

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

**DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS**



**Mémoire de Master Académique**

**Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers**

**Filière : Géologie**

**Spécialité : Géologie Pétrolière**

***THEME***

**Estimation de la porosité par l'application de quelques algorithmes  
de l'intelligence artificielle  
Cas champ de Hessi Tarafa sud algérien**

Présenté par

BRAHIMI Rania

KRIM Chaima

RIDA Zoulikha

*Soutenu publiquement le 21/06/2021*

**Devant le jury :**

<b>Président :</b> REMITA Abdellatif	MAA	Univ. Ouargla
<b>Promoteur :</b> AMEUR ZAIMECHE Ouafi	MCB	Univ. Ouargla
<b>Examineur :</b> SAHRI Leila	MCB	Univ. Ouargla

**Année Universitaire : 2020/2021**

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail ;*

*A mon père, celui qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que la volonté fait toujours les grands Hommes. Que la simplicité, la disponibilité, et le respect pour les autres servent d'exemples*

*A ma mère, les mots me manquent pour vous qualifier, tout ce que j'aurais à dire ne saurait, exprimer à fond tout le sacrifice et l'endurance que vous avez dû subir pour*

*nous élever. Je vous demande pardon et vos bénédictions nuits et jours.*

*A mes frères : MINO et RAOUF*

*A toute ma grande famille RIDA et TEMARNI est surtout de mon grand-père*

*A tous mes amis, surtout LOTFI, BEN DOUMA SALAH, MEBARKA, WAFI, NABILA, et CHAIMA, RANIA*

*A tous mes collègues sans exception et leurs familles.*

*RIDA ZOULIKHA*

## *Dédicace*

*C'est avec toute mon affection que je dédie ce modeste travail :*

*A l'âme de mon cher père qui m'a apporté sans cesse amour et sa précieuses prières*

*A ma très chère mère qui m'a apporté sans cesse amour, soutien et les encouragements durant*

*Toute période de ma vie ; et qu'elle trouve ici l'expression de mes vives reconnaissances.*

*A mes chères sœurs Zahra et Sarah*

*Et mes chères amies ; Katia Rania et Asma*

*A tous mes collègues sans exception et leurs familles.*

*KRIM Chaima*

## *Dédicace*

*C'est avec toute mon affection que je dédie ce modeste travail:*

*A Mes parents*

*A ma très chère mère qui m'a apporté sans cesse amour,*

*Soutien et encouragement; et qu'elle trouve ici l'expression de mes vives  
reconnaisances.*

*Ma grande famille mes chères tantes et oncle*

*Ezhour, Souhila, Souad, Mohammed, Nafissa, Besma*

*A l'âme de mon grand-père Djemoui*

*A ma grande mère Djaouida*

*Mes chères amies Dounia Rayan Chaima et Asma*

*A tous mes collègues sans exception et leurs familles.*

*BRAHIMI Rania*

## *REMERCIEMENTS*

Avant tout je remercie **Allah** tout puissant de m'avoir accordé la force, le courage et les moyens afin de pouvoir accomplir ce travail.

Tout d'abord un grand merci pour l'encadreur **Dr AMEUR-ZAIMECHE Ouafi** , pour votre présence et votre disponibilité permanente, pour vos conseils et votre soutien, et pour m'avoir fourni ses idées nécessaires à l'expérimentation, ayant permis la réalisation sans difficulté du présent travail.

On' à l'honneur d'exprimer nos très profondes reconnaissances et nos sentiments les plus sincères.

Un grand merci aussi aux membres de jury qui ont accepté d'examiner ce travail : **Dr. REMITA Abdellatif** qui m'a fait l'honneur de présider le jury de soutenance. **Dr. SAHRI Leila** d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Mes remerciements à, **tous les professeurs**

Pour ses conseils, ses aides moral et scientifique, sa patience pendant la période de travail. De **SONATRACH DP** pour ses donnes de l'information scientifique, Spécialement **Mr. BEN DOUMA** et **Mr. MAHDJOUBI**.

Je remercier aussi toutes les personnes qui sont participés de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

En fin, N'oublier pas mes amis de notre promotion

**Géologie pétrolière 2020/2021**

# Sommaire

	Titre	Page
	Page de garde	
	Dédicace	
	Remerciement	
	Sommaire	
	Liste de figure	
	Liste de tableau	
	Introduction général	
	<b>Chapitre I Géologie régional et local</b>	
	Introduction	2
	I.1 Présentation de Hassi Messaoud	2
	I.1.1 Situation géographique du champ de Hassi Messaoud	2
	I.1.2 Cadre géologique de Hassi Messaoud	2
	I.2 Présentation du Champ de Hassi Tarfa	4
	I.2.1 Situation Géographique du Champ de Hassi Tarfa	4
	I.3 Historique de l'Exploration dans le champ de Hassi Tarfa	4
	I.4 Aspect Stratigraphique de Hassi Tarfa	5
	I.4.1 Paléozoïque	5
	I.4.2 Mésozoïque	5
	I.4.3 Cénozoïque	5
	I.5 Description Lithologique et Commentaire Stratigraphique	5
	I.5.1 Paléozoïque	6
	I.5.1.1 Cambrien	6
	I.5.1.1.1 Cambrien Ri	6
	I.5.1.1.2 Cambrien Ra	6
	I.5.1.1.3 Cambrien R2	6
	I.5.1.1.4 Cambrien R3	6
	I.5.1.2 Ordovicien	6
	I.5.1.2.1 Zone des alternances	7
	I.5.1.2.2 Argiles d'El Gassi	7
	I.5.1.2.3 Grés d'El Atchane	7
	I.5.1.2.4 Quartzites d'El Hamra	7
	I.5.1.2.5 Grés d'Ouargla	8
	I.5.2 Mésozoïque	8
	I.5.2.1 Trias	8
	I.5.2.1.1 Trias « Roches éruptives »	8
	I.5.2.1.2 Trias « Argileux »	8
	I.5.2.2 Jurassique	8
	I.5.2.2.1 Le Lias	9
	I.5.2.2.2 Le Dogger	9
	I.5.2.2.3 Malm	9
	I.5.2.3 Crétacé	9
	I.5.2.3.1 Néocomien	9
	I.5.2.3.2 Barrémien	9
	I.5.2.3.3 Aptien	9
	I.5.2.3.4 Albien	10
	I.5.2.3.5 Cénomanién	10
	I.5.2.3.6 Turonien	10

I.5.2.3.7 Sénonien	10
I.5.2.3.7.a Sénonien salifère	10
I.5.2.3.7.b Sénonien anhydritique	10
I.5.2.3.7.c Sénonien carbonaté	10
I.5.3 Cénozoïque	11
I.5.3.1 Paléogène	11
I.5.3.2 Néogène	11
I.5.3.2.1 Mio-Pliocène	11
II.6 Tectonique du champ de Hassi Tafra	12
II.6.1 Structuration du champ de Hassi-Messaoud	12
II.6.1.1 Structuration anté-Triasique	12
Conclusion	14
<b>Chapitre II Matériel et Méthodes</b>	
Introduction	15
1. Objectif de la zone d'étude	15
2. Généralité sur l'intelligence artificielle	15
2.1. L'intelligence artificielle (IA)	16
3. Historique de l'intelligence artificielle	17
3.1. Intelligence artificielle forte	17
3.2. Intelligence artificielle faible	18
4. Algorithme génétique	18
4.1. Concepts et principe des algorithmes génétiques	18
5. Fonctionnement	18
6. Régression linéaire multiple	19
6.1. Model théorique	19
6.2. Estimation	19
7. Application du modèle Hybride d'Algorithmes Génétiques et Régression Linéaire Multiple (AG-RLM)	20
8. Réseaux de neurones artificiels	20
8.1. Les réseaux de neurones biologiques	20
8.2. Réseaux de neurones artificiels	22
9. Principe du neurone artificiel	22
9.1. Architecture des réseaux de neurones	22
10. Domaine d'application	23
11. Préparation de la base des données	24
11.1. Carottes	24
11.2. diagraphie	25
11.2.1. Le Gamma Ray total	25
11.2.2. Le Log Sonique	26
11.2.3. Le log Neutron	27
11.2.4. La densité (gamma-gamma $\gamma$ - $\gamma$ )	28
11.2.5. La résistivité électrique	28
12. Analyses de la base de données	28
12.1. Analyse statistique mono variée	28
12.2. Analyse statistique bi variée	29
12.3. Critères de validation	29
a) Les critères numériques	29
12.4. Analyse statistique multi variée	31
13. Les logiciels utilisés	31

Conclusion	32
<b>Chapitre III Résultats et discussion</b>	<b>32</b>
Introduction	33
1. Analyses de la base de données	33
2. Statistiques mono-varié	33
3. Statistiques bi-variés (matrice de corrélation)	34
4. Statistiques multi-variés Analyse en Composantes Principales (ACP)	38
5. Prédiction de la Porosité par des Différentes Techniques de l'Intelligence Artificielle	39
5.1. Application de la régression linière multiple	39
5.1.1. Comparaison graphique	39
5.1.2. Comparaison graphique	40
5.2. Application de l'algorithme génétique hybride avec régression linière multiple	41
5.2.1. Comparaison graphique	41
5.2.2. Comparaison numériques	42
5.3. Application de réseau de neurone artificielle	42
5.3.1. Comparaison graphique	43
6. Comparaison entre RLM GA-RLM ANN	44
7. Comparaison entre la porosité carotte et la porosité simulée par les différentes techniques de l'intelligence artificielle	45
Conclusion	46
Conclusion général	48
Bibliographie	
Résumé	



## LISTE DE FIGURE

Figure	Page
<b>Fig 01</b> : Situation géographique de Hassi Messaoud et Hassi tarfa	3
<b>Fig 02</b> : Emplacement des puits sur le champs de Hassi Tarfa	5
<b>Fig 03</b> : Colonne lithologique type de la région Hassi Tarfa (Dp , Exp / SONATRACH)	12
<b>Fig 04</b> : Carte tectonique du champ de Hassi Tarfa	13
<b>Fig 05</b> : L'intelligence artificielle	16
<b>Fig 06</b> : La structure d'un neurone biologique (Schéma d'un neurone)	21
<b>Fig 07</b> : Les différentes géométries des neurones	22
<b>Fig 08</b> : Schéma représente L'architecture du modèle optimale MLP	23
<b>Fig 09</b> : Présentation des carottes des puits	24
<b>Fig 10</b> : Enregistrements des (Total gamma ray) et(spectral gamma ray )pour le trou. HCGR=computed gamma ray, HSGR = total spectral gamma ray	25
<b>Fig 11</b> : La diaggraphie sonique dipolaire à travers le sable du réservoir, montre un fort contraste en onde de cisaillement	27
<b>Fig 12</b> : Représentation géométrique des données	31
<b>Fig 13</b> : Organigramme explicatif des étapes suivies pour estimer la porosité par quelques méthodes d'intelligence artificielles	32
<b>Fig 14</b> : Cross plots de la porosité avec les différents paramètres	36
<b>Fig 15</b> : Cercle de corrélations de l'ACP sur l'ensemble de données des puits	37
<b>Fig 16</b> : Comparaison graphique enter la porosité réel et la porosité calculer par Régression linière multiple	38
<b>Fig 17</b> : Graphe représente la régression linière multiple	39
<b>Fig 18</b> : Comparaison graphique enter la porosité réel et la porosité calculer par Régression linière multiple avec algorithme génétique	40
<b>Fig 19</b> : Graphe représente régression linière multiple avec algorithme génétique	41
<b>Fig 20</b> : Architecture de réseau de neurone approprié pour estimer la porosité	42
<b>Fig 21</b> : Comparaison graphique enter la porosité réelle et la porosité calculer par réseau neurone	42
<b>Fig 22</b> : Comparaison entre RLM, RLM_AG, ANN	43

## Liste de tableau

Tableau	Page
<b>Tab 01</b> : Statistique des donnes diagraphies et pétro physique	34
<b>Tab 02</b> : Matrice de corrélation et les enregistrements diagraphique avec les données pétro physiques	35
<b>Tab 03</b> : Paramètres du modèle de (RLM)	39
<b>Tab 04</b> : Paramètres du modèle de (AG-RLM)	40
<b>Tab 05</b> : Critères de performance de la porosité pour chaque méthode	43

## Liste d'abréviations

<b>HTF</b>	Hassi Tarfa
<b>IA</b>	Intelligence artificielle
<b>CNIL</b>	Commission national de l'informatique et des libertés de France
<b>AG</b>	Algorithme génétique
<b>RLM</b>	Régression linéaire multiple
<b>ANN</b>	Réseaux de neurones artificiels
<b>ACP</b>	Analyse en composantes principales
<b>GR</b>	Gamma ray
<b><math>n\varphi</math></b>	Porosité neurones
<b>R<sup>2</sup></b>	Coefficient de détermination
<b>RMSE</b>	Erreur Quadratique moyenne
<b>MAE</b>	Erreur absolut moyenne
<b>POR COR</b>	Porosité
<b>DEPTH</b>	Profondeur
<b>CALI</b>	Clipper
<b>DT</b>	Temps de transition
<b>NPHD</b>	neutron
<b>POTA</b>	Potassium
<b>RT10, RT20 ,RT30 ,RT60</b>	Résistivité
<b>RT90</b>	
<b>THOR</b>	thorium
<b>URAN</b>	Uranium
<b>QSAR</b>	Quantitative Structure-activity relationship
<b>CC</b>	Coefficient de corrélation

---

*INTRODUCTION GENERALE*

---

### Introduction Générale

L'importance économique des hydrocarbures dans la région de Hassi Tarfa (HTF) exige de chercher toujours à améliorer les méthodes et les outils avec lesquelles on pour exploiter au maximum ses réserves Afin de, premièrement participer au développement économique du pays ; deuxièmement répondre à la demande mondiale croissante de l'énergie dans un contexte d'économie de concurrence frénétique.

Dans le domaine des hydrocarbures, la course vers l'utilisation de nouvelles techniques de prospection, de caractérisation, et d'exploitation ne cesse d'accroître dans le but d'améliorer la productivité.

Il est indispensable de connaître l'histoire génétique du réservoir et les événements géologiques, ainsi que leur chronologie qui affectent ce réservoir, ces connaissances permettent de cerner au mieux les caractéristiques du réservoir et de déterminer leurs impacts sur la productivité et la rentabilité, cela permettra une meilleure optimisation de l'exploitation et donc minimiser les pertes en termes de temps et argent.

Il est clair que le meilleur moyen pour une bonne caractérisation et évaluation des réservoirs pétroliers sont les mesures directes sur les carottes ; cependant la récupération de ses derniers n'est pas toujours intégrale, à cause des problèmes techniques et géologiques rencontrés surtout lors de l'opération du carottage et sa limitation en considérant le nombre des puits carottés dans le champ.

Il s'agit de la capacité de stockage des hydrocarbures et de la transmissibilité des fluides (porosité), ce paramètre est jusqu'à ce jour, mesuré directement sur les carottes qui constituent le meilleur moyen pour avoir des données fiables.

Une autre alternative représentée par prédiction où diverses techniques et formules empiriques ont été suggérées dans la littérature pour la prédiction de ses propriétés à savoir à partir des diagraphies de puits, mais elles restent limitées et peuvent entraîner des incertitudes très élevées impliquant des fausses évaluations des réserves en place, soit par une sous-estimation ou surestimation et par conséquent, cela va influencer sur l'aspect économique lié à l'investissement et le développement du gisement.

Au cours des deux dernières décennies, les techniques de l'intelligence artificielle telles les génétiques algorithmes sont devenus des outils de plus en plus puissants, et ils font une

révolution dans l'ingénierie de pétrole et de gaz, par ses capacités de résoudre les problèmes complexes survenant pendant les mesures.

L'objectif de mémoire de fin d'étude se focalise essentiellement sur la l'estimation de la porosité manquante, en utilisant plusieurs techniques de l'intelligence artificielle (*les réseaux de neurones artificiels, régression linéaire multiple, les algorithmes génétiques,*).

Le principe repose sur une transformation des données aux informations et les informations en connaissances pour une bonne évaluation de notre réservoir.

Ces techniques vont employer les diagraphies de puits pour pallier le manque d'information, dans le réservoir du Quartzite El-Hamra champ de champ de Hessi Tarfa du bassin de Oued M'ya. Ce dernier est un réservoir de type fluvatile très hétérogène et renferme des quantités importantes des hydrocarbures.

Cette mémoire est composée de trois chapitres qui sont organisés de la façon suivante :

**1 er chapitre :** Ce chapitre contient une courte description de Hassi Messaoud, une présentation du champ de Hassi Tarfa (HTF), ainsi que l'historique de la découverte, l'architecture géologique, les caractéristiques du champ, aspect structural, etc.).

**2 ème chapitre :** Ce chapitre est consacré à des généralités sur des notions et définitions liées au thème, des explications des méthodes d'analyse que nous avons utilisées, enfin la description des différents instruments et appareillages de mesurage et les protocoles de mesure. A la fin, les logiciels de calcul et d'analyse ont été cités.

**3 ème chapitre :** Résultats et Discussion comporte une analyse quantitative (analyse statistique sur les résultats de prédiction), et une comparaison entre les résultats des trois méthodes et voir quelle est la plus performante.

Finalement, Ce travail s'achève par une conclusion générale présentant les principaux résultats obtenus et une discussion portant sur les perspectives d'étude et recommander la meilleure méthode qui donne les meilleurs résultats.

---

*Chapitre I*

*Géologie Régionale et Locale  
de la zone d'étude*

---

---

## Introduction

L'importance économique des hydrocarbures dans la région de Hassi Tarfa (HTF) exige de chercher toujours à améliorer les méthodes et les outils avec lesquelles on pourra exploiter au maximum ses réserves. Afin de, premièrement participer au développement économique du pays; deuxièmement répondre à la demande mondiale croissante de l'énergie dans un contexte d'économie de concurrence frénétique.

### I.1 Présentation de Hassi Messaoud

#### I.1.1 Situation géographique du champ de Hassi Messaoud

Le champ d'exploration et d'exploitation de Hassi Messaoud est situé à 650 km au Sud-Est d'Alger, 350 km de la frontière Algéro-tunisienne, et à 85 km au Sud-Est du chef lieu de la Wilaya d'Ouargla.

Entre les parallèles (Nord): 31°30' et 32°00' et les méridiens (Est): 5°40' et 6°20'.

Sa localisation en coordonnées Lambert est la suivante : X= 790.000 - 840.000 Est, et Y=110.000 - 150.000 Nord.

Le gisement Hassi Messaoud occupe la partie centrale de la province triasique sur une surface d'aire d'environ 2200 km<sup>2</sup> .

Actuellement, cette zone pétrolière est considérée comme la plus riche de l'Algérie .

#### I.1.2 Cadre géologique de Hassi Messaoud

Le môle de Hassi Messaoud est le résultat d'une histoire paléotectonique assez compliquée, c'est le prolongement de la dorsale d'Amguid El Biod de plus de 800 km de long. Sa structure fait partie d'un ensemble de structures formant la province triasique Nord Orientale limitée au :

Nord par la structure D'jamaâ -Touggourt; à l'Est, par la dépression de Ghadamès; à l'Ouest, par la dépression de Oued Mya, au Sud, par le horst d'Amguid.

Selon les résultats des premiers travaux de Bouchon et al , et de Boudjemaa, qui retracent l'apport de la sismique réfraction à la reconnaissance géologique régionale .

Mise en évidence deux hauts fonds de Hassi R'mel et Hassi Massoud; et part la suite en; utilisant des données précises de stratigraphie et de faciès , elle permet l'établissement des cartes structurales (gisement de Hassi Messaoud).

Les résultats de forage et de sismique réfraction révèlent l'individualisation d'un bassin Siluro-Dévonien dans la région occidentale et des bassins secondaires comportant une épaisse



série salifère dans la partie orientale. Entre ces deux provinces, apparait une zone centrale, qui semble être demeurée constamment en position haute,

Tant au cours du primaire que du secondaire. L'esquisse paléogéographique donnée par en relief deux traits structuraux importants sur lesquels se situent le gisement de Hassi R'mel et le gisement de Hassi Messaoud (Axe haut régional de direction NNE-SSW).

Aujourd'hui, le gisement de Hassi Messaoud est qualifié par les experts comme l'un des plus grands du monde, et le plus prospecté de la plate forme Saharienne. Il est limité :

Au Nord-Ouest par les gisements de Ouargla (Gellala, Ben Kahla et Houd Berkaoui ).

Au Sud-Ouest par les gisements d'El-Gassi, Zotti et El Agreb.

Au Sud-Est par les gisements Rhoude El Baguel et Mesdar.

À l'Est par le gisement de Ghadames.

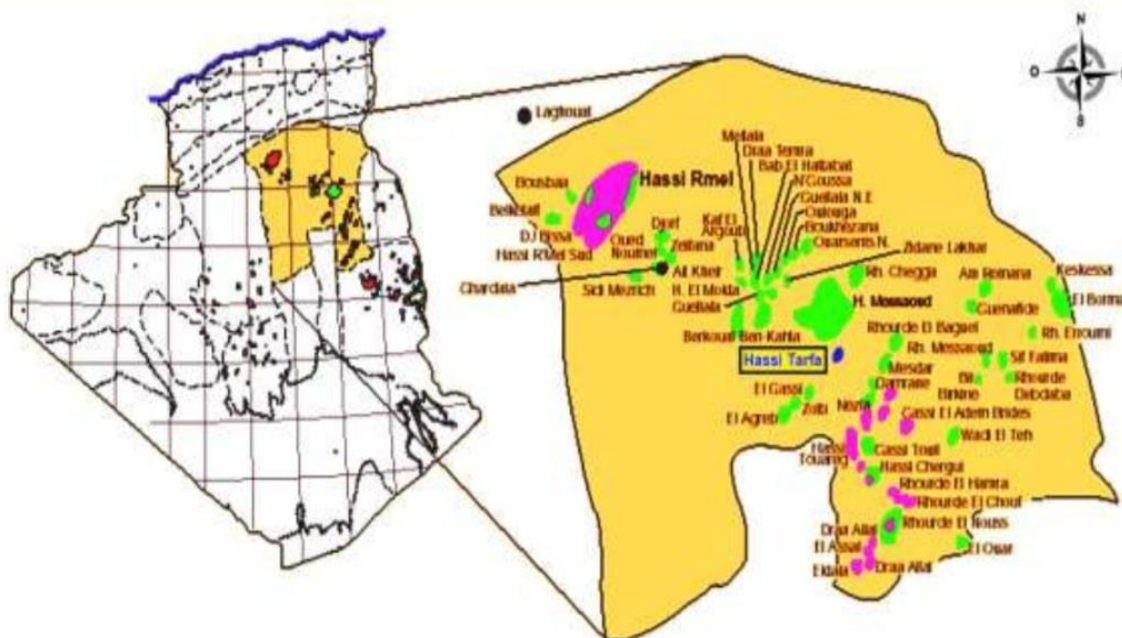
**Géologiquement**, il est limité:

A l'Ouest par la dépression d'Oued M' ya.

Au Sud par le môle d'Amguid El Biod.

Au Nord par la structure Djamaa-Touggourt.

À l'Est par les hauts fonds de Dahar, Rhoude El Baguel et la dépression de Ghadames.



**Figure 1** : situation géographique de hassi Messaoud et Hassi tarfa

---

## I.2 Présentation du Champ de Hassi Tarfa

### I.2.1 Situation Géographique du Champ de Hassi Tarfa

Le champ de Hassi Tarfa est un champ périphérique de Hassi Messaoud. Il correspond à une structure satellite qui s'étend vers le sud, se trouvant dans le bloc n° 427 et occupant globalement la partie de transition du permis de Hassi-Dzabat et le champ de Hassi Messaoud.

Il a pour coordonnées Lambert (LSA) :

X = [790.000 - 840.000] Est

Y = [110.000 - 150.000] Nord

La structure de Hassi Tarfa est située dans la province triasique, au sud du gisement de Hassi Messaoud sur la bordure de trend El Gassi- El Agreb-Hassi Messaoud.

### I.3 Historique de l'Exploration dans le champ de Hassi Tarfa

Le bassin d'Oued Mya est l'une des régions les plus productives d'Algérie avec les gisements de Haoud Berkaoui, Berkaoui – Benkahla, Guellala, Kef El Agroub, Drâa Et Tamra, et Boukhezane.

Hassi Tarfa c'est une structure récemment découverte. Elle est en phase d'exploitation avec quelques puits de production.

Le premier puits (HTF-1) a été foré en septembre 1999, situé entre les gisements de Hassi Messaoud, El Agreb Zotti et, El Gassi qui sont productifs d'huile dans le Cambrien.

L'objectif primaire de ce puits était l'évaluation du Cambrien (Ri et Ra).

Les Quartzites de Hamra constituaient un objectif secondaire.

Le forage des réservoirs Ri et Ra se sont avérés aquifères, par contre les Quartzites de Hamra se sont avérés à huile.

Les puits HTFN-1 et HTF-2 ont été forés en 2001 dans le but de la délimitation de la structure.

Ces puits avaient pour but l'évaluation des Quartzites de Hamra productifs dans le puits HTF1.

En septembre 2001 le puits HTF-3 a été foré dans le but de :

- Evaluer les Quartzites de Hamra.
- Tester leur potentialité dans les limites de la fermeture structurale.
- Délimiter l'extension du réservoir ordovicien dans cette structure.
- Confirmer le volume des réserves prouvées sur le compartiment Est de la structure.

En mai 2005 le puits HTF-4 a été réalisé avec l’objectif d’évaluer des Quartzites de Hamra et les grès cambriens des niveaux Ri et Ra .

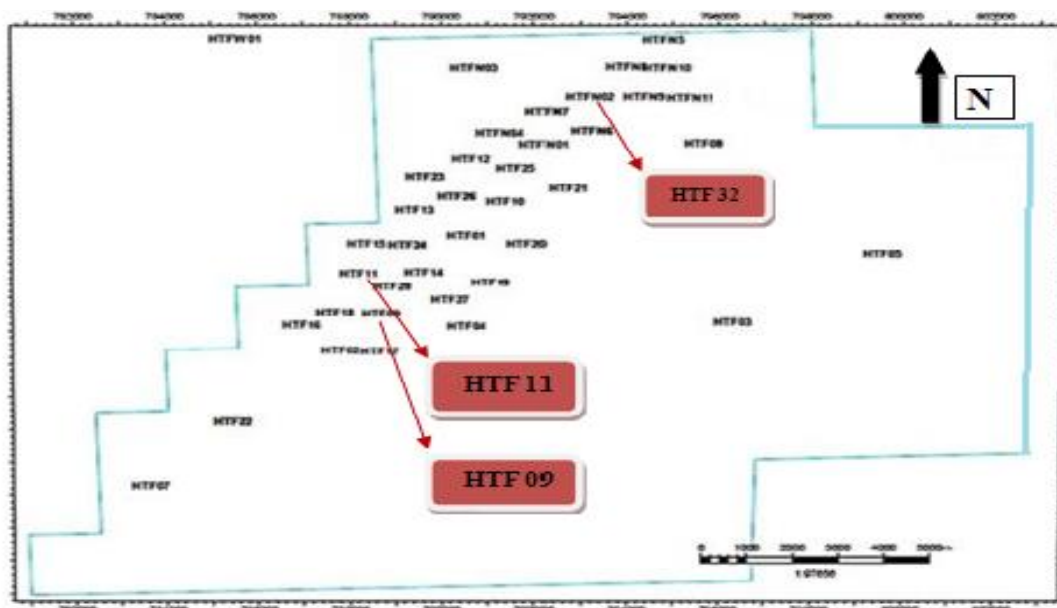


Figure 2 : Emplacement des puits sur le champs de hassi Tarfa

#### I.4 Aspect Stratigraphique de Hassi Tarfa

La série stratigraphique de la région de Hassi Tarfa est essentiellement composée des dépôts Mésozoïques avec 3118 m d’épaisseur, reposant en discordance sur le Paléozoïque qui a 407 m d’épaisseur.

Enfin, un faible épandage détritique d’âge tertiaire de 300 m repose en discontinuité sur le Mésozoïque .

##### I.4.1 Paléozoïque

La tranche détritique reconnue par les sondages est constituée par les formations cambro-ordoviciennes.

Elles sont prédominées par de grands épandages régionaux de roches détritiques grossière sayant progradé à partir du sud vers le nord en discordance sur un socle hétérogène affecté par laphase panafricaine.

Ces formations sont surmontées par d’épaisses séries d’argile et grès issues des grandes périodes de transgression-régression marine à partir du nord, le Cambro-ordovicien connaît sporadiquement des épisodes volcaniques sans grande extension latérale.

##### I.4.2 Mésozoïque

Les roches détritiques argilo gréseuses datés du Trias supérieur débutent la séquence sédimentaire mésozoïque en discordance angulaire sur les termes paléozoïques. Sur l'ensemble de la partie Nord ces dépôts correspondent à une période de lente régression marine à partir de l'Est.

Tout ce territoire est marqué par une influence continentale avec installation d'un régime fluvial, à la suite de cette période de dépôts détritiques une autre période de dépôts évaporitiques de Trias terminal est relayée au Lias.

### **I.4.3 Cénozoïque**

Durant le Tertiaire les dépôts de type plateforme épicontinentale et lagunaire persisteront durant le Paléocène et l'Eocène; cette période est caractérisée par l'orogénèse alpine et ses phases compressives.

## **I.5 Description Lithologique et Commentaire Stratigraphique**

La description lithologique a été faite à l'aide des fiches techniques de différents puits dans le champ de Hassi Tarfa.

### **I.5.1 Paléozoïque**

#### **I.5.1.1 Cambrien**

Le cambrien est représenté par les trois niveaux Ra, Ri, R2, R3 et zone d'alternance.

##### **I.5.1.1.1 Cambrien Ri**

Il est formé de grés blanc, fin à moyen, silico-quartzitique à quartzitique, compact, pyriteux, avec de fines passées d'argile grise à gris-noir, indurée, silteuse, micacée. Abondance de tigillites et de fissures fermées, horizontales à subhorizontales.

Son faciès hétérogène à stratification horizontale et rarement entrecroisé nettement visible sur les carottes; cette succession d'origine continentale est caractéristique des séquences fluviales; le gradient d'épaississement étant constant. La mesure au puits (HTF-1) montre une valeur de 49m.

##### **I.5.1.1.2 Cambrien Ra**

Ce sont des grés blancs, moyens à grossiers, parfois très grossiers, silico-quartzitiques à quartzitiques, compacts, durs, localement pyriteux, avec rares passées d'argile grise à gris noir, silteuse, micacée et indurée. Son faciès est homogène à stratification subhorizontale appartenant à un milieu marin côtier peu profond.

### **I.5.1.1.3 Cambrien R2**

Grès moyens à grossiers micacées, mal classés, micro conglomératique quartzitique à ciment argileux assez abondant et admettant des intercalations de silt.

### **I.5.1.1.4 Cambrien R3**

Ce sont des grès blanc moyen à très grossiers, micro conglomératique à la base, à ciment argileux abondant admettant des passées de grès ferrugineux et d'argile silteuse.

## **I.5.1.2 Ordovicien**

Il est décapé par la phase hercynienne jusqu'au niveau de grés d'Ouargla; l'Ordovicien est représenté par les quatre termes.

### **I.5.1.2.1 Zone des alternances**

C'est une alternance d'argile gris noir à noir, silteuse, micacée, indurée et des grés gris-blanc, fin à moyen, siliceux, moyennement consolidé passant parfois à des siltstones gris-blanc.

Cette formation isopaque présente des stratifications obliques parfois horizontales et des niveaux à nombreuse de tigillites, elle est caractéristique d'un milieu marin à influence continentale, cette zone ne présente pas des changements latéraux de faciès dans la région.

### **I.5.1.2.2 Argiles d'El Gassi**

Cette unité lithostratigraphique est constituée d'argile gris à gris foncé, induré, silteuse, micacée, avec niveaux de grés gris-blanc, siliceux à silico-quartzitique, rarement gris verdâtre à gris sombre, fin à très fin, argileux, mal consolidé et glauconieux, présence de roche éruptive, brun à brun rouge, parfois gris verdâtre.

C'est ensemble homogène, la puissance argilo-silteuse montre que la sédimentation s'est faite dans un milieu marin transgressif.

### **I.5.1.2.3 Grés d'El Atchane**

Ils sont composés de grés gris blanc et gris sombre, fin à moyen, silico-quartzitique, compact, bien consolidé, passant à des quartzites compacts, bien consolidés, glauconieux, localement bitumineux, avec intercalation d'argile gris foncé, indurée, silteuse et légèrement micacée.

Ils présentent des stratifications obliques à subhorizontales et de nombreux galets d'argile traduisant un milieu marin côtier.

#### **I.5.1.2.4 Quartzites d'El Hamra**

Les Quartzites de Hamra sont constituées de grés gris blanc à blanc, localement gris noir, fin à moyen parfois grossier, silico-quartzitique compact, dur, passant par endroit à des quartzites, localement bitumineux, glauconieux, avec passée d'argile gris foncé, indurée, silteuse, micacée; abondance de Tigillites et fissures remplies de pyrite; présence de fractures remplies de roches détritiques.

Passée d'argile, brun foncé et gris noir, parfois gris vert, indurée, silteuse, micacée, inclusion de galets d'argile gris vert.

Ils sont remarquables en surface par leur morphologie massive et des structures sédimentaires mal conservées.

La fissuration intense est le caractère typique de cette couche dont l'origine est un environnement côtier avec rares fluctuation marines, les Quartzites de Hamra ne présentent pas de variations de faciès dans la région. L'épaisseur est relativement constante autour de 126m .

#### **I.5.1.2.5 Grés d'Ouargla**

Ils sont composés de grés blanc à blanc beige très fin à fin, parfois fin à moyen, silico-quartzitique, moucheté de pyrite, compact, dur; passée d'argile gris à noire, silteuse, indurée.

Niveau de roche éruptive brunâtre et gris –sombre à la base.

### **I.5.2 Mésozoïque**

Il est représenté par le Trias, le Jurassique et le Crétacé.

#### **I.5.2.1 Trias**

Il est peu développé dans la région ou décapé par la phase hercynienne, il est représenté uniquement par les roches éruptives et la Série Inférieure. Son environnement est un milieu fluvial à méandre.

##### **I.5.2.1.1 Trias « Roches éruptives »**

Il est constitué de roches éruptives, gris brun et gris vert, avec abondance de minéraux verts, intercalation d'argile brun rouge à brun rarement gris verts, fortement silteuses.

##### **I.5.2.1.2 Trias « Argileux »**

Il est constitué d'argile plus ou moins silteuses, brun-rouges à bariolés, dolomitique et anhydritique et parfois salifère.

### **I.5.2.2 Jurassique**

L'individualisation d'un milieu évaporitique initié au cours du Lias argileux comme en témoignent les niveaux de sel dans le terme inférieur se poursuit pendant le Jurassique

Une grande subsidence durant le Lias montre d'épaisses séries salifères qu'accompagnent des ouvertures sporadiques sur la mer.

#### **I.5.2.2.1 Le Lias**

Il est constitué de calcaire gris blanc, localement gris verdâtre, microcristallin, moyennement dur, avec passées d'argile gris vert, gris, brun à brun rouge, silteuse, tendre à indurée, carbonatée.

Niveau d'anhydrite blanche, massive et dur vers la base.

#### **I.5.2.2.2 Le Dogger**

Il est formé d'anhydrite blanche, microcristalline, massive, dur, avec passée d'argile brun rouge, grise à gris-vert, indurée silteuse, légèrement carbonatée, et de dolomie calcaire beige, gris blanc à gris-verdâtre, microcristalline, argileuse, moyennement dure.

#### **I.5.2.2.3 Malm**

Il est constitué d'argile brun rouge et verte, parfois gris, indurée, tendre, silteuse, niveau degrés blanc à gris blanc, fin à très fin, argileux, moyennement consolidé à friable.

Passées de dolomie à dolomie calcaire gris clair gris beige, microcristalline, moyennement dure et d'anhydrite blanche, pulvérulente, trace de lignite.

### **I.5.2.3 Crétacé**

Il est représenté par :

#### **I.5.2.3.1 Néocomien**

Il est constitué d'argile gris vert et brun rouge, indurée, silteuse à silto-sableuse. Passée degrés gris clair à gris vert, parfois brun, fin, argileux, friable. Passée de dolomie grise beige, microcristalline, moyennement dure, présence d'anhydrite blanche pulvérulente.

#### **I.5.2.3.2 Barrémien**

---

Il est constitué de grés gris-vert et brun, fin à très fin, friable, argileux, avec passée de sableblanc, translucide, moyen à grossier subarrondi à subanguleux et d'argile, brun et gris-vert, silto-sableuse, rares fines passées de dolomie blanche microcristalline, dure.

#### **I.5.2.3.3 Aptien**

Il est constitué de dolomie calcaire blanche à beige, microcristalline, moyennement dure, présence d'argile gris tendre parfois carbonatée.

#### **I.5.2.3.4 Albien**

Il est constitué de grés gris blanc à blanc, rarement brun, fin à très fin, argileux, moyennement consolidé à friable, d'argile gris à gris verdâtre, brun, indurée, silteuse, passée de dolomie blanche à beige, microcristalline, moyennement dure à dure, et de traces de pyrite.

#### **I.5.2.3.5 Cénomanién**

C'est de l'argile grise à gris verdâtre et brun à brun rouge, tendre à indurée, carbonatée. Intercalation d'anhydrite blanche pulvérulente, rarement cristalline, passée de dolomie beige à gris beige, microcristalline, parfois argileuse dure moyennement dure, et de calcaire gris moyennement dur.

#### **I.5.2.3.6 Turonien**

Il est constitué de Calcaire blanc, tendre, crayeux, rarement brunâtre à gris brun, tendre argileux à la base.

#### **I.5.2.3.7 Sénonien**

##### **I.5.2.3.7.a Sénonien salifère**

Il est constitué par du sel blanc et rosâtre translucide, massif, avec fines passées d'argile gris verdâtre brun rouge, légèrement carbonaté. Niveau d'anhydrite blanche, parfois grise, pulvérulente, rares passées de dolomie beige à gris beige.

##### **I.5.2.3.7.b Sénonien anhydritique**

C'est une alternance d'anhydrite blanche pulvérulente, et grise, cristalline, dure et de dolomie beige à gris beige microcristalline dure, localement argileuse tendre à indurée, carbonatée.

Intercalation d'argile grise à grise sombre, indurée, dolomitique.

##### **I.5.2.3.7.c Sénonien carbonaté**



Il est constitué par la dolomie grise, microcristalline à cristalline, vacuolaire, saccharoïde passant par endroit à des calcaires dolomitiques gris-blanc à blanc, argileux. Passée d'argile gris à gris foncé, indurée, carbonatée, niveau d'anhydrite blanche pulvérulente et grise, cristalline, dure.

### **I.5.3 Cénozoïque**

Il est représenté par l'Eocène et le Mio-Pliocène :

#### **I.5.3.1 Paléogène**

##### **I.5.3.1.1 Eocène**

C'est un calcaire blanc, crayeux, tendre, avec inclusion de silex. Passée de dolomie blanche, microcristalline, dure, vacuolaire, passant par endroit à une dolomie calcaire, dure, fine, passée d'argile grise.

#### **I.5.3.2 Néogène**

##### **I.5.3.2.1 Mio-Pliocène**

C'est un sable blanc, parfois jaunâtre; translucide, moyen à grossier, subarondi à subanguleux avec passée de dolomie beige. Niveaux de calcaire, blanc gréseux, moyennement dur et de gy pse blanc, fibreux, translucide.

Ere	Système	Série	Étage	Ép.(m)	Stratigraphie	Lithologie
<b>CENOZOÏQUE</b>	<b>NÉOGÈNE</b>	<b>Mio-Plio</b>		<b>178</b>		<b>Sable, Grès et Argile</b>
	<b>PALÉOÈNE</b>	<b>Eocène</b>		<b>123</b>		<b>Calcaire crayeux</b>
<b>MESOZOÏQUE</b>	<b>CRÉTACÉ</b>	<b>SENONIEN</b>	<b>Carbonaté</b>	<b>180</b>		<b>Calcaire et Dolomie</b>
			<b>Anhydritique</b>	<b>217</b>		<b>Anhydrites, calcaire blanc et Dolomie</b>
			<b>Salifère</b>	<b>134</b>		<b>Sel massif incolore à blanc</b>
			<b>Turonien</b>	<b>116</b>		<b>Calcaire crayeux</b>
		<b>Cénomanién</b>	<b>179</b>		<b>Anhydrite, Dolomie, parfois Argile Grise</b>	
		<b>Albien</b>	<b>300</b>		<b>Grès Fin à Moyen et intercalation d'Argile Brun Rouge et de Sable Grossier à la base</b>	
		<b>Aptien</b>	<b>27</b>		<b>Dolomie et Marnes</b>	
		<b>Barremien</b>	<b>260</b>		<b>Grès, Argile silto-sableuse, et Dolomie</b>	
	<b>Néocomien</b>	<b>208</b>		<b>Argile carbonatée avec passées de Grès</b>		
	<b>JURASSIQUE</b>	<b>MALM (Late Jurassic )</b>		<b>229</b>		<b>Argile Silteuse à intercalation de Dolomie de Calcaire et Marnes</b>
		<b>DOGGER</b>	<b>Argileux</b>	<b>77</b>		<b>Argile indurée, Dolomie, Grès et Anhydrite</b>
			<b>Lagunaire</b>	<b>244</b>		<b>Anhydrite et Dolomie, passées d'Argile Silteuse</b>
		<b>LIAS</b>	<b>LD-1</b>	<b>38</b>		<b>Anhydrite et Argile</b>
			<b>LS-1</b>	<b>226</b>		<b>Sel et Argile</b>
			<b>LD-2</b>	<b>55</b>		<b>Anhydrite et Argile</b>
			<b>LS-2</b>	<b>59</b>		<b>Sel et Argile</b>
		<b>H.B: horizon B</b>	<b>28</b>		<b>Argile et Dolomie</b>	
<b>TRIAS</b>		<b>TS1</b>	<b>12</b>		<b>Anhydrite Intercalé d'Argile Dolomitique</b>	
		<b>TS2</b>	<b>159</b>		<b>Sel rose Massif, avec passées d'Argile indurée et Anhydrite</b>	
	<b>TS3</b>	<b>195</b>		<b>Sel rose Massif à la base, avec passées d'Argile</b>		
	<b>Argileux</b>	<b>96</b>		<b>Argile silteuse (Brun Rouge) parfois Salifère</b>		
	<b>Roches éruptives</b>	<b>68</b>		<b>Roches Éruptives</b>		
<b>DISCORDANCE HERCYNIE</b>						
<b>PALEOZOÏQUE</b>	<b>ORDOVICIEN</b>	<b>Grès de Ouargla</b>	<b>50</b>		<b>Argile silteuse avec des passées de Grès</b>	
		<b>Quartzites de Hamra</b>	<b>126</b>		<b>Grès Quartzites à Quartzite</b>	
		<b>Grès d'El Atchane</b>	<b>25</b>		<b>Grès (glauconieux) Gris Clair + Argile</b>	
		<b>Argile d'El Gassi</b>	<b>100</b>		<b>Argile Gris sombre</b>	
		<b>ZA: zone d'alternances</b>	<b>29</b>		<b>Argile et Grès</b>	
	<b>CAMBRIEN</b>	<b>Camb "R1"</b>	<b>49</b>		<b>Grès gris beige fin à moyen, Tigite</b>	
		<b>Camb "Ra"</b>	<b>120</b>		<b>Grès blanc beige (moyen à grossier)</b>	
		<b>Camb "R2"</b>	<b>100</b>		<b>Grès micro-conglomératique</b>	
		<b>Camb "R3"</b>	<b>376</b>		<b>Grès grossier, conglomératique</b>	
	<b>INFRA-CAMBRIEN</b>	<b>45</b>		<b>Grès Argileux rouge</b>		
<b>SOCLE</b>			<b>Granite porphyroïde rose</b>			

Figure 3 : colonne lithologique type de la région Hassi Tarfa (Dp , Exp / SONATRACH)

## II.6 Tectonique du champ de Hassi Tafra

La structure du champ de Hassi Messaoud se présente comme un vaste dôme anticlinal aplati, de direction générale Nord-Est – Sud-Ouest.

Les accidents affectant le réservoir sont de deux types :

- Les failles de directions subméridiennes Nord-Nord-Est – Sud-Sud-Ouest ainsi que d'autres failles qui leurs sont perpendiculaires de direction Nord-Ouest – Sud-Est, ceci fait ressortir le caractère tectonique en Horst et Graben.
- Les cassures sans rejets qui ont eu un grand effet sur la fracturation du réservoir.

### II.6.1 Structuration du champ de Hassi-Messaoud

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

#### II.6.1.1 Structuration anté-Triasique

- **Phase panafricaine**

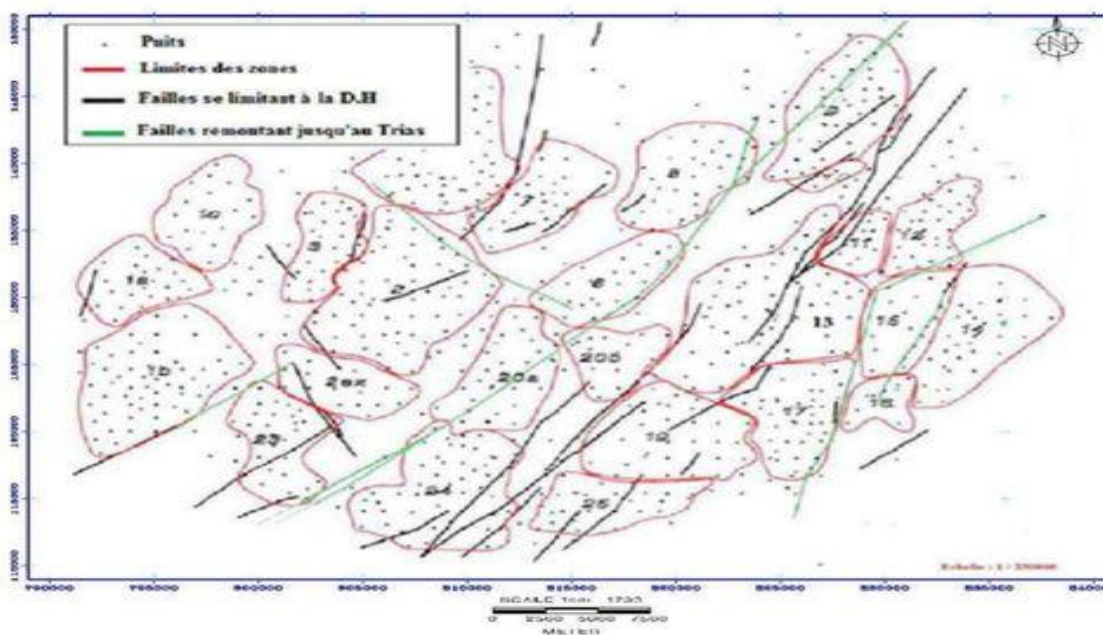
C'est une phase compressive de direction Est – Ouest, due a une collision continentale entre le craton West africain rigide et le bloc Est Africain plastique ( Bertrand et R.Caby 1978), provoquant une tectonique cassante, représentée par un réseau de failles de directions Nord-Est – Sud-Ouest, Nord-Ouest – Sud-Est suivie d'une érosion intense qui s'est installée jusqu'au Cambrien conduisant à la formation d'une surface de pédiplanation appelée surface infra-tassilienne. Cette pédiplaine marque le début d'une histoire cratonique du Sahara. Des mouvements distensifs de directions Nord-Ouest–Sud-Est interviennent au Cambro-Ordovicien; qui sont à l'origine de l'étirement de la croûte continentale suivie d'une subsidence tectonique et plus tard thermique ,cette distension provoque un jeu de faille normales (Nord-Est – Sud-Ouest ) préexistant dans le socle accompagnée de volcanisme .

- **Phase Eo-Calédonnienne précoce ou phase Anté-tramadocienne**

Datée d'environ 500 millions d'années, cette phase est marquée par la transgressivité des grés isométriques (Ri) connus sur les flancs du champ, après la mise en place du dépôt du réservoir (Ra) Une structure Tardi-Cambrienne s'est produite avec érosion et failles s'établissant déjà suivant une direction Nord-Est – Sud-Ouest et accompagnée de volcanisme.

- **Phase calédonienne**

Datée d'environ de 400 millions d'années, cette phase est régionalement connue par l'absence de sédiments de Dévonien et du Carbonifère dans toute la surface du haut fond d'El Biod.



**Figure 4** : Carte tectonique du champ de Hassi Tarfa

---

**Conclusion**

La région de Hassi Tarfa est située dans le grand oriental du Sahara algérienne, la série stratigraphique de cette région est essentiellement composée de dépôts Mésozoïques avec 3118 m d'épaisseur, reposant en discordance sur le Paléozoïque qui à 407 m d'épaisseur, un faible épandage détritique d'âge tertiaire de 300 m repose en discontinuité sur le Mésozoïque. Le champ de Hassi Tarfa est située au sud du gisement de Hassi Messaoud sur la bordure de trend El Gassi- El Agreb-Hassi Messaoud .

La région de Hassi Tarfa est caractérisé par un réservoir combro-ordovicien de la formation de quartzite el Hamra quelle est très compacte, ou la déformation cassante est dominante.

Le champ de Hassi Tarfa est connu par des problèmes de la récupération des carottes à cause des problèmes géologiques et techniques rencontrés durant l'opération de carottage, ce qui résulte des lacunes des informations faciologique et pétrophysique (porosité).

---

*Chapitre II*

***MATERIEL ET METHODES***

---

---

**Introduction**

La compagnie nationale SONATRACH a fait de nombreuses études géologiques et géophysiques sur différents bassins notamment celui d'Amguid-Hassi Messaoud, en particulier le réservoir ordovicien (Quartzite d'El Hamra). Plusieurs sociétés étrangères telles que Schlumberger, et Anadarko participent dans ce travail d'investigation. Le plan d'action de la SONATRACH repose sur deux approches, « approche régionale » et « approche locale ». Ces études permettent d'orienter les travaux de prospection, déduire la qualité du réservoir, et de quantifier sa capacité, comme elles aident à l'optimisation « temps-outils-coûts-ergonomie ». Dans ce chapitre, nous allons décrire le matériel et l'appareillages utilisés pour déterminer certains paramètres pétrophysiques.

**1. Objectif de la zone d'étude**

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à l'investigation d'un certain nombre de puits, situés dans le champ de Hassi Tarfa. Le but de cette étude pétrophysique est d'une part, l'évaluation qualitative et quantitative des paramètres pétrophysiques, à savoir, la porosité, la perméabilité, la densité de grains, le degré de saturation ; d'autre part, étudier la distribution de chacun de ces paramètres dans l'espace, et en déduire la corrélation entre eux.

Grâce à l'analyse par la macrophotographie à la lumière blanche, il est possible de faire une description stratigraphique et lithographique de la zone étudiée. Par cette approche, les carottes prélevées des puits, sont prises en photo de manière rigoureuse avec une grande définition.

**2. Généralité sur l'intelligence artificielle****2.1. L'intelligence artificielle (IA)**

Est l'ensemble des théories et des techniques mises en œuvre en vue de réaliser des machines capables de simuler l'intelligence humaine. Elle correspond donc à un ensemble de concepts et de technologies plus qu'à une discipline autonome constituée.

Certaines instances, notamment la CNIL, relevant le peu de précision dans la définition de l'IA, introduisent ce sujet comme le grand mythe de notre temps.

Souvent classée dans le groupe des sciences cognitives, elle fait appel à la neurobiologie computationnelle (particulièrement aux réseaux neuronaux), à la logique mathématique (partie des mathématiques et de la philosophie) et à l'information. Elle recherche des méthodes de résolution de problèmes à forte complexité logique ou algorithmique. Par extension elle désigne, dans le langage courant, les dispositifs imitant ou remplaçant l'homme dans certaines mises en œuvre de ses fonctions cognitives.

Ses finalités et son développement suscitent, depuis toujours, de nombreuses interprétations, fantasmes ou inquiétudes s'exprimant tant dans les récits ou films de science-fiction que dans les essais philosophiques. La réalité semble encore tenir l'intelligence artificielle loin des performances du vivant ; ainsi, l'IA reste encore bien inférieure au chat dans toutes ses aptitudes naturelles.

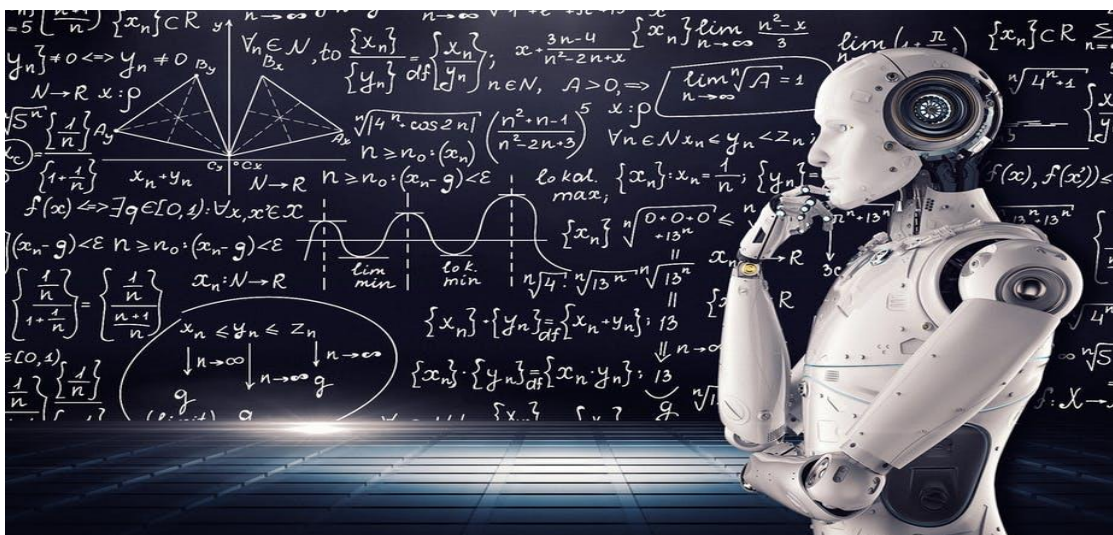


Figure 5 : l'intelligence artificielle

### 3. Historique de l'intelligence artificielle

Historiquement, l'idée d'intelligence artificielle semble émerger dans les années 1950 quand Alan Turing se demande si une machine peut « penser ».

Dans l'article *Computing Machinery and Intelligence*, Turing explore ce problème et propose une expérience (maintenant dite teste de Turing) visant à trouver à partir de quand une machine deviendrait consciente. Il développe ensuite cette idée dans plusieurs forums, dans la conférence « L'intelligence de la machine, une idée hérétique, dans la conférence qu'il donne à la BBC programme le 15 mai 1951 ou la discussion avec M.H.A. Newman, Sir Geoffrey Jefferson et R.B. Braithwaite les 14 et 23 janvier 1952 sur le thème « Les ordinateurs peuvent-ils penser ? ».

Une autre origine probable est la publication, en 1949, par Warren Weaver d'un mémorandum sur la traduction automatique des langues qui suggère qu'une machine puisse faire une tâche qui relève typiquement de l'intelligence humaine.



### 3.1. Intelligence artificielle forte

L'intelligence artificielle forte se définit comme un système d'intelligence artificielle visant à imiter le fonctionnement de l'intelligence humaine dans son ensemble et ayant la capacité de se questionner, d'analyser et de comprendre ses raisonnements et ses actions.

Elle se distingue de l'intelligence artificielle faible, plutôt conçue pour imiter une portion spécifique du fonctionnement de l'intelligence humaine, ce qui lui permet d'accomplir une tâche donnée, par exemple la résolution de problèmes, la reconnaissance vocale, la reconnaissance faciale, la conduite automatisent.

Pour l'instant, l'intelligence artificielle forte existe surtout comme modèle théorique toutes les IA actuellement produites sont dites « faibles ». L'IA faible disponible en 2019 prend des décisions en fonction de ce qu'il lui a été inculqué, de ce pour quoi elle a été programmée.

L'intelligence artificielle forte que l'on anticipe pour l'avenir est celle qui sera en mesure de prendre des décisions avec une conscience réelle et peut-être même des émotions.

### 3.2. Intelligence artificielle faible

La notion d'intelligence artificielle faible constitue une approche pragmatique d'ingénieur : chercher à construire des systèmes de plus en plus autonomes (pour réduire le coût de leur supervision), des algorithmes capables de résoudre des problèmes d'une certaine classe, etc. Mais, cette fois, la machine simule l'intelligence, elle semble agir comme si elle était intelligente. On en voit des exemples concrets avec les programmes conversationnels qui tentent de passer le test de Turing, comme ELIZA. Ces logiciels parviennent à imiter de façon grossière le comportement d'humains face à d'autres humains lors d'un dialogue.

Joseph Weizenbaum, créateur du programme ELIZA, met en garde le public dans son ouvrage *Computer Power and Human Reason* : si ces programmes semblent intelligents, ils ne le sont pas : ELIZA simule très grossièrement un psychologue en relevant immédiatement toute mention du père ou de la mère, en demandant des détails sur tel élément de phrase et en écrivant de temps en temps mais son auteur rappelle qu'il s'agit d'une simple mystification : le programme ne comprend en réalité rien.

## 4. Algorithme génétique



### 4.1. Concepts et principe des algorithmes génétiques

Dans son usage le plus général, les algorithmes génétiques font référence à une famille de modèles de calcul inspiré par l'évolution.

Ces algorithmes codent une solution potentielle à un problème spécifique sur une simple structure de données semblable à un chromosome et appliquent des opérateurs de recombinaison à ces structures.

Les algorithmes génétiques sont souvent considérés comme optimiseurs de fonction, bien que l'éventail des problèmes auxquels les algorithmes génétiques appliqués est assez large. Depuis que le premier travail de John Holland sur les systèmes adaptatifs remonte à 1962, les algorithmes génétiques ont une longue histoire.

Les algorithmes génétiques utilisent la théorie de Darwin sur l'évolution des espèces. Elle repose sur trois principes : le principe de variation, le principe d'adaptation et le principe d'hérédité.

- **Le principe de variation** : Chaque individu au sein d'une population est unique. Ces différences, plus ou moins importantes, vont être décisives dans le processus de sélection.
- **Le principe d'adaptation** : Les individus les plus adaptés à leur environnement atteignent plus facilement l'âge adulte. Ceux ayant une meilleure capacité de survie pourront donc se reproduire davantage.
- **Le principe d'hérédité** : Les caractéristiques des individus doivent être héréditaires pour pouvoir être transmises à leur descendance. Ce mécanisme permettra de faire évoluer l'espèce pour partager les caractéristiques avantageuses à sa survie.

### 5. Fonctionnement

Pour résoudre ces problèmes, nous utilisons des heuristiques afin de trouver la solution optimale, ou à défaut, la moins mauvaise, pour le problème. L'idée principale des heuristiques est d'explorer l'espace des solutions en essayant de converger vers la meilleure solution. Cependant, il est important d'éviter une convergence prématurée de l'algorithme vers un extremum, ou optimum, local. Un extremum local est la meilleure solution dans une zone restreinte, en opposition à l'extremum global, qui est la meilleure solution dans l'ensemble.

## 6. Régression linière multiple

La régression linéaire multiple est une méthode de régression mathématique étendant la régression linéaire simple pour décrire les variations d'une variable endogène associée aux variations de plusieurs variable exogènes.

Une analyse de régression multiple peut révéler une relation positive entre la demande de lunette de soleil et différent caractères démographique des acheteurs de ce produit .la demande augmente et baisse avec les variations de ces caractéristique.

### 6.1. Model théorique

Étant donné un échantillon  $(Y_i, X_{i1}, \dots, X_{ip})_{i \in \{1, n\}}$ , on cherche à expliquer, avec le plus de précision possible, les valeurs prises par  $Y_i$ , dite *variable endogène*, à partir d'une série de variables explicatives  $X_{i1}, \dots, X_{ip}$ . Le modèle théorique, formulé en termes de variables aléatoires, où  $\varepsilon_i$  est l'erreur du modèle qui exprime, ou résume, l'information manquante dans l'explication linéaire des valeurs de  $Y_i$  à partir des  $X_{i1}, \dots, X_{ip}$  (problème de spécifications, variables non prises en compte, etc.). Les coefficients  $a_0, a_1, \dots, a_p$  sont les paramètres à estimer.

### 6.2. Estimation

Lorsqu'on dispose de  $n$  observations  $(y_i, x_{i1}, \dots, x_{ip}), i \in \{1, n\}$ , qui sont des réalisations des variables aléatoires  $(Y_i, X_{i1}, \dots, X_{ip})$ ,

La problématique reste la même que pour la régression simple :

- Estimer les paramètres  $a_0, a_1, \dots, a_p$  en exploitant les observations ;
- Évaluer la précision de ces estimateurs ;
- Mesurer le pouvoir explicatif du modèle ;
- Évaluer l'influence des variables dans le modèle :
- Globalement (les  $p$  variables en bloc) et,
- individuellement (chaque variable) ;
- Évaluer la qualité du modèle lors de la prédiction (intervalle de prédiction) ;
- Détecter les observations qui peuvent influencer exagérément les résultats (points atypiques).

## 7. Application du modèle Hybride d'Algorithmes Génétiques et Régression Linéaire Multiple (AG-RLM)

Les algorithmes génétiques sont des algorithmes d'optimisation s'appuyant sur des techniques dérivées de la génétique et de l'évolution naturelle: croisements, mutations, sélection, etc. Les algorithmes génétiques ont déjà une histoire relativement ancienne des premiers travaux de sur les systèmes adaptatifs. . Cette technique a une capacité de la sélection qui permet d'identifier statistiquement les meilleurs individus d'une population et d'éliminer les mauvais . On trouve dans la littérature un nombre important de principes de sélection plus ou moins adaptés aux problèmes qu'ils traitent. Dans le cadre de notre travail, l'approche hybride algorithmes génétiques avec la régression linéaire multiple (AG-RLM) a été appliquée sur l'ensemble de 17 paramètres de la base de données pour la prédiction et la sélection des variables explicatives les plus influencés sur la prédiction de la porosité dans le réservoir decombros-ordovicien .

## **8. Réseaux de neurones artificiels**

### **8.1. Les réseaux de neurones biologiques**

Le neurone biologique est une cellule vivante spécialisée dans le traitement des signaux électriques.

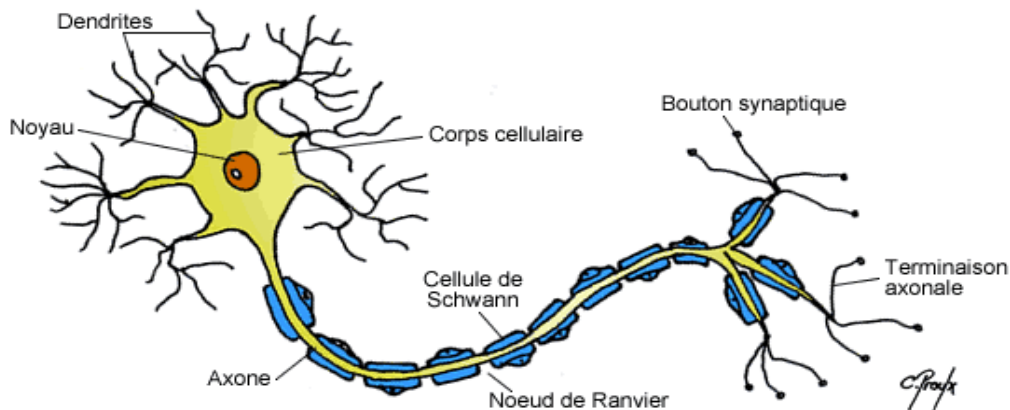
Les neurones sont reliés entre eux par des liaisons appelées axones. Ces axones vont eux-mêmes jouer un rôle important dans le comportement logique de l'ensemble. Ces axones conduisent les signaux électriques de la sortie d'un neurone vers l'entrée (synapse) d'un autre neurone.

Les neurones font une sommation des signaux reçus en entrée et en fonction du résultat obtenu vont fournir un courant en sortie.

#### **a) La structure d'un neurone**

La structure d'un neurone se compose :

- **Neurone** : Cellule constituée d'un corps cellulaire, d'un axone et de dendrites composant l'unité fonctionnelle du système nerveux.
- **Le corps cellulaire ou soma** : Partie de la cellule nerveuse située entre l'axone et la dendrite.
- **Les dendrites** : Extension du cytoplasme de la cellule nerveuse.
- **L'axone** : Prolongement du neurone.
- **Noyau** : Partie centrale d'une cellule, contenant les chromosomes.



**Figure 6 :** La structure d'un neurone biologique (Schéma d'un neurone)

### b) Les différents types de neurones

Basé sur des caractéristiques morphologiques, les neurones ont été classifiés dans les groupes suivants :

- **Neurones Multipolaires**

Les neurones multipolaires sont les plus communs dans le cerveau et le cordon médullaire. Ils possèdent trois dendrites ou plus et un long axone partant du corps de cellules.

- **Neurones Bipolaires**

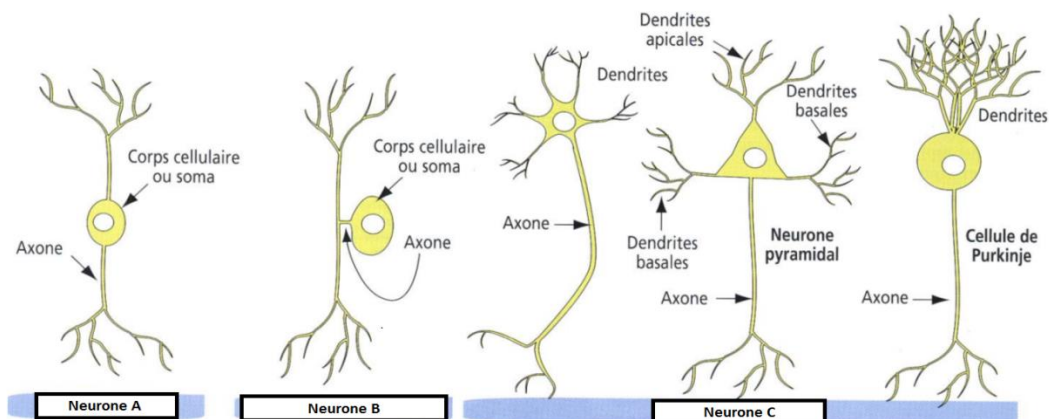
Dans des neurones bipolaires, deux processus, un sur chaque extrémité, résultent d'un corps ovale de cellules.

- **Neurones Pseudo-Unipolaires**

Dans des neurones pseudo-unipolaires, un processus simple résulte du corps de cellules et se divise en deux branches.

- **Neurones Unipolaires**

Les neurones unipolaires sont relativement rares dans les vertébrés. Dans des ces neurones, les dendrites résultent d'une extrémité du neurone, et un axone résulte de l'emplacement où les dendrites sont localisées.



**Figure 7** : Les différentes géométries des neurones

## 8.2. Réseaux de neurones artificiels

Depuis une cinquantaine d'années, les chercheurs en informatique s'inspirent de la biologie dans le but de réaliser des constructions capables de résoudre divers problèmes complexes. La nature a depuis longtemps forgé le premier processeur (l'A.D.N1), des outils d'optimisation puissants, ainsi que des structures de calcul massivement parallèles possédant de formidables capacités d'adaptation comme notre cerveau. En effet, la centaine de milliards de neurones (connectés chacun à parfois plus de dix mille autres de manière tridimensionnelle) de notre cerveau a de quoi attirer l'attention des informaticiens.

## 9. Principe du neurone artificiel

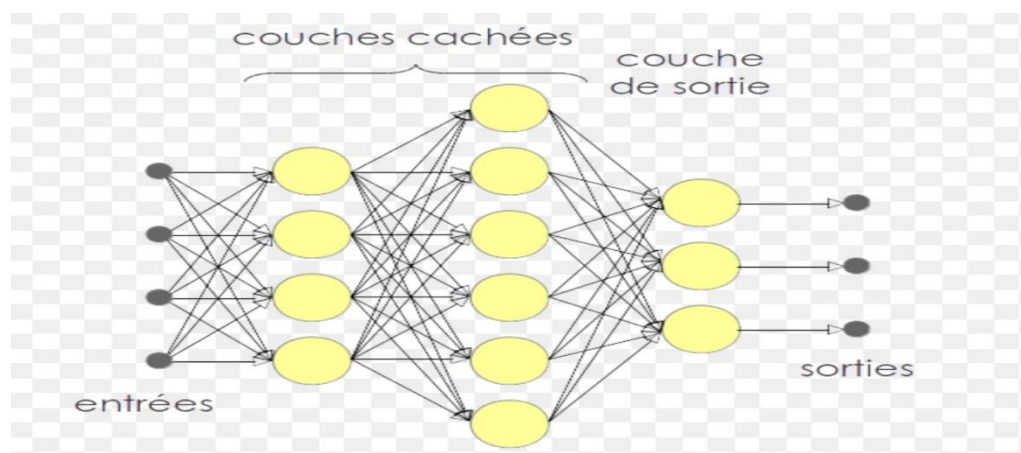
### 9.1. Architecture des réseaux de neurones

Ces derniers sont les plus utilisés dans le domaine de la modélisation et de la commande des procédés. Ils sont constitués d'un nombre fini de neurones qui sont arrangés sous forme de couches. Les neurones de deux couches adjacentes sont interconnectés par des poids.

L'information dans le réseau se propage d'une couche à l'autre, on dit qu'ils sont de type "feed-forward". Nous distinguons trois types de couches :

- **Couche d'entrée** : les neurones de cette couche reçoivent les valeurs d'entrée du réseau et les transmettent aux neurones cachés. Chaque neurone reçoit une valeur, il ne fait pas donc de sommation.
- **Couches cachées** : chaque neurone de cette couche reçoit l'information de plusieurs couches précédentes, effectue la sommation pondérée par les poids, puis la transforme selon sa fonction d'activation qui est en général une fonction sigmoïde. Par la suite, il envoie cette réponse aux neurones de la couche suivante.

- **Couche de sortie** : elle joue le même rôle que les couches cachées, la seule différence entre ces deux types de couches est que la sortie des neurones de la couche de sortie n'est liée à aucun autre neurone.



**Figure 8** : Schéma représente L'architecture du modèle optimale MLP

#### 10. Domaine d'application

Neuronaux Aujourd'hui, on retrouve les réseaux de neurones solidement implantés dans diverses industries :

- **Milieus financiers** : prédiction des fluctuations de marché.
- **Pharmaceutique** : analyser le « QSAR » (quantitative structure-activité Relationship) de diverses molécules organiques.
- **Domaine bancaire** : détection de fraudes sur les cartes de crédit et le calcul de cotes de crédit.
- **Départements de marketing de compagnies de diverses industries** : prévoir le comportement des consommateurs.
- **Aéronautique** : programmation de pilotes automatiques
- **Domaine militaire** : Identification acoustique d'engins militaires
- **Environnement** : identification des zones terrestres similaires (en termes d'utilisation) dans une base de données d'observation de la terre.
- **Planification de villes** : identification de groupes d'habitations suivant le type d'habitation, valeur, localisation géographique, ...
- **Médecine** : Localisation de tumeurs dans le cerveau (nuage de points du cerveau fournis par le neurologue).

- La reconnaissance automatique de la parole

- Analyse de la voix clinique
- Suivi de l'état des plantes et des procédés industriels
- Classification des nuages à partir d'images satellites
- Analyse des signaux électriques en provenance du cerveau
- Organisation de la recherche et de grandes collections de documents (les WEBSOM méthode)
- Analyse et visualisation des grandes collections de données statistiques (par exemple, les données macro-économiques)

### 11. Préparation de la base des données

La préparation de la base de données est basée sur le codage des observations sur carottes en chiffres selon les faciès disponibles et le calage avec les diagraphies suivant le même pas d'échantillonnage qui est 0,1524 m. pour les intervalles carottés.

#### 11.1. Carottes

En forage, les déblais remontés par la circulation ne sont pas toujours représentatifs. Pour le géologue, les renseignements sont incomplets. Ces déblais peuvent provenir de niveaux différents (cas de retombées) et la vitesse de remontée des déblais est incertaine.

Dans l'industrie de l'huile et du gaz, carotter peut être défini comme "couper et enlever un échantillon cylindrique de roche de la parois du puits. La prise d'un échantillon massif (carotte) important fournit au géologue : une certitude sur la côte et le terrain, la valeur du pendage, une appréciation de la dureté des terrains (important également pour le foreur), La possibilité de faire des mesures précises, de porosité , La possibilité de reconnaître avec certitude l'âge du terrain par l'étude des fossiles (micropaléontologie). Généralement, Il existe deux types de carottage à savoir: Le carottage axial: les carottes axiales sont obtenues en utilisant des carottiers. Le carottage latéral: le système de carottage latéral par percussion utilise une charge explosive cylindrique tirée dans les parois du trou pour obtenir un échantillon de roche.

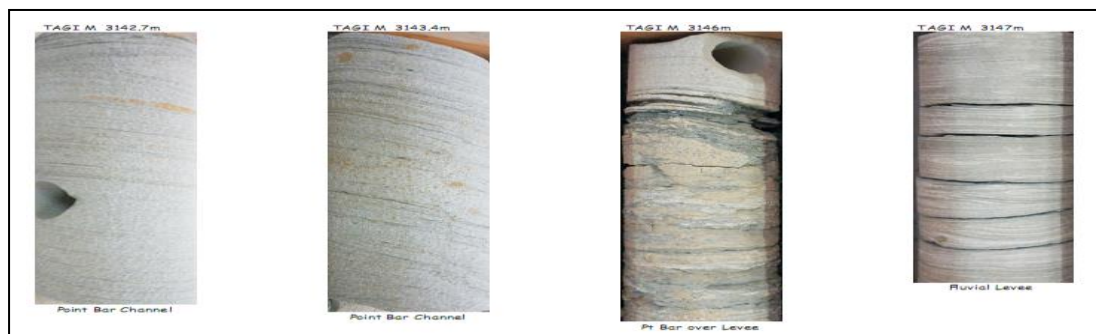


Figure 9 : présentation des carottes des puits

#### 11.2. diagraphie

La diaggraphie est l'enregistrement continu d'une caractéristique des formations traversées par un sondage en fonction de la profondeur .

Les diaggraphies différées sont enregistrées pendant l'arrêt du forage (les diaggraphies instantanées sont celles qui sont enregistrées pendant le forage proprement dit). Les diaggraphies sont des instruments essentiels dans l'évaluation des gisements.

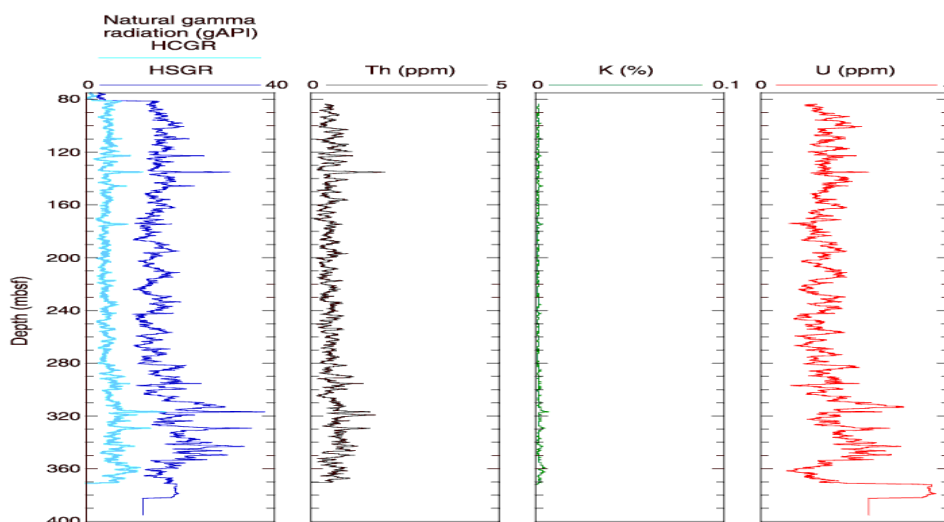
Les buts principaux des diaggraphies différées sont les suivants:

- La reconnaissance des réservoirs : lithologie, porosité, saturation (eau-huile-gaz). On n'obtient pas de valeurs de perméabilité.
- La connaissance du puits : diamètre, inclinaison, cimentation des cuvelages, liaison couche-trou (perforation).

Pour réaliser cet enregistrement, on utilise en particulier un camion d'enregistrement (ou cabine en off-shore), un treuil motorisé, un câble électrique et une sonde.

### 11.2.1. Le Gamma Ray total

Le Gamma Ray (ou Radioactivité Gamma) correspond à l'émission naturelle de la radioactivité gamma des roches. Par conséquent, les roches les plus riches en éléments radioactifs (tel que les argiles) montrent les GR la plus élevées.



**Figure 10** : Enregistrements des (Total gamma ray) et (spectral gamma ray) pour le trou.

HCGR=computed gamma ray, HSGR = total spectral gamma ray

### ❖ Les types de GR



Il existe 2 types d'enregistrement GR :

- Le **GR total** ou standard dont l'outil est constitué d'un compteur de radioactivité naturelle des roches.
- Le **GR spectrale** l'utilisation d'un spectromètre permet de distinguer entre de la radioactivité à travers le niveau d'énergie des radiations  $\gamma$  :

Potassium« K »; Thorium« T<sub>r</sub> »; Uranium« U<sub>r</sub> ».

### ✓ Thorium

Le thorium est un élément chimique, un métal de la famille des actinides, de symbole Th et de numéro atomique 90.

Il a été découvert en **1829** par le chimiste **suédois Jöns Jacob Berzelius** et nommé d'après Thor, dieu nordique du tonnerre.

Ses principales applications sont dans les alliages de magnésium utilisés pour les moteurs d'avions. Il aurait un énorme potentiel comme combustible nucléaire, avec des risques d'accident nucléaire et une production de déchets très fortement réduits. Cette voie est encore en cours d'exploration (avec divers types de réacteurs : réacteur nucléaire piloté par accélérateur, réacteur à sel fondu, réacteur à haute température(HTR) dans la lignée du projet de centrale nucléaire au thorium conçue et développée par l'ingénieur français **Edgard Nazare** dans les années **1950**.

### ✓ Uranium

L'uranium (symbole U, numéro atomique 92) est un élément chimique métallique très dense ( $d = 19$ ), dur, dont la couleur grise rappelle celle du nickel. Pendant les cent cinquante ans qui suivirent sa découverte, en **1789**, par **Martin Heinrich Klaproth**.

### ✓ Potassium

Le potassium, troisième élément de ce groupe, possède les propriétés caractéristiques des métaux alcalins. Il a été découvert en **1807** par **Humphry Davy** lors de la réduction électrolytique de la potasse caustique fondue (KOH). Son symbole chimique K.

#### 11.2.2. Le Log Sonique

Le principe du log sonique repose sur la création d'une onde acoustique qui se propage dans les couches entre un émetteur et un récepteur.

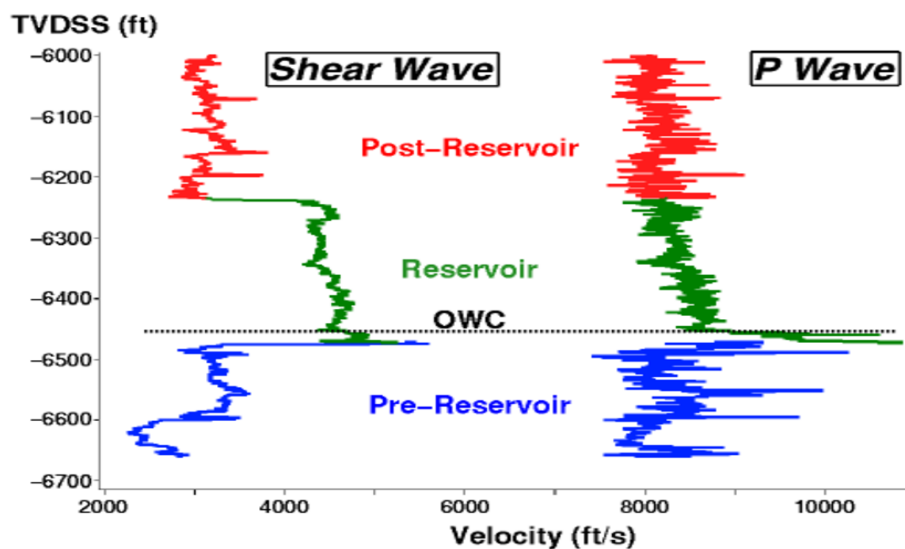
Le récepteur analyse deux caractéristiques de l'onde:

1- Le temps de transit (entre l'émission / réception) :  $\Delta t$

2- L'amplitude de l'onde

Deux types d'onde acoustique :

- L'onde Longitudinale (Longitudinal wave)
- L'onde de Cisaillement (Shear wave)



**Figure 11:** La diagraphie sonique dipolaire à travers le sable du réservoir, montre un fort contraste en onde de cisaillement.

### 11.2.3. Le log Neutron

Mesure précise de la densité qui donne la Porosité et (en fonction de la lithologie), en donne la Nature de fluide A l'aide de sources appropriées on soumet les formations à un bombardement intense de neutrons rapides, d'énergie initiale comprise entre 4 et 6 MeV. Grâce à leur vitesse initiale élevée (10.000 Km/s), les neutrons rapides ont un grand pouvoir de pénétration. Ils vont entrer, de ce fait, en collision avec les noyaux des atomes des formations qu'ils traversent et perdent progressivement de leur énergie.

La mesure de  $(IH$  ou  $\phi_n)$  dépend en quelque sorte et surtout du nombre d'atomes d'hydrogène par l'unité de volume dans la formation, ceux-ci étant soit liés à l'eau ou aux hydrocarbures (donc a la porosité et a la saturation), soit a la composition moléculaire de la roche, mais aussi à un moindre degré, des autres atomes entrant dans la composition de la roche, soit par suite de leur pouvoir ralentisseur, soit par leur pouvoir absorbant.

La diagraphie Neutron permet de :

- Evaluer la porosité des roches de réservoirs.
- Identifier la lithologie (avec la combinaison des autres outils da diagraphie).
- Evaluer la densité des hydrocarbures.
- Faire une corrélation de puits à puits.

#### 11.2.4. La densité (gamma-gamma $\gamma$ - $\gamma$ )

Ces diagraphies utilisent des sources radioactives pour l'émission de rayonnement gamma. Celles-ci peuvent être  $^{60}\text{Co}$  ou  $^{135}\text{Cs}$ . Les rayons gamma émis rentrent en collision avec les électrons des atomes des formations traversées. La perte d'énergie à chaque interaction passe par trois stades d'énergie qui sont : la production paire, l'effet photoélectrique et compton.

#### 11.2.5. La résistivité électrique

Parmi les paramètres mesurés par les outils de diagraphies est la résistivité électrique des roches. Elle est dans la plupart des cas, de type électrolytique, c'est-à-dire que les roches conduisent le courant électrique grâce au fluide qu'elles contiennent. On peut dire que la résistivité électrique d'une roche dépend essentiellement :

- De la qualité de l'électrolyte (hydrocarbures ou eau).
- De la quantité d'électrolyte contenue dans l'unité de volume de la roche, c'est-à-dire de la porosité et de la saturation en eau ( $S_w$ ).
- Du mode de distribution de l'électrolyte.

La valeur de la résistivité minimale dans le shale doit être supérieure à 15 Ohm .m.

### 12. Analyses de la base de données

Pour objectif de raffiner les données, enlever les valeurs erronées et voir leur distribution et corrélation des paramètres

#### 12.1. Analyse statistique mono variée

Ce traitement permet de déterminer les paramètres statistiques de la distribution de chaque variable, de positions centrales (moyenne, le mode, etc.), et de dispersion (variance, écart type, coefficient de variation...etc.) des éléments chimiques. L'histogramme d'une variable donnée visualise à répartition des effectifs dans un certain intervalle de variation prise par cette variable. L'allure générale de l'histogramme et/ou de la courbe des fréquences cumulées permet d'apprécier l'homogénéité ou l'hétérogénéité des données ; ainsi que la loi de distribution des variables.

- **Ecart type** : est une mesure de la dispersion des valeurs d'un échantillon statistique ou d'une distribution de la probabilité, il est défini comme la racine carrée de la variance ou de manière équivalente comme la moyenne quadratique
- **La variance** : c'est la mesure de la dispersion des valeurs d'un échantillon ou d'une distribution de probabilité

- **Coefficient de variance** : est également nommé quartile relatif, est une mesure de dispersion relative

### 12.2. Analyse statistique bi variée

Le traitement statistique bi varié consiste à étudier deux variables aléatoires simultanément et de déterminer la relation qui existe entre elles, à l'aide, entre autre du calcul des coefficients de corrélation simples. Elles sont calculées pour chaque couple de variables, où celles-ci montrent clairement les relations mutuelles qui existent entre les variables.

Le coefficient de corrélation est calculé par la formule suivante :

$$r = \text{cov}(x, y) / s_x \cdot s_y$$

$r$  : Coefficient de corrélation simple de la population

$s_x$  et  $s_y$  : L'écart type des deux variables

$\text{cov}(x, y)$  : la covariance de variables  $x$  et  $y$ .

Il est à rappeler que :  $\text{cov}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \mathbf{E}(\mathbf{xy}) - \mathbf{E}(\mathbf{x}) \cdot \mathbf{E}(\mathbf{y})$

Les coefficients de corrélation simples sont regroupés dans un tableau récapitulatif appelé "**matrice de corrélation**". Le coefficient de corrélation varie entre -1 et +1.

La signification de ce dernier dépend du nombre d'individus utilisés pour son calcul. Une façon empirique de calculer la signification c'est de calculer la valeur de :

Où  $n$  est le nombre des données utilisées.

$$R_{\text{signif}} = \frac{2}{\sqrt{n-1}}$$

- **Le mode** : ou valeur dominante, est la valeur la plus représentée d'une variable quelconque dans une population d'objets
- **Le médiane** : est un ensemble des valeurs (échantillons, populations ...) est un indicateur de tendance centrale de la série
- **La moyenne** : est utile de calculer permettant de résumer une liste des valeurs numérique on un seul nombre réel.

### 12.3. Critères de validation

Une fois le modèle construit se pose alors la question s'il rend fidèlement compte de l'échantillon. Pour cela, la modélisation nécessite des critères de validation sur la base desquels, le concepteur juge les performances finales du modèle qui sera retenu. Certains sont numériques et d'autres graphiques.

a) point-lignes  $R^p$ , b) point-variables  $R^n$

Dans  $R^n$ , chaque point est défini par n coordonnées. Deux points-lignes apparaissent proche l'un de l'autre, si les deux lignes ont des mesures semblables des variables ou individus et éloignés l'un de l'autre si les mesures sont différentes.

En présence d'un nuage de points dans un espace à n dimensions, on cherchera à saisir et comprendre la dispersion des points c'est-à-dire la signification des différents allongements des nuages de points.

### a) Les critères numériques

#### ❖ Le coefficient de détermination ( $R^2$ )

Celui-ci évalue le degré d'association entre deux variables et juge de la qualité de l'ajustement des valeurs observées et calculées :

$$R^2 = \left[ \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_{iobs} - \bar{Y}_{obs})(Y_{ical} - \bar{Y}_{cal})}{\sigma_{obs} \cdot \sigma_{cal}} \right]^2$$

Avec :

$Y_{iobs}$ : Valeur observée.

$Y_{ical}$  : Valeur calculée par le modèle.

$\bar{Y}_{obs}$  : Moyenne de la variable observée.

$\bar{Y}_{cal}$  : Moyenne de la variable calculée.

$N$  : est le nombre de points.

Un coefficient de détermination proche de l'unité signifie que le modèle élaboré est très efficace.

#### ❖ Erreur Quadratique Moyenne, Root Mean Square Error (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (Y_{iobs} - Y_{isim})^2}$$

Quand le RMSE est proche de zéro signifie que le modèle est très bon.

#### ❖ Erreur Absolue Moyenne, Mean Absolute Error (MAE)

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Y_{iobs} - Y_{isim}| \quad (3)$$

Lorsque le MAE est proche de zéro signifie que le modèle est très bon.

**Coefficient de Corrélacion (CC)**

$$CC = \frac{\frac{1}{N} \sum (Y_{iobs} - Y_{isim})(Y_{iobs} - Y_{isim})}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum (Y_{iobs} - Y_{isim})^2} \sqrt{\frac{1}{N} \sum (Y_{iobs} - Y_{isim})^2}}$$

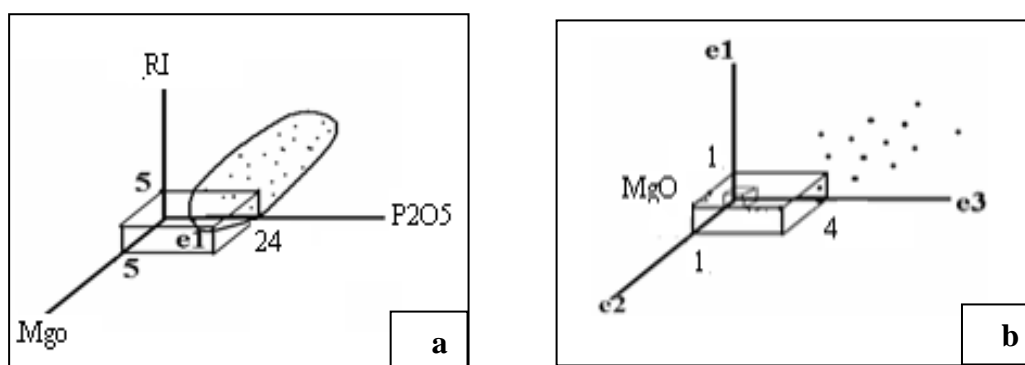
Un CC proche de 1 signifie que le modèle est très bon

**12.4. Analyse statistique multi variée**

L'analyse des données multi variée désigne l'ensemble des méthodes qui permettent de collecter, d'organiser, d'analyser et de présenter les données. Ces méthodes utilisent des techniques géométriques permettant de mettre en évidence des groupes d'individus homogènes, des liens entre individus et variables, des ressemblances ou des différences entre variables et surtout de représenter les données initiales d'un Tableau R (n,p) par un nombre plus petit sans perdre l'information.

**Représentation géométrique**

Les données peuvent être représentées graphiquement en nuage de points-lignes (Représentation  $R^p$ ) et/ou en nuage de point variables (Représentation dans  $R^n$ )



**Figure 12 :** Représentation géométrique des données.

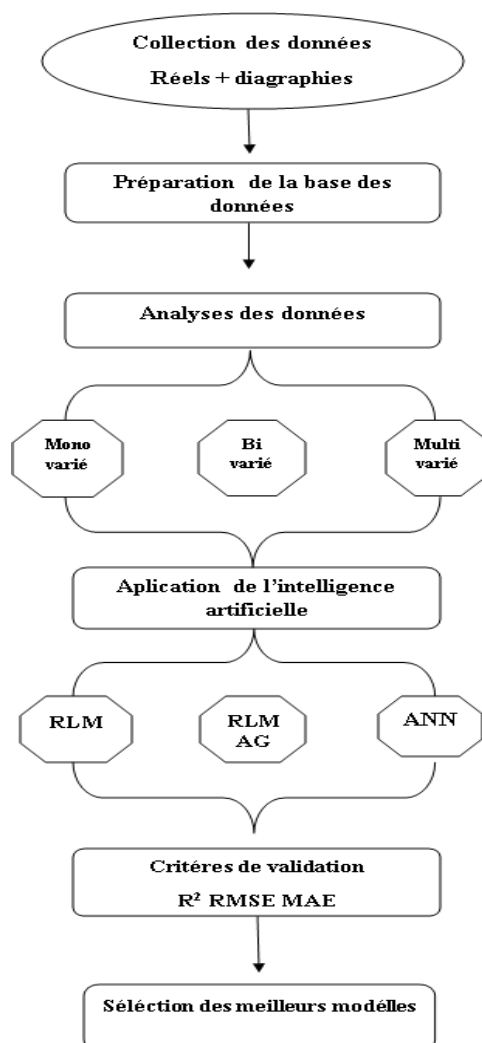
**13. Les logiciels utilisés**

- **Excel** : Le logiciel Microsoft Excel est un tableur électronique. Un tableur permet d'effectuer des calculs de manière rapide et précise. La feuille électronique de nombres produite par Excel est appelée une feuille de calcul
- **Statistica** : est le nom générique de la gamme de logiciels édités par la société StatSoft, Inc. Cette gamme de produits comprend une soixantaine de modules logiciels différents qui

couvrent tout ou partie de l'analyse statistique des données, de l'exploration de données et de l'informatique décisionnelle.

- **QSAR** : Représentation de structures par ordinateur, représentation de structures 1D, 2D et 3D par ordinateur , éléments de base de théorie de graphes, tables de connexion et présentation linéaires. Il est utilisé dans notre travail pour la sélection des variables en se basant par la génétique algorithmique hybride avec la régression linéaire multiple.

### Conclusion



**Figure13** : Organigramme explicatif des étapes suivies pour estimer la porosité par quelques méthodes d'intelligence artificielles

---

*Chapitre III*

***RESULTATS ET DISCUSSION***

---



---

## Introduction

La caractérisation de transport et de stockage des hydrocarbures, y compris la porosité est cruciale dans le plan d'évaluation et de développement des réservoirs pétroliers. Une estimation précise de ses paramètres sont essentielle pour l'amélioration de la récupération de pétrole / gaz, la sélection du régime de production, l'optimisation du placement des puits, ainsi la porosité pour l'estimation des réserves en place, alors une sous ou sur estimation de cette dernière cause des grands problèmes dans la rentabilité du gisement.

Le meilleur moyen d'avoir une bonne caractérisation de ses propriétés est la mesure directe sur carottes au laboratoire, cependant les carottes n'ont pas toujours disponibles à cause des problèmes techniques et géologiques rencontrés durant l'opération du carottage Bien que le processus de carottage soit très coûteux et demande beaucoup de temps, il peut influencer le résultat en n'ayant pas assez de carottes à évaluer. Cela peut entraîner une incertitude très élevée accompagnée des données géologiques extrapolées ou estimées. Alors il faut chercher un modèle efficace, rapide et compétent dans l'estimation de la porosité.

### 1. Analyses de la base de données

Un total de 88 de mesures réels de porosité (POR CORE) qui ont été dérivées de 3 puits carotté de réservoir cambro-ordovicien de la zone de Hassi Tarfa , avec le enregistrements diagraphies : Profondeur ( DEPTH ) , caliper ( CALI ) , DT ( TEMPS DE TRANSIT ) , gamma ray ( GR ) , NPHD , Photo électrique (PH) , potassium ( POTA ) , densité apparente (RHOB) , résistivité ( RT10, RT20, RT30, RT60, RT90 ) , thorium ( THOR ) , uranium (URAN ) ainsi la perméabilité carotté ( PER CORE) comme paramètre interprétés à partir des donnée de diagraphie . Cette étape consiste à rassembler, combiner, structurer, organiser et voire l'homogénéité, la similarité des donné afin de pouvoir les analyses dans le cadre de programmes d'informatique.

### 2. Statistiques mono-varié

Le traitement statistique a été effectué sur porosité mesuré et l'ensemble des mesures diagraphiques (GR, RT10, RT90, RT60, RT30, RT20, DT THOR, POTA, URAN, RHOB). Les résultats obtenus du traitement statistique sont présentés dans le tableau statistique pour toutes les unités (Tableau 01).

**Tableau 01** : statistique des données diagraphiques et pétro physique

	<b>N Actifs</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Médiane</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>variance</b>	<b>cv</b>
<b>DEPT</b>	88	3303,24	3306,47	3238,50	3378,70	1214,38	34,84
<b>CALI</b>	88	6,14	6,054	5,96	8,25	0,09	0,30
<b>DT</b>	88	65,10	63,69	54,42	98,80	70,50	8,39
<b>GR</b>	88	38,05	25,13	4,20	172,22	1228,24	35,04
<b>NPHD</b>	88	0,059	0,04	0,005	0,26	0,005	0,05
<b>PE</b>	88	3,92	2,70	1,81	12,71	7,26	2,69
<b>POTA</b>	88	10,31	0,74	0,10	187,69	792,43	28,15
<b>RHOB</b>	88	2,54	2,52	2,35	3,09	0,01	0,09
<b>RT10</b>	88	52,89	17,47	0,82	825,61	11669,42	108,02
<b>RT20</b>	88	57,10	17,63	0,82	904,07	13947,12	118,09
<b>RT30</b>	88	56,29	17,39	0,79	977,49	14759,78	121,48
<b>RT60</b>	88	66,56	16,88	0,77	1007,17	22727,52	150,75
<b>RT90</b>	88	73,24	17,00	0,77	1026,81	29816,09	172,67
<b>THOR</b>	88	6,17	3,45	0,68	32,92	39,80	6,30
<b>URAN</b>	88	1,95	1,57	0,30	7,93	2,53	1,59
<b>PER Core</b>	88	3,54	0,04	0,00	78,38	111,30	10,54
<b>POR Core</b>	88	7,05	8,07	0,81	14,08	9,11	3,01

### 3. Statistiques bi-variés (matrice de corrélation)

Le calcul de la matrice de corrélation a été faite sur l'ensemble des points de mesures dans les puits disponibles.

	DEPT	CALI	DT	GR	NPHD	PE	POTA	RHOB	RT10	RT20	RT30	RT60	RT90	THOR	URAN	PER Core	POR Core
DEPT	1,000	0,053	-0,317	0,004	-0,148	0,332	0,410	0,430	-0,243	-0,252	-0,275	-0,267	-0,273	0,007	0,041	-0,203	-0,338
CALI		1,000	0,351	0,143	0,514	0,616	0,509	-0,030	-0,158	-0,158	-0,150	-0,153	-0,152	-0,044	0,048	-0,123	-0,241
DT			1,000	0,481	0,905	0,358	-0,027	-0,260	-0,251	-0,250	-0,247	-0,230	-0,218	0,142	0,251	-0,048	-0,118
GR				1,000	0,595	0,207	0,057	-0,093	-0,333	-0,334	-0,318	-0,317	-0,311	0,878	0,888	-0,122	-0,247
NPHD					1,000	0,440	0,140	-0,232	-0,321	-0,320	-0,310	-0,310	-0,303	0,276	0,374	-0,136	-0,174
PE						1,000	0,489	0,268	-0,242	-0,244	-0,237	-0,240	-0,237	-0,059	0,023	-0,216	-0,462
POTA							1,000	0,159	-0,132	-0,135	-0,130	-0,131	-0,128	-0,059	-0,029	-0,116	-0,245
RHOB								1,000	0,023	0,022	0,028	0,032	0,029	-0,151	-0,109	-0,090	-0,276
RT10									1,000	0,998	0,986	0,925	0,877	-0,300	-0,334	-0,011	0,045
RT20										1,000	0,989	0,928	0,881	-0,301	-0,335	-0,011	0,046
RT30											1,000	0,932	0,886	-0,288	-0,324	-0,011	0,071
RT60												1,000	0,991	-0,287	-0,312	-0,026	0,049
RT90													1,000	-0,055	-0,149	0,353	0,052
THOR														1,000	0,917	-0,027	-0,055
URAN															1,000	-0,111	-0,149
PER Core																1,000	0,358



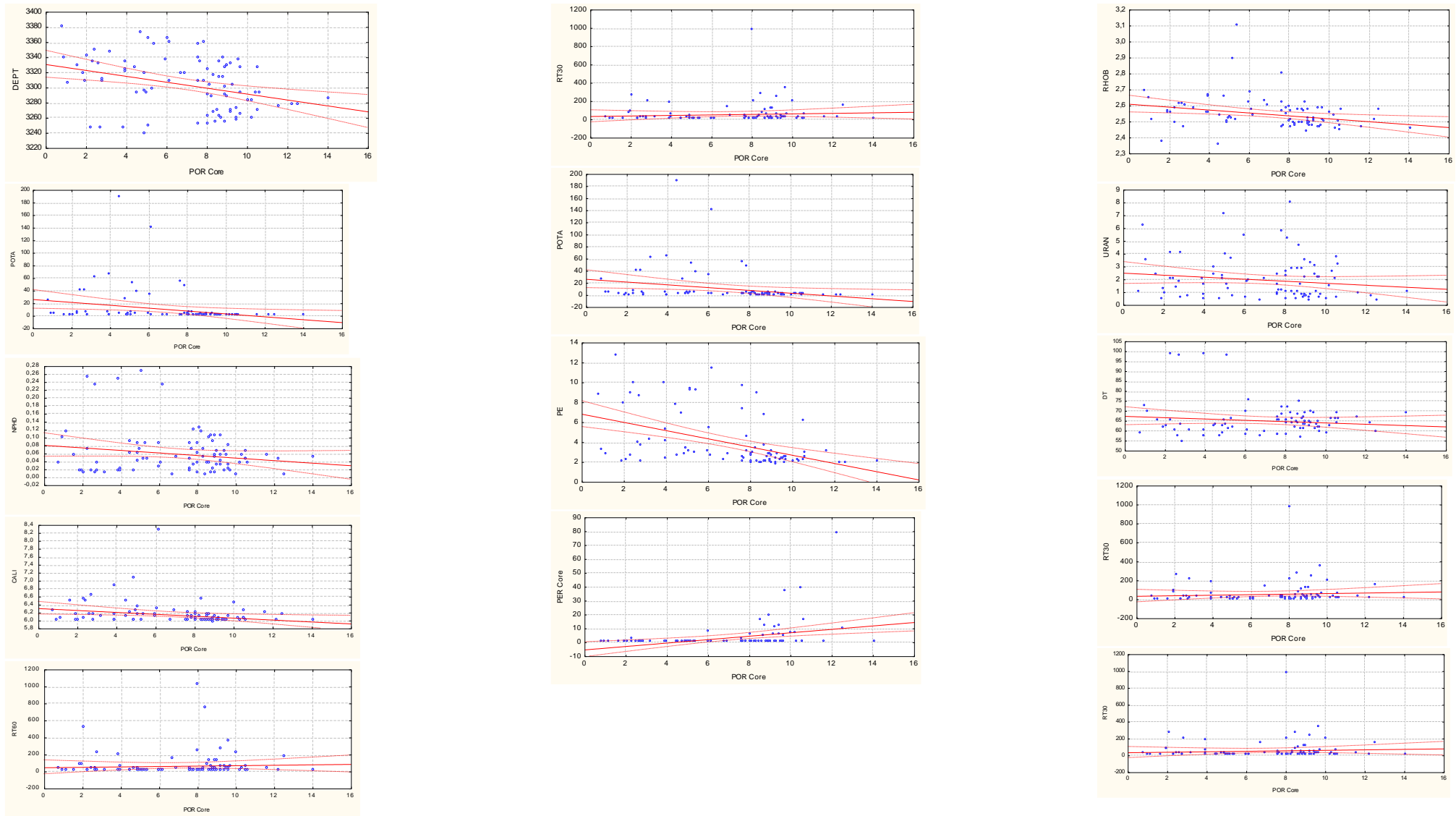
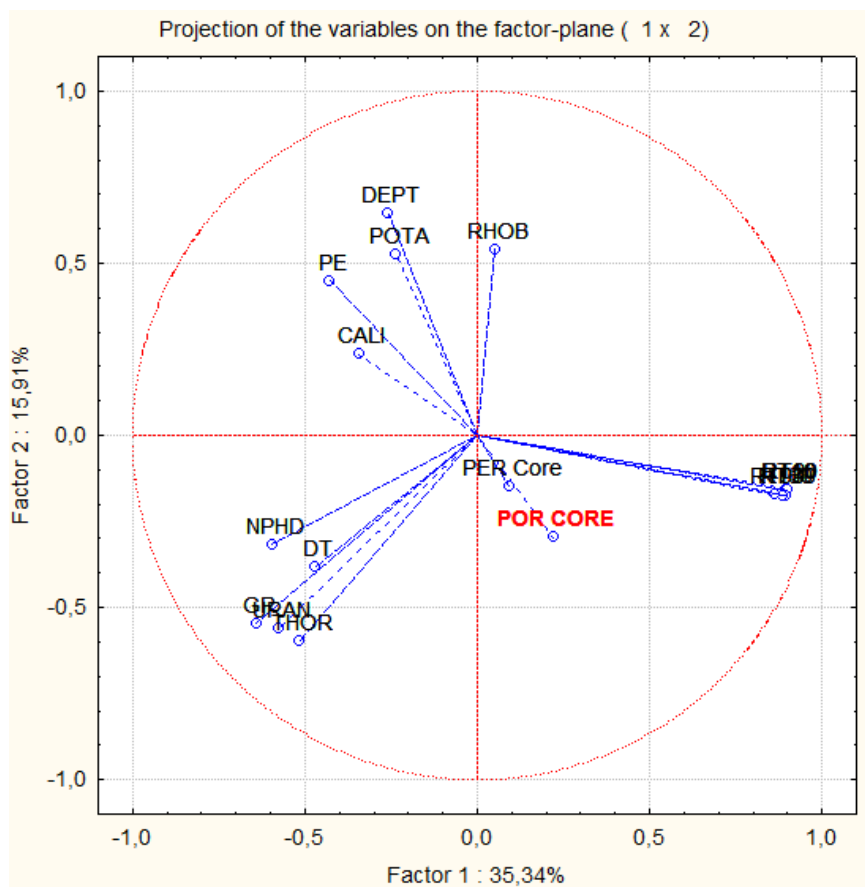


Figure 14 : Cross plots de la porosité avec les différents paramètres

Pour une meilleure visualisation graphique de la porosité mesurée avec les différents paramètres les cross-plots ont été établies, pour la porosité il y a une certaine corrélation avec les paramètres surtout (PE, DPTH, CALIP, POTA et ROHB).

#### 4. Statistiques multi-variés Analyse en Composantes Principales (ACP)



**Figure 15** : Cercle de corrélations de l'ACP sur l'ensemble de données des puits.

Les cercles de corrélation dans le plan des axes F1 et F2 qui représentent une Ecart-type cumulée de 51,25(%) (F1 = 35,34%, F2 =15,91 %)

- Une association constituée de porosité NPHD, DT, THOR, URAN (pole radioactive), Ces paramètres sont corrélés négativement avec le facteur F1 et le facteur F2.
- Une association constituée **CALI, PE, POTA, RHOB, DEPTH** : Ces paramètres sont corrélés positivement avec le facteur F2 et le facteur F1.
- La résistivité RT (pole électrique) et la PER CORE ces paramètres corrélés négativement avec le facteur F1 et le facteur F2

## 5. Prédiction de la Porosité par des Différentes Techniques de l'Intelligence Artificielle

Porosité est l'un des paramètres les plus importants et les plus difficiles dans la caractérisation des réservoirs pétroliers, car elle ne peut pas être directement mesurée par la technologie actuelle de diagraphie, malgré cela, elle doit être estimée avec précision pour une production optimale de pétrole et du gaz. La porosité peut être obtenue à partir une méthode directe au laboratoire sur des échantillons de carottes par l'injection d'air sec ou par les méthodes des essais de puits. Ces méthodes ont un coût très élevé et prennent beaucoup de temps.

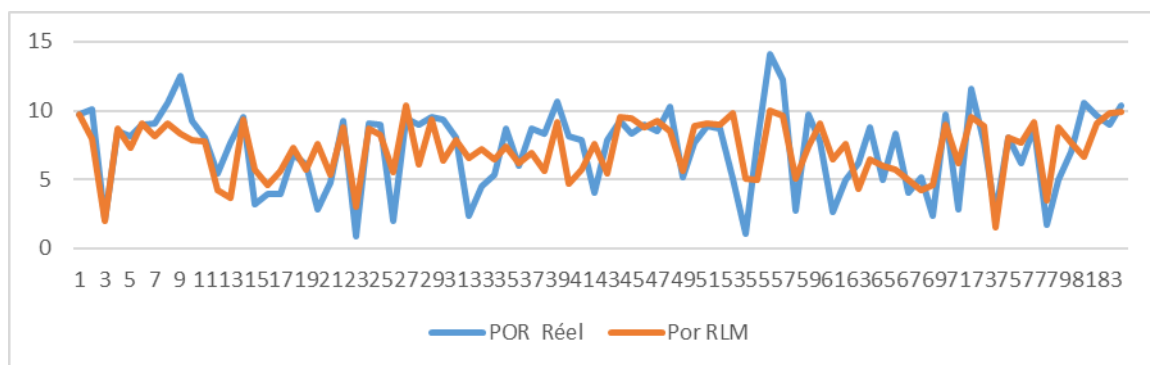
Dans cette partie de mémoire, on propose trois méthodes de l'intelligence artificielle qui sont (régression linéaire multiple, algorithme génétique avec la régression linéaire multiple et les réseaux de neurones artificiels) pour la prédiction de la porosité dans le réservoir hétérogène cambro-ordovicien à partir de 88 points donnés de diagraphie et de porosité mesurés.

### 5.1. Application de la régression linière multiple

L'application de la régression linière multiple pour calculer la porosité a donné l'équation suivante : **POROSITE** = - 0,0124 (± 0,0249) **DEPTH**- 0,8274 (± 3,0238)**CALI**+ 0,0778 (± 0,2116) **DT** - 0,1040 (± 0,0648) **GR** + 11,7765 (± 32,6679) **NPHD** - 0,3105 (± 0,3326) **PE** + 0,0064 (± 0,0265) **POTA** - 0,9501 (± 6,7545) **ROHB** + 0,0409 (± 0,1106) **RT10** - 0,0764 (± 0,1186) **RT20** + 0,0417 (± 0,0366) **RT30** - 0,0108 (± 0,0804) **RT60** + 0,0055 (± 0,0545) **RT90** + 0,4728 (± 0,3226) **THOR** - **0,2746 (± 0,9972) URAN+ 52,6150 (± 94,4035).**

#### 5.1.1. Comparaison graphique

La représentation graphique entre la porosité réelle et la porosité simulé par la régression linière multiple (figure 14)



**Figure 16:** Comparaison graphique entre la porosité réelle et la porosité calculée par Régression linière multiple

D’après la figure 16 il ya une déprition entre la porosité réel et la porosité calculer par (RLM) ce qui et un peut une preuve d’une faible efficacité de cette méthode dans la prédution de la porosité

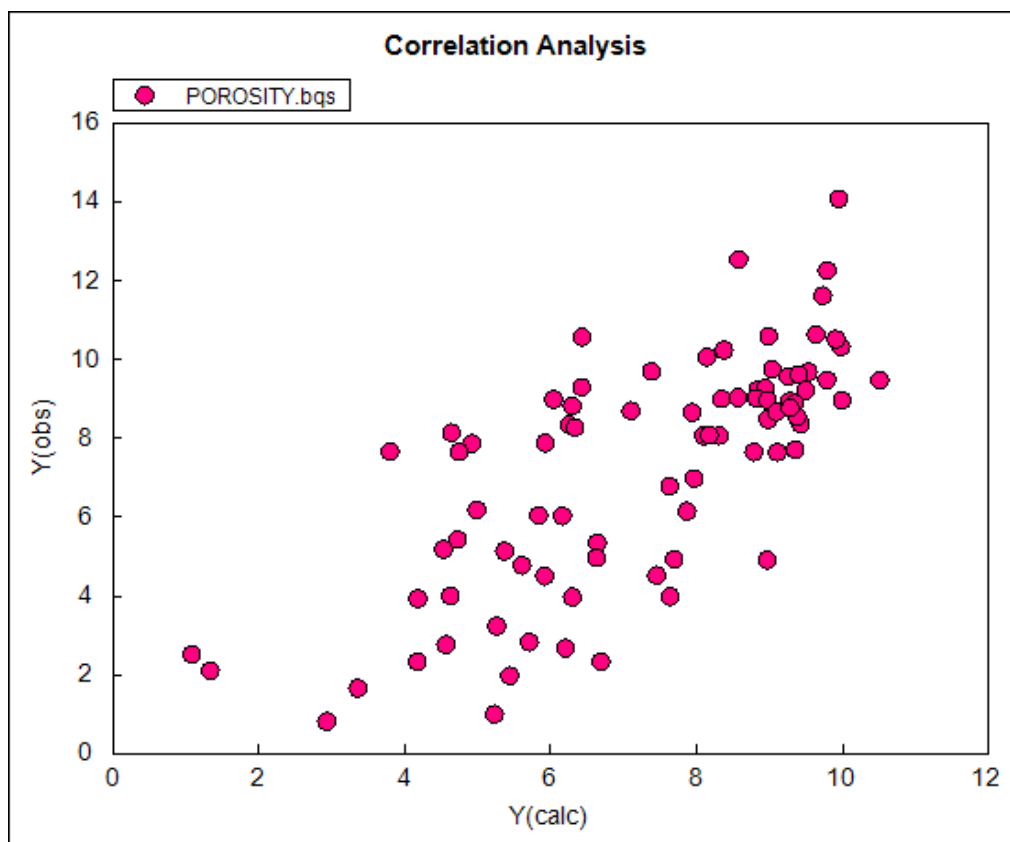


Figure 17 : graphe représente la régression linière multiple

### 5.1.2. Comparaison numérique

Tableau 03 : Paramètres du modèle de (RLM)

R <sup>2</sup>	RMSE	MAE
0,6839	2,0999	1,6347

Les indices numériques (Tableau.03) et la visualisation graphique (Fig.16), ont montré la capacité prédictive de la régression linéaire multiple pour estimer la porosité dans le réservoir de cambro-ordovicien

Cette méthode non seulement prédictive mais aussi sert à la sélection des variables les plus significatifs pour estimer la porosité réel et porosité calculé par RLM, les variables sélectionnées par (RLM) sont : **DEPTH**, clipper (**CALI**), (**DT**), gamma ray (**GR**), neutron (**NPHD**), photo électrique (**PE**), potassium (**POTA**), la densité (**RHOB**), la résistivité (**RT 10 20 30 60 90**), thorium (**THOR**) et l’uranium (**URAN**). Ces paramètres qu’il faut les prendre en



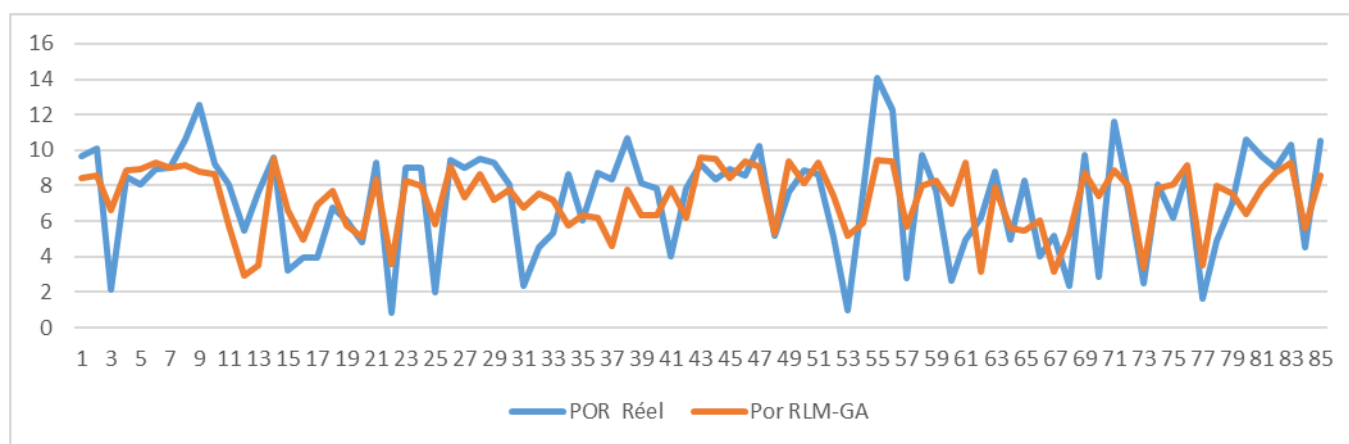
considération comme des variables explicatives et les appliquées avec d'autres techniques de l'intelligence artificielle, afin d'améliorer les performances et minimiser le maximum l'erreur.

**5.2. Applicatin de l'algorithme génitique hybride avec regression liniere multiple**

**POROSITE**= - 0,4524 (± 0,2113) **PE** - 0,0042 (± 0,0048) **RT20** - 0,0203 (± 0,0159) **GR** - 3,0237 (± 5,8277) **RHOB** - 0,0163 (± 0,0173) **DEPTH** + 71,7091 (± 52,9738)

**5.2.1. Comparaison graphique**

La représentation graphique entre la porosité réelle et la porosité simulé par l'algorithme génitique hybride avec regression liniere multiple (figure 17)



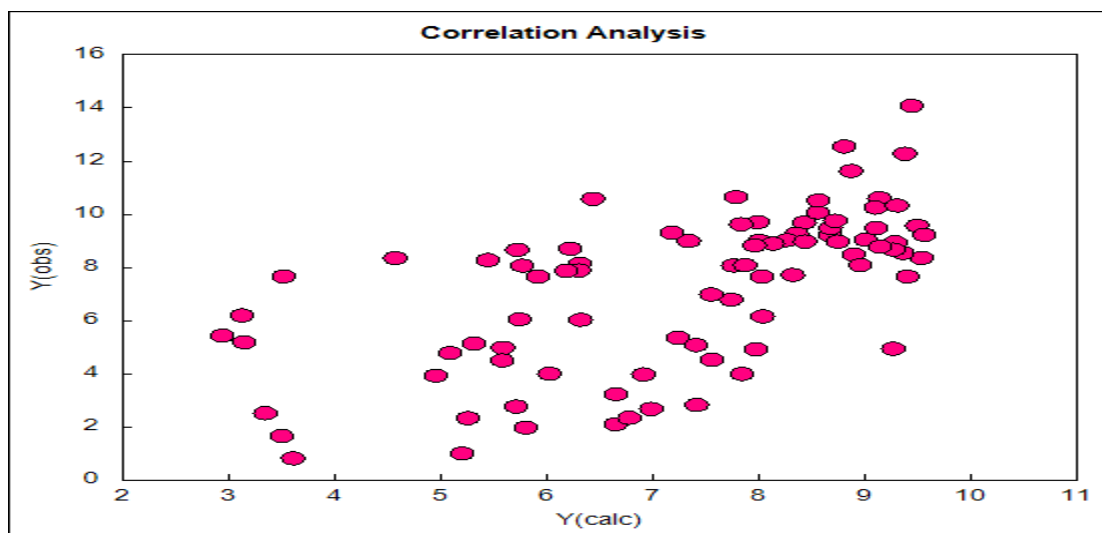
**Figure 28 :** Comparaison graphique enter la porosité réel et la porosité calculer par Régression liniere multiple avec algorithme génitique

D'après la figure 15 il Ya une détrition entre la porosité réel et la porosité calcul » par (RLM, RLM-GA), ce qui et un peut une preuve d'une faible efficacité de cette méthode dans la prédiction de la porosité

**5.2.2. Comparaison numerique**

**Tableau 04 :** Paramètres du modèle de (AG-RLM)

R <sup>2</sup>	RMSE	MAE
0,6125	2,2699	1,8248



**Figure 19** : graphe représente régression linière multiple avec algorithme génétique

Les indices numériques (Tableau 04) et la visualisation graphique (Fig.19), ont montré la capacité prédictive de la combinaison de l’algorithme génétique et la régression linéaire multiple pour estimer la porosité dans le réservoir de cambro-ordovicien

Cette méthode non seulement prédictive mais aussi sert à la sélection des variables les plus significatifs pour estimer la porosité réel et porosité **RLM-GA**, les variables sélectionnés par (**AG-RLM**) sont : photo électrique (**PE**), la densité (**RHOB**) , la résistivité (**RT20**) , gamma ray (**GR**) et le **DEPTH** . Ces paramètres qu’il faut les prendre en considération comme des variables explicatives et les appliquées avec d’autres techniques de l’intelligence artificielle, afin d’améliorer les performances et minimiser le maximum l’erreur.

### 5.3. Application de réseau de neurone artificielle

Le modèle de réseau de neurones proposé pour la prédiction de la porosité est de type perceptron multicouche, appliqué sur l’ensemble de la base de données normalisée pour toutes les données des 3 puits carottés (A, B, C). La base de données est subdivisée aléatoirement en trois parties, 70% des données sont utilisées pour la phase d’apprentissage et 15% pour la validation et 15% pour test.

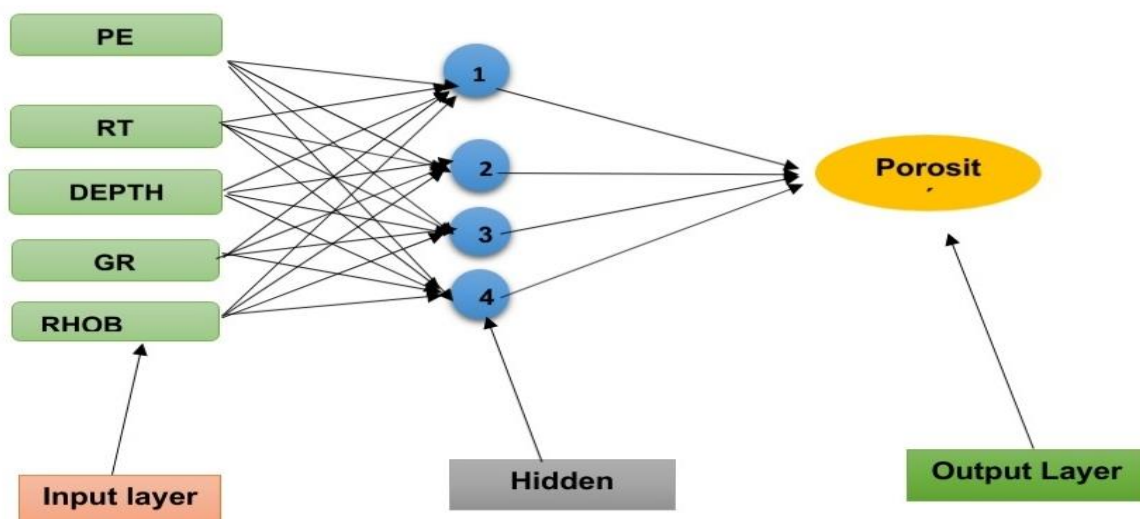


Figure 20 : Architecture de réseau de neurone approprié pour estimer la porosité

L’architecture du réseau de neurone proposé est composé d’une couche d’entrée constituée de 5 variables explicatives qui sont les diagraphies (PE, RT, DEPTH , GR, RHOB) et une seule couche cachée, constituée de 4 neurones avec une fonction de transfère sigmoïdale. La couche de sortie est constituée d’un seul neurone qui est la variable a expliqué (la porosité) (Fig. 20)

5.3.1. Comparaison graphique

La représentation graphique entre la porosité réelle et la porosité simulé par réseau de neurones artificiels

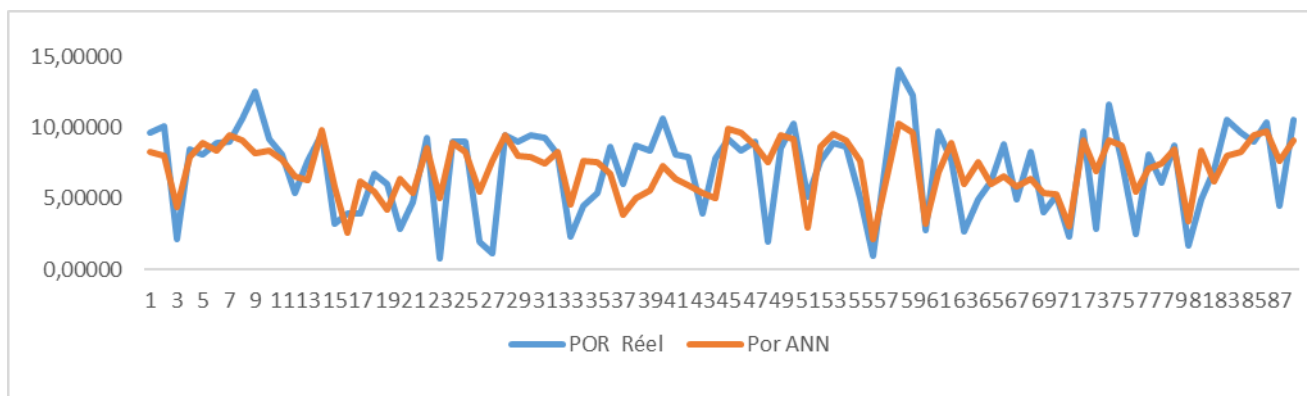


Figure 21 : Comparaison graphique enter la porosité réelle et la porosité calculer par réseau neurone

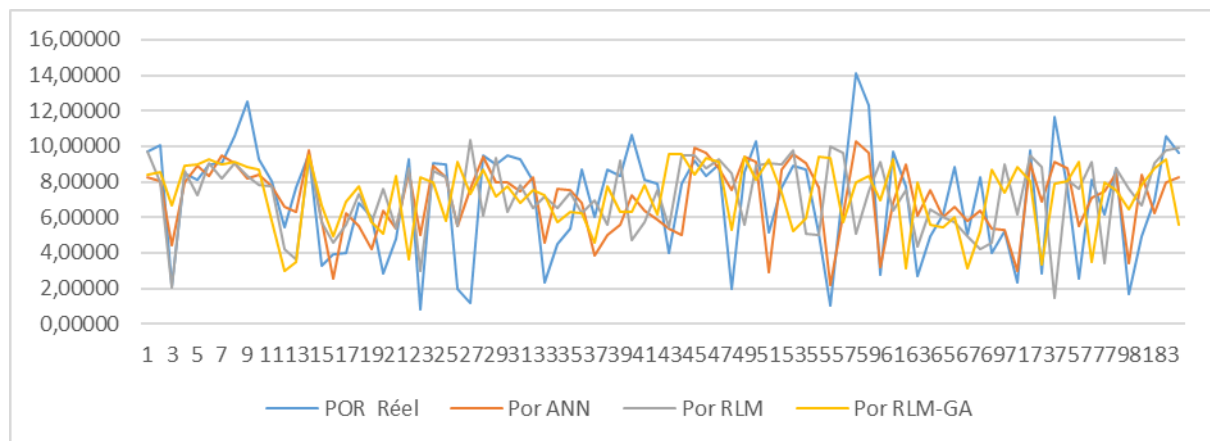
D’après la figure 20, il ya un peut de correspondance entre la porosité réel et la porosité calculer par (ANN) , ce qui et un peut une preuve d’une bonne efficacité de cette méthode dans la prédiction de la porosité .la visualisation graphique (Fig. 21), ont montré la capacité

prédictive de réseau neurone ANN pour estimer la porosité dans le réservoir de combro-ordovicien

Cette méthode non seulement prédictive mais aussi sert à la sélection des variables les plus significatifs pour estimer la porosité réel et porosité calculé par ANN, les variables sélectionnées par (ANN) sont : photo électrique (PE), la densité (RHOB), la résistivité (RT), gamma ray (GR) et le DEPTH. Ces paramètres qu’il faut les prendre en considération comme des variables explicatives et les appliquées avec d’autres techniques de l’intelligence artificielle, afin d’améliorer les performances et minimiser le maximum l’erreur.

**6. Comparaison entre RLM GA-RLM ANN**

La figure 19 montre la superposition des trois résultats de prédiction de la porosité comparé avec la porosité réelle (en bleu) , on constate que les réseaux de neurones superpose (en rouge) mieux que les deux autres méthodes.



**Figure 22 :** comparaison entre RLM, RLM\_AG , ANN

**7. Comparaison entre la porosité carotte et la porosité simulée par les différentes techniques de l’intelligence artificielle**

Cette section présente une comparaison numérique par des indices de performances ( $R^2$ , RMSE, MAE) et graphique (les boite à moustaches, régression) entre la porosité mesurée au laboratoire avec les résultats simulés des différentes approches appliquées qui sont : Hybride d’algorithmes Génétiques et Régression Linéaire Multiple, les réseaux de neurone

**Tableau 05 :** Critères de performance de la porosité pour chaque méthode.

PERFORMANCES	RLM	RLM-AG	ANN
$R^2$	0,6839	0,6125	0,6933
RMSE	2,0999	2,2699	2,158
MAE	1,6347	1,8248	1,7371

---

D'après le tableau, les régressions de la porosité réelle avec la porosité simulée par les différentes techniques, il apparaît clairement que les résultats (AG-RLM) et des réseaux de neurones sont plus proches avec la porosité carotte par rapport les deux les autres techniques.

D'après les résultats numériques et la technique hybride d'algorithmes génétiques et régression linéaire multiple et les réseaux de neurones ont montré l'efficacité pour la prédiction de la porosité dans réservoir de cambro-ordovicien avec des résultats très proches.

### Conclusion

Trois techniques différentes de l'intelligence artificielle (RLM, RLM\_AG, ANN) ont été évaluées pour estimer la porosité dans le réservoir hétérogène cambro-ordovicien dans le champ de Hassi Tarfa HTF, sur la base des diagraphies disponibles et de 88 mesures réelles de porosité qui ont été utilisées pour entraîner et tester les modèles.

Les résultats montrent que les résultats du ANN a un meilleur coefficient de corrélation de la porosité réelle et la porosité simulée **R2=0.69**. Mais pour le **RMSE= 2,09** la méthode **RLM** proposée est inférieure par rapport l'autre méthode.

---

*Conclusion General*

---

### Conclusion générale

Le travail effectué dans la région de Hassi Tarfa sur le réservoir cambro-ordovicien Quartzite el Hamra cette formation est composée par des dépôts gréseux fin à moyen, avec des stratifications qui varie entre oblique, horizontale et entre croisé .Les différentes structures sédimentaires indique un milieu mixte une abondance de quartz qui forme la majeure partie du sédiment.

La formation de quartzite el Hamra est très compacte, et elle présente aussi une porosité fissurée.

Le réservoir cambro-ordovicien connu par sa grande hétérogénéité, représente la zone d'étude et l'objectif de la thèse qui focalise sur l'application efficace des techniques de l'intelligence artificielle pour résoudre les problèmes du non récupération des carottes et l'estimation des mesures de la porosité et la perméabilité manquantes. A l'issue de cette thèse, les principaux résultats sont :

- En effet, plusieurs méthodes (équations empiriques, statistiques, et de l'intelligence artificielle) ont été appliquées sur des données des diagraphies en particulier (Gamma Ray, Densité, Potassium et Thorium, et Uranium) .sur la base des diagraphies disponibles et de 88 mesures réelles de porosité qui ont été utilisées pour entraîner et tester les modèles.
- L'application de la régression linéaire multiple non seulement prédictive mais aussi sert à la sélection des variables les plus significatifs pour estimer la porosité réel et porosité calculé par RLM, les variables sélectionnés par (RLM) sont : DEPTH , caliper (CALI) , (DT) , gamma ray (GR) , neutron(NPHD) , photo électrique (PE) , potassium (POTA) , la densité (RHOB), la résistivité ( RT 10 20 30 60 90) , thorium( THOR) et le uranium (URAN).
- L'application de l'algorithme génétique hybride avec regression linéaire multiple : les variables les plus significatifs pour estimer la porosité réel et porosité RLM-GA , les variables sélectionnés par (AG-RLM) sont : photo électrique (PE), la densité (RHOB) , la résistivité (RT20) , gamma ray (GR) et le DEPTH.
- L'application de réseau de neurone artificielle :les variables les plus significatifs pour estimer la porosité réel et porosité calculé sont : photo électrique (PE), la densité (RHOB) , la résistivité (RT) , gamma ray (GR) et le DEPTH.
- Les résultats montrent que les résultats du ANN a un meilleur coefficient de corrélation de la porosité réelle et la porosité simulée **R2=0.69**.

---

***BIBLIOGRAPHIE***

---



---

**BIBLIOGRAPHIE**

- ABDI, H. 1994** , Les réseaux de neurones, Presses Universitaires de Grenoble, Grenoble
- Adibifard, M., Tabatabaei-Nejad, S. A. R., Khodapanah, E., 2014.** Artificial Neural Network (ANN) to estimate reservoir parameters in Naturally Fractured Reservoirs using well test data. Journal of Petroleum Science and Engineering 122, 585-594. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2014.08.007>.
- Ameur Zaimeche.O, /2020**, Modélisation géologique des réservoirs pétroliers a l'aide des méthodes de l'intelligence artificielle, cas du bassin de berkine, sud-est de l'algerie, Doctorat, Université d'Ouargla, Algérie, P 156
- Ameur Zaimeche.O, 2019**, cours Séminaire relatif aux Problèmes d'exploration des hydrocarbures.
- Ameur-Zaimeche.2014c.** Modélisation et reconstitution des facies non carottés par lé méthodes statistiques multivariés, cas du cas du réservoir Trias Argileux Gréseux inférieur, champ de Sif Fatima, bassin de Berkine, sud de l'Algérie. Magister, Université Kasdi Merbah Ouargla.
- Ameur-Zaimeche, O., Zeddouri, A., Heddami, S., Kechiched, R. 2014b.** Modélisation et reconstitution des facies non carottés à l'aide des méthodes a base des Réseaux de Neurones Artificiels et Cluster Analysis, cas du réservoir Trias Argileux Gréseux inférieur, champ de Sif Fatima, bassin de Berkine, sud de l'Algérie.. 1er Colloque International sur Hydrocarbures, Energies et Environnement (HCEE"2014), Ouargla, Algeria, Novembre 23-24.
- applications to pyrolysis mass spectrometry. Analytica Chimica Acta, 348(1-3)
- Architecture des réseaux de neurones** , <https://images.app.goo.gl/Yzp36gBp3M9RvMCMA>
- Arezki Boudjemaa, 1987** , Evolution structurale du bassin pétrolier «Triasique» du Sahara Nord oriental, PhD Doctorat, Université Paris XI-Orsay, Paris, France, P52
- Askri, H., et al. (1995)** - Petroleum Geology of Algeria; Well Evaluation Conference-
- Asquith, G.B., Krygowski, D., Gibson, C.R., 2004.** Basic well log analysis. 2<sup>nd</sup> edition, American Association of Petroleum Geologists Publication, Tulsa, Oklahoma, USA.
- Boltzmann 1985.** D.H. Ackley, G.E. Hinton, and T.J. Sejnowski. A learning algorithm for boltzmann machines. Cognitive Science, 9(1) :147–169, 1985.

- Boote, R.D., Clark-Lowes, D.D., and Traut, M.W. (1998).** Paleozoic petroleum systems of North Africa. In D.S. Mac Gregor, R.T.J. Moody and D.D. Clark-Lowes (Eds), Petroleum geology of North Africa. Geological Society of London Special Publication, 132, 7-68.
- Bouchon R., Ortynski H.I., Lappaent C. de, and Pommier G.,** "Le développement de la sismique réfraction dans l'interprétation géologique du Sahara nord. Son rôle dans la découverte et l'étude du champ de Hassi Messaoud.," in 5ème Congrès Mondial du Pétrole (5th WPC), New York, USA, 1959, vol. Sect. I, no. 7, pp. 729-746.
- Broadhurst, D., Goodacre, R., Jones, A., Rowland, J. J., & Kell, D. B.,** 1997. Genetic algorithms as a method for variable selection in multiple linear regression and partial least squares regression, with *Chantal Proulx*. **2014** Coordonnatrice académique - programmes du Département d'informatique. Coordonnées. Courriel : [Chantal.Proulx@USherbrooke.ca](mailto:Chantal.Proulx@USherbrooke.ca).
- Gaabi, N., Douba, S., Dokma, H.,** investigation et évaluation des paramètres pétrophysiques de la zone Hassi Tarfa (région Hassi Messaoud), Mémoire de Master Professionnel, Université Kasdi Merbah-Ouargla-2019, P98.
- J. J. Hopfield 1982 :** Profite d'une certaine désillusion de l'intelligence artificielle (heurtée à de sérieuses limitations) et présente une théorie du fonctionnement et des possibilités des réseaux de neurones. Il explique notamment dans un ouvrage la structure et loi
- L'article Computing Machinery and Intelligence** dans les années 1950, Alan Turing a proposé une expérience (maintenant dite teste de Turing)
- Marc, P.,** 2004. Réseaux de Neurones Université de l'AVAL.
- Nadia Djerouit,** "Analyse structurale du champ de Hassi Messaoud et son implication sur les qualités Petro physique du réservoir," engineering degree thesis, Science and Technology Houari Boumediene university (USTHB), 2000.
- Rachid Lasmi,** "Caractérisation des Quartzites de Hamra dans les gisements de Hassi Terfa, Hassi D'zabat et Hassi Guettar : Pétrophysique, Fracturation et Modélisation," Mémoire de Magister, Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie, Université M'hamed Bougara, Boumerdès, Algérie, 2013.
- Rapport final** d'interprétation diagraphique des puits HTF-01 HTF-02 HTF-03 EXPSONATRACH, Internal Report 2002.
- Rapport, DEP-SONATRACH,** Hassi Messaoud, Internal report 2009.
- Sir Geoffrey Jefferson et R.B. Braithwaite** la conférence qu'il donne à la BBC programme le 15 mai 1951 ou la discussion avec M.H.A. Newman, sur le thème « Les ordinateurs peuvent-ils penser ? ».

## الملخص

تهدف هذه المذكرة إلى التركيز على تقدير المسامية التي لها أهمية كبيرة في توصيف الخزان وتقدير الاحتياطيات في مكانه، باستخدام عدة تقنيات للذكاء الاصطناعي باستخدام سجلات الآبار والقياسات المباشرة في المختبر حالة الخزان المضغوط (الكوارتزيت الحمراء) لحوض حاسي الطرفة بوادي ميا في جنوب الجزائر. تقنيات الذكاء الاصطناعي الرئيسية المستخدمة هي (الانحدار الخطي المتعدد، الخوارزمية الوراثية الهجينة مع الانحدار الخطي المتعدد، شبكة الخلايا العصبية الاصطناعية). تُظهر تقنية الشبكة العصبية الاصطناعية لتقدير المسامية ارتباطاً أفضل  $R^2 = 0.6933$  للتنبؤ بالمسامية في الخزانات غير المتجانسة. تُظهر تقنية الانحدار الخطي المتعدد RLM لتقدير المسامية خطأً تربيعي متوسط أفضل  $RMSE = 2.09$  تؤكد نتائج هذا الملخص فعالية أدوات الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بمعلمات المكامن بما في ذلك المتغيرات غير المتجانسة ذات الأداء الملحوظ الذي يوفر الوقت من ناحية وهو اقتصادي تماماً من ناحية أخرى، لأنه يقلل من تكاليف الحفر والقياسات. في المختبر.

**كلمات المفتاح:** المسامية، الذكاء الاصطناعي، السجلات الاقتصادية، حاسي الطرفة،

## RESUMÉ :

L'objectif de cette mémoire se focaliser sur la l'estimation de la porosité qui présente une grande importance dans la caractérisation du réservoir et l'estimation des réserves en place, en utilisant plusieurs techniques de l'intelligence artificielle à l'aide des diagraphies de puits et les mesures direct au laboratoire, cas du réservoir compacté (quartzite El Hamra) du Hessi Tarfa bassin de Oued M'ya sud de l'Algérie. Les principaux techniques de l'intelligence artificielle utilisés sont (la régression linéaire multiple, l'algorithme génétique hybride avec régression linéaire multiple, réseau de neurone artificielle).

La technique de réseau de neurone artificielle pour l'estimation de la porosité montre une meilleure corrélation  $R^2=0,6933$ , pour la prédiction de la porosité dans les réservoirs hétérogènes. La technique de la régression linéaire multiple RLM pour l'estimation de la porosité montre une meilleure erreur quadratique moyenne  $RMSE= 2,09$

Les résultats de cette mémoire confirment l'efficacité des outils de l'intelligence artificielle pour la prédiction des paramètres des réservoirs y compris ceux hétérogènes avec des performances notables ce qui permettent un gain de temps d'une part et elle totalement économique d'autre part, car elle minimise les frais du carottage et les mesures au laboratoire.

**Mots-Clés :** Porosité, intelligence artificielle, diagraphies, économique, Hessi Tarfa,

## ABSTRACT

The objective of this thesis will focus on the estimation of the porosity which is of great importance in the characterization of the reservoir and the estimation of the reserves in place, using several techniques of artificial intelligence using logs. of wells and direct measurements in the laboratory, case of the compacted reservoir (El Hamra quartzite) of the Hessi Tarfa basin of Oued M'ya in southern Algeria. The main artificial intelligence techniques used are (multiple linear regression, hybrid genetic algorithm with multiple linear regression, artificial neuron network).

The artificial neural network technique for the estimation of porosity shows a better correlation  $R^2 = 0.6933$ , for the prediction of porosity in heterogeneous reservoirs. The RLM multiple linear regression technique for estimating porosity shows a better mean squared error  $RMSE = 2.09$

The results of this brief confirm the effectiveness of artificial intelligence tools for the prediction of reservoir parameters including heterogeneous ones with notable performance which saves time on the one hand and is totally economical on the other hand. , because it minimizes the costs of coring and measurements in the laboratory.

**Keywords :** Porosity, artificial intelligence, logs, economic, Hessi Tarfa