

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA - BOUMERDES  
FACULTÉ DES HYDROCARBURES ET DE LA CHIMIE



DÉPARTEMENT DE GÉNIE PARASISMIQUE, GÉOPHYSIQUE ET PHÉNOMÈNES ALÉATOIRES

# MÉMOIRE

## DE FIN D'ÉTUDE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME  
DE MASTER EN GÉOPHYSIQUE

FILIÈRE : Science de la terre et de l'univers.

OPTION : Sismique, sismologie et méthodes de potentiel.

THÈME

**Étude des paramètres élastiques et Modélisation des vitesses dans  
le puits RMT1 Périmètre SIDI NADJI Bassin SE CONSTANTINOIS**

**\_ALGERIE\_**

Présenté par : **ZEMA Imane**

Soutenu le 02/10/2017

Devant le jury :

Présidente	: L.ALLIOUANE	MC/A	FHC/UMBB
Promoteur	: S. EL ADJ	MC/A	FHC/UMBB
Examineur	: R. BAUCHE	MC/B	FHC/UMBB
Examineur	: MK.DJEDDI	Prof	FHC/UMBB

Boumerdès-2017

*À mes parents qui m'ont donné la possibilité d'arriver là où je suis.*

*À mes frères et sœurs,*

*À ceux qui m'ont encouragé et soutenu moralement et matériellement pendant les moments les plus difficiles durant ma vie.*

*À tous mes amis et camarades*

*À Baha Eddine.R, Khadidja MK, Islem. Z, Med. N.A*

*IMANE*

# Remerciements

En premier lieu, j'exprime ma sympathie et mes vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire, qu'ils soient tous assurés de ma profonde reconnaissance et trouvent dans ces mots l'expression de mes sincères remerciements.

Je remercie vivement mon promoteur Mr ELADJ.S qui a accepté de me prendre en charge. Ses qualités humaines et scientifiques sont pour moi un exemple et une référence, qu'il trouve à cette occasion l'expression de ma profonde gratitude et sympathie.

Je remercie également Mr GACI. A, Ingénieur Géophysicien à l'institut Algérien de Pétrole pour son aide, ses conseils, sa disponibilité malgré ses occupations.

Je remercie mes enseignants qui ont contribué à ma formation au long des années passées au FHC et à tous les membres du jury pour avoir accepté de participer à la soutenance de ma thèse en dépit de leurs occupations.

Je souhaite aussi adresser mes remerciements à monsieur HOUGES. ABDELOUAHAB, ingénieur géophysicien à la division Exploration de la SONATRACH pour m'avoir consacré de son temps et m'avoir aidé.

C'est avec un plaisir que je remercie tout le personnel du département SE constantinois et le service de formation pour son accueil et sa disponibilité, notamment Messieurs BELFAR FARID, KHATHIR BELAID et Madame NADJATT de m'avoir donné de leur temps et de m'avoir donné l'opportunité de travailler sur ce thème.

Il est évident que je passe un salut reconnaissant à mes camarades du groupe MAGP12 et à mes amis pour leur gentillesse et leur amitié.

IMANE

# TABLES DES MATIÈRES

**Dédicaces**

**Remerciements**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Introduction générale.....1**

<b>Chapitre I Physique des roches</b>
---------------------------------------

Introduction.....3

I.1-Les paramètres pétro physiques des roches réservoirs.....3

    I.1.1-Porosité.....3

    I.1.2-Perméabilité.....4

    I.1.3-Saturations.....5

I.2-Les paramètres acoustiques de la roche.....5

    I.2.1-Densité.....5

    I.2.2-Vitesses des ondes sismiques.....6

        I.2.2.1 Les ondes sismiques.....6

        I.2.2.2-Les ondes P.....6

        I.2.2.3-Les ondes S.....6

        I.2.2.4-L'équation d'onde.....7

        I.2.2.5-Les expressions des vitesses.....10

    I.2.3-Impédance acoustique.....11

I.3-Les paramètres élastiques.....11

I.3.1-Rappel sur la théorie d'élasticité.....11

    I.3.1.1-Théorie d'élasticité.....11

    I.3.1.2-Contrainte.....11

    I.3.1.3-Tenseur de contraintes.....12

    I.3.1.4-Déformation.....13

    I.3.1.5-Tenseur de déformation .....15

I.3.1.5-Enoncé de la loi de Hooke.....	16
II.3.2-Modules d'incompressibilité k.....	17
II.3.3-Paramètres de Lamé.....	18
II.3.4-Module de Young E.....	19
II.3.5-Module de compression M.....	20
II.3.6-Coefficient de POISSON $\sigma$ .....	20
II.4-Principaux facteurs affectant la vitesse dans les différentes roches.....	22
II.4.1-Equation de WYLLIE.....	24
II.4.2-Les équations de BIOT-GASSMANN.....	26
II.4.3-Equations de HAN et al (1986).....	29
II.4.4-Les équations de MAVCO.....	30
Conclusion.....	30

## Chapitre II présentation de La région d'étude

III.1-Contexte géographique.....	31
III.2-Contexte géologique.....	31
III.3-Historique des travaux réalisés dans la région de SIDI NADJI.....	33
III.4-Aspect structural.....	35
III.5-Aspect stratigraphique.....	35
III.6-Aspect pétrolier.....	39
III.6.1-Roches mères .....	39
III.6.2-Roches réservoirs.....	39
III.6.3-Roches couvertures.....	39
III.6.4-Piège.....	39

## Chapitre III Analyse des paramètres élastiques

Introduction.....	40
III.1-Les différentes données de diagrapie du puits RMT1.....	40
III.1.1-Explication sur les différentes mesures réalisées dans le puits RMT1.....	40
III.1.2-Les différentes données calculées à partir de ces mesures :.....	45

III.2-Détermination des paramètres élastiques .....	46
III.2.1-Calcul des $V_p$ et $V_s$ .....	46
III.2.2-Calcul des impédances acoustiques $I_p$ et $I_s$ .....	46
III.2.3-Calcul des paramètres élastiques par EXCEL2007.....	48
III.2.4-Estimation des paramètres élastiques par Petrel2014.....	53
III.3-Analyse des cross plots.....	56
III.3.1-Analyse des cross plots 2D.....	56
III.3.2-Analyse des cross plots 3D.....	63
III.3.3-Interprétation des cross plots.....	65
III.4-Analyses des différents paramètres élastiques.....	66
III.4.1-Etude du premier réservoir carbonaté du Turonien T1.....	67
III.4.2-Etude du deuxième réservoir carbonaté du Turonien T2.....	72
III.4.3-Etude du troisième réservoir carbonaté du Turonien T3.....	75
III.4.4-Interprétation des paramètres élastiques.....	76

<b>Chapitre IV Modélisation de vitesses</b>
---

V.4-Modélisation des vitesses $V_p$ et $V_s$ .....	79
V.4.1-Modélisation de la vitesse $V_p$ .....	79
V.4.2-Modélisation de la vitesse $V_s$ .....	91
V.5-Discussions sur le meilleur modèle de la vitesse $V_p$ .....	95
Conclusion.....	97
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>98</b>

# LISTES DES FIGURES

## Chapitre I Physique des roches

<b>Figure I.1</b> Les différents types de porosité (CHOQUETTE et PRAY, 1970).....	4
<b>Figure I.2</b> Propagation de l'onde sismique P.....	6
<b>Figure I.3</b> Propagation de l'onde sismique S.....	7
<b>Figure I.4</b> Composantes des contraintes agissant sur un cube élémentaire.....	12
<b>Figure I.5</b> Exemples de déformations normales.....	13
<b>Figure I.6</b> Déformation par cisaillement.....	14
<b>Figure I.7</b> Comportement des matériaux soumis à des contraintes.....	16
<b>Figure I.8</b> Déformation longitudinale et transversale d'un corps.....	20
<b>Figure I.9</b> Courbe théorique de la variation du rapport $V_p/V_s$ en fonction de coefficient de Poisson $\sigma$ .....	21
<b>Figure I.10</b> Facteurs affectants la vitesse.....	22
<b>Figure I.11</b> Effet des pores (BOYER & MAR,1994) .....	24
<b>Figure I.12</b> Variation de vitesse en fonction de saturation en eau.....	25
<b>Figure I.13</b> Classification schématique de principaux paramètres des relations de poro-élastique.....	27
<b>Figure I.14</b> Vitesse en fonction de la porosité basée sur l'expérience de Hun et al(1986) a) Vitesse de compression $V_p$ en fonction de la porosité $\Phi$ b) Vitesse de cisaillement $V_s$ en fonction de la porosité $\Phi$ .....	29

## Chapitre II Présentation de la région d'étude

<b>Figure II.1</b> Plan de situation géographique du périmètre de recherche Sidi Nadji.....	32
<b>Figure II.2</b> Carte géologique du périmètre Sidi Nadji.....	32
<b>Figure II.3</b> Plan de position des profils sismiques réalisés dans le périmètre Sidi Nadji .....	34
<b>Figure II.4</b> Emplacement du puits RMT1 sur la section sismique.....	34
<b>Figure II.5</b> Colonne stratigraphique du périmètre Sidi Nadji bassin SE Constantinois	37

## Chapitre III Analyse des paramètres élastiques

<b>Figure III.1</b> : Interaction corpusculaire.....	41
<b>Figure III.2</b> : Extraits de signatures diagraphiques des différentes propriétés physiques d'un intervalle du puits RMT1.....	43
<b>Figure III.3</b> : montre la profondeur du point de MDT.....	44
<b>Figure III.4</b> montre les résultats obtenus tels que les vitesses $V_p$ et $V_s$ , les impédances acoustiques $I_p$ et $I_s$ , les paramètres élastiques et le volume d'argiles sur une feuille d'EXCEL 2007.....	51
<b>Figure III.5</b> aide à comprendre la commande ROCK PHYSICS dans PETREL2014.....	53
<b>Figure III.6</b> montre les outputs qui sont les paramètres élastiques déterminés sur PETREL 2014.....	54
<b>Figure III.7</b> Les différents paramètres acoustiques et élastiques le long du puits RMT1....	55
<b>Figure III.8</b> Cross plot rapport $V_p/V_s$ en fonction de l'impédance acoustique $I_p$ .....	57
<b>Figure III.9</b> Cross plot de résistivité électrique $R_t$ en fonction de l'impédance acoustique $I_p$ .....	58
<b>Figure III.10</b> Cross plot résistivité électrique $R_t$ en fonction de vitesse acoustique $V_p$ .....	59
<b>Figure III.11</b> Cross plot différence $\Lambda \rho - \mu \rho$ en fonction de la résistivité électrique $R_t$ .....	60
<b>Figure III.12</b> Cross plot rapport $V_p/V_s$ en fonction de $\mu \rho$ .....	61
<b>Figure III.13</b> Cross plot rapport $(\Lambda \rho / \mu \rho)$ en fonction de la différence $\Lambda \rho - \mu \rho$ .....	62
<b>Figure III.14</b> Cross- plot 3D d'Impédance acoustique_ Rapport $V_p/V_s$ _ Densité.....	63
<b>Figure III.15</b> Cross- plot 3D de Coefficient de Poisson _ Module de Young_ Impédance acoustique.....	64
<b>Figure III.16</b> : montre les trois réservoirs carbonatés du Turonien (T1, T2 et T3).....	66
<b>Figure III.17</b> montre la première zone du premier réservoir carbonaté T1 du Turonien..	67
<b>Figure III.18</b> montre la deuxième zone du premier réservoir carbonaté T1 du Turonien..	68
<b>Figure III.19</b> montre le sixième banc de la première zone du deuxième réservoir carbonaté T2 du Turonien.....	74
<b>Figure III.20</b> montre la deuxième zone du troisième réservoir carbonaté T3 du Turonien...75	
<b>Figure III.21</b> montre les différentes zones dans les trois réservoirs carbonatés du Turonien T1, T2 et T3.....	78

<b>Chapitre IV Modélisation de vitesses</b>
---

<b>Figure IV.1</b> Comparaison entre Vp mesurée et Vp calculée par l'approche de Mavco et al (1998) d'un intervalle du puits RMT1 .....	80
<b>Figure IV.2</b> : montre le calcul de la première approche de Wyllie sur EXCEL 2007 .....	81
<b>Figure IV.3</b> : montre le calcul de la première approche de Wyllie sur PETREL 2014 .....	81
<b>Figure IV.4</b> : Comparaison entre Vp mesurée et Vp calculée par la première approche de WYLLIE d'un intervalle du puits RMT1 .....	82
<b>Figure IV.5</b> : montre le calcul de la deuxième approche de Wyllie sur PETREL 2014 .....	84
<b>Figure IV.6</b> : Comparaison entre Vp mesurée et Vp calculée par la deuxième approche de WYLLIE d'un intervalle du puits RMT1 .....	85
<b>Figure IV.7</b> : Comparaison entre Vp mesurée et Vp calculée par l'approche de Han et al (1986) d'un intervalle du puits RMT1 .....	87
<b>Figure IV.8</b> : montre les calculs suivis sur Excel 2007 pour déterminer K sat (module d'incompressibilité de volume d'une roche saturée de fluides) à une certaine profondeur ...	89
<b>Figure IV.9</b> : Comparaison entre Vp mesurée et Vp calculée par l'approche de BIOT-GASSMAN d'un intervalle du puits RMT1 .....	90
<b>Figure IV.10</b> Comparaison entre Vs mesurée (en noir) et Vs (en rouge) calculée par l'approche de Mavco .....	92
<b>Figure IV.11</b> : Comparaison entre Vs mesurée et Vs calculée par l'approche de Han et al (1986) d'un intervalle du puits RMT1 .....	93
<b>Figure IV.12</b> : Comparaison entre Vs mesurée et Vs calculée par l'approche de BIOT-GASSMAN d'un intervalle du puits RMT1 .....	94
<b>Figure IV.13</b> : Écart entre Vp mesurée et Vp calculée par l'approche de Biot Gassman. ....	95
<b>Figure IV.14</b> : Vitesse calculée par BIOT GASSMANN en fonction de Vp mesurée avec une variation de porosité .....	96



# LISTE DES TABLEAUX

## Chapitre I Physique des roches

**Tableau I.1** : Tableau des gammes du rapport  $V_p/V_s$  en fonction de la lithologie.....23

## Chapitre III Analyse des paramètres élastiques

**Tableau III.1** : montre les différents paramètres acoustiques calculés ainsi que le rapport  $V_p/V_s$  calculé à partir du 3000.146m jusqu' à 3003.651 m du puits RMT1.....47

**Tableau III.2** : montre les différents paramètres élastiques calculés à l'intervalle 3000.146 - 3003.651 m du puits RMT1.....52

**Tableau III.3** : Tableau des zones du premier réservoir carbonaté T1 du Turonien.....77

**Tableau III.4** : Tableau des zones du deuxième réservoir carbonaté T2 du Turonien.....77

**Tableau III.5** : Tableau des zones du Troisième réservoir carbonaté T3 du Turonien.....77

## Chapitre IV Modélisation de vitesses

**Tableau IV.1** : montre le calcul de la vitesse  $V_p$  mavco sur EXCEL2007.....79

**Tableau IV.2** : montre le principe de calcul de la Vitesse de Wyllie sur Excel 2007 à certaine profondeur.....83

**Tableau IV.3** : Quelques valeurs de volume d'argiles calculées à partir des données de GR.....86

# **I**ntroduction Générale

## Introduction Générale

Durant les dernières décennies, l'étude des propriétés physiques des roches en relation avec l'exploration sismique a connu un grand progrès. Au cours de cette période, plusieurs théories et expérimentations ont été développées. Les résultats de certaines de ces théories ont joué un rôle primordial dans l'évolution des sciences de la terre et des technologies d'exploration et surtout pour les réservoirs complexes.

En exploration pétrolière, la technique d'imagerie la plus couramment utilisée reste l'imagerie par sismique réflexion. Celle-ci permet d'obtenir une première représentation des structures géologiques pouvant contenir des hydrocarbures.

La sismique réflexion est basée sur la propagation des ondes acoustiques dans le sous-sol pour établir le lien entre les propriétés des roches et cette dernière. En plus les enregistrements des diagraphies en l'occurrence le sonique ont connu un grand saut, surtout par l'arrivée du sonique scanner pour résoudre la problématique des réservoirs complexes en occurrence les carbonates, car le dépôt des carbonates est contrôlé avec des conditions limitées et leur évolution durant le temps géologique est plus complexe au contraire des grès.

La dolomitisation est la transformation du calcium à la substitution du magnésium, c'est une parmi les plus importantes transformations des dégradations des propriétés des réservoirs.

Un autre aspect important relié avec l'interaction entre la matrice et les fluides qui remplissent les pores autrement dit, si la solution réactive est à haute pression et température, elle peut affecter la matrice ce qui provoque un changement brusque des propriétés élastiques, ceci affecte la propagation des ondes sismiques.

L'évaluation des réservoirs carbonatés et les résultats sont toujours mitigés, vu que ces derniers nécessitent d'autres techniques plus avancées comme l'intégration des données géomécaniques, élastiques et sédimentologie.

Grâce aux relations liant les propriétés physiques des roches, les vitesses de propagation des ondes sismiques et les paramètres pétro physiques des roches, nous avons pu calculer les paramètres élastiques du réservoir.

Ce travail vise à chercher le meilleur modèle de vitesse, par le biais des différents concepts, liant la vitesse calculée par celle mesurée et à déterminer le facteur influant sur la variation de ce paramètre le long du puits d'étude.

Cette présente étude se subdivise en trois chapitres :

Le premier chapitre introduit un rappel sur la théorie d'élasticité ainsi que l'équation de propagation de l'onde sismique, les différents paramètres pétro physiques, acoustiques et élastiques et les différentes relations entre les propriétés des roches et les vitesses de la propagation d'une onde ainsi que les facteurs affectant ces vitesses.

Le deuxième chapitre comprend le cadre général de la région ainsi que les activités sismiques et les forages réalisés dans le périmètre Sidi Nadji.

Quant au troisième chapitre, un aperçu sur les données du puits d'étude qui ont servi au développement de ce travail et une analyse des différents paramètres calculés

Le quatrième chapitre introduit la modélisation des vitesses par différentes approches afin de se rapprocher du modèle représentatif des vitesses.

# **CHAPITRE I**

## **Physique des roches**

## Introduction

La physique des roches est la discipline qui établit le lien entre les propriétés des roches et la réponse sismique. En d'autres termes, elle décrit les propriétés des roches réservoirs telles que la porosité, la rigidité, et la compressibilité ; ces propriétés vont affecter la propagation des ondes sismiques à travers un volume de roches.

Dans ce chapitre, on introduira les différentes relations entre les propriétés des roches et les vitesses de propagation d'une onde sismique.

## I.1-Les paramètres pétrophysiques des roches réservoirs

### I.1.1-Porosité

Dans les gisements, le pétrole occupe les vides entre les particules minérales. Pour le pétrolier, l'étude et la mesure de la porosité sont essentielles.

La porosité ( $\Phi$ ) est définie comme étant le rapport entre le volume des vides dans la roche (pores) et le volume total de la roche considérée

$$\Phi = \frac{\text{volume des pores}}{\text{volume total de la roche}} * 100 \quad [\text{I.1}]$$

La porosité est souvent utilisée en pourcentage, vu les petites valeurs qu'on a pour les roches sédimentaires.

#### a) En termes de nature de porosité, on a :

- Porosité faible : si  $\Phi \leq 5$  %
- Porosité médiocre : si  $5 \leq \Phi \leq 10$  %
- Porosité moyenne : si  $10 \leq \Phi \leq 20$  %
- Porosité bonne : si  $20 \leq \Phi \leq 30$  %
- Porosité excellente : si  $\Phi \geq 30$  %

#### b) En termes de l'origine, il existe deux classements de porosité :

##### -Porosité primaire

C'est la porosité qui résulte des vides laissés entre les grains au cours de la sédimentation et la diagenèse. Elle se forme en même temps que la roche.

##### -Porosité secondaire

C'est la porosité qui se forme ultérieurement après la formation et la consolidation de la roche. Cette porosité est générée par les phénomènes de fissuration de fracturation ; de dissolution, et de recristallisation.

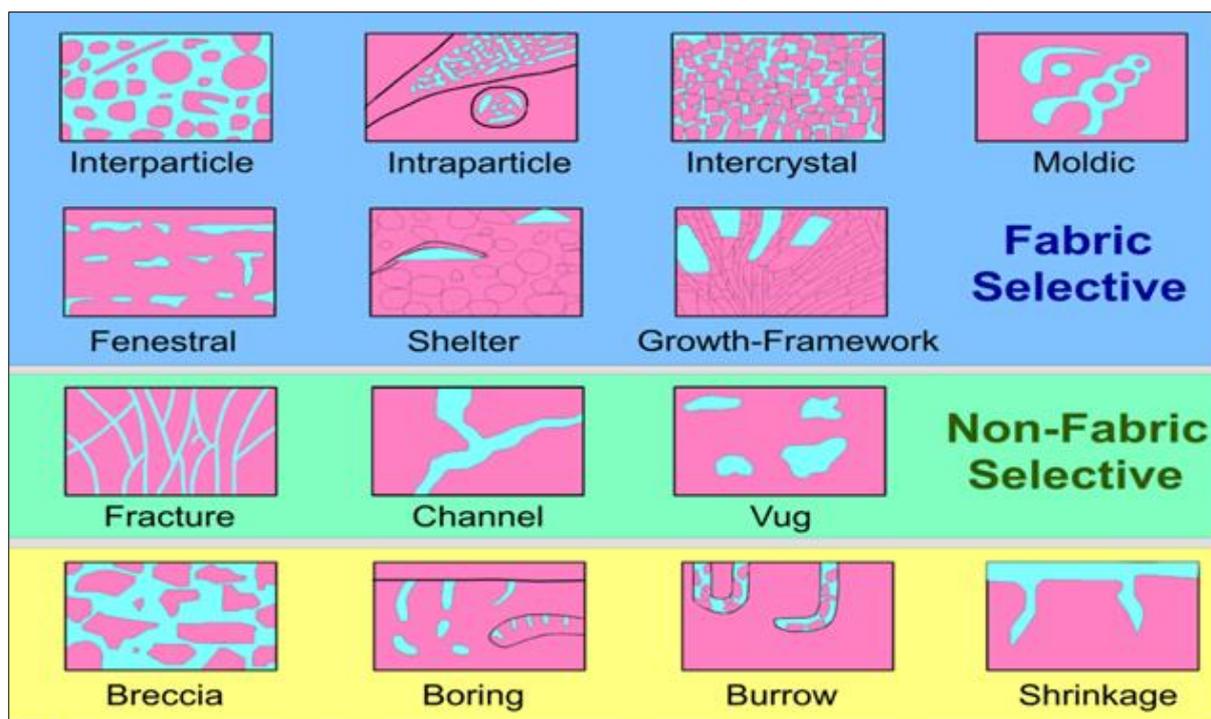


Figure I.1 : Les différents types de porosité (CHOQUETTE et PRAY, 1970)

## I.1.2-Perméabilité

### I.1.2.1-Définition

Elle définit la facilité avec laquelle une roche se laisse traverser par les fluides.

$$Q = K \frac{S \Delta P}{\eta \Delta l} \quad [I.2]$$

Où Q : Débit du fluide traversant la roche en  $\text{cm}^3/\text{s}$ .

S : section de passage du fluide en  $\text{cm}^2$ .

$\eta$  : Viscosité du fluide en centpoises.

$\Delta P$  : La différence de pression en atmosphères.

$\Delta l$  : représente la longueur de l'échantillon en centimètre.

K : la perméabilité de l'échantillon en darcy(d).

### I.1.2.2-Types de perméabilité :

- La perméabilité horizontale ou latérale, qui correspond à un écoulement des fluides parallèlement au litage.
- La perméabilité verticale ou transverse qui correspond à un écoulement perpendiculaire.

### I.1.3-Saturations

Il est essentiel de connaître la nature des fluides qui occupent les pores d'une roche réservoir.

La saturation d'un échantillon de roche en fluide est le rapport du volume de ce fluide dans l'échantillon au volume de pores de l'échantillon considéré. Elle est exprimée en pourcentage.

$$S = \frac{\text{volume de fluide}}{\text{volume des pores}} * 100 \quad \text{[I.3]}$$

Dans le cas d'un gisement à hydrocarbures, les pores contiennent d'eau  $S_w$ , d'huile  $S_o$  ou de gaz  $S_g$ .

Il reste toujours de l'eau piégée dans les pores d'une roche réservoir, appelée eau initiale, la saturation en eau initiale  $S_{wi}$  varie entre 10a 35%.

$$\begin{aligned} V_{\text{pore}} &= V_w + V_{hc} \\ S_w &= \frac{V_w}{V_{\text{pore}}}, \quad S_{hc} = \frac{V_{hc}}{V_{\text{pore}}} \\ S_w + S_{hc} &= 1 \end{aligned}$$

## I.2-Les paramètres acoustiques de la roche

### I.2.1-Densité

#### I.2.1.1-Définition

Pour un milieu homogène, la densité d'une roche est définie comme le rapport de sa masse à l'unité de son volume :

$$\rho = \frac{\text{masse de la roche}}{\text{volume}} \quad \text{[I.4]}$$

Pour un milieu non homogène contenant un seul type de fluide, Wyllie a donné la relation suivante :

$$\rho_b = \rho_{ma} (1 - \Phi) + \rho_{fl} \Phi \quad \text{[I.5]}$$

Où

$\rho_b$ : désigne la densité de la formation.

$\rho_{ma}$  : désigne la densité de la matrice.

$\rho_{fl}$  : désigne la densité du fluide.

$\Phi$  : désigne la porosité.

La densité du fluide est déterminée par la relation suivante :

$$\rho_{fl} = (1-S_w) \rho_{hc} + S_w \rho_w \quad [I.6]$$

Avec :  $\rho_{fl}$ ,  $\rho_{hc}$ ,  $\rho_w$ ,  $S_w$  : sont densité du fluide ,densité d'hydrocarbure, densité d'eau salée, saturation en eau .

## I.2.2-Vitesses des ondes sismiques

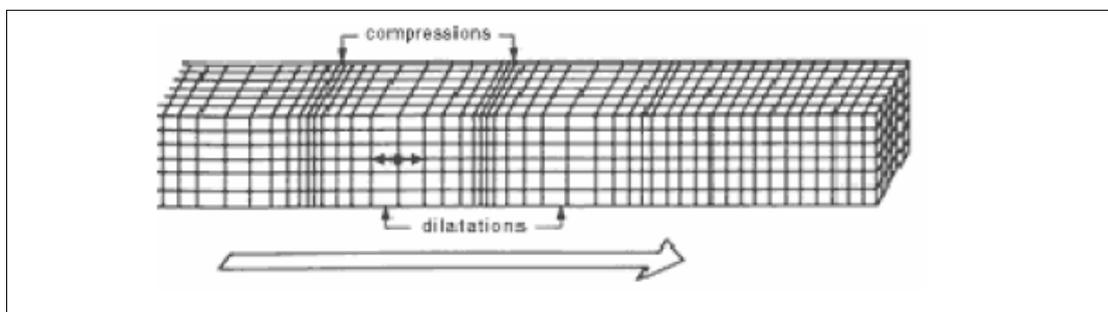
### I.2.2.1- Les ondes sismiques

Le déclenchement d'une source sismique (en surface ou près de la surface du sol) entraîne la transmission de son énergie sous forme d'ondes élastiques dans le sous sol. Ces ondes qui se propagent à travers la terre sont appelées ondes sismiques. On distingue deux catégories d'ondes sismiques : les ondes de volume et les ondes de surface.

En sismique pétrolière, on ne s'intéresse qu'aux ondes de volume (ondes P et ondes S) car les ondes de surface sont considérées comme des bruits à atténuer.

### I.2.2.2 - Les ondes P

Le premier type d'ondes est appelé ondes longitudinales, ondes de compression ou ondes primaires P car ce sont elles qui arrivent en premier. Le mouvement des particules se fait selon un mouvement de compression et de dilatation .Le sens de vibration des particules est parallèle à l'axe de propagation.



**Figure I.2** : Propagation de l'onde sismique P

(Mari & Chapellier, Géophysique de gisement et de génie civil)

### I.2.2.3- Les ondes S

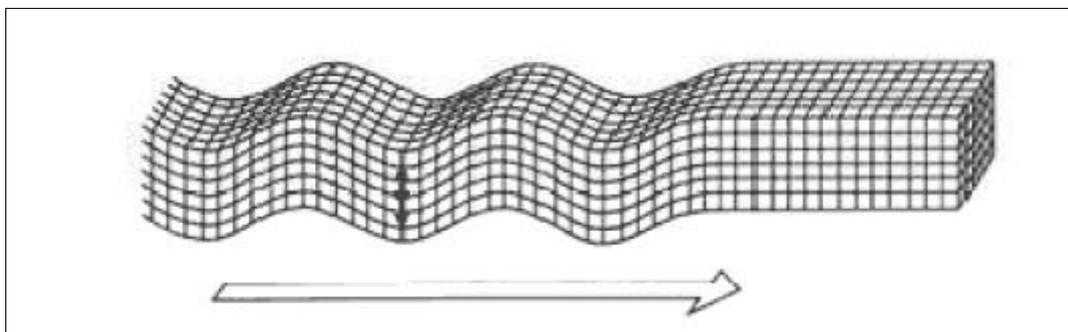
Le second type d'ondes correspond à un mouvement de cisaillement. On les appelle des ondes transverses, ondes de torsion ou ondes secondaires S car ce sont elles qui arrivent en second. Le mouvement des particules se fait perpendiculairement à la direction de propagation de l'onde.

Elle se subdivise en deux sortes d'ondes

-Onde horizontale SH.

-Onde verticale SV.

Ces ondes ne propagent pas dans le milieu liquide.



**Figure I.3 :** Propagation de l'onde sismique S

(Mari & Chapellier, Géophysique de gisement et de génie civil)

#### I.2.2.4-L'équation d'onde

En prenant le cas où les contraintes s'exercent sur la face avant et arrière de l'élément de volume considéré ( $dx dy dz$ ) (Figure II.1)

On aura sur la face d'avant EDGF :

$$\sigma_{xx} + \frac{d\sigma_{xx}}{dx} dx, \sigma_{yx} + \frac{d\sigma_{yx}}{dx} dx, \sigma_{zx} + \frac{d\sigma_{zx}}{dx} dx$$

Vu que les contraintes sur la face arrière sont opposées à celles de la face avant, les contraintes résultantes deviennent :

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x}, \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x}, \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x}$$

Les forces résultantes par unité de volume agissant dans la direction des axes, sont donc :

$$\frac{d\sigma_{xx}}{dx}, \frac{d\sigma_{yx}}{dx}, \frac{d\sigma_{zx}}{dx}$$

Des expressions semblables sont valables pour les autres faces.

Ainsi la contrainte totale selon l'axe des x est :  $\left( \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \right)$

D'après la deuxième loi de Newton, la face non équilibrée est égale au produit de la masse par l'accélération.

Alors l'équation du mouvement selon l'axe des x s'écrit :

$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$  = force non équilibrée selon l'axe des x.

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \quad [I.7]$$

Où  $\rho$  est la masse volumique.

On écrit les équations analogues pour le mouvement selon les deux autres axes y et z

L'équation [I.7] relie le déplacement aux contraintes. En utilisant la loi de Hooke pour remplacer les contraintes par des déformations, on peut exprimer les déformations en termes de déplacements, comme suit :

On prend le cas des contraintes selon l'axe des x :

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z}$$

En remplaçant les contraintes par les déformations en utilisant la loi de Hooke, on trouve :

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \lambda \frac{\partial \Delta}{\partial x} + 2\mu \frac{\partial \epsilon_{xx}}{\partial x} + \mu \frac{\partial \epsilon_{xy}}{\partial y} + \mu \frac{\partial \epsilon_{xz}}{\partial z}$$

En exprimant les déformations en termes de déplacement, L'expression ci-dessus devient :

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} &= \lambda \frac{\partial \Delta}{\partial x} + \mu \left\{ 2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial z} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \right\} \\ &= \lambda \frac{\partial \Delta}{\partial x} + \mu \nabla^2 u + \mu \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \end{aligned}$$

Ce qui donne après simplification :

$$\rho \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2} = (\lambda + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial x} + \mu \nabla^2 \mathbf{u} \quad [\text{I.8}]$$

Avec

$$\nabla^2 \mathbf{u} = \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial z^2}$$

Et

$$\Delta = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz} = \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial y} + \frac{\partial \mathbf{w}}{\partial z}$$

De même pour v et w, on trouve :

$$\rho \frac{\partial^2 \mathbf{v}}{\partial t^2} = (\lambda + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial y} + \mu \nabla^2 \mathbf{v} \quad [\text{I.9}]$$

$$\rho \frac{\partial^2 \mathbf{w}}{\partial t^2} = (\lambda + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial z} + \mu \nabla^2 \mathbf{w} \quad [\text{I.10}]$$

Pour obtenir l'équation d'onde, on différencie les équations [I.8] [I.9] [I.10] par rapport à x, y et z on fait la somme :

$$\rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial y} + \frac{\partial \mathbf{w}}{\partial z} \right) = (\lambda + \mu) \left( \frac{\partial^2 \Delta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Delta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Delta}{\partial z^2} \right) \frac{\partial \Delta}{\partial z} + \mu \nabla^2 \left( \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial y} + \frac{\partial \mathbf{w}}{\partial z} \right)$$

On obtient alors :

$$\rho \frac{\partial^2 \Delta}{\partial t^2} = (\lambda + 2\mu) \nabla^2 \Delta$$

En soustrayant la dérivée de [I.9] par rapport à z de la dérivée de [I.10] par rapport à y, on aura :

$$\rho \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} \left( \frac{\partial \mathbf{w}}{\partial y} - \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial z} \right) = \mu \nabla^2 \left( \frac{\partial \mathbf{w}}{\partial y} - \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial z} \right) \leftrightarrow \rho \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = \mu \nabla^2 \theta$$

On aura des résultats analogues pour  $\theta_y$  et  $\theta_z$ .

Donc, les équations d'ondes sont :

$$\text{Dans le cas de déformations : } \frac{1}{v_p^2} \frac{\partial^2 \Delta}{\partial t^2} = \nabla^2 \Delta$$

$$\text{Dans le cas de rotations : } \frac{1}{v_s^2} \frac{\partial^2 \theta_i}{\partial t^2} = \nabla^2 \theta_i$$

$$\text{Tels que : } v_p^2 = \frac{\lambda+2\mu}{\rho} \text{ et } v_s^2 = \frac{\mu}{\rho}$$

La forme générale de l'équation d'onde est :

$$\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = \nabla^2 \psi \quad \text{[I.11]}$$

Où

$v$  est une constante qui représente la vitesse.

Lors de l'analyse des données sismiques, deux vitesses ont d'une importance majeure ; la vitesse des ondes de compression  $v_p$  et la vitesse des ondes de cisaillement  $v_s$ .

### I.2.2.5-Les expressions de vitesses $v_p$ et $v_s$

Pour un milieu isotrope, homogène et élastique, les vitesses de l'onde P et de l'onde S sont exprimées par les formules suivantes :

$$v_p = \sqrt{\frac{2\lambda+\mu}{\rho}} \quad \text{[I.12]}$$

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad \text{[I.13]}$$

Et comme  $\lambda = k - (2/3)\mu$

$$v_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad \text{[I.14]}$$

Où

$\lambda, \mu$  : sont les coefficients de Lamé.

$\rho$ : est la densité.

K : est le module d'incompressibilité.

Le rapport entre  $V_p$  et  $V_s$  est donné par :

$$\frac{V_p}{V_s} = \left( \frac{\lambda + 2\mu}{\mu} \right)^{\frac{1}{2}} \quad [\text{I.15}]$$

### I.2.3- Impédance acoustique :

L'impédance acoustique  $Z$  (ou  $I$ ), d'une couche géologique est le produit de la densité (ou la masse volumique) par la vitesse :

$$Z = \rho * V \quad [\text{I.16}]$$

Cette relation montre bien que l'impédance acoustique  $Z$  est une caractéristique de la nature du milieu dans lequel se propage l'onde acoustique. Elle ne dépend que de la masse volumique et de la vitesse qui sont évidemment des caractéristiques du milieu.

## I.3- Les paramètres élastiques

### I.3.1- Rappel sur la théorie d'élasticité

#### I.3.1.1- Théorie d'élasticité

La théorie d'élasticité étudie la déformation des corps dans le cas de contraintes qui ne produisent pas de déformations permanentes.

#### I.3.1.2- Contrainte

On définit par l'intensité de la force par unité de surface. Elle s'exprime en  $\text{Kg/cm}^2$

$$T = \frac{\sum F}{S} = \frac{N}{S} \quad [\text{I.17}]$$

T : est la contrainte.

N : est la somme de forces appliquées ( $N = \sum F$ )

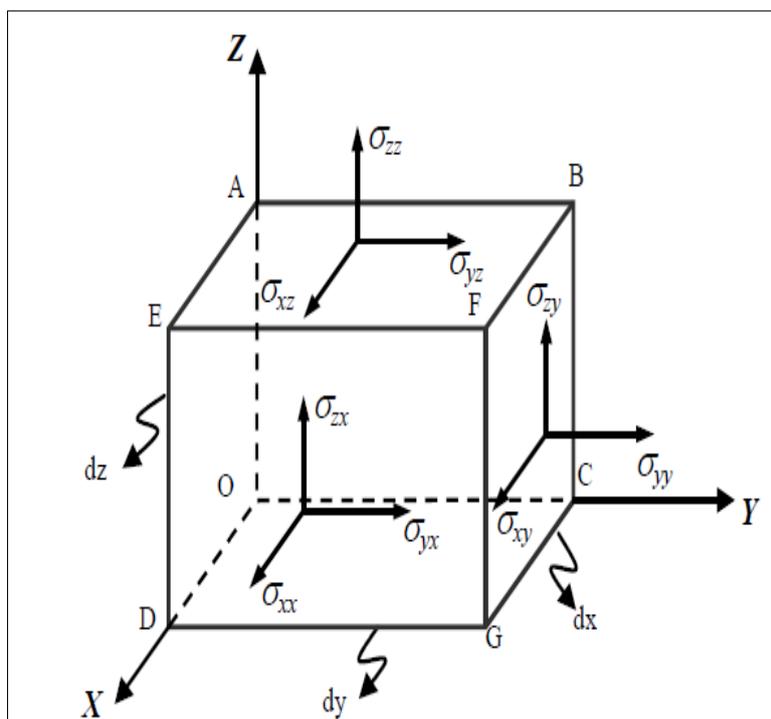
S : la surface du corps ( $S = \pi R^2$  pour une surface du cercle).

-Si cette force est perpendiculaire à la surface, il s'agit d'une contrainte normale et si elle est tangentielle, la contrainte est dite de cisaillement. Par contre, si la force n'est ni

perpendiculaire ni tangentielle, elle aura deux composantes dans les deux directions normale et tangentielle.

### I.3.1.3-Tenseur de contraintes

Soit un ensemble des contraintes  $\sigma_{ij}$  agissant sur un cube élémentaire où les indices  $i$  et  $j$  désignent les directions  $x$ ,  $y$  et  $z$ .



**Figure I.4 :** Composantes des contraintes agissant sur un cube élémentaire

(R.E.Sheriff et L.P Geldart, Traité de prospection sismique)

Où

$x$  : désigne la direction du profil,  $y$  la direction transverse, et  $z$  la direction verticale

Si  $i \neq j$ ,  $\sigma_{ij}$  représente la contrainte tangentielle.

Si  $i=j$ ,  $\sigma_{ij}$  représente la contrainte normale.

Comme l'élément considéré est en équilibre, en général, nous devons avoir  $\sigma_{ij}=\sigma_{ji}$

A la limite lorsque  $dx$ ,  $dy$  et  $dz$  tendent vers zéro, l'ensemble des contraintes forme une matrice  $S$  à éléments dite tenseur de contrainte.

$$S = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} \quad [\text{I.18}]$$

### I.3.1.4-Déformation

Sous l'effet des charges extérieures, un corps matériel subit des changements dans la forme et dans les dimensions, ces changements sont appelés déformation.

Les déformations se classent en deux types :

#### a/Déformation normale

Considérons un cylindre de longueur  $L$  et de diamètre  $D$ , pour lequel on fait subir deux sortes de contraintes Figure (I.5. a)

- Une contrainte de type traction : Elle provoque une augmentation de la longueur d'une valeur  $\Delta L$  et une diminution  $\Delta D$  du diamètre, c'est la déformation par traction (longitudinale) :  $\varepsilon_L = \frac{\Delta L}{L}$

Figure (I.5.b)

- Une contrainte de type compression : Elle provoque une diminution de la longueur d'une valeur  $\Delta L$  et une augmentation  $\Delta D$  du diamètre, c'est la déformation par compression (transversale) :  $\varepsilon_T = \frac{\Delta D}{D}$

Figure (I.5.c)

Les déformations normales provoquent des changements de dimension qui traduisent par un changement de volume.

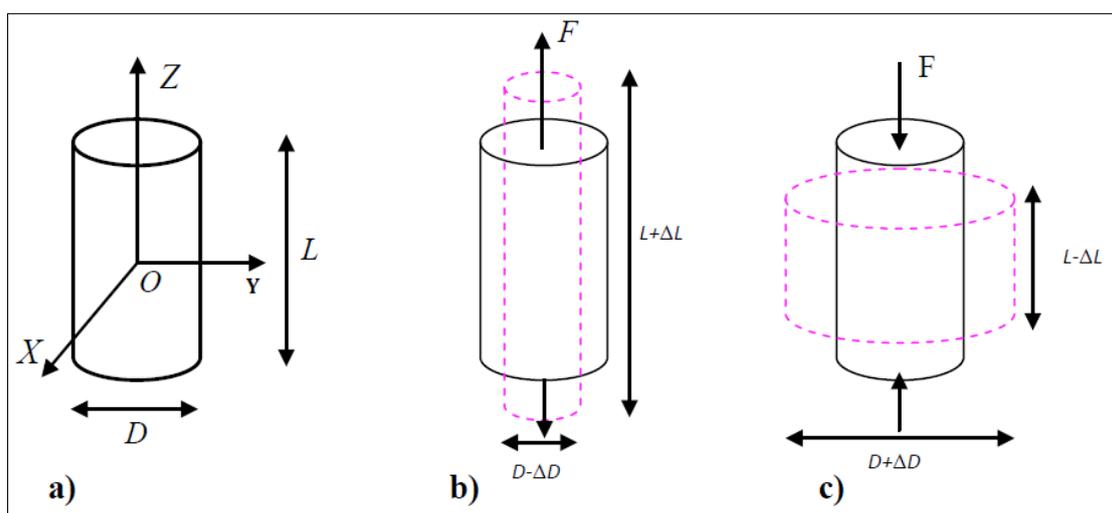


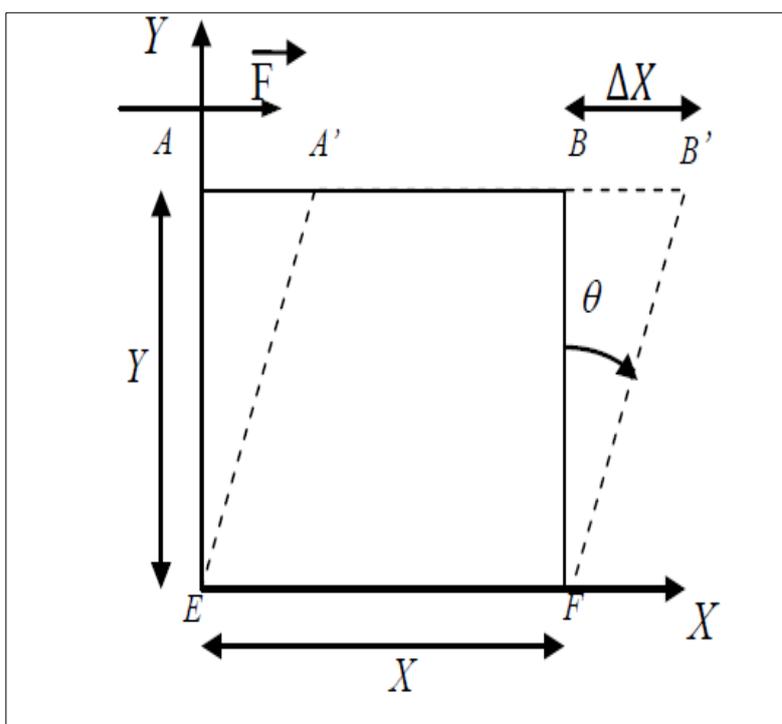
Figure I.5 : Exemples de déformations normales

**b-Déformation par cisaillement**

Considérons la projection d'un cube élémentaire sur le plan (AXFY) : cette projection est représentée par le carré AEFB. Si on lui applique une force tangentielle  $\vec{F}$ , on observera un déplacement des sommets A en A' et B en B' provoquant ainsi un changement de forme.

C'est la déformation par cisaillement :  $\varepsilon_s = \frac{\Delta X}{Y}$

Notons que dans ce cas, il n'y a pas de changement de volume.



**Figure I.6** : Déformation par cisaillement

(R.E.Sheriff et L.P Geldart, Traité de prospection sismique)

**I.3.1.5-Tenseur de déformation**

Soit  $(u,v,w)$  les composantes du déplacement d'un point  $M(x,y,z)$ . Les déformations  $\varepsilon_{ij}$  s'expriment comme suit :

$$\varepsilon_{i,j} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad \text{[I.19]}$$

Où

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x}$$

$$\varepsilon_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y}$$

$$\varepsilon_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z}$$

Et

$$\varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)$$

$$\varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)$$

$$\varepsilon_{zx} = \varepsilon_{xz} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)$$

$\varepsilon_{ii}$  désigne la déformation normale.

$\varepsilon_{ij}(i \neq j)$  désigne la déformation de cisaillement.

Les changements relatifs de la forme du cube sont donnés par une matrice E dite tenseur de déformation.

$$E = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix} \quad \text{[I.20]}$$

### I.3.2-Enoncé de la loi de Hooke

Les propriétés élastiques servent à décrire la possibilité pour un corps à résister à une contrainte sans subir de déformation permanente .La loi de Hooke exprime une relation de proportionnalité entre la contrainte et la déformation .Donc d'après cette loi, si on applique une contrainte  $N$  sur un cylindre de longueur  $L$  et de diamètre  $D$ , ce dernier se déforme.

#### La loi de Hooke

Dans un milieu homogène, isotrope et élastique, la loi de Hooke s'écrit :

$$\sigma_{ij} = \theta\lambda\delta_{ij} + 2\mu\varepsilon_{ij} \quad [\text{I.21}]$$

Où

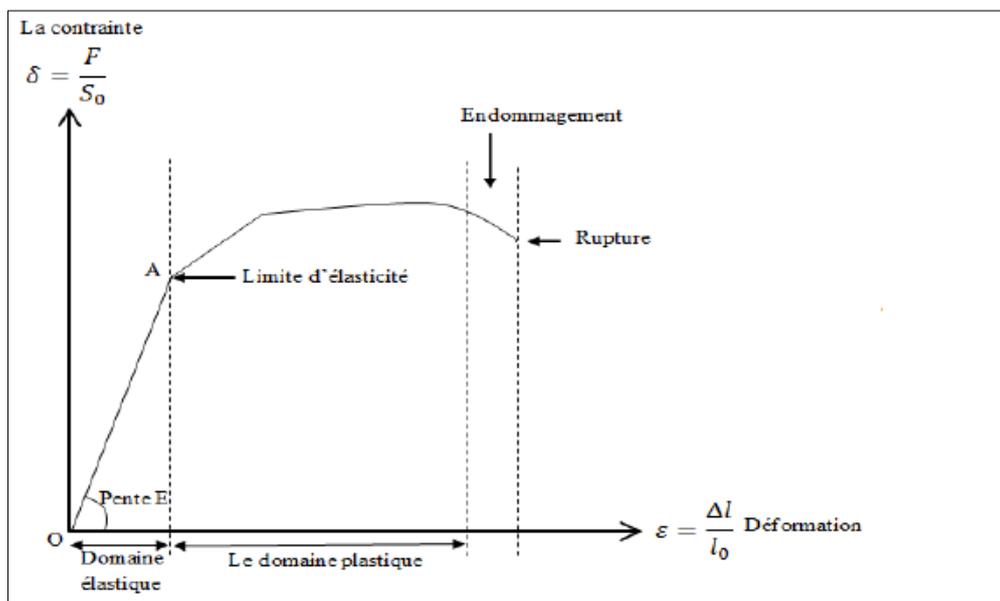
$\delta_{ij}$  : désigne le symbole de Kronecker.

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } i = j \\ 0 & \text{si } i \neq j \end{cases}$$

$\lambda, \mu$  sont les paramètres de Lamé.

$\theta$  : est la dilatation volumique.

$\sigma_{ij}$  : est contrainte appliquée.



**Figure I.7** : Comportement des matériaux soumis à des contraintes.

(R.E.Sheriff et L.P Geldart, Traité de prospection sismique)

Après développement de cette équation, on obtient :

$$\sigma_{xx} = \lambda\Delta + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x}$$

$$\sigma_{yy} = \lambda\Delta + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y}$$

$$\sigma_{zz} = \lambda\Delta + 2\mu \frac{\partial w}{\partial z}$$

$$\sigma_{xy} = \mu \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)$$

$$\sigma_{yz} = \mu \left( \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right)$$

$$\sigma_{zx} = \mu \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)$$

Pour une déformation transversale :  $\frac{\Delta L}{L} = \frac{N}{E}$

Pour une déformation longitudinale :  $\frac{\Delta D}{D} = \sigma \cdot \frac{\Delta L}{L}$

Où

E : désigne le module de Young.

$\sigma$  : est le coefficient de Poisson.

Nous pouvons dire que la loi de Hooke n'est pas valable au-delà de la limite d'élasticité, c'est -à-dire elle n'est vérifiée que dans les conditions citées précédemment.

### I.3.2- Module d'incompressibilité(K)

Le module d'incompressibilité K est défini comme le rapport des contraintes sous l'effet de la compression par rapport à la dilatation ou contraction volumétrique par unité de volume.

$$K = \frac{\Delta P}{\Delta V/V} \text{ (Pa)}$$

Où  $\Delta P$  : variation de la pression.    V : volume.     $\Delta V$  : variation de volume.

Le module d'incompressibilité d'une roche est influencé par les fluides de saturation (un fluide de saturation compressible tel que le gaz causera une diminution dans ce paramètre). Il peut être aussi exprimé en fonction des paramètres élastiques :

$$K = \frac{(3\lambda + 2\mu)}{3}$$

$$K = \frac{\rho(3Vp^2 - 4Vs^2)}{3} \quad \text{[I.22]}$$

### I.3.3- Paramètres de Lamé

Les milieux homogènes et isotropes sont définis par deux paramètres élastiques :

#### - Paramètre de Lamé $\mu$

Le premier terme de Lamé  $\mu$  est appelé aussi le module de cisaillement, qui mesure le rapport de la contrainte tangentielle au cisaillement correspondant, ce paramètre est sensible à la rigidité de la matrice des roches, donné par la formule suivante :

$$\mu = \frac{\Delta F / A}{\Delta x / x}$$

Où

$\Delta F$  : Force tangentielle.

A : Surface de cisaillement.

x : distance entre les surfaces de cisaillement.

$\Delta x$  : Déplacement de cisaillement.

Les fluides n'ont aucune résistance au cisaillement, donc  $\mu=0$

#### - Paramètre de Lamé $\lambda$

La constante de Lamé est une constante d'élasticité dans les matrices des contraintes :

$$\lambda = \frac{\sigma E}{(1 - 2\sigma)(1 + \sigma)}$$

Cette équation désigne parfois l'incompressibilité des fluides  $\lambda = K - \frac{2\mu}{3}$

Pour les fluides non visqueux,  $\mu=0$  et par conséquent  $\lambda=K$ .

**Remarque :**

Le coefficient  $\lambda$  est sensible aux fluides remplissent les pores, donné par la formule suivante :

$$\lambda = \rho(Vp^2 - 2Vs^2) \quad [I.23]$$

On multiplie les deux termes de l'expression par  $\rho$ , sachant que  $Is = \rho Vs$   $Ip = \rho Vp$

On obtient

$$\lambda \rho = \rho(Ip^2 - 2Is^2)$$

Cet attribut ( $\lambda \rho$ ) représente un indicateur de lithologie.

Le paramètre  $\mu$  est sensible à la rigidité de la matrice des roches, donné par la formule suivante :

$$\mu = \rho Vs^2 \quad [I.24]$$

On multiplie les deux termes de l'équation par  $\rho$ , sachant que  $Is = \rho Vs$  on obtient

$$\mu \rho = Is^2$$

Le nouvel attribut ( $\mu \rho$ ) représente un indicateur de lithologie.

**II.3.4- Module de Young E:**

Le module de Young est défini comme le rapport de la contrainte normale à la déformation correspondante.

$$E = \frac{\Delta F/A}{\Delta L/L} = \frac{\mu(3\lambda+2\mu)}{\lambda+\mu} = \frac{9K}{3K+\mu} \quad [I.25]$$

Où

$\Delta F$  : Force par unité de surface.

A : section.

L : Longueur initiale.

$\Delta L$  : Variation de la longueur L.

Il est lié à  $Vp$  et  $Vs$  par la formule suivante :

$$E = \rho Vs^2 \frac{(3Vp^2 - 4Vs^2)}{(Vp^2 - Vs^2)} \quad [I.26]$$

On peut avoir un bon indicateur de lithologie qui est le  $E \rho$  si on multiplie les deux termes de l'équation [I.26] par  $\rho$ , sachant que  $I_s = \rho V_s$  et  $I_p = \rho V_p$  on obtient :

$$E \rho = \mu \rho \frac{(3I_p^2 - 4I_s^2)}{(I_p^2 - I_s^2)}$$

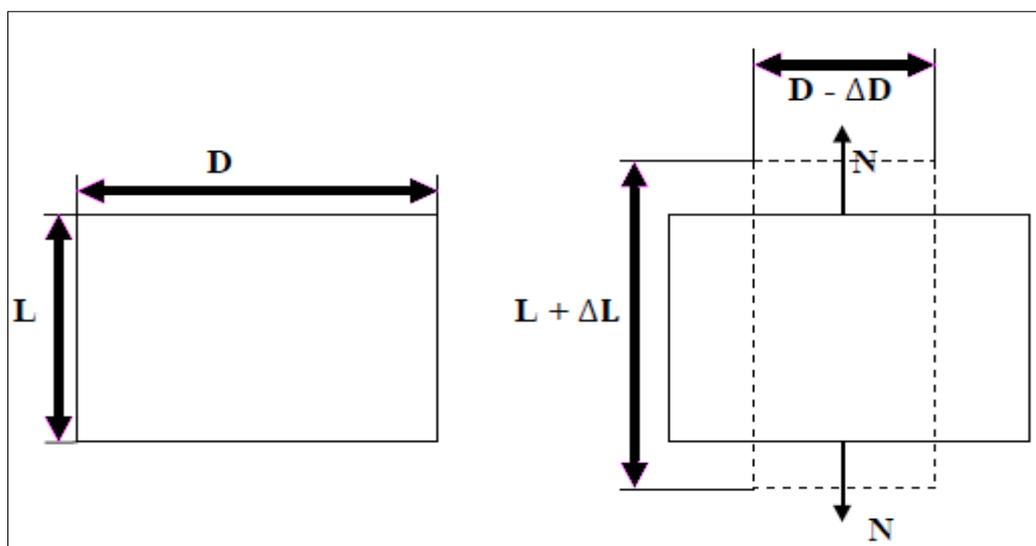
### I.3.5- Module de compression M :

M est donné par la formule suivante

$$M = \rho V_p^2 = \lambda + 2\mu \quad [\text{I.27}]$$

### I.3.6- Coefficient de POISSON $\sigma$ :

Le coefficient de poisson est défini comme étant le rapport entre la compression dans une direction à l'extension dans une direction perpendiculaire. Considérons un corps auquel on applique une tension  $N$  sur ses deux extrémités, ce qui va donner une déformation longitudinale  $\frac{\Delta L}{L}$  et une autre déformation transversale  $\frac{\Delta d}{d}$

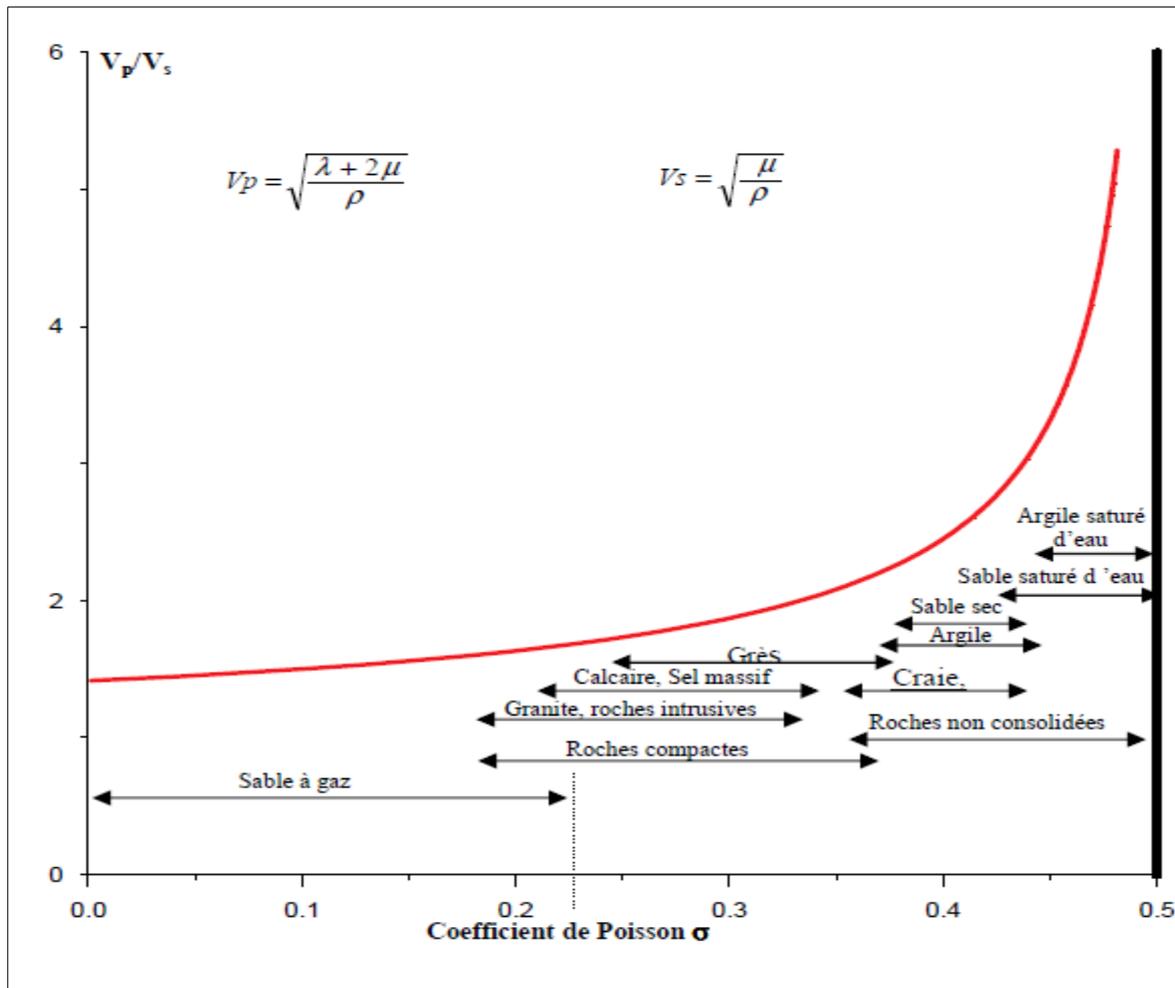


**Figure I.8 :** Déformation longitudinale et transversale d'un corps

On peut aussi l'exprimer en fonction du rapport  $V_p/V_s$  comme suit :

$$\sigma = \frac{\lambda}{2(\mu + \lambda)} = \frac{\gamma^2 - 2}{2\gamma^2 - 2} \quad [\text{I.28}]$$

Où  $\gamma = \frac{V_p}{V_s}$



**Figure I.9:** Courbe théorique de la variation du rapport  $V_p/V_s$  en fonction de coefficient de poisson  $\sigma$  (M.Djeddi, Comportement élastique)

La figure montre la variation de coefficient de poisson en fonction du rapport  $V_p/V_s$  pour plusieurs types de lithologie. On remarque que les roches saturées en gaz ont un faible coefficient de Poisson inférieur à 0.15, tandis que les roches saturées en eau ont un coefficient de poisson supérieur à 0.40. Des mesures effectuées par Domenico en 1977 dans les sables d'Ohio ont montré que  $\sigma$  est de l'ordre de 0.10-0.15 pour les sables imprégnés du gaz et de l'ordre de 0.40 pour les sables imprégnés de l'eau.

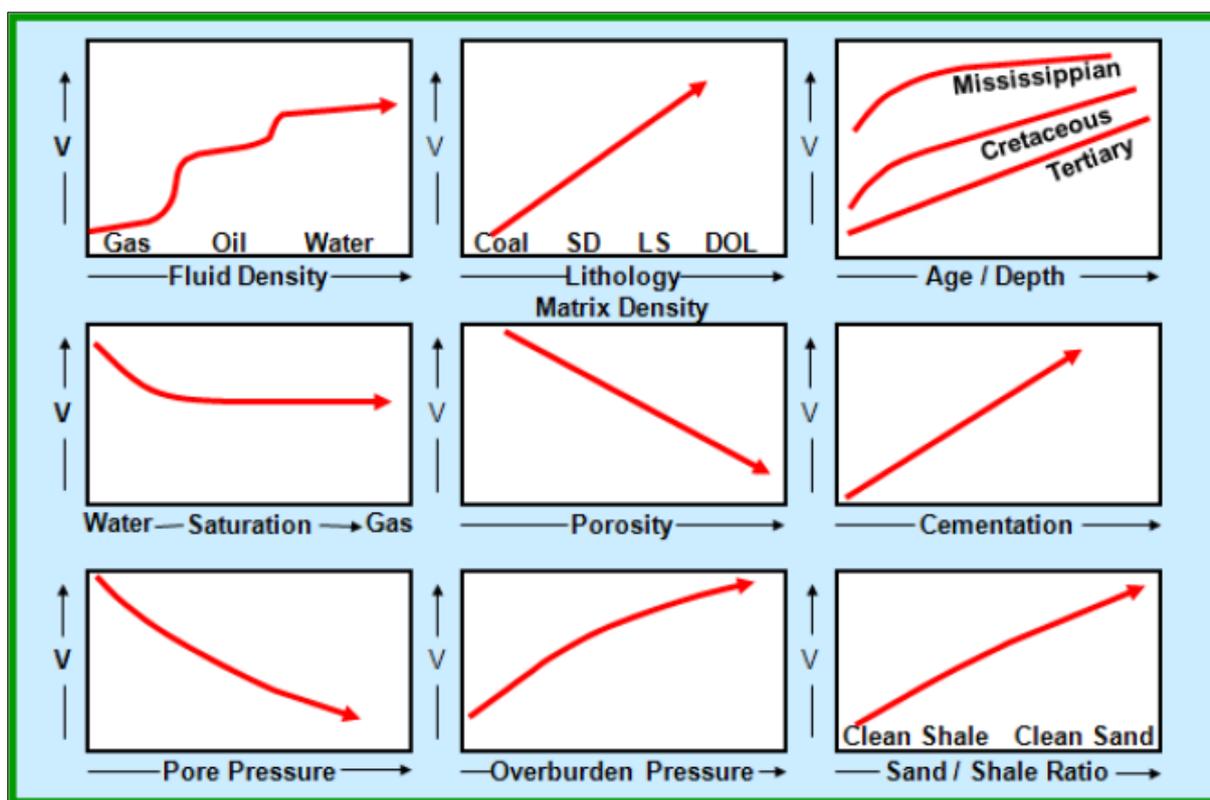
En pratique  $V_p/V_s$  est compris entre  $\sqrt{2}$  et  $\sqrt{5}$ .

#### I.4-Principaux facteurs affectant la vitesse dans les différentes roches

Les vitesses de ces ondes sont affectées par plusieurs facteurs, parmi eux on trouve :

- L'âge et la constitution de la matrice.
- La nature des fluides.
- La profondeur d'enfouissement.
- La température et la pression.

Quelques paramètres affectant la vitesse des ondes sismiques sont représentés sur la figure



**Figure I.10** Facteurs affectants la vitesse

**a) Vitesses et la nature des fluides :**

Les vitesses de compression  $V_p$  sont moins sensibles aux changements des fluides (contacte du fluide) par rapport aux vitesses de cisaillement  $V_s$ , cette sensibilité dépend des facteurs suivants :

$\mu$  pour  $V_s$  et  $\lambda$  et  $\mu$  pour  $V_p$ .

- Pour les niveaux à huile, la densité et le module d'incompressibilité diminuent, ce qui implique respectivement une augmentation remarquable de la valeur  $V_s$  et une diminution de la valeur  $V_p$
- Pour mieux connaître le contacte de fluide il est préférable de faire le rapport ( $V_p/V_s$ ), et on peut aussi calculer le rapport ( $\Delta T_s/\Delta T_p$ ), car il est plus facile à utiliser.

**b) vitesses et lithologie**

Les vitesses de compression  $V_p$  ne sont pas un bon indicateur de lithologie. La combinaison des vitesses de cisaillement aux vitesses  $V_p$  pour réduire l'incertitude sur la détermination de la lithologie. Picket (1963) a montré qu'à partir de mesures de laboratoire, le rapport  $V_p/V_s$  est un bon indicateur de lithologie pour les calcaires, dolomites et grés indurés et propres. Ces résultats ont été confirmés et généralisés par d'autres auteurs à partir des données de laboratoire de diagraphies. Dominici(1984) a donné les gammes suivantes du rapport  $V_p/V_s$  en fonction de la lithologie :

Lithologie	$V_p/V_s$
<b>Grés</b>	1.59-1.76
<b>Grés carbonatés</b>	1.67-1.76
<b>Dolomie</b>	1.78-1.84
<b>Calcaire</b>	1.84-1.99

### I.4.1-Equation de WYLLIE

Wyllie et al (1958) ont établi une relation empirique pour lier la vitesse  $V$  de l'onde P à la porosité( $\Phi$ ).

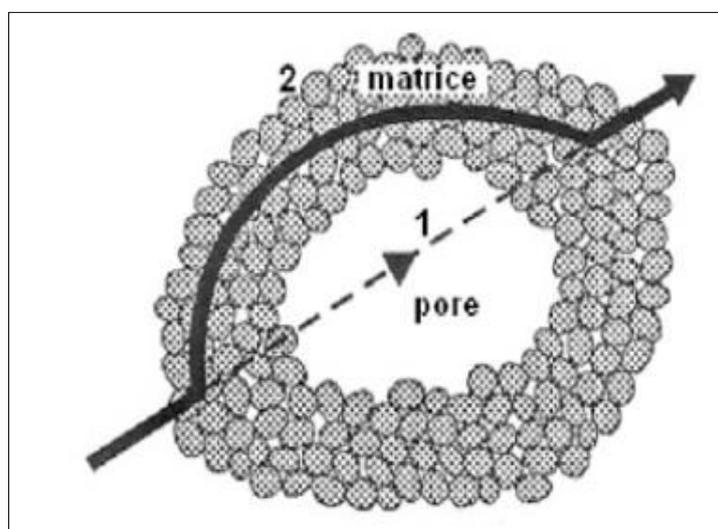
Elle suppose que la durée du trajet par unité de longueur dans une roche poreuse remplie de fluide est la moyenne des durées de trajets par unité de longueur dans la matrice et dans le fluide :

$$\frac{1}{V} = \frac{\Phi}{V_f} + \frac{(1-\Phi)}{V_m} \quad \text{[I.29]}$$

Où

$V_f$  : vitesse dans le fluide ;  $V_m$  : vitesse dans la matrice

Cette relation révèle que la matrice et la nature du fluide interstitiel ont un effet considérable sur la vitesse sismique. Sur la Figure II.5, le trajet 2 (dans la matrice) est plus long que le trajet 1 (dans le fluide) mais  $V_f$  est plus petite que  $V_m$ . Se référant à la relation de WYLLIE et al (1958), une augmentation de la porosité implique nécessairement une baisse de vitesse sismique, car les nombreux pores dans une roche vont retarder la propagation des ondes sismiques.



**Figure I.11** : Effet des pores (BOYER & MARI, 1994)

(L.N. KOUAME, B.C. SOMBO, Z.B. DIGBEHI, A.P. SOMBO, G.KOUASSI & A.S. ESSOH, ,2011).

Dans le cas d'une roche poreuse, la formule de Wyllie montre aussi que la vitesse de propagation d'une onde sismique est liée essentiellement à sa porosité et au son contenu en fluide :

$$\frac{1}{V} = \frac{1-\Phi}{V_{ma}} + \frac{S_w\Phi}{V_w} + \frac{(1-S_w)\Phi}{V_{hc}} \quad [I.30]$$

Où

$V$  : vitesse globale de la roche.

$V_{ma}$  : vitesse d'onde dans la matrice.

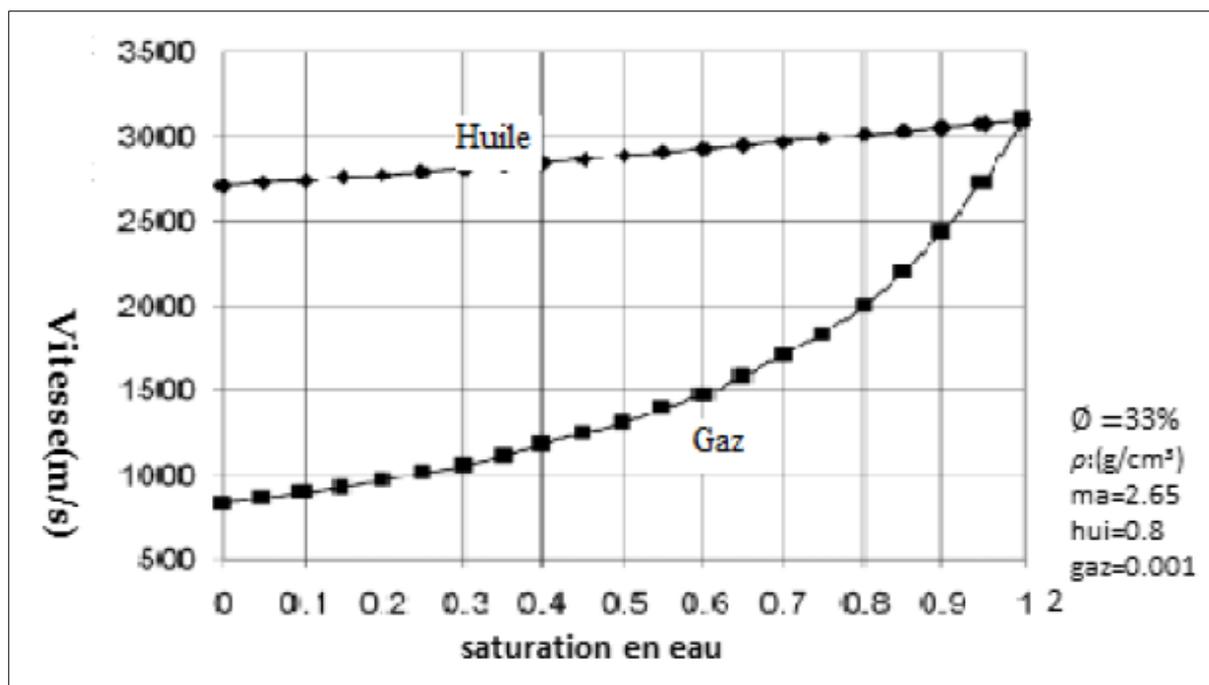
$V_w$  : vitesse d'onde dans l'eau.

$V_{hc}$  : vitesse d'onde dans les hydrocarbures.

$\Phi$  : porosité dans la roche.

$S_w$  : saturation en eau.

La figure suivante montre comment le contenu en fluide influence la variation de vitesse



**Figure I.12** Variation de vitesse en fonction de saturation en eau

Alors pour une matrice et un fluide donné la vitesse est contrôlée essentiellement par la porosité, sur laquelle elle agit, car une partie du trajet de l'onde traverse le fluide à faible vitesse.

---

## I.4.2- Les équations de BIOT –GASSMANN

### A) Les équations de BIOT-GASSMANN

La formule de Gassmann, très utile en géophysique pour prévoir l'effet du fluide saturant l'espace poreux d'une roche sur les vitesses sismiques.

Gassmann en 1951 et Biot en 1956 ont développé une autre théorie sur la propagation des ondes dans les roches poreuses saturées de fluide.

#### A.1) Les hypothèses de GASSMANN (1951) BIOT (1956) sont les suivantes :

- Le milieu poreux est macroscopiquement homogène et isotrope.
- Tous les pores sont connectés.
- Les pores sont remplis d'un fluide sans frottement.
- Le mouvement relatif entre le solide et le fluide est négligeable devant le déplacement de la roche qui est excitée par le passage de l'onde.
- Le fluide n'interagit pas avec le solide de manière à changer le module de cisaillement.

#### A.2) Les équations des vitesses sont données par :

$$V_p = \sqrt{\frac{K_{\text{sat}} + \frac{4}{3}\mu_{\text{sat}}}{\rho_{\text{sat}}}} \quad [\text{I.31}]$$

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu_{\text{sat}}}{\rho_{\text{sat}}}} \quad [\text{I.32}]$$

Rappelons que les fluides ne reprenant pas les cisaillements, les modules de cisaillement drainé ( $\mu_{\text{dry}}$ ) ou non drainé ( $\mu_{\text{sat}}$ ) sont égaux.

---

Cette théorie nous permet de connaître les expressions des modules d'incompressibilité.

$$K_{\text{sat}} = K_{\text{dry}} + \frac{(1 - \frac{K_{\text{dry}}}{K_{\text{min}}})^2}{\frac{\Phi}{K_{\text{fl}}} - \frac{1 - \Phi}{K_{\text{min}}} \frac{K_{\text{dry}}}{K_{\text{min}}^2}} \quad [\text{I.33}]$$

Où

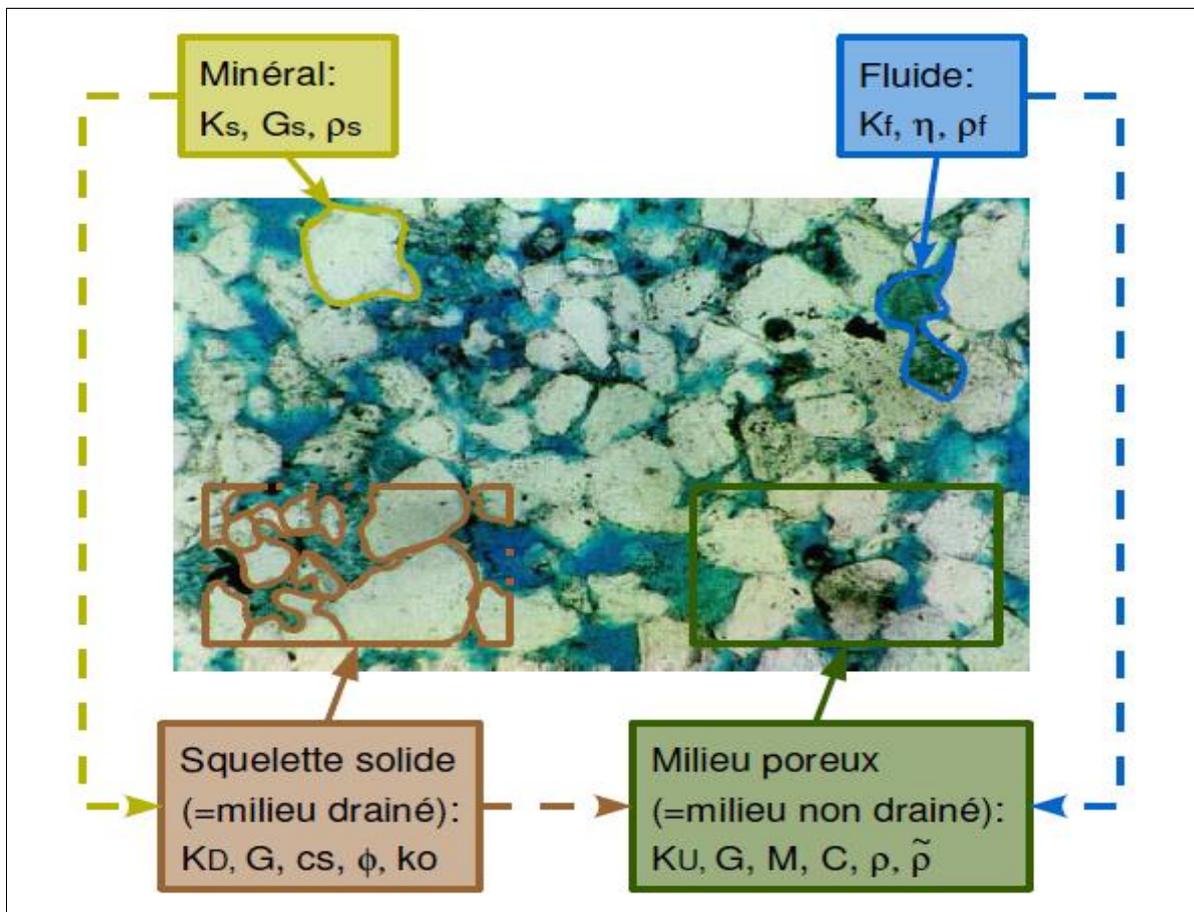
$K_{\text{sat}}$  : est le module d'incompressibilité de volume d'une roche saturée de fluides.

$K_{\text{dry}}$  : est le module d'incompressibilité de volume d'une roche à pores vides.

$K_{\text{m}}$  : est le module d'incompressibilité de volume de la matrice d'une roche.

$K_{\text{fl}}$  : est le module d'incompressibilité de volume du fluide.

$\Phi$  : Porosité.



**Figure I.13** : Classification schématique de principaux paramètres des relations de poroélasticité (Louis DE BARROS, Sensibilité et inversion des formes d'ondes sismiques en milieu poreux stratifié, 2007).

Une expression pratique de la formule de Gassmann fait intervenir le coefficient  $\beta$  de Biot (1956) :

$$K_{\text{sat}} = K_{\text{dry}} + \beta^2 M \quad [\text{I.34}]$$

$$\mu_{\text{sat}} = \mu_m (1 - \beta)$$

Avec :

$$\beta = 1 - (K_{\text{dry}}/K_{\text{grain}})$$

$$M^{-1} = \left[ \frac{(\beta - \Phi)}{K_{\text{grain}}} \right] + \frac{\Phi}{K_{\text{fl}}}$$

$$\frac{1}{K_{\text{fl}}} = \frac{S_w}{K_w} + \frac{(1-S_w)}{K_{\text{hc}}} \quad [\text{I.35}]$$

. Où

$\beta$  : est le coefficient de Biot

M : Module de compression

$K_{\text{fl}}$  : est le module d'incompressibilité de volume du fluide

$\mu_m$  : est le module de rigidité de volume de la matrice d'une roche.

**I.4.3- Equations de HAN et al (1986) :**

Hun et al(1986) ont suggéré pour  $V_p$  et  $V_s$  les équations empiriques suivantes :

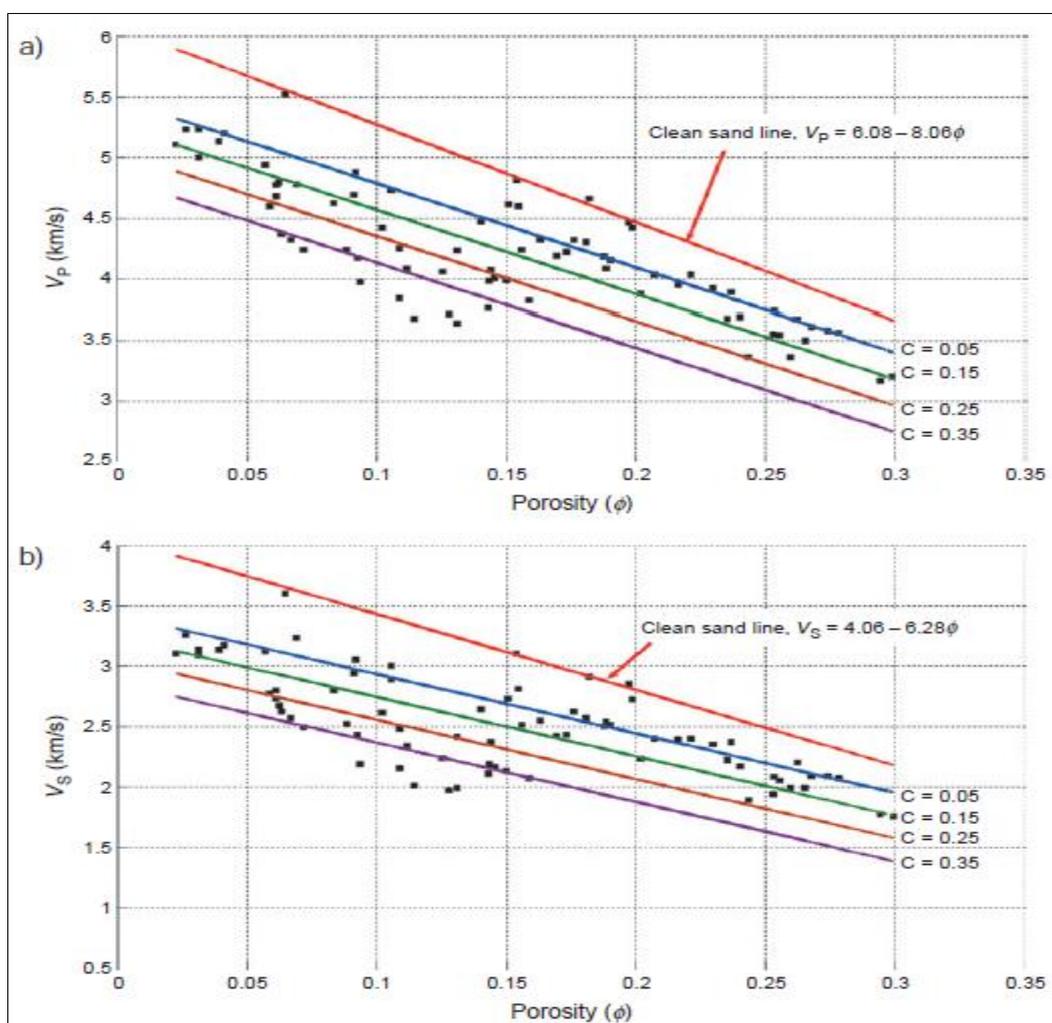
$$V_p(\text{km/s}) = 5.59 - 6.93\Phi - 2.18C \quad [\text{I.36}]$$

$$V_s(\text{km/s}) = 3.52 - 4.91\Phi - 1.89C \quad [\text{I.37}]$$

Où

$\Phi$  : est la porosité

$C$  : est le volume d'argile



**Figure I.14 :** Vitesse en fonction de la porosité basée sur l'expérience de Han et al(1986)

a) Vitesse de compression  $V_p$  en fonction de la porosité  $\Phi$

b) Vitesse de cisaillement  $V_s$  en fonction de la porosité  $\Phi$

#### I.4.4- Les équations de MAVCO

Pour les vitesses des ondes acoustiques, MAVCO a suggéré l'équation générale de régression d'une formation de calcaire saturée en eau et de porosité variant entre 0.01 à 0.32 (MAVCO et al, 1998)

$$V_{pm} = 5.62 - 6.65\Phi \quad \text{[I.38]}$$

$$V_{sm} = 3.05 - 3.87\Phi \quad \text{[I.39]}$$

Où

$V_{pm}$  et  $V_{sm}$  sont les vitesses des ondes acoustiques dans la matrice (Km/s)

$\Phi$  : est la porosité totale.

#### Conclusion

La propagation des ondes sismiques est intimement liée aux différentes propriétés des terrains sédimentaires. Elle permet d'estimer la nature des roches inaccessibles. Selon la nature et l'état physique des matériaux traversés, la propagation des ondes acoustiques dans un sens ou dans l'autre.

# **CHAPITRE II**

## **Présentation de la région d'étude**

---

## II.1-Contexte géographique

Le Périmètre de recherche Sidi Nadji, est constitué par les blocs 106a, 107a & 124a et s'étend sur une superficie de 5427.17 km<sup>2</sup>. Il s'étale sur le territoire de wilaya de Biskra (Figure III.1).

## II.2-Contexte géologique

Le Périmètre de recherche Sidi Nadji, est compris entre deux domaines géologiques bien distincts, au Nord un domaine atlasique oriental et au sud une partie de la zone des chotts qui correspond au sillon Melrhir. Ces deux domaines sont séparés par l'accident sud atlasique et représentent deux entités structurellement différentes :

- La zone septentrionale appartenant au domaine atlasique est très déformée, elle est constituée de reliefs montagneux où affleurent des terrains allant du Crétacé à l'Éocène séparé par des bassins intramontagneux remplis de terrain Plio-Quaternaire.
- La zone méridionale du Chott Melrhir correspond à un domaine effondré, relativement stable et peu tectonique, recouvert de terrains néogènes et actuels.

Ces deux entités sont affectées par deux failles transversales : la faille de Biskra. L'accident sud atlasique sépare les deux entités structurales et correspond à une série d'accidents profonds, constituée par des fractures régionales orientées NE-SW à l'ouest de Biskra, devenant E-W à l'est de Biskra

---

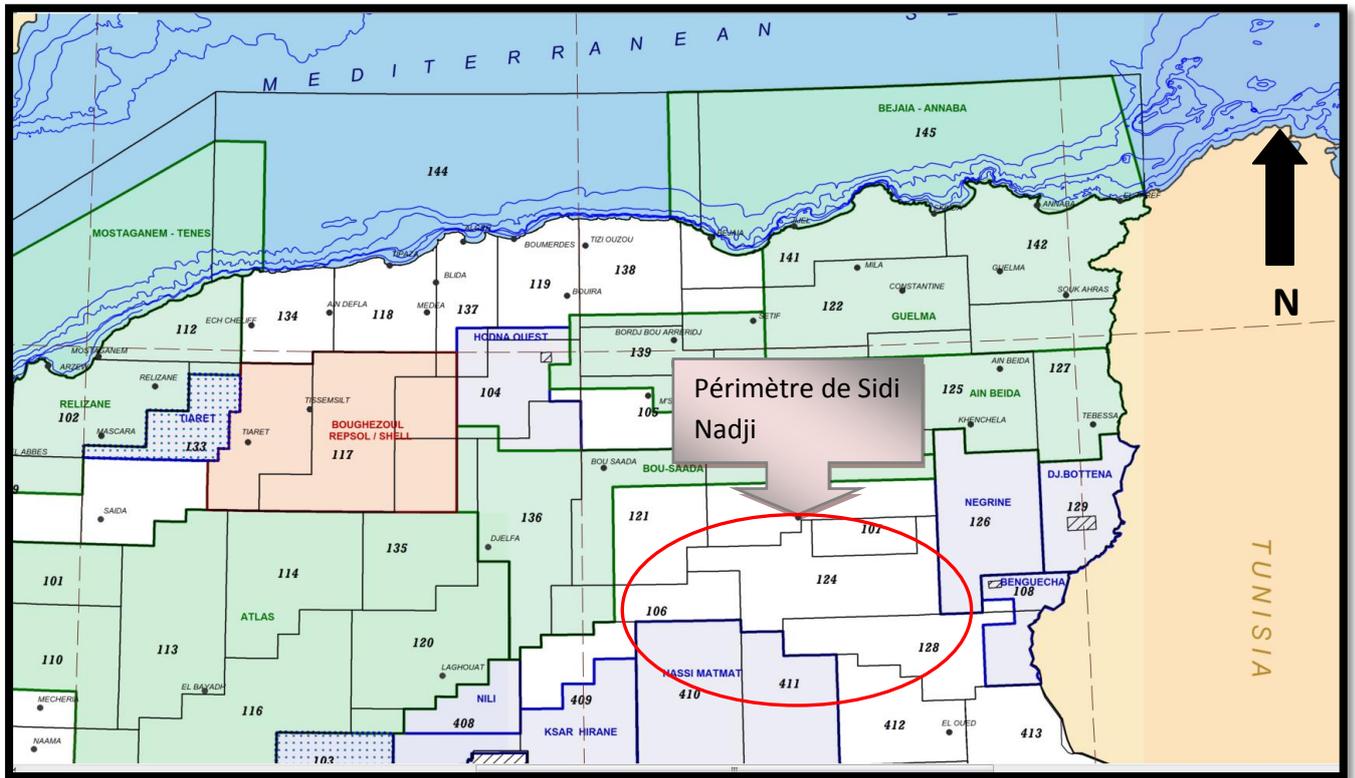


Figure II.1 : Plan de situation géographique du périmètre de recherche (Document interne Sonatrach)

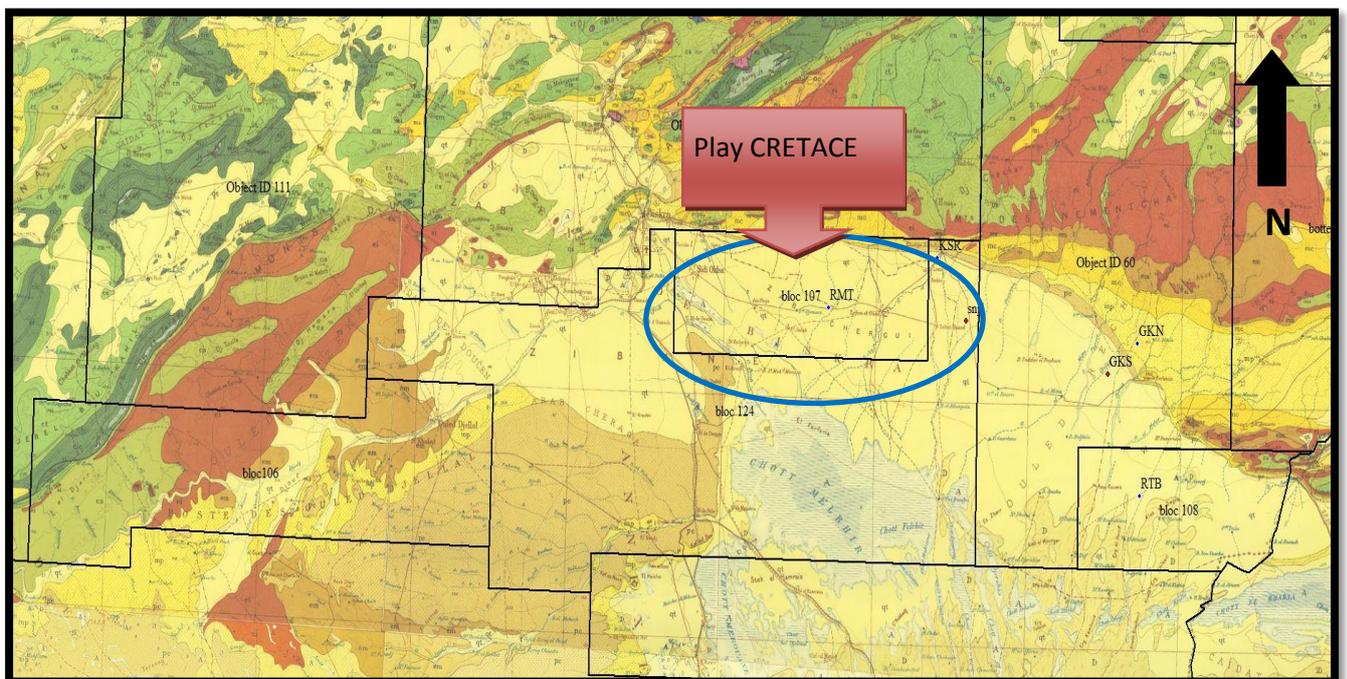


Figure II.2 : Carte géologique du périmètre Sidi Nadji. (Document interne Sonatrach 2007)

---

## **II.3- Historique des travaux réalisés dans la région de Sidi Nadji**

### **II.3.1- Activité sismique**

Le Périmètre Sidi Nadji a fait l'objet de plusieurs campagnes d'acquisition sismique et ce depuis les années 1970, un reliquat de 1087 Km est réalisé durant la période 2003 -2006 et un complément de 587 Km a été réalisé en 2008. Au cours de l'exercice 2010-2012, un programme sismique 2D (11NJ) de quatorze (14) lignes sismiques, soit 700 Km équivalant à 22632 VP a été acquis. Ces travaux sismiques ont été attribués à l'équipe EGS-280 de l'entreprise nationale de géophysique ENAGEO. Le traitement de ce programme durant l'année 2012 a révélé une sismique de bonne qualité.

### **II.3.2- Activités Forages**

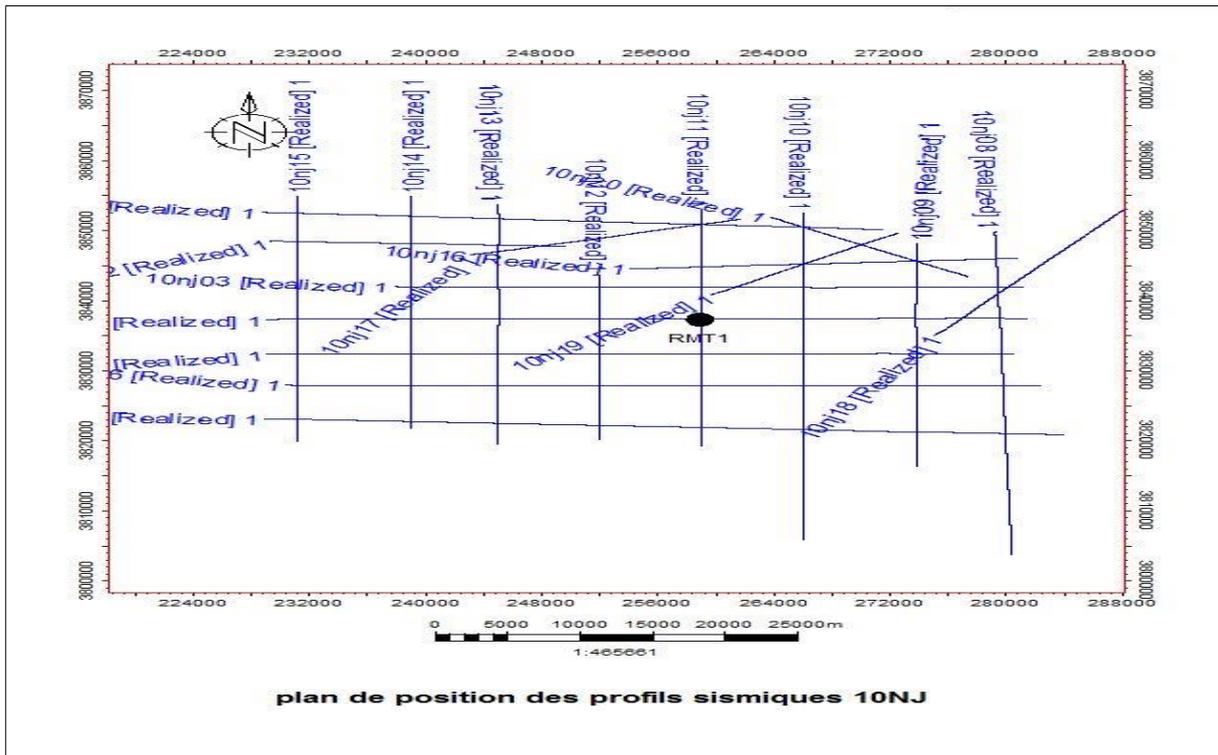
Les premiers travaux de recherche et d'exploration dans le périmètre Sidi Nadji ont débuté par le forage SNJ1, implanté en 1982 et qui a atteint l'Albien à une profondeur de 4606m. Ce puits avait pour objectifs l'exploration de la série carbonatée du crétacé. Les tests de formations réalisés ont montré que les réservoirs du Turonien et du Cénomaniens sont sans intérêts pétroliers.

Pour rappel, il a été foré durant la première phase 2007 un forage, dans la partie nord du périmètre (bloc107), nommé El KSAR 1 « KSR-1 » qui a atteint la profondeur de 4800 m dans le Cénomaniens. Les tests de formations réalisés sur ce puits ont montré que les réservoirs du Turonien et du Cénomaniens sont à huile non éruptive.

Le puits d'exploration REMATI MALEK 1 (RMT-1) est situé à environ 34 Km au SW du puits KSR-1 et à 26Km de la ville Ain Naga. Le point d'implantation est localisé sur le croisement des profils 10NJ04 et 10NJ11.

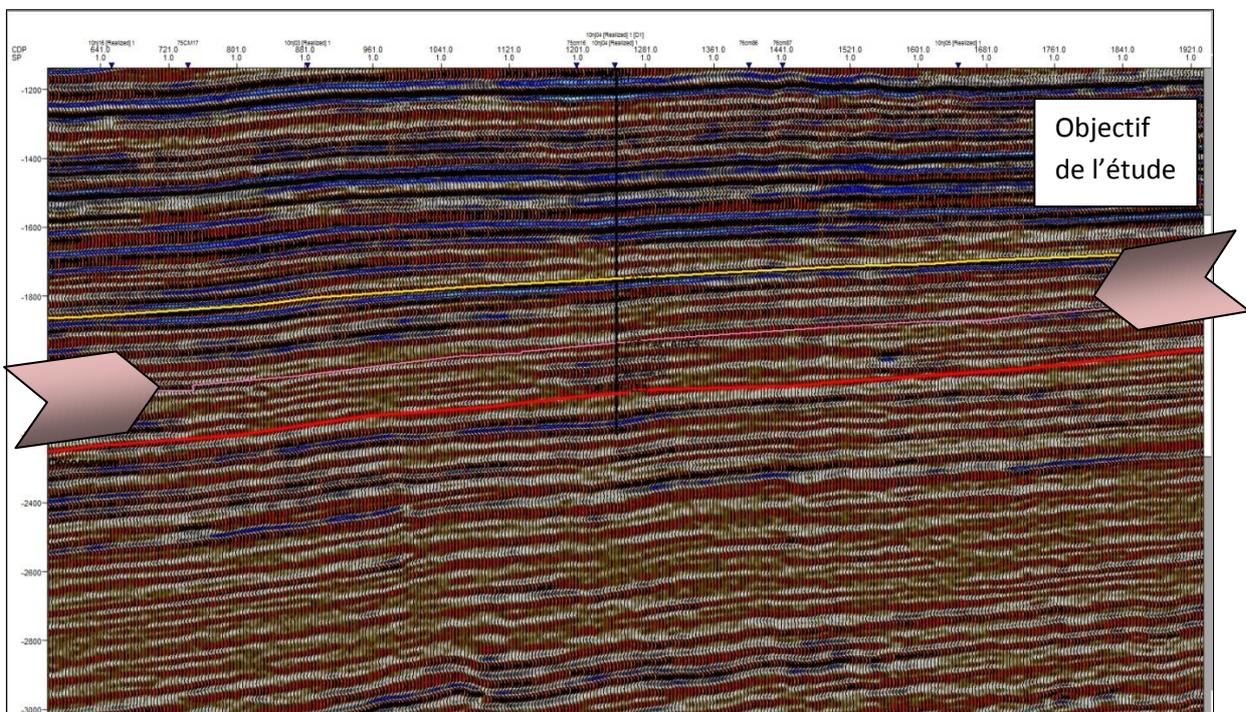
Les tests de formations réalisés ont montré que les réservoirs du Turonien et du Cénomaniens sont sans intérêts pétroliers.

---



**Figure II.3 :** Plan de position des profils sismiques réalisés dans le périmètre Sidi Nadji.

(Document interne SONATRACH)



**Figure II.4 :** Emplacement du puits RMT1 sur la section sismique. (Document interne SONATRACH)

---

## II.4-Aspect structural

Le périmètre de recherche Sidi Nadji a connu une histoire géologique complexe, la configuration structurale actuelle est le résultat de l'influence de plusieurs phases tectoniques liées aux événements alpins. Le périmètre de recherche Sidi Nadji est constitué de deux entités structurales ayant évolué différemment au cours des temps géologiques, l'Atlas Saharien au nord et le Sillon de Melrhir appartenant à la plate-forme saharienne au sud. Ces deux ensembles structuraux sont séparés par l'Accident Sud Atlasique (ASA).

## II.5-Aspect stratigraphique

La zone étudiée est caractérisée par un grand développement des séries sédimentaires du Crétacé moyen et du Tertiaire, le crétacé inférieur n'a pas été traversé par les forages.

### II.5.1-Crétacé

#### a- Cénomanién

Durant cette période, la transgression a atteint son maximum, avec des apports sédimentaires de mer ouverte au sud et l'installation d'une plate-forme carbonatée au sud-est, Le Cénomanién est constitué par une alternance de marnes, d'argiles pyriteuses, dolomitiques et de fines passées de calcaires.

#### b- Turonien

Il est représenté sur l'ensemble du permis et est composé de :

- Un Turonien basal constitué de calcaires marneux, bitumineux, laminites.
- Un Turonien moyen constitué de calcaires, souvent récifaux et bioclastiques,
- Un Turonien supérieur argilo carbonaté et parfois anhydritique.

#### c-Coniacien

Il est généralement argileux avec quelques passées de calcaires. Toutefois, le Coniacien peut renfermer des bancs calcaires graveleux qui peuvent former de bonnes roches réservoirs.

---

**d- Santonien**

Il est entièrement formé de marnes et d'argiles et admet quelques rares passées de calcaires. Cette formation constitue une bonne roche couverture pour les faciès réservoirs sous-jacents.

**e – Campanien**

Dans la région, la série campanienne est constituée d'une alternance de Calcaires lités et de marnes verdâtres et se termine par un banc de calcaire fin compact et crayeux.

**f- Maestrichtien**

Il est constitué d'argiles à intercalation de marnes à la base, et d'une masse de calcaire blanc, crayeux à silex et à inocérâmes au sommet.

**II.5.2-Cénozoïque****a- Paléocène**

Il est constitué par des argiles et des marnes noires ou vert très sombre avec des cristaux de gypse.

**b- Éocène**

– yprésion (100m)

L'yprésion est représenté par des alternances de calcaires y argileux, de calcaires lumachéliques, calcaires à rognons de silex et surtout par des calcaires phosphatés.

– Luthétien (45m)

Le Luthétien est une formation épaisse de 45m environ constituée essentiellement de gypse massif surmonté par des marnes noires.

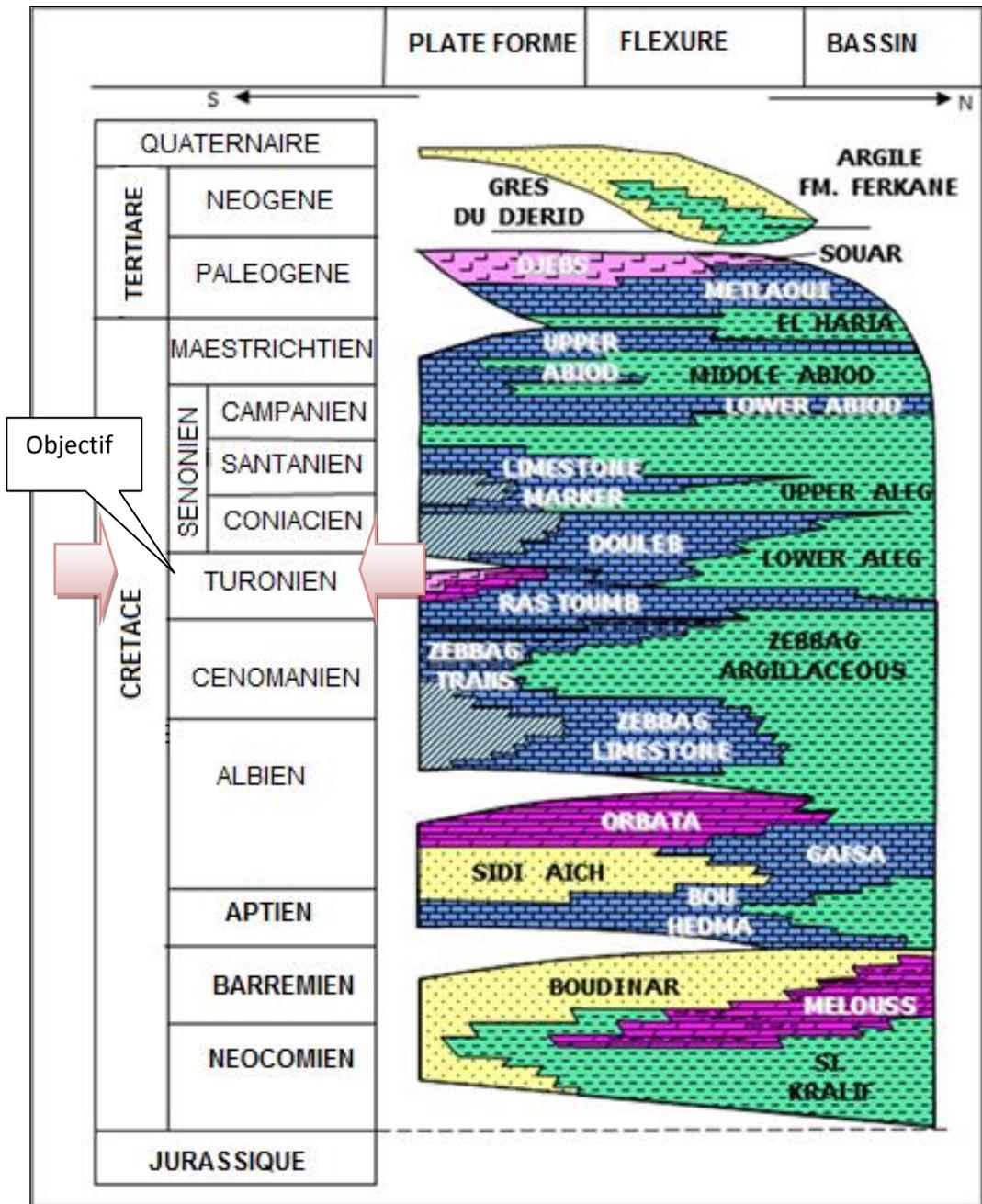
– Néogène (peut dépasser les 1000m)

Il est localisé dans les dépressions situées entre les Djebels et repose en discordance sur les séries sous -jacentes. Il est constitué par des dépôts typiquement détritiques.

---

– Quaternaire

Le Quaternaire est constitué par des cailloutis, sables et argiles silteuses. Les traces de quaternaire terminent la série.



**Figure II.5 :** Colonne stratigraphique du périmètre Sidi Nadji bassin SE Constantinois.  
(Document interne SONATRACH)

## **II.6-Aspect pétrolier**

Le périmètre de Recherche SIDI NADJI est peu exploré, avec uniquement trois (3) puits d'exploration SNJ-1, KSR-1 et RMT-1. Sur le plan exploratoire, ce périmètre est subdivisé en deux zones une partie occidentale à Play Jurassique (bloc 106) et l'autre partie à Play Crétacé (blocs 107 et 124) c'est la zone de notre étude.

### **II.6.1-Roches mères**

Plusieurs niveaux roches mères sont susceptibles d'alimenter les réservoirs, les plus documentés sont les séries marno-argileuses du Crétacé et Vraconien.

#### **II.6.1.1-Roche mère vraconienne**

Il est composé de l'albien supérieur et de la base du Cénomanién

##### **a- L'Albien est constitué de deux termes :**

-Un niveau inférieur gréseux à la base.

-Un niveau supérieur marno-calcaire, attribué au vraconien argileux. Il se présente sous forme de calcaire argileux en plaquettes, avec un aspect gris-noir, riche en empreintes d'ammonites pyriteuses.

L'Albien supérieur constitue un niveau roche mère.

##### **b- Le Cénomanién inférieur**

Le Cénomanién est généralement représenté par une série puissante d'argiles et de marnes avec des intercalations de calcaires à huîtres, dans l'axe du bassin, l'épaisseur du Cénomanién peut atteindre 1000 m, alors qu'en bordures, les épaisseurs se trouvent réduites (300-350m) dans les zones hautes (ex, môle de Biskra). Le Cénomanién inférieur constitue le prolongement de la transgression déclenchée à l'albien supérieur. Il forme avec l'Albien supérieur l'évènement anoxique Vraconien. L'épaisseur du Vraconien est estimée au nord à 300m.

## II.6.2-Roches réservoirs

### II.6.2.1-Réservoir du Crétacé

Carbonates du Coniacien, Turonien et Cénomaniens dans des conditions favorables au Nord Est du périmètre.

#### -Réservoir Coniacien

Ce réservoir est constitué par des barres métriques de calcaires bioclastiques (GKN : Guerguit Elkihel). Les caractéristiques pétro physiques sont moyennes à bonnes. À RMT, le coniacien est formé de Calcaire blanc, crayeux et Calcaire marneux, bioclastique, microcristallin (carotte1) .La porosité carotte varie de 3 à 29 %, la perméabilité carotte est de 0.4 à 100md (RTB : Rass Tumb) et le net pay est de 40 à 60 m.

#### -Réservoir Turonien :

Il est représenté par des calcaires bioclastiques(RTB). À RMT1, le Turonien est formé par des anhydrites (80m) au sommet et par des Calcaires dolomitiques, microcristallins avec fines passées d'argile. La porosité utile moyenne varie de 5 à 10 % et peut même atteindre 25 %, la perméabilité varie de 0.1 à 10md (GKN) et l'épaisseur utile varie entre 40 à 50 m.

#### -Réservoir Cénomaniens :

Il est caractérisé par des grainstones oolithiques. La porosité utile moyenne varie de 10 à 15 %. À RMT, le Cénomaniens est présenté par des calcaires microcristallins, bioclastiques, tendres à intercalation d'Argiles .La perméabilité varie de 0.1 à 10md. L'épaisseur utile varie entre 30 à 50 m. La porosité carotte est de 10 à 15 %, la perméabilité est de 0.1 à 5md et le net pay est de 10 à 20m.

## II.6.3-Roches couvertures

Les épaisses séries argilo-marneuses et gypsifères du Santonien et du Turonien sommital constituent les principales roches couvertures des réservoirs du Crétacé.

## II.6.4-Piège

Les pièges sont variés, ils peuvent être de types structuraux, blocs failles, mixtes (biseaux) ou stratigraphiques par des changements de facies latéraux.

# **CHAPITRE III**

## **Analyse des paramètres élastiques**

## Introduction

Dans ce chapitre, nous avons calculé plusieurs paramètres élastiques à savoir le module d'incompressibilité  $K$ , les paramètres de Lamé  $\lambda$  et  $\mu$ , module de Young  $E$ , module de compression  $M$  et le coefficient de Poisson  $\sigma$

Aussi, nous avons réalisé quelques cross plots reliant les paramètres élastiques afin de dégager les zones qui présentent des anomalies au niveau des paramètres pétrophysiques et comprendre les relations existantes.

Une importante analyse a été faite sur l'ensemble des paramètres élastiques calculés. À la fin une modélisation des vitesses par les différents concepts de Han et al (1986), Wyllie, Biot-Gassmann et aussi Mavco et al (1998) a été réalisée pour déterminer les paramètres clés qui affectent les vitesses mesurées.

### III.1-Les différentes données de diagraphie du puits RMT1

Une diagraphie est un enregistrement continu des variations d'un paramètre donné en fonction de la profondeur.

Les diagraphies sont enregistrées lors d'un arrêt ou en fin de forage, et les paramètres mesurés ne sont accessibles qu'avec un certain retard sur l'exécution du forage d'où le nom de **diagraphies différées**

les valeurs des vitesses sismiques, de radioactivité naturelle, de résistivité électrique, de densité sont extraites des logs de diagraphie différée du puits RMT1 dans le périmètre de Sidi Nadji, ainsi que les valeurs déduites de porosité et de saturation en eau .

Dans ce qui suit, une brève explication sur chaque mesure.

#### III.1.1-Explication sur les différentes mesures réalisées dans le puits RMT1 :

La réalisation de cette étude a nécessité les données suivantes :

##### 1-Mesure des vitesses des ondes acoustiques $V_p$ et $V_s$

L'utilisation de la diagraphie acoustique pour déterminer la vitesse de l'onde de compression et celle de cisaillement dans les formations géologiques est une pratique courante (SUMMERS& BRODING, 1952 ; VOGEL ,1952 in BOYER& MARI, 1994)

.Le principe de mesure consiste à envoyer des ondes acoustiques P et S et à partir des capteurs on mesure le temps de propagation de ces ondes. Pour ce travail, le log

sonique(Xdipole) donnant les valeurs des lenteurs ( $\Delta T_P$ ) et ( $\Delta T_S$ )de la roche, les vitesses de propagation proprement dite des ondes P et des ondes S ont été calculée par la relation de CORDIER (1983) qui s'établit comme suit :

$$V_P = \frac{10^6}{\Delta t}$$

L'unité de temps de trajet est exprimée par la microseconde par pied. Elle est reliée à la vitesse, exprimée en pieds/s. On l'exprime aussi en microsecondes par mètre et la vitesse en mètres par seconde. Avec :

$$1\mu\text{s/m} = 0,3048\mu\text{s/ft}$$

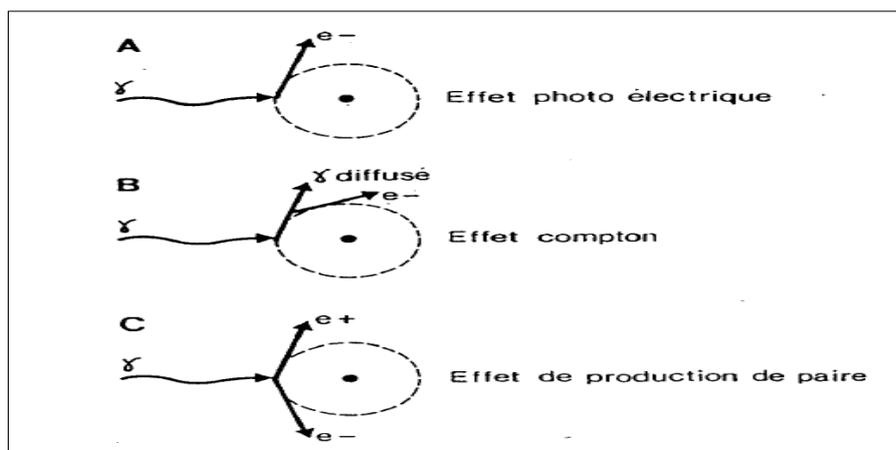
## 2-Mesure de la densité

C'est une diagraphie nucléaire provoquée qui consiste à mesurer la densité globale des formations en fonction de la profondeur. Le principe de mesure de base consiste à bombarder la formation par un faisceau de rayons gamma d'énergie constante (0.1 à 1 Mev).

Ces photons gammas entrent en collision avec les électrons de la matière (Figure A). A chaque collision, l'énergie du faisceau incident est atténuée, cette atténuation peut se faire de trois façons : effet photoélectrique, effet Compton, effet de production de paire.

Dans les domaines d'énergie qui nous intéressent **l'effet Compton** est nettement prépondérant sur les deux autres modes d'atténuation.

Dans cette réaction, le photon incident perd une partie de son énergie pour éjecter un électron et continue sa trajectoire dans une autre direction sous forme d'un **photon diffusé**. Le nombre de photons diffusés retournant au détecteur dépendra du nombre d'électrons orbitaux présents et de l'énergie de la source.



**Figure IV.1** : Interaction corpusculaire (D. Chapellier, diagraphies pétrole)

On mesure la densité globale  $\rho_b$  en  $\text{g/cm}^3$

### 3-Mesure de la radioactivité naturelle

L'argilosité peut être estimée à partir du gamma Ray, qui mesure la radioactivité naturelle dans une formation donnée. On appelle radioactivité naturelle la transformation spontanée d'un noyau atomique au cours de laquelle ce dernier émet un rayonnement radioactif. Bien que la radioactivité se compose de rayonnement alpha, bêta et gamma, dans notre travail, seul le rayonnement de type gamma  $\gamma$  a été pris en compte. Ainsi, la radioactivité a été quantifiée à partir du log gamma Ray suivant une échelle graduée en unité API (American Petroleum Institute).

Il faut pour que l'évaluation du pourcentage d'argile soit possible que la série contienne un véritable banc d'argile, et une zone de sable (ou calcaire) propre qui serviront de référence.

Le volume d'argile au point X se calcule alors de la façon suivante :

$$Vsh = \frac{GRx - GRpropre}{GRargile - GRpropre}$$

### 4-Mesure de la résistivité électrique

Dans une formation donnée, la résistivité est liée à la quantité de fluide conducteur du courant électrique.

Pour mesurer la résistivité électrique en forage le principe est le même que pour les méthodes électriques de surface et la résistivité apparente est obtenue par la formule suivante :

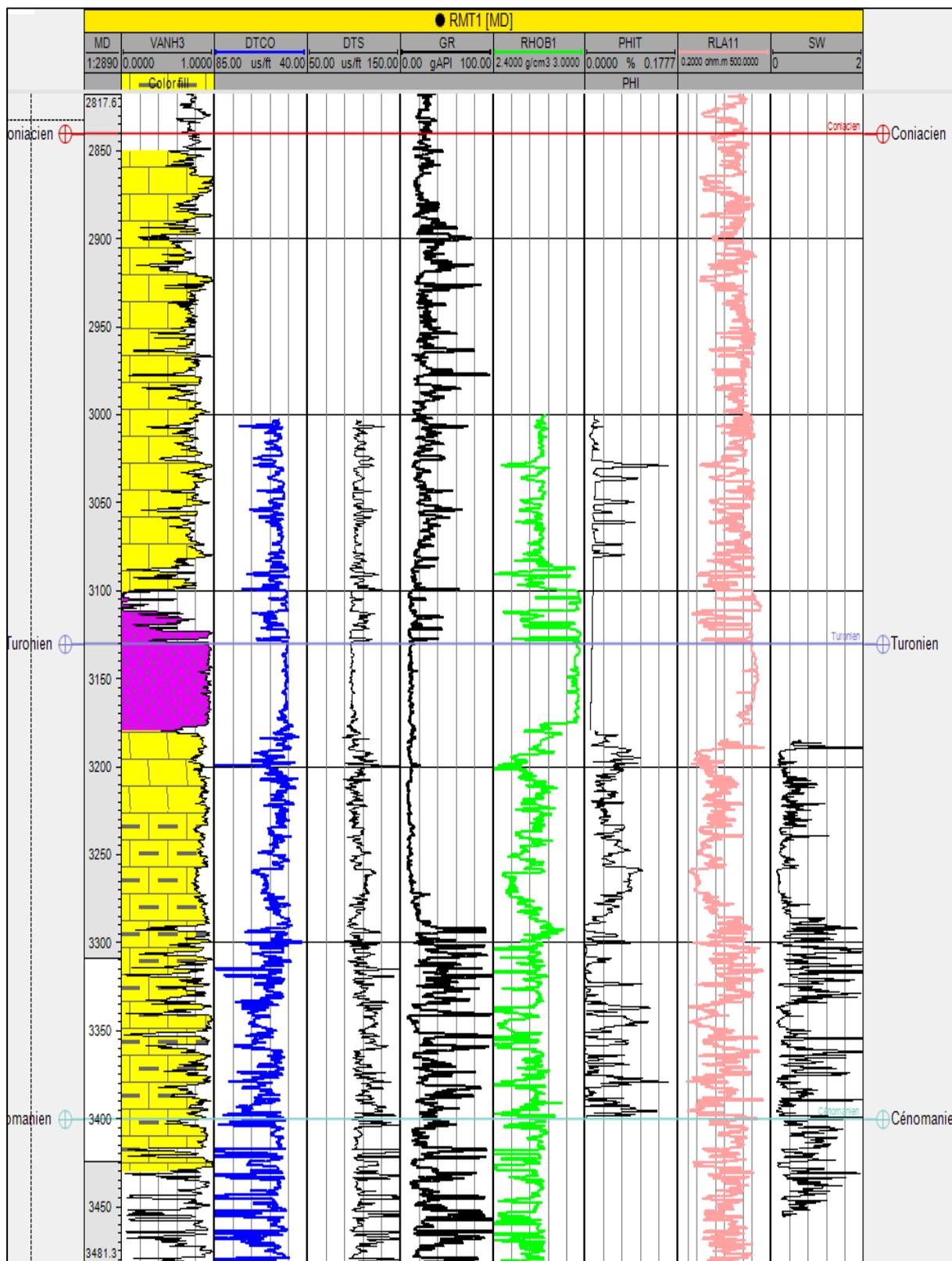
$$Rapp = k \frac{\Delta V}{I}$$

**K est appelé ici coefficient de sonde.** C'est un facteur géométrique qui dépend du dispositif utilisé.

Les outils de résistivité et de conductivité électrique (latérologs et inductologs) sont réunis sous le terme de résistivité (BOYER & MARI, 1994). On distingue trois types de résistivité :

- La résistivité de la zone vierge ( $R_t$  ou  $R_D$ ), appelée résistivité profonde (LLD) ;
- La résistivité de la formation lavée  $R_{xo}$ , appelée résistivité proche (MLL)
- La résistivité de la zone intermédiaire  $R_i$

Dans notre travail, seule la résistivité de la formation vierge  $R_t$  a été prise en compte en mesurant sa valeur sur le log de résistivité selon une échelle logarithmique. Elle est exprimée en  $\Omega m$ .



**Figure III.2 :** Extraits de signatures diagrapiques des différentes propriétés physiques d'un intervalle du puits RMT1

**Track 1:** MD profondeur moyenne (m)

**Track 2:** VANH

**Track 3:** temps de parcours des ondes de compression DTCO en ( $\mu\text{s}/\text{ft}$ )

**Track 4:** temps de parcours des ondes de cisaillement DTS ( $\mu\text{s}/\text{ft}$ )

**Track 5:** enregistrement du Gamma Ray (gAPI)

**Track 6:** Rhob1 Densité ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

**Track 7:** porosité (%)

**Track 8:** RL11 Résistivité électrique ( $\Omega\cdot\text{m}$ )

**Track 9:** Sw saturation en eau (%)

**-Le MDT (modular formation dynamic tester)**

Afin de valider l'évaluation des réservoirs principaux au niveau du puits RMT1, un programme MDT a été lancé dans ce sens. Les résultats de ce MDT n'étaient pas encourageants, car 8 sur 21 mesures étaient tight. Deux mesures ont été effectuées sur 3192.5 et 3260m ont recueilli de l'eau.

Run No.	File No.	Test No.	Probe MD	Temp. Before	Mud Pres. Before	Formation Pres.	Last BU Pres.	Mud Pres. After	DD Mobility	Comments	LS	N	T	S
			m	degC	psi	psi	psi	psi	mD/cP					
R4E	14	38	3187.5	229.7	5917.79	4816.10	4816.10	5919.59	2.14	Good		X		
R4E	12	35	3192.5	290.2	5932.90	4823.37	4823.37	5929.93	7.75	Good		X		
R4E	13		3192.5	284.5	5929.75	4823.37	4823.37	5923.74	7.75	Sampling station, water was identified, sample was captured		X		
R4E	11	32	3204.2	290.2	5960.99	4840.89	4840.89	5959.81	6.67	Good		X		
R4E	10	29	3222.2	290.0	6005.18	4868.88	4868.88	6004.07	10.01	Good		X		
R4E	9	26	3240.1	288.5	6024.28	4895.65	4895.65	6023.37	5.42	Good		X		
R4E	25	60	3249.1	230.5	6199.27	4908.83	4908.83	6198.43	9.25	Good		X		
R4E	8	19	3249.1	289.0	6052.27	N/A	5356.12	6051.67	N/A	Tight			X	
R4E	7	17	3250.0	289.8	6086.37	N/A	5124.35	6086.22	N/A	Tight			X	
R4E	26		3260.0	270.5	6235.57	4925.43	4925.43	6234.27	24.52	Sampling station, water was identified, samples were captured		X		
R4E	24	55	3260.1	230.3	6234.90	4925.43	4925.43	6234.27	24.52	Good		X		
R4E	6	14	3280.0	248.0	6149.11	N/A	5363.43	6149.10	N/A	Tight			X	
R4E	22	51	3280.5	230.5	6298.72	4956.47	4956.47	6298.41	6.04	Good		X		
R4E	20	46	3288.0	230.7	6320.81	N/A	4482.75	6320.79	N/A	Tight			X	
R4E	5	12	3288.1	209.6	6173.72	N/A	5260.39	6173.67	N/A	Tight			X	
R4E	4	10	3345.0	208.3	6337.78	N/A	5331.29	6346.48	N/A	Tight			X	
R4E	18	45	3345.0	231.7	6467.76	5070.82	5070.82	6467.40	1.05	Good		X		
R4E	2	4	3395.4	207.9	6498.53	N/A	5443.52	6497.26	N/A	Tight			X	
R4E	16	42	3395.5	233.0	6500.78	5209.47	5209.47	6500.63	2.51	Good		X		
R4E	27	64	3395.5	232.5	6545.98	5210.35	5210.35	6551.65	0.55	Low mobility, possibly supercharged				X
R4E	3	7	3398.1	208.2	6504.37	N/A	5654.26	6504.18	N/A	Tight				X

Total attempts	Good pretests	Supercharged	Tight	Loss seals
21	12	1	8	0

Figure III.3 montre la profondeur du point de MDT

### III.1.2- Les différentes données calculées à partir de ces mesures :

#### 1-Porosité

Les valeurs de porosité ont été faites auparavant, exprimées en pourcentage (%), ont été directement lues sur le log de porosité.

#### 2-Saturation en eau

Plusieurs auteurs ont proposé des équations de saturations en eau, selon le réservoir est propre ou argileux. Cependant, on citera la formule d'Archie utilisée, seulement, dans les réservoirs propres

$$Rt = F \cdot Rw / Sw^2$$

Rt : résistivité de la zone vierge

F : facteur de formation

Rw : Résistivité de l'eau de formation

Sw : Saturation en eau

#### ➤ Facteur de formation :

Il s'exprime avec la relation  $F = \frac{a}{\phi^m}$

Tel que, a : facteur lié à la nature de la roche

m : facteur de cimentation

$\Phi$  : porosité de la formation

On citera les expressions suivantes pour des formations consolidées et non consolidées : Formation compacte  $F=1/\phi^2$ ,

Formation consolidées :  $F=0.62/\phi^{2.15}$  (Humble),

$F=0.81/\phi^2$  (Schlumberger),

Les valeurs de la saturation en eau sont calculées par la loi d'Archie. Alors, elles sont estimées à partir des données de résistivités ainsi que celles de porosité.

Les valeurs de saturation en eau, exprimées en pourcentage (%), ont été directement lues sur le log de saturation en eau.

#### Remarque :

- Cette formule d'Archie est écrite dans la zone vierge. Ainsi, elle peut être écrite dans la zone lavée.
- Les facteurs a et m peuvent être déterminés par plusieurs méthodes (analytiquement ou graphiquement).
- Les données de porosités et de saturation en eau sont calculées à partir d'ELAN.

### III.2- Détermination des paramètres élastiques :

L'estimation de ces paramètres a été réalisée à l'aide de l'EXCEL et a été confirmée sur **PETREL 2014** (la commande utilisée **Rock physics**).

Nous nous intéressons maintenant à montrer les différentes étapes de calcul des paramètres cités auparavant

#### III.2.1-Calcul des vitesses $V_p$ et $V_s$

Le calcul de la vitesse des ondes de compression  $V_p$  et celles de cisaillement  $V_s$  le long du puits a été effectué en appliquant la relation de CORDIER (1983) qui s'établit comme suit :

$$V_p = \frac{10^6}{\Delta t_p}$$

$$V_s = \frac{10^6}{\Delta t_s}$$

Avec  $V_p, V_s$  : vitesses de l'onde P et S exprimée en pied/s  
 $\Delta t_p, \Delta t_s$ : exprimée en  $\mu s$ /pied

Alors,  **$V_p = (0.3048/\Delta t_p) * 1000000$**   
 **$V_s = (0.3048/\Delta t_s) * 1000000$**

Donc, elles sont exprimées en m/s.

#### IV.2.2-Calcul des impédances acoustiques :

- Impédance acoustique des ondes de compression P :

$$I_p = \rho * V_p$$

- Impédance acoustique des ondes de cisaillements S :

$$I_s = \rho * V_s$$

Ces impédances acoustiques sont exprimées en KPa.s/m.

**Tableau III.1 :** montre les différents paramètres acoustiques calculés ainsi que le rapport  $V_p/V_s$  calculé à partir du 3000.146 m jusqu' à 3003.651 m du puits RMT1.

MD	Vp	VS	Vp/Vs	Ip(impédance des ondes P)	Is( impédance des ondes S)
<b>3000,146</b>	5654,916512	2959,050929	1,91105751	15530,6627	8126,73747
<b>3000,299</b>	5719,647213	2986,285425	1,91530494	15708,4391	8201,53429
<b>3000,451</b>	5690,81404	2974,169223	1,91341299	15629,2517	8168,25835
<b>3000,604</b>	5659,116227	2960,82157	1,91133309	15542,1968	8131,60036
<b>3000,756</b>	5622,57886	2945,399939	1,90893562	15426,6696	8081,29381
<b>3000,908</b>	5507,770148	2896,688576	1,90140224	15086,884	7934,60935
<b>3001,061</b>	5427,350427	2862,33735	1,89612536	14841,6325	7827,34772
<b>3001,213</b>	5383,2568	2843,421509	1,89323207	14715,6708	7772,77704
<b>3001,366</b>	5397,556225	2849,562188	1,89417036	14722,9141	7772,75078
<b>3001,518</b>	5505,780347	2895,840934	1,90127168	14993,8916	7886,24362
<b>3001,67</b>	5555,960627	2917,181895	1,90456435	15103,879	7930,35898
<b>3001,823</b>	5625,692137	2946,715495	1,9091399	15291,7564	8009,76206
<b>3001,975</b>	5714,285714	2984,034242	1,91495313	15532	8110,90347
<b>3002,128</b>	5732,555953	2991,702149	1,91615197	15582,2336	8132,04478
<b>3002,28</b>	5716,429107	2984,934308	1,91509377	15538,3976	8113,64844
<b>3002,432</b>	5682,326622	2970,598096	1,91285608	15445,132	8074,38268
<b>3002,585</b>	5772,727273	3008,528111	1,91878788	15691,4273	8177,78111
<b>3002,737</b>	5654,916512	2959,050929	1,91105751	15371,7596	8043,58814
<b>3002,89</b>	5440,913959	2868,144401	1,89701535	14803,6387	7803,64729
<b>3003,042</b>	5177,509767	2754,387772	1,87973161	14105,6076	7504,05405
<b>3003,194</b>	5078,307231	2711,0009	1,87322226	13857,6848	7397,77926
<b>3003,346</b>	4930,443222	2645,769026	1,8635199	13474,9013	7230,88675
<b>3003,499</b>	4689,230769	2537,885096	1,84769231	12751,8942	6901,52473
<b>3003,651</b>	4508,208845	2455,699915	1,83581423	12206,4263	6649,05309

**III.2.3-Calcul des paramètres élastiques sur Excel 2007 :**

- Module d'incompressibilité K

$$K = \frac{\rho(3Vp^2 - 4Vs^2)}{3}$$

- Module de compression Mcomp

$$M = \rho Vp^2 = \lambda + 2\mu$$

- Module de rigidité

$$\mu = \rho Vs^2$$

- Paramètre de Lamé  $\lambda$

$$\lambda = \rho(Vp^2 - 2Vs^2)$$

- coefficient de Poisson

$$\sigma = \frac{\lambda}{2(\mu + \lambda)} = \frac{\gamma^2 - 2}{2\gamma^2 - 2}$$

Où

$$\gamma = \frac{Vp}{Vs}$$

- Module de Young

$$E = \rho Vs^2 \frac{(3Vp^2 - 4Vs^2)}{(Vp^2 - Vs^2)}$$

- Lambda\_rhob

$$\lambda \rho = \rho(Vp^2 - 2Vs^2)$$

Cet attribut ( $\lambda \rho$ ) représente un indicateur de lithologie

- Mu\_rhob

$$\mu * \rho = \rho Vs^2$$

Le nouvel attribut ( $\mu \rho$ ) représente un indicateur de lithologie.

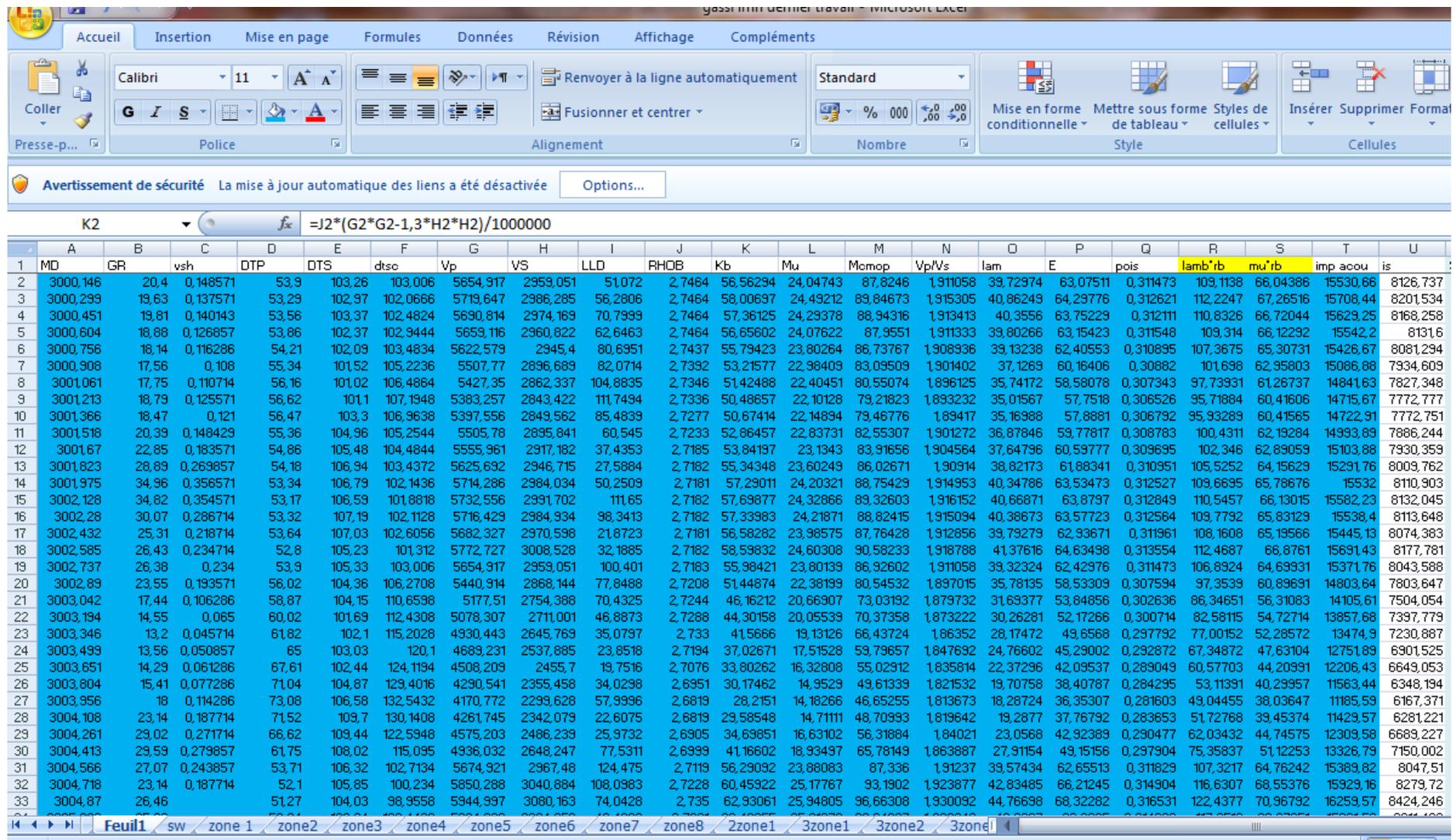


Figure III.4 : montre les résultats obtenus tels que les vitesses Vp et Vs, les impédances acoustiques Ipet Is, les paramètres élastiques et le volume d'argiles sur une feuille d'EXCEL 2007

**Tableau III.2 :** montre les différents paramètres élastiques calculés à l'intervalle 3000.146-3003.651 m du puits RMT1

MD	Kb (GPa)	$\mu$ (GPa)	Mcmop	$\lambda$	E (GPa)	poisson	$\lambda^*r_{hob}$	$\mu^*r_{hob}$
<b>3000,146</b>	56,5629419	24,0474301	87,824601	39,7297409	63,0751133	0,31147306	109,11376	66,0438619
<b>3000,299</b>	58,0069709	24,4921223	89,84673	40,8624853	64,2977631	0,3126213	112,22473	67,2651647
<b>3000,451</b>	57,3612475	24,2937826	88,9431649	40,3555997	63,7522912	0,31211126	110,832619	66,7204445
<b>3000,604</b>	56,6560151	24,0762177	87,9550982	39,8026627	63,1542259	0,3115479	109,314033	66,1229244
<b>3000,756</b>	55,7942315	23,8026423	86,7376665	39,1323819	62,4055345	0,3108951	107,367516	65,3073097
<b>3000,908</b>	53,2157694	22,9840922	83,0950893	37,1269048	60,1640596	0,30881957	101,698018	62,9580255
<b>3001,061</b>	51,4248777	22,4045097	80,5507404	35,7417209	58,580776	0,3073434	97,73931	61,2673723
<b>3001,213</b>	50,486569	22,1012814	79,2182348	35,015672	57,7518013	0,30652608	95,718841	60,4160629
<b>3001,366</b>	50,674139	22,1489367	79,4677567	35,1698833	57,888096	0,30679176	95,9328906	60,4156547
<b>3001,518</b>	52,8645746	22,8373071	82,5530738	36,8784596	59,7781709	0,30878327	100,431109	62,1928384
<b>3001,67</b>	53,8419673	23,1342996	83,9165568	37,6479576	60,5977666	0,30969529	102,345973	62,8905936
<b>3001,823</b>	55,3434766	23,60249	86,0267136	38,8217336	61,8834097	0,31095087	105,525236	64,1562882
<b>3001,975</b>	57,2901079	24,2032137	88,7542857	40,3478583	63,5347251	0,31252663	109,669514	65,7867552
<b>3002,128</b>	57,6987733	24,3286558	89,3260259	40,6687142	63,8796992	0,31284892	110,545699	66,1301523
<b>3002,28</b>	57,3398285	24,2187076	88,8241483	40,3867332	63,5772311	0,31256449	109,779218	65,8312909
<b>3002,432</b>	56,5828151	23,9857458	87,7642847	39,792793	62,9367109	0,31196068	108,160791	65,1956557
<b>3002,585</b>	58,5983205	24,6030844	90,5823302	41,3761614	64,6349779	0,31355437	112,468682	66,8761039
<b>3002,737</b>	55,9842139	23,801387	86,9260169	39,323243	62,4297555	0,31147306	106,892371	64,6993102
<b>3002,89</b>	51,448741	22,3819873	80,5453245	35,7813499	58,5330902	0,30759368	97,3538968	60,896911
<b>3003,042</b>	46,1621241	20,6690747	73,0319212	31,6937718	53,8485643	0,30263607	86,3465118	56,3108271
<b>3003,194</b>	44,3015787	20,0553862	70,3735808	30,2628083	52,1726581	0,30071437	82,5811514	54,7271379
<b>3003,346</b>	41,5666029	19,1312562	66,4372359	28,1747235	49,6567982	0,29779241	77,0015194	52,2857232
<b>3003,499</b>	37,0267147	17,5152767	59,7965744	24,7660209	45,2900236	0,29287205	67,3487173	47,6310436
<b>3003,651</b>	33,802616	16,3280791	55,0291189	22,3729607	42,0953741	0,28904857	60,5770283	44,209907

### III.2.4-Estimation des paramètres élastiques sur PETREL 2014

Dans cette étape, la détermination des paramètres élastiques a été réalisée par la commande Rock physics du PETREL 2014 tel que nous allons injecter les inputs  $V_p$ ,  $V_s$  et  $\rho$

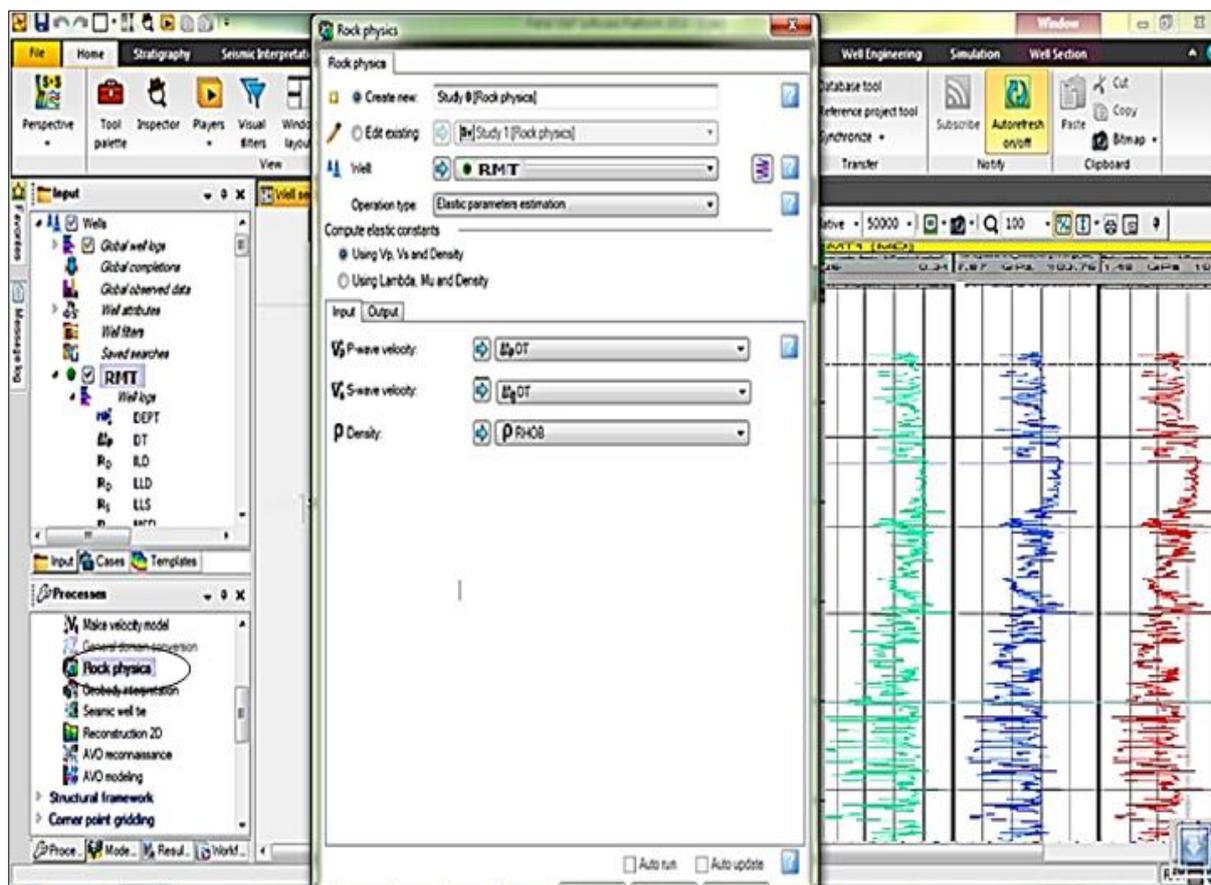
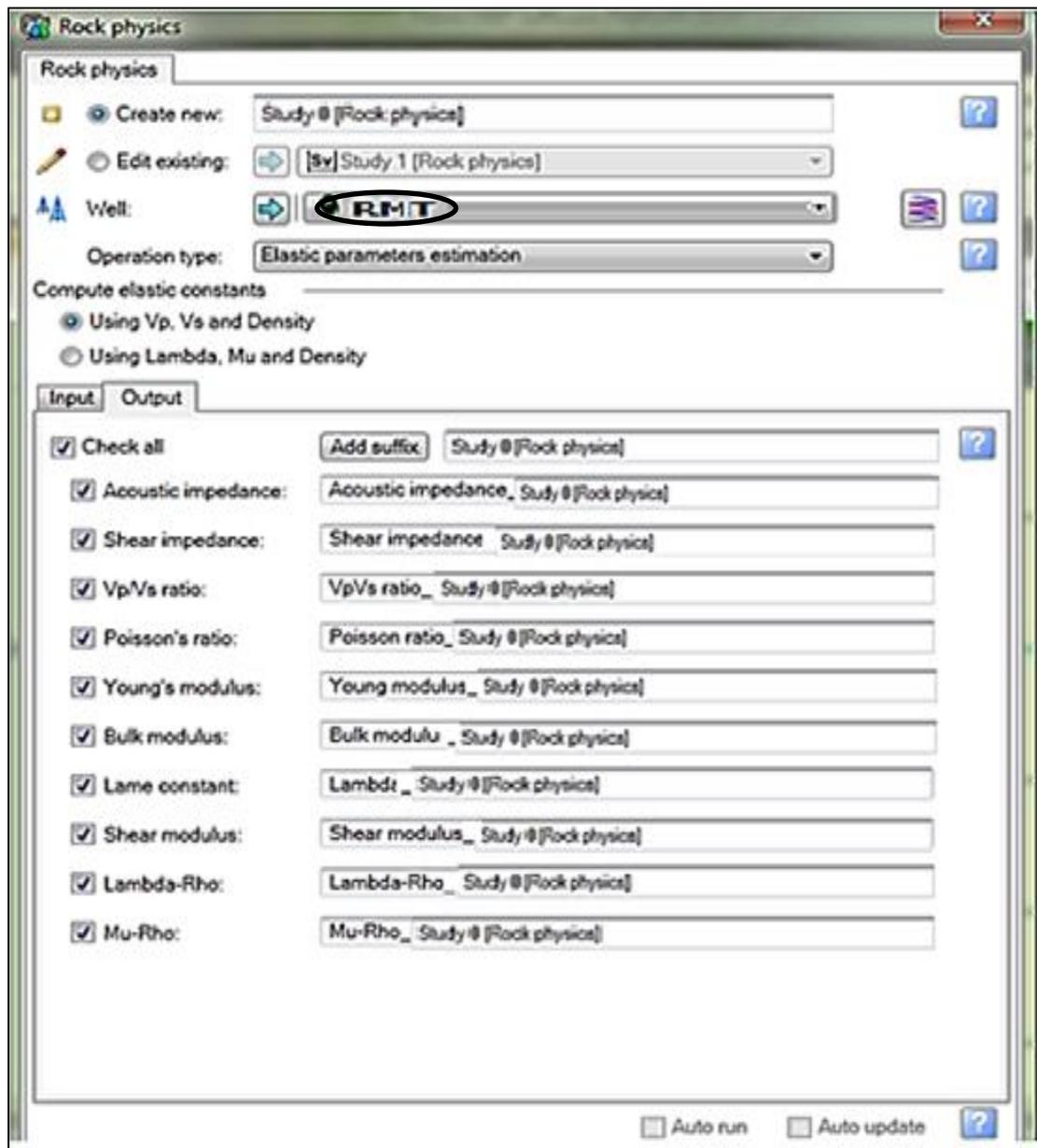


Figure III.5 : aide à comprendre la commande ROCK PHYSICS dans PETREL2014.



**Figure III.6 :** montre les outputs qui sont les paramètres élastiques déterminés sur PETREL2014.

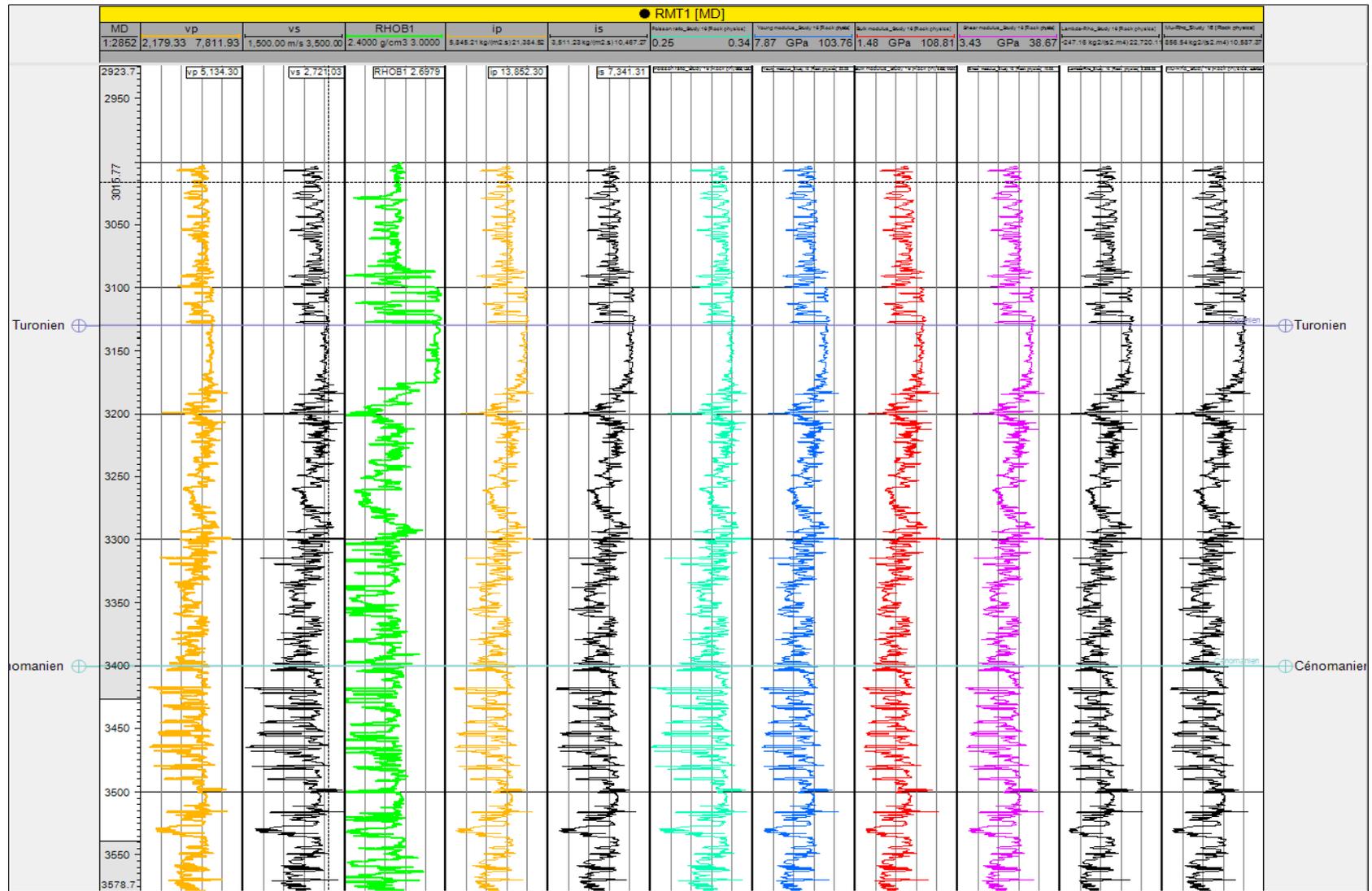


Figure III.7 : Les différents paramètres acoustiques et élastiques le long du puits RMT1

**Commentaire :**

La figure V.4 montre les différents outputs réalisés sur rock physics en occurrence :

$I_p$ (4eme track) : impédance acoustique des ondes de compression P (KPa.s/m)

$I_s$ (5eme track) : impédance acoustique des ondes de cisaillement S (KPa.s/m)

$\sigma$  (6eme track) : coefficient de poisson

$E$  (7eme track): module de young (GPa)

$k$  (8eme track): bulk modulus(GPa)

$\mu$  (9eme track) : module de rigidité(GPa)

Lambda-rho et Mu-rho (10eme-11 track) : paramètres de Lamé(GPa)

Le log de densité (3eme track) montre de fortes valeurs atteignant 2.9g/cc entre 3125-3175m, ceci se traduit aussi par de fortes valeurs des vitesses  $V_p=5800\text{m/s}$  et  $v_s=3120\text{m/s}$ . De même pour les paramètres élastiques, ces fortes valeurs sont dues à la présence des anhydrites.

À 3192 m, nous constatons une forte valeur de la densité à  $2.8\text{g/cm}^3$ , mais nous avons des chutes pour les vitesses et les paramètres élastiques  $v_p=4600\text{m/s}$  et  $v_s= 2800\text{m/s}$ .

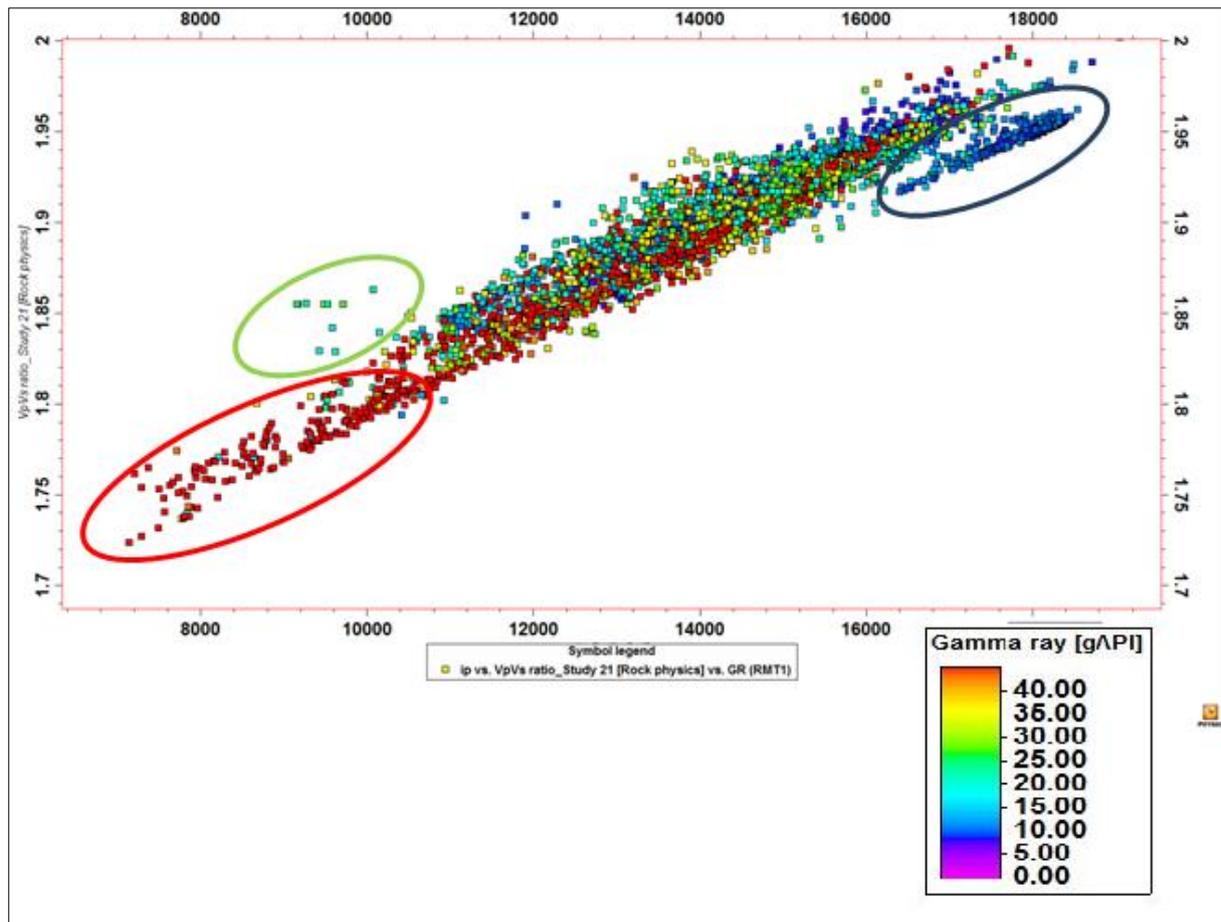
**III.3-Analyse des cross plots**

Nous avons distingué trois réservoirs carbonatés du Turonien (T1, T2 et T3) le long de puits RMT1 ; ils sont séparés par des formations géologiques telles que les anhydrites (80 m d'épaisseur) et les argiles (environ de 37 m d'épaisseur) qui sont situées respectivement à 3097 m et à 3283 m. Dans ce qui suit, une analyse des différents cross plots en 2D et 3D a été réalisée.

**III.3.1-Analyse des cross plots 2D**

En premier lieu, nous avons réalisé des cross plots 2D pour but de déterminer les zones en reliant les différents paramètres entre eux.

## III.3.1.1-Cross-plot Vp/Vs en fonction d'Ip



**Figure III.8 :** Cross plot rapport Vp/Vs en fonction de l'impédance acoustique Ip

**Commentaire :**

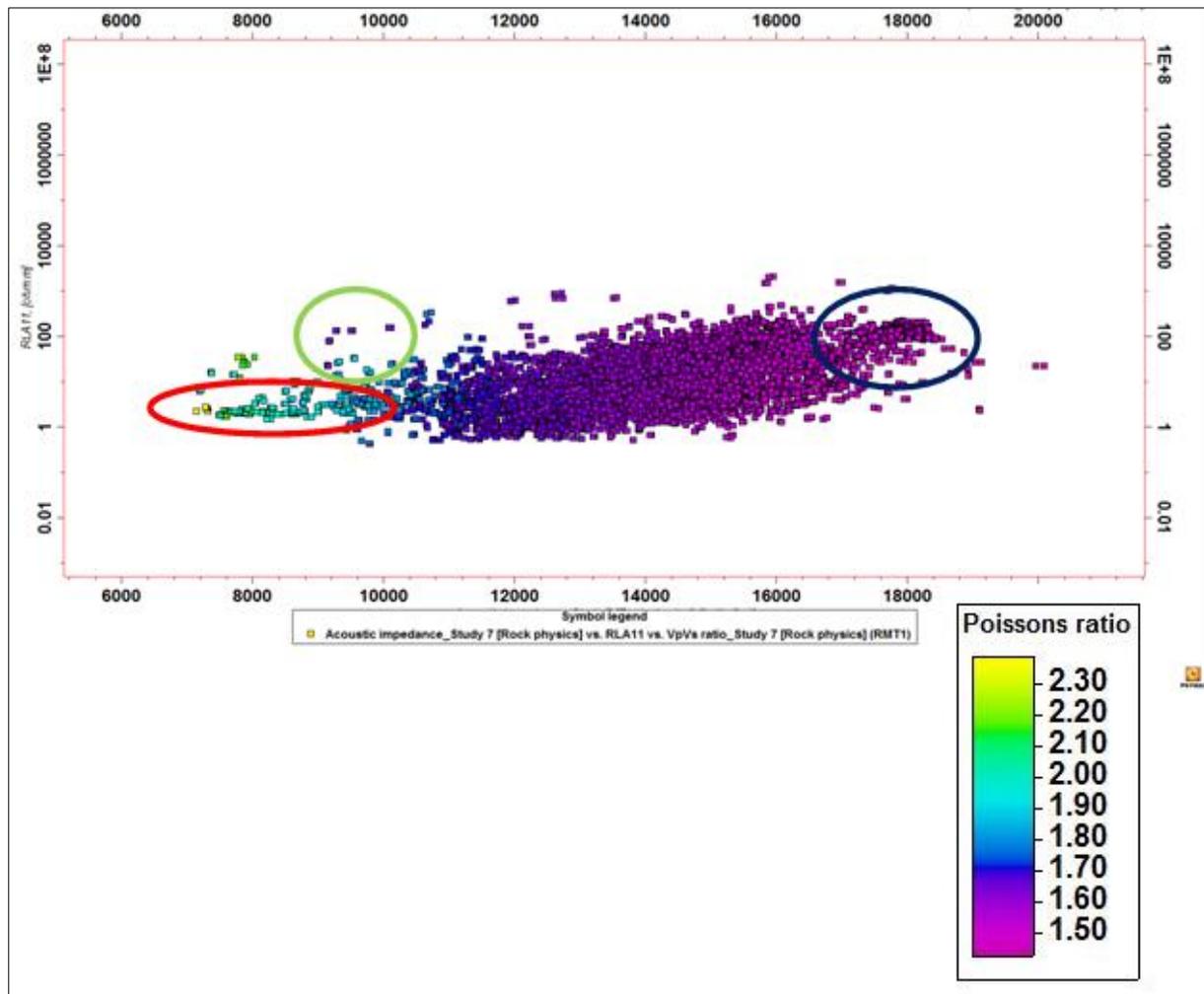
Le cross-plot au niveau du puits RMT1 mettant Vp/Vs en fonction d'IP met en évidence trois zones : la première zone (rouge) dont le GR est supérieur à 50API caractérisée par un faible rapport Vp/Vs et une faible impédance acoustique Ip c'est la zone argileuse, la zone bleue avec un GR inférieur à 10API, marquée par de forte Ip et Vp/Vs c'est la zone des anhydrites. Quant à la zone verte, les valeurs de Vp/Vs stagnent à 1.85 pour des Ip comprises entre 9000 et 10000 KPa.s/m et un GR < 40API, cette zone est indépendante, due probablement à l'effet de porosité ou d'un fluide.

**Conclusion :**

À partir de ce cross plot la meilleure zone du point de vue du comportement élastique est la verte marquée par  $v_p/v_s = 1.85$  et  $I_p = 10000$  KPa.s/m est un faible GR = 30API.

Ce cross plot montre aussi trois zones principales à savoir les argiles, les anhydrites et une autre zone peut être contenue des hydrocarbures.

## III.3.1.2-Cross plot Rt en fonction d'Ip



**Figure III.9 :** Cross plot de résistivité électrique Rt en fonction de l'impédance acoustique Ip

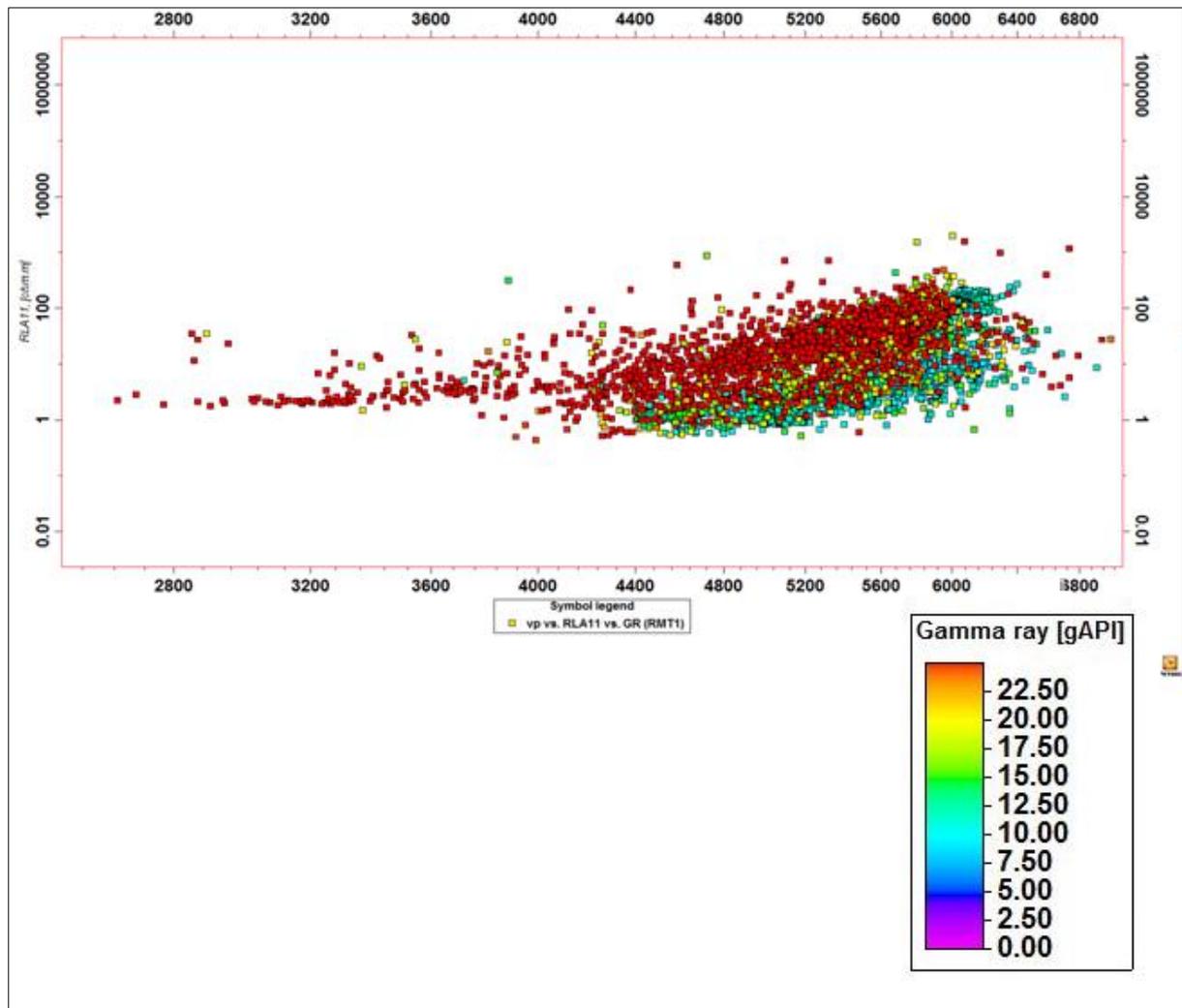
**Commentaire :**

Le cross-plot au niveau du puits RMT1 mettant Rt en fonction d'IP met en évidence les mêmes zones : la zone (rouge) dont le coefficient de Poisson est supérieur à 2, caractérisée par de faibles résistivités et une faible impédance acoustique Ip c'est la zone argileuse, la zone bleue avec un coefficient de Poisson inférieur à 1.8, marquée par de forte Ip c'est la zone des anhydrites. Quant à la zone verte, les valeurs de RT stagnent à 100Ω.m pour des Ip comprises entre 9000et 10000KPa.s/m, cette zone est indépendante, du probablement à l'effet de porosité ou d'un fluide.

**Conclusion**

La zone verte se distingue par des valeurs de résistivité électrique globale comprise entre 1 et 100 Ω.m. cette zone peut être saturée en hydrocarbure.

## III.3.1.3-Cross plot Rt en fonction Vp



**Figure III.10 :** Cross plot résistivité électrique Rt en fonction de vitesse acoustique Vp

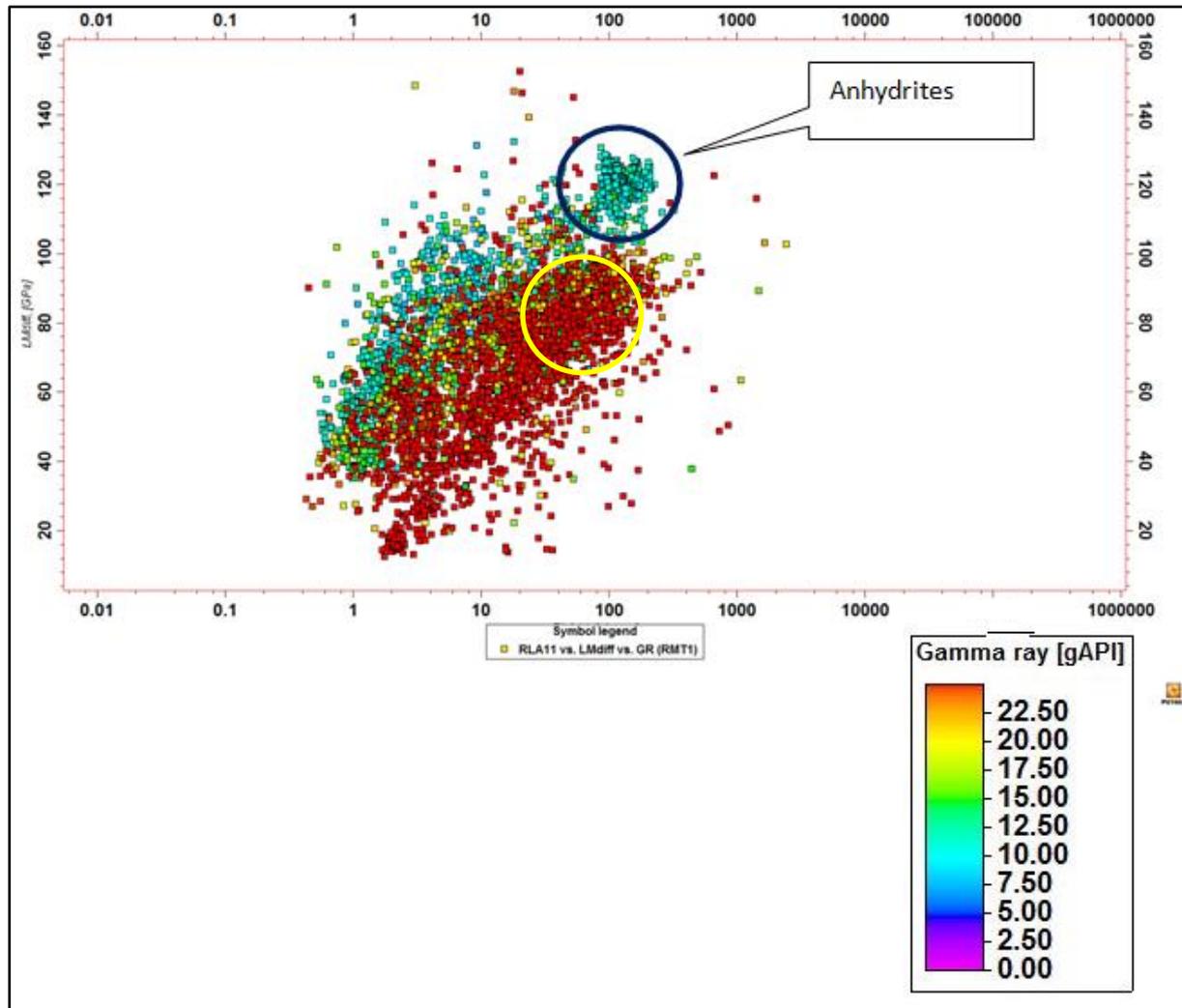
**Commentaire :**

Le cross-plot au niveau du puits RMT1 mettant la vitesse acoustique Vp en fonction de la résistivité électrique totale Rt met en évidence deux zones, la zone rouge dont le GR est supérieur à 20API caractérisée par des résistivités qui varient entre 1-200Ω.m et des vitesses Vp de l'ordre de 4000-6000m/s. En revanche, la zone verte avec un GR inférieur à 15API, se distingue par de forte Vp 4400-6500m/s et des résistivités de même ordre que la zone rouge.

**Conclusion :**

sur ce cross plot, il n'y a pas une bonne discrimination lithologique, car les vitesses sont confondues.

## III.3.1.4-Cross plot L-M en fonction Rt



**Figure III.11 :** Cross plot différence Lambda rho\_ Mu rho en fonction de la résistivité électrique Rt

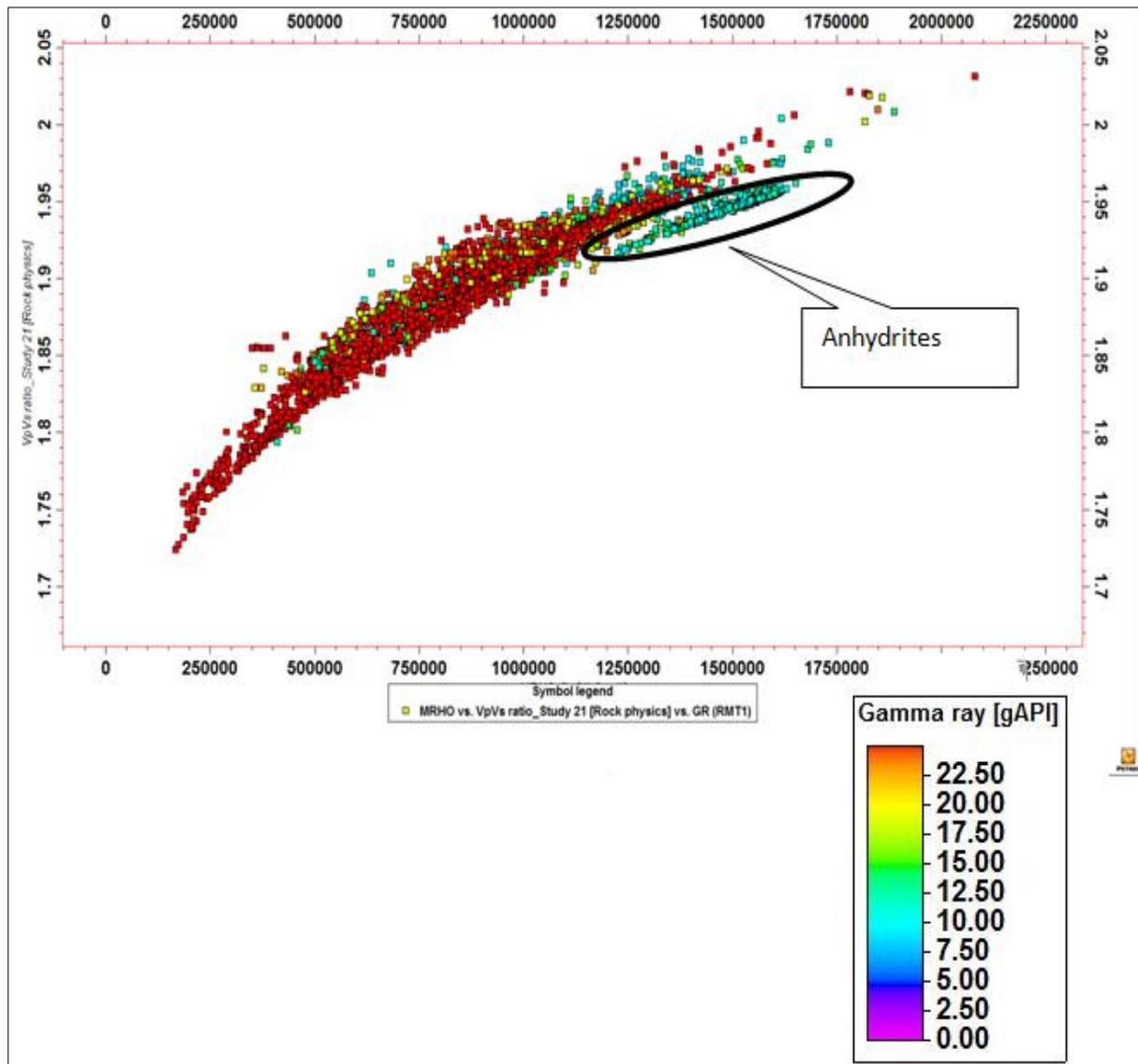
**Commentaire :**

Ce cross-plot mettant la différence Lambda rho\_ Mu rho en fonction de la résistivité électrique Rt, met en évidence une autre zone qui se distingue par de fortes résistivités et un fort écart entre Lambda rho \_ Mu rho, cette zone a des faibles valeurs du GR <15API, par contre, la zone jaune est caractérisée par de fortes valeurs de résistivités et un faible écart 80 GPa.

**Conclusion :**

La zone bleue est attribuée aux anhydrites, cependant la zone (cercle en jaune) peut être liée au réservoir carbonaté saturé en hydrocarbures.

## III.3.1.5-Cross plot Vp/Vs en fonction Mu rho



**Figure III.12 :** Cross plot rapport Vp/Vs en fonction de Mu rho

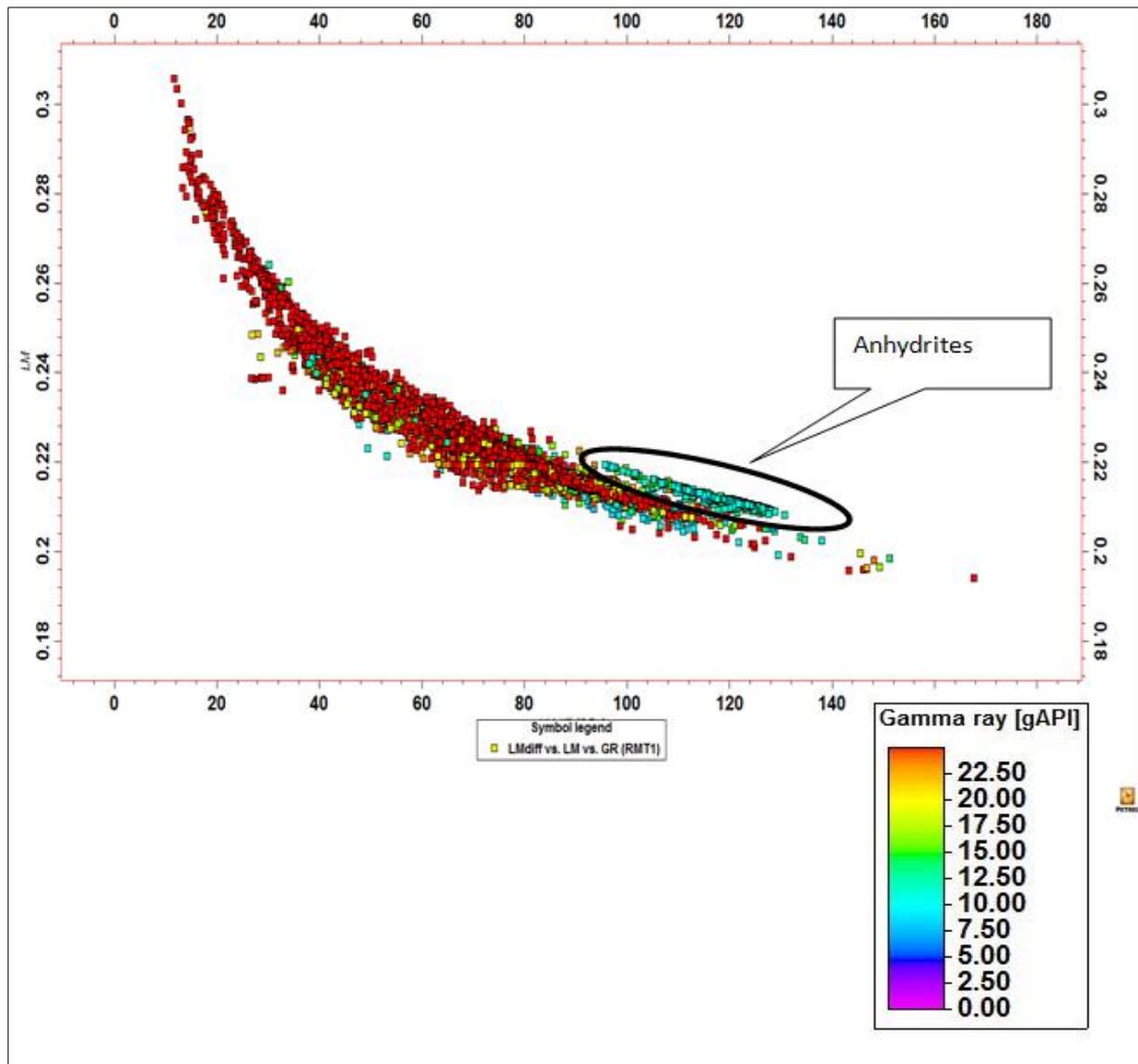
**Commentaire :**

Le cross plot de Vp/Vs en fonction du rapport Mu rho montre la même zone qui se détache du trend avec une chute sensible du rapport Vp/Vs à 1.92

**Conclusion :**

La zone bleue est attribuée aux anhydrites

## III.3.1.6-Cross plot LM en fonction L/M



**Figure III.13 :** Cross plot rapport (Lambda rho/Mu rho) en fonction de la différence Lambda rho\_ Mu rho

**Commentaire :**

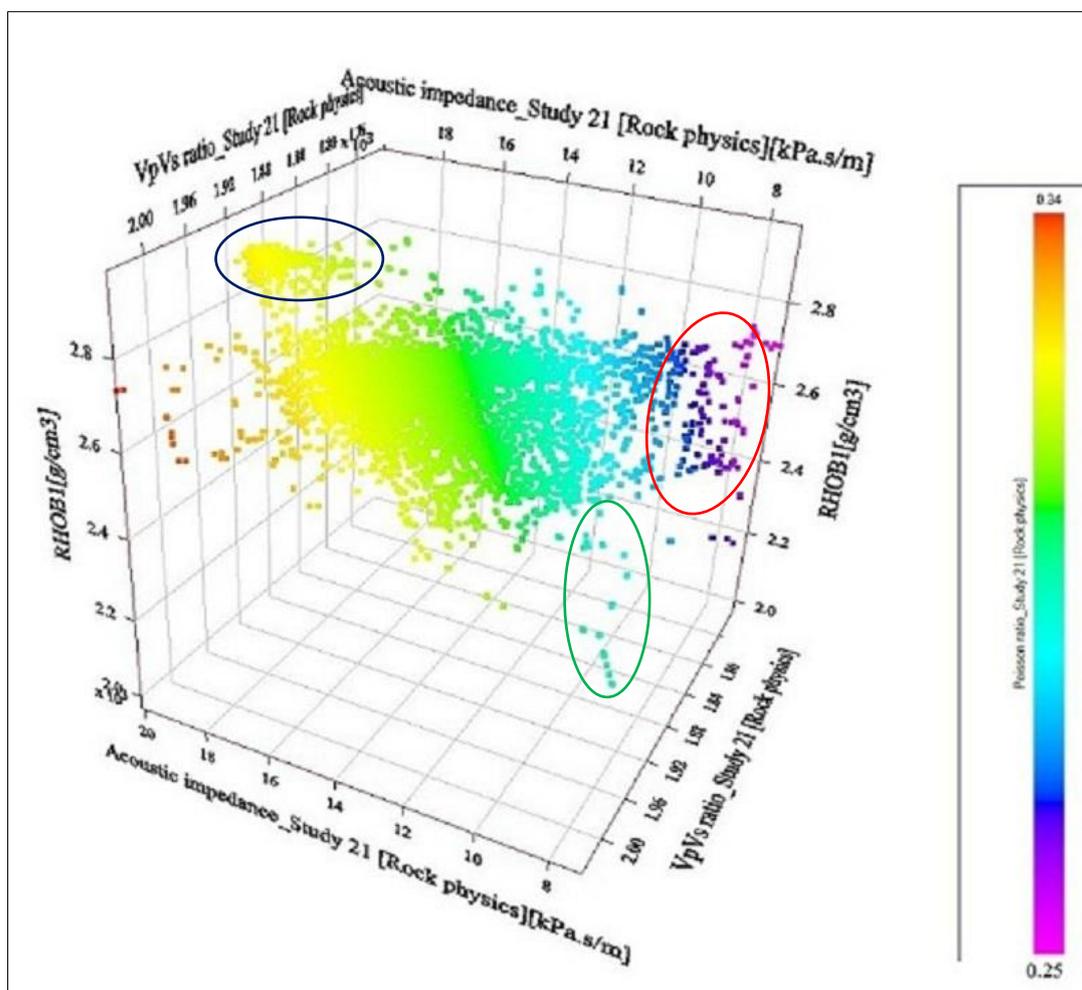
Le cross plot met en évidence la différence Lambda rho\_ Mu rho en fonction du rapport Lambda rho/Mu rho. En montrant la même zone décrite ci-dessus avec un faible rapport 0.22 et un fort écart >96.

**Conclusion :**

La zone bleue est attribuée aux anhydrites.

### III.3.2-Analyse des cross plots 3D

#### III.3.2.1-Cross- plot 3D d'Impédance acoustique\_ Rapport Vp/Vs\_ Densité



**Figure III.14 :** Cross- plot 3D d'Impédance acoustique\_ Rapport Vp/Vs\_ Densité

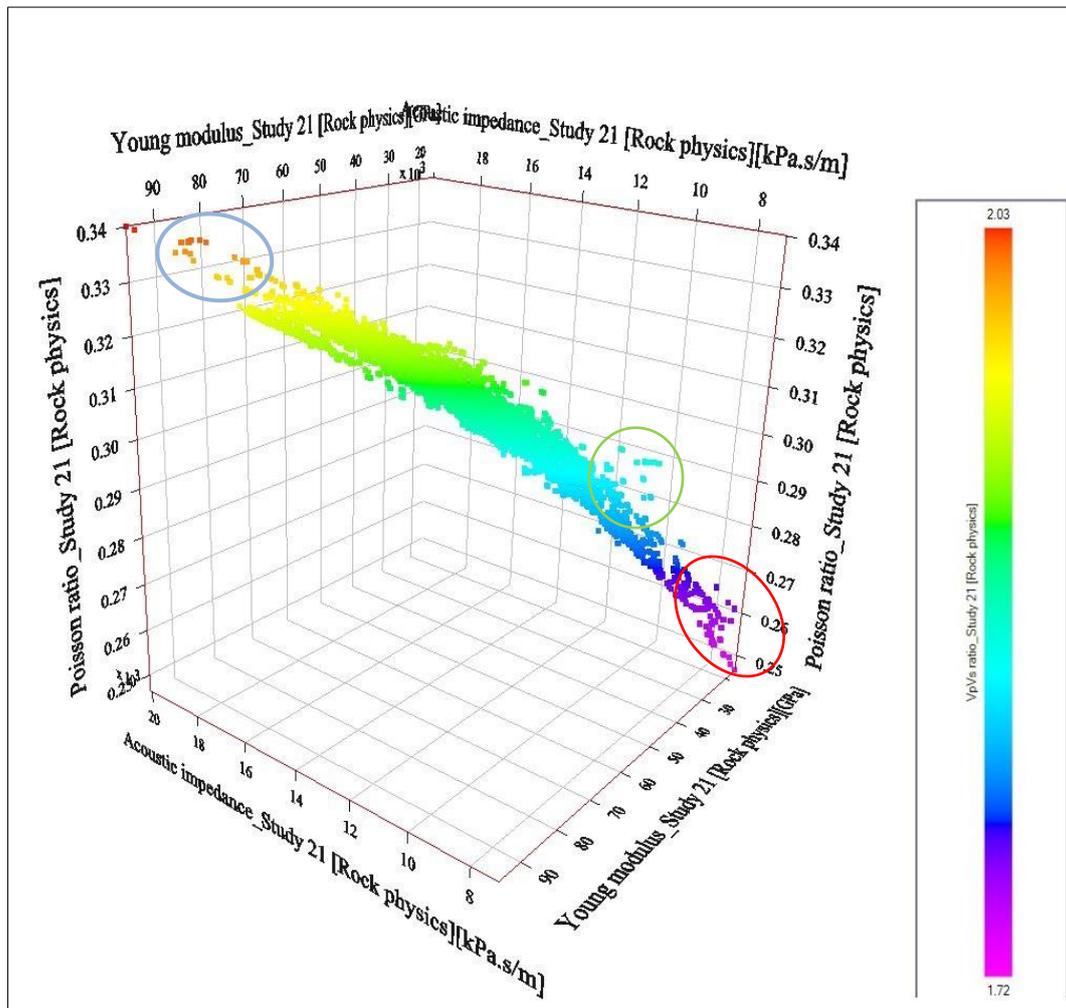
#### Commentaire

Ce cross plot a montré aussi trois zones telles que des anhydrites, des argiles et celle due probablement à un effet de porosité ou un fluide. La première zone (bleue) est marquée par de fortes valeurs du rapport Vp/Vs et confirmé par  $\sigma$  (dans cette zone la variation est maximale est en orange), la densité comprise entre 2.8-2.9 g/cm<sup>3</sup> alors une grande impédance acoustique. En second, on distingue la zone (rouge) avec des faibles valeurs de Vp/Vs et de  $\sigma$  et une densité oscillent entre 2.3 et 2.7 g/cm<sup>3</sup>. On marque aussi une faible Ip avec des valeurs comprises entre 7000 et 10000 KPa.s/m.

#### Conclusion :

Ce cross plot montre aussi trois zones principales à savoir les argiles, les anhydrites et une autre zone peut être saturée en hydrocarbures.

### III.3.2.2-Cross- plot 3D de Coefficient de Poisson \_ Module de Young\_ Impédance acoustique



**Figure III.15 :** Cross- plot 3D de Coefficient de Poisson \_ Module de Young\_ Impédance acoustique.

#### Commentaire :

Ce cross plot mettant le coefficient de Poisson  $\sigma$  en fonction d' $E$  et  $I_p$ . On distingue trois zones ; la première zone a de faibles valeurs de  $\sigma$  et de  $E$  dont le rapport  $V_p/V_s$  est faible ainsi que l'impédance acoustique. La zone montrée par un ellipsoïde en vert est un effet du probablement à la porosité ou à la présence d'un fluide. La zone des anhydrites est marquée par de fortes valeurs pour chaque paramètre.

#### Conclusion :

Ce cross plot confirme les mêmes zones telles que les argiles, les anhydrites et une autre zone peut être saturée en hydrocarbures.

### III.3.3-Interprétation des cross plots

L'interprétation de tous les cross plots met en évidence trois zones bien distinguées par le comportement élastique. Une zone bleue (anhydrites) caractérisée par de fortes valeurs de tous les paramètres élastiques. La zone rouge liée aux argiles qui se distingue par de faibles résistivités (présence eau), coefficient de Poisson et  $V_p/V_s$  ainsi que le module de Young (formation non rigide).

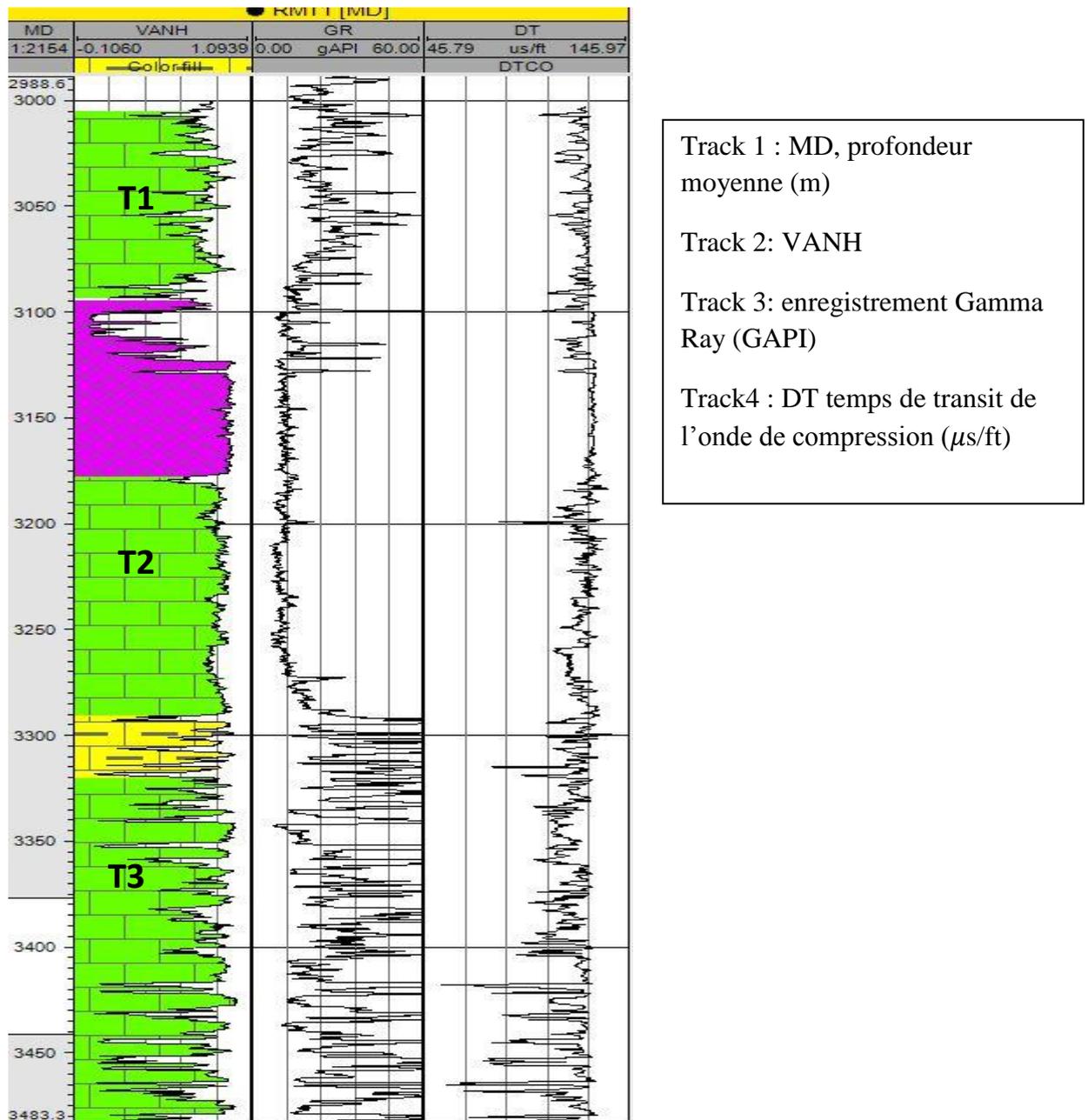
Quant à la zone verte, elle se caractérise par quelques points qui se détachent du trend des calcaires, liés probablement à la présence des hydrocarbures. Leurs paramètres élastiques en occurrence  $\sigma$  et  $V_p/V_s$  faibles.

---

### III.4-Analyses des différents paramètres élastiques :

Cette analyse consiste à déterminer les meilleurs bancs dans les trois réservoirs du turonien qui présentent de faibles valeurs des paramètres élastiques.

Un découpage stratigraphique a été réalisé sur les trois réservoirs carbonatés du Turonien le long du puits RMT1 nous a permis de distinguer plusieurs zones où le GR est inférieur à 40API.



**Figure III.16 :** montre les trois réservoirs carbonatés du Turonien (T1, T2 et T3)

III.4.1-Etude du premier réservoir carbonaté du Turonien T1 :

Zone 1 :

MD	GR	DTP	DTS	dtso	Vp	VS	LLD	RHOB	Kb	Mu	Momop	Vp/Vs	lam	E	rhois	lamb/rb	mu/rb	imp accu	is
3000,146	20,4	53,3	103,26	103,006	5694,917	2393,051	9,0172	2,7484	56,2634	24,0743	87,8246	1,91058	33,72374	63,07611	0,31873	103,138	66,04386	159,3066	8126,737
3000,239	19,63	53,29	102,97	102,0666	5719,647	2986,285	56,2806	2,7484	58,00637	24,49212	89,84673	1,915305	40,86249	64,29776	0,312621	112,2247	67,28516	15708,44	8201,534
3000,451	19,81	53,56	102,37	102,4824	5690,814	2974,169	70,7999	2,7484	57,36125	24,29378	88,94316	1,913413	40,36566	63,75229	0,312111	110,8326	66,72044	15629,25	8168,258
3000,604	18,88	53,86	102,37	102,9444	5693,116	2960,822	62,6463	2,7484	56,65602	24,07622	87,9551	1,911333	39,80266	63,15423	0,311548	109,314	66,12292	15542,2	8131,6
3000,756	18,14	54,21	102,09	103,4834	5622,579	2945,4	80,6951	2,7437	55,79423	23,80264	86,73767	1,908936	39,13238	62,40593	0,310895	107,3675	65,30731	15426,67	8091,294
3000,908	17,56	55,34	101,52	105,2236	5907,77	2896,689	82,0714	2,7392	53,21577	22,98409	83,09509	1,910402	37,1269	60,16406	0,30882	101,698	62,95803	15086,88	7934,609
3001,061	17,75	56,16	101,02	106,4864	5427,35	2862,337	104,8935	2,7346	51,42488	22,40451	80,59074	1,896125	35,74172	58,58078	0,30743	97,79391	61,26737	14841,63	7827,348
3001,213	18,79	56,62	101,1	107,1948	5383,257	2843,422	111,7494	2,7336	50,48657	22,10128	79,21823	1,893232	35,01967	57,7518	0,306	95,71884	60,41806	14715,67	7772,777
3001,366	18,47	56,47	103,3	106,9638	5397,956	2849,562	85,4839	2,7277	50,67414	22,14894	79,46776	1,89417	35,19698	57,8881	0,30522	95,43399	60,41565	14722,91	7772,751
3001,518	20,39	55,36	104,96	105,2544	5505,78	2895,941	60,545	2,7233	52,86457	22,83731	82,55307	1,901272	36,87846	59,77817	0,304	101,16	62,29059	1503,88	7930,359
3001,67	22,85	54,86	105,48	104,4844	5555,961	2917,182	37,4353	2,7185	53,84187	23,1343	83,16156	1,904564	37,64796	60,99777	0,303	105,16	62,29059	1503,88	7930,359
3001,823	25,89	54,18	106,94	103,4372	5625,632	2946,715	27,5894	2,7182	55,34345	23,60249	86,02671	1,90914	38,82173	61,88241	0,302	108,12	62,29059	1503,88	7930,359
3001,975	34,96	53,34	106,79	102,1436	5714,296	2984,034	50,2509	2,7181	57,23011	24,20321	89,75429	1,914953	40,34786	63,53473	0,301	109,15	62,29059	1503,88	7930,359
3002,128	34,82	53,17	106,89	101,8819	5732,556	2991,702	11,165	2,7182	57,89877	24,32666	89,32693	1,916162	40,66871	63,8797	0,30049	110,17	62,29059	1503,88	7930,359
3002,28	30,07	53,32	107,19	102,1128	5716,429	2984,934	98,3413	2,7182	57,33983	24,21871	88,82416	1,915094	40,38673	63,57723	0,300264	110,17	62,29059	1503,88	7930,359
3002,432	25,31	53,64	107,03	102,6056	5692,327	2970,598	21,8723	2,7181	56,58282	23,98575	87,76428	1,912856	39,79279	62,93671	0,311961	108,108	62,29059	1503,88	7930,359
3002,585	26,43	52,9	105,23	101,312	5772,727	3008,528	32,1895	2,7182	56,59832	24,60308	90,58233	1,918788	41,37616	64,63498	0,312554	109,4692	62,29059	1503,88	7930,359
3002,737	26,38	53,9	105,33	103,006	5654,917	2959,051	100,401	2,7183	55,99421	23,80139	86,32602	1,911058	39,32324	62,42976	0,31173	106,824	62,29059	1503,88	7930,359
3002,89	23,55	56,02	104,36	106,2708	5440,914	2868,144	77,8498	2,7208	51,44874	22,38193	80,54532	1,897015	35,78135	58,53309	0,307534	97,3539	60,8361	14803,64	7803,647
3003,042	17,44	58,87	104,15	110,6598	5177,51	2754,388	70,4325	2,7244	46,16212	20,66907	73,03182	1,879732	31,69377	53,94856	0,302636	86,34651	56,31083	14105,61	7504,054
3003,194	14,55	60,02	101,69	112,4308	5078,307	2711,001	46,8873	2,7288	44,30158	20,05539	70,37358	1,873222	30,28281	52,1726	0,300714	82,58115	54,72714	13957,68	7397,779
3003,246	13,2	61,82	102,1	115,2028	4930,443	2645,769	35,0797	2,733	41,5666	19,13126	66,43724	1,86352	29,17472	49,6568	0,297792	77,01052	52,28572	13474,3	7230,887
3003,499	13,56	65	103,03	120,1	4689,231	2537,885	23,8518	2,7194	37,02671	17,51528	59,79657	1,847692	24,76602	45,2902	0,292872	67,34872	47,63104	11751,89	6901,526
3003,651	14,29	67,61	102,44	124,1194	4508,209	2455,7	19,7516	2,7076	33,80262	16,32008	55,02312	1,835814	22,37296	42,0937	0,289409	60,57703	44,20991	12206,43	6649,053
3003,804	15,41	71,04	104,87	129,4016	4290,541	2355,458	14,0298	2,6951	30,17462	14,96229	49,61339	1,821532	19,70758	38,4007	0,284295	53,11391	40,23957	11563,44	6348,194
3003,956	18	73,08	106,58	132,5432	4170,772	2299,628	57,9896	2,6819	28,2151	14,18266	46,65255	1,813673	18,28724	36,3537	0,281603	49,04455	38,03647	11185,59	6167,371
3004,108	23,14	71,52	109,7	130,1408	4261,745	2342,079	22,6075	2,6809	29,58548	14,7111	48,70993	1,819642	19,2877	37,7679	0,283653	51,72768	39,45374	11429,57	6281,22
3004,261	29,02	66,62	109,44	122,5948	4575,203	2496,239	25,9732	2,6805	31,69851	16,63102	56,31894	1,84021	23,0568	42,92389	0,290477	62,0432	44,74572	12309,58	6899,227
3004,413	29,59	61,75	108,02	115,095	4936,032	2648,247	77,5311	2,6899	41,66902	18,93497	85,78149	1,863987	27,9154	49,15156	0,297904	75,35837	51,11263	13326,79	7150,002
3004,566	27,07	53,71	106,32	102,7134	5674,921	2967,48	124,475	2,7119	56,29092	23,88083	87,336	1,91237	39,57434	62,65513	0,311829	107,3217	64,76242	15389,82	8047,51
3004,718	23,14	52,1	105,85	100,234	5850,288	3040,884	108,0983	2,7228	60,45922	25,17767	93,1902	1,923877	42,83485	66,21245	0,314904	116,6307	68,55376	15929,16	8279,72
3004,87	26,46	51,27	104,03	98,9558	5944,997	3080,163	74,0428	2,735	62,93061	25,34805	96,66308	1,930092	44,76698	68,32282	0,316531	122,4377	70,96792	16259,57	8424,246
3005,023	25,89	52,24	103,24	100,4496	5834,609	3034,358	46,4909	2,7391	60,46055	25,21979	93,24627	1,922848	42,8067	66,3095	0,314633	117,2518	69,07951	15981,58	8311,409
3005,175	27,75	54,62	104,55	104,1148	5580,373	2927,538	69,0895	2,7427	54,85112	23,50625	85,40924	1,906166	38,39674	61,59278	0,310106	105,3107	64,47058	15305,29	8029,358
3005,328	26,64	55,38	104,6	105,2852	5503,792	2894,994	73,8253	2,7426	53,19668	22,9857	83,07809	1,901141	37,10669	60,16493	0,308747	101,7688	63,04058	1509,47	7939,81
3005,48	29,11	55,91	104,64	106,1014	5451,619	2872,724	68,279	2,737	51,98067	22,58721	81,34404	1,897718	36,16963	59,07868	0,307791	98,99628	61,82118	14921,08	7862,645
3005,632	31,1	56,12	104,64	106,4248	5431,219	2863,994	81,2919	2,7212	51,25363	22,32054	80,27033	1,896379	35,62925	58,36441	0,307415	96,95432	60,73865	14779,43	7793,501

Figure III.17 : montre la première zone du premier réservoir carbonaté T1 du Turonien

La première zone est située entre 3000,146- 3005,78m (5.634m Gross), marquée par une densité de 2,72g/cm<sup>3</sup> et un GR de 23,17API et une résistivité moyenne de 64 Ωm. Elle est caractérisée par les paramètres acoustiques tels que la vitesse moyenne des ondes de cisaillement Vs=2800m/s et la vitesse moyenne des ondes de compression Vp=5360m/s avec un rapport Vp/Vs=1.83 et par le coefficient de Poisson σ=0.30.

Un seul banc est mis en évidence par ses faibles valeurs des paramètres élastiques. Ce dernier est situé entre 3003m et 3004m de profondeur (un mètre de net pay). Il est marqué par une résistivité moyenne de 41.41 Ωm et des faibles valeurs de vitesses (une vitesse moyenne de compression Vp=4893m/s, une vitesse de cisaillement Vs=2623m/s), Vp/Vs=1.83 et un coefficient de Poisson σ=0.28. Par contre les paramètres élastiques sont Kb= 41GPa, E= 48GPa, μ = 18GPa et M<sub>comp</sub> =69GPa. Les paramètres de Lamé λ\*ρ= 76Gpa et μ\*ρ= 51GPa.

**Zone 2 :**

G27																				
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
MD	GR	DTP	DTS	dtsc	Vp	VS	LLD	RHOB	Kb	Mu	Mcmop	Vp/Vs	lam	E	pois	lam*rb	mu*rb	imp	acou	is
3007,461	30,4	60,71	100,42	113,4934	5020,5897	2685,6187	82,0713	2,7016	42,766351	19,485419	68,097396	1,869435	29,126557	50,645805	0,2995821	78,688307	52,641809	13563,625	7255,4675	
3007,614	23,22	60,11	100,34	112,5694	5070,7037	2707,663	82,671	2,7291	44,160019	20,00823	70,170718	1,8727233	30,154258	52,04404	0,3005658	82,299985	54,604461	13838,457	7389,4831	
3007,766	23,65	58,9	101,71	110,706	5174,8727	2753,2383	90,9553	2,7364	46,313268	20,742791	73,278896	1,8795586	31,793314	54,038512	0,3025854	86,999225	56,760573	14160,522	7533,9613	
3007,918	23,23	56,58	104,98	107,1332	5387,0626	2845,0564	104,8404	2,7489	50,848584	22,250548	79,774296	1,8934818	35,2732	58,144492	0,3065969	96,962499	61,164531	14808,496	7820,7756	
3008,071	22,95	54,59	107,98	104,0686	5583,4402	2928,8373	89,748	2,7549	55,162161	23,631775	85,883469	1,9063675	38,619919	61,924311	0,3101917	106,39401	65,103176	15381,819	8068,6539	
3008,223	22,54	52,86	109,56	101,4044	5766,1748	3005,7867	18,0613	2,7547	59,235944	24,888036	91,590392	1,9183579	41,814319	65,377865	0,3134396	115,1859	68,559074	15884,082	8280,0407	
3008,376	26,49	52,46	109,2	100,7884	5810,1411	3024,1575	17,3224	2,7526	60,195375	25,173983	92,921553	1,9212429	42,573587	66,167673	0,3142075	117,18806	69,293905	15992,994	8324,296	
3008,528	30,95	52,63	108,82	101,0502	5791,3737	3016,3226	33,1954	2,745	59,600393	24,974564	92,067327	1,9200114	42,118198	65,627178	0,3138803	115,61445	68,555179	15897,321	8279,8055	
3008,68	33,68	53,13	108,19	101,8202	5736,8718	2993,5121	81,7777	2,7395	58,247932	24,548974	90,161598	1,9164352	41,06365	64,461918	0,3129249	112,49387	67,251913	15716,16	8200,7264	
3008,833	31,98	54,37	109,18	103,7298	5866,0327	2938,4034	122,8655	2,7351	55,257564	23,615441	85,957637	1,9078499	38,726756	61,900711	0,3105983	105,92155	64,590592	15333,06	8036,8272	
3008,985	28,02	55,77	111,7	105,8858	5465,3039	2878,573	100,0023	2,7334	52,201134	22,649451	81,64542	1,8986157	36,346519	59,252883	0,3080424	99,349574	61,910008	14938,862	7868,2913	
3009,138	26,37	56,09	112,42	106,3786	5434,1237	2865,2379	37,5055	2,7295	51,470825	22,408072	80,601318	1,8965698	35,785175	58,595693	0,3074685	97,675635	61,162831	14832,441	7820,6669	
3009,29	27,85	55,81	115,4	105,9474	5461,3868	2876,8993	20,9218	2,7234	51,927699	22,540355	81,230161	1,8983587	36,149451	58,964236	0,3079704	98,449415	61,386403	14873,541	7834,9475	
3009,442	30,07	54,84	114,07	104,4536	5557,9869	2918,0421	16,1484	2,7123	53,762553	23,095152	83,786251	1,9046973	37,595497	60,496918	0,309732	101,97149	62,640981	15074,928	7914,6055	
3009,595	34,68	54,08	112,9	103,2832	5636,0947	2951,1092	18,6108	2,7091	55,38431	23,593675	86,056087	1,9098225	38,868737	61,869081	0,311137	105,2993	63,917625	15268,744	7994,8499	
3009,747	38,2	52,51	116,19	100,8654	5804,6086	3021,8489	61,7804	2,7108	59,156269	24,753862	91,33629	1,9208798	41,828565	65,058653	0,3141111	113,38887	67,10277	15735,133	8191,6281	
3009,9	38,68	51,74	118,82	99,6796	5890,9934	3057,7972	67,2325	2,7045	60,982805	25,287409	93,856437	1,9265481	43,281618	66,536544	0,3156062	117,05514	68,389798	15932,192	8269,8125	
3010,052	33,75	52,01	119,03	100,0954	5860,4115	3045,095	48,1469	2,7025	60,238828	25,059211	92,815802	1,9245414	42,69738	65,909692	0,3150792	115,38967	67,722517	15837,762	8229,3692	
3010,204	28,74	52,32	121,16	100,5728	5825,6881	3030,6405	7,9664	2,7067	59,543138	24,860449	91,861721	1,922263	42,140823	65,357016	0,3144778	114,06257	67,389777	15768,39	8203,0346	
3010,357	33,03	52,46	118,07	100,7884	5810,1411	3024,1575	9,9332	2,707	59,198169	24,756947	91,3822	1,9212429	41,868307	65,071529	0,3142075	113,33751	67,017054	15728,052	8186,3945	
3010,509	39,85	52,25	108,38	100,465	5833,4928	3033,8924	43,883	2,705	59,682537	24,898181	92,050172	1,9227751	42,25381	65,462956	0,3146132	114,29656	67,349579	15779,598	8206,6789	

**Figure III.18 :** montre la deuxième zone du premier réservoir carbonaté T1 du Turonien

La zone 2 est située entre 3007,146- 3010,51m (3.048m Gross), marquée par une densité de 2,72g/cm3 et un GR de 29,92API et une résistivité moyenne de 55 Ωm. Elle est caractérisée par les paramètres acoustiques tels que la vitesse moyenne des ondes de cisaillement Vs=2933m/s et la vitesse moyenne des ondes de compression Vp=5596m/s avec un rapport Vp/Vs=1.9 et par le coefficient de poisson σ=0.31.

**Zone 3 :** est située entre 3015,538- 3010,966m (4.57m Gross), marquée par une densité de 2,72g/cm3 et un GR de 27,15API et une résistivité moyenne de 61.4Ωm. Elle est caractérisée par les paramètres acoustiques tel que la vitesse moyenne des ondes de cisaillement Vs=2861m/s et la vitesse moyenne des ondes de compression Vp=5426.9m/s avec un rapport Vp/Vs=1.9 et par le coefficient de poisson σ=0.31.

**Banc de la zone :** On distingue un seul banc dans cette zone. Il est caractérisé par une résistivité moyenne de 72 Ωm et des faibles valeurs de vitesses (une vitesse moyenne de compression Vp=5127m/s, une vitesse de cisaillement Vs=2861.4m/s), Vp/Vs=1.87 et un coefficient de Poisson σ=0.30. Par contre les paramètres élastiques sont Kb= 45.17GPa, E= 52.93GPa, μ = 20GPa et Mcomp =71.6GPa. Les paramètres de Lamé λ\*ρ= 84.23Gpa et μ\*ρ=55.37GPa.

**Zone 4 :** est située entre 3043,123- 3016,91m (26.213m Gross), marquée par une densité de 2,68g/cm<sup>3</sup> et un GR de 23,96API et une résistivité moyenne de 38.16  $\Omega$ m. Elle est caractérisée par les paramètres acoustiques tels que la vitesse moyenne des ondes de cisaillement  $V_s=2908.87$ m/s et la vitesse moyenne des ondes de compression  $V_p=5541.52$ m/s avec un rapport  $V_p/V_s=1.9$  et par le coefficient de Poisson  $\sigma=0.31$ . Quatre bancs se distinguent dans cette zone :

**Premier banc** est situé entre 3020.72-3022.85m de profondeur. Il est marqué par de faibles valeurs de vitesses ( la vitesse moyenne de compression  $V_p=4848.97$ m/s, la vitesse de cisaillement  $V_s=2609$ m/s,  $V_p/V_s=1.86$  et le coefficient de Poisson  $\sigma=0.29$ . Par contre, les paramètres élastiques sont  $K_b= 39$ GPa,  $E= 48$ GPa,  $\mu = 18$ GPa et  $M_{comp} =64$ GPa. Les paramètres de Lamé  $\lambda^*\rho= 73$ Gpa et  $\mu^*\rho= 50$ GPa.

**Deuxième banc** est situé entre 3025.14-3026.5m de profondeur (1.37m de net pay). Il est marqué par de faibles valeurs de vitesses (une vitesse moyenne de compression  $V_p=4840.63$ m/s, une vitesse de cisaillement  $V_s=2605$ m/s),  $V_p/V_s=1.86$  et un coefficient de Poisson  $\sigma=0.29$ . Par contre, les paramètres élastiques sont  $K_b= 39$ GPa,  $E= 47$ GPa,  $\mu = 18.2$ GPa et  $M_{comp} =62.8$ GPa. Les paramètres de Lamé  $\lambda^*\rho= 70.8$ Gpa et  $\mu^*\rho= 48.7$ GPa.

**Troisième banc** est situé entre 3025.14-3033.37m de profondeur (0.8m de net pay). Il est marqué par une résistivité moyenne de 42.6  $\Omega$ m et des faibles valeurs de vitesses (une vitesse moyenne de compression  $V_p=5192$ m/s, une vitesse de cisaillement  $V_s=2760$ m/s),  $V_p/V_s=1.88$  et un coefficient de Poisson  $\sigma=0.30$ . Par contre, les paramètres élastiques sont  $K_b= 46$ GPa,  $E= 53.9$ GPa,  $\mu = 20.7$ GPa et  $M_{comp} =73$ GPa. Les paramètres de Lamé  $\lambda^*\rho= 86$ Gpa et  $\mu^*\rho= 56$ GPa.

**Quatrième banc** est situé entre 3040.38-3040.99m de profondeur (0.6 m de net pay). Il est marqué par une résistivité moyenne de 95 $\Omega$ m et des faibles valeurs de vitesses (une vitesse moyenne de compression  $V_p=4888$ m/s, une vitesse de cisaillement  $V_s=2626.7$ m/s),  $V_p/V_s=1.86$  et un coefficient de Poisson  $\sigma=0.30$ . Par contre, les paramètres élastiques sont  $K_b=40.6$ GPa,  $E= 48.7$ GPa,  $\mu = 18.8$ GPa et  $M_{comp} =65$ GPa. Les paramètres de Lamé  $\lambda^*\rho= 75$ Gpa et  $\mu^*\rho= 51$ GPa.

**Zone 5 :** est située entre 3044- 3052m (8m Gross), marquée par une densité de  $2,72\text{g/cm}^3$  et un GR de 25,9API et une résistivité moyenne de  $53.5\Omega\text{m}$ . Elle est caractérisée par les paramètres acoustiques tels que la vitesse moyenne des ondes de cisaillement  $V_s=2853.9\text{m/s}$  et la vitesse moyenne des ondes de compression  $V_p=5413.8\text{m/s}$  avec un rapport  $V_p/V_s=1.9$  et par le coefficient de Poisson  $\sigma=0.31$ . On distingue dans cette zone deux bancs :

**Premier banc** est situé entre 3046.3-3047.08m de profondeur (0.678m de net pay). Il est marqué par une résistivité moyenne de  $84\Omega\text{m}$ , des faibles valeurs de vitesses (une vitesse moyenne de compression  $V_p=5221\text{m/s}$ , une vitesse de cisaillement  $V_s=2773.7\text{m/s}$ ),  $V_p/V_s=1.88$  et un coefficient de Poisson  $\sigma=0.30$ . Par contre, les paramètres élastiques sont  $K_b= 47\text{GPa}$ ,  $E= 54.7\text{GPa}$ ,  $\mu = 21\text{GPa}$  et  $M_{\text{comp}}=74\text{GPa}$ . Les paramètres de Lamé  $\lambda^*\rho= 88\text{Gpa}$  et  $\mu^*\rho= 57\text{GPa}$ .

**Deuxième banc** est situé entre 3050.6-3052m de profondeur (1.4m de net pay). Il est marqué par une résistivité moyenne de  $44\Omega\text{m}$  et des faibles valeurs de vitesses (une vitesse moyenne de compression  $V_p=4775\text{m/s}$ , une vitesse de cisaillement  $V_s=2575.7\text{m/s}$ ),  $V_p/V_s=1.85$  et un coefficient de Poisson  $\sigma=0.29$ . Par contre, les paramètres élastiques sont  $K_b= 38\text{GPa}$ ,  $E= 46\text{GPa}$ ,  $\mu = 18\text{GPa}$  et  $M_{\text{comp}}=62\text{GPa}$ . Les paramètres de Lamé  $\lambda^*\rho= 69\text{Gpa}$  et  $\mu^*\rho= 48\text{GPa}$ .

**Zone 6 :** située entre 3054.8-3057.60m (2.8m Gross), marquée par une densité de  $2,69\text{g/cm}^3$  et un GR de 25.22API et une résistivité moyenne de  $21.2\Omega\text{m}$ . Elle est caractérisée par les paramètres acoustiques tels que la vitesse moyenne des ondes de cisaillement  $V_s=2844\text{m/s}$  et la vitesse moyenne des ondes de compression  $V_p=5389.8\text{m/s}$  avec un rapport  $V_p/V_s=1.89$  et par le coefficient de Poisson  $\sigma=0.31$ .

**Un seul banc** est mis en évidence par ces faibles valeurs des paramètres élastiques. Ce dernier est situé entre 3054.85-3056.07m de profondeur (1.2m de net pay). Il est marqué par une résistivité moyenne de  $8.39\Omega\text{m}$  et des faibles valeurs de vitesses (une vitesse moyenne de compression  $V_p=5029.8\text{m/s}$ , une vitesse de cisaillement  $V_s=2689\text{m/s}$ ),  $V_p/V_s=1.87$  et un coefficient de Poisson  $\sigma=0.30$ . Par contre, les paramètres élastiques sont  $K_b= 42.45\text{GPa}$ ,  $E= 50.1\text{GPa}$ ,  $\mu = 19.29\text{GPa}$  et  $M_{\text{comp}}=67.5\text{GPa}$ . Les paramètres de Lamé  $\lambda^*\rho= 77\text{Gpa}$  et  $\mu^*\rho= 51\text{GPa}$ .

**Zone 7 :** est située entre 3059.125-3062.782m (3.657m Gross), marquée par une densité de 2,66g/cm<sup>3</sup> et un GR de 30API et une résistivité moyenne de 23.64 Ωm. Elle est caractérisée par les paramètres acoustiques tel que la vitesse moyenne des ondes de cisaillement  $V_s=2967\text{m/s}$  et la vitesse moyenne des ondes de compression  $V_p=5674.7\text{m/s}$  avec un rapport  $V_p/V_s=1.91$  et par le coefficient de Poisson  $\sigma=0.31$ . Aucune chute de valeurs des paramètres élastiques n'est marquée dans cette zone.

**Zone 8 :** située entre 3063.54-3097m (5.634m Gross), marquée par une densité de 2,70g/cm<sup>3</sup> et un GR de 21,7API et une résistivité moyenne de 33 Ωm. Elle est caractérisée par des paramètres acoustiques tels que la vitesse moyenne des ondes de cisaillement  $V_s=2918\text{m/s}$  et la vitesse moyenne des ondes de compression  $V_p=5563\text{m/s}$  avec un rapport  $V_p/V_s=1.9$  et par le coefficient de Poisson  $\sigma=0.31$ . On distingue dans cette zone les bancs suivants :

**Premier banc** est situé entre 3080-3080.6m de profondeur. Il est marqué par une résistivité moyenne de 17 Ωm et de faibles valeurs de vitesses (une vitesse moyenne de compression  $V_p=5113.9\text{m/s}$ , une vitesse de cisaillement  $V_s=2726.5\text{m/s}$ ),  $V_p/V_s=1.87$  et un coefficient de Poisson  $\sigma=0.30$ . Par contre, les paramètres élastiques sont  $K_b=44\text{GPa}$ ,  $E=52\text{GPa}$ ,  $\mu=20\text{GPa}$  et  $M_{\text{comp}}=70\text{GPa}$ . Les paramètres de Lamé  $\lambda^*\rho=81\text{GPa}$  et  $\mu^*\rho=53\text{GPa}$ .

**Deuxième banc** est situé entre 3086.70-3088.69m de profondeur (2m de net pay). Il est marqué par une résistivité moyenne de 75.8 Ωm et des faibles valeurs de vitesses (une vitesse moyenne de compression  $V_p=4808.57\text{m/s}$ , une vitesse de cisaillement  $V_s=2590\text{m/s}$ ),  $V_p/V_s=1.85$  et un coefficient de Poisson  $\sigma=0.29$ . Par contre, les paramètres élastiques sont  $K_b=41.45\text{GPa}$ ,  $E=50\text{GPa}$ ,  $\mu=19\text{GPa}$  et  $M_{\text{comp}}=66\text{GPa}$ . Les paramètres de Lamé  $\lambda^*\rho=80\text{GPa}$  et  $\mu^*\rho=55\text{GPa}$ .

**Troisième banc** est situé entre 3090.67-3091.28m de profondeur (0.6m de net pay). Il est marqué par une résistivité moyenne de 1.07 Ωm et de faibles valeurs de vitesses (une vitesse moyenne de compression  $V_p=5199.6\text{m/s}$ , une vitesse de cisaillement  $V_s=2764\text{m/s}$ ),  $V_p/V_s=1.85$  et un coefficient de Poisson  $\sigma=0.30$ . Par contre, les paramètres élastiques sont  $K_b=42\text{GPa}$ ,  $E=49\text{GPa}$ ,  $\mu=19\text{GPa}$  et  $M_{\text{comp}}=66\text{GPa}$ . Les paramètres de Lamé  $\lambda^*\rho=71\text{GPa}$  et  $\mu^*\rho=46\text{GPa}$ .

---

**Quatrième banc** est situé entre 3094.02-3094.78m de profondeur (0.76m de net pay). Il est marqué par une résistivité moyenne de 2.98  $\Omega$ m et de faibles valeurs de vitesses (une vitesse moyenne de compression  $V_p=5069$ m/s, une vitesse de cisaillement  $V_s=2706.7$ m/s),  $V_p/V_s=1.87$  et un coefficient de poisson  $\sigma=0.30$ . Par contre, les paramètres élastiques sont  $K_b= 42.6$ GPa,  $E= 50$ GPa,  $\mu = 19$ GPa et  $M_{comp} =68$ GPa. Les paramètres de Lamé  $\lambda^*\rho= 77$ Gpa et  $\mu^*\rho= 50.8$ GPa.

**Cinquième banc** est situé entre 3095.85-3096.92m de profondeur (1m de net pay). Il est marqué par une résistivité moyenne de 18  $\Omega$ m et de faibles valeurs de vitesses (une vitesse moyenne de compression  $V_p=4649.6$ m/s, une vitesse de cisaillement  $V_s=2518$ m/s),  $V_p/V_s=1.84$  et un coefficient de Poisson  $\sigma=0.29$ . Par contre, les paramètres élastiques sont  $K_b= 36$ GPa,  $E= 44$ GPa,  $\mu = 17$ GPa et  $M_{comp} =58$ GPa. Les paramètres de Lamé  $\lambda^*\rho= 64$ Gpa et  $\mu^*\rho= 45$ GPa.

#### III.4.2-Etude de deuxième réservoir carbonaté du TuronienT2 :

Ce réservoir de 106m d'épaisseur est situé entre la couche des anhydrites et celle des argiles.

La **zone** d'étude est située entre 3176.625-3283 m (106.375m Gross), marquée par une densité de 2,64g/cm<sup>3</sup> et un GR de 11.53API et une résistivité moyenne de 7.5  $\Omega$ m. Elle est caractérisée par des paramètres acoustiques tels que la vitesse moyenne des ondes de cisaillement  $V_s=2916.42$ m/s et la vitesse moyenne des ondes de compression  $V_p=5561.55$ m/s avec un rapport  $V_p/V_s=1.9$  et par le coefficient de poisson  $\sigma=0.31$ . On distingue plusieurs bancs dans cette zone :

**Premier banc** est situé entre 3181.2-3181.5m de profondeur (0.30 de net pay). Il est marqué par des faibles valeurs de vitesses (une vitesse moyenne de compression  $V_p=4940$ m/s, une vitesse de cisaillement  $V_s=2649.7$ m/s),  $V_p/V_s=1.86$  et un coefficient de Poisson  $\sigma=0.30$ . Par contre, les paramètres élastiques sont  $K_b= 43$ GPa,  $E= 52$ GPa,  $\mu = 20$ GPa et  $M_{comp} =69$ GPa. Les paramètres de Lamé  $\lambda^*\rho= 84$ Gpa et  $\mu^*\rho= 57$ GPa.

**Deuxième banc** est situé entre 3188.51-3190.95m de profondeur. Il est marqué par une résistivité moyenne de 71  $\Omega$ m et de faibles valeurs de vitesses (une vitesse moyenne de compression  $V_p=4944$ m/s, une vitesse de cisaillement  $V_s=2651$ m/s),  $V_p/V_s =1.86$  et un coefficient de Poisson  $\sigma=0.30$ . Par contre, les paramètres élastiques sont  $K_b= 39$ GPa,  $E= 47$ GPa,  $\mu = 18$ GPa et  $M_{comp} =63$ GPa. Les paramètres de Lamé  $\lambda^*\rho= 68.6$ Gpa et  $\mu^*\rho= 46$ GPa.

**Troisième banc** est situé entre 3193.542-3194.761m de profondeur (1.2m de net pay). Il est marqué par une résistivité moyenne de 1.7 et de faibles valeurs de vitesses (une vitesse moyenne de compression  $V_p=4955.8\text{m/s}$ , une vitesse de cisaillement  $V_s=2656.6\text{m/s}$ ,  $V_p/V_s=1.86$  et un coefficient de Poisson  $\sigma=0.30$ . Par contre, les paramètres élastiques sont  $K_b= 42\text{GPa}$ ,  $E= 50\text{GPa}$ ,  $\mu = 19\text{GPa}$  et  $M_{\text{comp}} =67\text{GPa}$ . Les paramètres de Lamé  $\lambda^*\rho= 78.5\text{Gpa}$  et  $\mu^*\rho= 53\text{GPa}$ .

**Quatrième banc** est situé entre 3196.132-3197.504m de profondeur (1.372m de net pay). Il est marqué par une résistivité moyenne de  $1\Omega\text{m}$  et de faibles valeurs de vitesses (une vitesse moyenne de compression  $V_p=4545.3\text{m/s}$ , une vitesse de cisaillement  $V_s=2468.7\text{m/s}$ ,  $V_p/V_s=1.84$  et un coefficient de Poisson  $\sigma=0.29$ . Par contre, les paramètres élastiques sont  $K_b= 32.32\text{GPa}$ ,  $E= 40\text{GPa}$ ,  $\mu = 15\text{GPa}$  et  $M_{\text{comp}} =52\text{GPa}$ . Les paramètres de Lamé  $\lambda^*\rho= 54\text{Gpa}$  et  $\mu^*\rho= 39\text{GPa}$ .

**Cinquième banc** est situé entre 3245.662-3247.034 m de profondeur (1.372m de net pay). Il est marqué par une résistivité moyenne de  $2\Omega\text{m}$  et de faibles valeurs de vitesses (une vitesse moyenne de compression  $V_p=5019.23\text{m/s}$ , une vitesse de cisaillement  $V_s=2684.6\text{m/s}$ ,  $V_p/V_s=1.87$  et un coefficient de Poisson  $\sigma=0.30$ . Par contre, les paramètres élastiques sont  $K_b= 41\text{GPa}$ ,  $E= 49\text{GPa}$ ,  $\mu = 19\text{GPa}$  et  $M_{\text{comp}} =66\text{GPa}$ . Les paramètres de Lamé  $\lambda^*\rho= 73\text{Gpa}$  et  $\mu^*\rho= 49\text{GPa}$ .

---

Sixième banc :

MD	GR	DTP	DTS	dtsc	Vo	Vs	UO	RHOB	Kb	Mu	Mcomp	Vo/Vs	lam	E	pois	lam*rb	mu*rb	imoacou	is
3255,721	10,12	61,17	114,2018	4982,835	2668,96	2,2576	2,6478	41,22172	18,86119	65,74128	1,868958	28,01889	48,99519	0,298836	74,18841	49,94067	13193,55	7066,871	
3255,873	11,75	63	117,02	4838,095	2604,683	2,7137	2,6303	38,36945	17,84494	61,56787	1,85746	25,87739	46,25164	0,295932	68,06689	46,93754	12725,64	6851,098	
3256,026	11,33	65,41	120,7314	4859,838	2524,612	2,9221	2,6137	35,0976	16,85886	58,75412	1,845764	23,4364	43,05512	0,292259	61,25573	43,54125	12179,42	6598,58	
3256,178	10,32	66,31	122,1174	4536,532	2495,959	3,7856	2,6011	33,89208	16,20436	54,95775	1,841614	22,54903	41,83738	0,29093	58,65227	42,14916	11956,19	6492,238	
3256,33	7,96	65,94	121,5476	4622,384	2507,66	12,365	2,6184	34,54081	16,46543	55,94587	1,843306	23,01501	42,52934	0,291474	60,26249	43,11309	12103,25	6566,056	
3256,483	7,56	65,3	120,562	4667,688	2528,16	8,5419	2,6656	35,92759	17,03743	58,07625	1,846279	24,00139	44,03913	0,292423	63,97811	45,41497	12442,19	6739,063	
3256,635	8,07	63,53	117,8362	4737,733	2586,641	5,48	2,7009	38,67774	18,07095	62,16998	1,854812	26,02808	46,80771	0,295109	70,29924	48,80783	12958,2	6986,26	
3256,788	9,71	64,41	119,1914	4732,184	2557,231	6,1231	2,7281	37,8996	17,84023	61,0919	1,850511	25,41144	46,16204	0,293763	69,32496	48,66992	12903,87	6976,383	
3256,94	10,08	65,23	120,4542	4672,697	2530,422	6,8417	2,7293	36,87324	17,47581	59,59179	1,846607	24,64017	45,17593	0,292528	67,25042	47,63673	12753,19	6906,282	
3257,092	10,69	66,23	121,9942	4602,144	2498,479	7,6447	2,7194	35,5279	16,97558	57,59616	1,841978	23,64499	43,83255	0,291047	64,3002	46,1634	12515,07	6794,365	
3257,245	10,07	67,27	123,5958	4530,994	2466,103	8,8637	2,7124	34,24065	16,49591	55,68533	1,837309	22,69351	42,54444	0,289536	61,55389	44,7435	12283,87	6689,058	
3257,397	10,01	66,58	122,5332	4577,951	2487,489	8,5419	2,7136	35,04277	16,79068	58,87065	1,840391	23,28929	43,33792	0,290535	63,19783	45,56318	12422,73	6750,05	
3257,55	9,19	66,62	122,5948	4575,203	2486,239	9,904	2,7156	35,02222	16,78617	58,84424	1,84021	23,2719	43,32434	0,290477	63,19717	45,58452	12424,42	6751,631	
3257,702	8,29	66,16	121,8864	4607,013	2500,689	11,0683	2,7234	35,66317	17,03064	57,803	1,842297	23,74173	43,9782	0,29115	64,65822	46,38123	12546,74	6810,377	
3257,854	7,68	65,54	120,9316	4650,595	2520,433	7,9327	2,7323	36,52997	17,35716	59,09428	1,845157	24,37995	44,85318	0,292066	66,61335	47,42497	12706,82	6886,579	
3258,007	6,86	65,84	121,3936	4629,405	2510,841	2,5202	2,7448	36,32954	17,3041	58,82487	1,843767	24,21667	44,70069	0,291621	66,46991	47,4963	12706,79	6891,756	
3258,159	7,97	64,74	119,6996	4708,063	2546,374	1,0764	2,7377	37,60677	17,75131	60,68347	1,848928	25,18085	45,91423	0,293263	68,93761	48,53776	12893,26	6971,209	
3258,312	8,68	64,15	118,791	4751,364	2565,851	0,8621	2,7126	38,02195	17,85865	61,23819	1,851769	25,52089	46,22383	0,294158	69,22798	48,44337	12888,55	6960,127	
3258,464	9,91	63,87	118,3598	4772,194	2575,199	0,6655	2,6299	37,22015	17,44057	59,8929	1,853136	25,01175	45,15665	0,294596	65,77841	45,86696	12550,39	6772,515	
3258,616	9,6	62,66	116,4964	4864,347	2616,39	0,6905	2,5856	38,17051	17,69971	61,18014	1,853183	25,78071	45,89406	0,296463	66,65861	45,76438	12577,26	6764,938	
3258,769	9,6	61,75	115,095	4938,032	2648,247	0,618	2,5441	38,7905	17,84231	61,98551	1,863887	26,30088	46,31523	0,297904	66,91207	45,93263	12557,76	6737,405	
3258,921	9,81	60,23	112,7542	5060,601	2703,225	0,6413	2,4995	40,26702	18,26491	64,0114	1,87206	27,48158	47,50222	0,300368	68,6902	45,65315	12648,97	6756,712	
3259,074	11,44	58,76	110,4904	5187,202	2758,611	0,6655	2,4598	41,85141	18,71891	66,186	1,880368	28,74818	48,77483	0,302822	70,71476	46,04478	12753,48	6785,631	
3259,226	11,54	59,37	112,3538	5082,541	2712,859	0,6655	2,4571	39,9641	18,08328	63,47236	1,8735	27,3058	47,04536	0,300797	67,09308	44,43243	12488,31	6665,765	
3259,378	11,33	61,71	115,0334	4939,232	2649,665	0,5956	2,4623	37,59703	17,28719	60,0703	1,864097	25,49603	44,87629	0,297968	62,77888	42,58611	12161,87	6524,271	
3259,531	10,27	62,63	116,4502	4866,677	2617,428	0,5739	2,4755	36,58378	16,95947	58,6311	1,859336	24,71215	43,97827	0,296511	61,17493	41,98318	12047,46	6479,443	
3259,683	11,6	62,28	115,9112	4894,027	2629,599	0,5531	2,4889	37,23959	17,21023	59,61289	1,86113	25,19244	44,64546	0,297062	62,70146	42,83453	12180,74	6544,809	
3259,836	10,68	59,95	112,323	5084,237	2713,603	0,6413	2,4839	40,42978	18,29054	64,20748	1,873611	27,6264	47,58578	0,300893	68,6212	45,43188	12628,74	6740,918	
3259,988	11,85	59,66	111,8764	5108,951	2724,435	0,5739	2,4689	40,61851	18,32553	64,44169	1,875233	27,79064	47,69443	0,301311	68,61231	45,24389	12613,49	6726,358	
3260,14	10,72	60,59	113,3086	5030,533	2689,999	0,5739	2,4553	39,03765	17,76678	62,13447	1,870087	26,60091	46,18574	0,299778	65,31321	43,62278	12351,47	6604,754	
3260,293	11,64	61,07	114,0478	4990,994	2672,564	0,5956	2,4566	38,3835	17,5465	61,19396	1,867493	26,10095	45,58572	0,298997	64,1196	43,10474	12260,88	6565,42	
3260,445	10,77	60,84	113,6936	5009,862	2680,89	0,5956	2,4614	38,78033	17,6905	61,77798	1,868731	26,39698	45,97303	0,299337	64,97353	43,54339	12331,27	6598,742	
3260,598	11,69	59,8	112,092	5096,99	2719,195	0,618	2,4722	40,46269	18,2795	64,22604	1,874448	27,66704	47,56613	0,301079	68,39847	45,19058	12600,78	6722,394	

Figure III.19 : montre le sixième banc de la première zone du deuxième réservoir carbonaté T2 du Turonien

Ce banc est situé entre 3255.721-3271.113 m de profondeur (15.392m de net pay). Il est marqué par une résistivité moyenne de 1.84 Ωm et de faibles valeurs de vitesses (une vitesse moyenne de compression Vp=5010m/s, une vitesse de cisaillement Vs=2680m/s), Vp/Vs=1.87 et un coefficient de Poisson σ=0.30. Par contre, les paramètres élastiques sont Kb= 40GPa, E=48GPa, μ =18 GPa et Mcomp =64GPa. Les paramètres de Lamé λ\*ρ=70 Gpa et μ\*ρ=46.6 GPa.

Septième banc est situé entre 3272.332-3273.399 m de profondeur (1.067m de net pay). Il est marqué par une résistivité moyenne de 2.21 Ωm et de faibles valeurs de vitesses (une vitesse moyenne de compression Vp=5084m/s, une vitesse de cisaillement Vs=2713m/s), Vp/Vs=1.87 et un coefficient de Poisson σ=0.30. Par contre, les paramètres élastiques sont Kb= 41.8GPa, E=49GPa, μ =19 GPa et Mcomp =49GPa. Les paramètres de Lamé λ\*ρ=73 Gpa et μ\*ρ=48.5 GPa.

**III.4.3-Etude du troisième réservoir carbonaté du Turonien T3**

Ce réservoir est recouvert par une couche d'argile, épaisse de 128.41m à partir de 3320.11m de profondeur. On distingue plusieurs zones :

**Zone 1 :** est située entre 3320.338-3321.862m de profondeur (1.524m de Gross).Elle est marquée par une densité de 2.71g/cm<sup>3</sup> un GR de 30API, une résistivité moyenne de 55Ωm. Elle est caractérisée par les paramètres acoustiques tels que les vitesses de propagation des ondes sismiques de compression Vp=5054.65m/s et de cisaillement Vs=2699m/s avec un rapport de Vp/Vs =1.87 .Le coefficient de Poisson de cette zone est 0.30.On distingue un **seul banc** de 0.90m d'épaisseur par ces paramètres élastiques de faibles valeurs .Il est caractérisé par une résistivité moyenne de 64Ωm et un Vp=4861.57m/s Vs=2614.57m/s avec un rapport Vp/Vs=1.87 et le coefficient de Poisson σ=0.30. Par contre, les paramètres élastiques sont Kb= 40GPa, E=48GPa, μ =18 GPa et M<sub>comp</sub> =64GPa. Les paramètres de Lamé λ\*ρ=73 Gpa et μ\*ρ=50 GPa.

**Zone 2 :**

IMD	GR	DTP	DTS	dtsc	Vo	Vs	LLD	RHOB	Kb	Mu	Mcomp	Vo/Vs	lam	E	pois	lam*rb	mu*rb	imo	accu	is
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
3335,121	27,08	64,17	118,8218	4749,8831	2565,1858	12,1484	2,676	37,483154	17,608558	60,374279	1,8516721	25,157164	45,575443	0,2941277	67,32057	47,1205	12710,687	6864,4373		
3335,274	12,63	62,36	116,0344	4887,7486	2626,8072	6,5277	2,151	32,09278	14,84215	51,387575	1,8607184	21,703275	38,498625	0,2969356	46,683745	31,925464	10513,547	5650,2623		
3335,426	12,59	61,04	114,0016	4993,4469	2673,6467	3,2369	2,211	34,585163	15,805798	55,1327	1,867654	23,521105	41,064916	0,299046	52,007514	34,948199	11041,01	5911,7002		
3335,578	14,08	60,09	112,5386	5072,3914	2708,404	4,5174	2,269	36,610904	16,584725	58,171046	1,8728341	25,001597	43,140146	0,3005988	56,52611	37,496404	11468,17	6123,4307		
3335,731	14,56	59,71	111,9534	5104,6726	2722,5614	2,6829	2,297	37,666315	17,001685	59,768506	1,8749523	25,765136	44,24614	0,3012281	59,097492	38,996765	11708,588	6244,739		
3335,883	14,56	60,16	112,6464	5066,4894	2705,8122	1,5326	2,3787	38,4195	17,415461	61,059598	1,8724468	26,228677	45,297034	0,3004834	62,390154	41,426156	12051,658	6436,3154		
3336,036	14,27	61,99	115,4646	4916,9221	2639,7701	2,7958	2,436	36,82555	16,974989	58,893035	1,8626327	24,943057	44,050833	0,2975217	60,761288	41,351073	11977,622	6430,48		
3336,188	13,15	64	118,56	4762,5	2570,8502	2,7137	2,4752	34,87397	16,359267	56,141017	1,8525	23,422483	42,350454	0,2943873	57,975329	40,492458	11788,14	6363,3684		
3336,34	13,16	64,6	119,484	4718,2663	2550,9692	2,8159	2,5092	34,632881	16,328478	55,859902	1,8495975	23,202946	42,240946	0,2934747	58,220833	40,971416	11839,074	6400,8918		
3336,493	14,53	65,93	121,5322	4623,0851	2507,9773	2,5202	2,5256	33,327768	15,885898	53,979436	1,843352	22,20764	41,032903	0,2914883	56,087615	40,121424	11676,064	6334,1475		
3336,645	15,04	66,38	122,2252	4591,7445	2493,7574	1,6777	2,501	32,512109	15,553284	52,731378	1,8412956	21,62481	40,153208	0,2908273	54,08365	38,898763	11483,953	6236,8873		
3336,798	15,44	67,23	123,5342	4533,6903	2467,3329	0,5137	2,4774	31,315071	15,081747	50,921341	1,8374862	20,757848	38,898654	0,2895938	51,425492	37,363519	11231,764	6112,5706		
3336,95	14,4	67,5	123,95	4515,5556	2459,0561	0,5531	2,4395	30,564979	14,751551	49,741995	1,8362963	20,238893	38,035576	0,289206	49,372778	35,986409	11015,698	5998,8673		
3337,102	15,6	67,91	124,5814	4488,2933	2446,5932	0,7716	2,4162	29,871997	14,462934	48,67381	1,8345074	19,747943	37,274475	0,2886208	47,71498	34,94534	10844,614	5911,4584		
3337,255	17,64	68,58	125,6132	4444,4444	2426,4966	0,9283	2,3946	28,97187	14,099131	47,300741	1,8316302	19,102479	36,310168	0,287674	45,742796	33,761779	10642,667	5810,4887		
3337,407	20,15	68,78	125,9212	4431,5208	2420,5614	0,8308	2,4099	28,97067	14,119888	47,326524	1,8307822	19,086748	36,355705	0,2873936	45,997155	34,027517	10679,522	5833,311		
3337,56	22,22	68,09	124,8586	4476,4283	2441,1614	1,0373	2,424	29,794257	14,445269	48,573106	1,8337289	19,682569	37,221566	0,2883653	47,710546	35,015331	10850,862	5917,3753		
3337,712	22,22	65,78	121,3012	4633,6272	2512,7534	1,741	2,4461	32,44114	15,444503	52,518994	1,8440438	21,629987	39,899633	0,2917098	52,909112	37,778799	11334,316	6146,446		
3337,864	23,59	65,89	121,4706	4625,8916	2509,2492	1,6168	2,4694	32,629769	15,548161	52,842378	1,8435362	21,746057	40,16237	0,2915473	53,699713	38,394628	11423,177	6196,3399		
3338,017	22,87	66,06	121,7324	4613,9873	2503,8527	1,3945	2,4995	32,840472	15,670061	53,211552	1,8427551	21,871429	40,469399	0,2912968	54,667638	39,167318	11532,661	6258,3799		
3338,169	22,98	66,11	121,8094	4610,4977	2502,2699	1,741	2,5164	33,007436	15,756073	53,490331	1,8425261	21,978185	40,689216	0,2912232	55,305904	39,648583	11601,856	6296,7121		
3338,322	21,8	66,12	121,8248	4609,8004	2501,9536	1,8746	2,5266	33,130184	15,81594	53,690905	1,8424803	22,059026	40,843353	0,2912085	55,734335	39,960553	11647,122	6321,436		
3338,474	22,42	66,1	121,794	4611,1952	2502,5863	1,6168	2,5539	33,51049	15,994918	54,303884	1,8425719	22,314048	41,30649	0,2912379	56,987846	40,849422	11776,531	6391,3552		
3338,626	24,45	66,63	122,6102	4574,516	2485,9269	1,6777	2,5698	33,130925	15,880934	53,77614	1,8401651	22,014271	40,9875	0,2904625	56,572274	40,810825	11755,591	6388,9458		
3338,779	27,57	66,62	122,5948	4575,2026	2486,2392	1,8746	2,6019	33,555867	16,083347	54,464218	1,8402101	22,297524	41,51038	0,290477	58,015928	41,84726	11904,22	6468,9458		
3338,931	33,42	64,01	118,5754	4761,756	2570,5163	3,7856	2,6577	37,432375	17,560897	60,26154	1,8524512	25,139747	45,460665	0,294372	66,813906	46,671595	12655,319	6831,6612		

Figure III.20 : montre la deuxième zone du troisième réservoir carbonaté T3 du Turonien

**La deuxième zone** est située entre 3335.121-3338.931 m de profondeur (3.81m de Gross). Elle est marquée par une densité de 2.54g/cm<sup>3</sup> un GR de 19 API et une résistivité moyenne de 2.50Ωm. Elle est caractérisée par ses paramètres acoustiques tels que les vitesses de propagation des ondes sismiques de compression  $V_p=4692.06\text{m/s}$  et de cisaillement  $V_s=2538.55\text{m/s}$  avec un rapport de  $V_p/V_s = 1.85$ . Le coefficient de Poisson de cette zone est 0.29. On remarque que la zone a de faibles valeurs même les valeurs de ses paramètres élastiques comme :  $K_b= 33\text{GPa}$ ,  $E=41\text{GPa}$ ,  $\mu =15 \text{ GPa}$  et  $M_{\text{comp}} =54\text{GPa}$ . Les paramètres de Lamé  $\lambda^*\rho=55 \text{ Gpa}$  et  $\mu^*\rho=39\text{GPa}$ .

#### III.4.4-Interprétation des paramètres élastiques

L'analyse des paramètres élastiques des différentes zones mise en évidence dans les réservoirs carbonatés du Turonien, nous a permis d'identifier des niveaux potentiels situés dans la zone verte distincte dans les cross plots qui se caractérisent par de faibles paramètres élastiques et acoustiques à savoir  $V_p$ ,  $V_s$ .

L'interprétation des paramètres élastiques du réservoir Turonien calculés sur rocks physics (PETREL 2014) a mis en évidence plusieurs zones bien distinctes. Le premier réservoir T1 (3000-3096) comprend huit (8) zones ; les zones 4 et 8 présentent le maximum de bancs intéressants. La zone 4 a révélé 4 niveaux intéressants, caractérisés par un faible rapport  $V_p/V_s$  et coefficient de Poisson 1.86 et 0.29. Cependant la zone 8, regroupe 5 bancs totalisant 5.6m de net pay avec des chutes plus ou moins considérables des vitesses  $V_p=5000\text{m/s}$  et  $V_s=2700\text{m/s}$  et un module de Young aux alentours de 52 GPa.

Le réservoir T2 (3176-3273), comprend une seule zone avec sept bancs, le sixième banc est le plus important, caractérisé par une épaisseur de 15 m et de faibles valeurs de  $v_p=5010\text{m/s}$   $v_s=2680\text{m/s}$  et un module de Young de l'ordre de 48GPa.

Le réservoir T3 (3320-3349.42m), comprend deux zones, la seconde est la plus importante avec 03m de net pay.

**Tableau III.3** : Tableau des zones du premier réservoir carbonaté T1 du Turonien

Zone	Profondeur(m)	Gross(m)	GR(API)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	R <sub>t</sub> moy (Ω.m)	V <sub>p</sub> (m/s)	V <sub>s</sub> (m/s)	V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub>	$\sigma$
1	3000.146	5.6	23.17	2.72	64	5360	2800	1.83	0.30
2	3007.15	3.048	29.92	2.72	55	5596	2933	1.9	0.31
3	3015.54	4.57	27.15	2.72	61.4	5426.9	2861	1.9	0.31
4	3016.91	26.21	23.96	2.68	38.16	5541	2908.87	1.9	0.31
5	3044	8	25.9	2.72	53	5413.8	2853.9	1.9	0.31
6	3054.8	2.8	25.22	6.69	21.2	5389.8	2844	1.89	0.31
7	3059	3.7	30	2.66	23.64	5674.7	2967	1.91	0.31
8	3063.5	5.6	21.7	2.7	33	5563	2918	1.9	0.31

**Tableau III.4** : Tableau des zones du deuxième réservoir carbonaté T2 du Turonien

Zone	Profondeur(m)	Gross(m)	GR(API)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	R <sub>t</sub> moy (Ω.m)	V <sub>p</sub> (m/s)	V <sub>s</sub> (m/s)	V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub>	$\sigma$
1	3176.6	106.4	11.53	2.64	7.5	5561.55	2916.42	1.9	0.30

**Tableau III.5** : Tableau des zones du Troisième réservoir carbonaté T3 du Turonien

Zone	Profondeur(m)	Gross(m)	GR(API)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	R <sub>t</sub> moy(Ω.m)	V <sub>p</sub> (m/s)	V <sub>s</sub> (m/s)	V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub>	$\sigma$
1	3320.4	1.5	30	2.71	55	5054.65	2699	1.87	0.30
2	3335.12	3.81	19	2.54	2.5	4692.06	2538.55	1.85	0.29

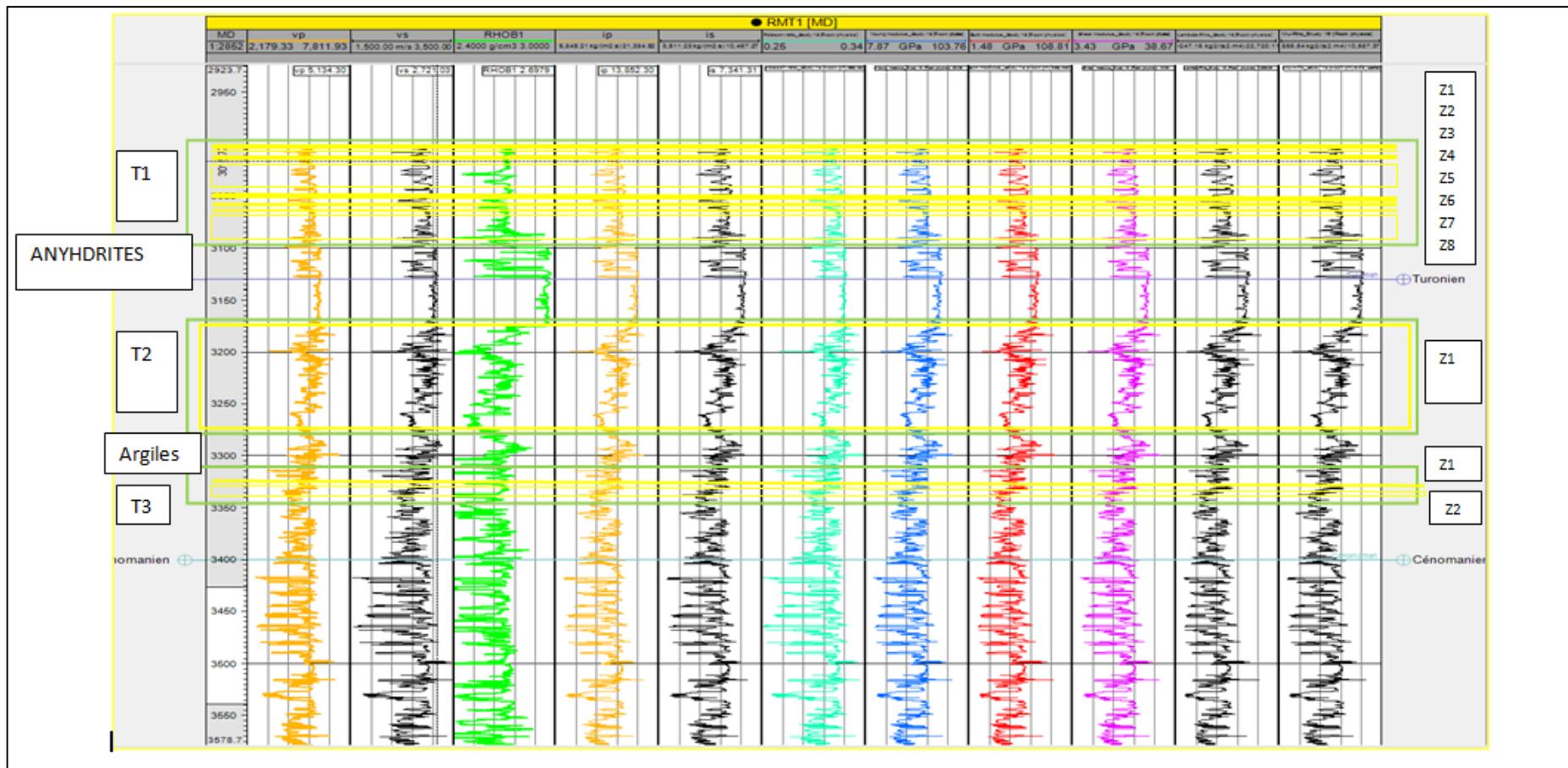


Figure III.21 : montre les différentes zones dans les trois réservoirs carbonatés du Turonien T1, T2 et T3



# CHAPITRE IV

## Modélisation des vitesses

## Modélisation des vitesses

La modélisation des vitesses par différentes approches a pour but de se rapprocher du modèle représentatif des vitesses.

### IV.1-Modélisation de la vitesse $V_p$

Cinq approches ont été réalisées pour modéliser les vitesses des ondes de compression  $V_p$  au niveau du puits RMT1 à savoir l'approche de Mavco et al (1998), Les deux approches de Wyllie, de Han et al (1986) et celle de Biot- Gassmann.

Dans ce qui suit une comparaison considérée entre la vitesse mesurée le long de puits  $V_p$  et celle calculée par l'un des approches.

Lorsque l'écart est important, l'approche ne sera pas validée, car il ne représente pas le meilleur modèle.

#### IV.1.1-Approche de Mavco et al (1998)

Selon Mavco, les vitesses des ondes acoustiques sont reliées à la porosité (1-30%) par l'équation générale de régression pour une formation carbonatée saturée en eau.

$$V_{pm} = 5.62 - 6.65 * \Phi$$

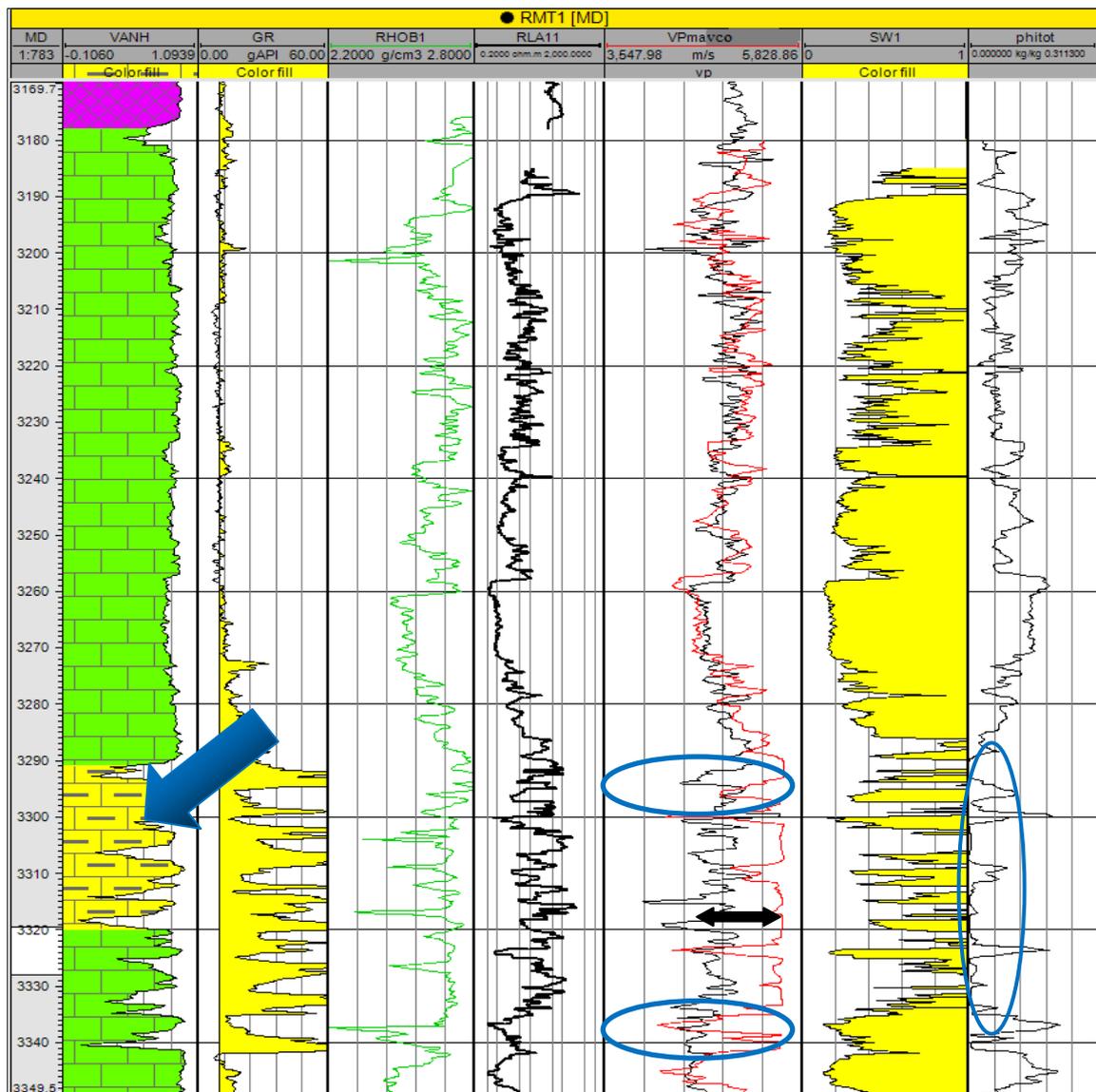
$V_{pm}$  Vitesse des ondes de compression dans la matrice (Km/s)

Les données de porosités calculées à partir d'ELAN (pétro physique) nous ont servi comme (input) dans la première équation ci-dessus afin de calculer les vitesses  $V_p$  (output).

**Tableau IV.1** : montre le calcul de la vitesse  $V_{pmavco}$  sur EXCEL2007

$\Phi$	$V_{pm}$	$V_{pm} * 1000$	$\Phi$	$V_{pm}$	$V_{pm} * 1000$
0,0187	5,495645	5495,645	0,0187	5,495645	5495,645
0,0187	5,495645	5495,645	0,0187	5,495645	5495,645
0,0187	5,495645	5495,645	0,0187	5,495645	5495,645
0,0187	5,495645	5495,645	0,0187	5,495645	5495,645
0,0187	5,495645	5495,645	0,021	5,48035	5480,35
0,0187	5,495645	5495,645	0,0245	5,457075	5457,075
0,0187	5,495645	5495,645	0,0281	5,433135	5433,135
0,0187	5,495645	5495,645	0,0296	5,42316	5423,16
0,0187	5,495645	5495,645	0,0268	5,44178	5441,78
0,0187	5,495645	5495,645	0,0239	5,461065	5461,065

La réalisation de calculs sur PETREL 2014 est la même de celle de l'EXCEL2007 à l'aide de CALCULATOR, par conséquent nous obtenons le log suivant :



**Figure IV.1 :** Comparaison entre Vp mesurée (en noir) et Vp calculée (en rouge) par l'approche de Mavco et al (1998) d'un intervalle du puits RMT1.

#### Commentaire :

L'analyse de vitesse calculée par l'approche de Mavco montre que l'écart entre Vp et  $V_{p_{mavco}}$  est important ( $>1000\text{m/s}$ ) sur tout dans l'intervalle 3290 et 3340. Cet écart est dû probablement à la mauvaise estimation de porosité, et la présence de la fraction argileuse ( $V_{clay}$ ).

**IV.1.2- Approche de WYLLIE**

Deux méthodes de Wyllie ont été utilisées pour modéliser la vitesse de l'onde de compression Vp.

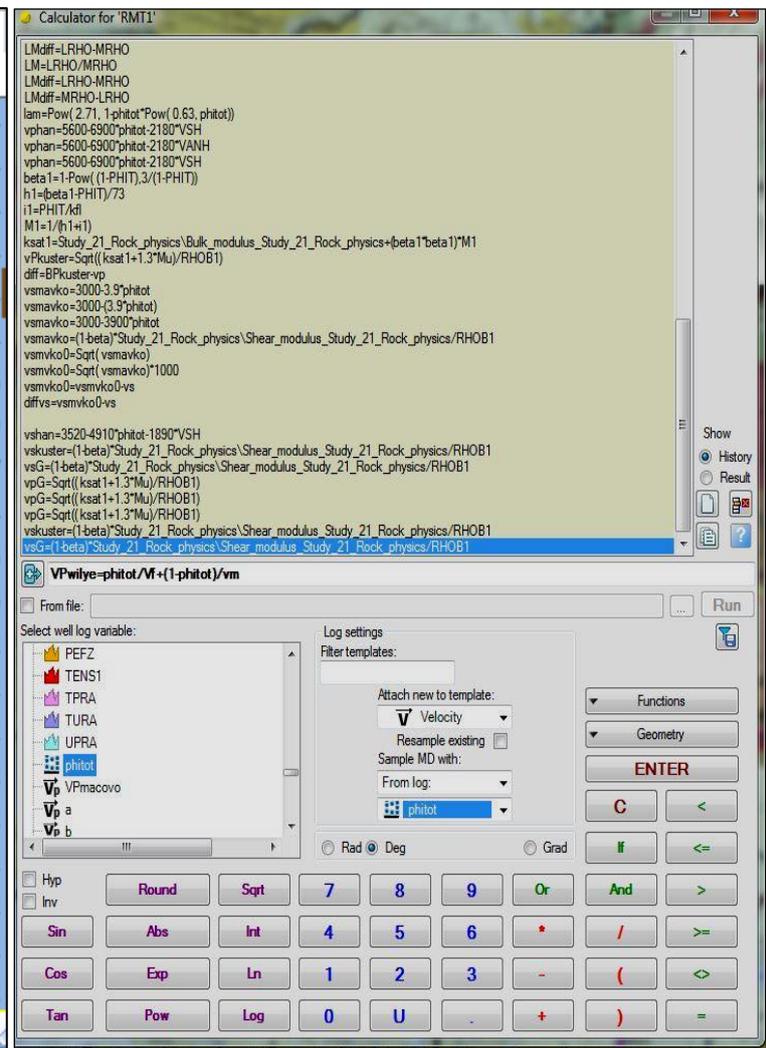
**A.1) Première approche de WYLLIE**

La première méthode relie les différentes vitesses : Vitesse de l'onde sismique Vp, la vitesse de la matrice Vm et la vitesse de fluide Vf ainsi que la porosité par l'équation

$$\frac{1}{V} = \frac{\Phi}{Vf} + \frac{(1 - \Phi)}{Vm}$$

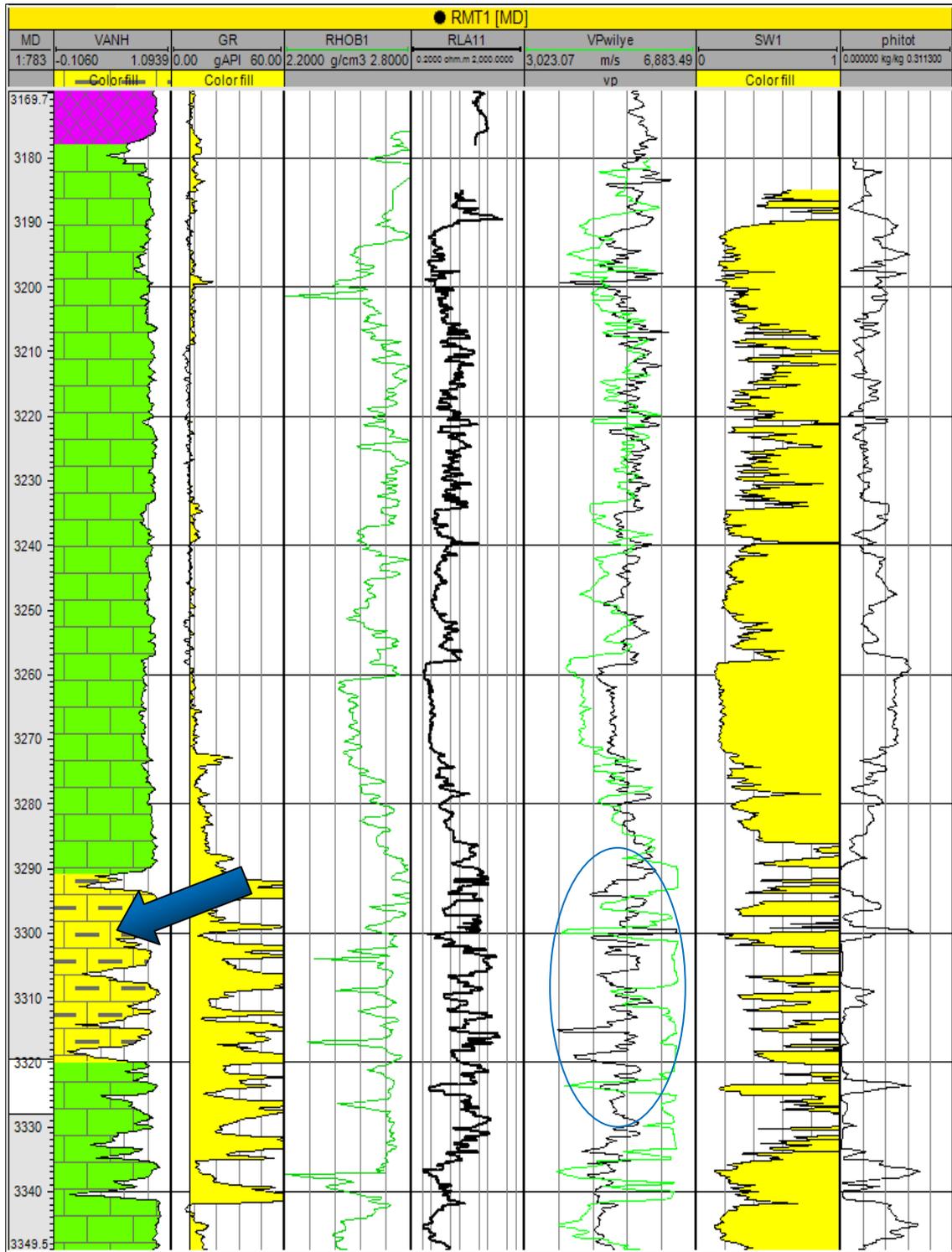
Où Vf : vitesse dans le fluide ; Vm : vitesse dans la matrice

1	approche de WYLLIE			
2	phi/1,5	(1-phi)/6,5	Σ	V
11	0,01246667	0,15096923	0,1634359	6,11860684
12	0,01246667	0,15096923	0,1634359	6,11860684
13	0,01246667	0,15096923	0,1634359	6,11860684
14	0,01246667	0,15096923	0,1634359	6,11860684
15	0,01246667	0,15096923	0,1634359	6,11860684
16	0,01246667	0,15096923	0,1634359	6,11860684
17	0,014	0,15061538	0,16461538	6,07476636
18	0,01633333	0,15007692	0,16641026	6,00924499
19	0,01873333	0,14952308	0,16825641	5,94330997
20	0,01973333	0,14929231	0,16902564	5,91626214
21	0,01786667	0,14972308	0,16758974	5,96695226
22	0,01593333	0,15016923	0,16610256	6,02037666
23	0,01406667	0,29469048	0,00601835	0,30070882
24	0,02	0,05659524	0,49531498	0,55191022
25	0,02	0,05659524	0,49531498	0,55191022
26	0,02	0,05659524	0,49531498	0,55191022
27	0,02	0,05659524	0,49531498	0,55191022
28	0,02	0,05659524	0,49531498	0,55191022
29	0,02	0,05659524	0,49531498	0,55191022
30	0,02	0,05659524	0,49531498	0,55191022
31	0,02	0,05659524	0,49531498	0,55191022



**Figure IV.2 :** montre le calcul de la première approche de Wyllie sur EXCEL 2007

**Figure IV.3 :** montre le calcul de la première approche de Wyllie sur PETREL 2014



**Figure IV.4 :** Comparaison entre Vp mesurée(en noir) et Vp calculée (en vert) par la première approche de WYLLIE d'un intervalle du puits RMT1

La différence entre la vitesse Vp mesurée et celle calculée par la première approche de WYLLIE est acceptable, sauf qu'au-delà de l'intervalle 3300m l'écart est très important (>1000m/s), ceci est dû probablement à la fraction argileuse.

**A.2)Deuxième approche de WYLLIE**

Dans la deuxième méthode, Wyllie reliant la saturation en eau  $S_w$ , la porosité  $\Phi$  et les vitesses de la matrice, ainsi que celle de fluide.

$$\frac{1}{V} = \frac{1 - \Phi}{V_{ma}} + \frac{S_w \Phi}{V_w} + \frac{(1 - S_w) \Phi}{V_{hc}}$$

Nous avons comme données d'entrées  $S_w$ ,  $\Phi$ ,  $V_{ma} = 6.5 \text{ Km/s}$ ,  $V_w = 1.5 \text{ Km/s}$  et

$$V_{hc} = 0.5 \text{ Km/s}$$

**Tableau IV.2 :** montre le principe de calcul de la vitesse de Wyllie sur **Excel 2007** à certaine profondeur

sw	$\Phi$	$1-\Phi/v_{ma}$	$S_w*\Phi/v_f$	$((1-sw)*\phi)/0,5$	$\Sigma$	$1/\Sigma$	Vitesse
0,99016	0,0187	0,15096923	0,01234399	0,000368016	0,16368124	6,10943558	6109,435579
0,99016	0,0187	0,15096923	0,01234399	0,000368016	0,16368124	6,10943558	6109,435579
0,99016	0,0187	0,15096923	0,01234399	0,000368016	0,16368124	6,10943558	6109,435579
0,99016	0,0187	0,15096923	0,01234399	0,000368016	0,16368124	6,10943558	6109,435579
0,99016	0,0187	0,15096923	0,01234399	0,000368016	0,16368124	6,10943558	6109,435579
0,99016	0,0187	0,15096923	0,01234399	0,000368016	0,16368124	6,10943558	6109,435579
0,99016	0,0187	0,15096923	0,01234399	0,000368016	0,16368124	6,10943558	6109,435579
0,99016	0,0187	0,15096923	0,01234399	0,000368016	0,16368124	6,10943558	6109,435579
0,99016	0,0187	0,15096923	0,01234399	0,000368016	0,16368124	6,10943558	6109,435579
0,99016	0,0187	0,15096923	0,01234399	0,000368016	0,16368124	6,10943558	6109,435579
0,99016	0,0187	0,15096923	0,01234399	0,000368016	0,16368124	6,10943558	6109,435579
0,99016	0,0187	0,15096923	0,01234399	0,000368016	0,16368124	6,10943558	6109,435579
0,99016	0,0187	0,15096923	0,01234399	0,000368016	0,16368124	6,10943558	6109,435579
0,99016	0,0187	0,15096923	0,01234399	0,000368016	0,16368124	6,10943558	6109,435579
0,99016	0,0187	0,15096923	0,01234399	0,000368016	0,16368124	6,10943558	6109,435579
0,99016	0,021	0,15061538	0,01386224	0,00041328	0,1648909	6,06461589	6064,615889
0,99016	0,0245	0,15007692	0,01617261	0,00048216	0,1667317	5,99765984	5997,659842
0,99016	0,0281	0,14952308	0,018549	0,000553008	0,16862508	5,93031586	5930,315862
0,99016	0,0296	0,14929231	0,01953916	0,000582528	0,16941399	5,90270014	5902,700138
0,99016	0,0268	0,14972308	0,01769086	0,000527424	0,16794136	5,95445936	5954,459357
0,99016	0,0239	0,15016923	0,01577655	0,000470352	0,16641613	6,00903282	6009,032823
0,99016	0,0211	0,1506	0,01392825	0,000415248	0,1649435	6,06268212	6062,682119
0,19016	0,03	0,14923077	0,0038032	0,0485904	0,20162437	4,95971793	4959,717934
0,19016	0,03	0,14923077	0,0038032	0,0485904	0,20162437	4,95971793	4959,717934
0,19016	0,03	0,14923077	0,0038032	0,0485904	0,20162437	4,95971793	4959,717934

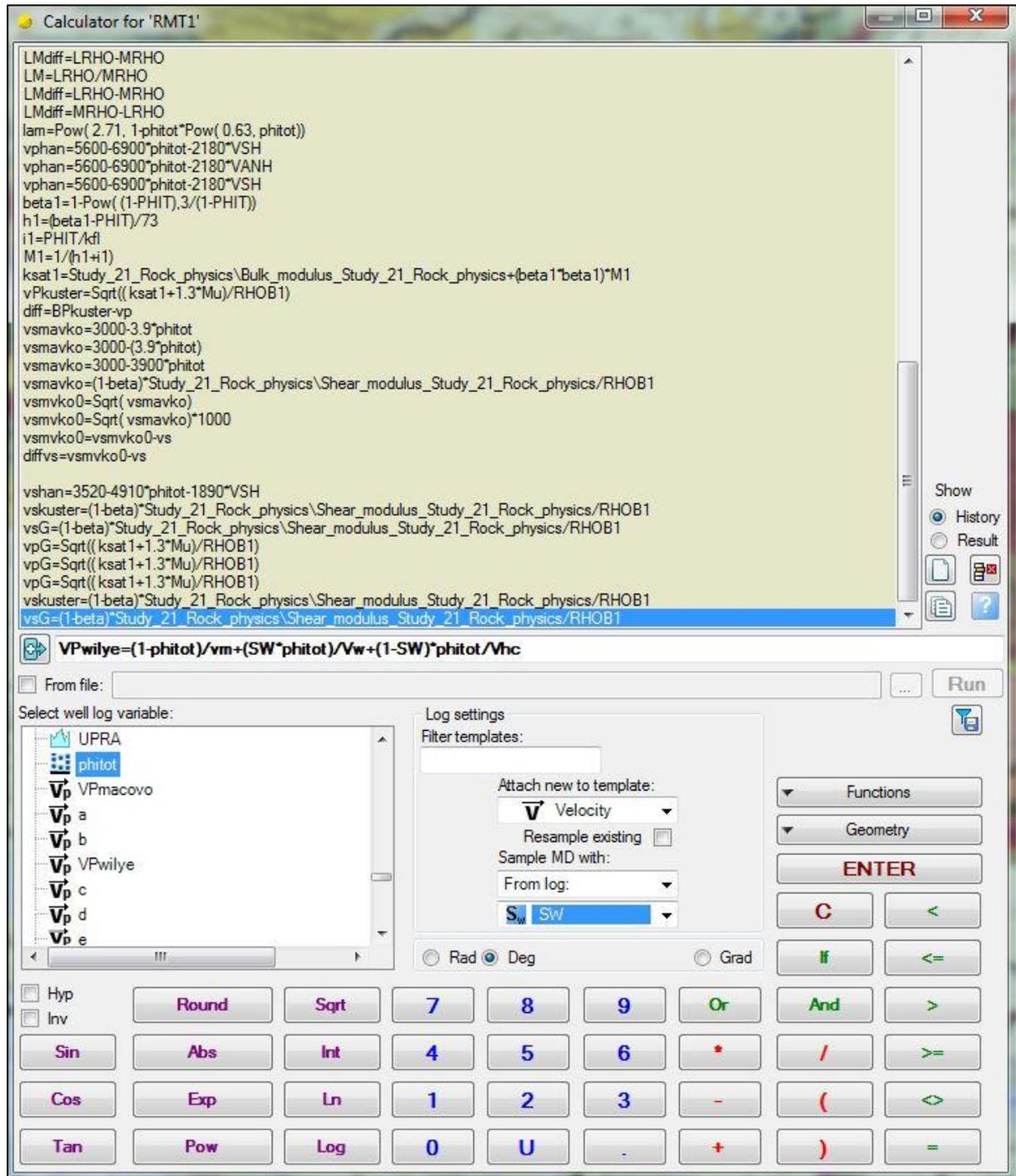
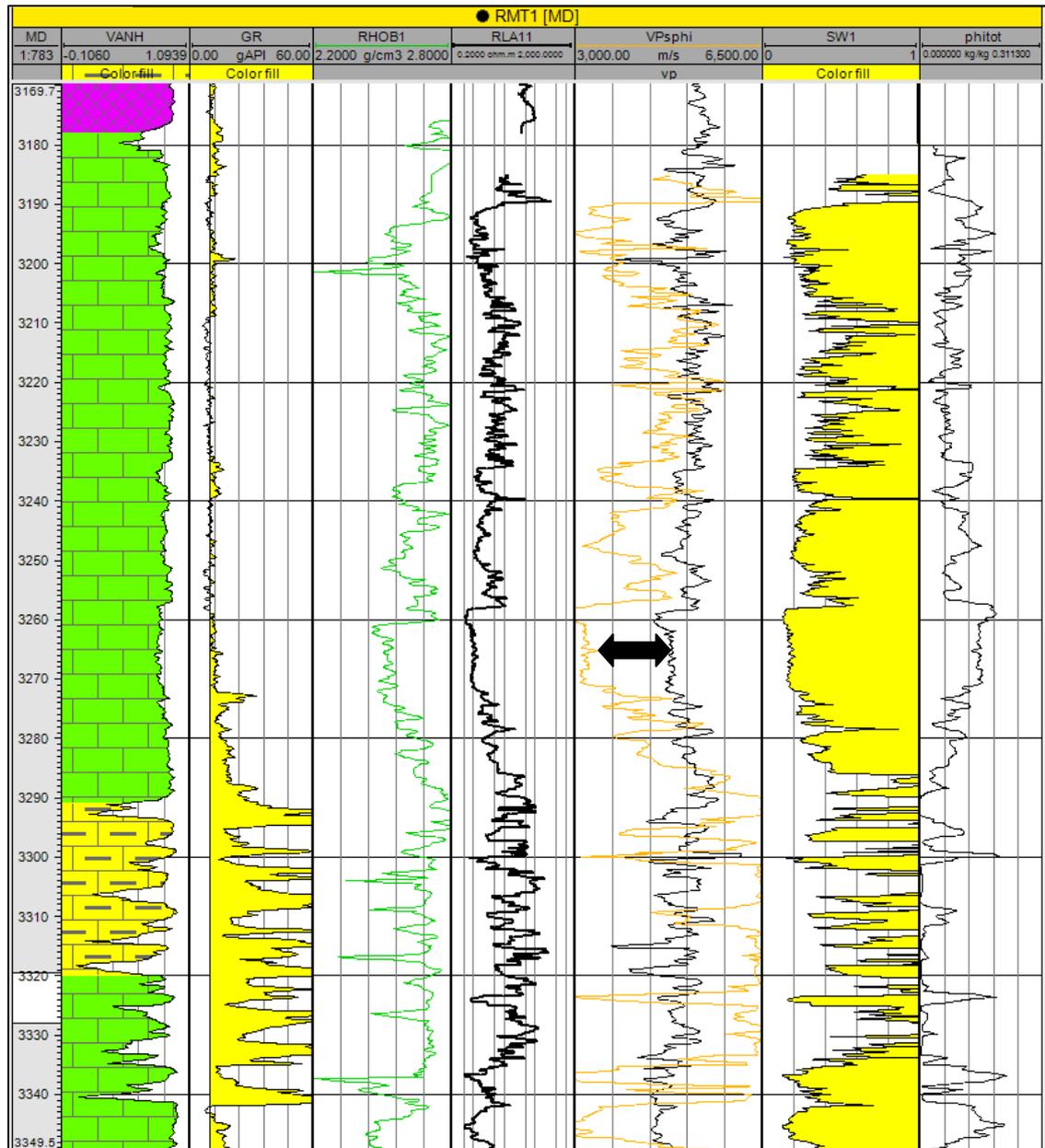


Figure IV.5 : montre le calcul de la deuxième approche de Wyllie sur PETREL 2014



**Figure IV.6 :** Comparaison entre Vp mesurée (en noir) et Vp calculée (en orange) par la deuxième approche de WYLLIE d'un intervalle du puits RMT1.

### Commentaire

Au delà de l'intervalle 3300 m, aucune corrélation n'a été marquée.

La différence entre la vitesse Vp mesurée et celle calculée est très importante dans la deuxième méthode (la 2<sup>e</sup> approche de WYLLIE) (>1000m/s). Il est dû probablement à la porosité et aussi à la saturation en eau.

**IV.1.3- Approche de Han et al (1986)**

Han et al(1986) a suggéré pour les vitesses des ondes de compression  $V_p$  l'équation empirique suivante :

$$V_p(\text{km/s}) = 5.59 - 6.93\Phi - 2.18C$$

Où

$\Phi$  : est la porosité

C : est le volume d'argile

Les étapes suivies pour les calculs de cette approche sont :

- Calcul du volume d'argile  $V_{sh}$  ou C à partir des données de GR

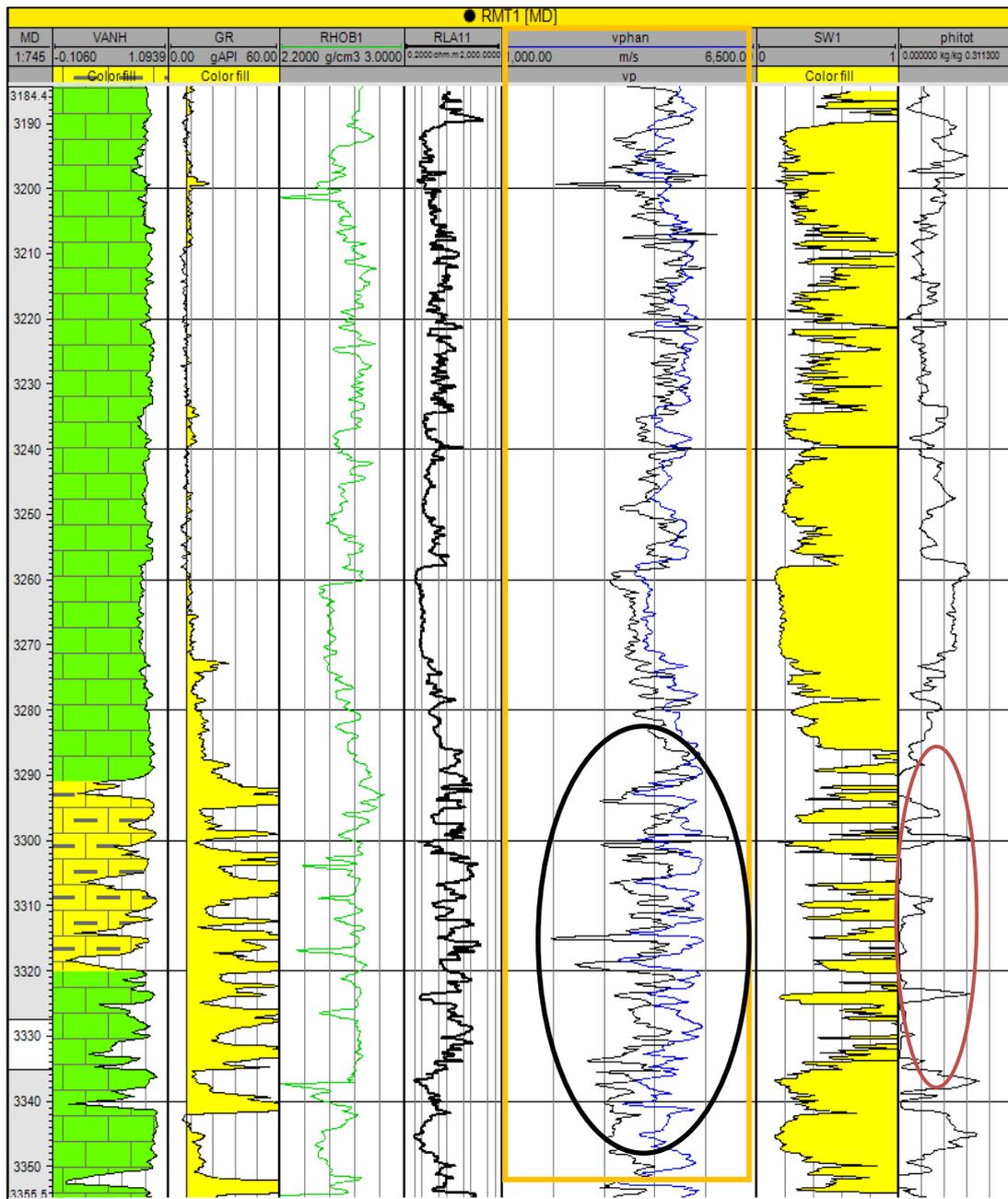
$$V_{sh} = \frac{GR_{lue} - GR_{min}}{GR_{max} - GR_{min}}$$

Où  $GR_{min} = 10\text{API}$  et  $GR_{max} = 80\text{API}$

- La porosité a été calculée par l'ELAN

**Tableau IV.3 :** Quelques valeurs de volume d'argiles calculées à partir des données de GR

GR(API)	Vsh(%)
20,4	20,2571429
19,63	19,4871429
19,81	19,6671429
18,88	18,7371429
18,14	17,9971429
17,56	17,4171429
17,75	17,6071429
18,79	18,6471429
18,47	18,3271429
20,39	20,2471429
22,85	22,7071429



**Figure IV.7** Comparaison entre Vp mesurée (en noir) et Vp calculée (en bleu) par l'approche de Han et al (1986) d'un intervalle du puits RMT1

#### Commentaire

Il est remarquable que l'écart soit très grand entre Vp mesurée et celle calculée par l'approche de Han et al (1986). Cet écart est dû probablement à la porosité des argiles mal estimée et aussi au volume d'argile.

## IV.1.4- Approche de Biot –Gassmann

Pour cette approche, nous avons utilisé les formules de Gassmann connues en géophysiques :

$$V_p = \sqrt{\frac{K_{sat} + \frac{4}{3} \mu_{sat}}{\rho_{sat}}}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu_{sat}}{\rho_{sat}}}$$

$$K_{sat} = K_{dry} + \beta^2 M$$

Avec 
$$\beta = 1 - (K_{dry}/K_{grain})$$

$$M^{-1} = \left[ \frac{(\beta - \Phi)}{K_{grain}} \right] + \frac{\Phi}{K_{fl}}$$

$$\frac{1}{K_{fl}} = \frac{S_w}{K_w} + \frac{(1 - S_w)}{K_{hc}}$$

Où

$\beta$  : est le coefficient de Biot

M : Module de compression

$K_{fl}$  : est le module d'incompressibilité de volume du fluide

Alors, les étapes suivies pour le calcul de cette approche

- Calcul de module d'incompressibilité de volume du fluide  $K_{fl}$  :

$$\frac{1}{K_{fl}} = \frac{S_w}{K_w} + \frac{(1 - S_w)}{K_{hc}}$$

Où

$$\begin{cases} K_w = 2.24 \\ K_{hc} = 1.09 \end{cases}$$

- Calcul de coefficient de Biot  $\beta$  :

$$\beta = 1 - (K_{dry}/K_{grain}) \text{ Où } K_{grain} = 73$$

- Calcul de module de compression M :

$$M^{-1} = \left[ \frac{(\beta - \Phi)}{K_{grain}} \right] + \frac{\Phi}{K_{fl}}$$

- Calcul de module d'incompressibilité de volume d'une roche saturée de fluides Ksat.

$$K_{sat} = K_{dry} + \beta^2 M$$

- Calcul de Vp

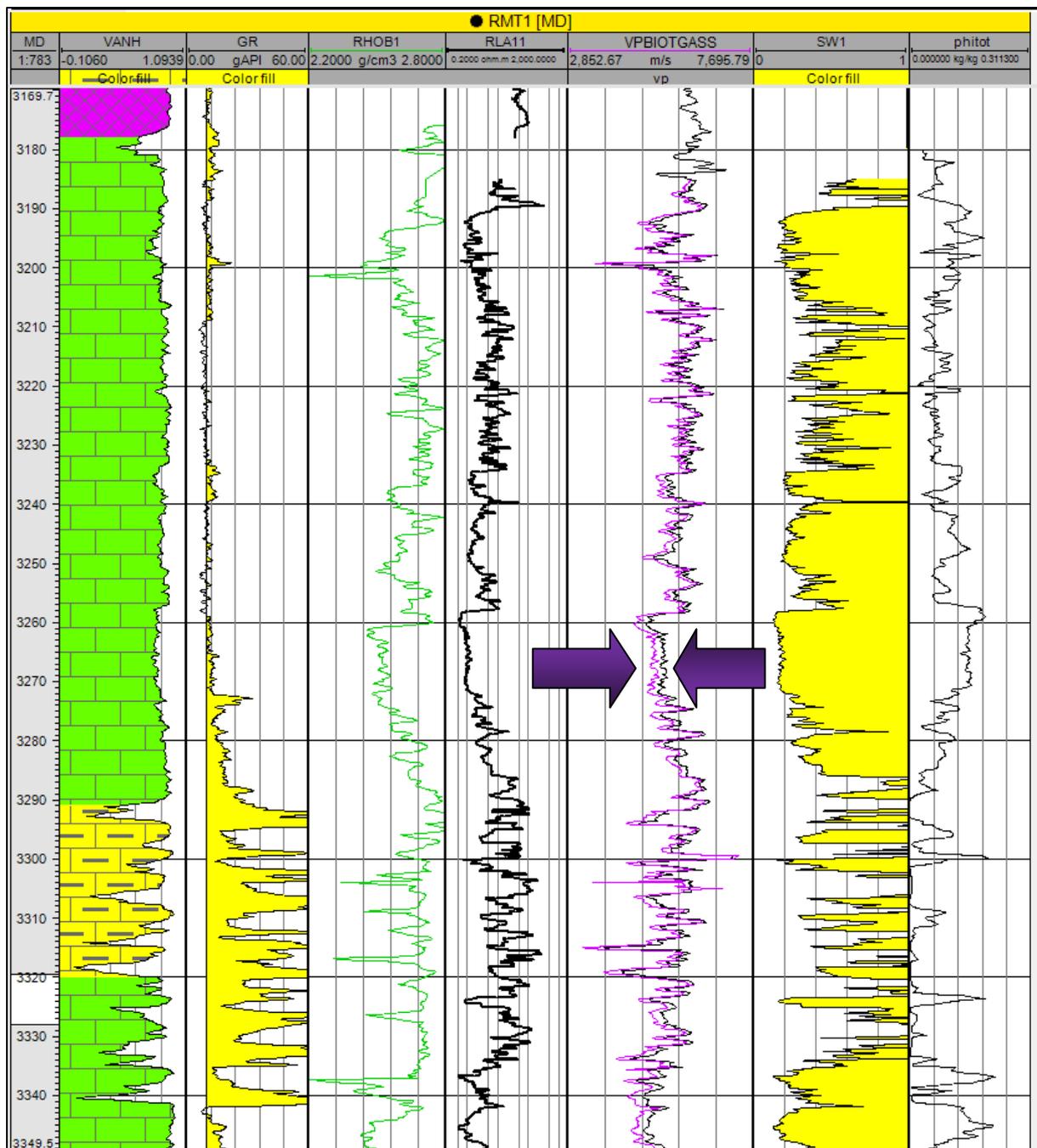
$$V_p = \sqrt{\frac{K_{sat} + \frac{4}{3} \mu_{sat}}{\rho_{sat}}}$$

Sachant que nous avons Sw, Φ et Kdry =Kb comme des inputs

Avertissement de sécurité La mise à jour automatique des liens a été désactivée Options...											
V9 f_c 0,0187											
	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AF
1	Inputs		calcul de Kfl			calcul de M					
2	sw	phi	sw/kw	1-sw/khc	Σ	kfl	PHI/Kfl	beta-phi/kgain	1/M	M	ksat
0	0,99016	0,0187	0,44204	0,00902752	0,45106324	2,21698404	0,00843488	0,003792461	0,01222734	81,783916	64,8585252
1	0,99016	0,0187	0,44204	0,00902752	0,45106324	2,21698404	0,00843488	0,003968537	0,01240342	80,6229312	63,8742311
2	0,99016	0,0187	0,44204	0,00902752	0,45106324	2,21698404	0,00843488	0,003933339	0,01236822	80,8523711	63,807778
3	0,99016	0,0187	0,44204	0,00902752	0,45106324	2,21698404	0,00843488	0,003522298	0,01195718	83,6317564	65,8515789
4	0,99016	0,0187	0,44204	0,00902752	0,45106324	2,21698404	0,00843488	0,003338888	0,01177377	84,9345603	66,6776622
5	0,99016	0,0187	0,44204	0,00902752	0,45106324	2,21698404	0,00843488	0,003057126	0,01149201	87,0169922	68,3168484
6	0,99016	0,0187	0,44204	0,00902752	0,45106324	2,21698404	0,00843488	0,002691836	0,01112672	89,8737601	70,5679233
7	0,99016	0,021	0,44204	0,00902752	0,45106324	2,21698404	0,00947233	0,002650999	0,01212333	82,485611	65,0721178
8	0,99016	0,0245	0,44204	0,00902752	0,45106324	2,21698404	0,01105105	0,002745109	0,01379616	72,4839474	57,5641164
9	0,99016	0,0281	0,44204	0,00902752	0,45106324	2,21698404	0,01267488	0,002317579	0,01499246	66,7002117	53,406846
0	0,99016	0,0296	0,44204	0,00902752	0,45106324	2,21698404	0,01335147	0,002787575	0,01613905	61,9615287	49,6854567
1	0,99016	0,0268	0,44204	0,00902752	0,45106324	2,21698404	0,01208849	0,003677024	0,01576552	63,4295666	50,5219217
2	0,99016	0,0239	0,44204	0,00902752	0,45106324	2,21698404	0,01078041	0,004708796	0,01548921	64,5610812	51,0969087
3	0,99016	0,0211	0,44204	0,00902752	0,45106324	2,21698404	0,00951743	0,005096288	0,01461372	68,4288333	54,0314784
4	0,19016	0,03	0,08489	0,74297248	0,82786533	1,20792593	0,02483596	0,005487596	0,03032356	32,977663	27,8603931
5	0,19016	0,03	0,08489	0,74297248	0,82786533	1,20792593	0,02483596	0,006339517	0,03117548	32,0764941	26,5323235
6	0,19016	0,03	0,08489	0,74297248	0,82786533	1,20792593	0,02483596	0,006944527	0,03178049	31,4658489	25,583547
7	0,19016	0,03	0,08489	0,74297248	0,82786533	1,20792593	0,02483596	0,00762533	0,03246129	30,8059229	24,5570929
8	0,19016	0,03	0,08489	0,74297248	0,82786533	1,20792593	0,02483596	0,007993038	0,032829	30,4608748	23,9141192
9	0,19016	0,03	0,08489	0,74297248	0,82786533	1,20792593	0,02483596	0,007735883	0,03257184	30,7013639	24,2176837

**Figure IV.8 :** montre les calculs suivis sur Excel 2007 pour déterminer K sat(module d'incompressibilité de volume d'une roche saturée de fluides) à une certaine profondeur.

La réalisation de calculs sur PETREL 2014 est la même de celle de l'EXCEL2007 à l'aide de CALCULATOR, donc nous obtenons le log suivant :



**Figure IV.9 :** Comparaison entre Vp mesurée(en noir) et Vp(en violet) calculée par l'approche de BIOT- GASSMAN d'un intervalle du puits RMT1

Vp calculée par cette approche coïncide parfaitement avec Vp mesurée. L'écart est très faible.

## IV.2- Modélisation de la vitesse Vs

La modélisation des vitesses de cisaillement a été réalisée par les mêmes approches celle de Mavco et al (1998), Han et al (1986) et de Biot-Gassman.

### IV.2.1-Approche de Mavco et al (1998)

Selon Mavco, les vitesses des ondes acoustiques sont reliées à la porosité (1-30%) par l'équation générale de régression pour une formation carbonatée saturée en eau.

$$V_{sm} = 3.05 - 3.87\Phi$$

$V_{sm}$  Vitesse des ondes de cisaillement dans la matrice (Km/s)

Les données de porosités calculées à partir d'ELAN (pétro physique) nous ont servi à les injecter (input) dans les la première équation ci-dessus afin de calculer les vitesses  $V_p$  (output)

### IV.2.2-Approche de Han et al (1986)

Han et al(1986) a suggéré pour les vitesses des ondes de cisaillement  $V_s$  l'équation empirique suivante :

$$V_s (\text{Km/s}) = 3.52 - 4.91\Phi - 1.89C$$

Où

$\Phi$  : est la porosité

$C$  : est le volume d'argile

Les étapes suivies pour les calculs de cette approche

- Calcul du volume d'argile  $V_{sh}$  ou  $C$  à partir des donnés de GR

$$V_{sh} = \frac{GR_{lue} - GR_{min}}{GR_{max} - GR_{min}}$$

Ou  $GR_{min} = 10\text{API}$  et  $GR_{max} = 80\text{API}$

- La porosité a été calculée par l'ELAN

### IV.2.3-Approche de BIOT-GASSMANN

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu_{sat}}{\rho_{sat}}}$$

$$\mu_{sat} = \mu_a(1 - \beta)$$

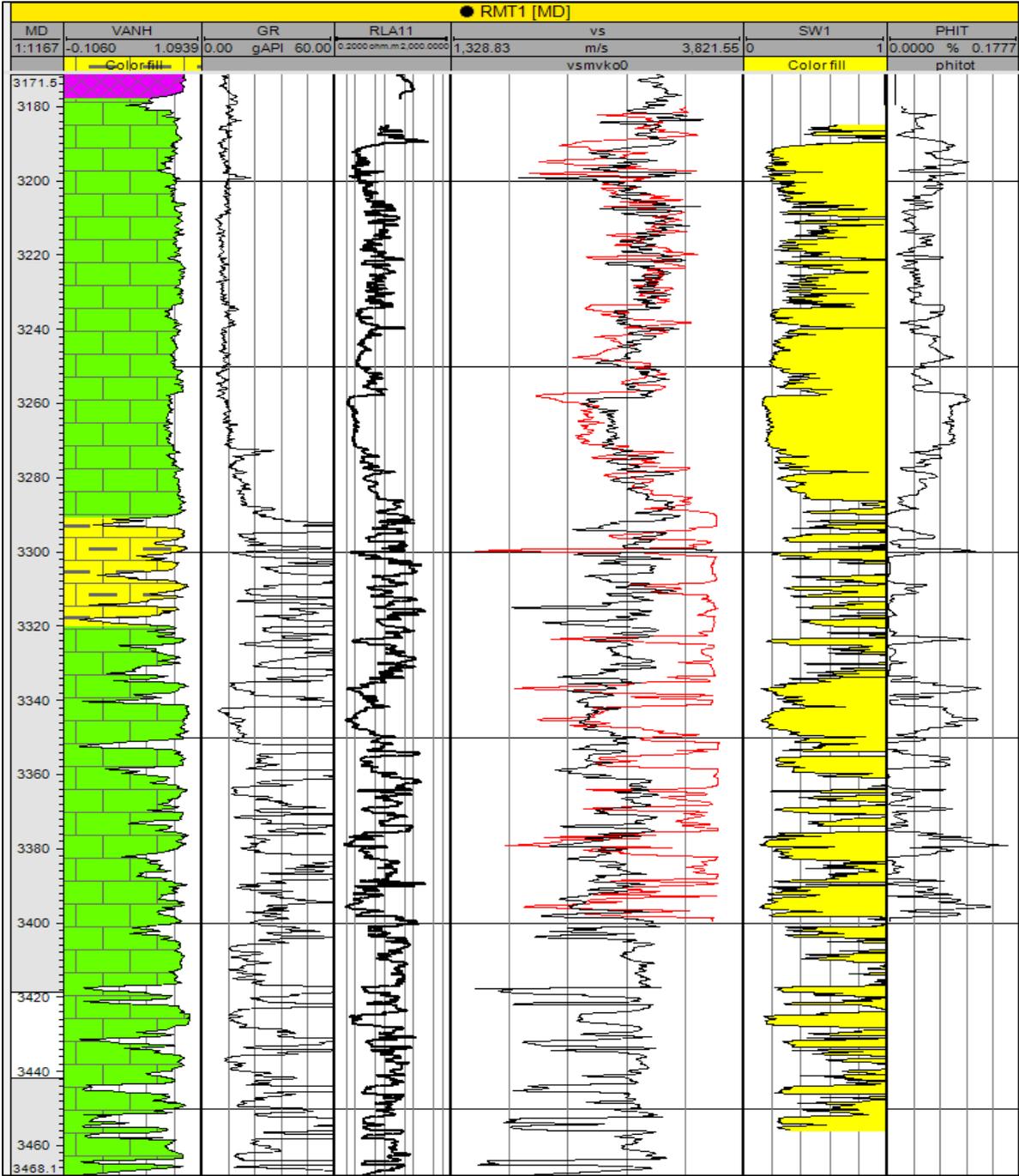
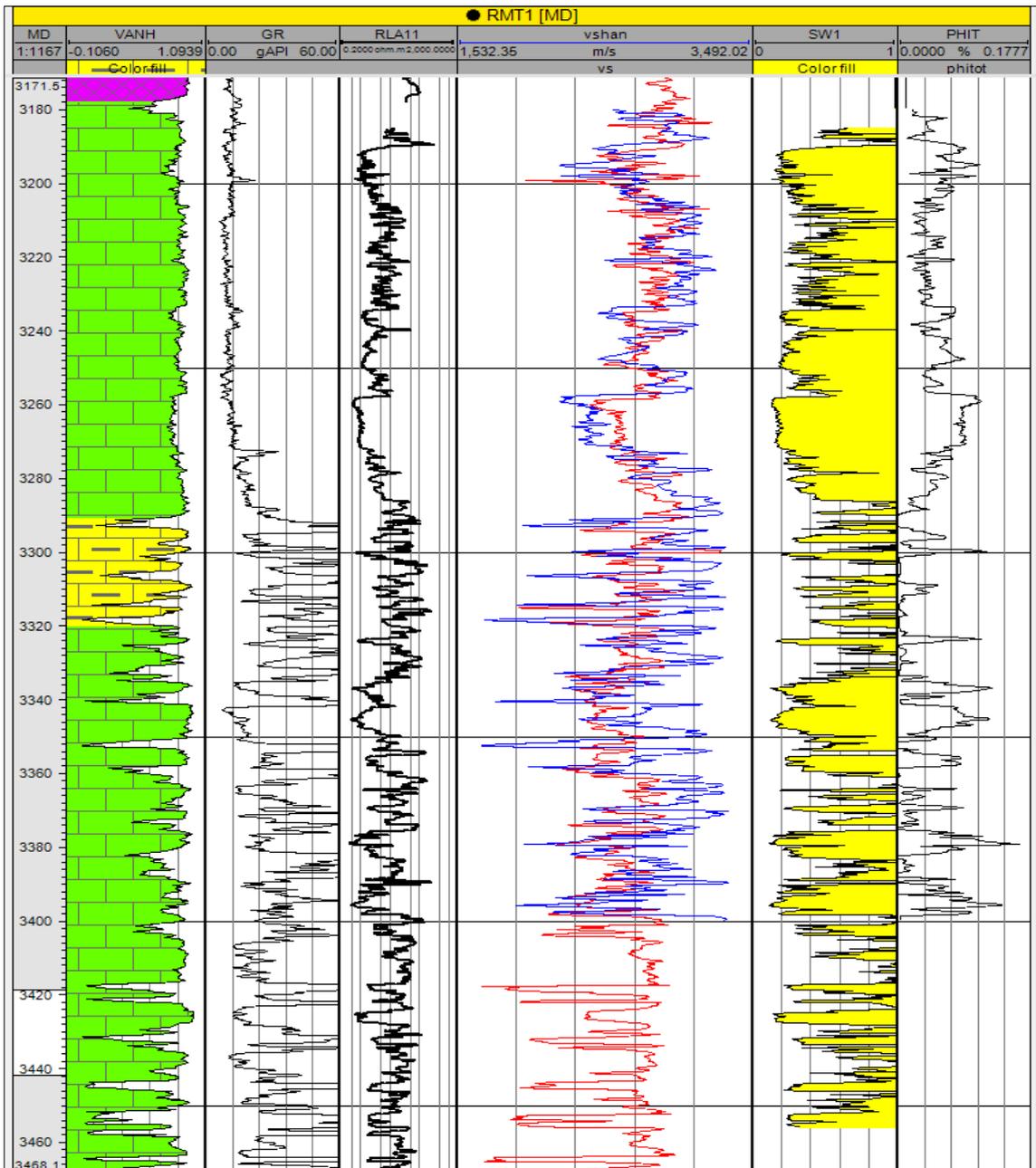


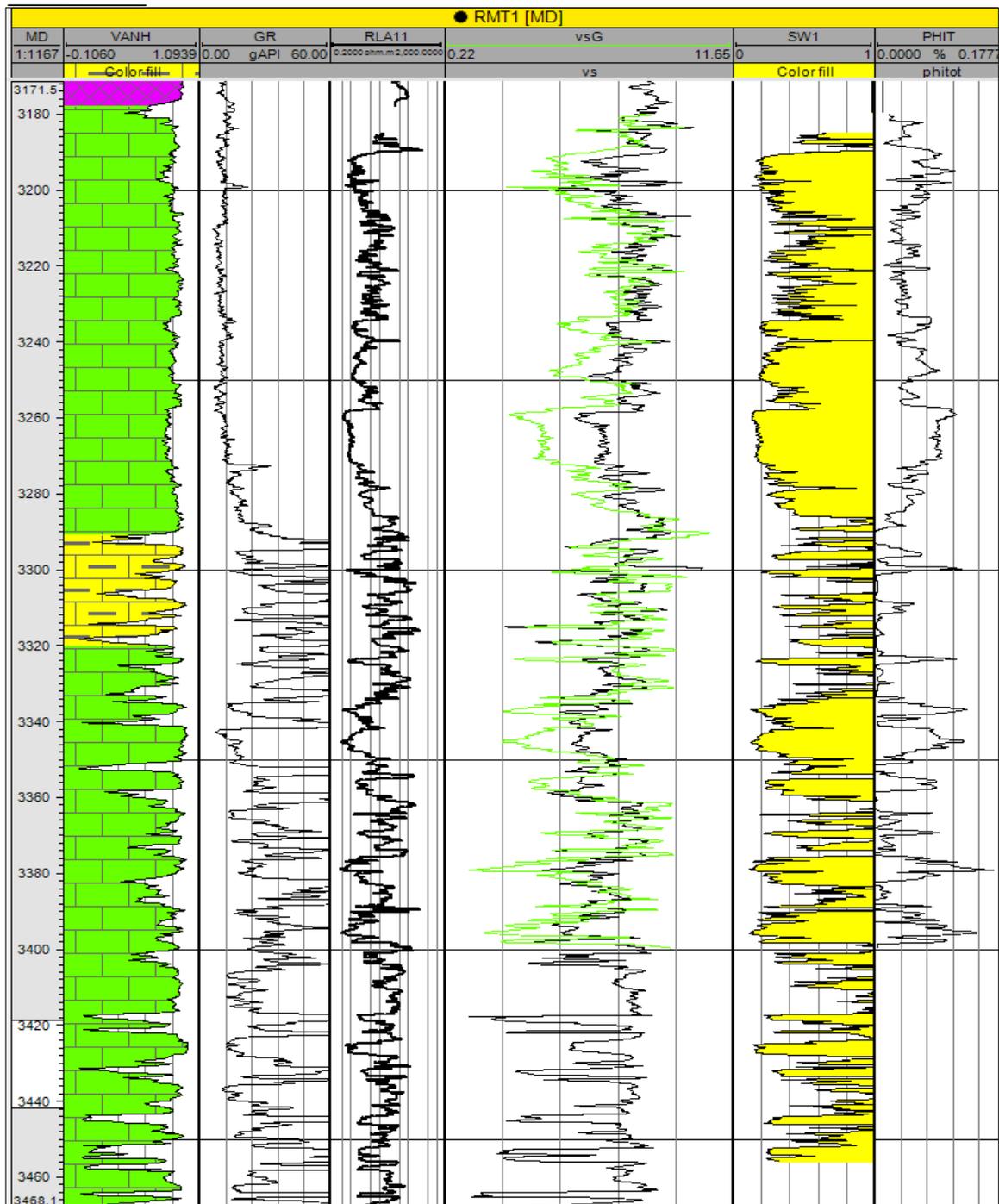
Figure IV.10 : Comparaison entre Vs mesurée (en noir) et Vs(en rouge) calculée par l'approche de Mavco

L'écart entre les vitesses calculées et la vitesse mesurée est très important dans cette méthode. Ceci est dû que nous sommes devant un réservoir à double porosité (primaire et secondaire). La porosité primaire est matricielle, tandis que la seconde est dû aux fractures.



**Figure IV.11 :** Comparaison entre Vs mesurée( en rouge) et Vs calculée ( en bleu) par l’approche de Han et al (1986) d’un intervalle du puits RMT1

L’approche de han pour le calcul des vitesses de cisaillements, montre une bonne corrélation entre 3180-3290m, et surtout pour de faibles valeurs de porosités primaires. Concernant l’intervalle 3290-3400m, nous constatons que Vs calculée oscille rapidement du fait que le GR (Vcaly) varie rapidement malgré que la porosité soit faible.



**Figure IV.12 :** Comparaison entre Vs mesurée(en noir) et Vs calculée(en vert) par l’approche de BIOT- GASSMAN d’un intervalle du puits RMT1

Cette approche montre une meilleure corrélation entre les deux vitesses mesurée et calculée

IV.3- Discussions sur le meilleur modèle de la vitesse Vp

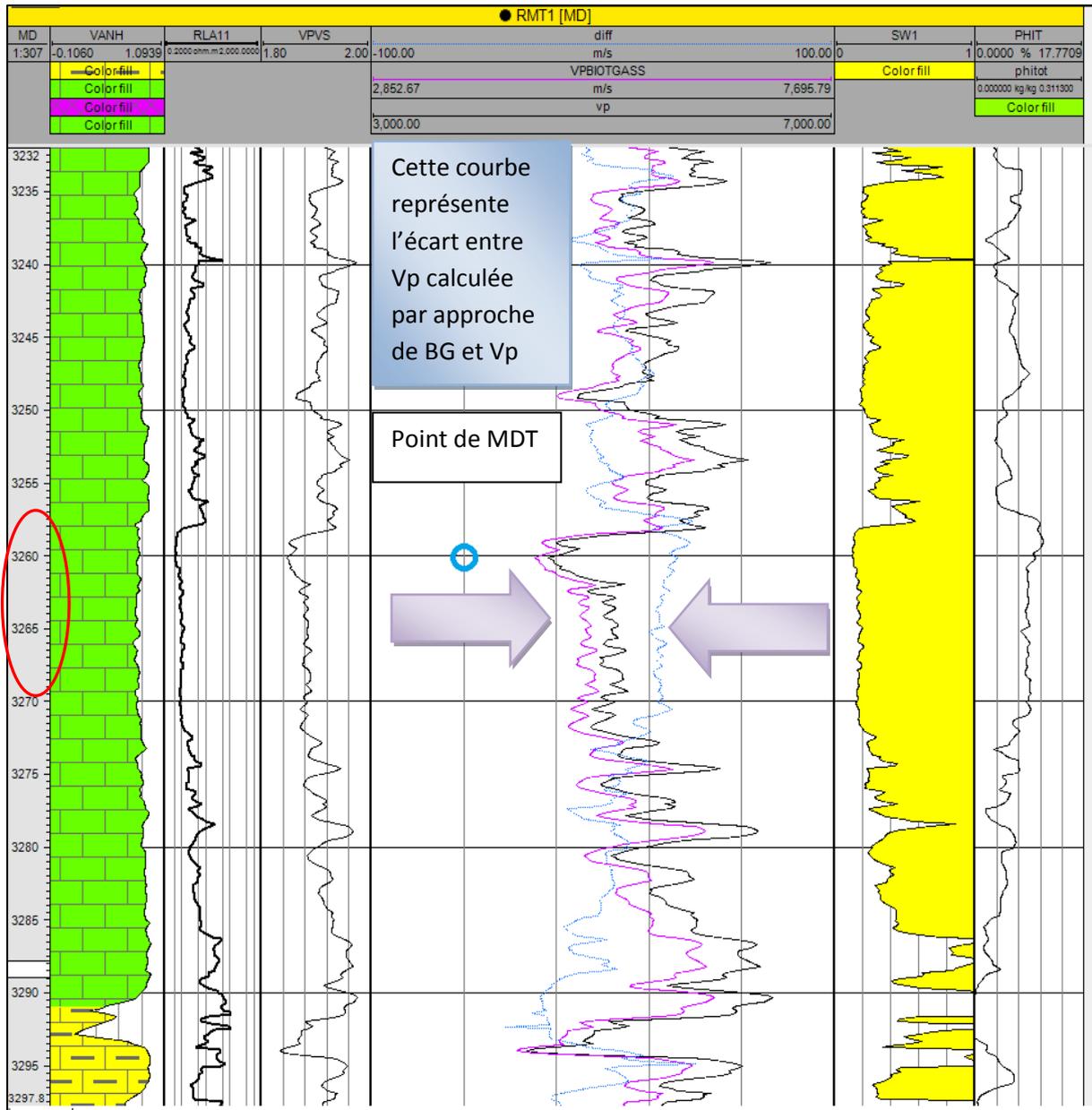


Figure IV.13 : Ecart(en bleu) entre Vp mesurée(en noir) et Vp calculée( en violet) par l'approche de Biot Gassman.

Le modèle présentant un faible écart entre Vp mesurée et Vp calculée est de BIOT-GASSMANN, l'intervalle intéressant est situé entre 3262-3272m, car il est caractérisé par un rapport Vp/Vs de 1.85 et des vitesses de l'ordre de 5000m/s, des porosités de 6% et de Sw de 30-45% qui est différente de celle calculée par la méthode d'Archie. Le cross plot mettant Vp mesurée et Vp calculée montre une relation linéaire qui relie ces deux vitesses (Figure V.30).

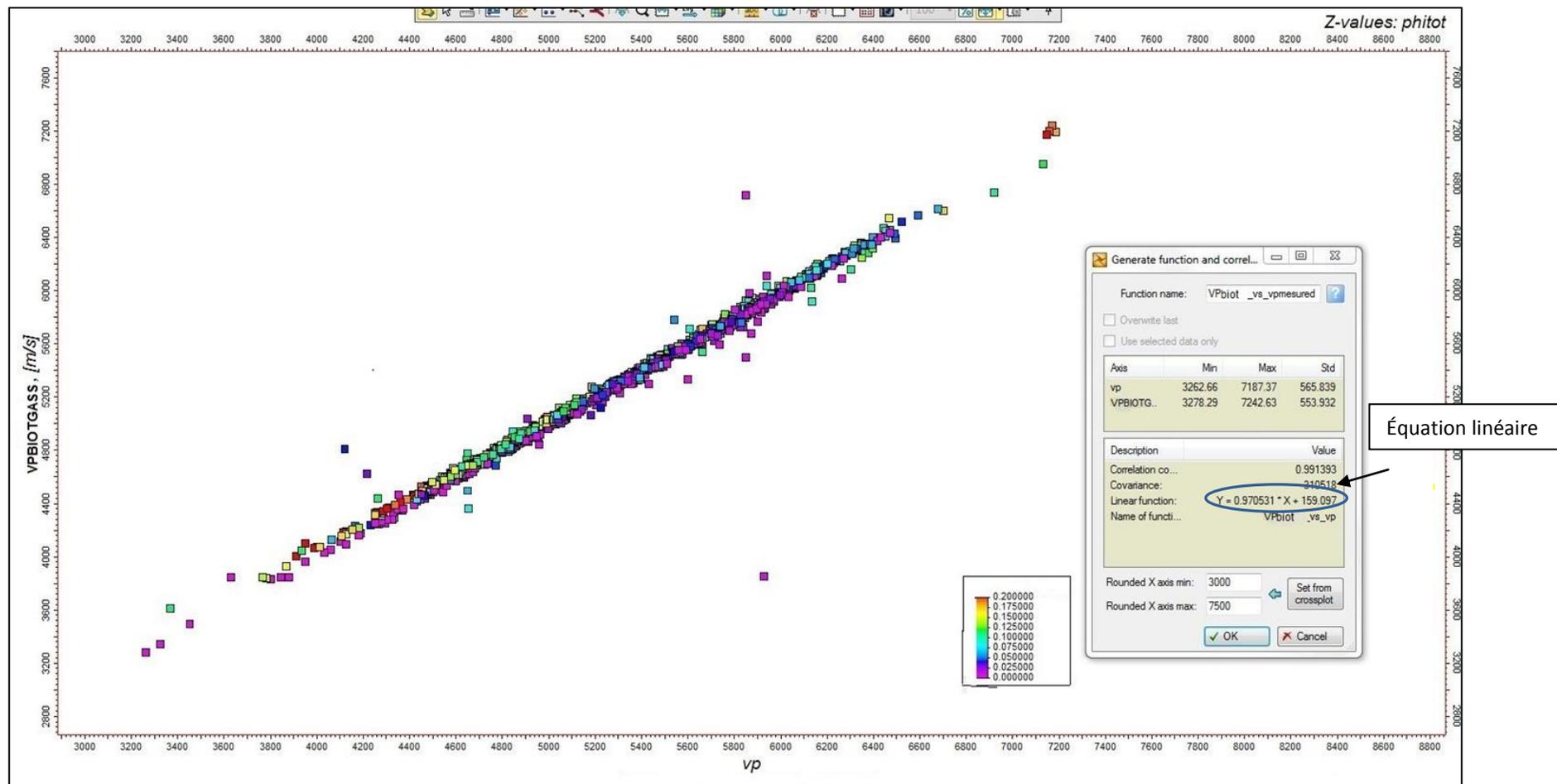


Figure IV.14 Vitesse calculée par BIOT GASSMANN en fonction de Vp mesurée avec une variation de porosité

### **Conclusion**

L'analyse des différents cross plots, paramètres élastiques ainsi que la modélisation des vitesses par la méthode Biot-Gassmann, a mis en relief quelques bancs intéressants (5-10m) du point de vue élastique, pétro physique et qui n'ont pas fait l'objet de mesures MDT ou de Test (DST).

Le MDT réalisé à 3260m a récolté de l'eau, malgré que cet intervalle présente une qualité médiocre sur le plan élastique (faible vitesse) alors que sur le plan pétrophysique, nous avons  $S_w$  est de 20% et  $\Phi$  de 10%.

---

# Conclusion Générale

## Conclusion générale

À la lumière de cette étude, la région de Sidi Nadji présente un intérêt pétrolier non négligeable, vu sa complexité géologique. D'autre part, le réservoir Turonien présente une autre complexité sous l'effet de la diagenèse et mode de dépôt. Le MDT pris à 3260m a récolté de l'eau, ceci ne prouve pas que ce réservoir est aquifère.

L'analyse des cross plots réalisés nous a permis d'identifier trois zones bien distinctes la zone rouge se caractérise par de faibles valeurs d'impédance acoustique, rapport  $V_p/V_s$ , faible résistivité, faible module de Young et un fort GR, cette zone correspond aux argiles. La seconde zone (verte) est caractérisée par GR inférieur à 25API et un rapport  $V_p/V_s$  de 1.85. Cependant, l'impédance et la résistivité enregistrent des valeurs de 10000 KPa.s/m et 100 $\Omega$ .m, cette zone correspond aux calcaires du turonien qui peut être saturé en hydrocarbures.

En revanche, la zone bleue est matérialisée par de fortes valeurs de tous les paramètres élastiques et un faible GR de 10API, elle correspond aux anhydrites.

L'interprétation des paramètres élastiques du réservoir Turonien calculés sur rocks physics (PETREL 2014) a mis en évidence plusieurs zones bien distinctes. Le premier réservoir T1 (3000-3096) comprend huit (8) zones ; les zones 4 et 8 présentent le maximum de bancs intéressants. la zone 4 a révélé 4 niveaux intéressants, caractérisés par un faible rapport  $V_p/V_s$  et coefficient de Poisson 1.86 et 0.29. cependant la zone 8, regroupe 5 bancs totalisant 5.6m de net pay avec des chutes plus ou moins considérables des vitesses  $V_p= 5000\text{m/s}$  et  $v_s= 2700\text{m/s}$  et un module de Young aux alentours de 52 GPa.

Le réservoir T2 (3176-3273), comprend une seule zone avec sept bancs, le sixième banc est le plus important, caractérisé par une épaisseur de 15m est de faibles valeurs de  $v_p=5010\text{m/s}$   $v_s=2680\text{m/s}$  et un module de Young de l'ordre de 48GPa.

Le réservoir T3 (3320-3349m), comprend deux zones, la seconde est la plus importante avec 03m de net pay.

La modélisation des vitesses par les différents concepts à savoir Mavco, Han, Wyllie et Biot Gassmann, a montré parmi les facteurs clés affectant les vitesses sont la saturation, la porosité ainsi que le volume d'argile.

Le meilleur modèle des vitesses  $V_p$ ,  $V_s$  calculé qui se rapproche de la réalité est celui de Biot- Gassmann, ou nous avons constaté un faible écart entre  $V_p$  mesurée et  $V_p$  calculée, surtout dans la zone des calcaires. Concernant la modélisation de  $V_s$ , le modèle de Biot a montré un fort écart entre  $V_s$  mesurée et  $V_s$  calculée ceci est du que dans ce modèle nous n'avons pas tenu compte d'autres facteurs tels que la taille de pores, la granulométrie ainsi que la pétrographie.

Il est recommandé pour les réservoirs carbonatés de faire une évaluation plus poussée en intégrant toutes les données nécessaires et disponibles à savoir le sonic scanner, les mesures sur carotte de  $m$  et  $n$  afin de calculer la saturation en eau qui répond mieux à la géologie de la région. L'acquisition des nouveaux logs de minéralogie pendant le forage, calibré par les carottes.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Adjas- Belghache**, Etude du potentiel pétrolier du périmètre Sidi Nadji, 2007 (document sonatrach)
- **A.Ludmila, M. batzle, and I. Brevik**, Gassmann's fluid substitution and shear modulus variability in carbonates at laboratory seismic and ultrasonic frequencies *GEOPHYSICS*, VOL. 71, NO. 6, 2006.
- **Djeddi Mabrouk**. Cours de prospection sismique (comportement élastique des roches).Département de la Géophysique de la FHC. Université M'Hammed Bouguera de Boumerdes Algérie 03/2016.
- **D. Chapellier**, cours de diagraphies différées (diagraphies pétrole).Option réservoir. .Université de Lausanne. Institut Français de Pétrole.
- **D. Chapellier**, cours de diagraphies différées (diagraphies aquifère).Option réservoir. .Université de Lausanne. Institut Français de Pétrole.
- **E. Kazatchenko, M. Markov, A. Mousatov and E.Pervago**, Inversion of Physical Properties for Determining the Microstructure of Natural Composites.
- **E, M, Belhadj**, In Synthèse géochimique du Sud Est Constantinois, 1996.( document sonatrach)
- **J.Meléndez Martínez**, Elastic Properties of Sedimentary Rocks, 2014.
- **Louis DE Barros**, Sensibilité et inversion des formes d'ondes sismiques en milieu poreux stratifié, 2007.
- **L.N. Kouame, B.C. Sombo, Z.B. Digbehi, A.P. Sombo, G.Kouassi & A.S. Essoh**, Relations vitesse sismique - propriétés pétrophysiques des terrains sédimentaires dans la marge continentale de Côte d'Ivoire ,2011.
- **M.Smith, CH.Sondergeld, and C.S.Rai**, Gassmann fluid substitutions, *GEOPHYSICS*, VOL. 68, NO. 2, 2003.
- **Myung W.Lee**, Velocity Ratio and its application to predicting velocities, 2003
- **Mari et Chapellier**, Géophysique de gisement et de génie civil",1999.
- **Nawras Al-Khateb, Chorus Heavy** , Oil Consortium, Department of Geoscience, University of Calgary , A look into Gassmann's Equation, 2013
- **P. Rasolofosaon et B. Zinszner**, Vérification expérimentale de la formule de Gassmann dans les calcaires poreux, 2002.

- **Philip W. Choquette and Lloyd C. Pray**, Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates, VOL.54, NO 2.1970.
- **R.E. Sheriff et L.P Geldart**, Traité de prospection sismique, Tome1, 1984.
- **S. CHOPRA and John P. Castagna**, AVO Investigations in Geophysics Series No. 16, 2014.
- **Z. Wang**, Fundamentals of seismic rock physics, GEOPHYSICS, Vol. 66, NO. 2001.