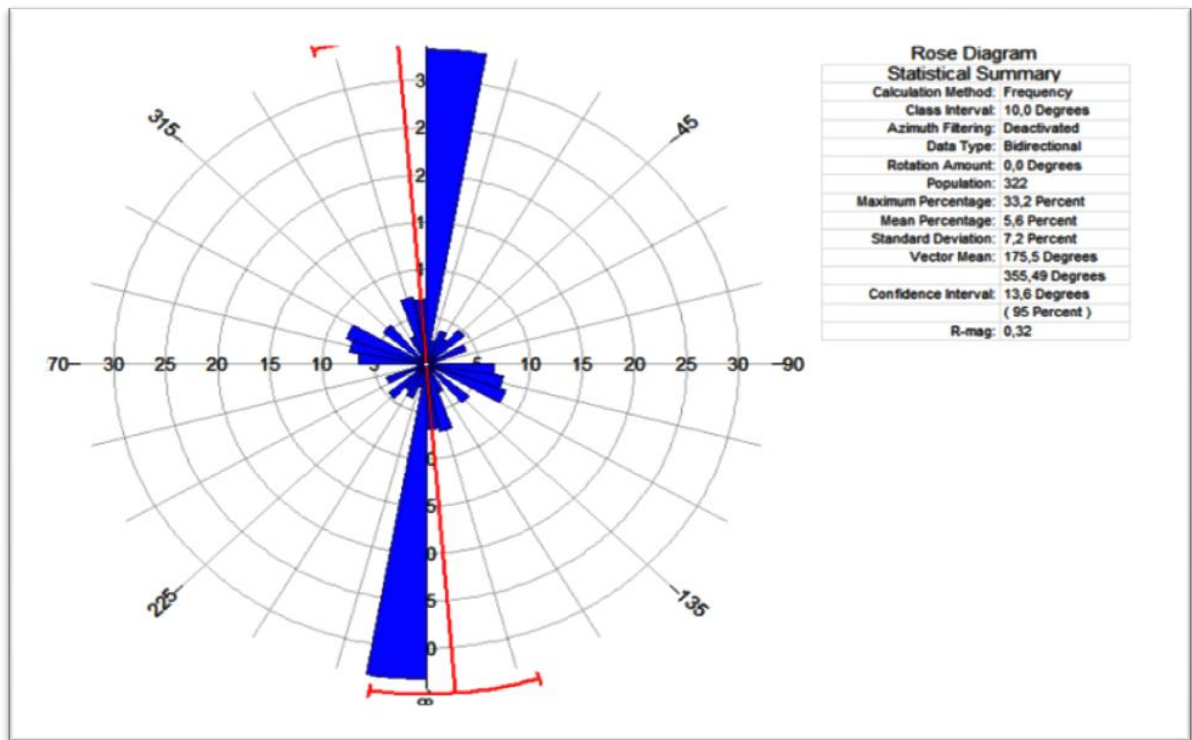


Fig. III.9 : Résultats des données gravimétriques.

L'interprétation de la gravimétrie réalisée sur l'ensemble 289 de données a partir du bureau gravimétrique international (BGI).

A permis de tracer la rosace directionnelle celle-ci obtenue après la combinaison des orientations des fractures ouvertes et fermées sur un ensemble de 289 de données gravimétriques, les résultats gravimétriques, en résumé les résultats sont exposés comme suit :

- ❖ Généralement plus de 30% des fractures naturelles effectives sont orientées à la direction N10°E et S190°W.
- ❖ Et une direction secondaire qui représente environ 5% des fractures naturelles sont orientées vers la direction N300°W et S120°E.

2. Imagerie de fond :

Introduction :

Notre étude est basée sur l'imagerie acoustique et électrique des deux outils Earth Imager et CBIL (Circumferential Borehole Imaging Log) de la compagnie Baker Hughes. Dans la plus part des puits de la zone d'étude, on a combiné l'imagerie acoustique et électrique pour faire l'interprétation, sauf à l'exception de quelques puits où ils ont utilisé soit électrique ou acoustique. L'imagerie de fond va permettre de localiser et de cartographier l'ensemble des fractures ouvertes et fermées au sein de 19 puits pétroliers (à partir Sonatrach) forés de part et d'autre de la ville de Hassi Massoud, (**Fig. III.10**).

L'imagerie sismique est pour l'objectif l'interprétation de la fracturation, des failles et des Breakouts, et l'imagerie électrique pour l'interprétation des pendages des couches, la stratification ainsi pour savoir si les fractures sont résistives ou conductrices.

En conclusion il est préférable d'utiliser les deux imageries sismiques et électriques (la combinaison des deux imageries) pour avoir une bonne interprétation de la fracturation, les failles, les bedding, les pendages et les breakouts d'une manière quantitative et qualitative.

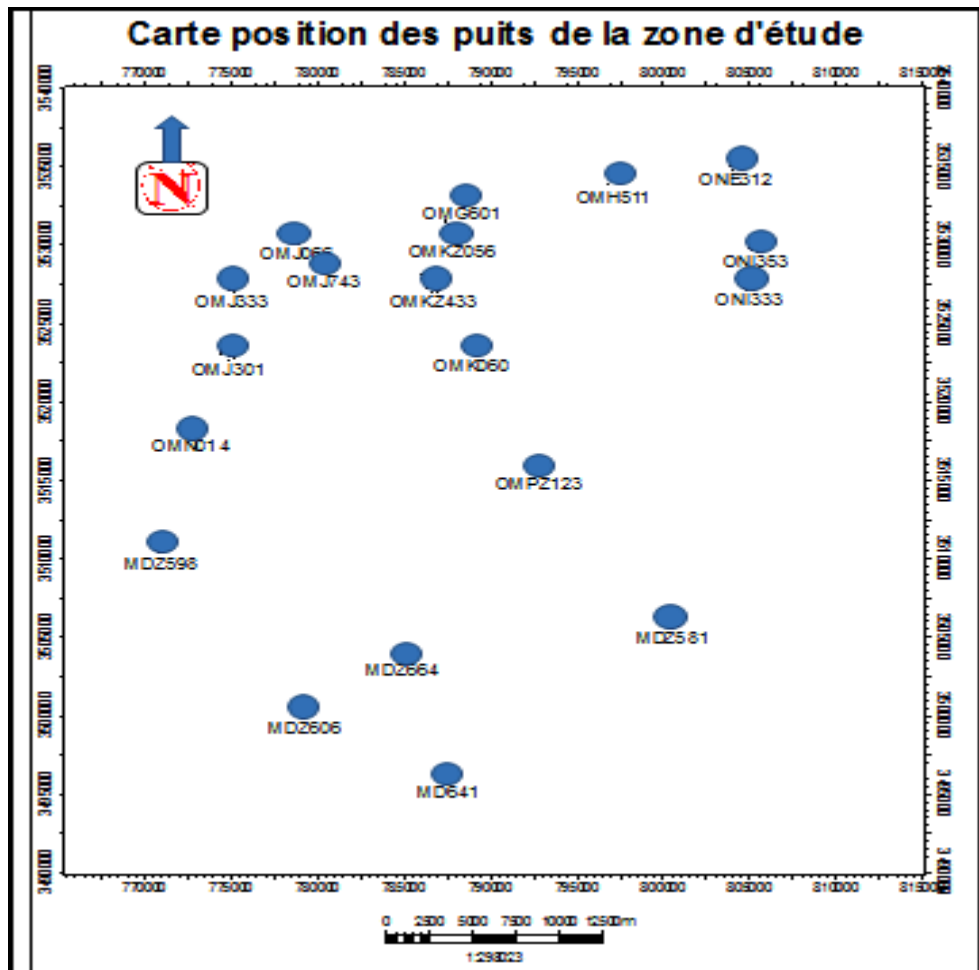


Fig. III.10 : Carte position des puits de la région d'étude.

Break out :

2.1. A. Le puits MD 641:

Le break out est facilement identifié dans le présent puits, il est continu et parfois en de petits intervalles discontinus. L'orientation de break out est de 045°(NE-SO), elle est constante le long de l'intervalle enregistré, cela indique une contrainte maximale horizontale (SH max) constante vers le NO-SE (135°).

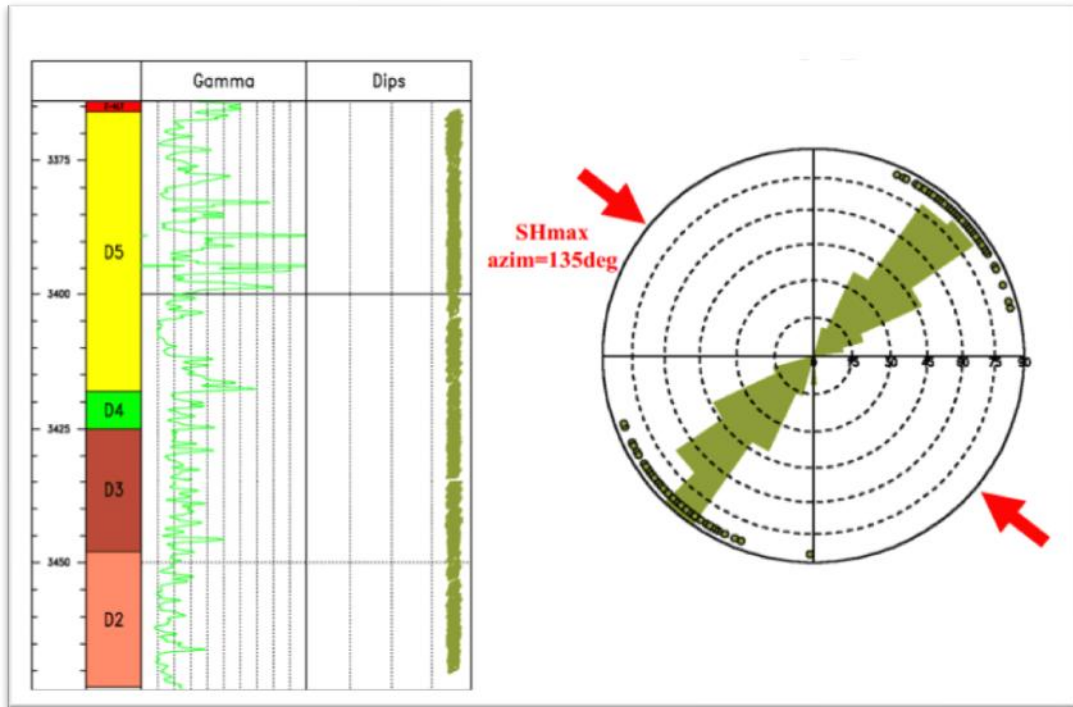


Fig. III.11: La rose de break out.

2.1. B. Le puits OMK 60:

Le breakout a été observé d’une façon continue dans l’intervalle étudié, il est présent même dans les intervalles sliteux. L’orientation de breakout est NE-SW indiquant une orientation de contrainte maximale horizontale habituelle de 121° d’azimut.

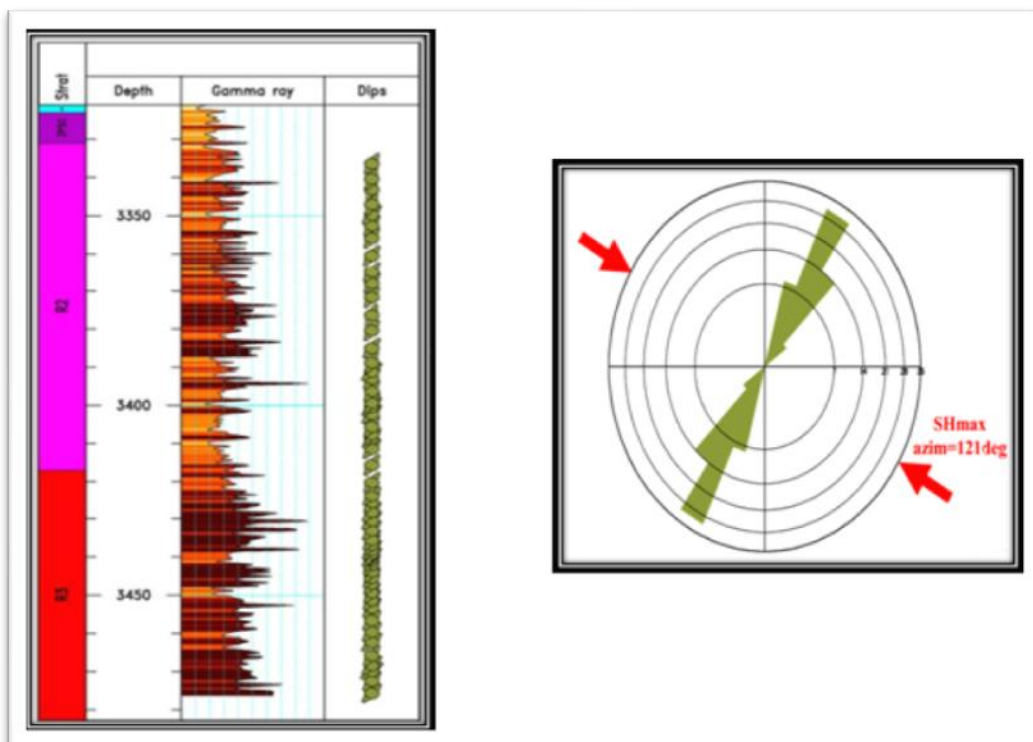


Fig. III.12: La rose de breakout.

2.1.c. Le puits OMJ 60:

Le breakout a été observé d’une façon continue dans l’intervalle étudié. Il est pratiquement absent dans le drain D1 mais bien développé dans le reste de l’intervalle. L’orientation breakout est NO-SE, avec une orientation de contrainte maximale horizontale habituelle de 114° d’azimut.

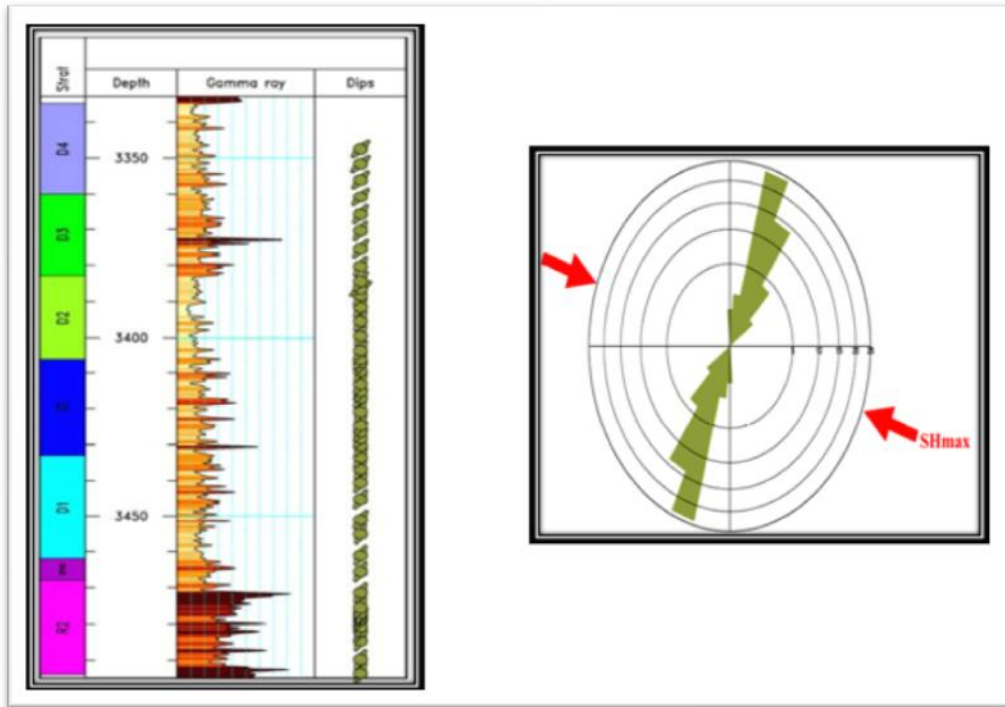


Fig. III.13: La rose de breakout.

2.1.d. Le puits OMH 511:

Plusieurs breakouts ont été observés dans les intervalles gréseux, avec une major orientation vers NNESSO (204°), en indiquant une contrainte maximale horizontale vers l’ONO-ESE (114°). Un changement d’orientation

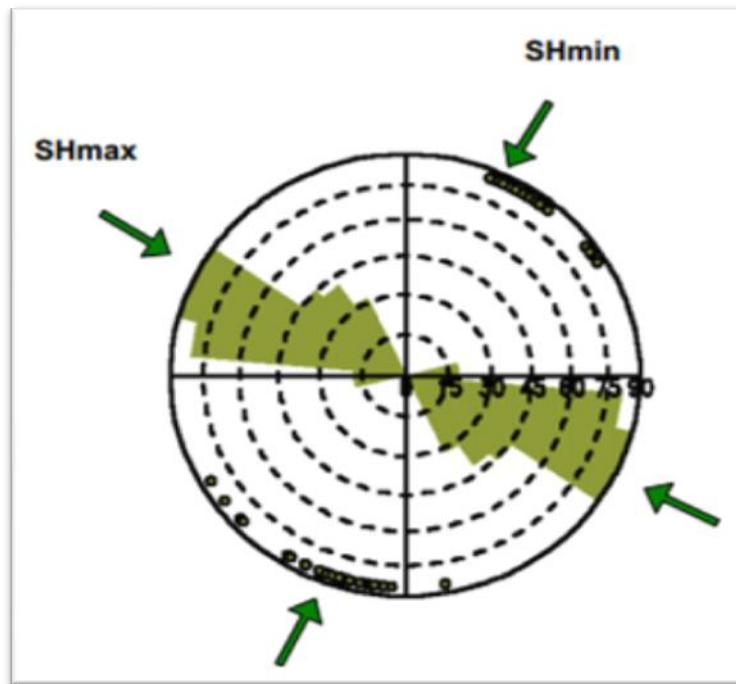


Fig. III.14: La rose de breakout.

2.1. Pendages des couches:

2.2. A. Le puits MD 641:

L'analyse de pendage structural est basée sur l'étude des structures sédimentaires à faible pendage, observées dans les grés et les formations silteuse. Dans le puits MD-641 les structures gréseuses sont fréquemment observées, et elle indique une seule zone structurale, avec un faible pendage (01°) et un azimut de 090° (E), cette orientation représente le pendage structural de ce puits.

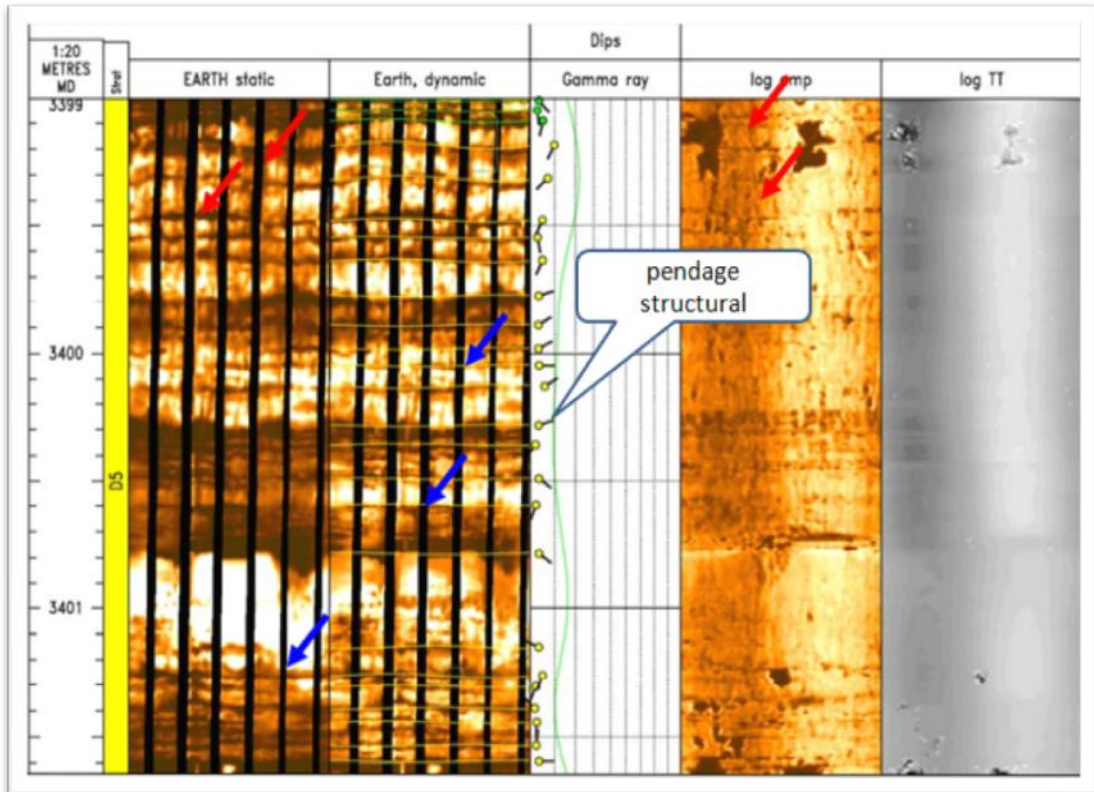


Fig. III.15 : Exemple structures sédimentaires à faible pendage (dans les grés et les formations silteuses).

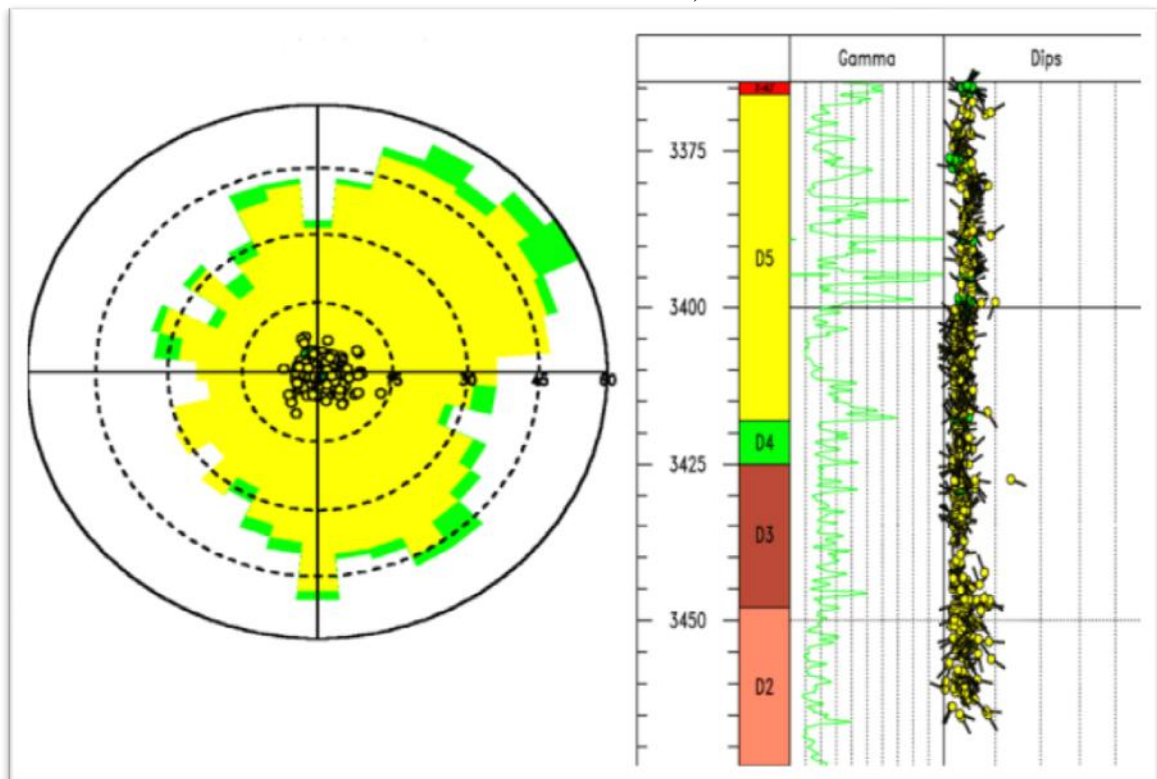


Fig. III.16: La rose des analyses de pendage des couches (les grés et les formations silteuse).

Les structures sédimentaires à pendage élevé (stratifications obliques) (10° – 25°) ont été observées au sein des unités D2 et D3. L'orientation de ces structures nous informe sur l'orientation du paléo-transport lors du dépôt. Pour le présent puits, l'orientation du paleo-transport est dispersée, elle fluctue entre le SE et le NE, avec une valeur moyenne d'azimut de 019° (NE), cette dernière présente le paleo-transport lors du dépôt de MD-641.

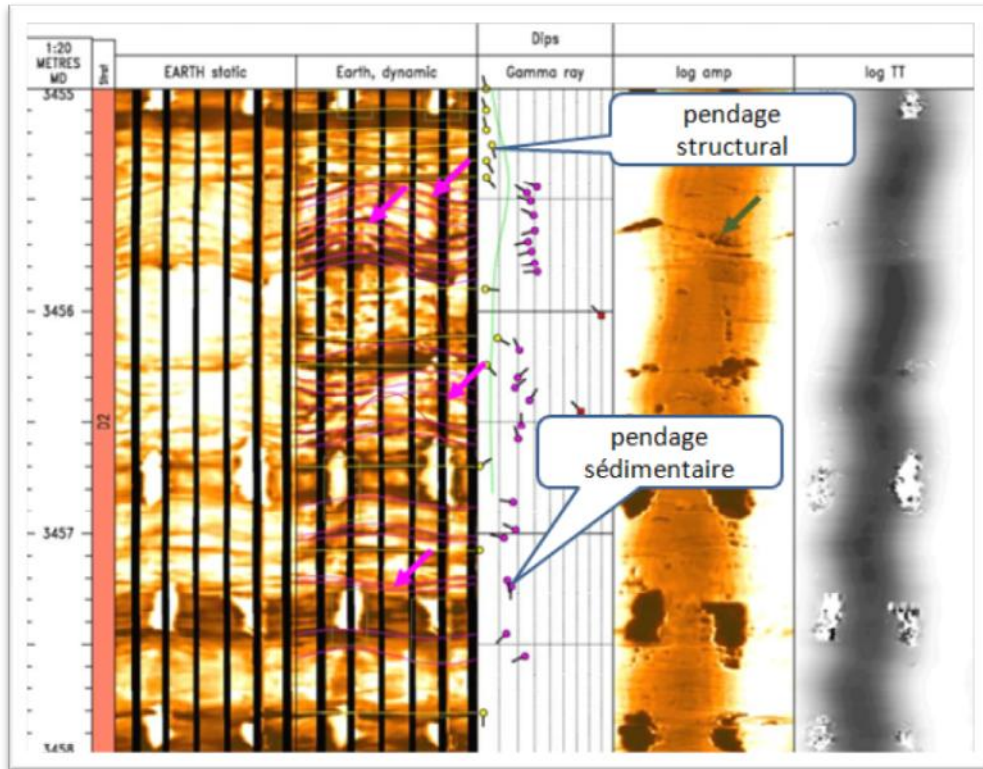


Fig. III. 17 : Exemple structures sédimentaires à pendage élevé (stratifications obliques)

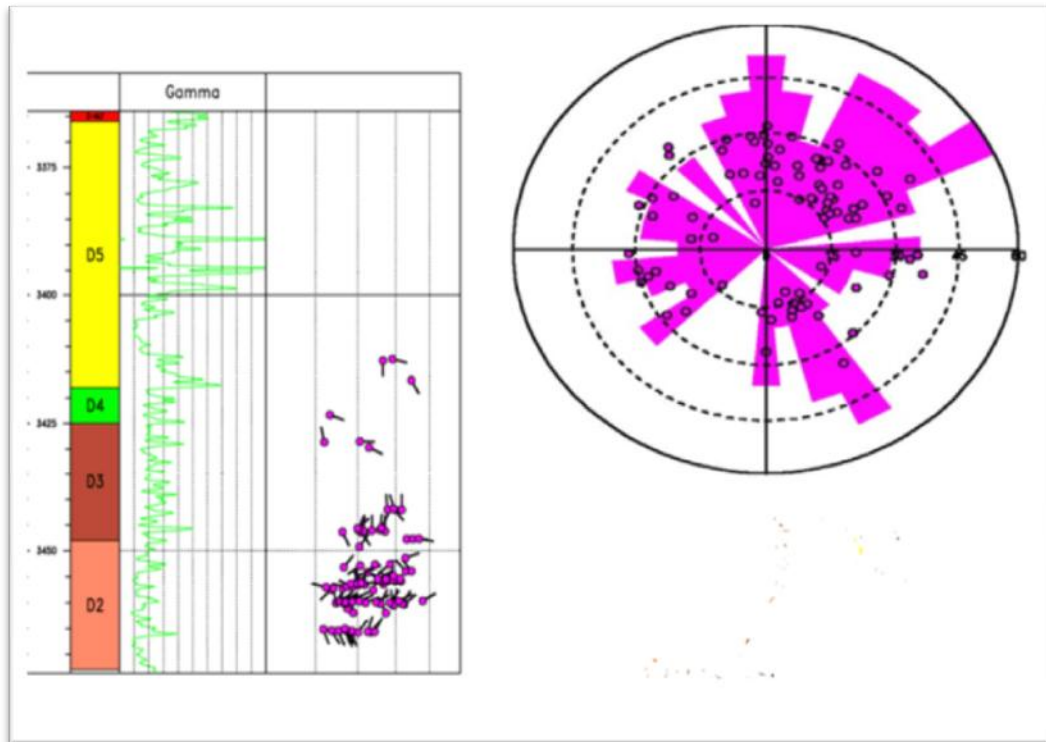


Fig. III.18: La rose des analyses des structures sédimentaires à pendage élevé (stratifications obliques).

2.2.b. Le puits OMK 60:

L'analyse de pendage structural est basée sur l'étude des structures sédimentaires à faible pendage observées dans les grés et les formations silteuse. Dans le puits OMK-60 elles sont observées dans les formations R2 et R3. Une seule zone structurale est définie avec un pendage et azimut de $0.8^{\circ}/355^{\circ}$ (NNW).

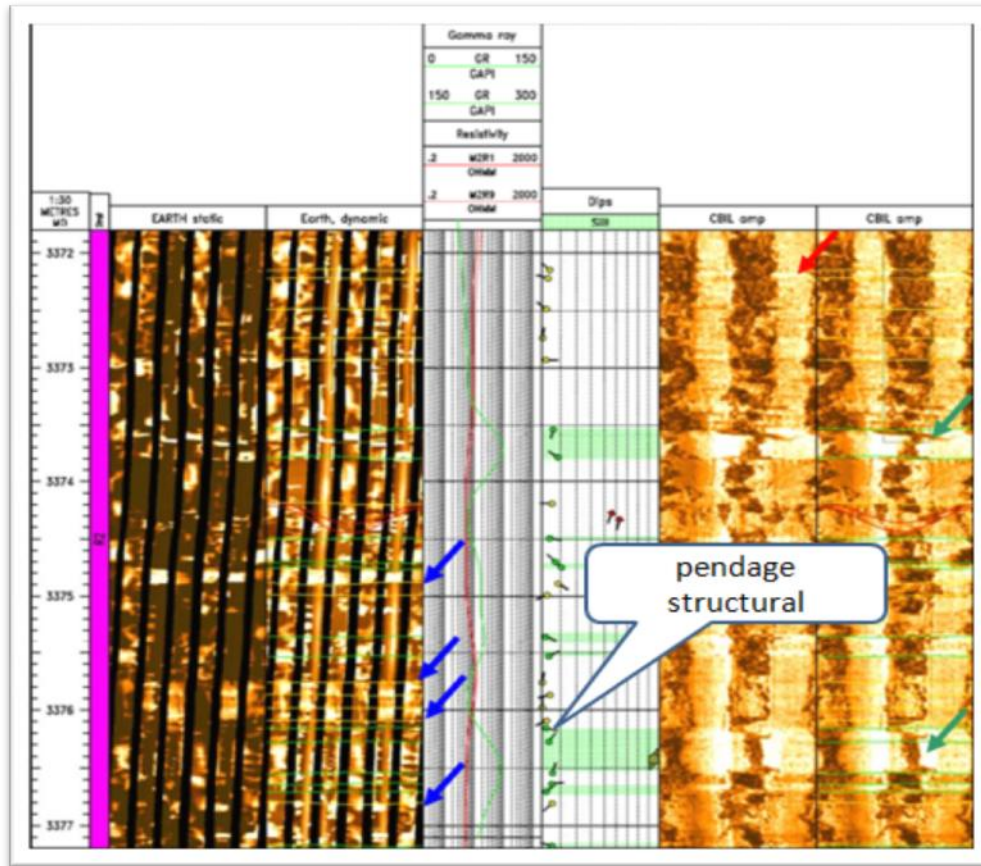


Fig. III.19: Exemple structures sédimentaires à faible pendage (dans les grés et les formations silteuses).

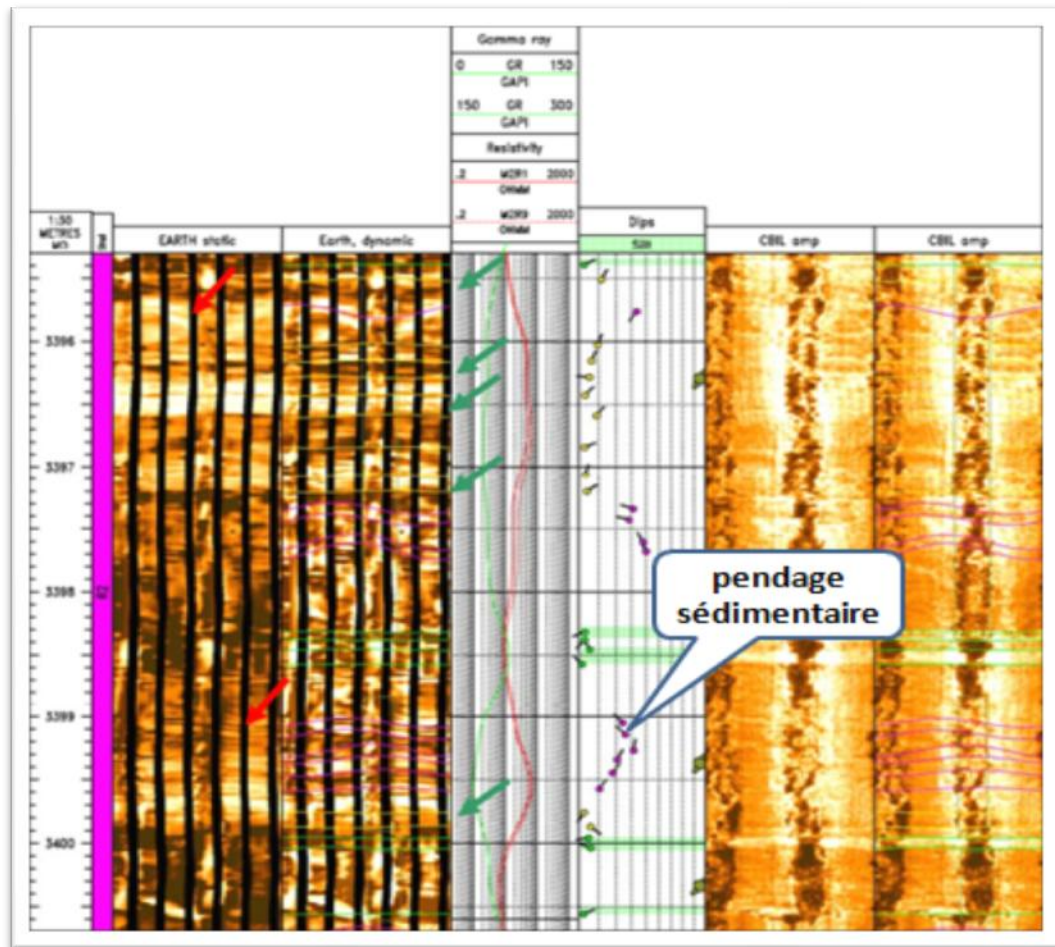


Fig. III.20: Exemple structures sédimentaires à pendage élevé (stratifications obliques).

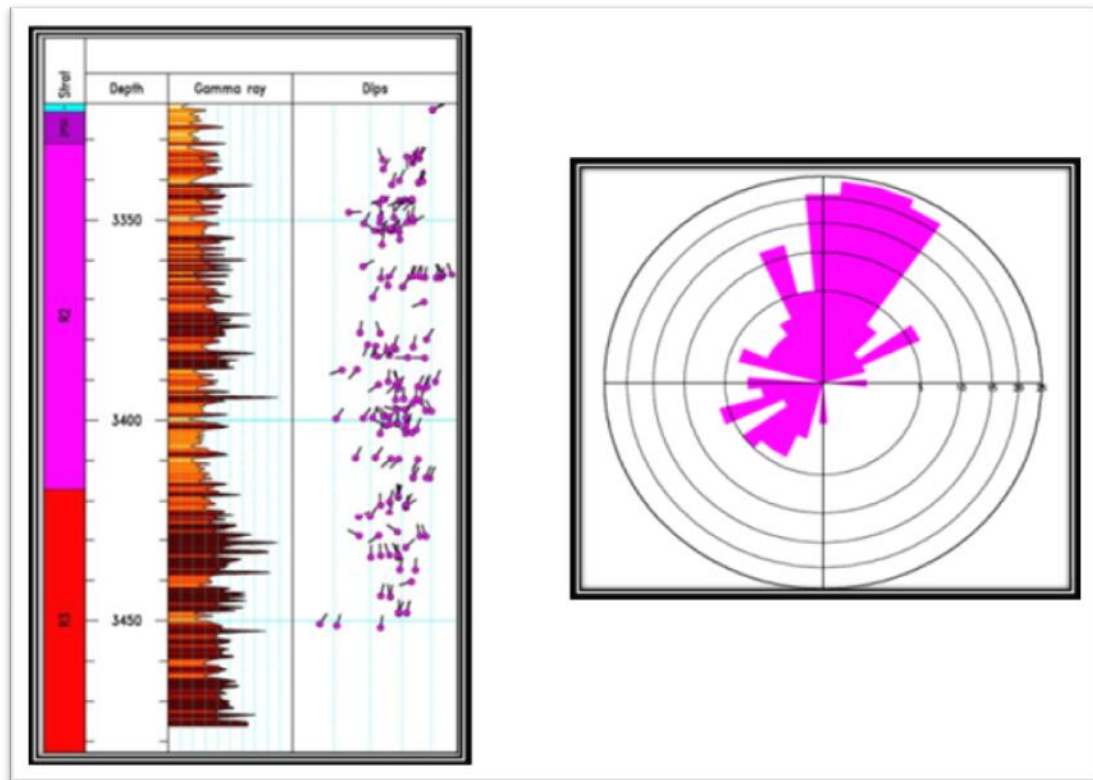


Fig. III.21: La rose des analyses des structures sédimentaires à pendage élevé (stratifications obliques).

2.2.c. Le puits OMJ 60:

L'analyse de pendage structural est basée sur l'étude des structures sédimentaires à faible pendage observées dans les grés et les formations silteuses. Dans le puits OMJ-66 une seule zone structurale est définie avec un pendage et azimut de $1.2^{\circ} / 019^{\circ}(\text{NNE})$.

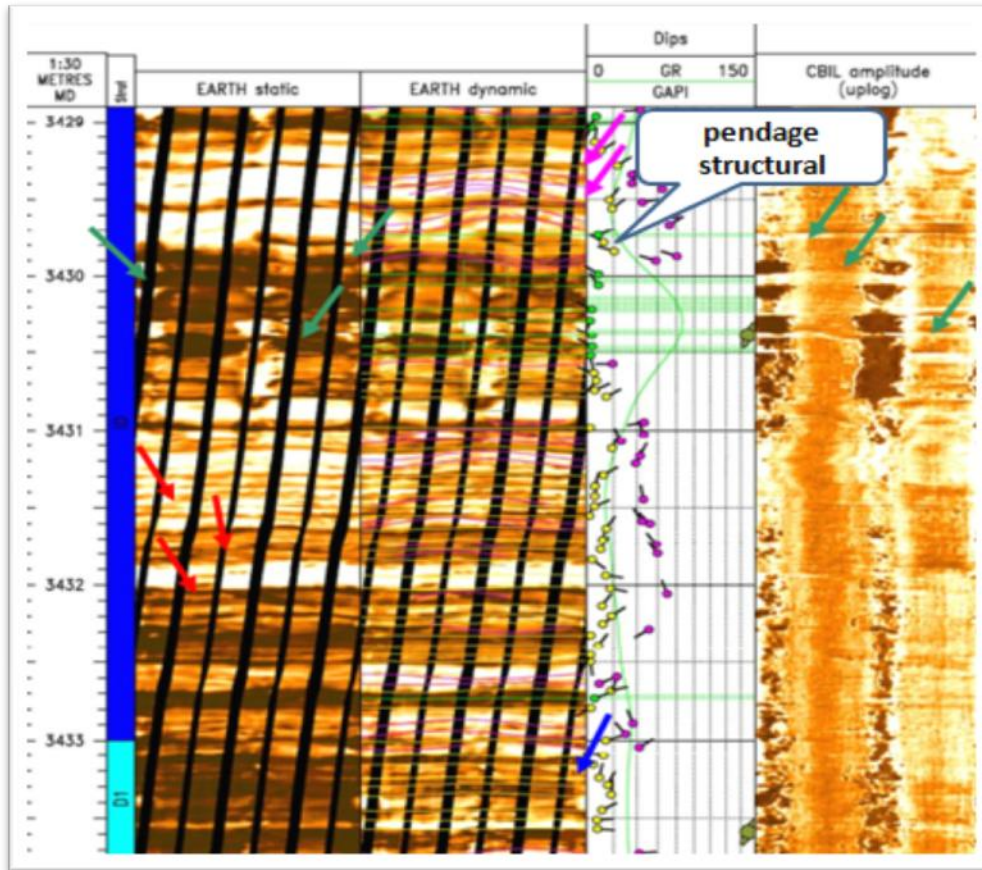


Fig. III.22 : Exemple structures sédimentaires à faible pendage (dans les grés et les formations silteuse).

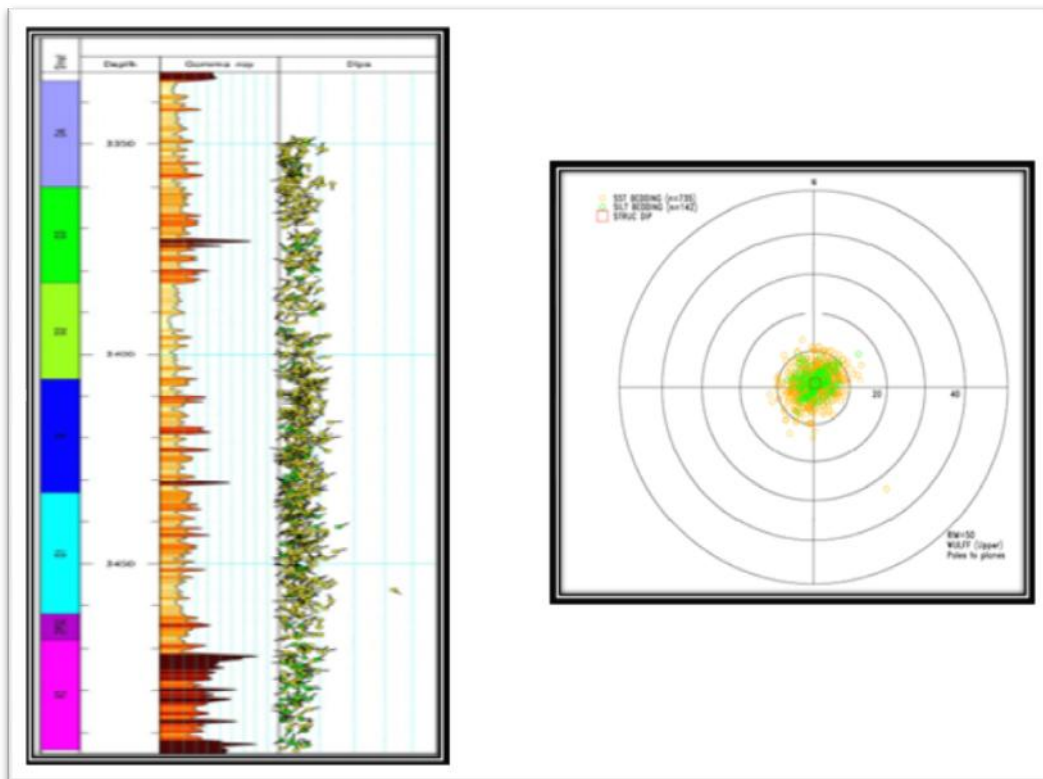


Fig. III.23 : La rose des Pendages des couches.

Un nombre important de structure sédimentaire à pendage élevé (10° – 25°) a été observé dans ce puits. L'orientation de ces pendages indique l'orientation du paléo-transport lors du dépôt. Dans le présent puits cette orientation varie de SW, NW à NE d'azimut. Il est à noter qu'une orientation vers le NNE est dominante et particulièrement observée au sein de R2 inférieur, ZPSG et D1 supérieur et ID formation. L'intervalle étudié présente un environnement de dépôt fluviatile.

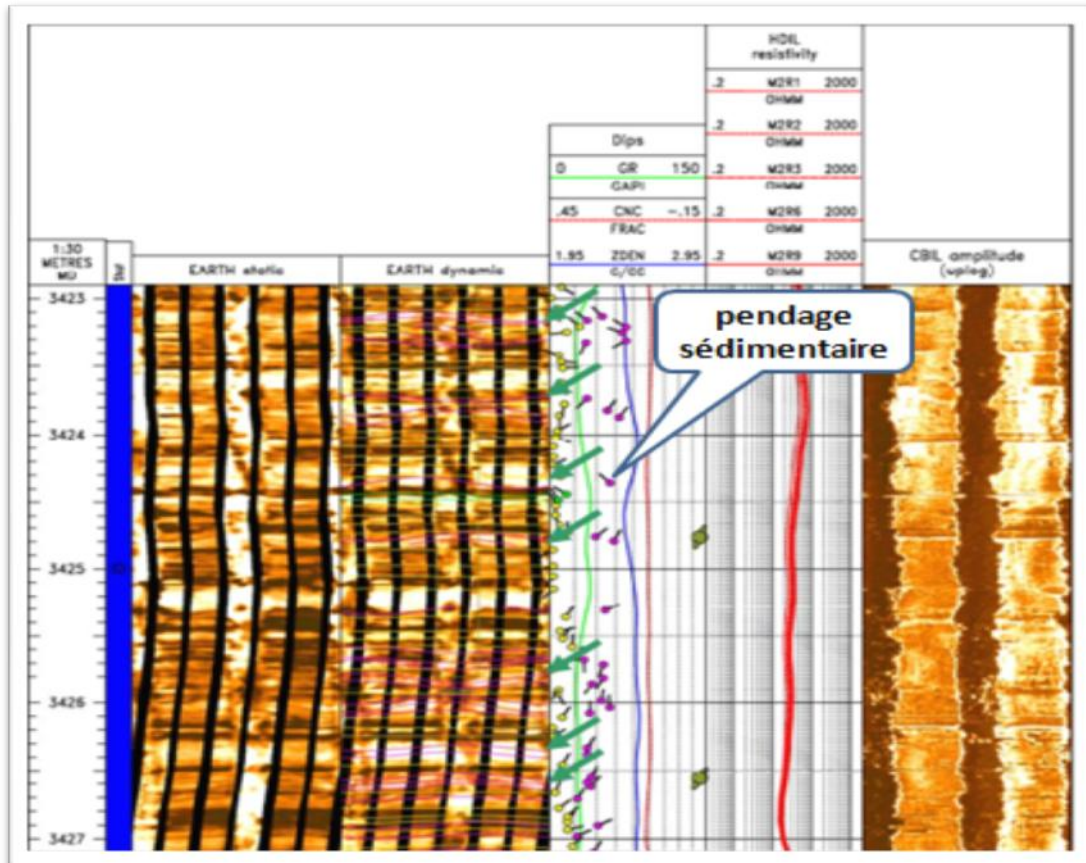


Fig. III.24 : Exemple des structures sédimentaires à pendage élevé (stratifications obliques).

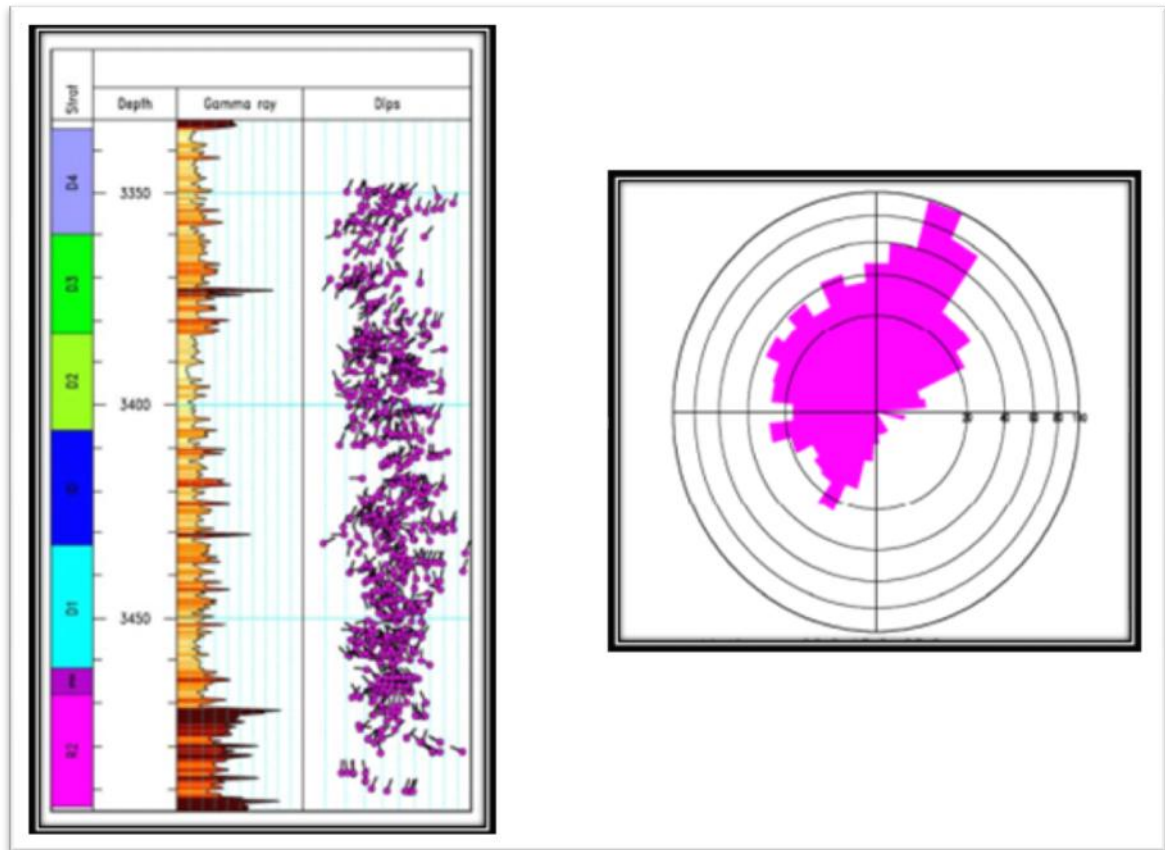


Fig. III.25: La rose des analyses des structures sédimentaires à pendage élevé (stratifications obliques).

2.2.d. Le puits OMH 511:

L'analyse des pendages structuraux observés dans le puits OMH-511 a révélé la présence d'une seule zone structurale, caractérisée par un faible pendage de 02° , et un azimut de 341° (NNO). Des variations dans l'orientation des pendages structuraux ont été observées, le changement est due a l'existence des sédiments de dépositions et ne pas a un changement du pendage structuraux dans le puits étudié.

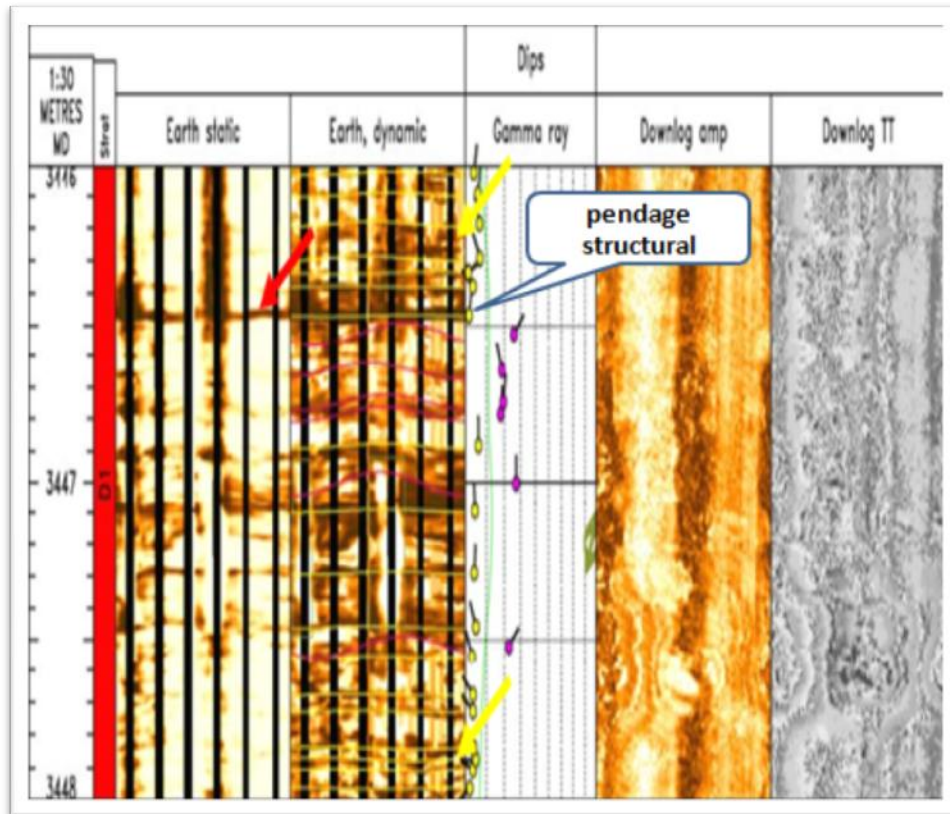


Fig. III.26 : Exemple structures sédimentaires à faible pendage.

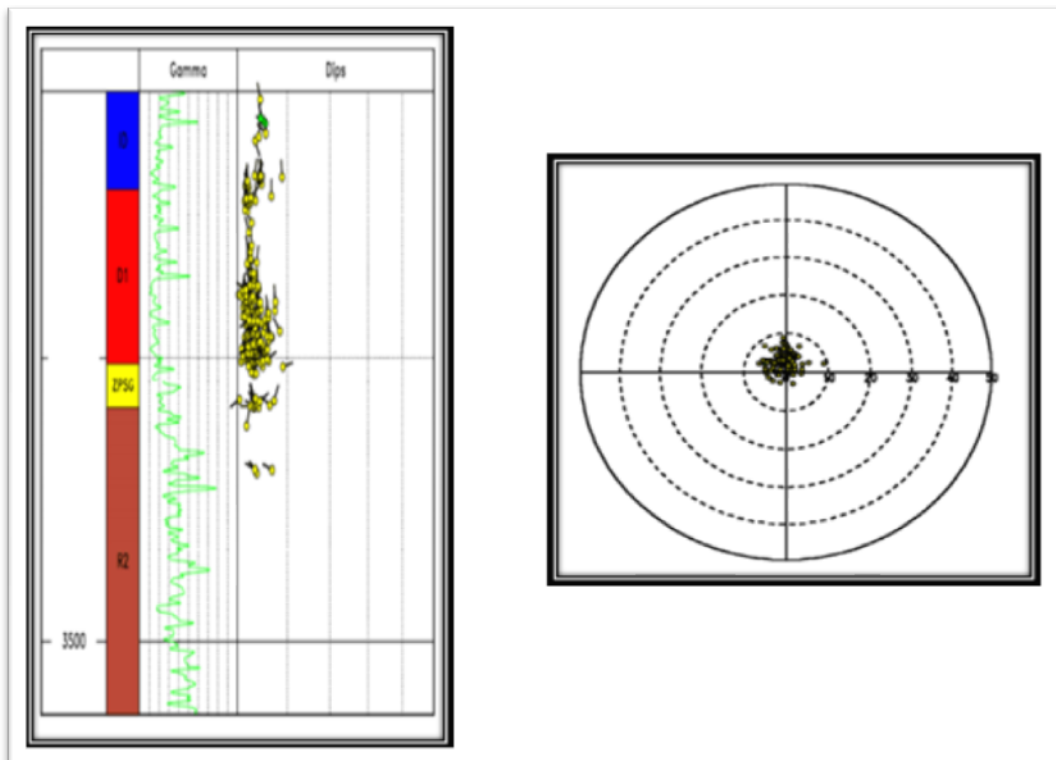


Fig. III.27 : La rose des Pendages des couches.

Un nombre important de pendages sédimentaire ont été observés dans les unités suivantes: ID et D1. Grâce à ces pendages sédimentaires une détermination de la distribution des paléo-courants lors du dépôt des grés du Cambrien est possible. Dans le puits OMH-511, ils indiquent une orientation de courant vers le NNO dans un milieu de dépôt fluviatile.

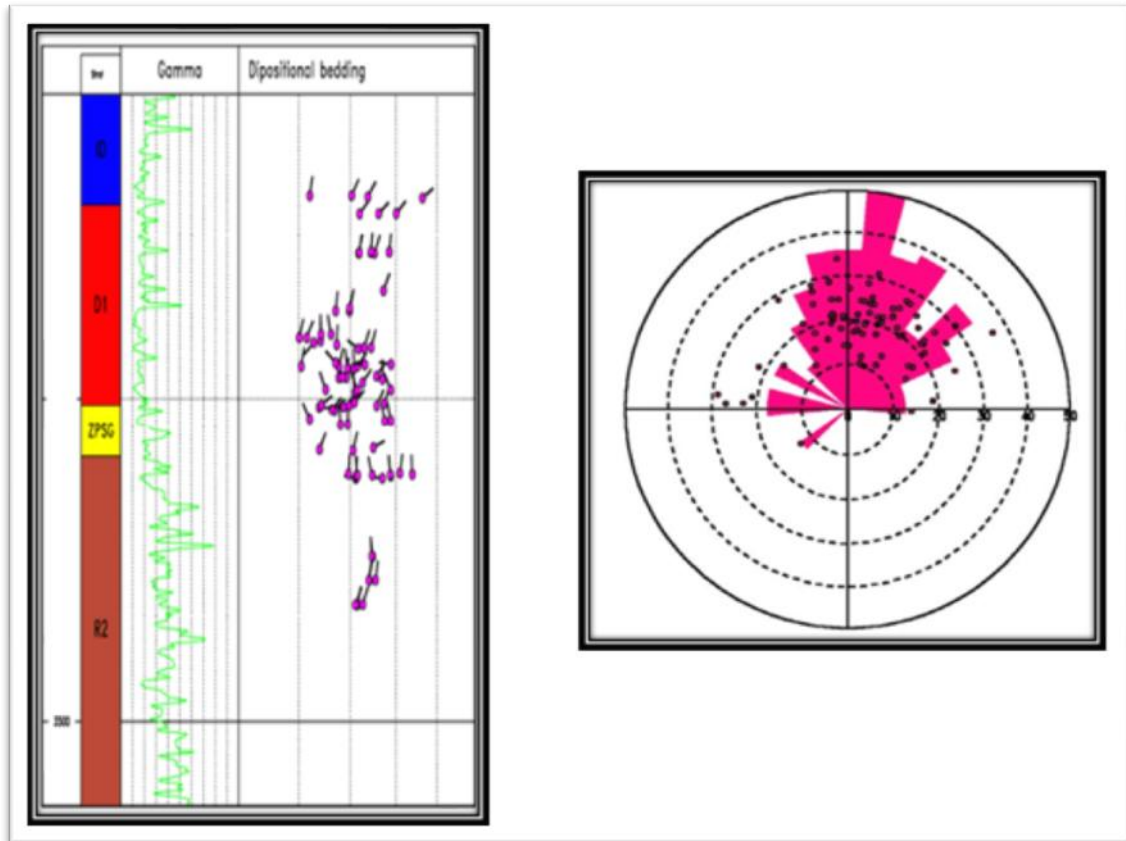


Fig. III.28 : La rose des analyses des structures sédimentaires (stratifications obliques).

2.3. Fracture ouvertes et fermes :

2.3.a. Le puits MD 641:

Peu de fractures naturelles ont été observées à travers l'intervalle étudié. Ces fractures sont dispersées et discontinues, la majorité ont été identifiées sur l'imagerie de UXPL, avec un contraste foncé donc elles sont ouvertes. Deux fractures cimentées ont également été identifiées sur l'imagerie d'EARTH Imager avec un contraste foncé en indiquant la présence d'un ciment (pyrite ou Clay). L'orientation moyenne attribuée à toutes les fractures identifiées est de 351°(NO).

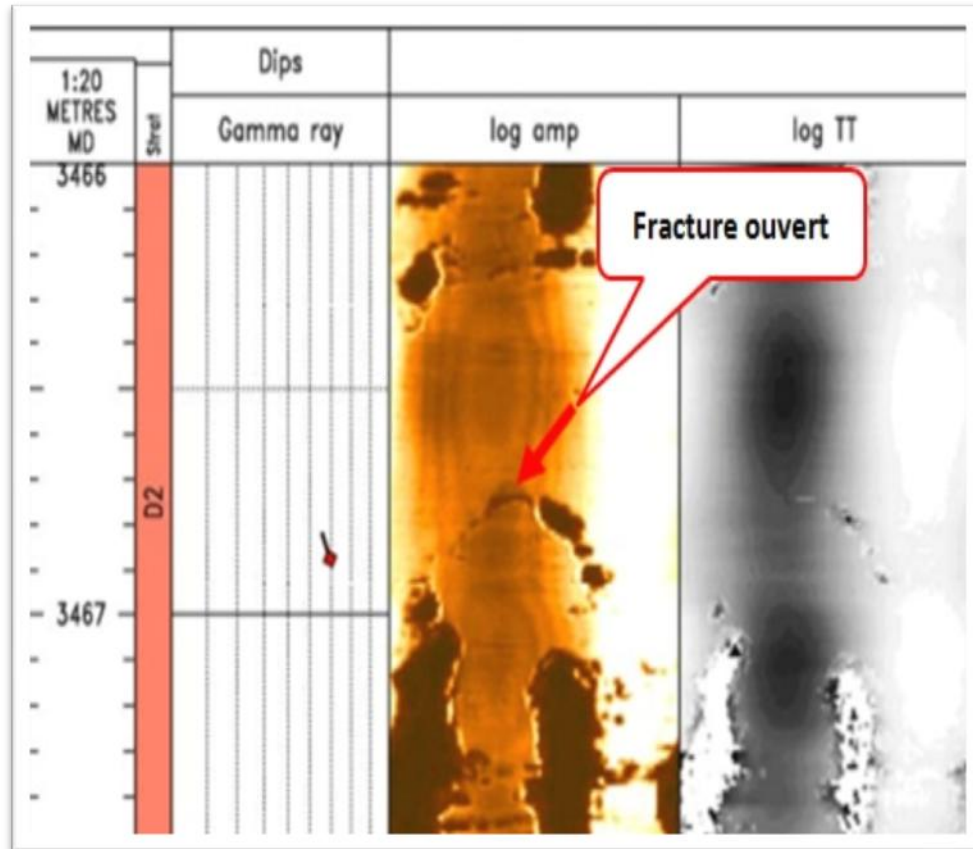


Fig. III.29 : Exemple de fracture naturelle (Fracture ouvert).

2.3.b. Le puits OMK 60:

Peu de fractures naturelles ont été observées dans le puits OMK-60. Ces fractures sont dispersées observées sur l'imagerie de CBIL à l'intervalle suivant : 3374.5 m et 3430.7 m.

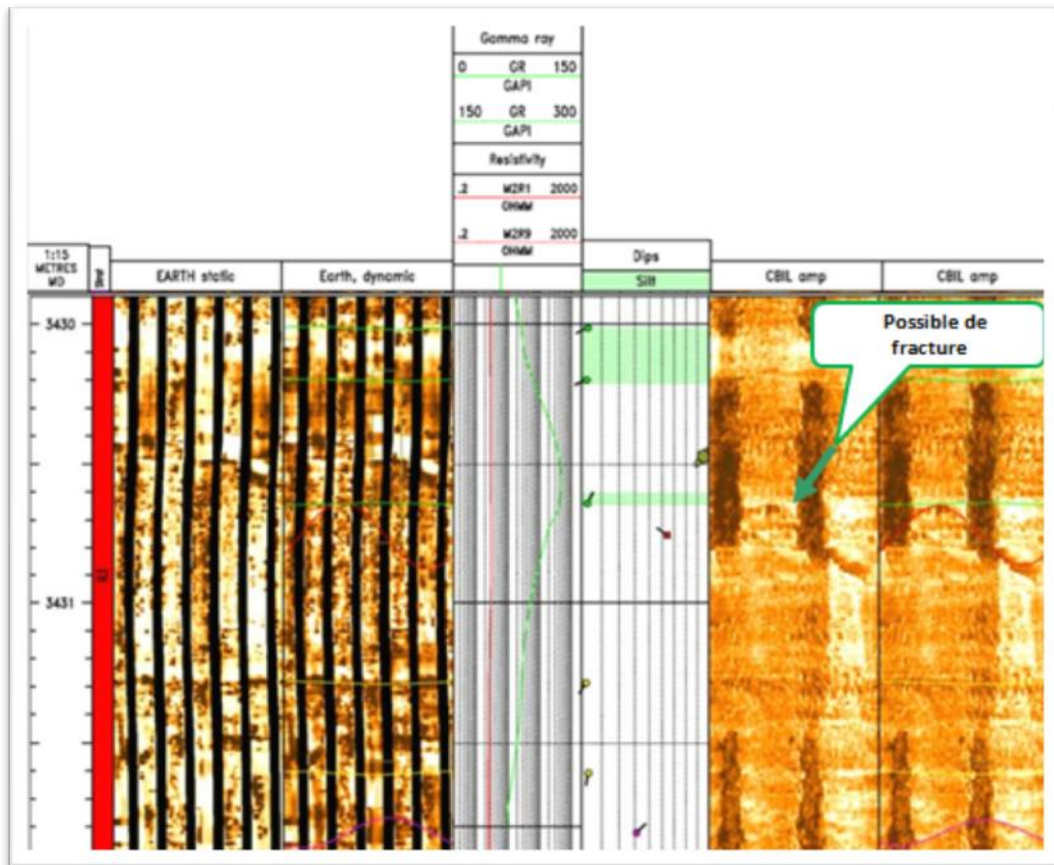


Fig. III.30 : Exemple de possibilité de fracture naturelle.

2.3.c. Le puits OMJ 66:

Le puits OMJ-66 présente une faible densité de fractures naturelles, avec une très faible concentration de fractures cimentées par un ciment conducteur (Pérîtes ou Clay). La faible densité de fracture peut être liée à la faible résistivité de formation. Une moyenne densité de fractures de type LOW AMP FRAC observées sur le CBIL image, elles sont possiblement ouvertes, mais discontinues et ne contribuent pas à la production. Il est à noter qu'une seule zone significative de fractures ouverte orientée NE-SW est observée dans l'intervalle suivant 3733 m à 3374 m.

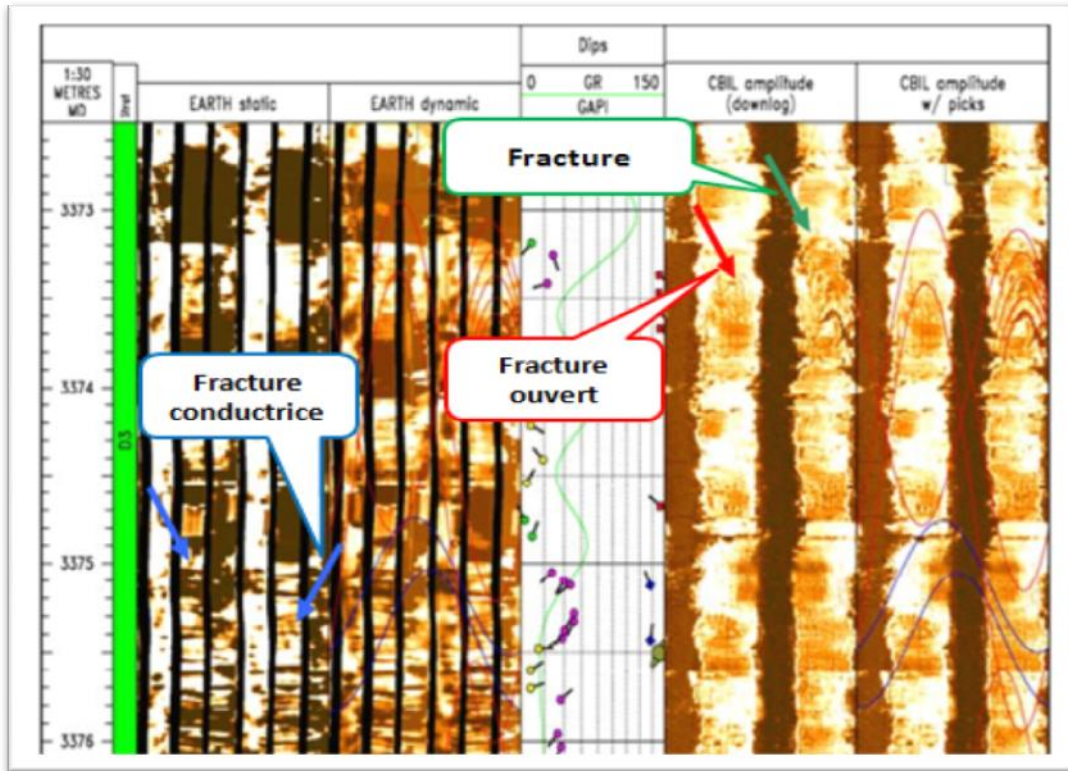


Fig. III.31 : Exemple des fractures naturelles (LOW AMP FRAC).

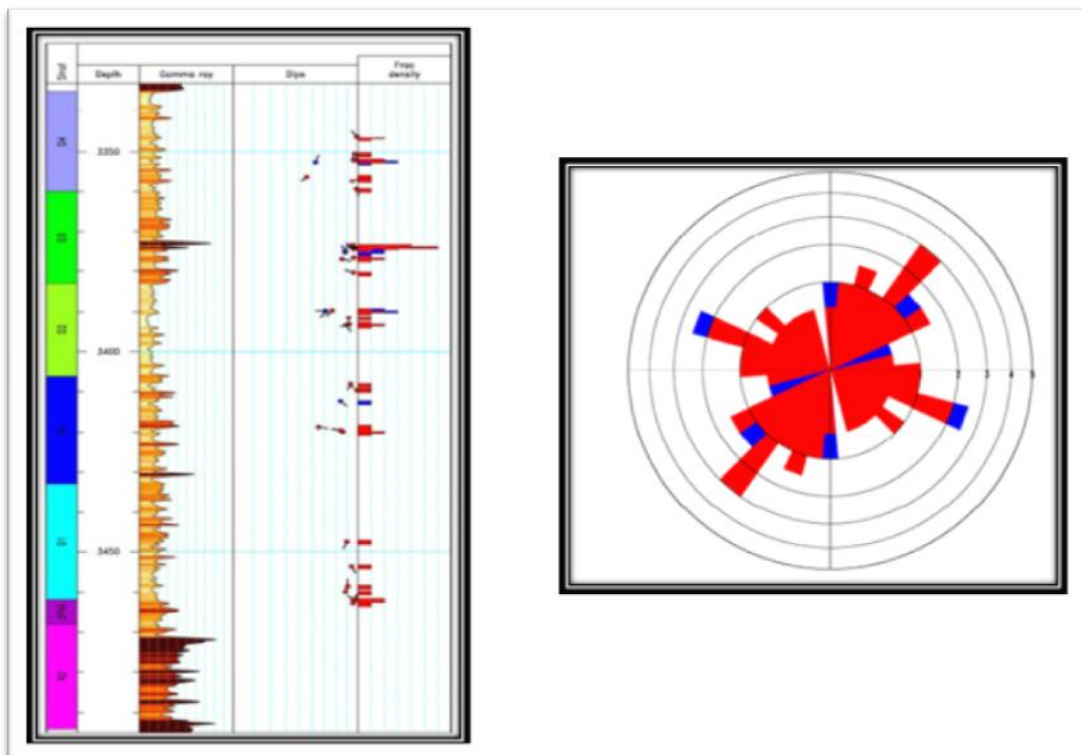


Fig. III.32 : La rose de fractures naturelles.

2.3.d. Le puits OMH 511:

Une faible densité de fractures naturelles a été observée dans ce puits. Les fractures identifiées sont de type LOW AMP FRAC, observées dans l'image de CBIL seulement. Elles sont probablement ouvertes avec un trend d'orientation vers le NNE-SSW.

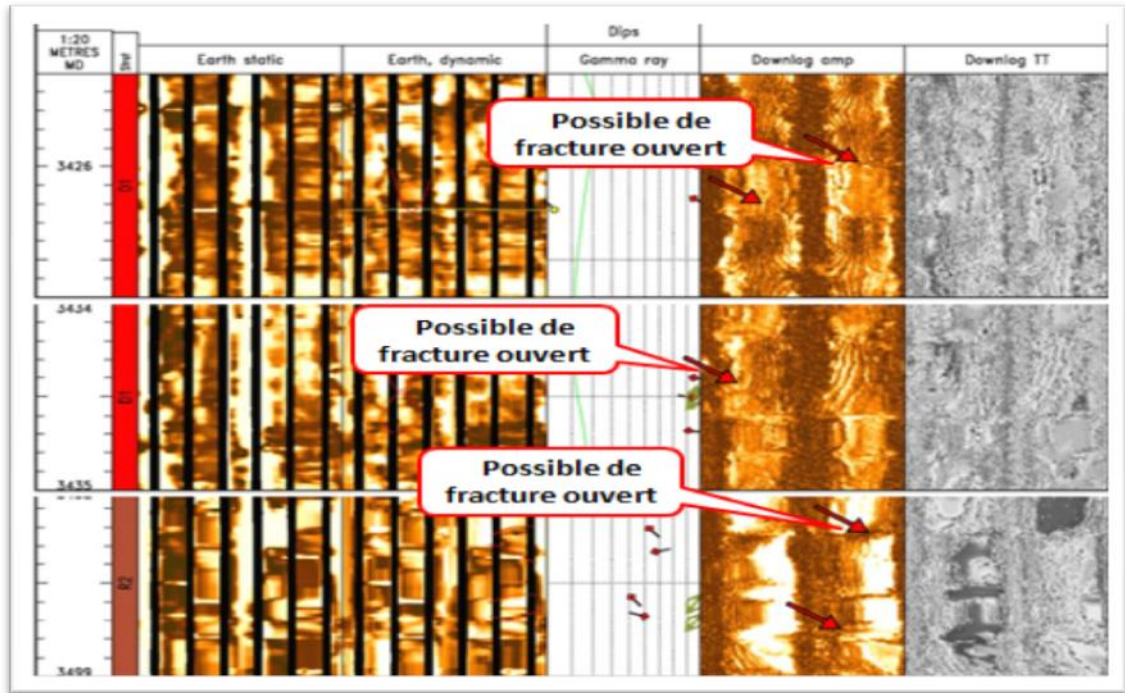


Fig. III.33 : Exemple des fractures naturelles (LOW AMP FRAC).

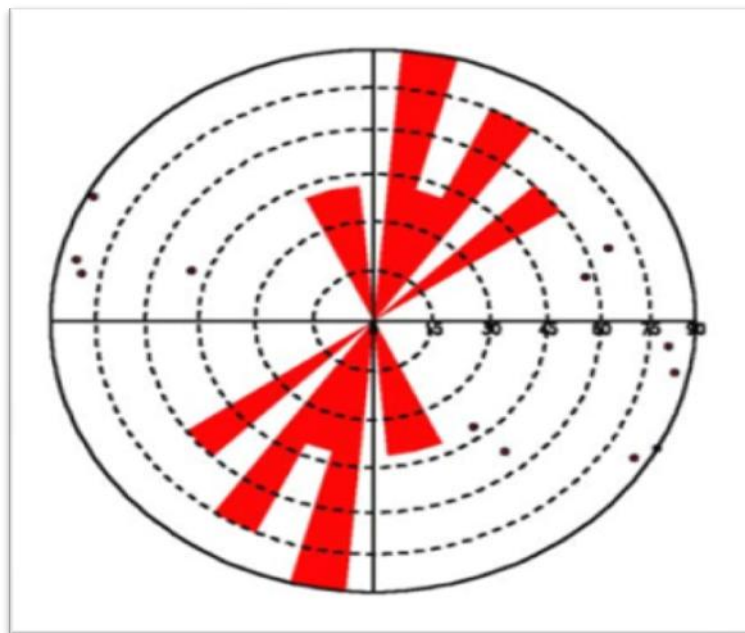


Fig. III.34 : La rose de fractures naturelles.

2.4. Cartographie structurale à partir de l’imagerie:

❖ **Données tectoniques:**

Histoire tectonique régionale avec les différentes phases tectoniques et leurs directions et types (compression ou distension). Les différentes phases tectoniques ayant affecté la région sont chrono stratigraphiquement les suivantes :

Tableau III.2 : Les différentes phases tectoniques et leurs directions avec les types du champ du Hassi Messouad.

DESIGNATION	AGE	TYPE	DIRECTION
Phase Panafricaine		Compression	Est-Ouest
Phase Cambro-ordovicienne		Distension	NW-SE
Phase Taconique (Syn-Glaciation)	Ordovicien- Supérieur	Compression	Nord-Sud
Phase Calédonienne		Compression	Est-Ouest
Phase dévonienne	Dévonien Inférieur	Distension	NW-SE
Phase Hercynienne Précoce		Compression	Nord 40°
Phase Hercynienne Principale	Carbonifère- Supérieur / Permien	Compression	Nord 120°
Phase Trias-Lias (Synsédimentaire)		Distension	NW-SE
Phase Autrichienne	Crétacé Terminal	Compression	Est-Ouest
Phase Eocène	Eocène	Compression	Nord-Sud
Phase Miocène	Miocène	Compression	N-S & NW-SE

Phase Villafranchienne		Compression	Nord-Sud
------------------------	--	-------------	----------

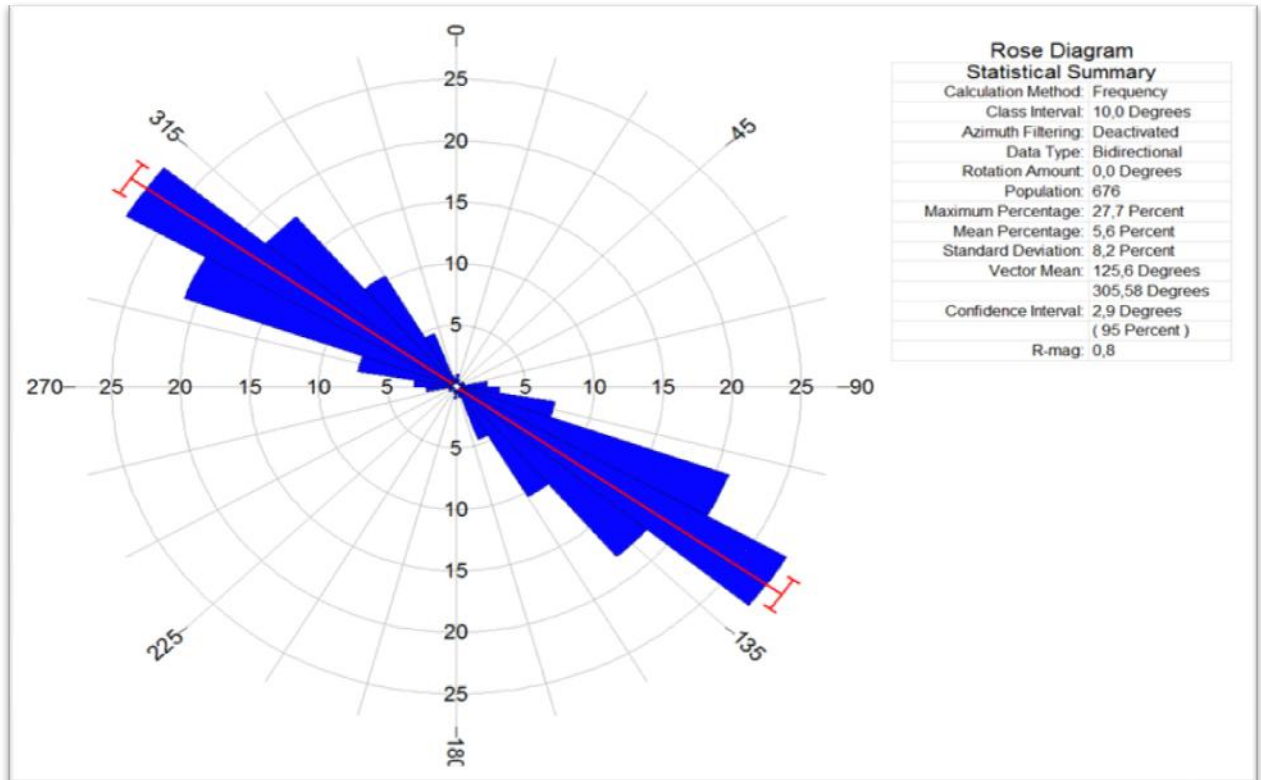


Fig. III.35: Résultats de l'imagerie de fond.

L'interprétation de L'imagerie de fond réalisé sur l'ensemble des puits par les outils CBIL et EARTH IMAGER.

A permis de tracés la rosace directionnelle celle-ci obtenu après la combinaison des orientations des fractures ouvertes et fermés sur un ensemble de 19 puits forés dans le réservoir Ra et R2 représente les résultats d'imagerie, en résumé les résultats sont exposé comme suit :

- Généralement plus de 27% des fractures naturels effective sont orientée à la direction N305°W et S125°E.
- Et une direction secondaire que représente environ 20% des fractures naturels sont orientant vers la direction N340°W et S110°E.
- De 18% des fractures naturelles sont orientée à la direction N320°E et S140°W.
- 7% est pourcentage minimal des fractures orientée N105°W et S285°E.

L'intervalle ciblé et d'âge Cambro-ordovicien sur une profondeur estimée entre 3000 et 4000 m. Les données géologiques obtenues sur la région sont en parfaite concordance avec ces résultats.

3. Comparaison entre les deux méthodes :

Les mouvements durant la phase cambro-ordovicienne se subdivisent ces deux parties dans le nord de la plate-forme saharienne les mouvements sont orientés vers les directions NE-SW et NW-SE (Boudjmaa 1987).

Dans la partie du Hoggar et vers la région d'Illizi les mouvements sont orientés N-S, la comparaison entre la gravimétrie et l'imagerie de fond a confirmé les résultats obtenus par la prospection géologique cela signifie que les données du Bureau Gravimétrique International (BGI) sont valides dans la région de Hassi Messaoud.

Les deux roses obtenues par la gravimétrie et l'imagerie ne sont pas parfaitement identiques cela est probablement dû à :

Du maillage des puits choisi pour l'imagerie insuffisant, pour cela une étude géostatistique sera indispensable afin d'avoir plus de précision sur la cartographie structurale à partir des données d'imagerie.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les techniques destinées au domaine de recherche et prospection ont beaucoup évolués durant la dernière décennie, les techniques de traitement de signal sont à leur tour affecté par cette évolution spectaculaire, durant les années 70 le résultats le plus significatif d'une campagne gravimétrique sera l'obtention de la carte des anomalies de Bouguer, l'évolution en matière de technique et d'algorithmes dans le domaine a permis de dépassés ce stade vers des résultats de plus en plus proche de la réalité du terrain. ce travail a permis de tracés plusieurs carte issue de l'anomalie résiduelle de Bouguer et bénéficiant des techniques modernes de traitement :

La carte des anomalies résiduelle : elle a permis de tracés des axes positifs et négatifs et de localisés les grandes structures géologiques du bassin, les alternances rencontres entre anomalies extrêmes positifs et négatifs sont directement liés a des structures en Horst et Graben dans la région

La carte des dérivées selon X, Y : la combinaison de ces deux carte a permis de déterminés l'orientation de certaine nombre de structure géologique en relation avec la morphologie du bassin de Hassi Massoud .

La carte du Gradient Horizontal : le choix d'un angle équivalent aux orientation de la tectonique local a permis de déterminés d'autre linéament difficilement interprétable par les autres cartes

La Deconvolution d'euler a permis de traces un certain nombre de linéament résultant de mouvement tectonique affectant les formations géologiques durant la phase cambro-ordovicienne les orientations sont principalement du NE-SW et NW-SE

Les informations obtenus a partir des cartes gravimétriques sont représentés dont une cartes synthétiques, en suite représenté sous formes de rosace directionnelle afin de la comparer avec celle obtenus des résultats de l'imagerie de fond.

L'imagerie de fond a permis de traces la rosace des directions récapitulant les résultats obtenus de l'interprétation des 19 puits forer de part et d'autre de Hassi Massoud, les resultats indique des fractures ouvertes et fermes orientes NW-SE.

La comparaison entre les deux rosace indique la présence de deux familles de structure orientés différames l'une correspond au NE-SW et l'autre vers NW-SE, ces orientations sont presque semblable a ceux déterminés par les auteurs concernant la direction des phases tectoniques dans le cambro-ordovicien (Boudjmaa,1987).

A partir de ces conclusions nous pouvons dire que les donnes gravimétriques proposés et publiée par le bureau gravimétrique international ont permis d'atteindre des résultats prouvés par la géologie a travers les travaux d'exploration de **Sonatrach** et par les donnes de l'imagerie de fond réalisés dans le bassin de Hassi Massoud.

Le travail effectué a travers ce document a permis aussi de tracé une carte lineamentaire modifié avec les coordonnées en X, Y des failles et des fractures espérant qu'elle sera un soutien pour les chercheurs et les scientifiques dans le divers domaine de la géologie.

Bibliographie

- **Giroux B., Chouteau M.,** Laboratoire de géophysique appliquée Automne (2008), Pages 1-4 ,14,24
- **Cordell L., Grauch V.J.S.:** Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data. In: 52nd Ann. Int. Meet. Soc. Explor. Geophys, Dallas. The San Juan Basin, New Mexico,(1982), pp. 246–247.
- **Boudjema A., (1987) :** Evaluation structurale du bassin pétrolier du sahara nord oriental.
- **Gailler (2010).** Diagramme représentant l'ensemble des corrections à apporter aux données gravimétriques brutes pour obtenir l'Anomalie de Bouguer.
- **BakerAtlas Hughes :** Borehole Imaging (Advanced Technologies), rapport interne (2010).
- principes et applications des mesures gravimétriques, **Pages 7,8.**
- **Schlumberger:** Appendix Formation MicroImaging Tool (2010).
- **Schlumberger:** Appendix 3 Data acquisition and image processing (2010),Page 2
- **Schlumberger:** Appendix 6 Fracture Types & Characterization on Borehole Images(2010).Page 14.
- **Schlumberger: Montaggioni P.,** Applications of Borehole Imaging to Fracture Characterization, (2010).,Page 3
- **Schlumberger: Appendix B:Oil-Base MicroImager(OBMI) Tool (2010).**
- **Schlumberger-Sonatrach :** Géologie de l'Algérie WEC (2007).
- **O-Serra final** Diagraphies-Acquisition et applications, **page 22-25/60.**
- **SONATRACH (1975) :** Structure du champ de Hassi Messaoud.
- **SONATRACH (2005) :** Géologie de Hassi-Messaoud.
- **Ecole d'Eté du GRGS: Mesure et Modélisation de la Gravité, (2010).**

- **Gasquet C., et Witomsky P., (1995)** : Analyse de Fourier et applications. Filtrage, calcul numérique, ondelettes. Edition Masson, 355 p.
- **Dubois J., Diament Jean M., Cogné P.,** Géophysique Cours et exercices corrigés(Dunod, Paris, **2010**).
- **Keating P., and Sailhac, P., (2004)** : Use of the analytic signal to identify magnetic anomalies due to kimberlite pipes, Geophysics, 69:180-190.
- L'Observatoire Gravimétrique de Strasbourg disponible sur l'internet.
- **Richer M., (2009)** :Levé gravimétrique de la partie ouest de propriété Témiscouata (Rapport des travaux).
- **Marson I., Klingele E. E., (1993)** : Advantages of using the vertical gradient of gravity for 3-D interpretation, Geophysics, 58, 1588-1595.
- **Marson, I., Klingele, E., (1993).** Advantages of using the vertical gradient of gravity for 3-D interpretation. Geophysics 58, 1588–1595.
- **Abdessemed Mohamed Lyamine (2012)** : Mémoire de Magister en aménagement des milieu physique, ,Pages 45,46,47,55 ,56,57 ,59.
- **Poppelreiter M., Carballido C., Kraaijveld M., (2010),** Dipmeter and Borehole Image Log Technology: AAPG Memoir 92 stress, Fracture, and Fluid Flow Analysis Using Acoustic and Electrical Image Logs.
- **Chouteau M.,** Géophysique appliquée I,2 (**1999**).
- **Nabighian, M.N., (1972),**The analytic signal of two dimensional magnetic bodies with polygonal cross section: its properties and use for automated anomaly interpretation. Geophysics 37 (3), 507–517.
- **Nabighian, M.N., (1974).** Additional comments on the analytic signal of two dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. Geophysics 39, 85–92.

➤ **Nabighian, M.N., (1984)**, Toward a three dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert transforms: fundamental relations. *Geophysics* 49(6), 780–786.

➤ **Rapport final des puits** :MD 641- ONE 321- OMPZ 123- OMN 14- MDZ 606.

➤ **Reid, A.B., Allsop, J.M., Granser, H., Millett, A.J., Somerton, I.W., (1990)**. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler déconvolution. *Geophysics* 55, 80–91.

➤ **Roest, W. R., Verhoef, J., and Pilkington, M., (1992)** : Magnetic interpretation using the 3-D signal analytic, *Geophysics*, 57:116-125.

➤ **MEKMOUCHE S.**, « Description du Réservoir de Hassi-Messaoud ».Forum Stimulation SH/DOWELL, Hassi-Messaoud **(1994)**.

➤ **Ruhland M., Thouvenin J., (1971)**, Sonatrach/ Division Production- Rapport interne **(2002)** :Structure et fracturation du champ de Hassi Messaoud.

➤ **Thompson, D.T., EULDPH, (1982)**: a new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics* 47, 31–37.

➤ **Williams T.**, Well Logging Principles and Applications Borehole Image Analysis, **(2008)**.

Résumé :

Le champ de Hassi Messaoud est considéré comme l'un des plus grands gisements au monde, il apparaît comme un vaste anticlinal aplati près de la terminaison nord orientale du a travers cette études plusieurs techniques en gravimétrie ont été exploitées tel que : Les gradients, les dérives, le signal analytique et la déconvolution d'Euler l'ensemble des informations extraites a partir de ces techniques va permettre de tracer une carte structural amélioré et synthétiques de la région de Hassi Messaoud ,en combinaison avec l'imagerie de fond par divers outils les informations géologiques vont permettre d'affiner le choix de plusieurs paramètres indispensable a l'application de quelques techniques de traitement avancées en gravimétrie .La comparaison entre les deux rosaces indique la présence de deux familles de structure orientés différemment l'une correspond au NE-SW et l'autre vers NW-SE, ces orientations sont presque semblable a ceux déterminés par les auteurs concernant la direction des phases tectoniques dans le cambro-ordovicien (Boudjmaa, 1987).

Mots Clé : Hassi Messaoud, imagerie de fond, méthode gravimétrique, rosace, le signal Analytique, la déconvolution d'Euler, gradients.

Abstract :

The field of Hassi Messaoud is regarded as one of the largest layers in the world, it appears as a vast anticline flattens close to the Eastern northern termination to With through this studies several techniques in gravimetry have been exploited tell that: The gradients, the drifts, the analytical signal and the deconvolution of Euler the whole of the information extracted from these techniques will make it possible to trace a chart structural to improve and synthetic from the area of Hassi Messaoud, in combination with the basic imagery by various tools geological information will make it possible to refine the choice of several parameters essential A the application of some techniques of advanced treatment in gravimetry the comparison between the two rosettes indicates the presence of two families of structure directed differently one corresponds to the NE-SW and the other towards NW-SE, these orientations are almost similar A those determined by the authors concerning the direction of the tectonic phases in the cambro-ordovicien (Boudjmaa, 1987).

Key Words: Hassi Messaoud, basic imagery, method gravimetry, rosette, the Analytical signal, the deconvolution of Euler, gradients.

المخلص :

يعتبر حقل حاسي مسعود واحد من أكبر المكامن في العالم ، مرفولوجيا يبدو كتحدب ثنائي الميل متوجه نحو الشمال الشرقي من خلال هذه الدراسة تم استغلال العديد من التقنيات والتي تعتمد أساسا على معالجة الإشارات الرقمية .المعلومات المستخدمة مكنت من تحسين البنية المرفولوجية حول انتشار الصدوع والفوالق في منطقة حاسي مسعود . بالمقارنة مع المعطيات الجيولوجية المستقاة من تقنية التصوير في عمق الآبار تمكنا من إثبات التطابق بين مختلف التقنيات المستخدمة ، إن تقنية قياس حقل الجاذبية الأرضية المستخدمة تعتمد على قياسات فضائية والتي لم يتم إثبات صحة المعلومات الجيولوجية المستخرجة منها ، في هذا العمل قمنا بإثبات صحة هذه المعلومات وذلك بمقارنتها بالتصوير في عمق الآبار و خرائط جيولوجية معدة من طرف سونا طراك للخزان الكمبرو – اوردوفيسي.

الكلمات المفتاحية: حاسي مسعود ، التصوير في عمق الآبار ، طريقة معالجة الإشارات الرقمية ، الخزانات ، الفوالق والصدوع ، كامبرو-اوردوفيسي