

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

Université Kasdi Merbah Ouargla

Faculté des Hydrocarbures, Energie Renouvelables et Science de la Terre et  
L'Univers

Département de Science de la Terre et l'Univers



Mémoire de MASTER Académique

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Option : Géologie Pétrolière

« THEME »

**Caractérisation Géomécanique De Réservoir Cambrien Du Champ  
De Hassi Messaoud des Puits : OMN402, OMN413**

En 27.06.2024

**Présenté par les étudiants :**

LEMTENNECH Mahmoud  
ELIMAM Rayane  
BOURENANE Selma

**Jury**

**President:** HAMMAD Nabila, MCA, Univ. Ouargla  
**Encadreur:** LAOUINI Hamza, MAA, Univ. Ouargla  
**Examineur:** FELLAH Lahcene, MCA, Univ. Ouargla

**Année Universitaire : 2023/2024**





## REMERCEMENT

*Avant tout, nous remercions Dieu de nous avoir donné le courage, la patience et la volonté pour achever ce modeste travail. Mes vifs remerciements et mes profondes gratitudes s'adressent à tous mes encadreurs au département de géologie Mr. laouini hamza Mr. Belksir Mohammed Salah, et aussi même le groupe de laboratoire géomécanique de CRD- SONATRACH, surtout Mr. Terriche Abdelaziz, Mr. Saïb KameL, Mr. Arroudj, le groupe de laboratoire mécanique des roches.*

*Nous les remercions infiniment pour ses grandes patiences, ses encouragements, ses aides et ses conseils judicieux, durant la période de stage.*

*Nous remercions l'ensemble des membres de jury qui ont fait l'honneur d'accepté de juger notre travail.*

*LEMTENNECHE*

*Mahmoud*

*BOURENANE Selma*

*ELIMAM Rayane*

# *Dédicace*

*J'ai le grand plaisir dédier ce modeste travail,*

*A ma très mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi.*

*A mon très cher père, pour ses encouragements, son soutien, surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.*

*A mes chères sœurs Sarah, Soundous, Chahed, Oumaima, Imane  
Puisse Dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite. A mes amis bien amies Sihem, Ahlem, Rayane, loulou, khawla, leila, asma, wiam, hajer*

*Pour leur soutien moral et leur conseil précieux tout au long de mes études.*

*À ma fierté et à ma gloire Yassine Pour son entente, sympathie et supports dans les moments difficiles.*

*Selma*

# *Dédicace*

*Le voyage n'a pas été court et ne devrait pas l'être, le rêve n'a pas été proche et le chemin n'a pas été semé d'embûches "mais je l'ai fait". Louange à Dieu, par la grâce duquel les bonnes actions sont accomplies.*

*A mon âme joyeuse, je te dédie ces phrases: "last but not least, I wanna thank me for believing in me, for doing all this hard work, for having no days off, for never quitting, for always being a giver and tryna give more than I receive, for just being me at all times"*

*Aux justes martyrs de Palestine.*

*A celui dont je porte le nom, mon cher père, que Dieu le protège.*

*À ma seule et unique mère, ma mère bien-aimée, que Dieu la protège.*

*A mon soutien et mon bras droit, mes cinq frères.*

*À mon amie de toujours, ma bien-aimée et ma sœur que ma mère n'avait pas, Rayane.*

*À mes camarades de classe de mon mémoire de fin d'études, Selma et Mahmoud.*

*À tous mes amis et à ceux qui m'ont accompagné tout au long de mon parcours universitaire, Lina, Ikram, Heba, Fouzia, Ilyes, Ash, Kheïreddin, et Aziz*

*Je vous offre ce cadeau par amour, exaltation et dignité*

*Rayane*

# *Dédicace*

*À celui qui a dit "Je suis à la hauteur"... il l'a obtenu et moi je suis à la hauteur. Et même si elle refuse, malgré tout, je l'ai obtenue. Louange à Dieu par amour, gratitude et reconnaissance pour le début et la fin.*

*À celui dont le front perlait de sueur et qui m'a appris que le succès ne vient qu'avec patience et persévérance, qui a sacrifié le précieux et le rare et de qui je tire ma force et ma fierté mon cher père.*

*À celle pour qui Dieu a placé le paradis sous ses pieds et qui a veillé sur moi dans les moments difficiles par ses prières, à cette grande personne que j'ai toujours aimée ma chère mère.*

*À mon troisième pilier et la sécurité de mes jours, à ceux qui m'ont soutenu, étant pour moi des sources d'eau vive, au paradis devant moi et la clarté de mes yeux mes chers frères et sœurs : Abdelrahman, Tidjani, Walid, Boubaker, Samir, Alaa Adin ... Badwia, Nabila*

*À tous ceux qui ont été un soutien et un appui pour moi sur ce chemin... aux amis fidèles et compagnons de route, à ceux qui ont partagé les moments difficiles et les crises :*

*Mahmoud*

*Yassine Sarraya, Lahcen Ben Sania, Abdelaziz Taher, Ben teriayounes*

*A mes camarades de ma memoire de fin d'étude selma et rayane*

*Je vous dédie cette réussite et le fruit de mon succès que j'ai toujours souhaité. Peu importe ce que j'écris, je ne pourrai jamais vous rendre justice. Cela est apparu grâce à Dieu, et louange à Lui pour ce qu'Il m'a donné, qu'Il m'aide et me rende bénie où que je sois.*

*Mahmoud*

## SOMMAIRE

Remerciement	
dedicace	
Sommaire	
liste des figures	
liste des tableaux	
Introduction generale.....	<b>1</b>
<b>chapitre 1</b> :generalite sur zone d’etude .....	<b>1</b>
Introduction.....	<b>2</b>
<b>1.</b> Cadre geographique .....	<b>2</b>
<b>2.</b> Cadre geologique.....	<b>2</b>
<b>3.</b> Zonation du champ de hmd.....	<b>3</b>
<b>4.</b> Stratigraphie du champ d’etude .....	<b>3</b>
4.1. Le socle .....	3
4.2. Infracambrien .....	4
4.3. Le paleozoïque.....	4
a. Le cambrien.....	4
b. L’ordovicien .....	5
4.4. Le mesozoïque.....	5
a. Le trias .....	5
b. Le jurassique .....	6
c. Le cretace .....	7
4.5. Le cenozoïque.....	7
d. L’eocene.....	7
e. Le moi-pliocene.....	8
5. Tectonique et evolution structural .....	9
5.1. Structuration ante- triasique .....	9
a. La phase panafricaine .....	9
b. La phase eo -caledonienne precoce ou ante- tramadocienne ou tectonique.....	10
c. La phase caledonienne majeure .....	10
d. La phase hercynienne .....	10
5.2. Structurations post-triasique.....	10
e. La phase autrichienne .....	10
f. La phase atlasique.....	11
5.3. Structuration actuelle .....	11
6. Aspect petrolier .....	12
6.1. Roche mere.....	12
6.2. Roche reservoir.....	13
6.3. Roche couverture .....	15
7. Les pieges.....	15
a. Les pieges structuraux .....	15
b. Les pieges stratigraphiques .....	15
c. Les pieges mixtes .....	15
d. Migration des hydrocarbures.....	15
conclusion .....	16

<b>chapitre2 :description d'équipement utilisee</b> .....	<b>17</b>
<b>introduction</b> .....	<b>18</b>
<b>1.fonctions du laboratoire de mecanique des roches</b> .....	<b>18</b>
<b>2.les domaines d'activite du laboratoire mdr</b> .....	<b>18</b>
2.1. Forage.....	18
2.2. Fracturation hydraulique .....	18
<b>3. Description des equipements</b> .....	<b>19</b>
3.1. L'essai de traction.....	19
3.2. L'essai de compression simple (uniaxiale) .....	20
3.3. Essai de compression triaxiale.....	20
<b>chapitre03:étude geotechnique sur les puit omn 413 et omn 402</b> .....	<b>22</b>
<b>introduction</b> .....	<b>23</b>
1. Travaux realises .....	23
1.1. Prelevement des echantillons .....	23
1.2. Essais de compression simple .....	24
1.3. Essais triaxiaux .....	35
2. Interpretation des resultats .....	50
conclusion .....	54
<b>conclusion generale</b> .....	<b>55</b>
<b>conclusion</b> .....	Error! Bookmark not defined.



## Liste des figures

figure 1: <b>cadre</b> géographique de champ de hassi messaoud (wec 2007).....	2
figure 2: schéma des zones du champ de hassi-messaoud (sonatrach 2004).....	3
figure 3: colonne litho-stratigraphique type du champ de hassi messaoud (sonatrach 2005).....	8
figure 4: carte en isobathes à la discordance hercynienne (beicipfranlab2006 export modèle de hassi messaoud). .....	9
figure 5: coupe géostructurale transversale régionale (wec,2007). .....	11
figure 6: les différentes phases tectoniques affectant tel bassin de hassi messaoud (bou djemaa et beicip, 1987).....	12
figure 7: le découpage de réservoir cambrien de hassi messaoud(sonatrach2007).....	14
figure 8: l'essai de traction.....	19
figure 9: l'essai de compression .....	20
figure 10: l'enregistrement des déformations avec différentes pressions de confinement (0,5,10 et 30mpa) .....	21
figure 11: l'enveloppe de mohr .....	21
figure 12: essai de compression simple ,puits omn402 ,drain:d4,cote:3316.70m .....	26
figure 13: essai de compression simple, puits omn 402, drain : d3, cote : 3334.40m.....	27
figure 14: essai de compression simple, puits omn402, drain : d2, cote : 3346.30m.....	28
figure 15: essai de compression simple ,puits omn402,drain:d2,cote:3357.70m .....	29
figure 16: essai de compression simple, puits omn402, drain : id, cote : 3374.40m .....	30
figure 17: essai de compression simple, puits omn402, drain : id, cote : 3384.40m .....	31
figure 18: essai de compression simple, puits omn402, drain : d1, cote : 3406.30m.....	32
figure 19: essai de compression simple, puits omn402, drain : d1, cote : 3408.25m.....	33
figure 20: essai de compression simple à différentes cotes, puits omn402, drain : id.....	34
figure 21: essai de compression simple à différentes cotes, puits omn402, drain : d1 .....	35
figure 22: essai triaxial $p_c=5\text{mpa}$ , puits omn402, drain : d3, cote : 3327.60m .....	38
figure 23: essai triaxial à $p_c=5\text{mpa}$ , puits omn402, drain:d3, cote:3334.40m .....	39
figure 24: essai triaxial à $p_c=5\text{mpa}$ , puits omn402, drain:id,cote:3374.40m .....	40
figure 25: essai triaxial à $p_c=5\text{mpa}$ , puits omn402, drain:id,cote:3384.40m .....	41
figure 26: essai triaxial à $p_c=5\text{mpa}$ , puits omn402, drain:d1,cote:3389.50m.....	42
figure 27: essai triaxial à $p_c=10\text{mpa}$ , puits omn402, drain:d3,cote :3327.60m.....	43
figure 28: essai triaxial à $p_c=10\text{mpa}$ , puits omn 402 , drain:d3,cote :3334.40m.....	44
figure 29: essai triaxial à $p_c=10\text{mpa}$ , puits omn402, drain:id,cote:3374.40m.....	45
figure 30: essai triaxial à $p_c=10\text{mpa}$ , puits omn402, drain:id,cote:3384.40m .....	45
figure 31: essai triaxial à $p_c=10\text{mpa}$ , puits omn402, drain:d1,cote :3389.50m .....	46
figure 32: essai triaxiaux à différentes pressions de confinement omn402, drain:d3,cote:3327.60m .....	46
figure 33: essai triaxiaux à différentes pressions de confinement omn402, drain:id,cote:3374.40m.....	47
figure 34: essai triaxiaux à différentes pressions de confinement omn402 , drain:d3,cote:3327.60m.....	47

figure 35:essai triaxiaux a differentes pressionsdeconfinementomn402, drain :id, cote :3384.40m.....	48
figure 36: essai triaxiaux a differentes pressions de confinement omn402, drain : d1, cote : 3389.50m.....	48
figure 37:enveloppe de rupture de type mohr-coulomb (apres correction). puits omn402.draind3cote 3327.60m.....	51
figure 38:enveloppe de rupture de type mohr-coulomb (avant correction).puits omn402.draind3cote3334.40m .....	51
figure 39:enveloppe de rupture de type mohr-coulomb(apres correction).puitsomn402.draind3cote 3334.40m .....	52
figure 40::enveloppe de rupture de type mohr- coulomb (avant correction). puits omn402.drainidcote3374.40m .....	52
figure 41:enveloppe de rupture de type mohr-coulomb (apres correction). puits omn402. drainid.cote3374.40m.....	53
figure 42:enveloppe de rupture de type mohr-coulomb (avant correction). puits omn402.drainid.cote3384.40m .....	53
figure 43:enveloppe de rupture de type mohr-coulomb (avant correction). puits omn402.drainid. cote 3384.40m.....	54

## Liste des tableaux

Tableau 1:cotes de prelevement des echantillons.....	24
Tableau 2:Resultats Des Essais De Compression Simple.....	25
Tableau 3: Resultats Des Essais Triaxiauxapc=5mpa.....	36
Tableau 4: Resultats Des Essais Triaxiaux A Pc= 10mpa.....	36
Tableau 5 : Essais Triaxiaux Comparesaux Essais De Compression Simple A 3327.60m .....	36
Tableau 6: Essais Triaxiaux Compares Aux Essais De Compression Simple A 3334.40m .....	36
Tableau 7: Essais Triaxiaux Compares Aux Essais De Compression Simple A 3374.40m .....	37
Tableau 8: Essais Triaxiaux Compares Aux Essais Compression Simple A 3384.40m...	37
Tableau 9: Essais Triaxiaux Compares Aux Essais De Compression Simple A 3389.50m .....	37
Tableau 10: Valeursdecetφavantcorrectiondeσrup .....	49
Tableau 11: Valeurs De Cet Φ Apres Correction De □Rup.....	49

# **Introduction générale**

## **Introduction Générale**

Lors du forage et de la production, l'instabilité des puits pose d'importants problèmes aux ingénieurs réservoirs qui vont jusqu'à la fermeture des puits.

Globalement on estime qu'à l'échelle mondiale 70% du temps perdu pendant le forage est dû à des problèmes géomécaniques.

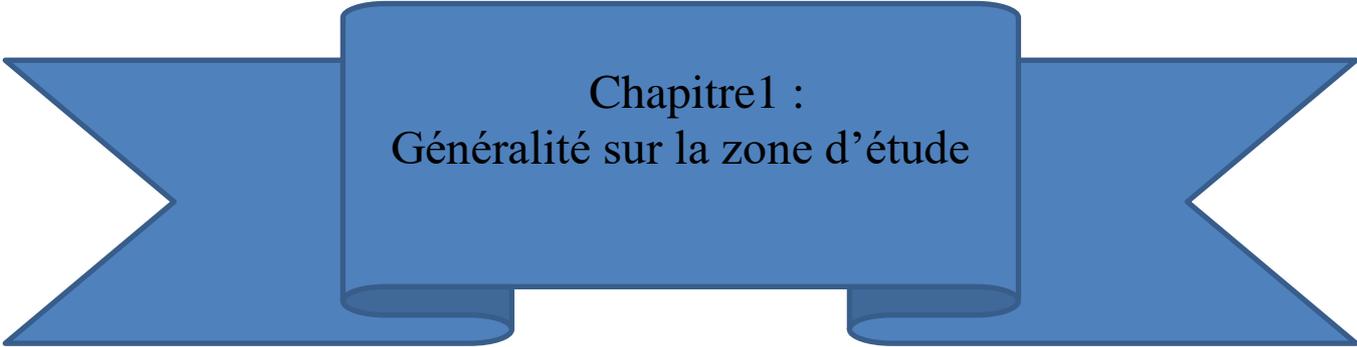
Pour comprendre l'effet de la géomécanique sur les perforations, les puits de forage et les réservoirs entiers, les ingénieurs de champ doivent développer une vue cohérente des contraintes de la terre, de leurs amplitudes et de leurs directions, des propriétés mécaniques de la roche comme les propriétés élastiques et la résistance de la roche, et de la pression des fluides à l'intérieur de la roche. Les concepts de géomécanique exigent une certaine compréhension des contraintes et des déformations, ainsi que de leur relation avec la réponse ou le comportement de la roche.

Ce présent travail s'inscrit dans le cadre de l'évaluation des caractéristiques mécaniques du réservoir Cambrien du champ de Hassi Messaoud. A cet effet nous avons structuré ce document en trois chapitres :

Le premier chapitre présentation de la zone d'étude leur situation géographique, géologie de la région et la stratigraphie.

Le deuxième chapitre, nous avons vu les différents essais réalisés au laboratoire Mécaniques des Roches sur le puits OMN402 et OMN413 afin de valider les paramètres mécaniques.

Le dernier chapitre concerne d'une présentation des résultats obtenu à partir les essais réalisés au laboratoire.



Chapitre 1 :  
Généralité sur la zone d'étude

## Introduction :

Le champ de Hassi Messaoud est le plus grand champ pétrolier, dont la contribution dans la production nationale est d'environ 40%. C'est un anticlinale d'âge Cambrien mis en évidence par le forage du 1<sup>er</sup> puits MD1 en janvier 1957. Les accumulations prouvées s'étalent sur une superficie de 3300 km<sup>2</sup> avec une profondeur d'environ 3400m et d'une épaisseur allant jusqu'à 250 m. Mis en production en 1958.

### 1. Cadre géographique :

La partie Est de la province pétro-gazifière de l'Algérie contient un gisement considéré comme étant le plus grand gisement dans le monde, c'est le champ Hassi Messaoud avec une superficie de 4200 Km<sup>2</sup>, avait été octroyée le 1<sup>er</sup> Novembre 1961 à l'association SN REPAL-CFP(A), ces réserves ont une superficie de dimension 40\*40 km. Il contribue pour plus de 50% de la production algérienne, Il se situe à 650 km Sud-Sud-Est du capital Alger, à 350 km de la frontière Algéro-tunisienne, et à 80Km à l'Est d'Ouargla. Sa localisation en coordonnées LAMBERT est la suivante :

X =790.000– 840.000 Est

Y =110.000– 150.000Nord

Pour les coordonnées géographiques s'encadré par les latitudes 31°.30' et 32°.00' et les longitudes 5°.40' et 6°.20'.

Il est limité :

- Au Nord par Rhour de Chegga.
- Au Sud par El-Gassi, et El Agreb.
- Al'Est par les gisements ;Rhourde El Baguel.
- Al'ouest par Haoud Berkaou (figure1)

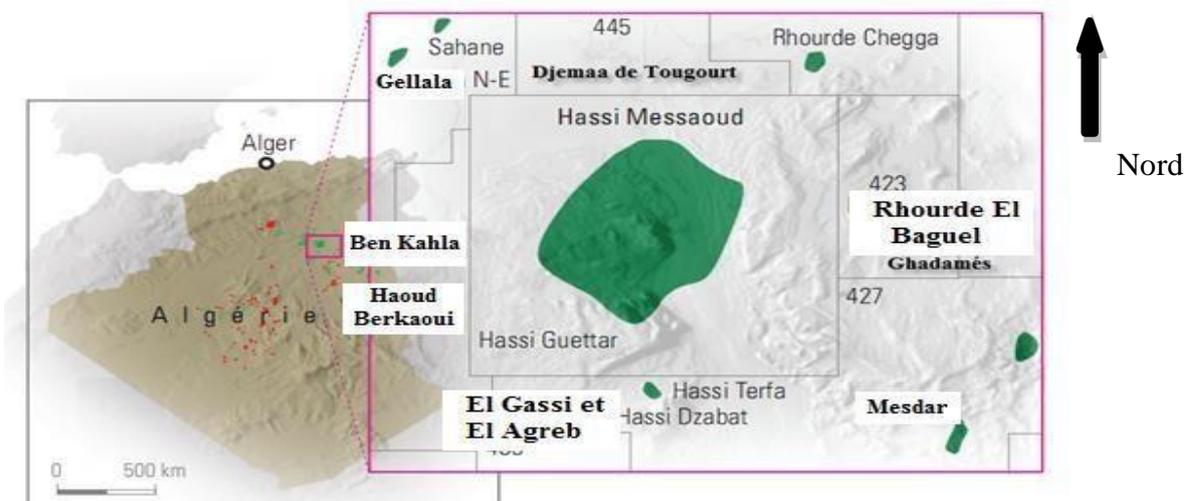


Figure 1 : Cadre géographique de champ de Hassi Messaoud( WEC 2007).

### 2. Cadre géologique:

La structure de Hassi Messaoud forme la partie centrale de la province triasique avec d'autre ensemble de structure, résultat d'une paléo tectonique intense affecte ce gisement, elle correspond au prolongement du môled'Amguid-El Biod vers le Nord.

Ce gisement est limité par :

Au Nord, par la structure Djemâa-Touggourt. Au Sud, par le haut-fond d'Amguid-El Biod.

À l'Est, par les dépressions de Daharet de Ghadamès. À l'Ouest, par la dépression d'Oued Mya

### 3. Zonation du champ de HMD

Le champ du Hassi Messaoud est subdivisé en 25 zones, de production, l'évolution de pression en fonction de la production permet de tracer des zones d'iso-pression, c'est-à-dire la même pression de gisement, ou bien ils sont connectés entre eux par fracturation sur le plan structural, il y a des sous zones dans quelques zones. (figure 2)

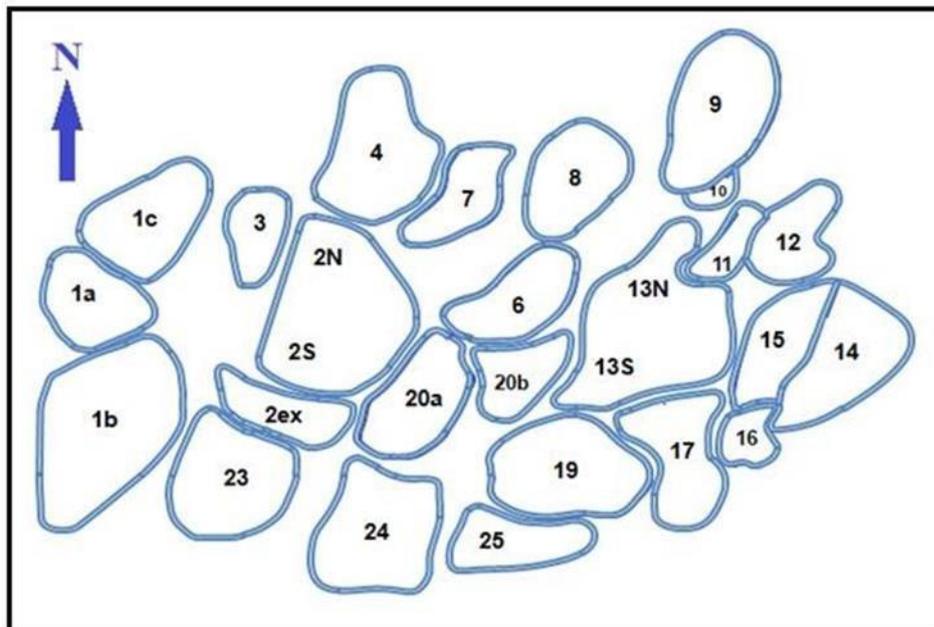


Figure 2: Schéma des zones du champ de Hassi-Messaoud (SONATRACH 2004).

### 4. Stratigraphie du champ d'étude:

Sur le socle granitique repose le Paléozoïque, ce dernier concernant Silurien, Dévonien, Carbonifère, et le Permien ont été érodés dans le centre de structure à cause de la phase Hercynienne, par conséquent, les dépôts Mésozoïque reposent directement sur le Cambro-Ordovicien. La série devient plus complète vers la périphérie du champ.

La description faite par SONTRACH, de la base au sommet on distingue

#### 4.1. Le Socle:

Rencontré au niveau des puits MD2 à 3658 mètres et Om81 à 4533 mètres, essentiellement constitué de granite porphyroïde en couleur rose.

## **4.2. Infracambrien :**

Reconnu par le forage Om47 à une profondeur de 4092 mètres, c'est l'unité lithologique la plus ancienne rencontrée par les forages, affleuré dans la région nord de la structure, essentiellement constitué de grès argileux rouges d'une épaisseur d'environ 45 mètres.

## **4.3. Le Paléozoïque:**

La discordance Panafricaine sépare le socle et les formations Paléozoïque, ce dernier contient :

### **a. Le Cambrien:**

Représente le réservoir principal de Hassi Messaoud, de nature grès hétérogènes, fins à très grossiers entrecoupés de passées de silts argileux, micacés. Epaisseur moyenne de 590m. Subdivisé en quatre (04) litho zones (RaRiR2R3) :

#### **a.1 Lithozone R3:**

Son épaisseur moyenne est de 370 m. La lithozone R3 repose sur l'infracambrien ou directement sur le socle. Il se compose de grès feldspathiques et micacés à grains moyens à très grossiers conglomératiques à la base, à ciment argileux abondant, admettant des passées de grès ferrugineux et d'argile silteuse. Il ne présente aucun intérêt pétrolier à cause de ses faibles propriétés matricielles et de sa position profonde au-dessus du plan d'eau.

#### **a.2 Lithozone R2:**

Son épaisseur moyenne est de 100 mètres. La lithozone R2 se compose de grès moyens à grossiers micacés, mal classés, à ciment argileux assez abondant et admettant des intercalations de silts. Les stratifications sont souvent obliques. Il est exploitable lorsqu'il est en position haute.

#### **a.3 Lithozone Ra:**

Son épaisseur moyenne est de 125 mètres. Elle se compose de grès à grès quartzites anisométriques moyens à grossiers, à ciment argileux et siliceux, admettant de nombreuses passées de silts centimétrique 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.

Selon LHOMER 1966, le "Ra" est subdivisé en trois classes granulométriques:

La zone grossière inférieure ou Ra inférieur subdivisée en drains : « D1, ID, D2 » ce sont des grès grossiers, mal classés à stratifications obliques.

La zone médiane fine correspond au drain « D3 », constituée de matériaux à grains fins à très fins, bien classés avec abondance de Tigillites et d'intercalations argileuses et silteuses.

La zone grossière supérieure correspond à la lithozone « D4 », elle est constituée presque des mêmes grès que ceux du « Ra » inférieur.

NB : le mot « drain » est un terme désignant une surface de drainage favorable.

#### **a.4 Lithozone Ri (Cambro-ordovicien):**

Son épaisseur moyenne est de 42m. Le passage entre le Cambrien et l'Ordovicien n'est pas bien marqué, c'est pourquoi on peut distinguer une zone de passage appelée "Cambro-ordovicien".

Elle se compose de grès quartzitiques isométriques fins bien classés, à ciment argileux et siliceux, avec une présence abondante de Tigillites. Sur le plan pétrolier cette zone représente un réservoir secondaire.

#### **b. L'Ordovicien:**

Ils sont subdivisés en plusieurs unités. Ces unités sont les suivantes de bas en haut:

##### **b.1 La zone des alternances:**

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

##### **b.2 Les argiles d'El-Gassi:**

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

##### **b.3 Les grès d'El Atchane:**

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

##### **b.4 Quartzites El-Hamra:**

Ce sont des grès fins à moyens, silico-argileux à quartzitiques avec de fines passées d'argile grise verte, indurée et silteuse.

#### **4.4. Le Mésozoïque:**

##### **a. Le Trias:**

Il repose en discordance sur les terrains paléozoïques, il est subdivisé dans la zone d'étude en quatre termes : La série inférieure, le Trias éruptif, le Trias argileux et le Trias salifère.

##### **a.1 La série inférieure:**

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

##### **a.2 Le Trias éruptif:**

Ce sont des roches éruptives gris brun, vertes, parfois violacées riches en minéraux verts avec des passées d'argile brune, indurée, silteuse.

##### **a.3 Le Trias argileux:**

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

##### **a.4 Le Trias salifère:**

Il est limité à sa base par le repère dolomitique «d2»; sa constitution est la suivante: Le Trias salifère «S3 », le Trias salifère «S2 » et le Trias salifère «S1 ».

## **b. LeJurassique:**

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

### **b.1 LeLias:**

C'est essentiellement une anhydrite blanche à passées d'argile grise à gris vert, parfois brune, dolomitique et de dolomie microcristalline beige et dure. Il comprend: L'horizon

«B », le Lias salifère «LS2 », le Lias dolomitique «LD2 », le Lias salifère «LS1 » et le Lias dolomitique « LD1 »

#### **Lias dolomitique «LD3»:**

D'une épaisseur de 31 m, il est constitué de marnes grises avec des passées de dolomies grises.

#### **Liassalifère «LS2»:**

D'une épaisseur de 58 m, il est constitué de sels translucides et de passées d'argiles de couleur brun-rouge.

#### **Lias dolomitique «LD2»:**

D'une épaisseur de 55 m, il est formé d'une alternance de bancs de dolomies massives à grains fins, de couleur grisâtre avec des passées de marnes grises légèrement dolomitique.

#### **Lias salifère «LS1»:**

D'une épaisseur moyenne de 90 m, il est constitué d'argiles brunes passées de sel et d'anhydrites blanches.

#### **Lias dolomitique «LD1»:**

Épais de 66 m, il est constitué de bancs de dolomies et d'anhydrites à passées d'argiles et de calcaires.

### **b.2 LeDogger:**

Il est subdivisé essentiellement en deux séries:

#### **LeDogger lagunaire:**

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

#### **LeDogger argileux:**

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

#### **LeMalm:**

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

### **c. LeCrétacé:**

LeNéocomien:

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

#### **c.1 LeBarrémien:**

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

#### **c.2 L'Aptien:**

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

#### **c.3 L'Albien:**

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

#### **c.4 LeCénomanién:**

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

#### **c.5 LeTuronien:**

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

#### **c.6 LeSénonien:**

Il est fortement développé dans la région de Hassi Guettaret, se subdivise en trois parties :

#### **c.7 LeSénoniensalifère:**

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

#### **c.8 LeSénonienlagunaire:**

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

#### **c.9 LeSénoniencarbonaté:**

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

### **4.5. Le Cénozoïque :**

Il est défini par :

#### **d. L'Eocène :**

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

e. Le Mio-pliocène :

Essentiellement constitué par des sables jaunâtres moyens à grossiers, silico- carbonatés, intercalés de lits d'argile gris vert et de calcaire dolomitique microcristallin tendre à induré. (Voire la figure3)

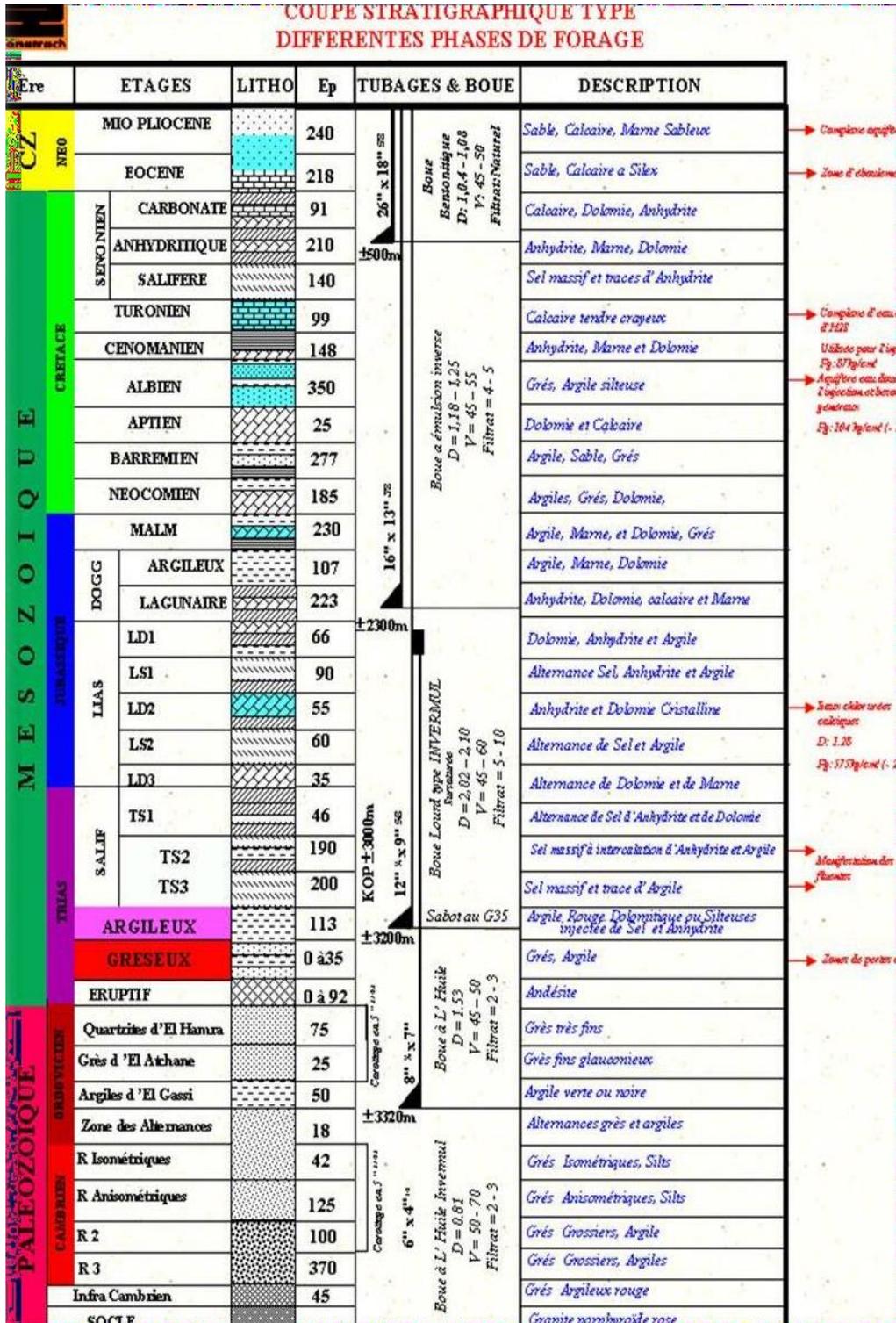


Figure 3 : Colonne litho-stratigraphique type du champ de Hassi Messaoud (Sonatrach 2005).

## 5. Tectonique et évolution Structural :

Hassi Messaoud a une structure d'un vaste dôme anticlinal aplati, avec direction générale NE-SO, structurellement, deux types d'accidents affectent le réservoir :

- a. Les failles de directions subméridiennes N.NE –S.SO ainsi que d'autres failles qui leurs sont perpendiculaires de direction NO-SE, ceci fait ressortir le caractère tectonique en Horst et Graben.
- b. Les cassures sans rejets ou flexures qui ont eu un grand effet sur la fracturation du réservoir et donc les paramètres pétrographiques de réservoir.(voire la figure4)

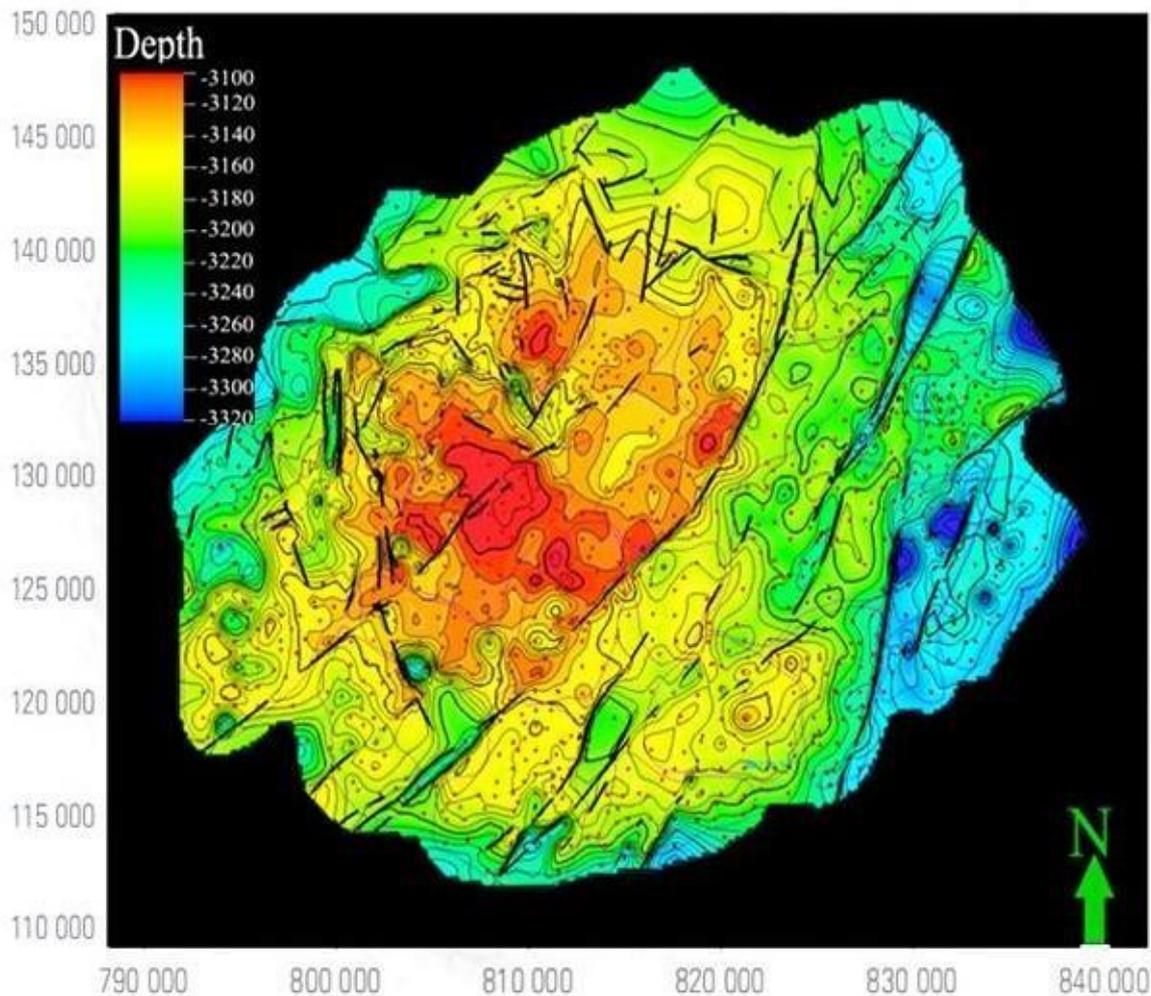


Figure 4 : Carte en isobathes à la discordance Hercynienne (BEICIPFRANLAB2006 export modèle de Hassi Messaoud).

La structuration de champ de Hassi Messaoud est résultat de plusieurs phases tectoniques, chronologiquement sont :

### 5.1. Structuration ante-Triasique :

#### a. La phase Panafricaine :

C'est une phase compressive de direction E-O, due à une collision continentale entre le craton West africain rigide et le bloc Est Africain plastique (Bertand et R. Caby 1978), provoquant une tectonique cassante ,représentée par un réseau de failles de directions NE-SO, NO-SE suivie d'une érosion intense qui s'est installée jusqu'au Cambrien conduisant à la

formation d'une surface de pénéplanation appelée surface infra-tassilienne. Cette pédiplaine marque le début d'une histoire cratonique du Sahara.

Au Cambro-Ordovicien Des mouvements distendus de directions NO-SE interviennent, qui sont à l'origine de l'étirement de la croûte continentale suivie d'une subsidencetectonique et plus tard thermique,cette distension provoque un jeu de faille normales (NE- SO) préexistant dans le socle accompagné de volcanisme (Beicip/Franlab 1979).

### **b. La phase Eo-Calédonienne précoce ou Anté-tramadocienne ou Tectonique :**

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-SO et accompagnée de volcanisme (Beicip/Franlab 1979).

### **c. La phase Calédonienne majeure :**

Datée d'environ de 400 millions d'années, cette phase est régionalement connue par l'absence des sédiments de Dévonien et du Carbonifère dans toute la surface du haut fond 'ElBiod. 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 débuté au Silurien ou au Dévonien inférieur (MASSA-NICOL-1971).

### **d. La phase Hercynienne :**

Datée de 225 à 280Ma, cette phase est responsable d'un grand bombement de direction NE-SO accompagnée du jeu de failles de mêmes 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 NO-SE, c'est à dire, perpendiculaire aux accidents majeurs.

### **5.2. Structurations Post-triasique :**

Les effets de cette phase sont relativement faibles et ne correspondent qu'à 50 à 100m de fermeture structurale (2950-3050m). Ces déformations s'accompagnent d'un basculement vers le NO d'environ 200m entre la partie SE et NO, ce basculement a eu lieu au Mésozoïque. La fermeture N-S est beaucoup plus importante que la fermeture O-E et pourrait être due aux mouvements d'âge éocène qui est une phase tectonique atlasique avec une direction de compression NNO-SSE. (Beicip/Franlab 1979).

### **e. La phase Autrichienne:**

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

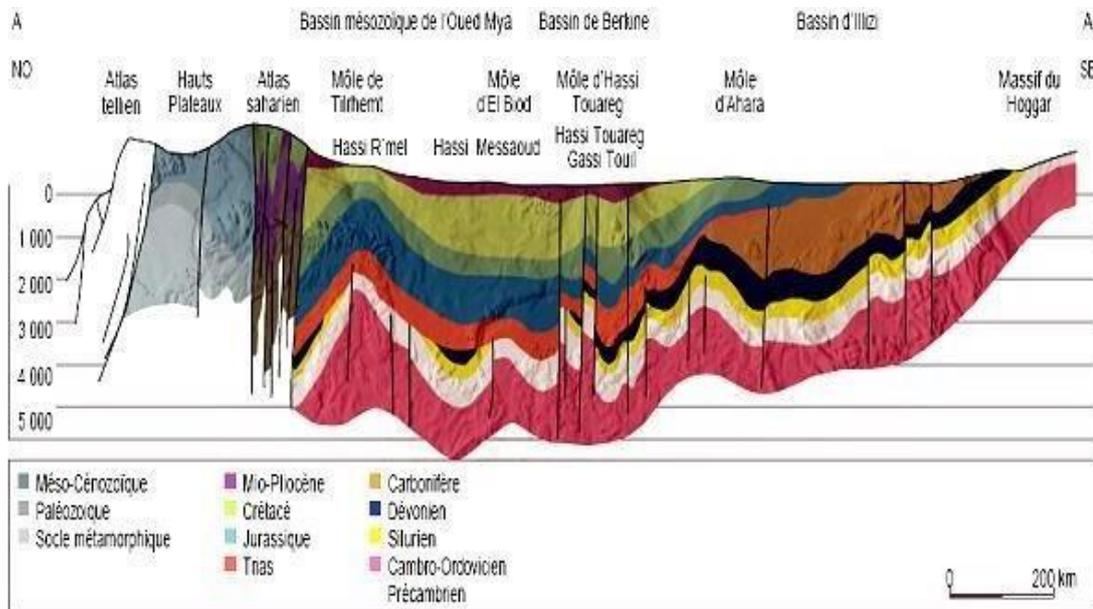
Elle est presque synchrone de la mise en place des hydrocarbures, car la formation de ces derniers a débuté au jurassique et s'est poursuivie pendant le Crétacé.

**f. LaphaseAtlasique:**

C'est une phase dont la compression est de direction NNE-SSO, postérieure à la formation des hydrocarbures, donc elle est probablement à l'origine des barrières de perméabilité du es à un décalage des niveaux réservoirs. (Voire la figure 6)

**5.3. Structuration actuelle :**

Cette structuration montre une fermeture de 300m entre les bordures et le top du gisement, elle est compressive à raccourcissement N-S, elle a subi un affaiblissement à juste titre épirogénique. Cette dernière à un allongement général NE-SO, 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 80m. (Beicip/Franlab). (Voire la figure 5)



**Figure 5: Coupe géostratigraphique transversale régionale (WEC, 2007).**

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		
		Moyen		FRASNIENNE	 N . W - S . E	Jeu en failles normales sur les failles NE - SW (Variation de faciès et d'épaisseur) ( Volcanisme )
		Inférieur				
		SILURIEN		PHASE		Jeu en inverse sur les failles N - S ( Erosion sur les môles sub-méridien " T i h e m b o k a " )
		ORDOVICIEN		CALEDONIEENNE	 E . W ??	
	CAMBRIEN		PHASE PANAFRICAINNE TARDIVE	 E . W	Tectonique cassante réseau NE-SW et NW-SE ( Caractérisation du sahara central )	

Figure 6: Les différentes phases tectoniques affectant tel Bassin de Hassi Messaoud (Bou djemaa et Beicip, 1987).

## 6. Aspect pétrolier:

### 6.1. Roche mère:

Les argiles du Silurien constituent la roche mère source génératrice des hydrocarbures à l'échelle de toute la plateforme saharienne.

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

La matière organique est de nature amorphe. Actuellement, on peut dire qu'après la diagenèse 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 M'ya, au Sud-ouest dans le bassin de Mouydir et à l'Est le bassin de Berkine.

## **6.2. Roche réservoir:**

Le Cambro-ordoviciens est la roche productrice à Hassi Messaoud, le milieu de dépôt de ce dernier est fluviatile, d'un chenal en tresse, Sa profondeur varie entre 3100 et 3380m, Son épaisseur va jusqu'à 200m.

Le réservoir Cambrien dominant dans toute la région de Hassi Messaoud et sa périphérie, constitue le réservoir principal, ce réservoir est découpé en plusieurs drains, selon la séquence sédimentaire, ce découpage est basé sur les logs de diagraphie, clairement au Gamma Ray et Neutron, subdivisé de bas vers le sommet comme suivant : (Voire la figure 7)

- R3.
- R2(R2C et R2ab).
- R1(Ra,Ri),Ra(D1, ID, D2,D3,D4),Ri(D5).

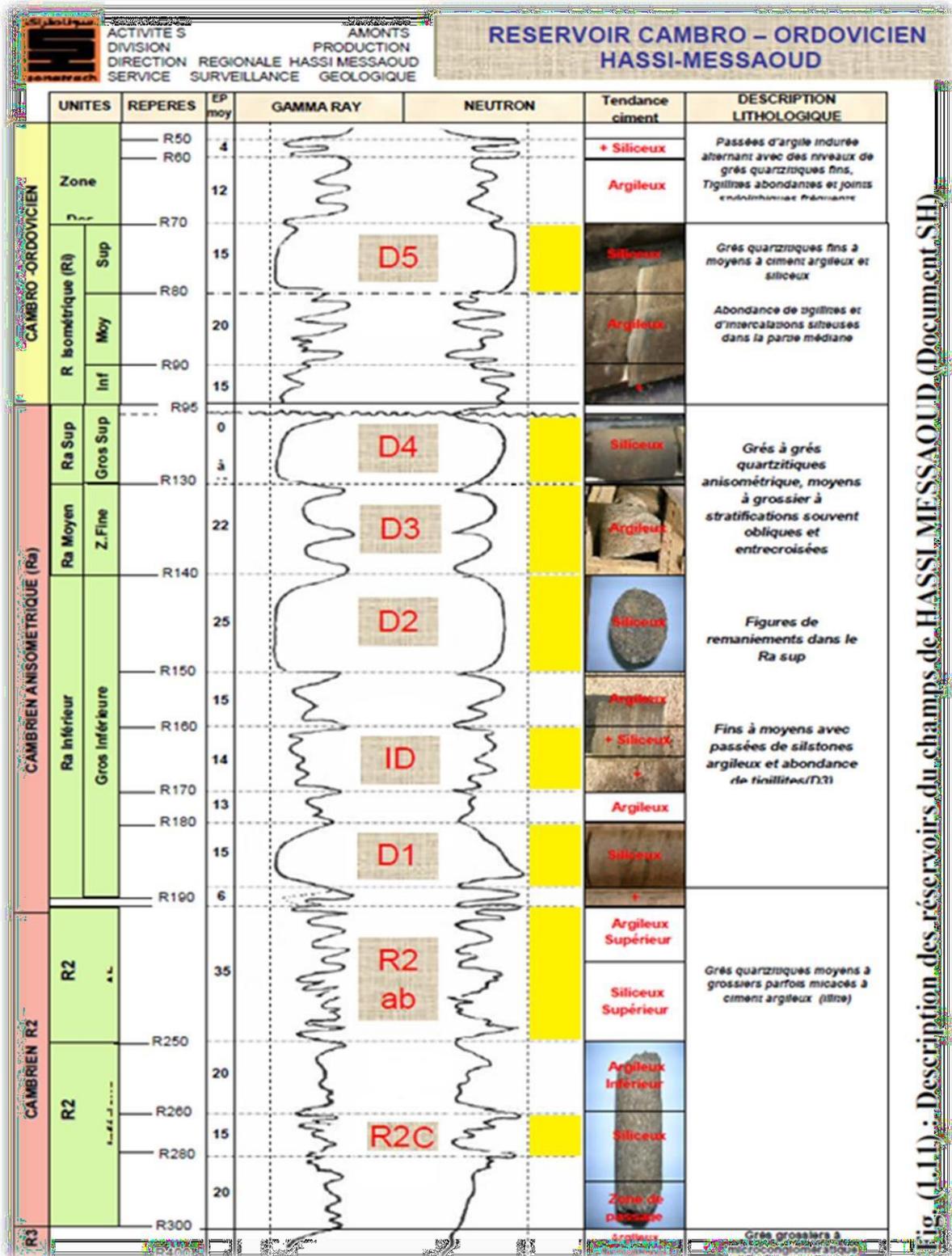


Figure 7: Le Découpage de réservoir Cambrien de Hassi Messaoud(SONATRACH2007).

Le réserve Ordovicien est considérée comme un massive compacte, constitué de zone d'alternance, argiles d'El Gassi, grès d'El Atchane, et quartzite El Hamra, érodé dans la partie centrale de Hassi Messaoud à cause de la discordance Hercynienne.

### **6.3. Roche couverture :**

La couverture des réservoirs Ordoviciens est assurée respectivement par l'épanchement des roches éruptives ainsi que, par les épaisses séries des évaporites d'âge Triasique et /ou Jurassique.

Les réservoirs Cambriens, leur couverture est assurée par les argiles d'El Gassi donc, les séries argilo-gréseuses du Lias et du Trias et à un degré moindre, la série inférieure (roches éruptives) du Trias assureront l'étanchéité pour les quartzites de Hamratandis que, la série des argiles d'El Gassi et les intrusions y intercalées formeront une couverture remarquable à l'ensemble des réservoirs Cambriens.

### **7. Les 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.

D'après, il existe trois types de piège :

#### **a. Les pièges structuraux :**

Ces pièges sont le résultat de mouvements tectoniques tels que les anticlinaux.

#### **b. Les pièges stratigraphiques :**

C'est la combinaison de deux milieux différents correspondant au passage d'un milieu perméable à un autre imperméable, tels que les lentilles gréseuses, les biseaux stratigraphiques.

#### **c. Les pièges mixtes :**

Ils sont à la fois structuraux et stratigraphiques, comme par exemple les pièges contre failles 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.

#### **d. Migration des hydrocarbures :**

Les accumulations d'hydrocarbures du champ de Hassi Messaoud et de tout champ avoisinant proviennent probablement des deux bassins Oued Mya à l'ouest et Berkine (Illizi) à l'Est.

La migration primaire et l'alimentation de ces champs s'est effectuée au sein du Silurien, en suite à travers les niveaux gréseux triasiques au contact de la discordance Hercynienne concernant la migration secondaire.

Les réservoirs Cambro-ordoviciens affleurant à la discordance Hercynienne sont alimentés à partir des grès Triasiques et la surface d'érosion qui sont en « updip » au Nord et Nord-Ouest par rapport au chemin de migration.

**Conclusion :**

Hassi Messaoud fait partie de la province orientale, avec une superficie de 4200km<sup>2</sup>, et surface de

Réserve d'environ 40\*40km<sup>2</sup>, géologiquement subdivisé en 2 parties, Nord (OM,ON), Sud(MD),

Selon la pression de gisement, il est en 25 zones productrices, la roche mère est de Silurien, mais

Érodé par l'érosion Hercynienne, la roche réservoir est le Cambro- Ordovicien, le Cambrien est

Affleure dans tout le champ, mais l'ordovicien érodé dans la partie centrale, et affleure dans

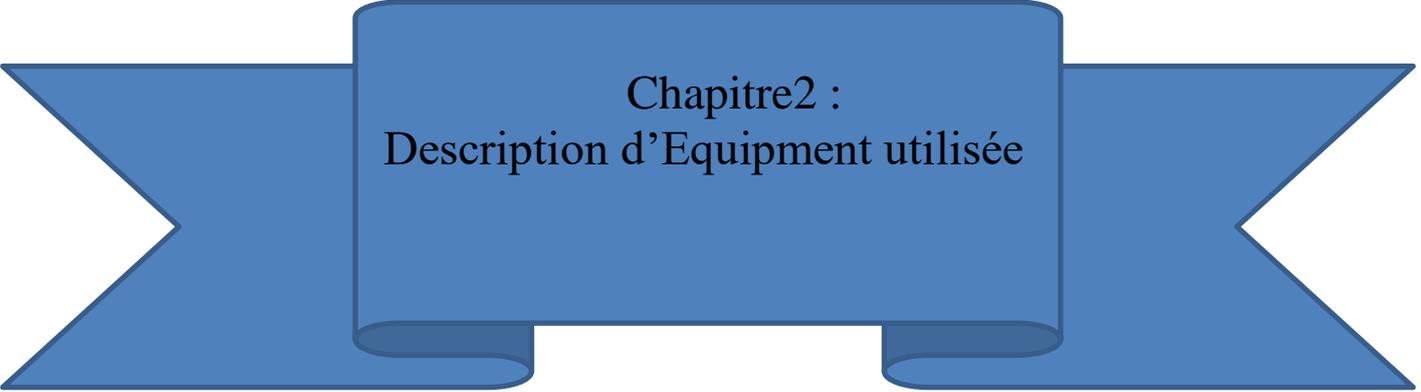
Les périphéries de champ (Hassi Terfa, Hassi Guettar, RhourdeChegga.....), pour la couverture, assuré

Parles roches éruptifs de Trias.

Structuralement, Hassi Messaoud est un vaste dôme aplati, de direction NE-SO, affecté par 7

Phases tectoniques, compressives distensifs, par conséquence, un réseau des fissures et parfois failles

Caractérise le réservoir cambro-ordovicien



Chapitre2 :  
Description d'Equipment utilisée

## **Introduction :**

Les caractéristiques comportementales et géomécaniques des roches sont déterminées à travers une série variée de tests en laboratoire, utilisant des échantillons de taille allant de centimètres à décimètres. Ces tests fournissent des données essentielles sur les propriétés mécaniques des roches, nécessaires pour résoudre divers problèmes courants dans l'industrie pétrolière, tels que la stabilité des parois des puits, la compressibilité de la formation rocheuse, la compaction due aux variations de pression dans le réservoir, ainsi que le contrôle de la géométrie des fractures hydrauliques, entre autres.

Les essais les plus couramment utilisés dans le domaine de l'ingénierie pétrolière, dont la plupart sont des procédures standard, sont réalisés par le Laboratoire de Mécanique des Roches (LMR) au sein du Centre de Recherche et Développement de Sonatrach (CRD).

### **1. Fonctions du laboratoire de mécanique des roches :**

La principale mission du laboratoire de mécanique des roches de la Division laboratoires (DLAB) est de fournir des paramètres géomécaniques pour des modélisations de puits, notamment dans le cadre du forage et de la fracturation hydraulique.

Le laboratoire MDR est capable de réaliser quelque type d'essais dont l'essai triaxial Sonique., l'essai triaxial roche, l'essai microfissuration, et autres. Dans cette étude nous avons abordé trois essais dont l'essai de traction, l'essai de compression simple (uniaxial), et l'essai de compression triaxial.

### **2. Les domaines d'activité du laboratoire MDR :**

Les domaines d'activité du laboratoire MDR sont

#### **2.1. Forage :**

Les caractéristiques mécaniques sont exploitées pour évaluer la densité de la boue de forage, ce qui permet de résoudre les défis liés à la stabilité des parois du puits et d'estimer les contraintes en présence.

#### **2.2. Fracturation hydraulique :**

Ces paramètres mécaniques servent d'entrées pour concevoir l'opération de fracturation hydraulique, permettant ainsi d'estimer l'ampleur des fractures induites et les pressions pendant l'opération.

### 3. Description des équipements

#### 3.1. L'essai de traction :

La réalisation d'essais de traction directe rencontre souvent le problème de collage des têtes des échantillons sur le dispositif intermédiaire de la machine d'essai. Pour les roches dont la résistance à la traction dépasse 15 MPa, la résistance à la traction peut être limitée par l'adhérence entre la colle et l'échantillon. C'est pourquoi l'essai brésilien, une forme de traction indirecte, a été adopté dans le domaine des roches. Dans cet essai, une éprouvette avec un rapport hauteur/diamètre minimal d'un est soumise à une compression le long de deux génératrices opposées. La vitesse de chargement recommandée par la SIMR (Société Internationale de Mécanique des Roches) est de 200 N/s (Manuel de Mécanique des Roches, 2000). La résistance à la traction est calculée par :

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi DL} \text{ (Comité Français de Mécanique de Roches 2000)}$$

Avec  $\sigma_t$  résistance à la traction, P effort à la rupture, D diamètre de l'éprouvette, longueur de l'éprouvette. L'état de contrainte au centre de l'éprouvette, au moment de la rupture, est représenté par une contrainte de compression  $\sigma_y$  égale à :

$$\sigma_y = \frac{6P}{\pi DL} \text{ (Comité Français de Mécanique de Roches 2000)}$$

La contrainte horizontale  $\sigma_x$  correspond à la valeur de la résistance à la traction. L'essai brésilien est considéré comme un test de traction uniquement pour les matériaux fragiles tels que les roches, le béton et le verre. La rupture doit nécessairement se produire à partir du centre, sous la forme d'une unique fracture verticale. Des difficultés expérimentales peuvent survenir avec les roches fortement anisotropes et les roches ductiles (comme le sel et les argiles). (Voire la figure 8)

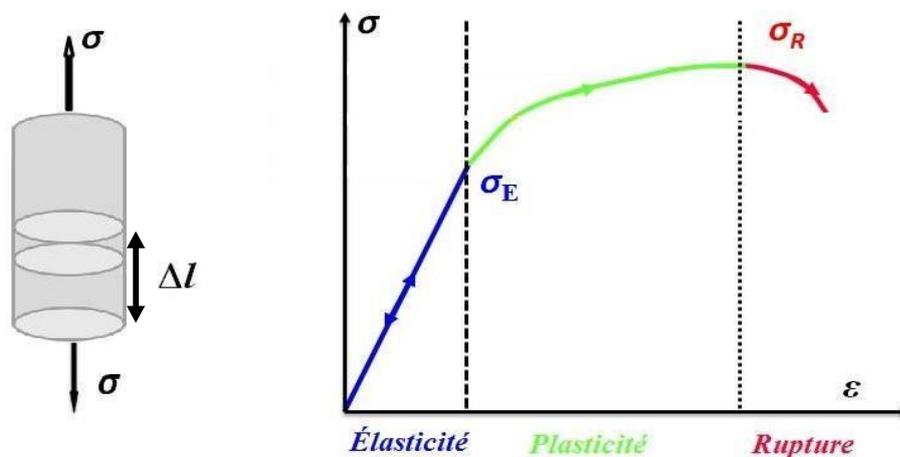


Figure 8:L'essai de traction

### 3.2. L'essai de compression simple (uniaxiale):

L'essai implique l'application d'une charge uniaxiale sur l'échantillon jusqu'à ce qu'il se rompe. La contrainte à la rupture est déterminée comme étant la limite de la résistance à la compression simple. Pendant la phase élastique, on peut également calculer le module de Young et le coefficient de Poisson en mesurant les déformations longitudinale et transversale. (Voire la figure 9)

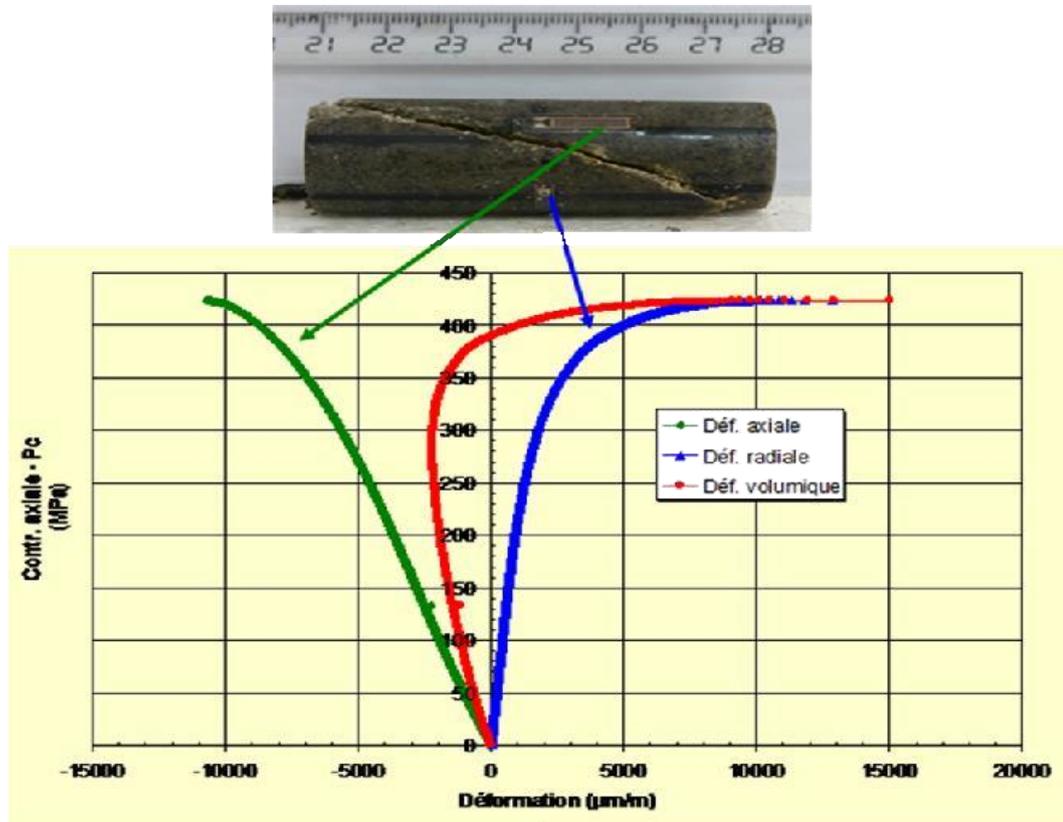


Figure 9:L'essai de compression

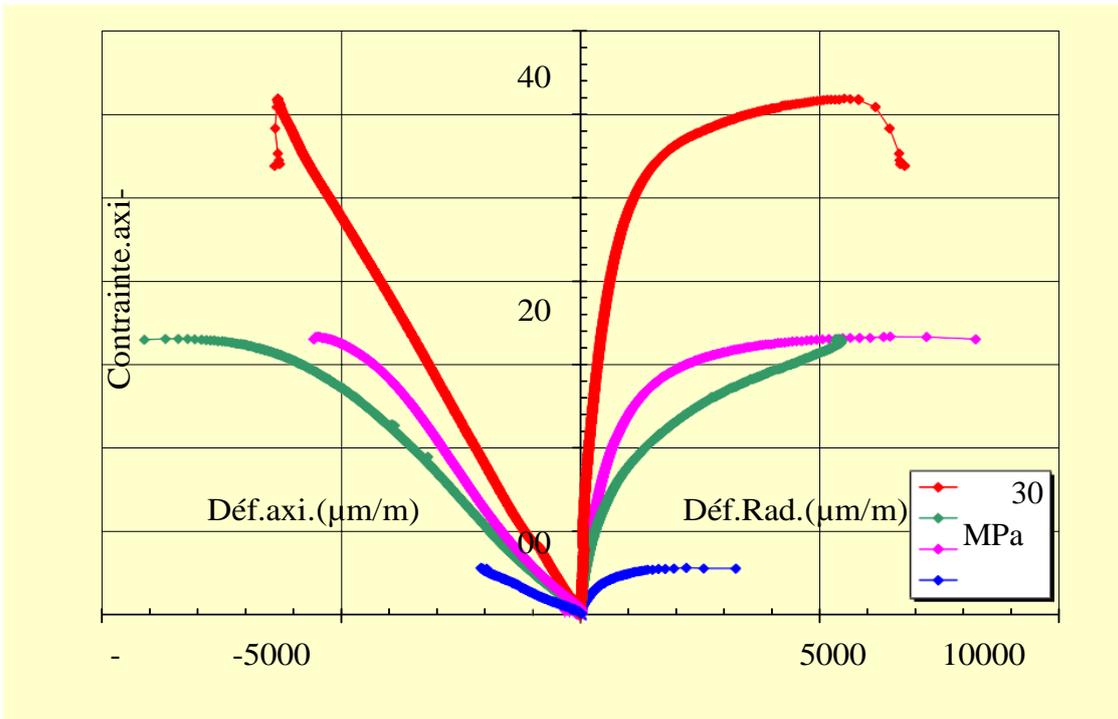
- uniaxial Déformation axiale
- Déformation radiale
- Déformation volumique

Les diverses déformations enregistrées pendant cette expérience nous fournissent des informations sûres :

- La contrainte de rupture par une observation directe.
- Le module de Young, calculé comme  $E_{stat} = \Delta\sigma_{axi} / \Delta\epsilon_{axi}$ .
- Le coefficient de Poisson, défini comme  $\nu = -\Delta\epsilon_{rad} / \Delta\epsilon_{axi}$ .

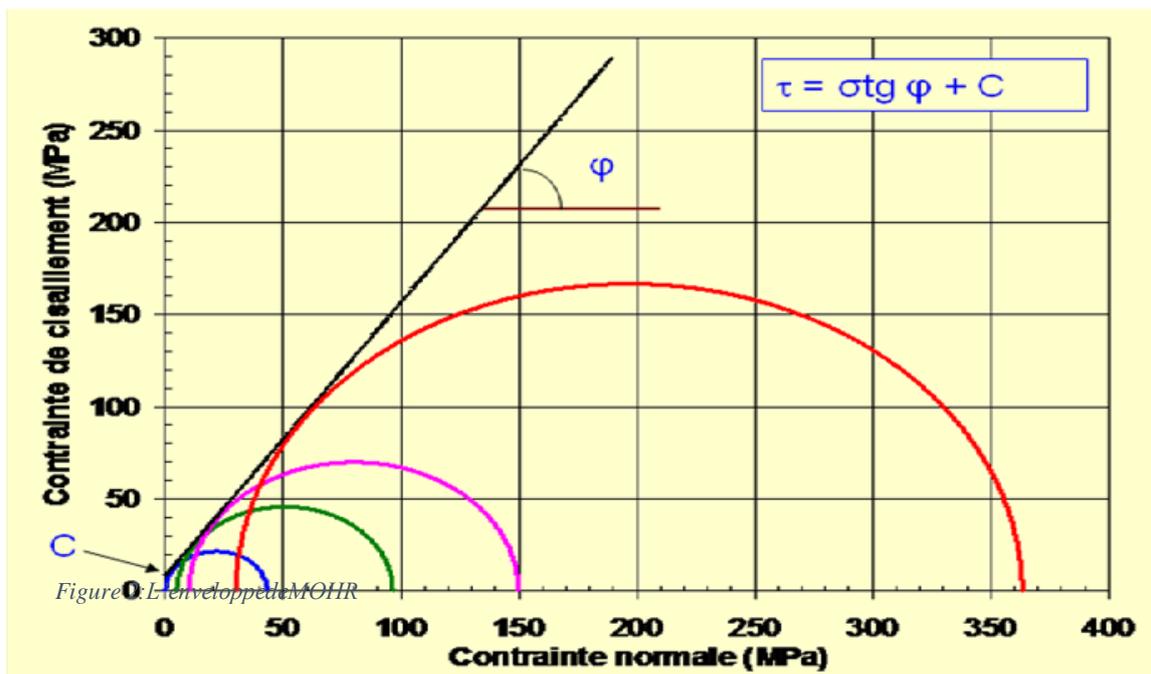
### 3.3. Essai de compression triaxiale :

Dans la méthode de compression triaxiale, un échantillon est placé dans une cellule remplie d'huile sous pression, où il est exposé à un champ de contraintes cylindrique. La pression du fluide crée une contrainte radiale sur la surface de l'échantillon, tandis qu'un piston applique une contrainte longitudinale. Ces deux contraintes principales sont utilisées dans l'essai de compression le plus communément utilisé, pour lequel il existe une abondance de données expérimentales.

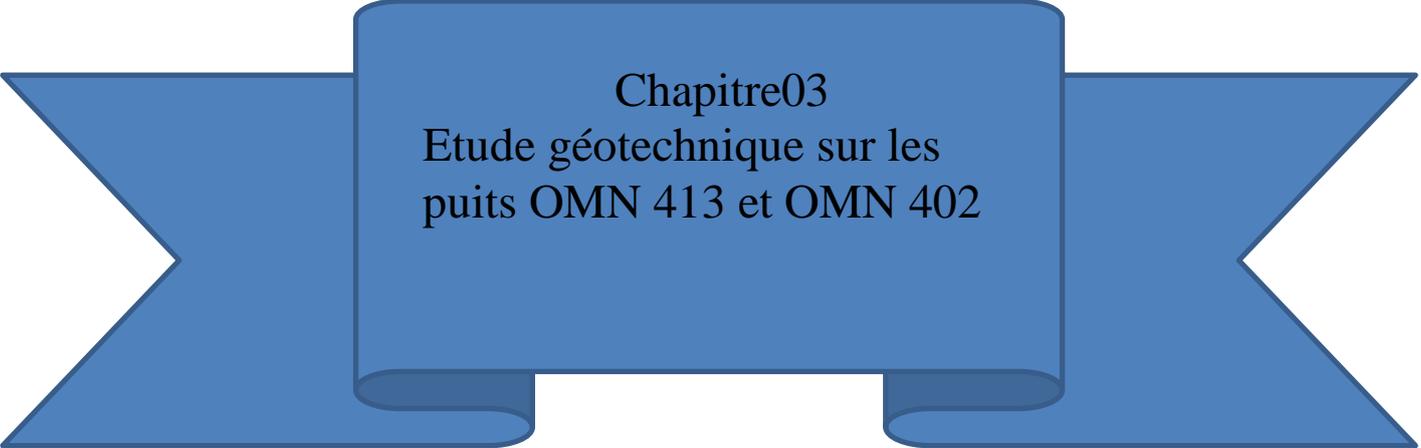


**Figure 10: L'enregistrement des déformations avec différentes pressions de confinement (0,5,10 et 30 MPa)**

La méthode pour déterminer le module de Young et le coefficient de Poisson est similaire à celle utilisée dans l'essai de compression simple. À chaque essai, les deux contraintes principales  $\sigma_r$  et  $\sigma_l$  sont mesurées au point de rupture, ce qui permet de construire le cercle de Mohr correspondant. Pour obtenir la courbe intrinsèque de l'échantillon rocheux, une série d'essais est réalisée, et l'enveloppe des différents cercles de Mohr est déterminée. De là, la contrainte de cisaillement, la cohésion et l'angle de frottement interne peuvent être extraits (voir Figure 11).



**Figure 11: L'enveloppe de MOHR**



Chapitre03  
Etude géotechnique sur les  
puits OMN 413 et OMN 402

## **Introduction :**

Pour valider les caractéristiques mécaniques statiques du réservoir Cambrien de Hassi Messaoud, déduites des données de l'enregistrement sonique DSI de Schlumberger, une analyse géomécanique a été réalisée concernant le puits OMN413.

Des mesures des paramètres mécaniques ont été effectuées sur des échantillons prélevés des carottes du puits OMN402. Avant le prélèvement des échantillons, un enregistrement du rayonnement gamma en surface a été réalisé pour aligner les carottes avec les données électriques. La comparaison entre le rayonnement gamma en surface et le signal de fond a révélé un décalage des carottes de 1.5 m vers le haut.

Le prélèvement des échantillons a été effectué en tenant compte de la variation lithologique et du profil des vitesses d'ondes de compression ( $V_p$ ) et de cisaillement ( $V_s$ ) fourni par la société de services Schlumberger. Au total, vingt-deux (22) essais ont été réalisés entre les essais de compression simple et les essais triaxiaux.

### **1. Travaux réalisés:**

Les opérations effectuées en laboratoire sur le puits OMN402 peuvent être résumées comme suit :

- Prélèvement d'échantillons pour les essais de compression simple et triaxiaux.
- Réalisation des essais de rupture sous différentes pressions de confinement.

#### **1.1. Prélèvement des échantillons :**

Selon la variation lithologique et le profil des vitesses d'ondes de compressions  $V_p$  et de Cisaillements  $V_s$ , un total de 48 échantillons a été prélevé respectivement aux cotes suivantes :

**Tableau 1: Côtes de prélèvement des échantillons**

Drains	Côte de prélèvement (m)	Nombre d'échantillons
D4	3301.10	2
	3316.70	2
D3	3322.20	1
	3327.60	4
	3330.40	1
	3334.40	4
	3335.40	1
D2	3340.80	1
	3341.30	1
	3344.30	1
	3346.30	2
	3354.40	1
	3357.70	1
ID	3364.80	1
	3366.20	1
	3370.20	2
	3374.40	4
	3375.40	1
	3377.80	1
	3384.40	3
	3387.90	1
D1	3389.50	4
	3398.00	1
	3402.70	1
	3406.30	2
	3408.25	3
	3408.80	1
Total		48

Le prélèvement des échantillons a été fait à l'eau.

Les échantillons prélevés parallèlement à l'axe de la carotte (verticaux) sont de diamètre égal à 2.54 cm et d'élanement 2 (Longueur=2foisleDiamètre).

### 1.2. Essais de compression simple :

L'essai consiste à appliquer sur l'échantillon un chargement uniaxial jusqu'à atteindre la rupture. Ce type de test a été réalisé sur douze échantillons et les résultats obtenus sont portés sur le tableau 2.

La contrainte de rupture ou résistance à la compression simple "UCS" est déduite ~~de~~ par simple lecture des acquisitions enregistrées lors de l'essai.

Le Module de Young " $E$ " est déterminé par le rapport entre la variation de la contrainte axiale et la variation des déformations axiales associées durant la phase de déformation élastique.

Le Coefficient de Poisson " $\nu$ " est calculé par le rapport entre les variations de déformations radiales et axiales.

$$\nu = -\Delta \epsilon_{\text{rad}} / \Delta \epsilon_{\text{axi}}$$

Les courbes de déformations axiales et radiales sont illustrées par les figures 1 à 8.

**Tableau 2: Résultats des essais de compression simple**

Côte(m)	Drains	Résultats des essais		
		UCS(MPa)	E(GPa)	$\nu$
3316.70	D4	89.71	37.2	0.17
3327.60	D3	40.17	ND	ND
3334.40		31.45	25.80	0.20
3340.80	D2	63.34	ND	ND
3346.30		60.47	30.76	0.18
3357.70		61.90	38.69	0.34*
3364.80	ID	74.92	ND	ND
3374.40		48.88	18.76	0.29
3384.40		43.70	27.23	0.38*
3389.50	D1	NC	NC	NC
3406.30		34.32	15.55	0.32
3408.25		43.81	42.54	0.22

NC : Essai non concluant. ND: Valeur non déterminée

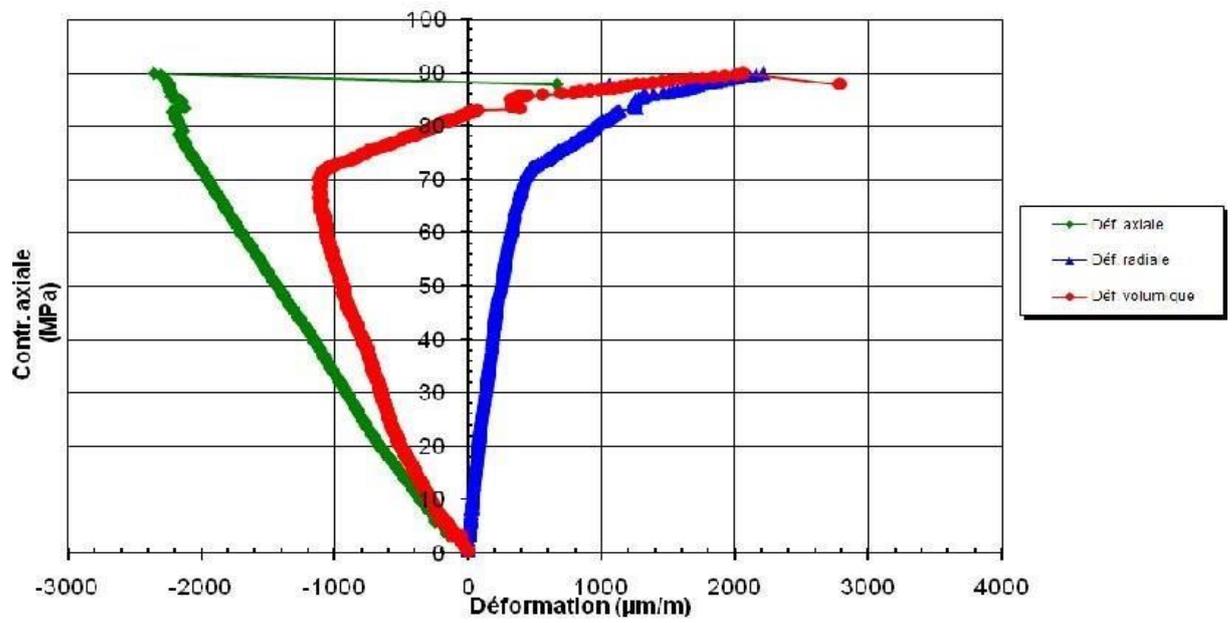
(dysfonctionnement des jauges)

\*: valeur suspecte (déformation radiale importante)

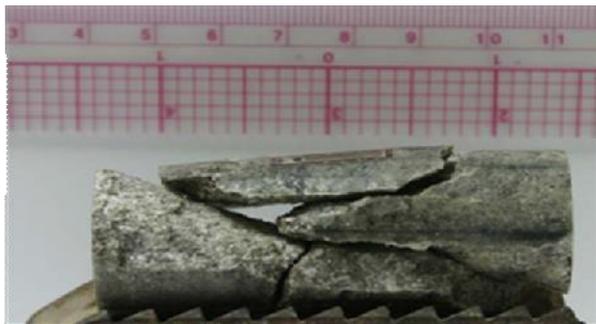
Le tracé des trois paramètres ( $UCS$ ,  $E$  et  $\nu$ ) en fonction de la profondeur montre une diminution de

La résistance à la compression simple et de module de Young (figure 9 et 10), ce qui n'est pas le cas pour la figure 11 où l'on observe une variation aléatoire du coefficient de Poisson en fonction de la profondeur.

Cette variation aléatoire semble être justifiée par le comportement singulier de certains échantillons. En effet, une différence en déformation est observée entre les échantillons appartenant à un même drain, en particulier au niveau du D1 (figures...à...).

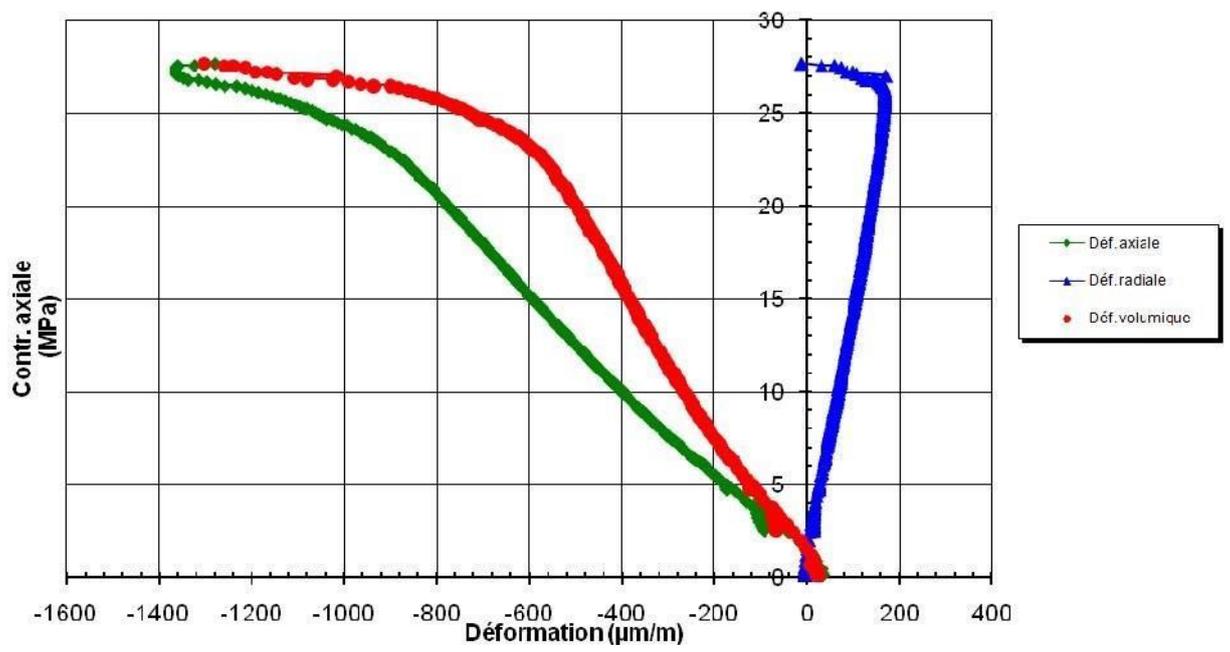


Drain : D4, cote : 3316.70m

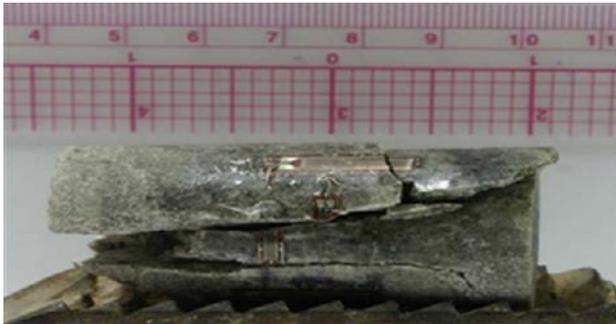


Rupture en compression simple

Figure 12: Essai de compression simple ,puitsOMN402,Drain:D4,cote:3316.70m

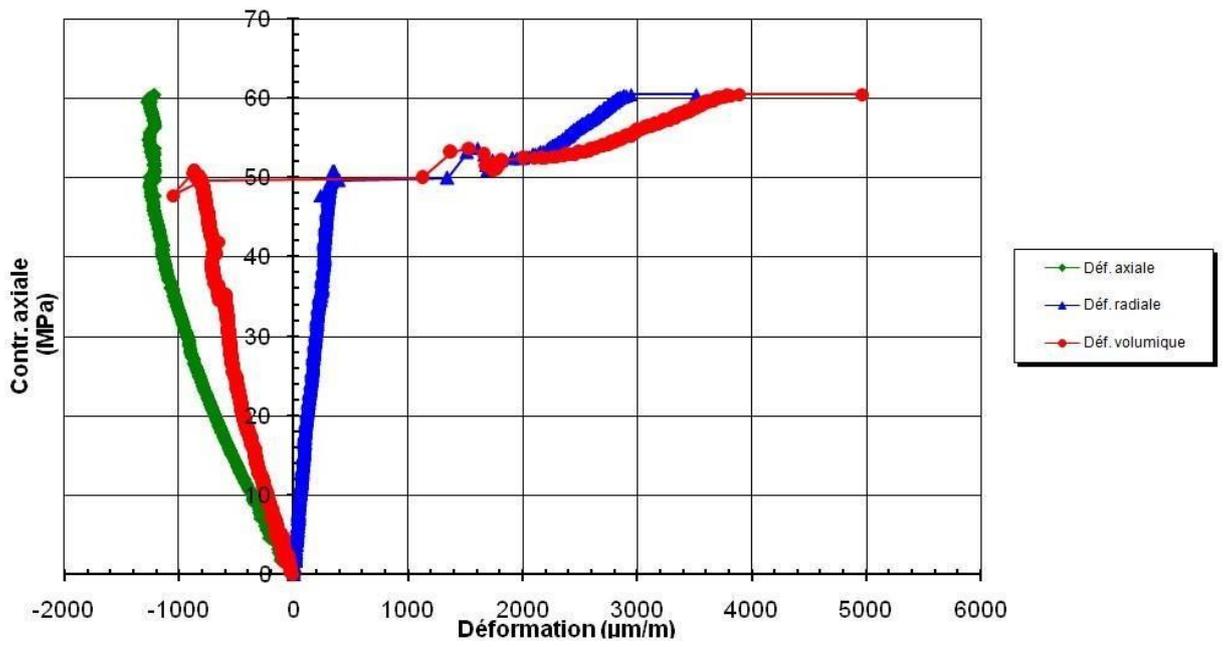


Drain : D3, cote : 3334.40m



Rupture en compression simple

Figure 13: Essai de compression simple, puits OMN402, Drain : D3, cote : 3334.40m

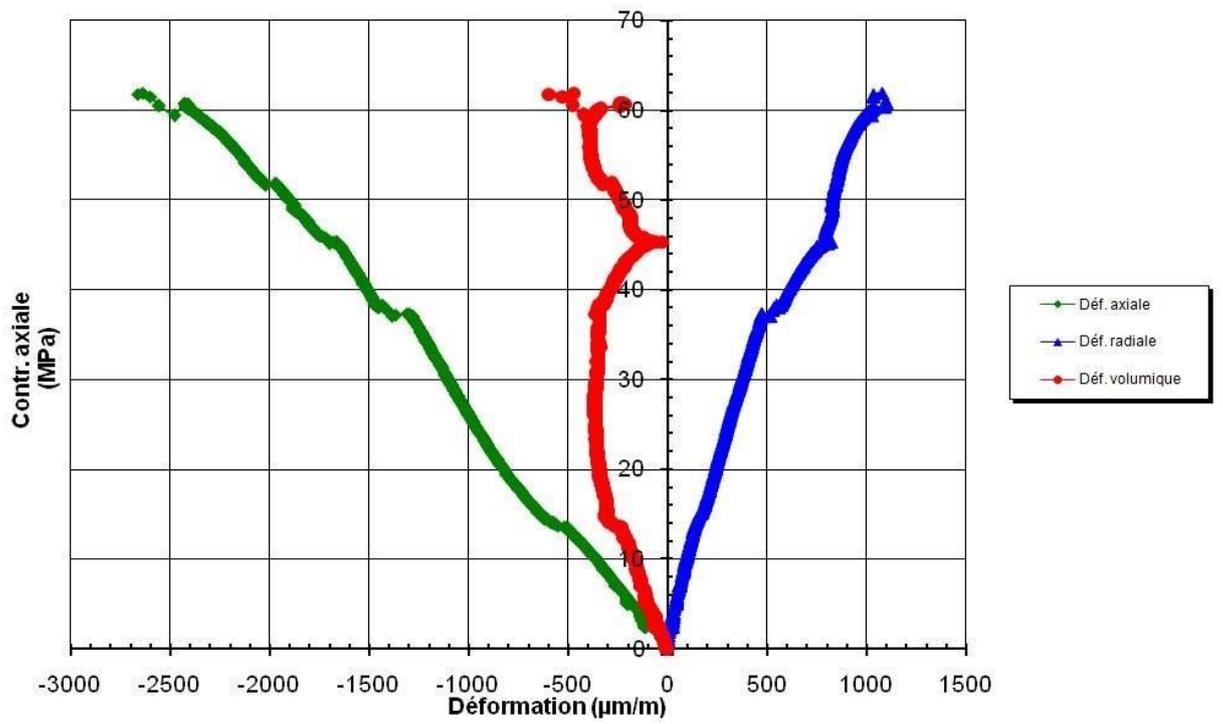


Drain : D2, cote : 3346.30m



Rupture en compression simple

Figure 14:Essaidecompressionsimple,puitsOMN402, Drain : D2, cote : 3346.30m

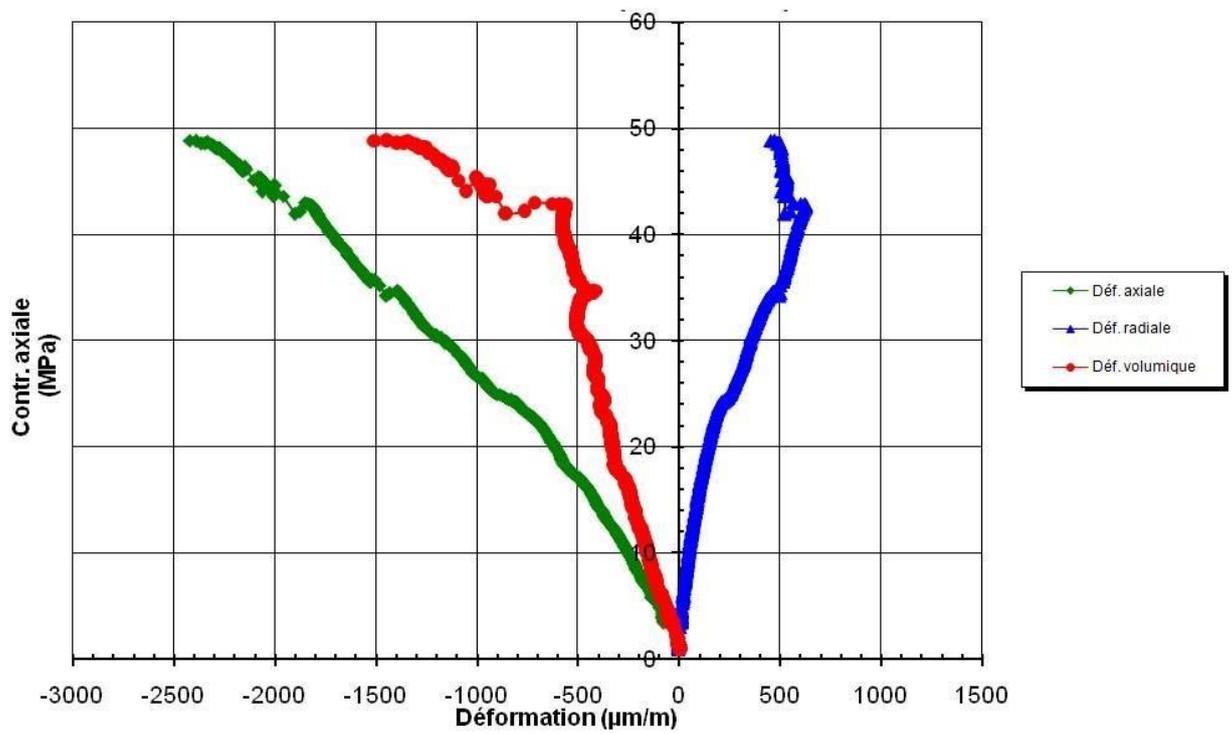


Drain : D2, cote : 3357.70m



Rupture en compression simple

**Figure 15: Essai de compression simple, puitsOMN402, Drain:D2, cote:3357.70m**



Drain : ID, cote : 3374.40m



Rupture en compression simple

**Figure 16: Essai de compression simple, puits OMN402, Drain : ID, cote : 3374.40m**

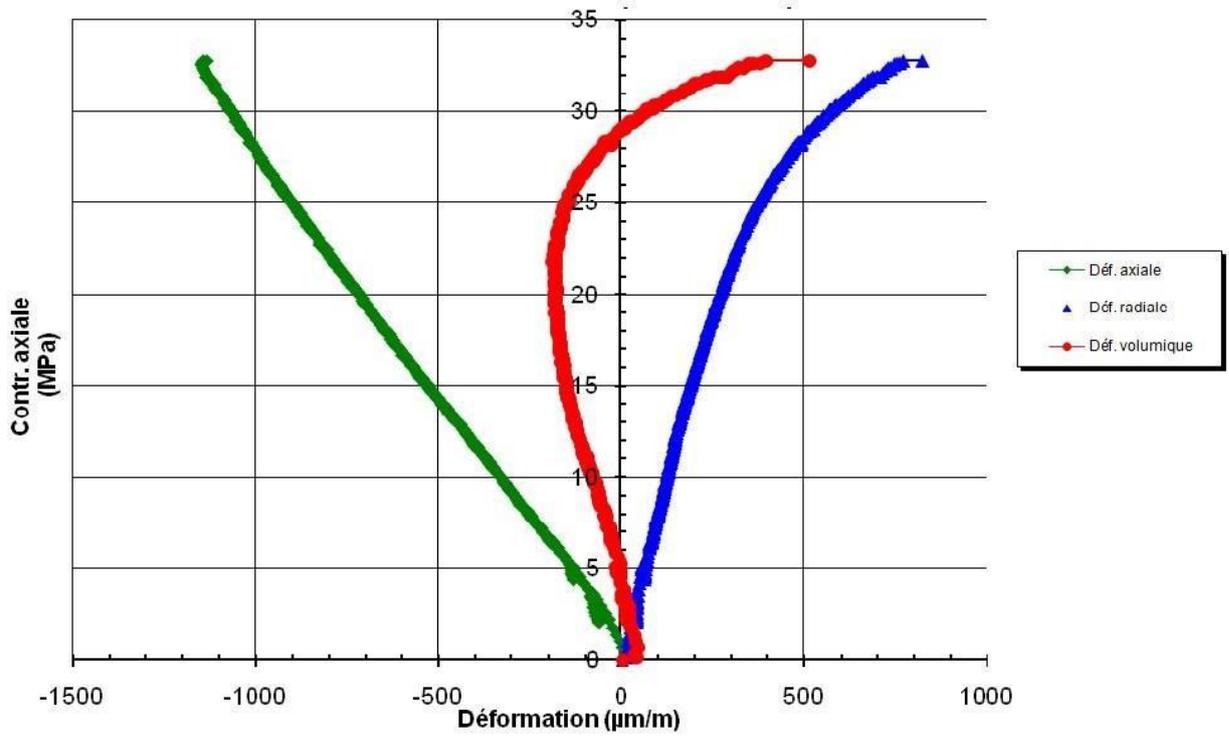
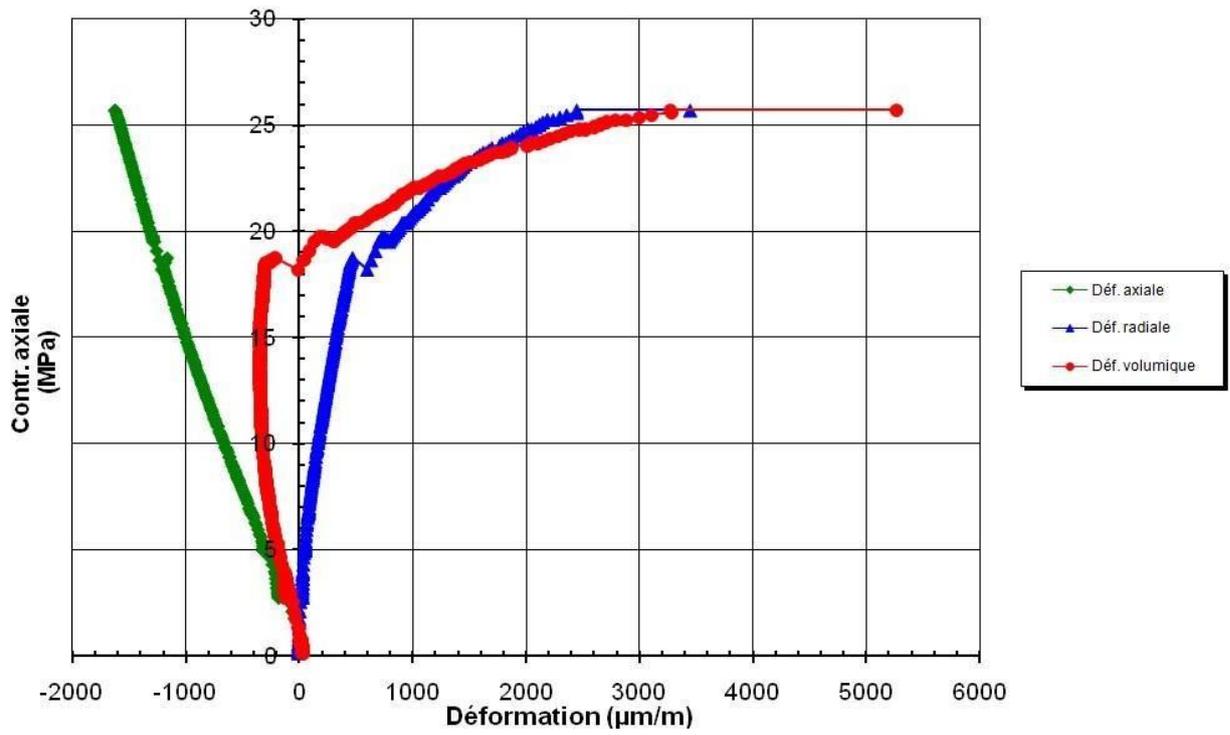


Figure 17:Essai de compression simple, puitsOMN402, Drain : ID, cote : 3384.40m

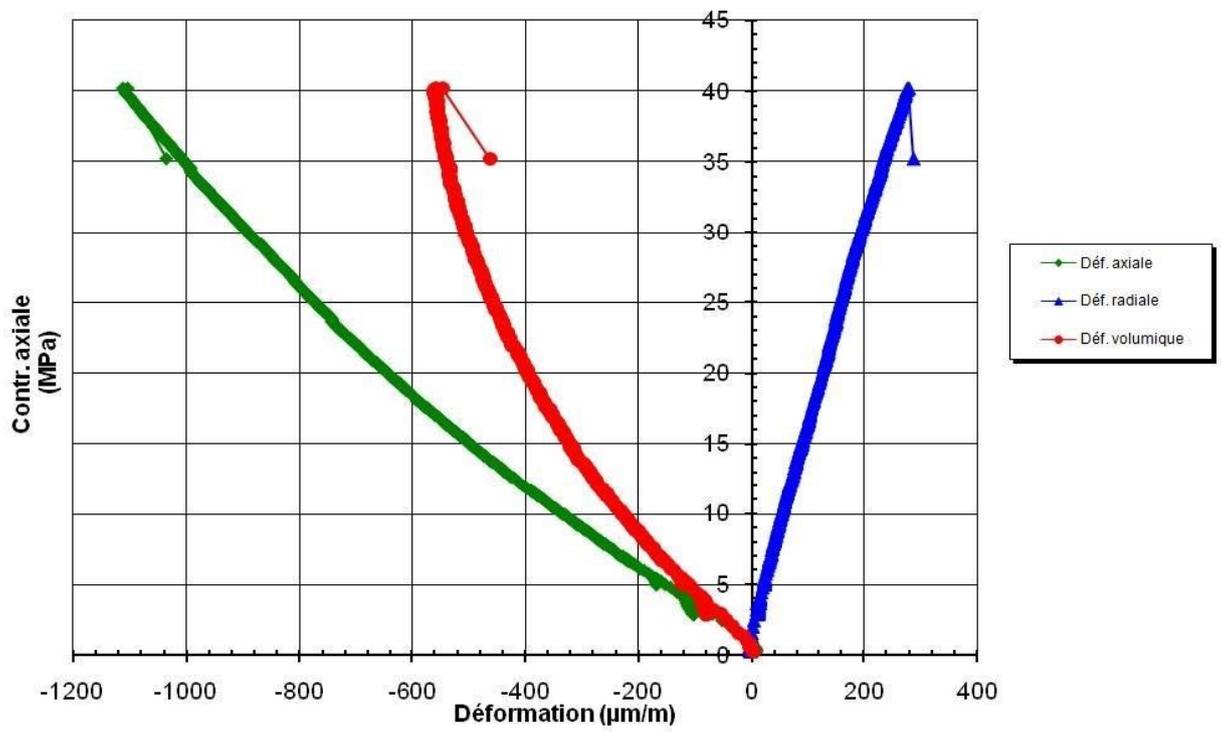


Drain : D1, cote : 3406.30m

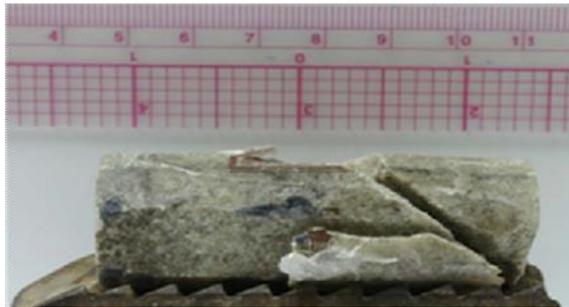


Rupture en compression simple

**Figure 18: Essai de compression simple, puits OMN402, Drain : D1, cote : 3406.30m**



Drain : D1, cote : 3408.25m



Rupture en compression simple

Figure 19: Essai de compression simple, puitsOMN402, Drain : D1, cote : 3408.25m

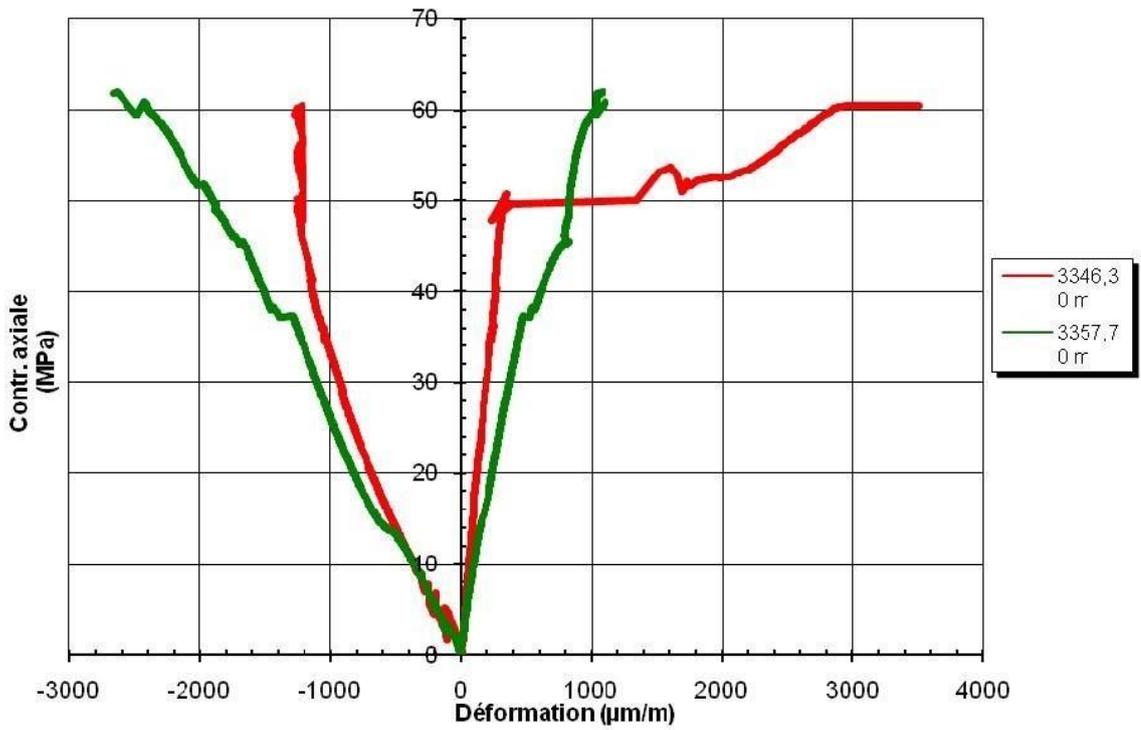


Figure figure3:Essaidecompressionsimpleàdifférentscotes, puitsOMN402, Drain : D2

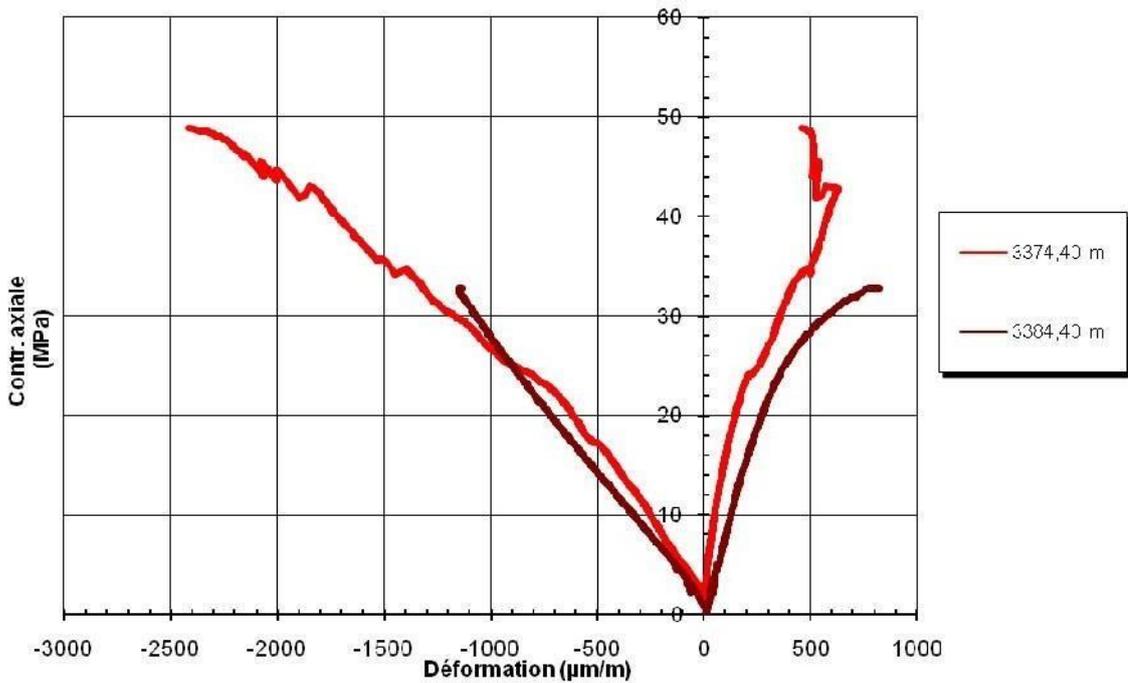
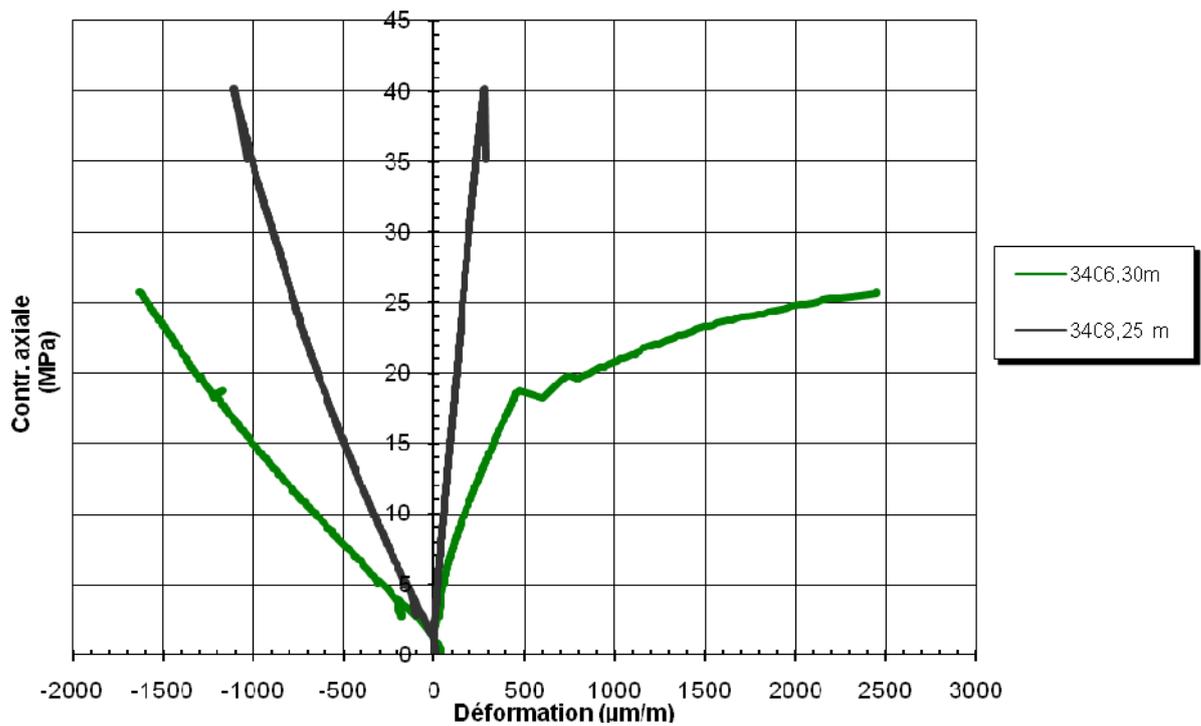


Figure 20:Essaidecompressionsimpleàdifférentscotes,puitsOMN402,Drain :ID



**Figure 21: Essai de compression simple à différentes cotes, puitsOMN402, Drain : D1**

Un dysfonctionnement des jauges a pour conséquence de ne pas déterminer les valeurs de Module de Young et le coefficient de Poisson dans :

- Drain : D3 cote : 3327.60m
- Drain : D2 cote : 3340.80m
- Drain : IDcote : 3364.80m
- Drain : D2 cote : 3389.50m

### 1.3. Essais triaxiaux

Dix (10) essais ont été réalisés en faisant varier la pression de confinement de 5 et 10 MPA. Les échantillons confinés ont subi un chargement du type uniaxial jusqu'à rupture. La contrainte de rupture représente la valeur maximale atteinte par le déviateur augmentée de la valeur de la pression de confinement appliquée "Pc".

La méthode de détermination du module de Young et du coefficient de Poisson est identique à celle utilisée pour l'essai en compression simple.

**Tableau 3: Résultats des essais triaxiaux à Pc=5MPa**

Côte (m)	Drains	Résultats des essais		
		$\sigma_{rup}$ (MPa)	E (GPa)	N
3327.60	D3	110.04	36.77	0.25
3334.40		125.38	27.36	0.36 *
3374.40	ID	118.21	35.28	0.26
3384.40		150.07	36.10	0.15
3389.50	D1	197.86	55.12	0.22

\*: valeur suspecte (déformation radiale importante)

**Tableau 4: Résultats des essais triaxiaux à Pc= 10MPa**

Côte(m)	Drains	Résultatsdesessais		
		$\sigma_{rup}$ (MPA )	E(GPa)	N
3327.60	D3	181.7	51.32	0.31
3334.40		142.85	35.33	0.26
3374.40	ID	167.23	39.79	0.11
3384.40		163.47	49.60	0.22
3389.50	D1	190.39	47.77	0.20

Les résultats des essais triaxiaux ont été comparés à ceux obtenu sen compression simple Les figures représentent sur une même échelle les déformations enregistrées lors des différents essais: on enregistre une nette augmentation de la contrainte de rupture et des déformations correspondantes en fonction de la pression de confinement.

ND : valeur non déterminer (dysfonctionnement des jauges)

**Tableau 5: Essais triaxiaux comparés aux essais de compression simpleà3327.60m**

Dra in	Côte(m)	Résultatsdel'essa i	Pressionsdeconfinement(MPA)		
			0	5	10
D3	3327.60	$\sigma_{rup}$ . (MPa)	40.17	110.04	181.7
		E(GPa)	ND	36.77	51.32
		$\nu$	ND	0.25	0.31

**Tableau 6: Essais triaxiaux comparés aux essais de compression simple à 3334.40m**

Drain	Côte(m)	Résultatsdel'essai	Pressionsdeconfinement(MP A)		
			0	5	10
D3	3334.40	$\sigma_{rup}$ . (MPa)	31.45	125.38	142.85
		E(GPa)	25.80	27.36	35.33
		$\nu$	0.20	0.36*	0.26

\*: valeur suspecte(déformation radiale importante)

**Tableau 7:Essais triaxiaux comparés aux essais de compression simple à 3374.40m**

Drain	Côte(m)	Résultatsdel'essai	Pressionsdeconfinement(MPA)		
			0	5	10
ID	3374.40	$\sigma_{rup.}$ (MPa)	48.88	118.21	167.23
		E(GPa)	18.76	35.28	39.79
		$\nu$	0.29	0.26	0.11

**Tableau 8: Essais triaxiaux comparés aux essais compression simple à 3384.40m**

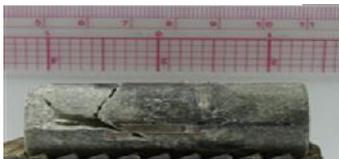
Drain	Côte(m)	Résultatsdel'essai	Pressionsdeconfinement(MPA)		
			0	5	10
ID	3384.40	$\sigma_{rup.}$ (MPa)	43.70	150.07	163.47
		E(GPa)	27.23	36.10	49.60
		$\nu$	0.38*	0.15	0.22

\*: valeur suspecte (déformation radiale importante)

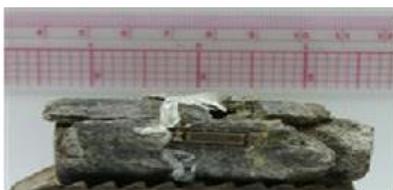
**Tableau 9: Essais triaxiaux comparés aux essais de compression simple à3389.50m**

Drain	Côte(m)	Résultatsdel'essai	Pressionsdeconfinement(MPA)		
			0	5	10
D1	3389.50	$\sigma_{rup.}$ (MPa)	NC	197.86	190.39
		E(GPa)	NC	55.12	47.77
		$\nu$	NC	0.22	0.20

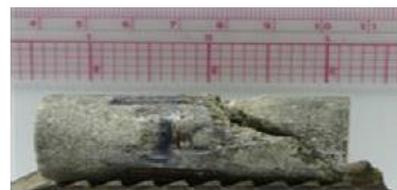
NC: essai non concluant



Drain : D3, cote : 3327.60m



Rupture en compression simple



Rupture @Pc=5MPa

Rupture @  $P_c=10\text{MPa}$

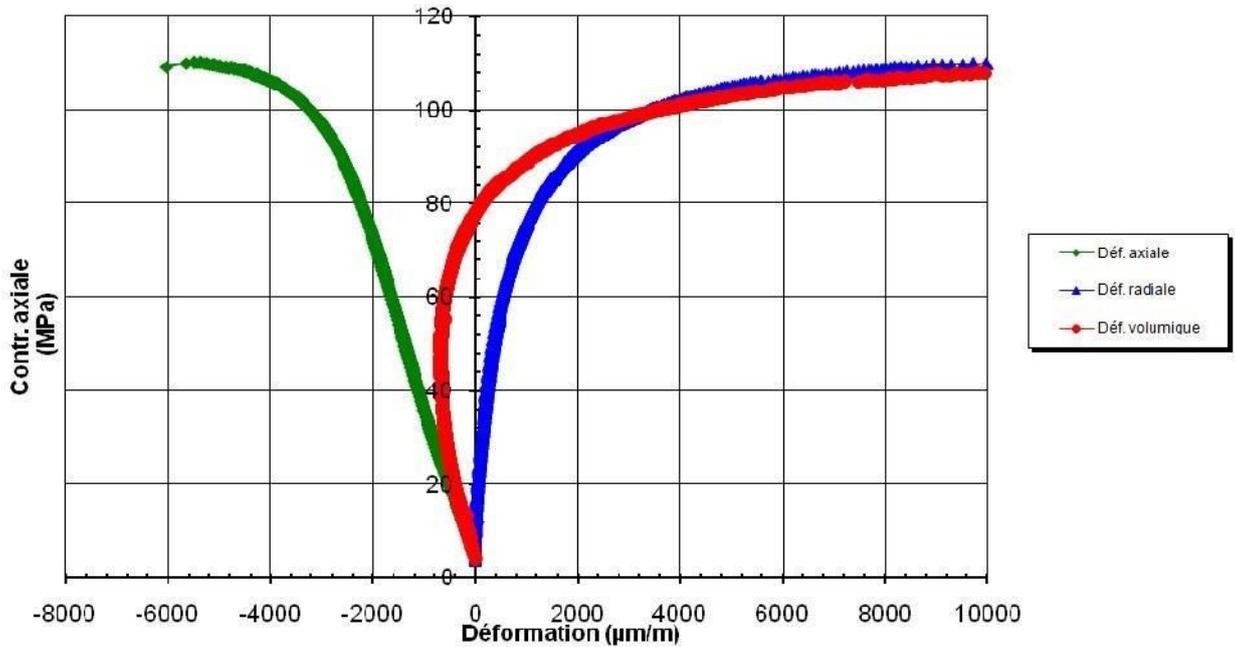
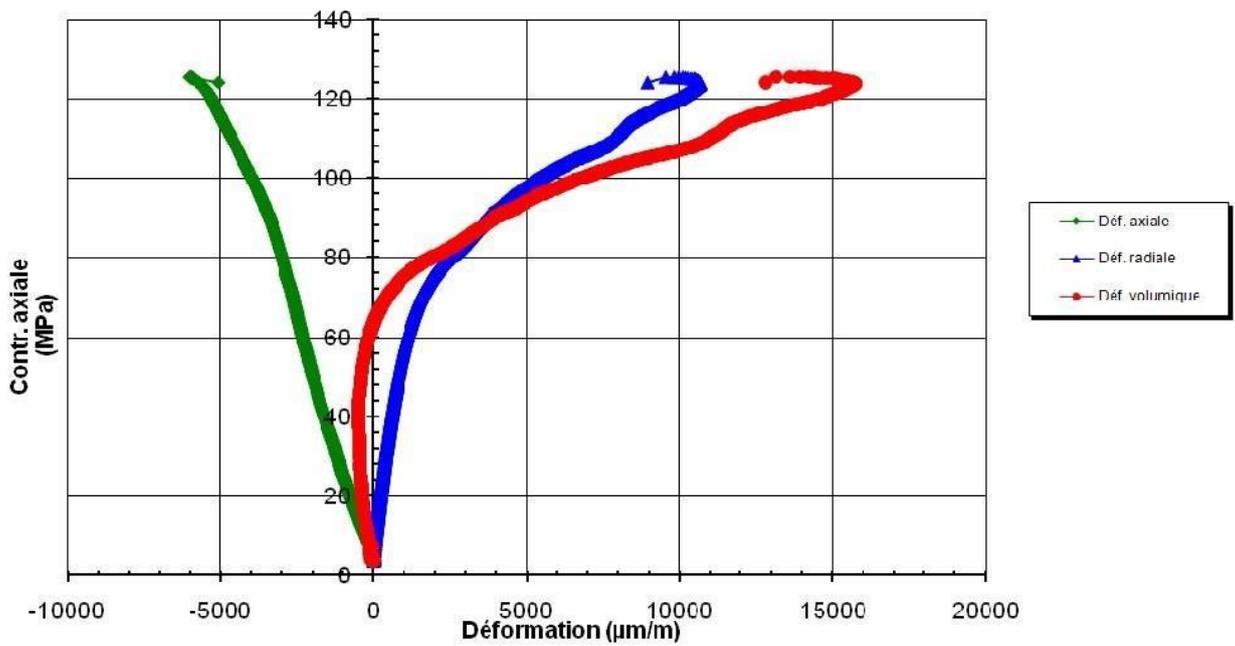


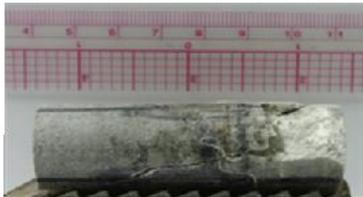
Figure 22: Essai triaxial à  $P_c=5\text{MPa}$ , puits OMN402, Drain : D3, cote : 3327.60m

### Interprétation :

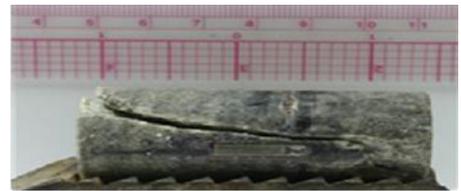
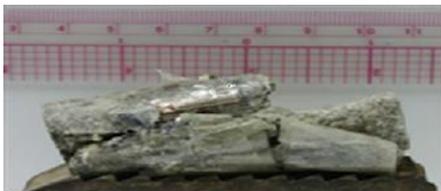
"Le diagramme illustre les variations des déformations en fonction de la contrainte, où l'on observe que dans la zone élastique : [la déf axiale :  $0\mu\text{m}$  à  $-2000\mu\text{m/m}$  et  $0\text{Mpa}$  à  $80\text{Mpa}$ ] [déf radiale :  $0\mu\text{m/m}$  à  $400\mu\text{m/m}$  et  $0\text{Mpa}$  à  $55\text{Mpa}$ ], la contrainte et la déformation sont proportionnelles, ce qui indique que la roche se comporte de manière élastique. Dans la zone plastique : [la déf axial  $-2000\mu\text{m/m}$  à  $-4000\mu\text{m/m}$  et  $80\text{Mpa}$  à  $104\text{Mpa}$ ] [déf radial  $400\mu\text{m/m}$  à  $6000\mu\text{m/m}$  et  $55\text{Mpa}$  à  $110\text{Mpa}$ ], la courbe commence à dévier de la linéarité et devient moins raide. La contrainte continue d'augmenter avec la déformation, où le point le plus élevé représente la déformation permanente de l'échantillon. Au point culminant, la courbe atteint son maximum indiquant la contrainte maximale que la roche peut supporter. Dans la zone de rupture [déf axiale  $5000\mu\text{m/m}$  et  $115\text{Mpa}$ ] [déf radiale  $10000\mu\text{m/m}$  et  $115\text{Mpa}$ ], la courbe commence à décliner, indiquant que l'échantillon commence à se fissurer ou à se casser. Et la courbe Quant à la courbe volumique, elle est le produit des deux autres courbes Si la forme de l'échantillon présente une augmentation volumique en largeur."



Drain : D3, cote : 3334.40m



Rupture en compression simple



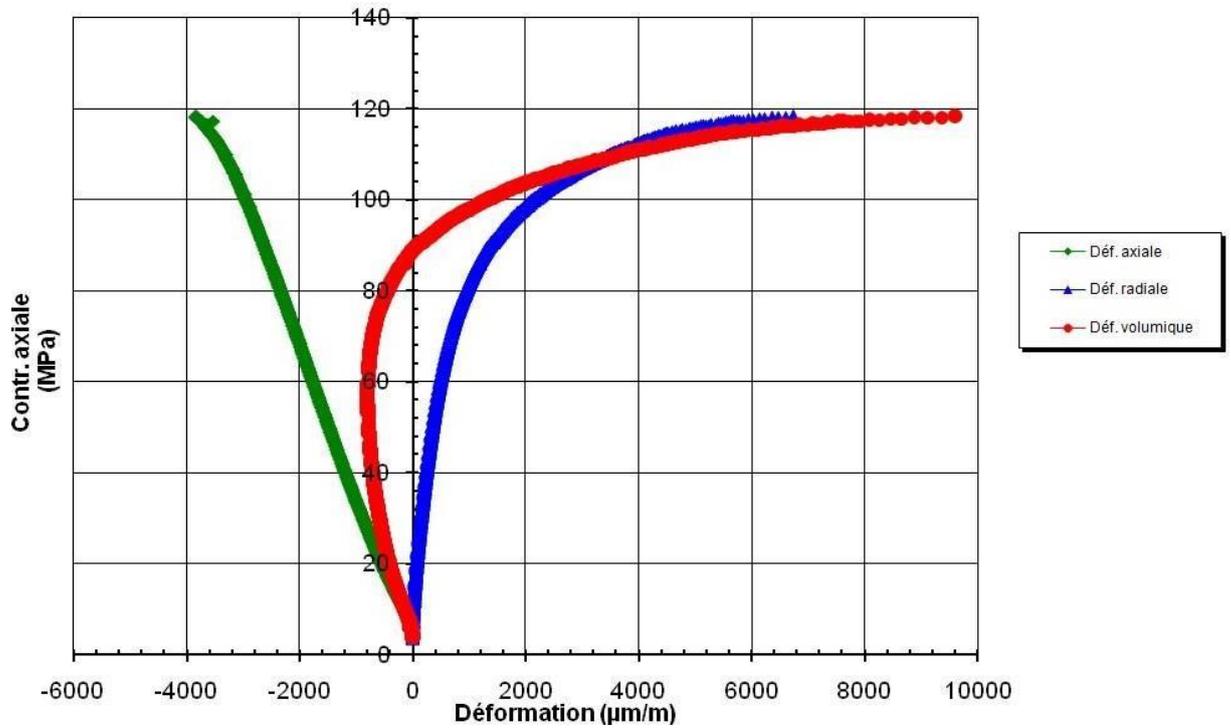
Rupture @  $P_c=5\text{MPa}$  Rupture @  $P_c=10\text{MPa}$

**Figure 23: Essai triaxial à  $P_c=5\text{MPa}$ , puits OMN402, Drain: D3, cote: 3334.40m**

**Interprétation :**

"Le diagramme illustre les variations des déformations en fonction de la contrainte, où l'on observe que dans la zone élastique : [la déf axiale :  $0\mu\text{m}$  à  $-2500\mu\text{m}/\text{m}$  et  $0\text{Mpa}$  à  $80\text{ Mpa}$ ] [déf radiale :  $0\mu\text{m}/\text{m}$  à  $1250\mu\text{m}/\text{m}$  et  $0\text{Mpa}$  à  $62\text{ Mpa}$  ], la contrainte et la déformation sont proportionnelles, ce qui indique que la roche se comporte de manière élastique. Dans la zone plastique : [la déf axial  $-2500\mu\text{m}/\text{m}$  à  $-5200\mu\text{m}/\text{m}$  et  $80\text{ Mpa}$  à  $120\text{ Mpa}$ ] [déf radial  $1250\mu\text{m}/\text{m}$  à  $10000\mu\text{m}/\text{m}$  et  $62\text{ Mpa}$  à  $120\text{ Mpa}$ ] , la courbe commence à dévier de la linéarité et devient moins raide. La contrainte continue d'augmenter avec la déformation, où le point le plus élevé représente la déformation permanente de l'échantillon. Au point culminant, la courbe atteint son maximum indiquant la contrainte maximale que la roche peut supporter. Dans la zone de rupture [déf axiale  $5500\mu\text{m}/\text{m}$  et  $125\text{Mpa}$ ] [déf radiale  $10100\mu\text{m}/\text{m}$  et

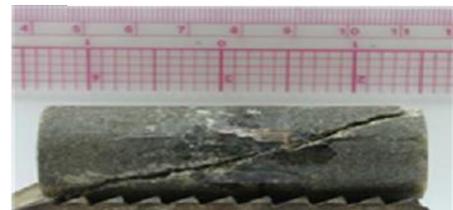
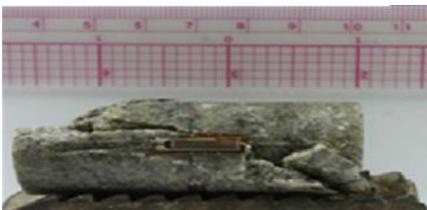
130Mpa], la courbe commence à décliner, indiquant que l'échantillon commence à se fissurer ou à se casser. Et la courbe Quant à la courbe volumique, elle est le produit des deux autres courbes Si la forme de l'échantillon présente une augmentation volumique en largeur."



Drain:ID,cote:3374.40m



Rupture en compression simple



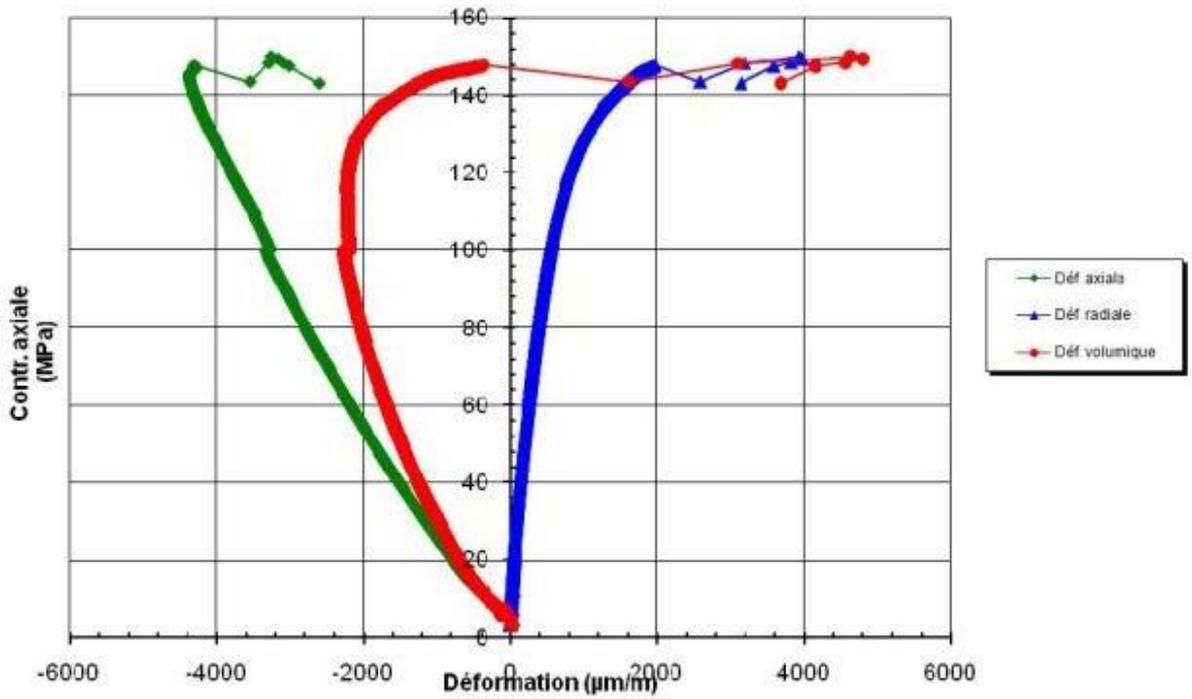
Rupture @  $P_c=5\text{MPa}$  Rupture @  $P_c=10\text{MPa}$

**Figure 24: Essai triaxial à  $P_c=5\text{MPa}$ , puits OMN402, Drain:ID, cote:3374.40m**

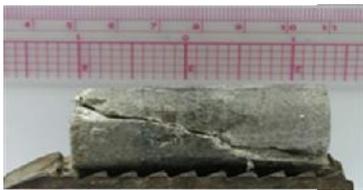
### Interprétation :

"Le diagramme illustre les variations des déformations en fonction de la contrainte, où l'on observe que dans la zone élastique : [la déf axiale :  $0\mu\text{m}$  à  $-3000\mu\text{m/m}$  et  $0\text{Mpa}$  à  $100\text{Mpa}$ ]

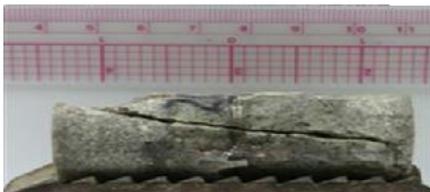
[déf radiale :  $0\mu\text{m}/\text{m}$  à  $1000\mu\text{m}/\text{m}$  et  $0\text{Mpa}$  à  $60\text{Mpa}$  ], la contrainte et la déformation sont proportionnelles, ce qui indique que la roche se comporte de manière élastique. Dans la zone plastique : [la déf axial  $-3000\mu\text{m}/\text{m}$  à  $-4000\mu\text{m}/\text{m}$  et  $100\text{Mpa}$  à  $120\text{Mpa}$ ] [déf radial  $1000\mu\text{m}/\text{m}$  à  $7000\mu\text{m}/\text{m}$  et  $60\text{Mpa}$  à  $120\text{Mpa}$ ] , la courbe commence à dévier de la linéarité et devient moins raide. La contrainte continue d'augmenter avec la déformation, où le point le plus élevé représente la déformation permanente de l'échantillon. Au point culminant, la courbe atteint son maximum indiquant la contrainte maximale que la roche peut supporter. Dans la zone de rupture [déf axiale  $-4000\mu\text{m}/\text{m}$  et  $120\text{Mpa}$ ] [déf radiale  $7000\mu\text{m}/\text{m}$  et  $120\text{Mpa}$ ], la courbe commence à décliner, indiquant que l'échantillon commence à se fissurer ou à se casser. Et la courbe Quant à la courbe volumique, elle est le produit des deux autres courbes Si la forme de l'échantillon présente une augmentation volumique en largeur."



Drain:ID,cote:3384.40m



Rupture en compression simple

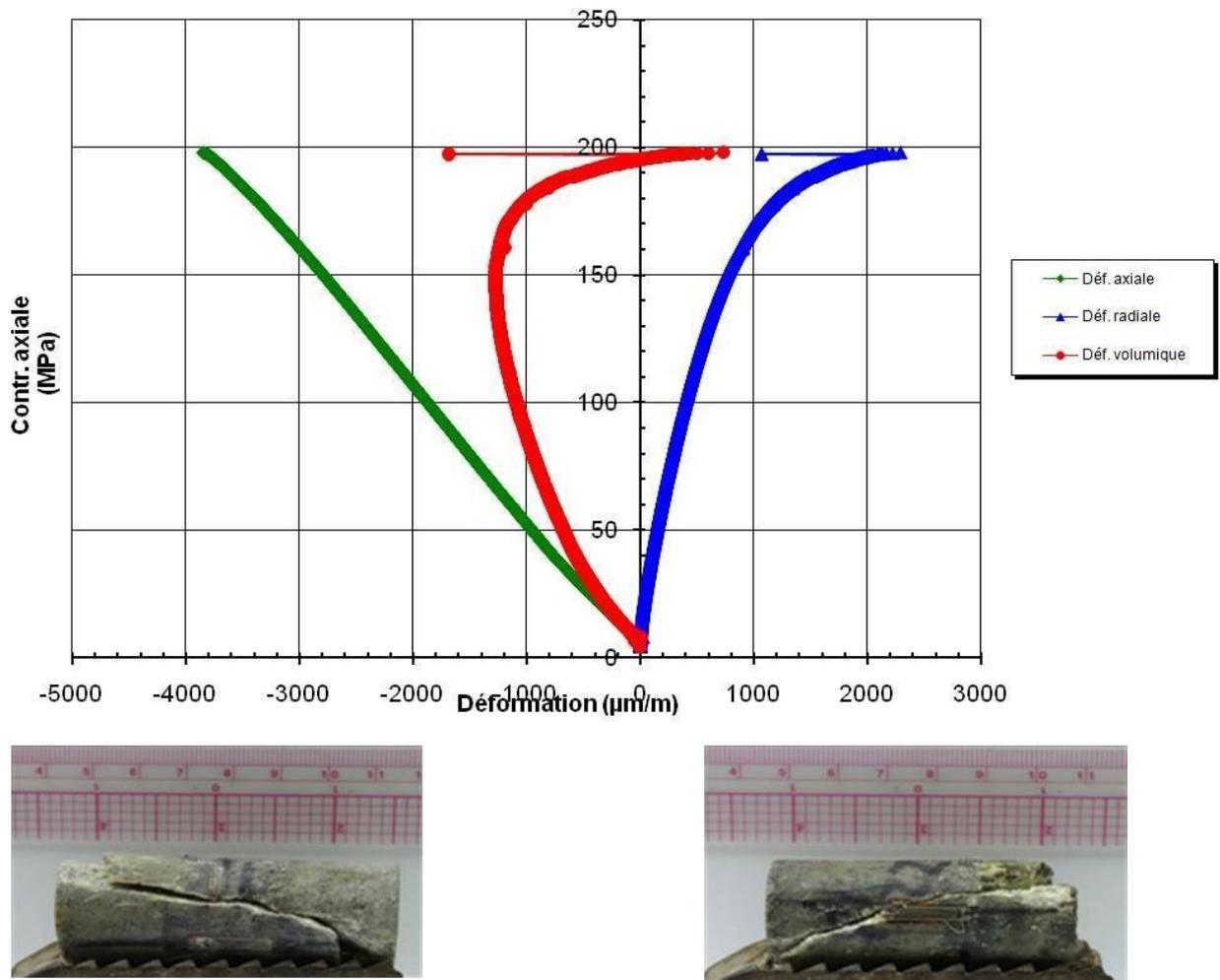


Rupture @  $P_c=5\text{MPa}$  Rupture @  $P_c=10\text{MPa}$

**Figure 25: Essai triaxial à  $P_c=5\text{MPa}$ , puits OMN402, Drain:ID,cote:3384.40m**

### Interprétation :

"Le diagramme illustre les variations des déformations en fonction de la contrainte, où l'on observe que dans la zone élastique : [la déf axiale :  $0\mu\text{m}$  à  $-3500\mu\text{m/m}$  et  $0\text{Mpa}$  à  $100\text{Mpa}$ ] [déf radiale :  $0\mu\text{m/m}$  à  $400\mu\text{m/m}$  et  $0\text{Mpa}$  à  $100\text{Mpa}$  ], la contrainte et la déformation sont proportionnelles, ce qui indique que la roche se comporte de manière élastique. Dans la zone plastique : [la déf axial  $-3500\mu\text{m/m}$  à  $-4250\mu\text{m/m}$  et  $100\text{Mpa}$  à  $150\text{Mpa}$ ] [déf radial  $1000\mu\text{m/m}$  à  $2000\mu\text{m/m}$  et  $100\text{Mpa}$  à  $150\text{Mpa}$  ], la courbe commence à dévier de la linéarité et devient moins raide. La contrainte continue d'augmenter avec la déformation, où le point le plus élevé représente la déformation permanente de l'échantillon. Au point culminant, la courbe atteint son maximum indiquant la contrainte maximale que la roche peut supporter. Dans la zone de rupture [déf axiale  $-4000\mu\text{m/m}$  et  $120\text{Mpa}$ ] [déf radiale  $7000\mu\text{m/m}$  et  $120\text{Mpa}$ ], la courbe commence à décliner, indiquant que l'échantillon commence à se fissurer ou à se casser. Et la courbe Quant à la courbe volumique, elle est le produit des deux autres courbes Si la forme de l'échantillon présente une augmentation volumique en longueur."



Rupture @  $P_c=5\text{Mpa}$  Rupture @  $P_c=10\text{MPa}$

Figure 26: Essai triaxial à  $P_c=5\text{Mpa}$ , puits OMN402, Drain:D1, cote:3389.50m

### Interprétation :

"Le diagramme illustre les variations des déformations en fonction de la contrainte, où l'on observe que dans la zone élastique : [la déf axiale :  $0\mu\text{m}$  à  $-3800\mu\text{m/m}$  et  $0\text{Mpa}$  à  $200\text{Mpa}$ ] [déf radiale :  $0\mu\text{m/m}$  à  $500\mu\text{m/m}$  et  $0\text{Mpa}$  à  $100\text{Mpa}$  ], la contrainte et la déformation sont proportionnelles, ce qui indique que la roche se comporte de manière élastique. Dans la zone plastique : [la déf axial  $-3800\mu\text{m/m}$  et  $200\text{Mpa}$  Mpa] [déf radial  $500\mu\text{m/m}$  à  $2500\mu\text{m/m}$  et  $100\text{Mpa}$  à  $200\text{Mpa}$  ], la courbe commence à dévier de la linéarité et devient moins raide. La contrainte continue d'augmenter avec la déformation, où le point le plus élevé représente la déformation permanente de l'échantillon. Au point culminant, la courbe atteint son maximum indiquant la contrainte maximale que la roche peut supporter. Dans la zone de rupture [déf axiale  $-3800\mu\text{m/m}$  et  $200\text{Mpa}$ ] [déf radiale  $2500\mu\text{m/m}$  et  $200\text{Mpa}$ ], la courbe commence à décliner, indiquant que l'échantillon commence à se fissurer ou à se casser. Et la courbe Quant à la courbe volumique Dans cet échantillon, la déformation a traversé deux phases. Dans la première phase, la déformation était longitudinale, puis dans la deuxième phase, la déformation de la forme finale globale de l'échantillon était transversale."

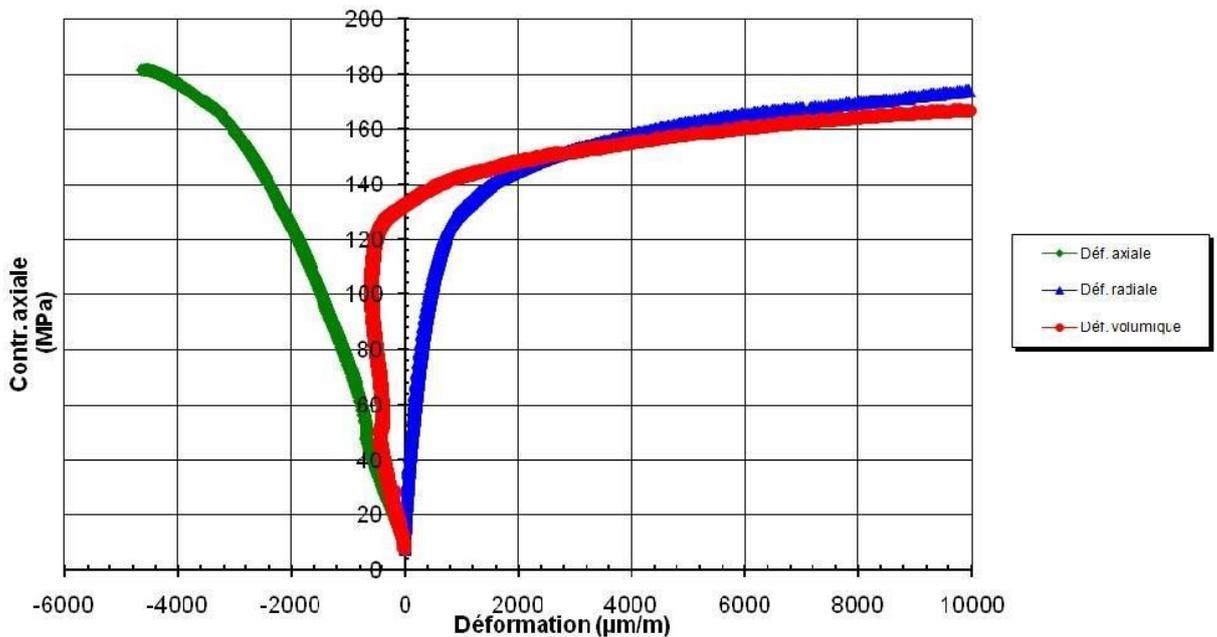


Figure 27: Essai triaxial à  $P_c=10\text{MPa}$ , puits OMN402, Drain: D3, cote : 3327.60m

### Interprétation :

"Le diagramme illustre les variations des déformations en fonction de la contrainte, où l'on observe que dans la zone élastique : [la déf axiale :  $0\mu\text{m}$  à  $-800\mu\text{m/m}$  et  $0\text{Mpa}$  à  $40\text{Mpa}$ ] [déf radiale :  $0\mu\text{m/m}$  à  $400\mu\text{m/m}$  et  $0\text{Mpa}$  à  $80\text{Mpa}$  ], la contrainte et la déformation sont proportionnelles, ce qui indique que la roche se comporte de manière élastique. Dans la zone plastique : [la déf axial  $-800\mu\text{m/m}$  à  $2800\mu\text{m/m}$  et  $40\text{Mpa}$  à  $160\text{Mpa}$ ] [déf radial  $400\mu\text{m/m}$  à  $4000\mu\text{m/m}$  et  $80\text{Mpa}$  à  $175\text{Mpa}$  ], la courbe commence à dévier de la linéarité et devient moins raide. La contrainte continue d'augmenter avec la déformation, où le point le plus élevé représente la déformation permanente de l'échantillon. Au point culminant, la courbe atteint son maximum indiquant la contrainte maximale que la roche peut supporter. Dans la zone de rupture [déf axiale  $-4400\mu\text{m/m}$  et  $185\text{Mpa}$ ] [déf radiale  $10000\mu\text{m/m}$  et  $170\text{Mpa}$ ], la courbe

commence à décliner, indiquant que l'échantillon commence à se fissurer ou à se casser. Et la courbe Quant à la courbe volumique Dans cet échantillon, la déformation a traversé deux phases. Dans la première phase, la déformation était longitudinale, puis dans la deuxième phase, la déformation de la forme finale globale de l'échantillon était transversale."

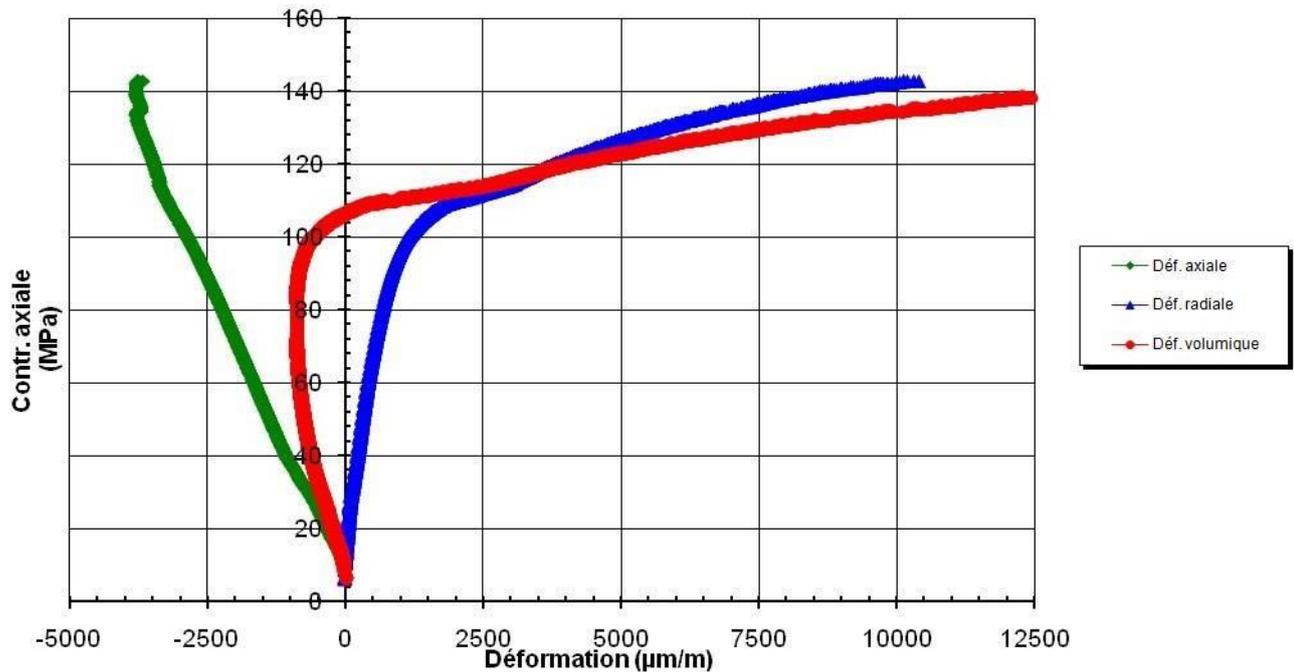


Figure 28: Essai triaxial à  $P_c=10\text{MPa}$ , puits OMN402, Drain: D3, cote : 3334.40m

### Interprétation :

"Le diagramme illustre les variations des déformations en fonction de la contrainte, où l'on observe que dans la zone élastique : [la déf axiale :  $0\mu\text{m}$  à  $-500\mu\text{m/m}$  et  $0\text{Mpa}$  à  $20\text{Mpa}$ ] [déf radiale :  $0\mu\text{m/m}$  à  $1000\mu\text{m/m}$  et  $0\text{Mpa}$  à  $80\text{Mpa}$ ], la contrainte et la déformation sont proportionnelles, ce qui indique que la roche se comporte de manière élastique. Dans la zone plastique : [la déf axial  $-500\mu\text{m/m}$  à  $-3500\mu\text{m/m}$  et  $40\text{Mpa}$  à  $145\text{Mpa}$ ] [déf radial  $1000\mu\text{m/m}$  à  $7500\mu\text{m/m}$  et  $80\text{Mpa}$  à  $140\text{Mpa}$ ], la courbe commence à dévier de la linéarité et devient moins raide. La contrainte continue d'augmenter avec la déformation, où le point le plus élevé représente la déformation permanente de l'échantillon. Au point culminant, la courbe atteint son maximum indiquant la contrainte maximale que la roche peut supporter. Dans la zone de rupture [déf axiale  $-4000\mu\text{m/m}$  et  $145\text{Mpa}$ ] [déf radiale  $1500\mu\text{m/m}$  et  $145\text{Mpa}$ ], la courbe commence à décliner, indiquant que l'échantillon commence à se fissurer ou à se casser. Et la courbe Quant à la courbe volumique elle est le produit des deux autres courbes Si la forme de l'échantillon présente une augmentation volumique en largeur."

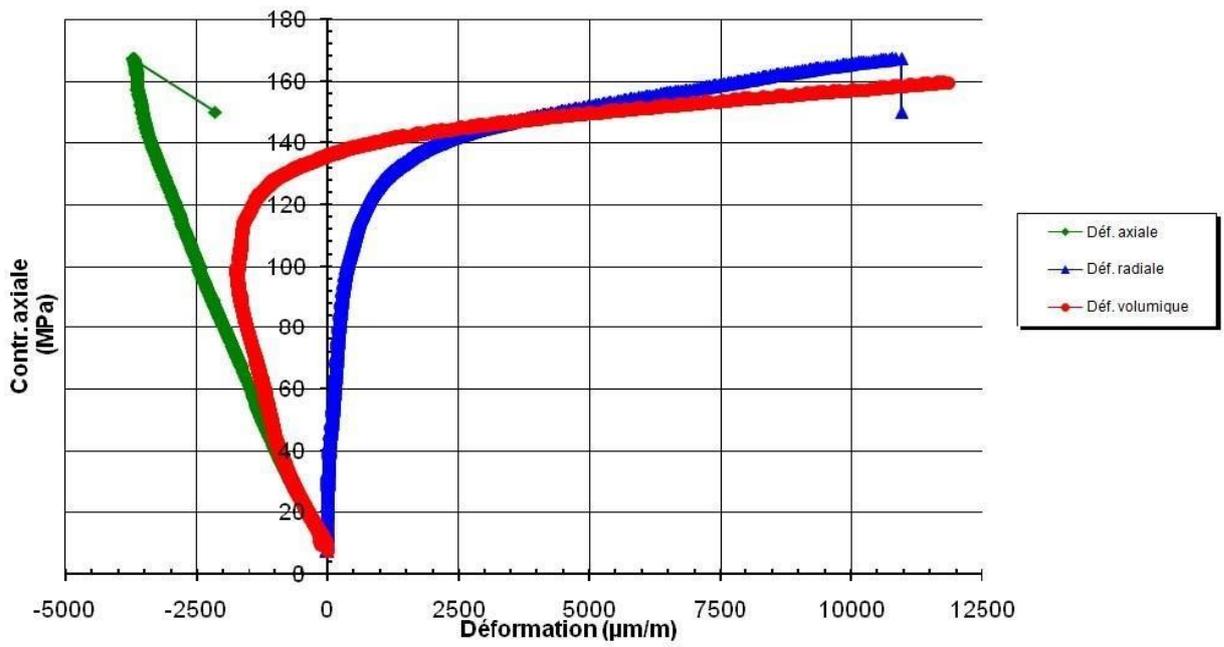


Figure 29: Essai triaxial à  $P_c=10\text{MPa}$ , puits OMN402, Drain: ID, cote: 3374.40m

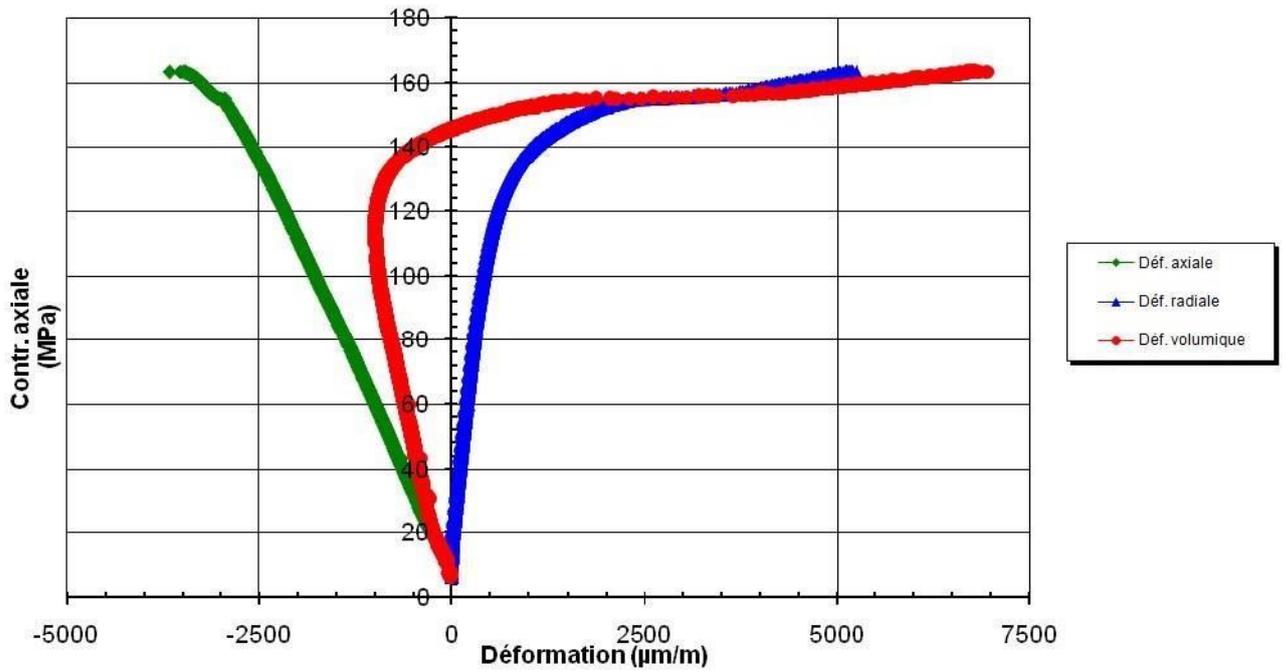


Figure 30: Essai triaxial à  $P_c=10\text{MPa}$ , puits OMN402, Drain: ID, cote: 3384.40m

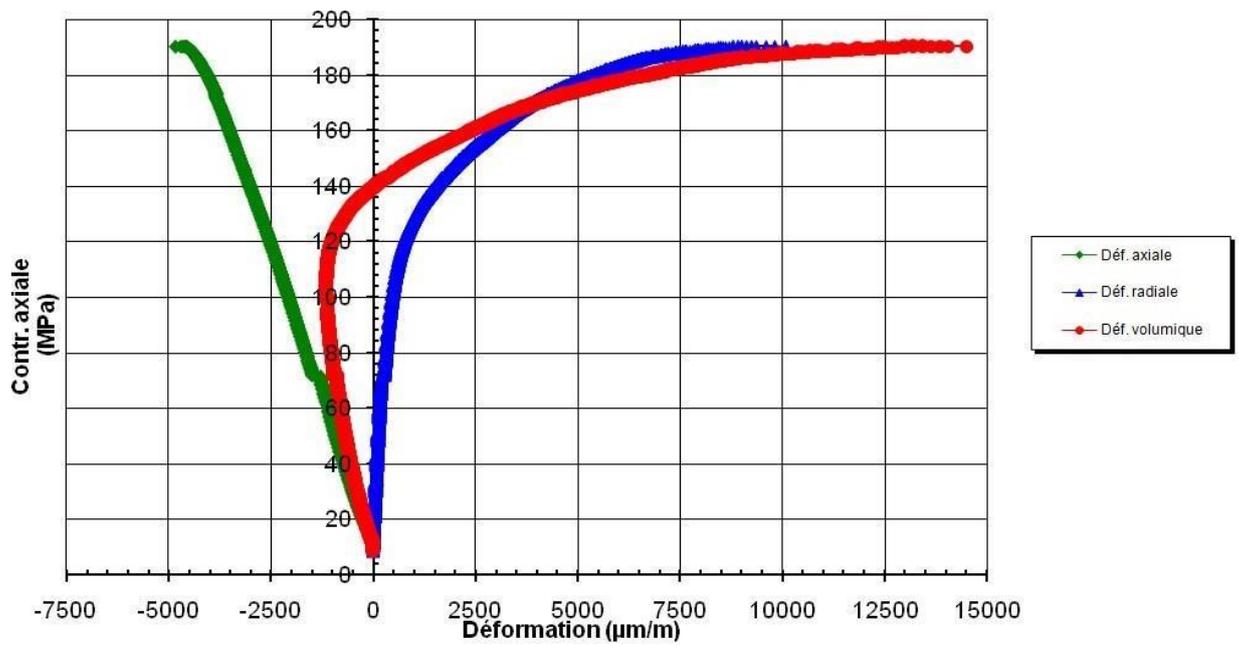


Figure 31: Essai triaxial à  $P_c=10$ MPa,puitsOMN402,Drain:D1,cote :3389.50m

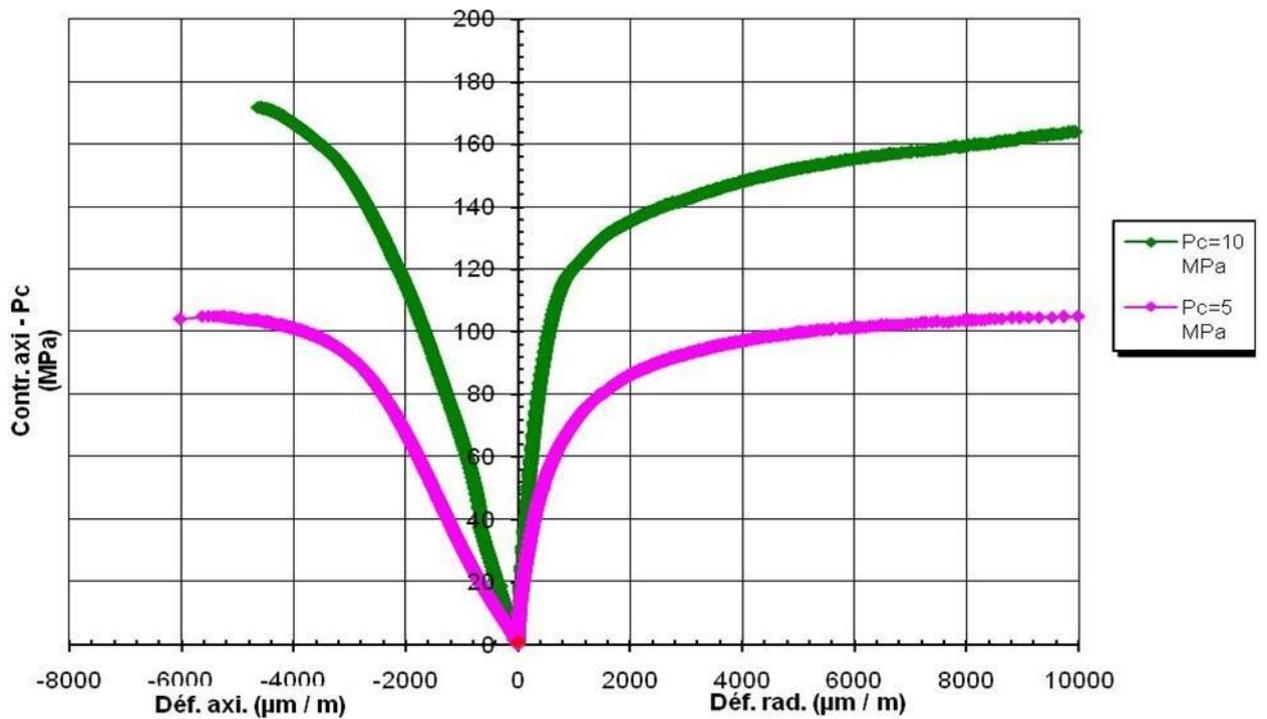


Figure 32: Essai triaxiaux à différentes pressions de confinement OMN402,Drain:D3,cote:3327.60m

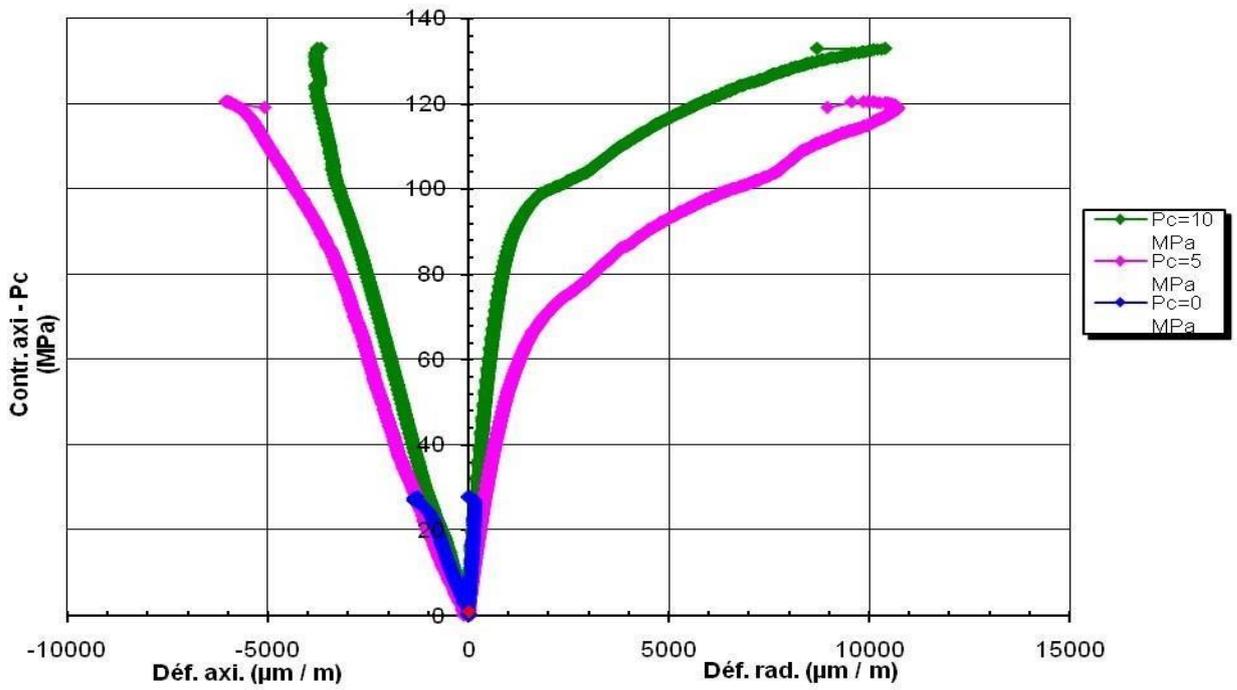


Figure 33: Essai triaxiaux à différentes pressions de confinement OMN402, Drain:ID, cote:3374.40m

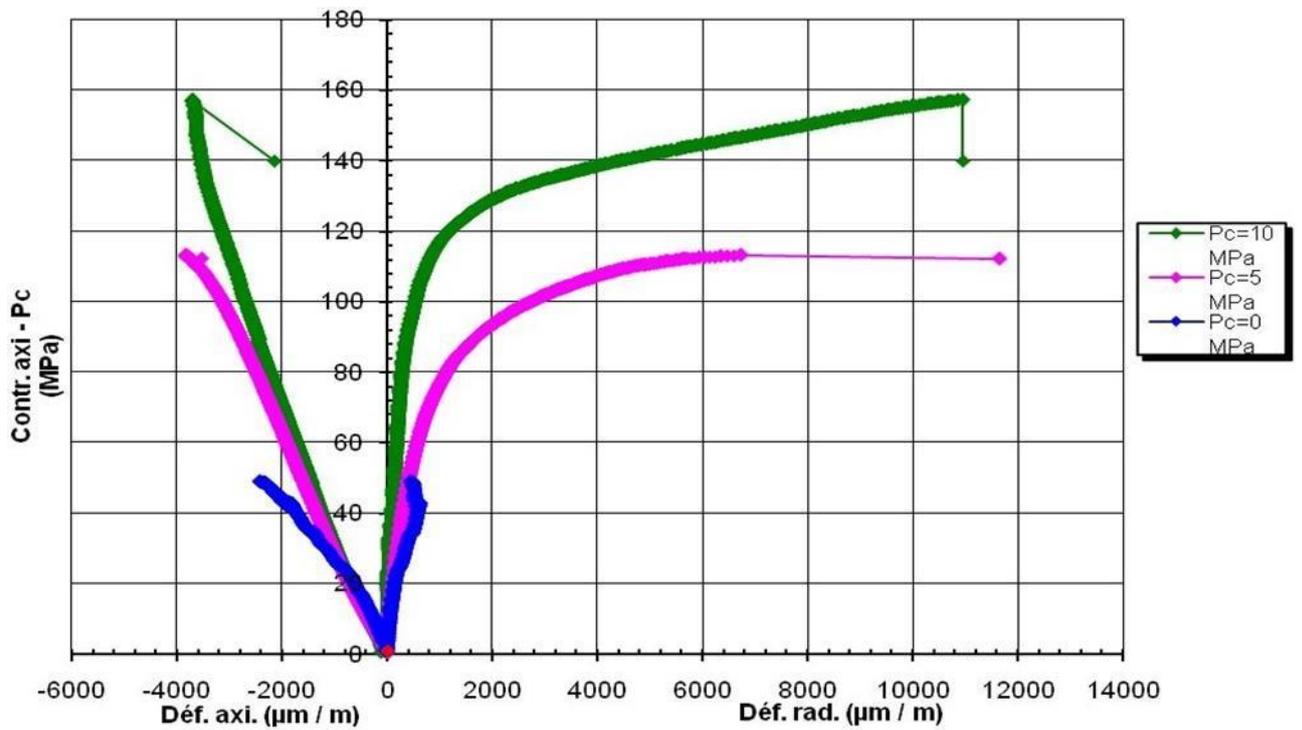


Figure 34: Essai triaxiaux à différentes pressions de confinement OMN402, Drain:D3, cote:3327.60m

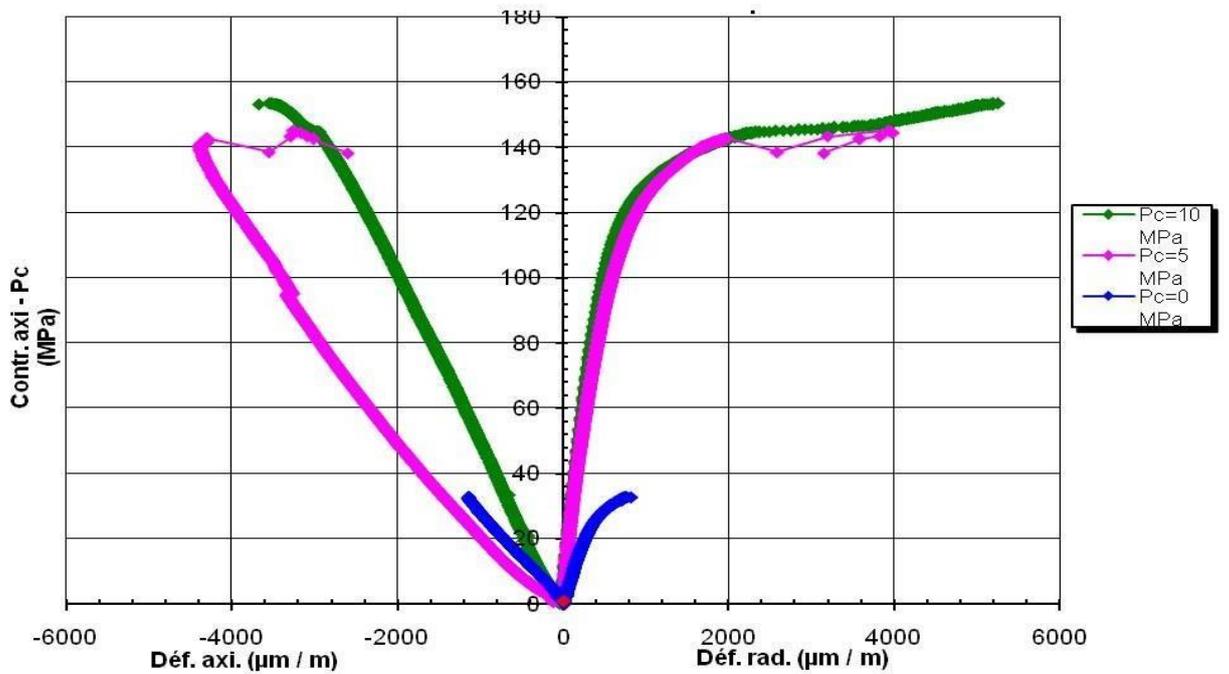


Figure 4: Essai triaxiaux à différentes pressions de confinement OMN402, Drain :ID, cote :3384.40m

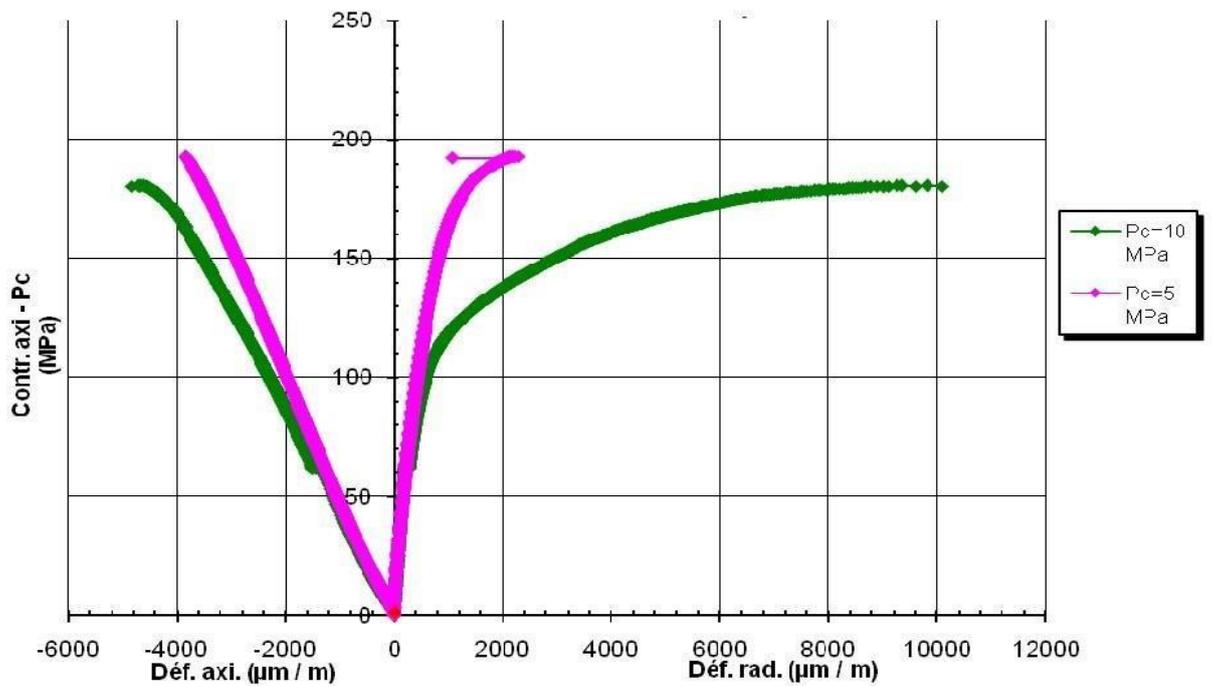


Figure 36: Essai triaxiaux à différentes pressions de confinement OMN402, Drain : D1, cote :3389.50m

Il faut toutefois signaler le comportement singulier de certains échantillons qui semble être justifié par l'hétérogénéité ce qui affecte les valeurs des contraintes de rupture ainsi que la cohésion et l'angle de frottement interne. Les résultats d'une première estimation sont reportés sur le tableau.10.

**Tableau 10: Valeurs de  $C$  et  $\phi$  avant correction de  $\sigma$  rup.**

Drain	Côte(m)	C(MPa)	$\phi$ (Degrés)
	3327.60	5.2	60
D3	3334.40	4.5	57
	3374.40	7	58
ID	3384.40	6	58

Une approche nouvelle a été adoptée pour ajuster les valeurs des pressions de rupture les plus déviées de la tendance linéaire, en utilisant la méthode statistique des moindres carrés. Cette méthode implique de tracer la variation de ce paramètre en fonction de la pression de confinement, puis de projeter sa valeur sur la ligne de régression plutôt que de se fier à la valeur expérimentale initiale. Les points se situent tous sur la même ligne, indiquant une similitude dans la nature des trois échantillons prélevés respectivement à des profondeurs de 3327.60 m et 3374.40 m.

Les valeurs de cohésion et d'angle de frottement sont répertoriées dans le tableau III.11. Une comparaison a été établie entre la configuration de l'enveloppe de rupture avant et après cette correction (figures 30 à 37).

**Tableau 11: Valeurs de  $C$  et  $\phi$  après correction de  $\sigma$  rup**

Drain	Côte(m)	C(MPa)	$\phi$ (Degrés)
	3327.60	5.3	60
D3	3334.40	7.2	56
	3374.40	7.8	57
ID	3384.40	8.8	58

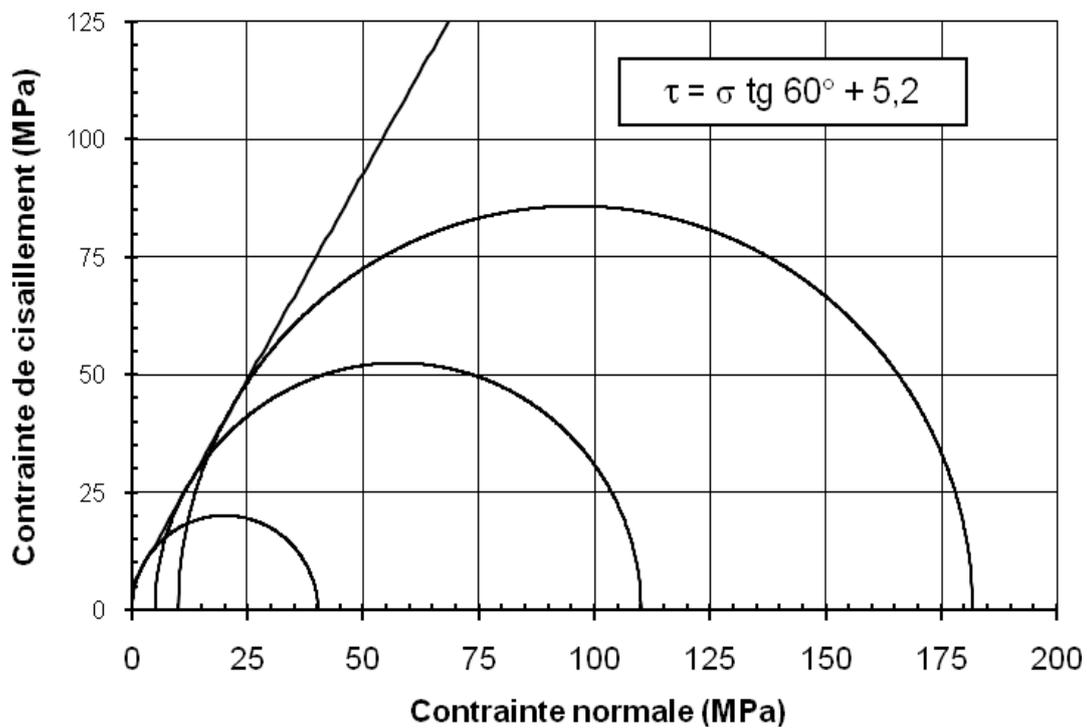


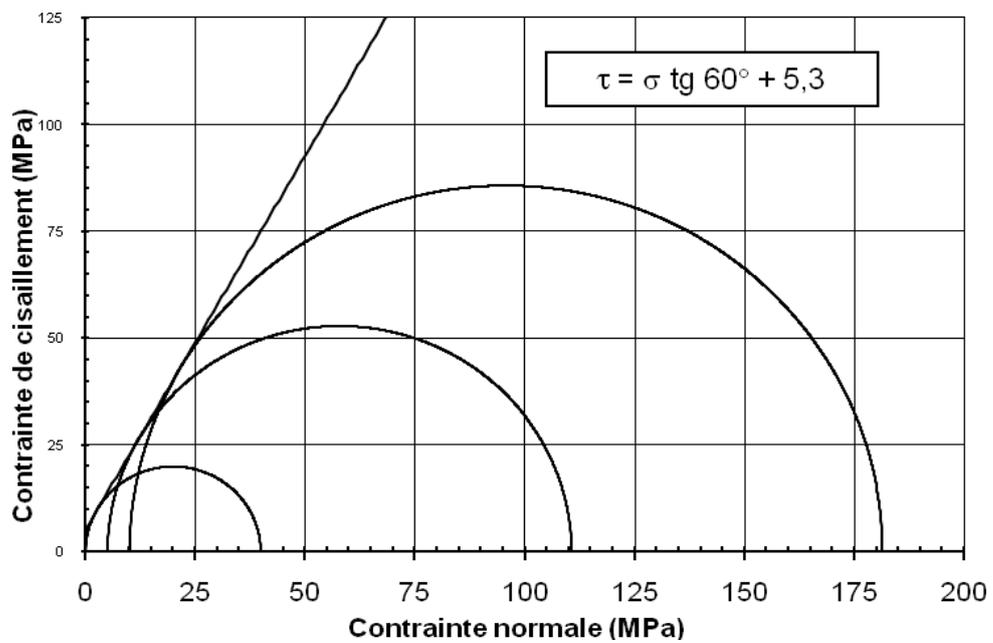
Figure 37: Enveloppe de rupture de type Mohr-Coulomb(avantcorrection).PuitsOMN402.DrainD3cote3327.60m

**2. Interprétation des résultats :**

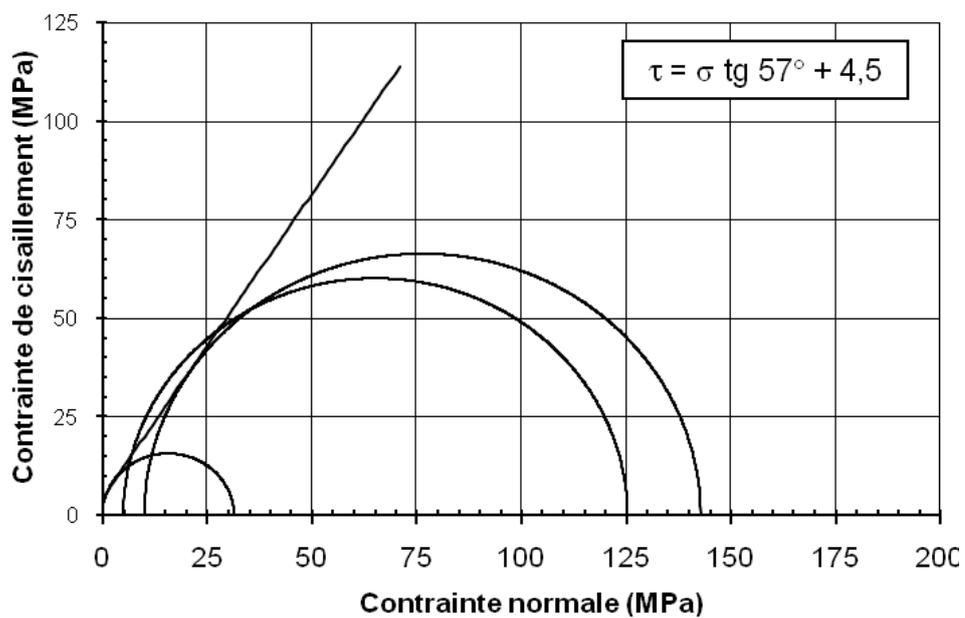
- **Cercles :** Chaque cercle représente des états différents des contraintes principales  $\sigma_1$  et  $\sigma_3$ . Le centre représente la contrainte moyenne, et le rayon représente la différence entre les contraintes.
- **Lignes droites :** Elles représentent l'équation de l'enveloppe de Mohr-Coulomb, qui exprime la relation entre la contrainte de cisaillement et la contrainte normale menant à la rupture.

Aux points de tangence (10, 35, 50 MPa), nous pouvons déterminer le coefficient de frottement interne et la cohésion du matériau à partir de la pente de la ligne droite et du point où elle touche le cercle.

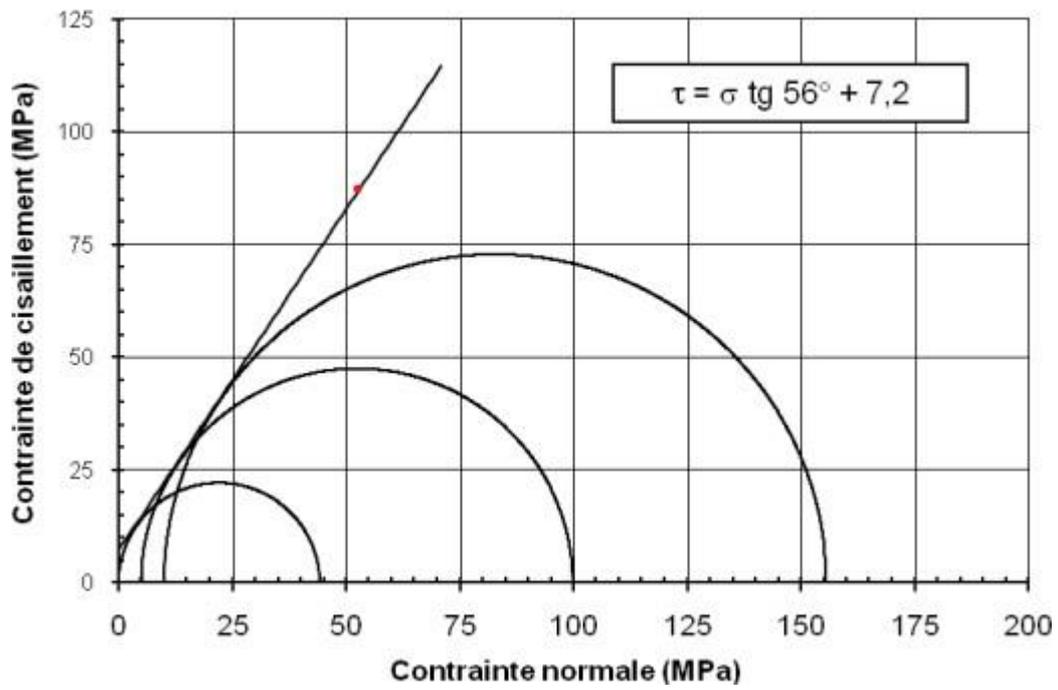
Ce graphique aide les ingénieurs à comprendre les propriétés du matériau et à prédire son comportement sous différentes charges.



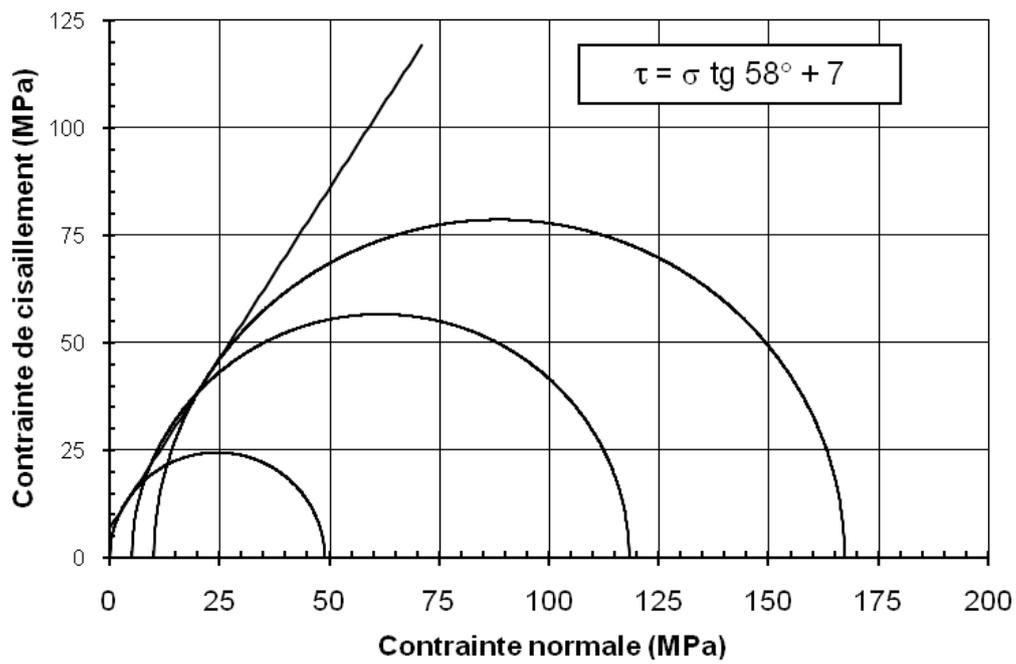
**Figure 37: Enveloppe de rupture de type Mohr-Coulomb(aprèscorrection).PuitsOMN402.DrainD3cote 3327.60m**



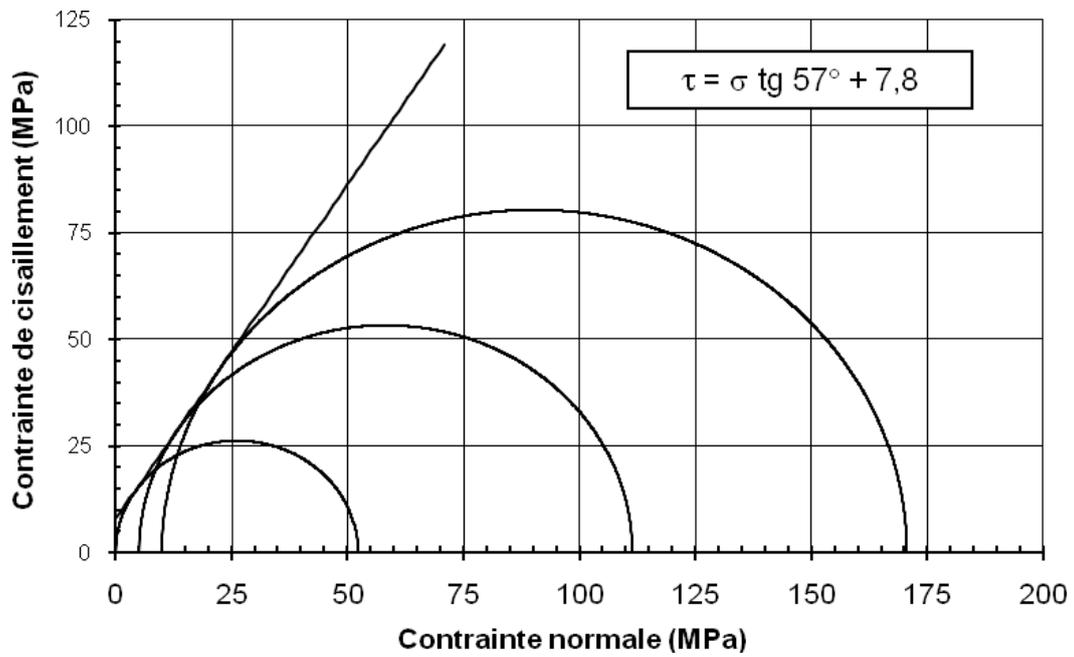
**Figure 38:Enveloppe derupturedetypeMohr-Coulomb(avantcorrection).PuitsOMN402.DrainD3cote3334.40m**



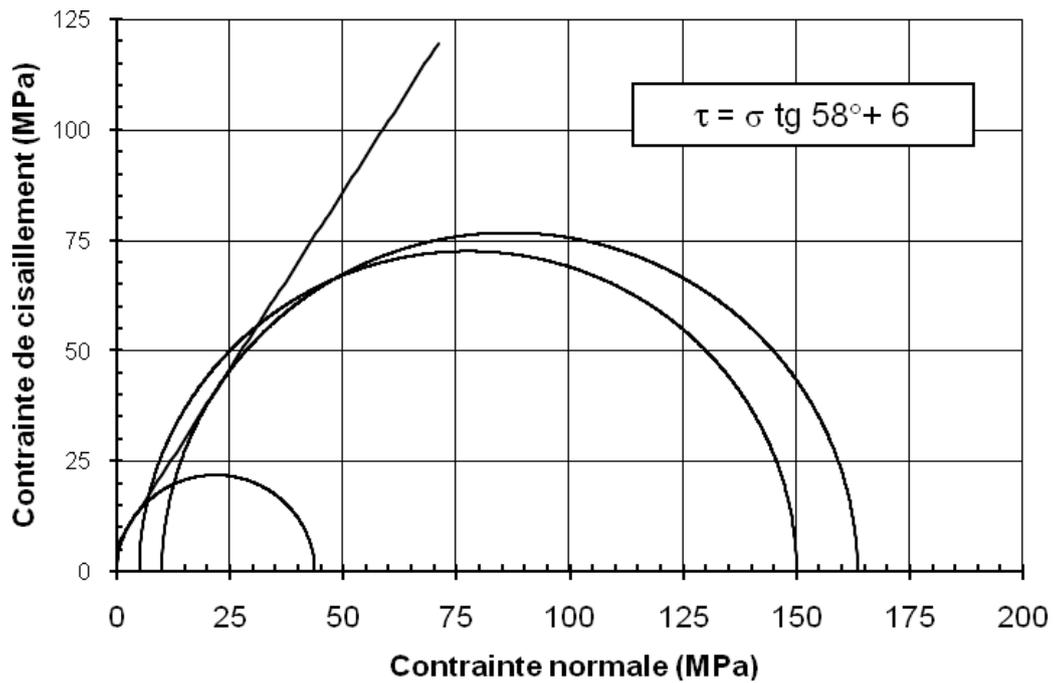
**Figure 39: Enveloppe de rupture de type Mohr-Coulomb (après correction). Puits OMN402. Drain D3 cote 3334.40m**



**Figure 40: Enveloppe de rupture de type Mohr-Coulomb (avant correction). Puits OMN402. Drain ID cote 3374.40m**



**Figure 41: Enveloppe de rupture de type Mohr-Coulomb (après correction). Puits OMN402. Drain ID. cote 3374.40m**



**Figure 42: Enveloppe de rupture de type Mohr-Coulomb (avant correction). Puits OMN402. Drain ID. cote 3384.40m**

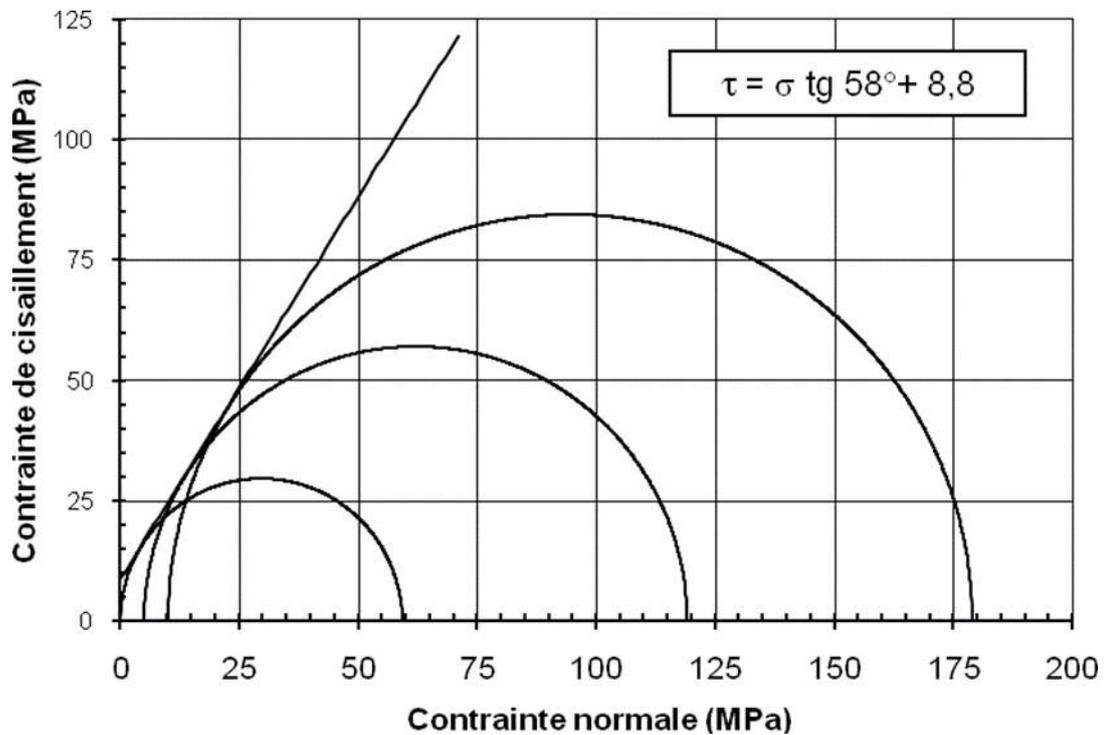


Figure 43: Enveloppe de rupture de type Mohr-Coulomb (avant correction). Puits OMN402. Drain ID. cote 3384.40m

### Conclusion

Les essais de compression simple ont révélé une contrainte de rupture allant de 31 à 89 MPa, un module de Young variant de 15 à 43 GPa et un coefficient de Poisson dans la plage de 0,1 à 0,29, avec une moyenne de 0,20. Les profils de la résistance à la compression simple et du module de Young ont montré une diminution de ces paramètres en fonction de la profondeur. Cependant, le coefficient de Poisson a suivi une variation aléatoire, même à l'échelle du drain.

Les essais triaxiaux effectués à deux niveaux de confinement (5 et 10 MPa) ont montré des valeurs de cohésion entre 5.3 et 8.8 MPa, et un angle de frottement interne variant de 56 à 60°. Le tracé des trois paramètres (UCS, E et  $\nu$ ) en fonction de la profondeur révèle une diminution de la résistance à la compression et du module de Young, tandis que le coefficient de Poisson présente une variation aléatoire.

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

L'objectif principal de ce travail a été l'élaboration d'une méthodologie pour l'étude géomécanique avec une modélisation qui servira de référence pour la compréhension des mécanismes qui sont à l'origine des instabilités des parois des puits afin de prévoir les solutions adéquates, et de pouvoir intervenir en temps réel en cas de problème lors du forage ou en cours d'exploitation (production).

Une large gamme d'essais a été établie au laboratoire et des mesures in situ afin de valider les caractéristiques mécaniques du réservoir Cambrien du champ de Hassi Messaoud.

Les essais montrent un module de Young qui varie de 15 à 63 GPa, un coefficient de Poisson se situant entre 0.1 et 0.29 et une résistance à la compression simple comprise entre 31 et 133 MPa.

Cette étude géomécanique servira comme référence pour :

- La prise de décision instantanée (en temps réel) lors des opérations de forage et de complétion.
- L'implantation et le choix de la trajectoire des puits horizontaux.
- L'implantation des puits injecteurs.
- Programme de fracturation hydraulique

## Références bibliographiques

- Comité français de mécanique des roches, (2000) : Manuel de Mécanique de Roches
- tome1 : fondements (265 pages).
- Comité français de mécanique des roches, (2004) : Manuel de Mécanique de Roches
- tome2 : applications (458 pages)
- J.Grolier & al , 1990 : Les propriétés physiques des roches Théorie et modèle (462 pages).
- Shouyi Xie, 2005 : Contribution à l'étude du comportement mécanique d'une roche poreuse (Université de sciences et technologies de Lille) (172 pages).
- M.BELHOUCHE, 2006 : Completion optimisation study Hassi Messaoud field OMKZ15
- Schlumberger (29 pages).
- John Fuller & al, 2007: Petroleum Geomechanics (310 pages).
- Kamel Belkheir, 2007 : Stabilité des puits déviés à Hassi Messaoud.
- O.Serra, 1979 : Diagraphies différées
- Rock Mechanics, 2005 : Sugar Land Learning Center (105 pages).
- Jenny Mabel Carvajal Jemenez & al, Geomechanical Wellbore Stability Modeling of
- Exploratory Wells.
- ZAHO Jian, 2008 : Roches et massifs rocheux (300 pages).
- Jérôme Bastan, 2005 : résistance des matériaux (274 pages)
- Lulya Oudjida, 2004 : Static Mechanical properties & Borehole stability prediction MDZ553 (25 pages).