

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 du volume d'argile par les méthodes de machine Learning
Cas du réservoir Trias Argileux Gréseux Inférieur, Bassin de Berkine
Sud-Est Algérien.**

Présenté par :

BOUHAFS Rima

MAMMERY Abdelnacer

HAMDAT Abderrazak

Soutenu publiquement le : 17/06/2019.Devant le jury :

Président : Sahri Leila	<i>M.A.A.</i>	Univ. Ouargla
Promoteur : Ameer Zaimeche Ouafi	<i>M.A.A</i>	Univ. Ouargla
Examineur : Zatout Merzouk	<i>M.C.B</i>	Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2018/2019

Dédicace

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

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

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

Mes freres Abdedjalil, Nadjah, Rouya, Kosai.

A ma grande mère et mon grand-père.

A toutes les famille BOUHAFS.

A tous mes amis.

BOUHAFS RIMA

Dédicace

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

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

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

Mon chère Soeur Nadjla et mes freres Imad , Thamer, Mano, Yaser et Saad.

A ma grande mère et mon grand-père.

A toutes les famille MAAMRI.

A tous mes amis:

Mohamed , Abd eldjilil, Abd chaour , Abd salam, Fateh, Mohamed el saleh , Mahmoud et à tous mes autres amis.

MAMMERI ABDELNACER

Dédicace

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

A celui qui m'a donné vie et qui m'as apporté sans cesseson amour

*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.*

Et à la chère épouse et à mes enfants,

A toutes les famille HAMDAT.

A tous mes amis : Salah bendoma ,rachid lakhchakheche

Hamdat Abderrazak

Remerciements

*Avant tout je remercie **Dieu** 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 Ameer 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.

*Mes remerciements à, **Mme Khadidja Guellil** , **Mr Zatout Merzouk** , **Dr Kechiched Rabah** , **Dr Sahri Leila**, **Salah bendoma** , **rachid lakhchakheche** , **Mohamed taher khagaoui** , **Zebdi khalifa** pour ça bien vaillance, ses conseils, ses aides moral et scientifique, sa patience pendant la période de travail.*

*et la **DUPI LABORATOIRE HASSI MESSAOUD** et **DUPI LABORATOIRE BOMARDASSE**, pour sa donnes des information scientifique.*

*Nos vifs et sincères remerciements s'adressent tout particulièrement à notre **Université Kasdi Merbah – Ouargla**, qui nous a procuré une Bonne formation.*

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 **Master II***

Géologie pétrolière 2018/2019

SOMMAIRE

RESUME	I
ABSTRACT	II
الملخص	III
LISTE DES FIGURES	IV
LISTE DES TABLEAUX	V
LISTE DES ABREVIATIONS	VI
I. INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre.I : Géologie de la zone d'étude	
I.1. Introduction.	3
I.2. Situation géographique.	3
I.2.1. Aspect géologique.	3
I.2.2. Lithostratigraphie	4
I.2.3. Système Pétrolier de bassin de Berkine.	7
Conclusion	9
Chapitre.II : Synthèse Bibliographique sur les Méthode de L'intelligence Artificielle	
II.1. Généralités et historique d'intelligence artificielle	10
II.1.1. Généralités	10
II.1.2. Historique	10
II.2. Les Réseaux de Neurones Biologiques	11
II.2.1. Les Différents types de neurones.	12
II.3. Réseaux de Neurones Artificiels	12
II.3.1. Principe du neurone artificiel	13
II.4. Domaine d'application	14
Conclusion	17
Chapitre.III : Problématique et Généralité sur les argiles	
III. Généralités sur les argiles	18
III. 1. Introduction	18
III.1.1. Définitions	18
III.1.2. Origine des argiles	18
III.1.3. Nature et Transformation des Minéraux argileux	18
III.1.4. Propriétés et Utilisation	19
III.1.5. Classification des minéraux argileux	19
III.2. Les problèmes liés aux argiles dans le réservoir	20
III.3. Pourquoi en a fait les Tests sur les Argiles	21
III. 4. Les Tests sur les Argiles	21
III. 5. Problématique de Mémoire	21
Chapitre.IV : Matériel et Méthodes	
IV. Introduction	23
IV. 1. Préparation de la base de données	23
IV. 1.1. Méthode Analytique	23
IV.1.1.1. La Pétrographie	23
IV. 1.1. 2.Diffraction des rayons X (DRX)	23
IV. 1.1.3. Microscope électronique à Balayage (MEB)	25
IV. 1.2. Méthode empiriques (Indirectes)	25
IV. 1.2.1. Diagraphie	25

IV.1.2.1.1. Le Gamma Ray Total	26
IV.1.2.1.2. Le log Sonique	27
IV. 1.2.1.3. Le log Neutron	28
IV.1.2.1.4. La Densité (gamma- gamma)	29
IV. 1.2.1.5. La résistivité électrique	29
IV. 2. Méthodologie	30
IV. 2.1. Les équations empiriques	30
IV. 2.2. Les Réseaux de Neurones Artificiels	31
IV. 2.2.1. Elaboration du model par les Réseaux de Neurones	31
IV. 2.3. Régression Multiple	33
IV. 2.4. Critères de validation	33
IV. 2.5. Logiciels Utilise	34
IV. 2.5.1. Logiciel « EXCEL »	34
IV. 2.5.2. Logiciel « MATLAB »	34
IV. 2.5.1. Logiciel « STATISTICA »	34
Conclusion	35
Chapitre.V : Résultats et Discussion	
V. Introduction	36
V.1. Analyses et Préparation de la base de données	36
V.1.1. Statistiques Mono-Varié	36
V.1.2. Statistiques Bi-Variés (Matrice de corrélation)	36
V.1.3. Statistiques Multi- Variés(ACP)	37
V.2. Estimation du V_{sh} par la méthode empirique GR, Régression Multiple et RNA	38
V.2.1. Comparaison Qualitative	38
V.2.1.1. Résultats par équation empirique Gamma Ray	39
V.2.1.2. Résultats par Régression Multiple	40
V.2.1.3. Résultats par les réseaux de neurones artificiels (RNA)	41
V. 2.2. Comparaison Quantitative	42
V. 2.2.1. Comparaison numérique entre DRX et la méthode empirique (GR)	42
V. 2.2.2. Comparaison numérique entre volume d'argile DRX et Régression Multiple	43
V. 2.2.3. Comparaison entre DRX et Méthode de RNA	43
V.2.2.4.Comparaison entre les Méthodes: GR ,Régression Multiples et RNA avec DRX	45
V.3.Estimation et Validation des Missing DATA par la Topologie RNA	46
CONCLUSION	47
CONCLUSION GENERAL	48
BIBLIOGRAPHIE	
ANNEXES	

LISTE DES FIGURES

Fig.01 :	Situation géographiques de la zone d'étude.	3
Fig.02 :	Carte géologique de l'Algérie (Askri et al., 1995).	4
Fig.03 :	Stratigraphie généralisée de la zone du champ ourhoud, montrant la localisation des principaux réservoirs d'hydrocarbures et un schéma de la subdivision stratigraphique du TAGI (Marine and Petroleum Geology 19(2002) 117-142)	6
Fig.04 :	NNW-SSW Coupe transversale généralisée à travers le bassin de la Berkine, indiquant l'emplacement des principaux champs de pétrole de la partie centrale du bassin. Modifié de boote et al. (1998) .	8
Fig.05:	La structure d'un neurone biologique (Schéma d'un neurone) (Chantal.Proulx@USherbrooke.ca)	11
Fig.06 :	Les différentes géométries des neurones. (http://lesbonspsys.fr/Blog/wp-content/uploads/2017/01/type-de-neurone.png)	12
Fig.07:	Schéma représente L'architecture du modèle optimale MLP pour l'estimation du volume d'argile (V_{cl})	13
Fig.08 :	Types de phyllosilicates formés au cours de l'altération (Choufa Nassima, 2013).	19
Fig.09:	Argile après exposition au fluide (O'Brien et al., 2001)	20
Fig. 10:	Argile sous le microscope polarisant (lame mince Clay Minerals from the Perspective of Oil and Gas Exploration By Shu Jiang Submitted).	23
Fig.11 :	Rayonnement X suivant la loi de Bragg (Rollet P, 1975).	24
Fig.12 :	Exemple de Spectre de DRX (https://fr.wikipedia.org).	24
Fig.13 :	Images MEB de kaolinite vermiculaire. (Marine and Petroleum Geology 19(2002) 117-142)	25
Fig.14:	Enregistrements des (Total gamma ray) et(spectral gamma ray)pour le trou.HCGR = computed gamma ray, HSGR = total spectral gamma ray. http://www-odp.tamu.edu/publications/202_IR/chap_12/c12_f36.htm	26
Fig.15 :	La diagraphie sonique dipolaire à travers le sable du réservoir, montre un fort contraste en onde de cisaillement.(ResearchGate2019, RoberR. Stewart)	28
Fig.16 :	Outil et principe de mesure du Neutron (indice d'hydrogène) (Serra, O. 1979).	29
Fig.17 :	Le principe de mesure de la résistivité. (IFP, 2009).	30
Fig.18	Organigramme explicatif des Méthodes pour estimé le volume d'argile	35
Fig.19:	Cercle de corrélations de l'ACP sur l'ensemble de données des puits P-W.	38

- Fig.20 :** Comparaison graphique entre le volume d'argile mesuré (DRX) et volume d'argile calculée par la Gamma Ray puits P_W. 39
- Fig.21 :** Comparaison graphique entre le volume d'argile mesuré (DRX) et volume d'argile calculée par la régression multiple puits P_W. 40
- Fig.22 :** Comparaison graphique entre le volume d'argile mesuré (DRX) et volume d'argile calculée par les réseaux de neurones artificielles puits P_W. 41
- Fig.23 :** Architecture de réseaux de neurones artificiels le de puits P-W. 41
- Fig.24:** Comparaison graphique entre GR, régression multiples, les réseaux de neurones artificiels avec le volume d'argile (DRX). 45

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 :	Classification des minéraux argileux.	20
Tableau 02 :	Les types d'interactions selon l'énergie des protons.	29
Tableau 03 :	Statistiques des données des diagraphies et de volume d'argile DRX de puits P-W.	36
Tableau 04 :	Matrice de corrélation volume d'argile DRX et les enregistrements diagraphiques de puits P-W.	37
Tableau 05 :	Comparaison illustrative entre DRX et la méthode GR du puits P-W	42
Tableau 06 :	Comparaison illustrative entre volume d'argile DRX et la méthode régression multiples.	43
Tableau 07 :	les paramètres des réseaux de neurones élaborés.	44
Tableaux 08 :	Comparaison illustrative entre volume d'argile DRX et la méthode réseaux neurones artificielle de P-W.	45
Tableaux 09 :	Comparaison illustrative entre le volume d'argile mesurée (DRX) et calcule : GR, Régression Multiples et Réseaux de Neurones Artificiel de puits P_W.	46

LISTE DES ABREVIATIONS

A_{log}	Lecture totale des rayons dans la zone d'intérêt
A_{min}	Réponse moyenne des rayons dans la zone propre
A_{max}	Réponse moyenne des rayons dans la zone sale
ACP	Analyse en composantes principales
AIPEA	Association Internationale pour l'étude des Argiles
BRSE	Brkine Sud Est
CC	Coefficient de corrélation
DRX	Diffraction des rayons X
DT	Sonic;US/F
GR	Gamma Ray
I	Courant électrique
I A	Intelligence Artificiel
I_A	Ray index
K/POTA	Potassium
L	Languer
LMA	Algorithme d'entraînement de Levenberg-Marquardt
MAE	Erreur absolue moyenne
MEB	Microscope électronique à balayage
MSFL	Micro spherically focused resistivity; ohm
NE-SO	Nord Est – Sud Ouest
NPHI	Neutron;P.U
Pb	Densité apparente dans la zone d'intérêt
Pb_{cl}	Densité apparent dans la zone sale
QSAR	Quantitative Structure-activity relationship
R	Résistance (ohm)
R_{cl}	Résistivité en zone de densité
RHOB	Density;g/cm ³
RKF	Rhourde Kherouf
R_{lim}	Résistivité en zone proper
RMSE	Erreur Quadratique moyenne
RNA	Réseaux des Neurones Artificiels

Rt	Résistivité dans la zone d'intérêt
RT₁₀, RT₉₀, RT₆₀, RT₃₀, RT₂₀	Résistivité
S	Surface
SFSW	Sif Fatima Sud West
S_w	Saturation en eau
TAC	Trias Argileux Carbonaté
TAG	Trais Argileux Gréseux
TAGI	Trais Argileux Gréseux inférieur
TAGI (L)	Trias Argileux Gréseux inférieur Lower
TAGI (M)	Trias Argileux Gréseux Middel
TAGI (U)	Trias Argileux Gréseux Upper
TAGS	Trias Argileux Gréseux supérieur
T_r/Thor	Thorium
U	Tension(v)
U_r/URAN	Uranium
V_{CL}/V_{sh}	Volume of clay(argile/shale)
V-matrix	Volume de la matrice
φ_{DT}	Porosité sonique dans la zone d'intérêt
ρ	Résistivité
φ_{NCL}	Porosité neutron dans la zone sale
φβ	Porosité effective

INTRODUCTION GENERALE

I. INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'industrie pétrolière est un pilier de l'économie mondiale. L'or noir est une source majeure d'énergie. Le Sahara algérien est riche en pétrole. Le Bassin de Berkine est l'un des plus grands champs en Algérie. Cette importance est traduite par les découvertes de plusieurs gisements d'hydrocarbures. Le Bloc de SIF Fatima représente l'un des nouveaux axes de développement dans ce bassin, et contribue au renouvellement des réserves de notre pays en hydrocarbure et de renforcer la production qui connaîtrait, une décroissance ces dernières années (*WEC 2007*).

La caractérisation des réservoirs argileux-gréseux est connue par sa grande hétérogénéité et parmi les paramètres les plus importants est l'estimation du volume d'argile, la meilleure source d'estimation du volume d'argile est les résultats de diffraction des rayons-X (DRX) sur les carottes, cependant la récupération des carottes n'est pas toujours intégrales à cause des problèmes géologiques et techniques rencontrés durant l'opération du carottage ainsi le coût et le temps de l'analyse au laboratoire. Alors les scientifiques cherchent toujours des techniques de l'estimation du volume d'argiles (*Dresser Atlas 1982, Fertl et Chilingarien, 1990, Quirein et al. 1982, Rukhovest et Fertl, 1981*) avec, l'insuffisance des diagraphies et les paramètres pétrophysiques pour avoir la précision des résultats; ils ont cherché d'autres méthodes de l'intelligence artificielle qui répondent à de la complexité et de la non linéarité (de relations entre logging et la pétrophysique) (*Nikraves et Aminzadeh, 2001*).

Dans notre présente étude on a appliqué les réseaux de neurones artificiels qui est une technique inspirée des neurones biologiques pour faire une corrélation entre volume d'argile (DRX) et les diagraphies, grâce à la capacité de résoudre des problèmes complexes comparaisant avec les algorithmes et les techniques additionnelles.

Afin d'arriver à cet objectif, il a été nécessaire d'effectuer les travaux suivantes :

Chapitre I : Ce premier chapitre comporte une présentation de la région d'étude ; le cadre géologique régional du bassin de Berkine, la géologie locale du champ et la caractérisation du réservoir Trias Argileux Gréseux Inférieur TAGI.

Chapitre II : une Synthèse bibliographique sur les méthodes de l'Intelligence Artificielle est subdivisé en deux parties. En premier, nous présenterons succinctement la théorie du

réseau de neurones et ses applications dans le domaine de géologie. En deuxième quelques travaux sur l'estimation du volume d'argile.

Chapitre III : Généralités sur les argiles et présentation de la problématique du mémoire.

Chapitre IV : Le Matériel et les méthodes utilisés ; les méthodes d'études des argiles, (directe et indirecte), les diagraphies utilisés, la préparation de la base de données en se basant sur le volume d'argiles mesurés DRX, et la combinaison avec les diagraphies, les formules des équations empiriques, et La régression linéaire multiples, et les indices de performances.

Chapitre IV : Résultats et Discussion comporte une analyse qualitative (visualisation des logs), et quantitative (analyse statistique sur les résultats de prédiction), et une comparaison entre les résultats des deux méthodes et voir quelle est la plus performante.

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 meilleures résultats. .

Chapitre I
Géologie Régionale
et Locale de la zone d'étude

Ce premier chapitre comporte une présentation de la région d'étude ; le cadre géologique régional du bassin de Berkine, la géologie locale du champ et la caractérisation du réservoir Trias Argileux Gréseux Inférieur TAGI..

I. 1. Introduction

Le bassin de Berkine, est un bassin intracratonique, se situe dans la partie nord-est de la plate-forme saharienne. D'une superficie globale de 102 395 km², il est l'un des plus importants bassins producteurs d'hydrocarbures en Algérie.

I.2. Situation géographique

Le Bassin de Berkine se situe dans le grand Erg orientale, du Sahara Algérien entre la latitude 29° et 34° Nord et les longitudes 5° et 10°Est, à l'Est des champs de Hassi Messoud, Rhourde El Baguel et Rhourde Nouss. Il s'étend sur trois pays, la partie occidentale située en Algérie, la partie orientale située en Libye et le sud de la Tunisie pour sa partie septentrionale.

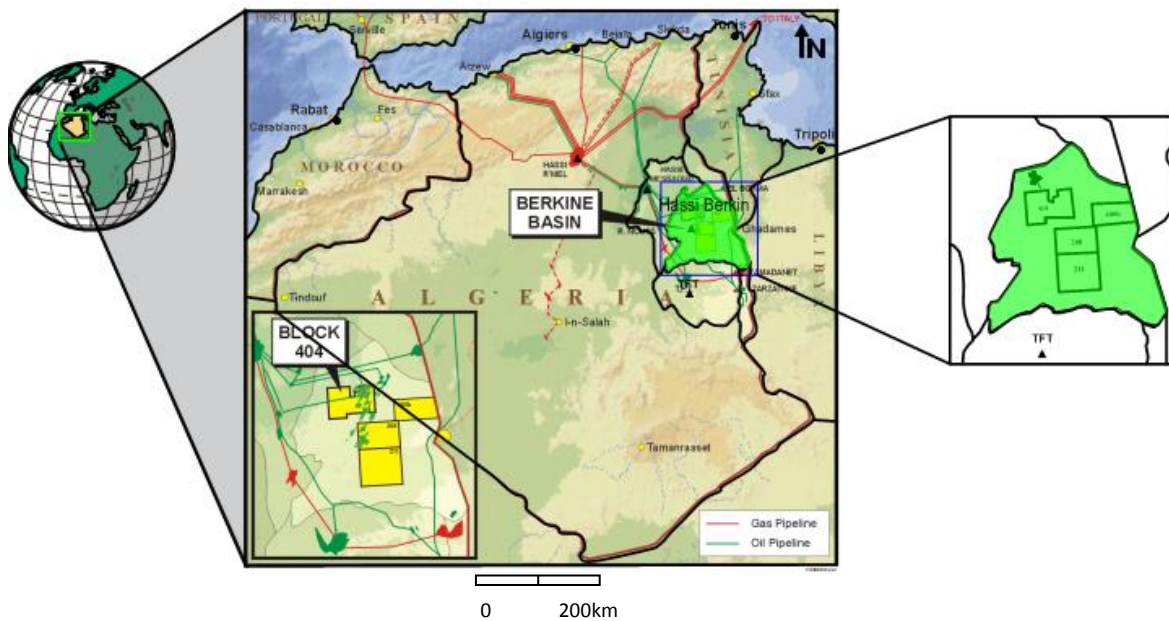


Fig.1 : Situation géographiques de la zone d'étude

I. 2. 1. Aspect géologique

De point de vue géologique, le bassin de Berkine, est de type intracratonique (WEC. 2007), il se situe dans la partie Nord Est de la plate forme saharienne. Sa superficie globale est de 102 395 km².

Les limites géologiques du bassin de Berkine sont :

- les frontières : tunisiennes et libyennes à l'est.
- bassin d'Ilizi au sud.
- dôme de Dahar au nord.
- Hassi-Messaoud à l'ouest.

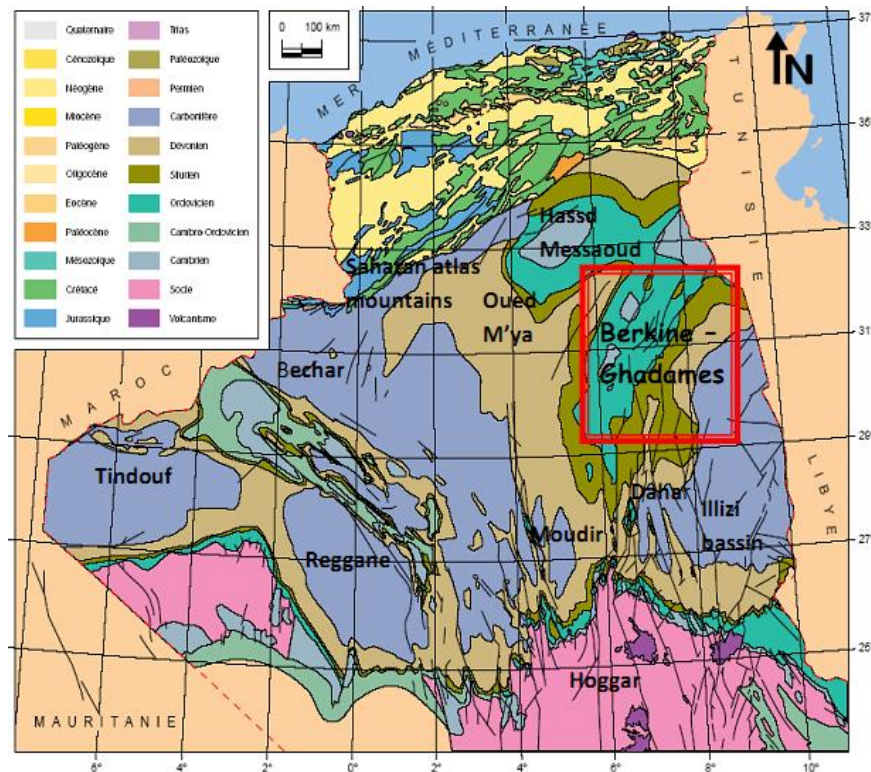


Fig.2 : Carte géologique de l'Algérie (Askri et al., 1995).

I.2.2. Lithostratigraphie

A série stratigraphique est essentiellement composée de dépôts Mésozoïque reposant en discordance majeure sur des formations du Paléozoïque reconnu partiellement. En fin, un épandage détritique d'âge tertiaire repose en discontinuité sur le Mésozoïque. La série lithostratigraphique du bassin est constituée des formations suivantes (Sonatrach, 2005).

A. Socle

Le socle composé de roches précambrien sur lesquelles reposent en discordance les formations paléozoïques.

B. Paléozoïque

a. Cambrien

Ces dépôts reposent sur un socle Précambrien, il est représenté par des grès et des quartzites à passées conglomératique. L'épaisseur moyenne de cette formation 300 m.

b. Ordovicien

Ces dépôts sont représentés par un ensemble de sédiments détritiques. Du bas en haut, on distingue les unités lithologiques suivantes:

- Les argiles d'El Gassi. Les grès d'El Atchane. Les grès d'El Atchane.
- Les quartzites de Hamra. Les grès d'Ouargla. Les argiles d'Azzel.
- Les grès d'Oued Saret. Les grès d'Oued Saret. Les argiles micro conglomératiques.

Cette période est caractères par une sédimentation terrigène, fine, argileuse en milieu marin d'une épaisseur moyenne de 600 m. Elle est composée essentiellement par des argiles noires fossilifères sur les quelles, reposent des grès argileux. Les Argiles noires forment un repère stratigraphique connu sur l'ensemble de la plateforme saharienne.

c. Dévonien

Le dévonien est formé par en trois époques à savoir:

- Dévonien inférieur: Il est composé d'une alternance argilo-gréseux.
- Dévonien moyen: Il est caractérisé par un dépôt argileux comporte des intercalations de niveaux carbonatés.
- Dévonien supérieur: Il est représenté par des argiles à passées de marne, calcaire et dolomie, au sommet on trouve des grès et des silts.

d. Carbonifère

Les formations carbonifères ont formés du bas en haut par :

- Carbonifère inférieur: Il est représenté par une alternance d'argiles, de silts et de grès avec des passées des roches carbonatées.
- Carbonifère supérieur: Il est représenté par une alternance des grès et des argiles à la base, et on observe des carbonates dans la partie centrale.

C. Mésozoïque

a. Trias

Le trias est subdivisé en des formations suivant:

- Trias Argileux Carbonaté (TAC) : Il est constitue d'argile brun rouge, rarement grise verte à éléments fins à moyen devenant grossier vers la bas avec d'intercalation d'argile gris vert et brunâtre indurée, siliceuse et feuilletée.
- Trias Argileux Gréseux inférieur (TAGI): Il est constitué de grès gris blanc à blanc et gris vert, fin à moyen parfois grossier subarrondi à subanguleux, siliceux à silico-argileux, localement pyriteux, friables à moyennement consolidé avec intercalations d'argile brun rouge parfois gris-vert tendre à indurée silteuse.
- Trias Argileux Gréseux supérieur (TAGS): Il est constitué de grès gris blanc, très fin, siliceux à silico-argileux, dur avec intercalations d'argile brun rouge et gris vert, tendre à indurée, silteuse.

b. jurassique

Les formations du Jurassique ont une épaisseur de 770 m, ils sont composés de sédiments marins lagunaires, à sa base, il se trouve un niveau dolomitique caractéristique.

c. Crétacé

Le Crétacé est présent par tout, sur la plateforme saharien. Il est caractérisé par une épaisseur de 1250 en moyenne. Les formations du Crétacé sont composées d'alternances de grés, d'argiles, de dolomies et de calcaires ainsi que de quelques passées d'anhydrites, gypses et de sels. Il devient essentiellement carbonaté vers le sommet.

D. Cénozoïque

a. Mio- Pliocène

Les formations du Mio-pliocène sont constituées de sable blanc à translucide, jaunâtre localement rougeâtre, rarement rosâtre fin à moyen, parfois grossier subarrondi à arrondi avec des intercalations d'argile brun rouge sableuse avec la présence parfois, de banc de calcaire argileux.

b. Quaternaire

Ce sont des sables dunaires.

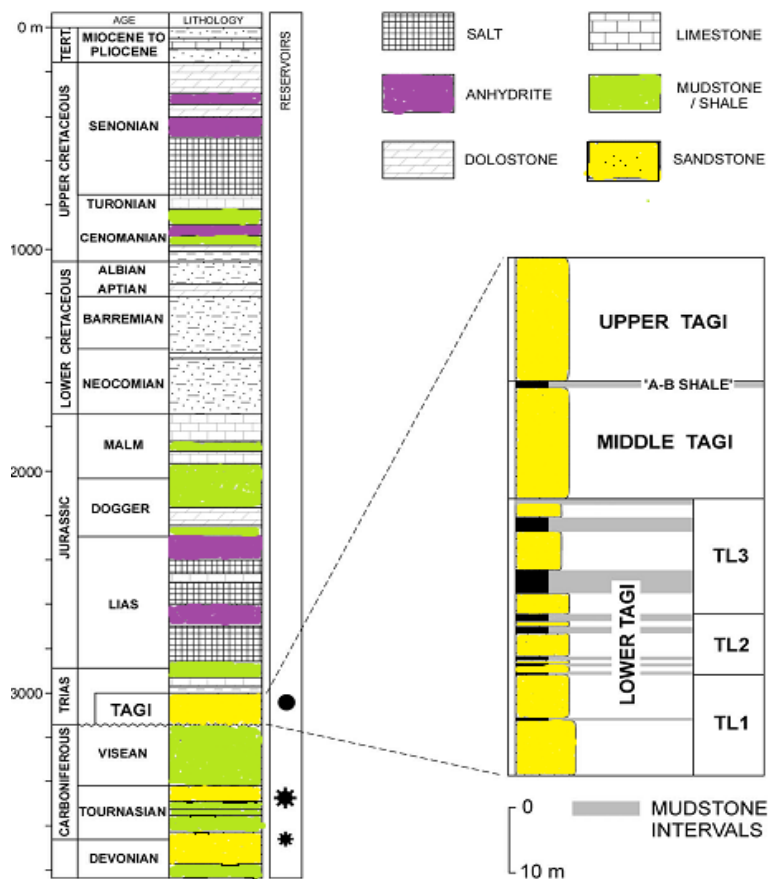


Fig.3 : stratigraphie généralisée de la zone du champ ourhoud, montrant la localisation des principaux réservoirs d'hydrocarbures et un schéma de la subdivision stratigraphique du TAGI (Marine and Petroleum Geology 19(2002) 117-142).

I. 2.3. Système Pétrolier de bassin de Berkine

1. Roches mères

Les deux roches mères principales reconnues sur l'ensemble du bassin correspondent au développement de séries argileuses noires, riches en matière organique, d'origine marine, marquant le début de la période de transgression lors du Silurien et du Frasinien.

La roche mère silurienne, d'extension régionale, constitue le principal générateur d'hydrocarbures dans la région.

La roche mère Frasinienne a une extension plus limitée et se localise dans la partie centrale du bassin.

2. Roches réservoirs

2.1. TAGS (Trias Argilo-Gréseux Supérieur)

Le TAGS est présent dans la dépression SE triasique, au sud-ouest du bassin. Il correspond à un épisode gréseux terminal du Trias post-rift. D'une épaisseur moyenne de 100 à 150 m, il est constitué de séquences de chenaux fluviaux et deltaïques caractérisées principalement par un grain moyen à grossier dénotant la proximité des sources d'apport. Le TAGS, excellent réservoir, constitue le principal objectif pétrolier dans la région de Rhourde En Nouss, Rhourde Chouff, Hassi Chergui, Gassi Touil, Rhourde Adra, Brides.

2.2. Trias carbonaté-Trias intermédiaire

L'épisode de formation du rift Trias carbonaté-Trias intermédiaire est caractérisé par des faciès argileux, généralement dolomitiques, et de séquences gréseuses du Trias intermédiaire bien développées dans la dépression SE triasique. Ses épaisseurs sont variables, influencées par les rejeux en distension des failles majeures.. Dans le bassin de Berkine, des passages gréseux d'extension réduite ont produit des huiles (SFSW - SF - BRSE).

2.3. TAGI (Trias Argilo-Gréseux Inférieur)

Le TAGI constitue la série basale du Mésozoïque. Il est caractérisé par des dépôts de type fluvial se développant sur l'ensemble du bassin.

Le TAGI présente deux séquences principales :

- Le TAGI inférieur, ou série de comblement, dont les extensions et épaisseurs sont régies par la paléotopographie post-hercynienne.
- Le TAGI moyen à supérieur, où domine une « chenalisation » de type méandrique à anastomosé. Les séquences terminales du TAGI supérieur dans les parties centrale et NE du bassin de Berkine sont marquées par le début d'une période transgressive marine de la base du Trias carbonaté.

3. Roches Couvertures

L'étanchéité des réservoirs triasiques est assurée par les argiles du Trias carbonaté-Trias intermédiaire et les évaporites du Trias-Lias. Les rejets des failles assurent dans la plupart des pièges une étanchéité latérale. Dans le Carbonifère et le Dévonien, les couvertures sont représentées par les argiles intraformationnelles. Sur les bordures de bassin, les passages du TAGI basal de mauvaises caractéristiques représentent localement une couverture verticale associée au Trias carbonaté.

La couverture des réservoirs de l'Ordovicien et du Cambrien est assurée respectivement par des argiles du Silurien et de l'intra-Ordovicien. Dans le Cambrien, la couverture est assurée par les argiles d'El Gassi. Latéralement, les rejets verticaux des failles associées aux axes structuraux assurent les fermetures latérales.

4. Les Pièges

Les pièges sont de deux types : structuraux et stratigraphiques. Les pièges structuraux sont des pièges liés aux phases compressives hercynienne et autrichienne. Dans les anticlinaux simples, l'exemple le plus marquant est la structure de RKF, structure polyphasée non faillée. Les anticlinaux faillés sont des structures contre faille du type d'Ourhoud et Rhourde Nouss. Les pièges stratigraphiques sont des biseaux sous discordance, contre faille, ou des lentilles gréseuses associées aux extensions des faciès du Trias et du Carbonifère. Ces pièges sont principalement mésozoïques (Trias) et localement paléozoïques (Dévonien inférieur et Carbonifère). Les pièges sous discordance se trouvent dans la partie nord-ouest du bassin où le Dévonien inférieur est biseauté sous les roches éruptives ou sous le Trias. Les lentilles gréseuses du Trias carbonaté peuvent former des pièges stratigraphiques locaux si elles se trouvent sur le chemin de migration des hydrocarbures.

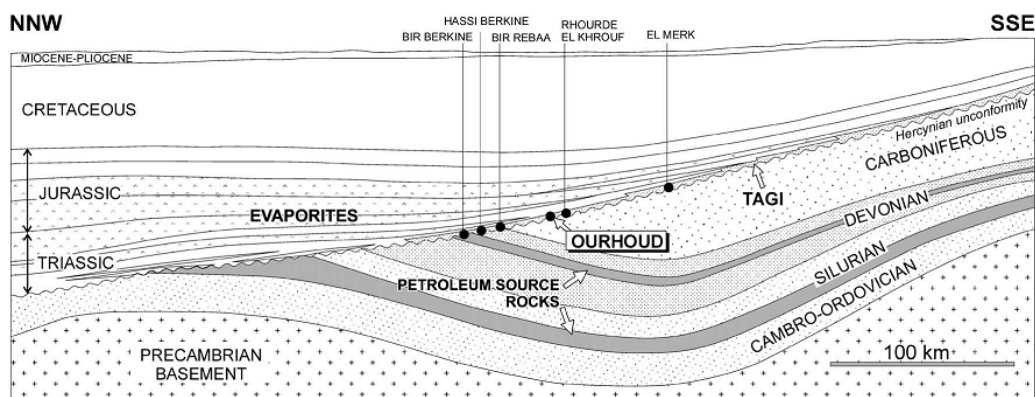


Fig.4 : NNW-SSW Coupe transversale généralisée à travers le bassin de la Berkine, indiquant l'emplacement des principaux champs de pétrole de la partie centrale du bassin. Modifié de **boote et al. (1998)**.

Conclusion

Le bassin Berkine situé dans le grand Erg orientale, il est limité par les champs de : Hassi Messaoud, Rhourde El Baguel et Rhourde Nouss à l'est, la partie occidentale située en Algérie, la partie orientale située en Libye et la partie septentrionale en Tunisie pour sa partie septentrionale.

La série stratigraphique de Bassin Berkine, est essentiellement composée des dépôts Mésozoïque reposant en discordance majeure sur des formations du Paléozoïque reconnu partiellement. En fin, un épandage détritique d'âge tertiaire repose en discontinuité sur le Mésozoïque.

Le TAGI (Trias Argileux Gréseux Inférieur) est le réservoir principale, elle est subdivisée en trois niveaux : TAGI Upper (U), TAGI Middel (M) et le TAGI Lower (L).

Chapitre II

Synthèse Bibliographique sur les Méthodes d'Intelligence Artificielle

Une Synthèse bibliographique sur les méthodes de l'Intelligence Artificielle est subdivisé en deux parties. En premier, nous présenterons succinctement la théorie du réseau de neurones et ses applications dans le domaine de géologie. En deuxième quelques travaux sur l'estimation du volume d'argile.

II.1. Généralités et historique d'intelligence artificiel

II.1.1. Généralités

L'intelligence artificiel c'est l'étude des activités intellectuelles de l'homme pour les quelles aucune méthode n'est a priori connue.

L'IA s'intéresse à tous les cas où le traitement des informations ne peut être ramené à une méthode simple, précise, algorithmique, un algorithme est une suite d'opérations ordonnées, bien définies, exécutables sur un ordinateur, actuel, et qui permet d'activer à la solution en un temps raisonnable (minutes, heures, ou plus..., mais pas de siècle).

L'IA est apparue en 1956, Il est pour but est de faire par une machine des tâches que l'homme accomplit en utilisant son intelligence.

Dans notre étude on a utilisé l'une des méthodes d'Intelligence Artificiel, s'appel les réseaux de neurones artificiels, qui nous a permet de reconstituer ou estimer le volume d'argile dans les intervalles où la carotte était absente.

II.1.2. Historique

De façon générale, on situe le début des réseaux de neurones artificiels en 1943, avec les travaux de « *McCulloch et Pitts* » qui montrent qu'un réseau de neurones discret, sans Contrainte de topologie, peut représenter n'importe quelle fonction booléenne et donc émuler un ordinateur. (**Kadous D.,2012**).

En 1949, D. Hebb initie, dans son ouvrage "The Organization of Behavior", la notion d'apprentissage. Deux neurones entrant en activité simultanément vont être associés (c'est adire que leurs contacts synaptiques vont être renforcés). On parle de loi de Hebb et d'associationnisme. (**Mohamed Yessin.,2007**)

Le premier réseau de neurones artificiel apparaît en 1958, grâce aux travaux de Rosenblatt qui conçoit le perceptron. Ce dernier est inspiré du système visuel (en terme d'architecture neurobiologique) et possède une couche de neurones d'entrée une couche de sortie ("décisionnelle"). Ce réseau parvient à apprendre, à identifier des formes simples et à calculer certaines fonctions logiques (**Abdi H.,1994**)

En **1982**, **Hopfield** développe un modèle qui utilise des réseaux totalement connectés basés sur la règle de **Hebb** pour définir les notions d'attracteurs et de mémoire associative.

En **1984** c'est la découverte des cartes de **Kohonen** avec un algorithme non supervisé basé sur l'auto-organisation et suivi une année plus tard par la machine de **Boltzmann (1985)**.

De nos jours, l'utilisation des réseaux de neurones dans divers domaines ne cesse de croître. Les applications en sont multiples et variées.

II. 2. LES RESEAUX 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.

*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.

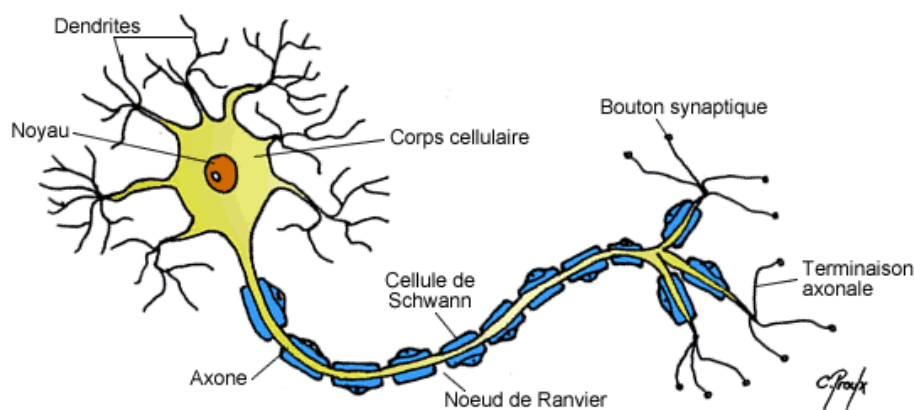


Fig.5: La structure d'un neurone biologique (Schéma d'un neurone (Chantal Proulx))

(Chantal.Proulx@USherbrooke.ca)

II.2.1. Les différents types de neurones

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

d. 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.

b. Neurones Bipolaires

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

c. Neurones Pseudo-Unipolaires

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

d. 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.

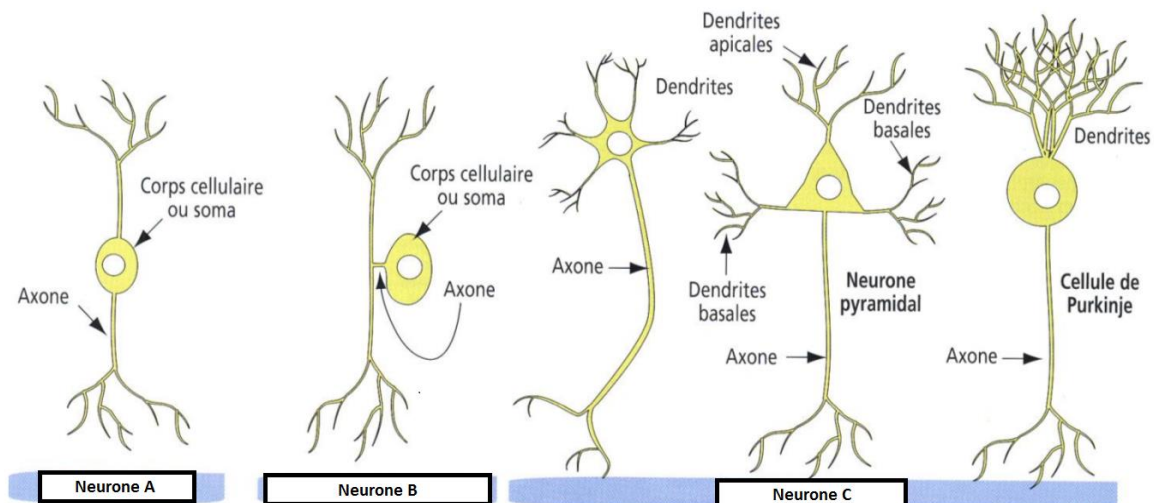


Fig.6 : Les différentes géométries des neurones.

(<http://lesbonspsys.fr/Blog/wp-content/uploads/2017/01/type-de-neurone.png>)

II.3. RESEAUX 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.

II.3.1. Principe du neurone artificiel

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.

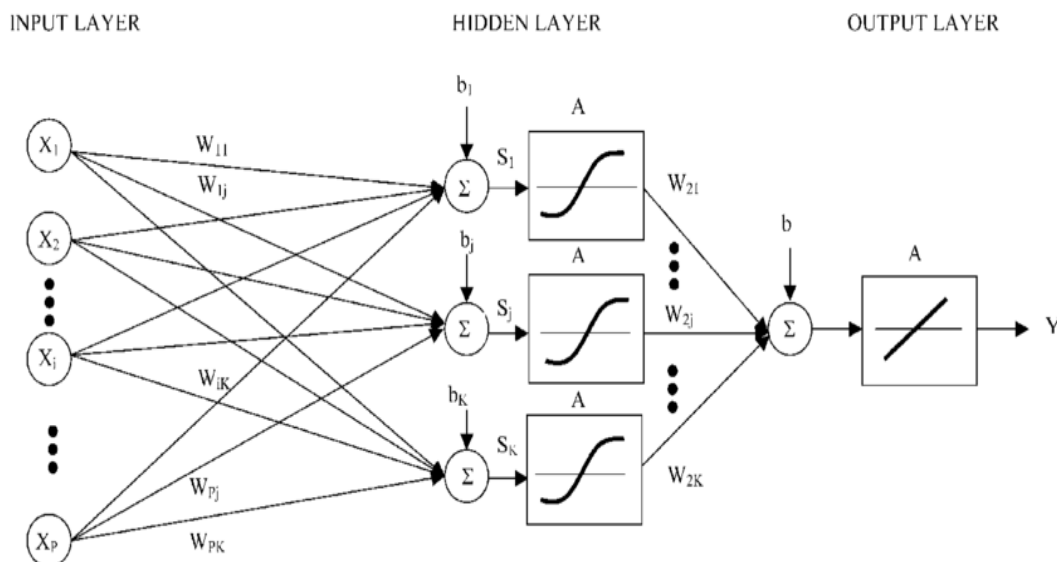


Fig.7: Schéma représente L'architecture du modèle optimale MLP pour l'estimation du volume d'argile (V_{cl})

II.4. 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-activityrelationship) 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 (char, jeeps,...)
 - **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)
- **Domaine pétrolier :** Estimation du débit individuel des phases (eau, huile, gaz) en sortie des puits de pétrole de production polyphasique, et estimation de paramètre pétrophysiques comme :
- **PERMEABILITE**
 - *Neural networks for the prediction of polymer permeability to gases (Hanaa, H., Mohamed, K., Denis, R., 2017)* L'objectif de cette étude était de développer une

relation quantitative structure-propriété (RSP) utilisant un réseau de neurones artificiels (RNA) afin d'améliorer la prévision des coefficients de perméabilité au gaz des membranes pour certains des principaux gaz industriels, tels que le et CH₄.

- *Multilayer perception neural network-based approach for permeability modelling in TAGI reservoir, case study from Sif Fatima oil field, Algeria. (Ameur Zaimeche ,O., Zeddouri, A., Kechiched, R.,2019)* L'estimation de la perméabilité est l'une des tâches les plus importantes dans la caractérisation des réservoirs pétroliers ; cependant la détermination traditionnelle de laboratoire de cette propriété est longue et très chère, Par conséquent, il est souhaitable de trouver une méthode de déterminer la perméabilité optimale. Beaucoup de recherche a été faite sur le problème d'estimation de la perméabilité par des moyens physiques qui est un processus assez complexe et cher ; Des formules empiriques nombreuses ont été découvertes par des scientifiques au cours des années (TimurTixier, Wyllie/Rose....) et des méthodes de régression ont été également employées.

- POROSITE

- *On the influence of porosity and pore size on AlSi17 alloy foam using artificial neural network (Dipen, K.R., L.A. Kumaraswamidhas, S. Das,2017)* Dans la présente étude, la mousse à cellules fermées en alliage d'aluminium AlSi17 est fabriquée selon le procédé de fusion, en utilisant de la poudre de calcium comme agent épaississant et de l'hydrure de titane comme agent moussant, en ajoutant des particules de carbure de silicium à 10% en poids. L'effet de la taille et de la taille des pores sur le mécanisme de déformation dans des conditions de charge statique est étudié. En outre, les propriétés de la mousse fabriquée sont analysées à la fin du test.
- *New insights into porosity determination using artificial intelligence techniques for carbonate reservoirs (Salaheldin, E., Zeeshan, T., Mohamed, M., Abdulazeez, A., 2018)* La porosité des réservoirs de pétrole est considérée comme l'un des paramètres les plus importants de l'estimation des réserves car elle détermine le volume effectif de l'hydrocarbure stocké dans le réservoir. Sur la base de l'estimation de la réserve, le plan de développement peut être défini et géré.

- FACIES

- *Modélisation et la reconstitution des faciès non carottés à l'aide des méthodes a base des Réseaux de Neurones Artificielles et Cluster Analysis, cas du réservoir Trias Argileux Gréseux Inférieur, champs de SIF FATIMA, bassin de Berkine, Sud de L'Algérie, (Ameur Zaimeche, O., Zeddouri, A., Heddami, S., Kechiched , R.,*

Belksier, M. S., (2014). L'objectif de ce travail est de faire une reconstitution des faciès dans des intervalles non carottés, à partir des logs, et des données de carotte pour la validation de modèle, pour faire la reconstitution des faciès à l'absence des carottes, ils ont utilisé quatre neurones pour la couche d'entrée (logs: Gamma ray, Thorium, Potassium et densité), avec treize neurones dans la couche cachée et un seul neurone dans la couche sortie qui représente la faciès non carottée.

- *Application of LP and ML sparse spike inversion with probabilistic neural network to classify reservoir facies distribution - A case study from the Blackfoot field, Canada (S.P. Maurya, N.P. Singh, 2018).* Les techniques d'inversion à pics clairs sont utilisées pour estimer la distribution de l'impédance acoustique dans la région inter-puits, paramètres importants pour la caractérisation du faciès du réservoir à partir de données de diaggraphie sismique et de diaggraphie de puits. L'inversion de l'impédance des pics clairs a pour but d'obtenir un profil d'impédance à haute résolution du sous-sol à partir des données sismiques à basse résolution avec intégration des données de diaggraphie de puits et à améliorer l'interprétation de la zone prospective.

-SATURATION

- *Multistability of delayed neural networks with hard-limiter saturation nonlinearities (Mauro, D.M., Mauro, F., Massimo, G., Luca, P., 2018)* Le document considère une classe de réseaux de neurones non lisses dans lesquels des non-linéarités de saturation à limitation stricte sont utilisées pour contraindre les solutions d'un système linéaire à retards concentrés et distribués à évoluer dans un hypercube fermé. Ces réseaux sont appelés systèmes linéaires retardés en mode saturé (D-LSSM) et ils constituent une généralisation au cas retardé d'une classe de réseaux neuronaux pertinente précédemment introduite dans la littérature.

-VOLUME D'ARGILE

- *The Application of Multilayer Perceptron Neural Network in Volume of Clay Estimation: Case Study of the Shurijeh Gas Reservoir, Northeastern Iran. (Jozanikohan, G, Norouzi, GH, Sahabi, F., 2015).* Le volume d'argile est un élément important de l'évaluation des réservoirs de sable argileux en raison de son impact significatif sur les caractéristiques de production. La formation de grès de Shurijeh de l'âge du Crétacé inférieur, avec ses schistes subordonnés, est l'un des réservoirs de gaz les plus difficiles être correctement caractérisées dans le bassin sédimentaire oriental de Kopet-Dagh, au nord-est de l'Iran.

Conclusion

La méthode des Réseaux de Neurones Artificiels, est inspirée de la biologie (réseaux de neurones humains) à partir le développement technologique dans le monde, l'application de cette méthode n'est pas Restreinte dans le domaine de technologie, mais elle était utilisée aux divers domaines, **où on a choisi cette méthode dans notre étude pour estimer un paramètre de réservoir manquante qu'est « le volume d'argile ».**

Chapitre III
Généralités sur les argiles
et problématique

*Généralités sur les argiles et présentation de la
problématique du mémoire*

III. GENERALITES SUR LES ARGILES :

III. 1. Introduction

Le terme argile trouve son origine dans le mot grec "argilos" dérivé de "argos" qui signifie blanc, puis sa traduction en latin : "argilla".

Il n'existe pas de définition unique du terme " argile ". Le mot " argile " englobe deux connotations, l'une liée à la taille des grains et l'autre à la minéralogie. La définition dépend de la discipline concernée. Le géologue ou le pédologue considèrent comme " argile " tout minéral de faible granulométrie, la limite étant fixée à 2 ou 4 microns selon les cas.

III.1.1. Définitions :

Les minéraux argileux sont des phyllosilicates hydratés de petite taille. Cependant des minéraux comme les illites ou les chlorites sont fréquents dans la fraction silteuse des roches magmatiques et métamorphiques ; tous les minéraux argileux ne sont pas des phyllosilicates (e.g. quartz, feldspath), ni même des silicates (e.g. oxydes). Les argiles sont généralement cristallisées, même si des argiles amorphes existent (e.g. allophanes dans les sols développés sur substrat volcanique ou andosols).

III.1.2. Origine des argiles :

Les minéraux argileux résultant de la destruction des roches, peuvent soit resté sur place (argiles résiduelles, ex: argiles à silex, argiles de décalcification) soit être transportées sur de longues distances (ex: argiles des fonds océaniques).

En fonction des roches mères et du climat, les minéraux argileux résultant sont différents.

- **En climat froid** : l'altération est faible, les minéraux argileux sont identiques ou peu différents des minéraux de la roche (illite et chlorite), ils sont hérités de la roche d'origine.
- **En climat chaud et humide** : l'hydrolyse est poussée, la kaolinite se forme en milieu drainé, les smectites en milieu confiné.
- **En climat tempéré et humide** : l'altération est modérée, il apparaît des interstratifiés, des illites et chlorites dégradées, de la vermiculite. (Dekmouche.R.I.E.,2018)

III.1.3. Nature et Transformation des Minéraux argileux :

*Altération d'une roche acide (**le granite**) qui donne (**la kaolinite**), en transfère chlorite.

* Altération d'une roche basique (**le basalte**) qui donne (**smectites**), en transfère Illite.

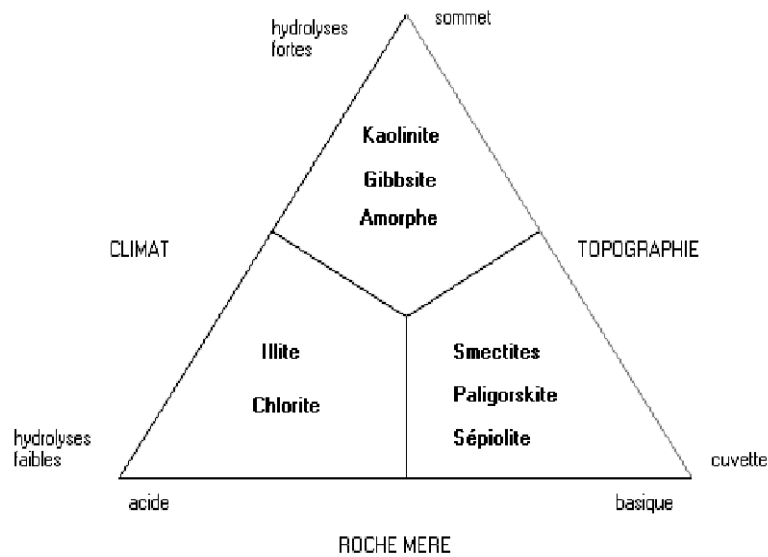


Fig.8 : Types de phyllosilicates formés au cours de l'altération (Choufa Nassima, 2013).

III.1.4. Propriétés et utilisation

- Absorption d'eau
- Plasticité: déformation souple sous l'effet des contraintes, rôle de couche savon pour glissements des matériaux à toute échelle (glissement de terrain, nappe tectonique)
- Compaction importante: expulsion d'une grande quantité d'eau. Les pores diminuent, la roche devient imperméable
- Pouvoir adsorbant
- Dispersion dans l'eau et floculation: les particules fines restent en suspension dans l'eau agitée; elles décantent dans l'eau immobile avec une vitesse de chute très faible (Loi de Stokes). En eau salée, elles s'agglomèrent (floculation) et précipitent plus rapidement.

III.1.5. Classification des minéraux argileux :

La classification des argiles et leur nomenclature dépendent de leur composition chimiques et de l'ordre structural. La classification adoptée par le comité de nomenclature de l'Association Internationale pour l'Etude des Argiles (**AIPEA**) varie avec les données structurales. Suivant le mode d'agencement des tétraèdres et des octaèdres on distingue 2 grandes familles de minéraux :

* Les minéraux fibreux qui sont des espèces à pseudo feuillets, par exemples les Palygorskites (attapulгите) et les sépiolites.

*Les minéraux phylliteux à structures lamellaires. Ces derniers sont les plus répandus et les plus étudiés. Leur classification est basée sur le mode d'association des couches structurales et le degré d'occupation des sites de la couche octaédrique (di ou tri octaédrique).

Tableau.1 : Classification des minéraux argileux

Classification des minéraux argileux		
Selon la composition chimiques et de l'ordre structural		
$(M_{2-3} Si_2 O_5)$ (OH) ₄	$(M_{2-3} Si_4 O_{10})$ (OH) ₂	$(M_{2-3} Si_4 O_{10})$ (OH) _{2-M-} (OH) ₂₋₃
-Kaolinite -Serpentite	-Pyrophyllite -Talk -Smectite -Vermiculite -Micas	-Chlorite

III. 2. Les Problèmes liés aux argiles dans le réservoir :

- Le gonflement des argiles : Au contact de l'eau contenue dans la boue avec les argiles, il y aura une augmentation de volume de ces derniers car elles adhèrent les molécules d'eau dans leur sein, cela provoquera éventuellement un coincement de la garniture.
- Le coincement : C'est problème très fréquent dans les opérations de forage du aux argiles gonflantes, aux éboulements du puits et les différences de pression.
- Problème de volumes d'argiles dans les réservoirs dépasse 35% réduit les potentialités.
- Problème des basses Résistivités dans les réservoirs (présences de la minéralisation qui baisse la valeur de la résistivité, (la pyrite) ou des minéraux argileux).

**Fig.9** : Argile après exposition au fluide (O'Brien et al., 2001)

III. 3. Pourquoi en a fait les tests sur les argiles :

1. Shales (argiles) la composante principale (75%) des formations géologiques.
2. Les problèmes liés aux argiles de forage représentent 10% du coût total de l'opération de forage.
3. Shales (argiles) causent plus de 90% des problèmes durant le forage.
4. A travers le monde, le coût des travaux de recherche liés aux argiles dépasse 1 billion \$.
5. Les problèmes de stabilité des parois argileuses durant le forage représentent la source la plus importante de perte de temps et de coût
6. Le coût des fluides de forage représente 15 à 20% du coût total du forage (et solutionnent 70 à 80% des problèmes) (**Ameur Zaimeche O., 2019**)

III. 4. Les tests sur les argiles :

- Temps de succion Capillaire (CST) : (**Wilcox, 84**)
- Test de Gonflement : (**Chenevert, 89**)
- Tests au Triaxial : Mesure de la pression des Pores
- Test à l'Odomètre.
- Capacité d'Echange Cationique (CEC) and MBT : Réactivité des cuttings
- Diffraction des rayons X
- Mesure de la Constante diélectrique (DCM) : Quantification des argiles et corrélation avec la surface Spécifique.
- Tests sur pastilles d'argiles : Possibilité d'étudier l'influence de la composition des argiles
- Test de Transmission de pression.
- Appareil de forage en miniature : Disponibilité des carottes d'argiles (Coût élevé)
- Test de Dispersion (shale des intégrations) : la méthode la plus utilisée actuellement.

La présence des argiles est pose 90% des problèmes dans toutes les phases, exploration, forage, production, traitement, c'est pour sa il faut une meilleure caractérisation et estimations pour savoir comment intervenir en cas de problèmes.

III. 5. PROBLEMATIQUE DU MEMOIRE

La présence de l'argile dans les réservoirs argileux-gréseux pose d'énormes problèmes pour l'évaluation de la formation. Il existe essentiellement deux problèmes principaux dans l'évaluation des réservoirs argileux-gréseux; la saturation en eau de formation (S_w) et la porosité effective (ϕ). Ces deux paramètres ne pourront être bien estimés sans la

détermination, avec précision, du volume de la matrice (V_{mat}). La connaissance de la quantité d'argile avec précision est primordiale pour le calcul du volume de l'eau liée à l'argile et de la porosité effective (ϕ) et par conséquent du volume de la matrice.

L'incertitude dans l'estimation du volume d'argile aura un impact direct sur la détermination de l'épaisseur utile propre (net pay), de la porosité et par conséquent sur le calcul des réserves.

1. La meilleure méthode d'estimation du volume d'argile est la Diffraction des Rayons X au laboratoire, mais elle est coûteuse et prend du temps, et n'est pas toujours applicable si la récupération du carotte n'est pas intégrales, on a des lacunes d'informations.

2. Avec le temps les chercheurs développent des fonctions empiriques pour calculer le volume d'argile à savoir ; La méthode de *Gamma Ray*, la fonction empiriques ; *Steiber (1970)*, *Clavier (1971)*, *Larionov (1969)*, ces méthodes **présentent beaucoup d'incertitudes dans le cas des grès radioactifs ainsi qu'en présence des argiles non radioactifs (passifs), alors les techniques sont très limités et donnent plus d'erreur ?**

3. Dans notre présente étude avec le développement de l'outil informatique et les méthodes l'intelligence artificielle on va appliquer les réseaux de neurones artificiels et des outils statistiques (la régression multiples) qui peuvent nous permettre de simuler le volume d'argile à partir des résultats de DRX, et les diagraphies classiques pour avoir le moindre erreur donc **pour minimiser le cout et optimiser l'estimation.**

Chapitre IV

Matériel et Méthodes

Matériel et les méthodes les méthodes utilisés ; les méthodes d'études des argiles, (direct et indirect), les diagraphies utilisés, la préparation de la base de données en se basant sur le volume d'argiles mesurés DRX, et la combinaison avec les diagraphies, les formules des équations empiriques, et La régression linéaire multiples, et les indices de performances.

IV. Introduction

Le volume d'argile est l'un des plus importants paramètres dans la caractérisation du réservoir, ils présentent 90% (Mr.KHODEJA) des problèmes dans le domaine pétroliers dans toutes les phases.

Dans ce chapitre on étudie ce volume par plusieurs méthodes suivi :

IV.1. Préparation de la base de données

IV.1.1. Méthode Analytique :

IV.1.1.1. La pétrographie

La pétrographie est la science ayant pour objet la description des roches et l'analyse de leurs caractères structuraux, minéralogiques et chimiques, et les relations de ces roches avec leur environnement géologique. Par sa démarche phénoménologique, la pétrographie se démarque de la pétrologie, discipline mettant l'accent sur les phénomènes de genèse, mise en place et altération des roches décrites statiquement par ailleurs.

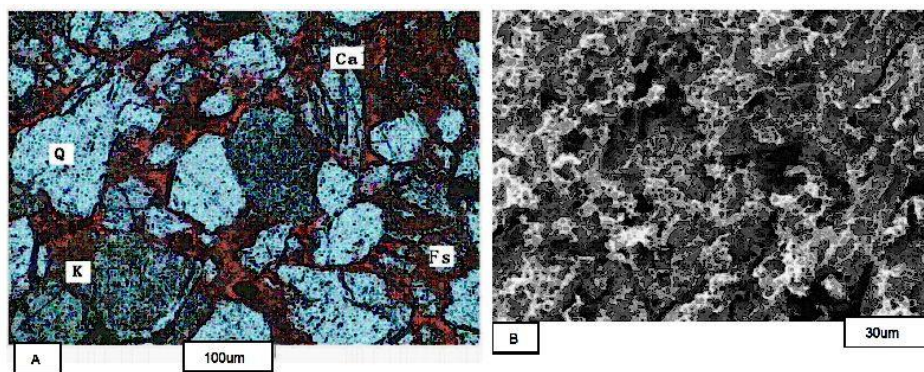


Fig. 10: Argile sous le microscope polarisant (lame mince Clay Minerals from the Perspective of Oil and Gas Exploration By Shu Jiang Submitted)

IV.1.1.2. Diffraction des rayons X (DRX) :

Cette méthode n'est pas exclusive aux argiles, mais s'y applique en priorité.

Elle consiste à envoyer un faisceau de rayons X sur les minéraux. Les minéraux argileux sont composés de feuillets silicatés superposés : ceux-ci réfléchissent les rayons X qui les atteignent sous une incidence donnée, et dans une direction donnée. Pour un faisceau monochromatique de longueur d'onde donnée, λ , abordant, sous un angle θ une famille de plans atomiques, séparés les uns des autres d'une distance d (distance réticulaire), dont n est le nombre entier correspondant à l'ordre de la diffraction.

Les atomes diffusent cette onde dans toutes les directions, et dans le cas où les rayonnements renvoyés par les plans successifs sont en phase, l'intensité correspondante est à l'ordre de la diffraction. Les atomes diffusent cette onde dans toutes les directions, et dans le

cas où les rayonnements renvoyés par les plans successifs sont en phase, l'intensité correspondante est suffisante pour être mesurée par la **loi de Bragg**.

$$2d \sin\theta = n\lambda$$

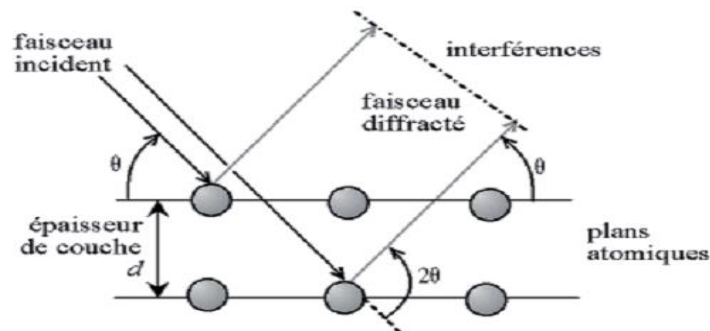


Fig.11 : Rayonnement X suivant la loi de Bragg (Rollet P, 1975)

a) Principales applications de l'analyse DRX :

- *Identification/quantification de la phase cristalline.
- *Mesure de la taille moyenne du cristal, de la tension ou des effets de micro tension dans les échantillons de densité globale et dans les échantillons de couche mince.
- *Quantification de l'orientation privilégiée (texture) dans les couches minces, dans les piles multicouches et dans les pièces fabriquées.
- *Détermination du ratio de matériaux cristallins par rapport aux matériaux amorphes dans les matériaux à densité globale et dans les échantillons à couche mince.

b) But :

Cette technique permet à la fois de démontrer la nature cristalline ou amorphe d'un solide ou une poudre, ainsi qu'à en déterminer les différentes phases cristallines.

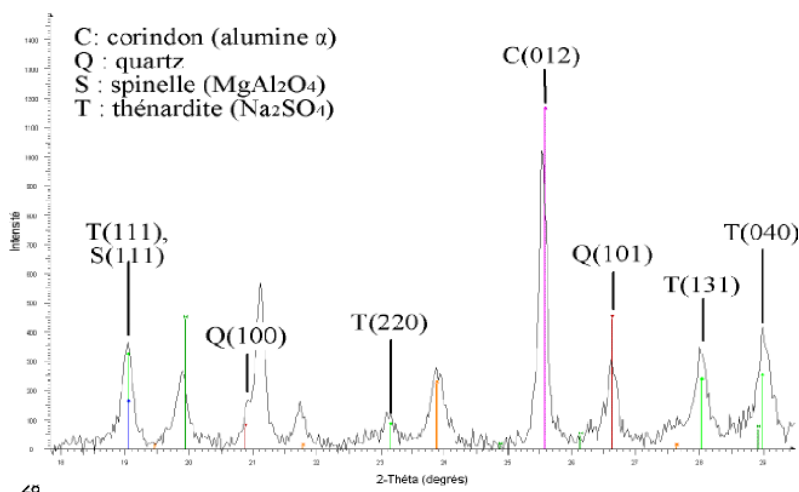


Fig.12 : Exemple de Spectre de DRX (<https://fr.wikipedia.org>)

IV.1.1.3. Microscope électronique à Balayage (MEB)

L'observation au Microscope Electronique à Balayage (MEB) présente l'avantage de nous permettre de visualiser des surfaces, et de mettre en évidence des détails d'une grande finesse surtout pour caractériser les espaces inter et intra granulaires (le premier espace entre les grains et au sein de la phase de liaison, le deuxième est dans les grains constitutifs).

La microscopie à balayage permet d'observer la texture de l'échantillon argileux et de caractériser des assemblages minéralogiques.

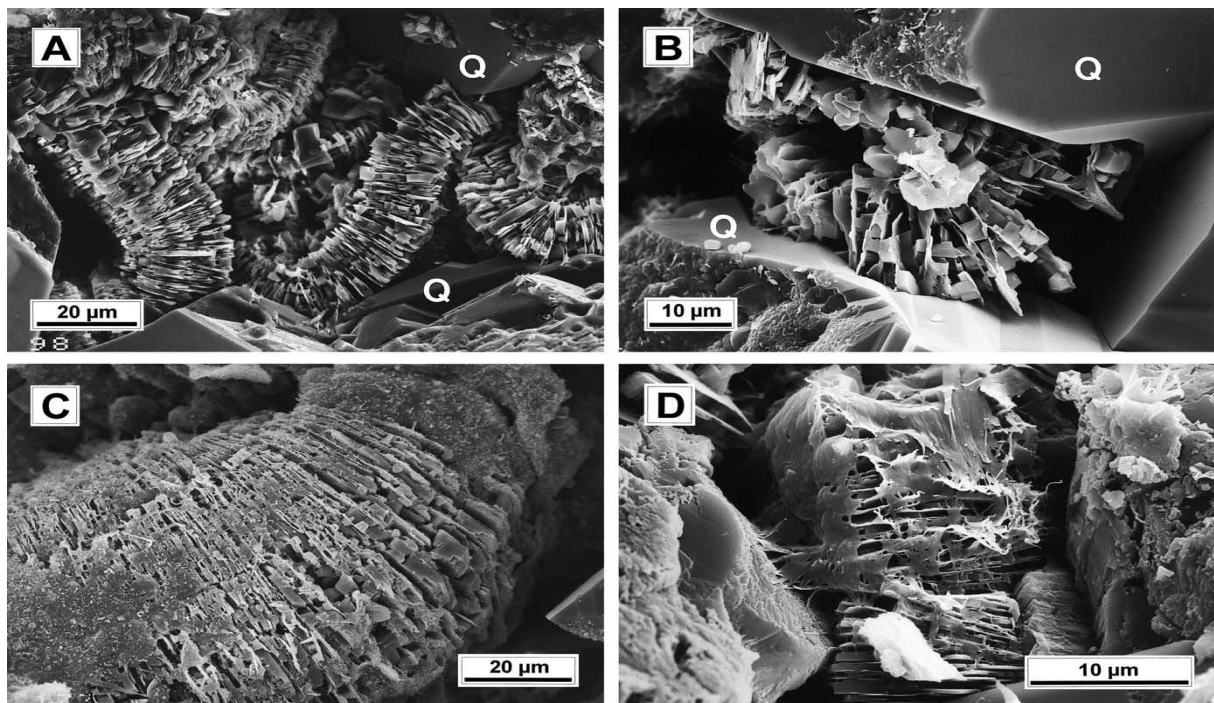


Fig.13 : Images MEB de kaolinite vermiculaire. (*Marine and Petroleum Geology* 19(2002) 117-142)

IV.1.2. Méthode Empiriques (Indirectes)

IV.1.2.1. Diagraphies

La diagraphie est une méthode géophysique qui consiste à mesurer, à l'aide de différentes sondes, les caractéristiques des roches traversées lors d'un forage. D'une manière générale, on appelle diagraphie tout enregistrement d'une caractéristique d'une formation géologique traversée par un sondage en fonction de la profondeur.

La diagraphie est un enregistrement (continu) des parois d'un sondage. Cet enregistrement a pour objectif l'acquisition des paramètres physiques (mécaniques, thermique, hydrauliques, électriques...) ou chimiques qui sont en relation directe ou indirecte avec les caractéristiques de la roche en profondeur.

Le suivi de la géologie dans un forage se fait par l'analyse des échantillons de roches collectés à pat régulier, et en considérant le temps de transit, des déblais de forage.

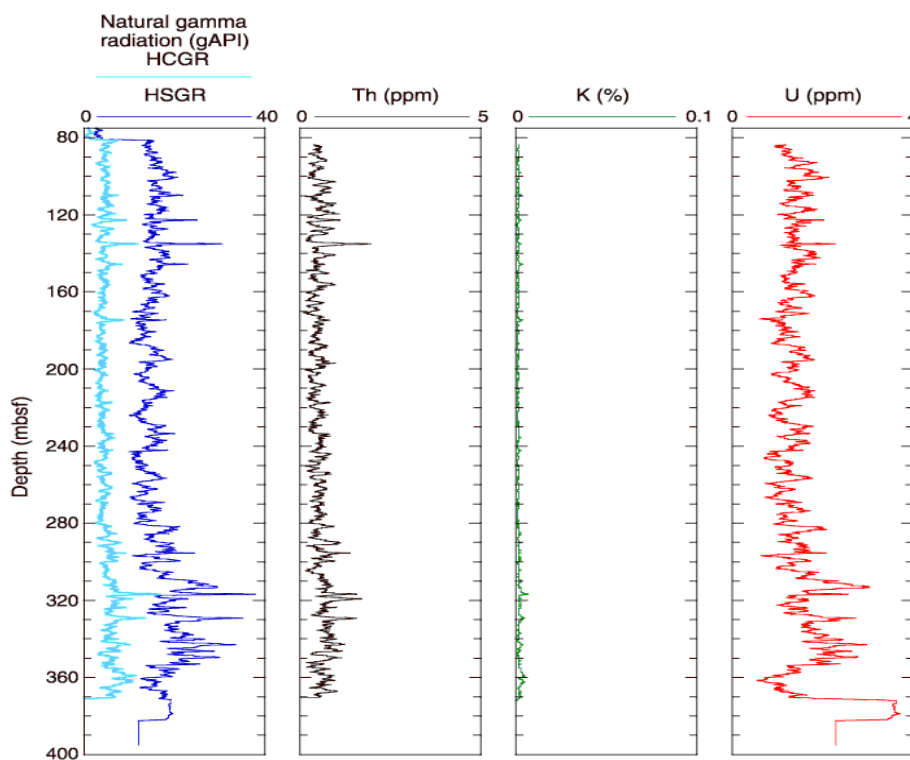
Les données récoltées à partir de l'observation de cet échantillon constitue la seule et unique donnée réelle et objective de la géologie. Mais, l'inconvénient de cette méthode, à l'exception du carottage, est que cette mesure est discontinue. En effet, les échantillons reportent une mesure ponctuelle de la profondeur où ils sont pris.

Ainsi, L'habillage lithologique des Log de forage se fait, par conséquent, par interpolation entre plusieurs mesures ponctuelles.

Les diagraphies sont utilisées dans ce mémoire pour la prédiction des faciès non-carottés, Ces diagraphies sont décrites ci-dessous :

IV. 1.2.1.1. 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.



. **Fig.14:** Enregistrements des (Total gamma ray) et(spectral gamma ray)pour le trou.

HCGR=computed gamma ray, HSGR = total spectral gamma ray. http://www-odp.tamu.edu/publications/202_IR/chap_12/c12_f36.htm

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 Υ :

Potassium« K »; Thorium« T_r »; Uranium« U_r ».

✓ 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

IV. 1.2.1.2. 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) : Δt
- 2- L'amplitude de l'onde

Deux types d'onde acoustique :

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

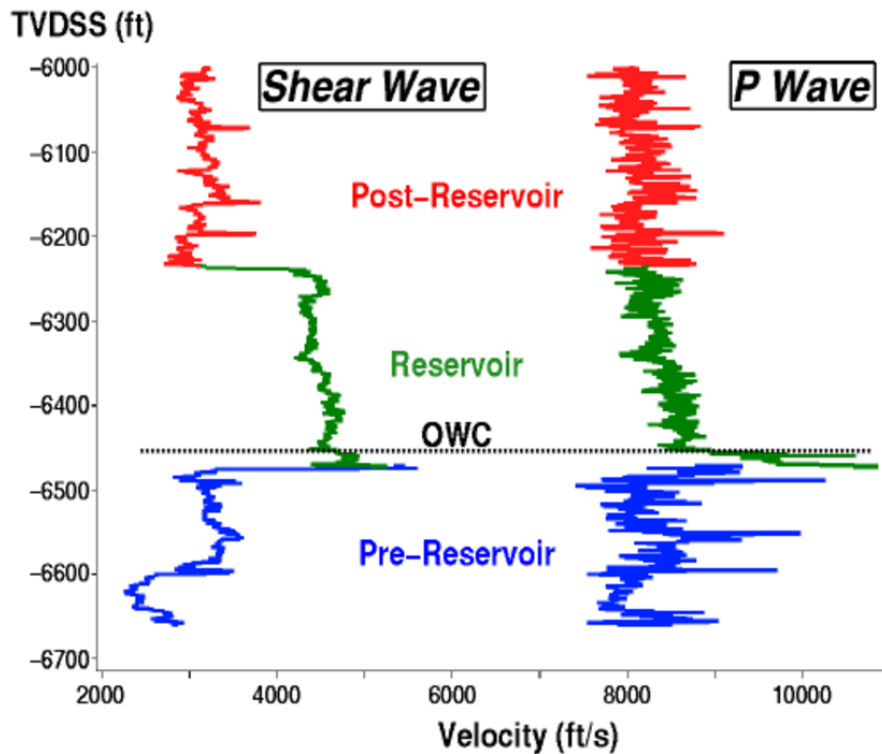


Fig.15 : La diagraphie sonique dipolaire à travers le sable du réservoir , montre un fort contraste en onde de cisaillement.(**Robert R. Stewart**)

IV. 1.2.1.3.. 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 de diagraphie).
- Evaluer la densité des hydrocarbures.
- Faire une corrélation de puits à puits.

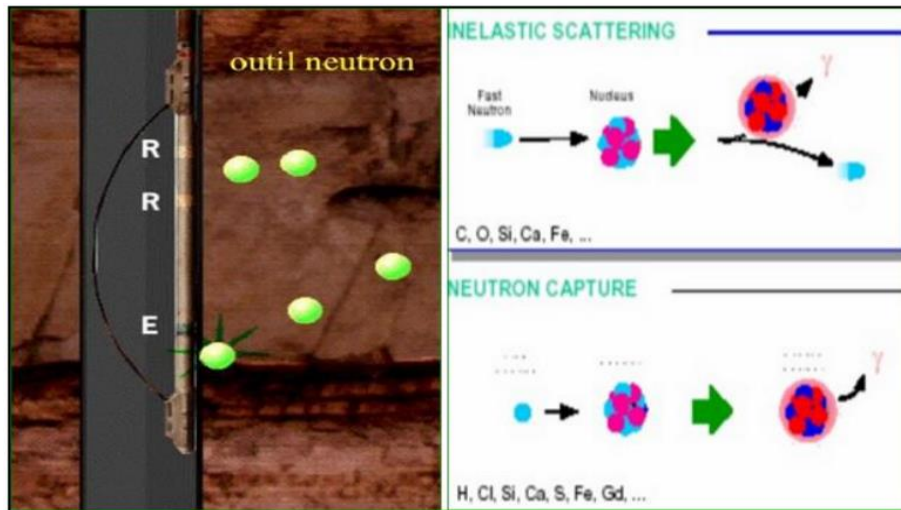


Fig.16 : Outil et principe de mesure du Neutron (indice d'hydrogène) (Serra, O. 1979).

IV.1.2.1.4. La densité (gamma-gamma γ - γ) :

Ces diagraphies utilisent des sources radioactives pour l'émission de rayonnement gamma. Celles-ci peuvent être ^{60}Co ou ^{137}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 Comptons.

Tableau.2 : Les types d'interactions selon l'énergie des protons.

Types d'interactions	Valeurs d'énergie des protons
L'effet Compton	Energie entre 0.1 et 1 MeV
L'effet photoélectrique	Energie inférieur à 0.1 MeV
L'effet de production de pair	Energie supérieur au 1.01 MeV

IV.1.2.1.5. 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.

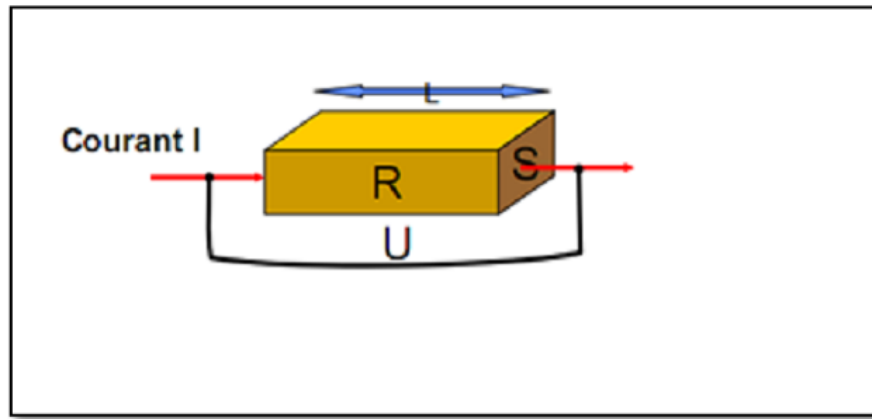


Fig.17 : Le principe de mesure du la résistivité. (IFP, 2009).

$$R = \frac{U}{I} \longleftrightarrow R = \frac{\rho \times L}{S}$$

R : Résistance (ohm).

U : Tension (V).

S : Surface.

I : courant électrique.

L : Longueur.

ρ : Résistivité.

IV.2. Méthodologie

IV. 2.1. Les équations empiriques :

La présence d'argile affecte le comportement de presque toutes les bûches de puits. Par conséquent, le volume d'argile peut être obtenu à partir de la réponse de chaque Log avec certains avantages et limitations inhérentes (Asquith et al. 2004 ; Dewan, 1983 ; Ellis et Singer, 2008 ; Serra, 2008).

Les équations empiriques d'estimer le volume d'argile à partir du milieu naturel.log de rayons gamma et sa composante spectrale (potassium, thorium et uranium), densité, sonique,

neutron et des données de diagraphie de résistivité, respectivement (**Dresser Atlas, 1982 ; Fertl et Chilingarien, 1990 ; Quirein et al. 1982 ; Rukhovest et Fertl, 1981**).

$$I_A = \frac{A_{\log} - A_{\min}}{A_{\max} - A_{\min}} \quad (1)$$

$$V_{cl} = I_A \times \left(\frac{P_b}{P_{bcl}} \right)^3 \quad (2)$$

$$V_{cl} = \frac{\varphi_{DT}}{\varphi_{DTcl}} \quad (3)$$

$$V_{cl} = \frac{\varphi_N}{\varphi_{Ncl}} \quad (4)$$

$$V_{cl} = \left(\frac{R_{cl}}{R_t} \times \frac{R_{lim} - R_t}{R_{lim} - R_{cl}} \right)^{\frac{1}{1.5}} \quad (5)$$

IV.2.2. Les Réseaux de Neurones Artificiels

C'est la méthode appliquée dans notre étude pour estimer le volume d'argile dans les intervalles non carottés, l'approche de RNA est une approche biologique.

Pour toute conception de modèle, la sélection des entrées doit prendre en compte deux points principaux :

- La dimension intrinsèque du vecteur des entrées doit être aussi petite que possible, en d'autres termes, la représentation des entrées être la plus compacte possible, tout en conservant pour l'essentiel la même quantité d'information, et en gardant à l'esprit que les différentes entrées doivent être indépendantes.
- Toutes les informations présentées dans les entrées doivent être pertinentes pour la grandeur que l'on cherche à modéliser : elles doivent donc avoir une influence réelle sur la valeur de la sortie.

Notre objectif est de déterminer le volume d'argile dans les intervalles non carottés c'est-à-dire où il y a un manque de données, dans ce cas on a utilisé les données diagraphiques comme des entrées (in put), et le paramètre utilisé dans la sortie c'est le volume d'argile a estimée (paramètre pour reconstituer).

IV.2.2.1. ELABORATION DU MODELE PAR LES RESEAUX DE NEURONES

Les Phases

Elles se subdivisent en sept étapes :

G- Collecte des données

L'objectif de cette étape est de recueillir des données, à la fois pour développer et valider le modèle. Le but est de rassembler un nombre de données suffisant pour constituer une base représentative nécessaire à la modélisation.

B- Analyse des données

Celle-ci consiste à détecter d'éventuelles valeurs douteuses de la base de données recueillies qui peuvent avoir une répercussion sur les résultats de la modélisation.

C-Séparation de la base de données

La base de données est scindée en trois parties, la première servant comme base d'apprentissage), et la seconde utilisée comme base de validation (performances du modèle) et la troisième pour (test). Il n'y a pas de règle pour déterminer ce partage de manière quantitatif. Il résulte souvent d'un compromis tenant compte du nombre de données dont on dispose et du temps imparti pour effectuer l'apprentissage. Chaque base doit cependant satisfaire aux contraintes de représentativité de chaque classe de données, et doit généralement refléter la distribution réelle, c'est à dire la probabilité d'occurrence des diverses classes.

D-Choix de l'architecture du réseau

Il existe un grand nombre de types de réseaux de neurones, avec pour chacun des avantages et des inconvénients. Le choix de l'architecture du réseau peut dépendre :

- ❖ De la tâche à effectuer (classification, association, contrôle de processus, ...)
- ❖ De la nature des données (données présentant des variations au cours du temps).

Ce choix est aussi fonction de la maîtrise, ou de la connaissance que l'on a de certains Réseaux, ou encore du temps dont on dispose pour tester une architecture prétendue plus performante.

E-Apprentissage du réseau de neurones

La plupart des modèles de réseaux de neurones requièrent un apprentissage. Plusieurs types d'apprentissages peuvent être adaptés à un même type de réseau de neurones. Les critères de choix sont souvent la rapidité de convergence, ou les performances de généralisation.

F-Validation

Une fois le réseau de neurones entraîné, il est nécessaire de le tester sur une base de données différente de celle utilisée pour l'apprentissage. Ce test permet d'apprécier les performances du modèle élaboré. Si ces performances ne sont pas satisfaisantes, il faudra soit

modifier l'architecture du réseau, soit modifier la base d'apprentissage. La démarche expérimentale exige cependant une étape de validation avant toute utilisation. Elle est en effet nécessaire, pour vérifier la fiabilité de la représentation interne du réseau. Elle consiste en fait à simuler l'utilisation du réseau.

G-Test

En réalité il n'y a pas grande différence entre la validation et le test puisque il réalise la même opération, Seulement la phase de validation est utilisée aussi pour éviter le problème de sur apprentissage (Overfitting) et augmenter la capacité de généralisation du modèle. Pendant l'arrêt de l'apprentissage du modèle, on constate que l'erreur totale sur la partie validation cesse de se dégrader, donc à ce point-là l'apprentissage est stoppé ce qui s'appelle l'Early Stopping en Anglais.

IV.2.3. Régression Multiple :

La régression d'une variable dépendante scalaire, Y, sur une ou plusieurs variables indépendantes noté X, est le calcul de la valeur la plus probable de Y pour chaque valeur de X, basée sur un nombre fini de mesures éventuellement bruitées de X et les valeurs associées de Y (**Kenney and Keeping, 1954**). Pour démontrer la différence entre le réseau neuronal et d'autres approches conventionnelles telles que la régression linéaire multiple dans l'estimation du volume d'argile, un exercice a été effectué sur les données. Les journaux les plus importants, affectant sur le volume d'argile (THOR, GR, DT, RHOB, MSFL et NPHI) ont été utilisés pour effectuer une analyse la régression linéaire multiple.

Pour évaluer dans quelle mesure le modèle de régression représente le (**Root Mean Square Error-RMSE-**) le coefficient de corrélation (cc) et (**Mean Absolute Error-MAE**) ont été utilisés et les résultats obtenus ont été ajoutés à la relation suivent : (**Jozankikohan,G.....2014**)

$$V_d = a \text{ THOR} + b \text{ GR} + c \text{ DT} - d \text{ RHOB} - e \text{ MSFL} - f \text{ NPHI} + y$$

IV.2.4. 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. **Willmott CJ (1981,1982).in I. Ladlani et al. (2012).**

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

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (Y_{iobs} - Y_{isim})^2} \quad (6)$$

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

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

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Y_{iobs} - Y_{isim}| \quad (7)$$

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

❖ **Coefficient de Corrélation (CC)**

$$CC = \frac{\frac{1}{N} \sum (Y_{iobs} - Y_{isim})(Y_{iobs} - Y_{isim})}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum (Y_{iobs} - Y_{isim})^2} \sqrt{\frac{1}{N} \sum (Y_{iobs} - Y_{isim})^2}} \quad (8)$$

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

IV.2.5. LOGICIELS UTILISE

IV.2.5.1. Logiciel « EXCEL »

Ce logiciel qui est un tableur a été utilisé essentiellement pour la saisie et la gestion des fichiers des données. Les fichiers de données diagraphie de tout le réservoir ont été faits au préalable à l'aide de ce logiciel. En générale, il a été utilisé pour certains calculs (méthode de Cluster Analysis) et aussi pour qu'ils soient bien adapter à tout traitement statistique et se mettre en liaison avec Matlab.

IV.2.5.2. Logiciel "MATLAB"

MATLAB est une application scientifique interactive orientée au calcul vectoriel et matriciel avec une puissante librairie de visualisation. On peut résoudre des problèmes de calcul très complexes d'une façon simple et rapide comparée aux langages de programmation traditionnels. Le nom MATLAB est dérivé de l'anglais MATrix LABoratory Ce logiciel

comporte une Toolbox relatifs aux réseaux de neurones artificielles qui a été utilisée dans la programmation.

IV.2.5.3. Logiciel "STATISTICA"

STATISTICA propose une large gamme d'outils d'analyse statistique, de gestion et de représentation des données. À partir de l'importation de bases de données ou de tableaux issus d'enquêtes et sondages, vous pouvez établir des statistiques descriptives, calculer des probabilités, réaliser des typologies grâce aux outils d'exploration multivariée. Vous disposez également de nombreux outils de modélisation et d'une large palette d'outils de représentation graphique : histogrammes, graphiques en 2D ou séquentiels en 3D, tracés matriciels, etc. Plus de 14000 fonctions statistiques et graphiques accessibles en Visual Basic. Richesse fonctionnelle et convivialité sont les maîtres mots de ce logiciel professionnel mais accessible à tous.

Conclusion :

On a résumé les étapes de Modélisation par cet organigramme

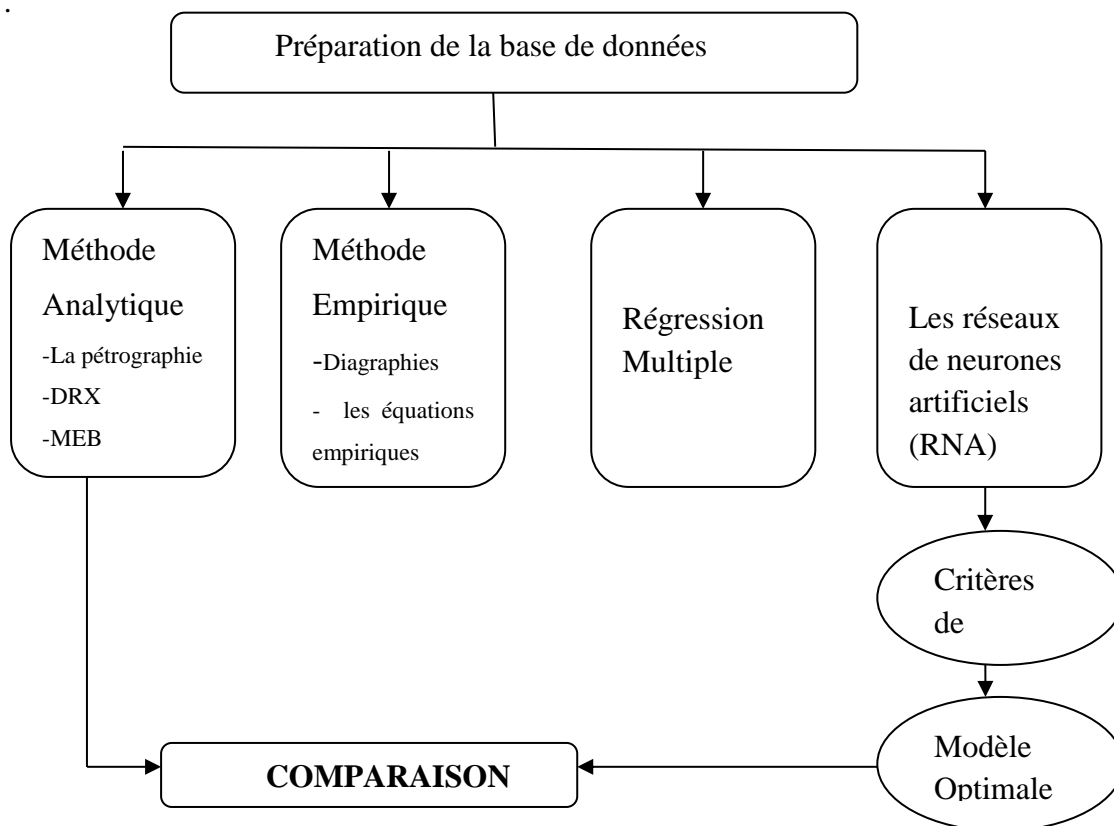


Fig.18 : Organigramme explicatif des Méthodes pour estimer le volume d'argile

Chapitre V

Résultats et Discussion

Résultats et Discussion comporte une analyse qualitative (visualisation des logs), et quantitative (analyse statistique sur les résultats de prédiction), et une comparaison entre les résultats des deux méthodes et voir quelle est la plus performante.

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 meilleures résultats. .

V. Introduction

Ce chapitre contient un ensemble des résultats obtenus par plusieurs méthodes de prédiction du volume d'argile et une comparaison quantitative et qualitative pour atteindre la méthode la plus performante.

V. 1. Analyses et préparation de la base de données

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

V. 1.1. Statistiques mono-varié

Le traitement statistique a été effectué sur le volume d'argile 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 03).

Tableau 03 : Statistiques des données des diagraphies et de volume d'argile DRX de puits P-

W

	N Actifs	Moyenne	Médiane	Mode	Minimum	Maximum	Variance	Ecart-type
GR	1392	82,47	85,60	30.16	21,11	141,99	1125,9	33,55
RT10	1392	42,99	22,59	Multiple	0,31	1984,18	24714,2	157,20
RT90	1392	148,97	23,71	2000.00	0,20	2000,00	170917,0	413,42
RT60	1392	115,69	22,19	2000.00	0,21	2000,00	129962,2	360,50
RT30	1392	65,84	21,59	Multiple	0,23	1997,78	43629,6	208,87
RT20	1392	50,29	22,95	Multiple	0,26	1992,35	28715,5	169,45
DT	1392	69,61	65,75	Multiple	58,43	89,75	69,2	8,31
THOR	1392	12,15	12,35	Multiple	3,54	23,83	19,1	4,36
POTA	1392	1,17	1,31	Multiple	0,07	2,69	0,5	0,71
URAN	1392	3,11	3,23	Multiple	0,78	5,91	1,6	1,25
RHOB	1392	2,57	2,61	2.69	2,23	2,86	0,0	0,15
V-argile DRX	31	14.92308	10	10	7	39	98	9.9

V. 1.2. Statistiques bi-variés (matrice de corrélation)

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

La matrice de corrélation a montré que le V-argile DRX est corrélé positivement avec **GR** (CC=0,72), **RT10** (CC=0.57), **THOR** (CC=0.68) **POTA** (CC=0.72) et négativement avec **DT** (CC= -0,67).

La signification des coefficients de corrélation (en rouge) ont été confirmés par la formule suivante :

Formule :

$$R = 2/\sqrt{(n - 1)}$$

Tableau 04 : Matrice de corrélation volume d'argile DRX et les enregistrements diagraphiques de puits P-W

	GR	RT10	RT90	RT60	RT30	RT20	DT	THOR	POTA	URAN	RHOB	V-argile DRX
GR	1,00											
RT10	0,84	1,00										
RT90	0,81	0,93	1,00									
RT60	0,73	0,95	0,95	1,00								
RT30	0,59	0,91	0,77	0,88	1,00							
RT20	0,76	0,99	0,90	0,95	0,96	1,00						
DT	-0,93	-0,79	-0,68	-0,65	-0,59	-0,71	1,00					
THOR	0,99	0,82	0,76	0,70	0,57	0,73	-0,94	1,00				
POTA	0,95	0,89	0,83	0,77	0,65	0,81	-0,92	0,94	1,00			
URAN	0,89	0,58	0,54	0,48	0,30	0,47	-0,85	0,93	0,77	1,00		
RHOB	0,84	0,77	0,71	0,69	0,58	0,71	-0,92	0,83	0,88	0,72	1,00	
V-argile DRX	0,72	0,57	0,47	0,31	0,40	0,51	-0,67	0,68	0,72	0,54	0,51	1,00

V. 1.3. Statistiques multi-variés Analyse en Composantes Principales (ACP)

Les cercles de corrélation dans le plan des axes F1 et F2 qui représentent une Ecart-type cumulée de 90.06 (%) (F1 = 77.32%, F2 = 12.74 %) (Figure 19) montrent :

- Une association constituée de volume d'argile (DRX), GR, THOR, POTA, URAN et le RHOB (pole radioactive), Ces paramètres sont corrélés négativement avec le facteur F1 et le facteur F2.
- Une association constituée des résistivités (pole électrique) : RT10, RT90, RT60, RT30, RT20, Ces paramètres sont corrélés positivement avec le facteur F2 et négativement avec le facteur F1.
- le sonique (DT) est corrélé positivement avec le facteur F1 et positivement avec le facteur F2.

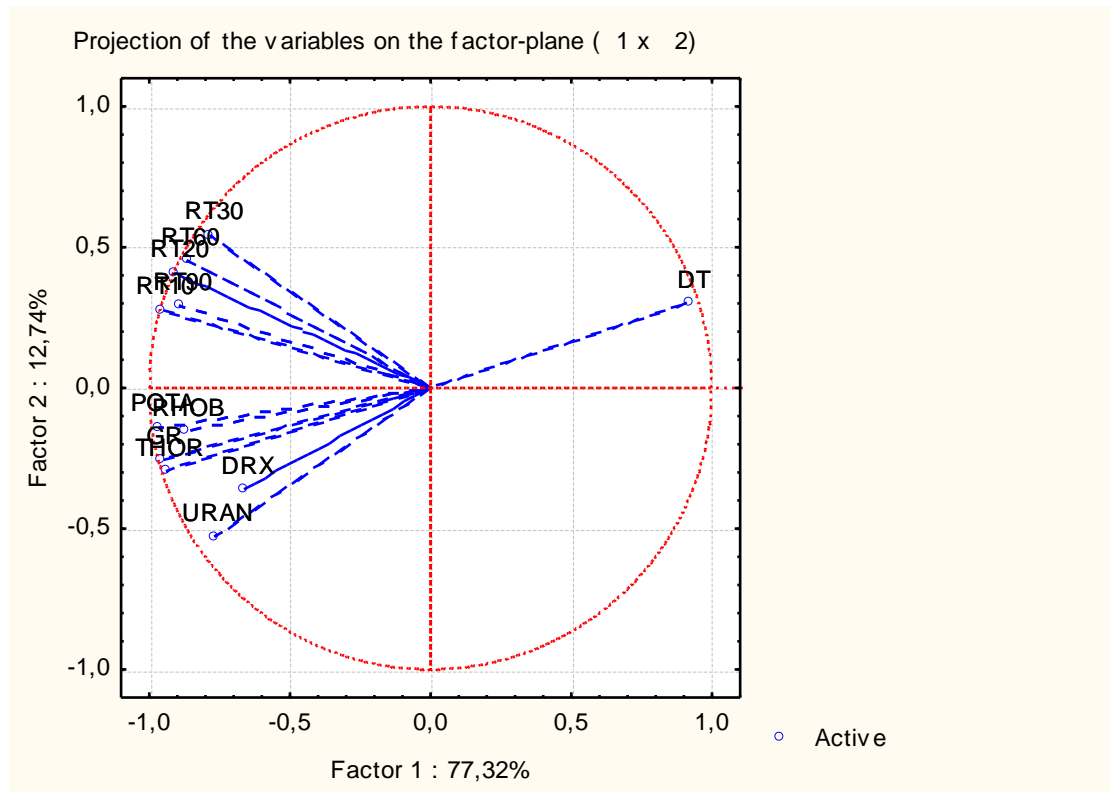


Fig.19: Cercle de corrélations de l'ACP sur l'ensemble de données des puits P -W

A l'issue de l'Analyse en Composante Principale (ACP), on peut conclure que le volume d'argile (DRX) se trouve en association avec GR, THOR, POTA, URAN et le RHOB (pole radioactive). Ceci indique la présence d'argile une relation étroitement liée avec les diagraphies nucléaires. Cependant, il n'y a pas une association avec les diagraphies électriques et soniques.

Grâce à cette étape (ACP) on prend les variables du modèles (INPUT); on exclue les résistivités (pole électrique) parce que elles sont influencées par les fluides imprégnés dans la roche et la contamination par boue de forage ; la minéralisation (pyrite).

V. 2. Estimation du volume d'argile par la méthode empirique Gamma Ray, Régression Multiple et les Réseaux Neurons Artificiel

V. 2.1. Comparaison qualitative

Une visualisation graphique des résultats trouvées par différentes méthodes de estimation (Empiriques, Régression multiple, Réseaux de neurones artificiel) avec les volumes argile mesuré au laboratoire par (DRX) est très importante pour voir les performances de chaque méthode.

V. 2.1.1. Résultats par équation empirique Gamma Ray

La courbe de l'argile calculée à l'aide de l'équation empirique (GR) à partir de (Eq :1) ne correspond pas à la courbe du volume d'argile mesurée par DRX .Toutefois, il existe des intersections entre (volume argile mesuré et calculé) pour la même allure , elle proportionnelle avec le pourcentage de l'argile et les types d'argile (argile lessivé :Illite, forte radioactivité : Chlorite) (Fig. 20).

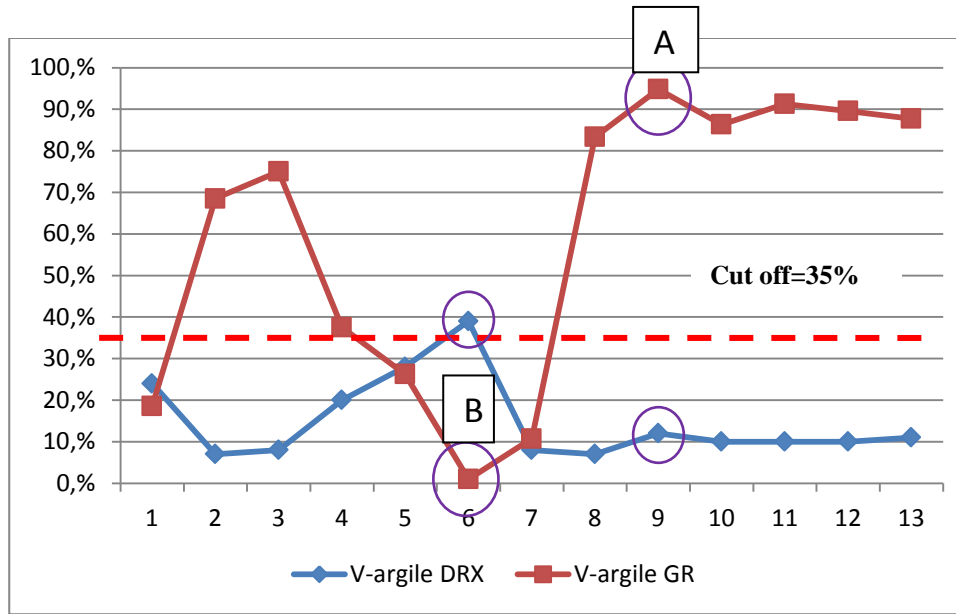


Fig.20 – Comparaison graphique entre le volume d'argile mesuré (DRX) et volume d'argile calculée par la Gamma Ray puits P_W.

Interprétation :

À-partir du graphe de comparaison entre le volume d'Argile mesure par le DRX et le volume d'argile calcule à partir de GR on constate qu'il y a une grande différence entre deux graphes dans là quel ou on peut négliger une importance réservoir (dépasse la teneur tolérée de la présence d'argile dans le réservoir (**Cut off de 35%**), c'est en prendre seulement les volumes d'argile obtenu par le GR sans prendre les donnes de DRX en considération :

A. Point N° 9 : correspond à la profondeur : 4676. 73 m, ou la formation donnée une forte radioactivité volume d'argile) GR: 94,8% par contre l'analyse de volume d'argile par DRX (10%) argile type chlorite, 90% Quartz, alors une petite quantité de chlorite (10%) nous fausse le calcul du volume d'argile par GR.

B. Point N° 6 : correspond à la profondeur 4599,27m, volume d'argile DRX (40%) et le GR (1%) une grande contradiction est liée par la présence des argiles lessivées basses radioactivités (Illites).

Cette méthode est le plus utilisés pour calculer le volume d'argile mais avec la comparaison par DRX, il s'avère très limité, inconvénient : la confusion entre les réservoirs propres à forte radioactivités (plagioclases) et les argiles lessivés a faibles radioactivités (Illites), avoir des fausses porosités, des fausses réserves.

V.2.1.2. Résultats par Régression Multiple

Nous observons sur la courbe (**Fig. 21**) qu'il existe une concordance significative entre les valeurs de volume d'argile mesurées par la méthode d'analyse de DRX avec les résultats des régressions multiples par la fonction suivant :

$$\text{Volume d'argile} = 321.3079 + 0.4606 \text{ GR} - 1.5277 \text{ DT} - 4.9311 \text{ THOR} + 8.3524 \text{ POTA} - 0.5127 \text{ URAN} - 70.911452 \text{ RHOB}$$

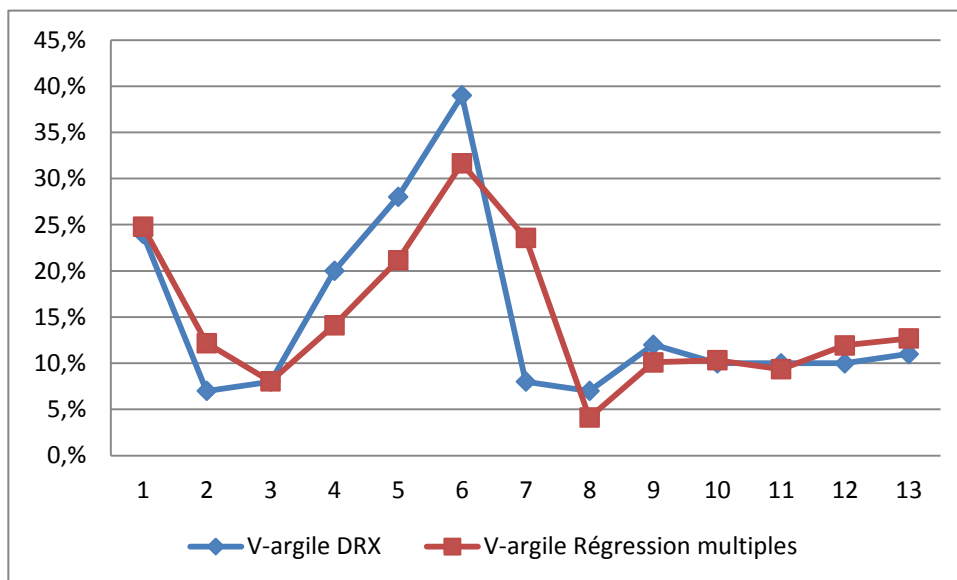


Fig.21 - Comparaison graphique entre le volume d'argile mesuré (DRX) et volume d'argile calculée par la régression multiple puits P_W.

À-partir du graphe (**Fig. 21**) on constate que nous avons minimise le maximum la différence entre le volume mesure par le DRX et le volume d'argile obtenu par la méthode de régression multiple ou on a utilise les donnes des outils de diagraphie.

V.2.1.3. Résultats par Le réseaux de neurones artificiel (RNA)

Nous observons sur la courbe (Fig. 22) qu'il existe une superposition presque totale entre la courbe du volume d'argile mesurées par DRX avec les résultats des réseaux de neurones artificiels par la l'architecture : (5- 11 – 1). (Fig. 23)

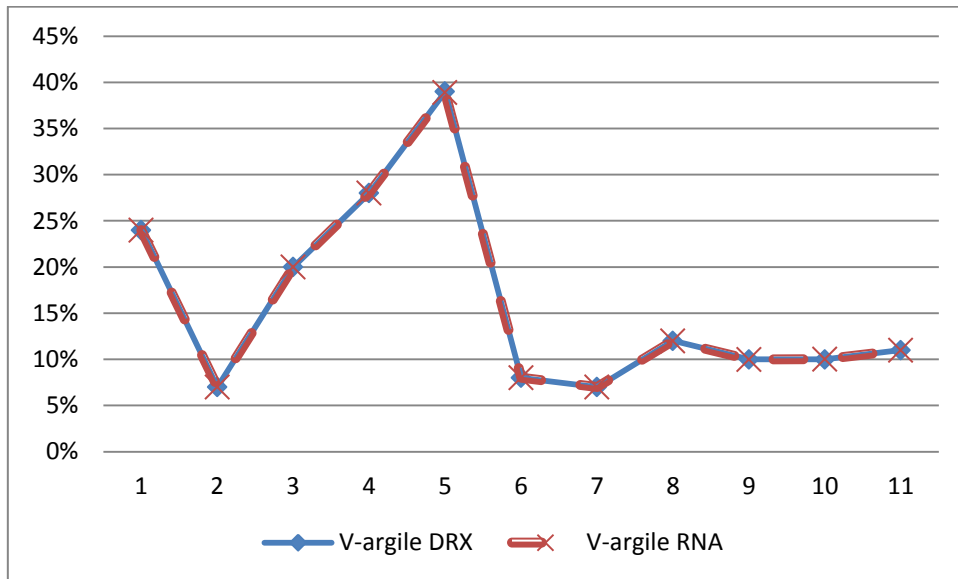


Fig.22 - Comparaison graphique entre le volume d'argile mesuré (DRX) et volume d'argile calculée par les réseaux de neurones artificielles puits P_W.

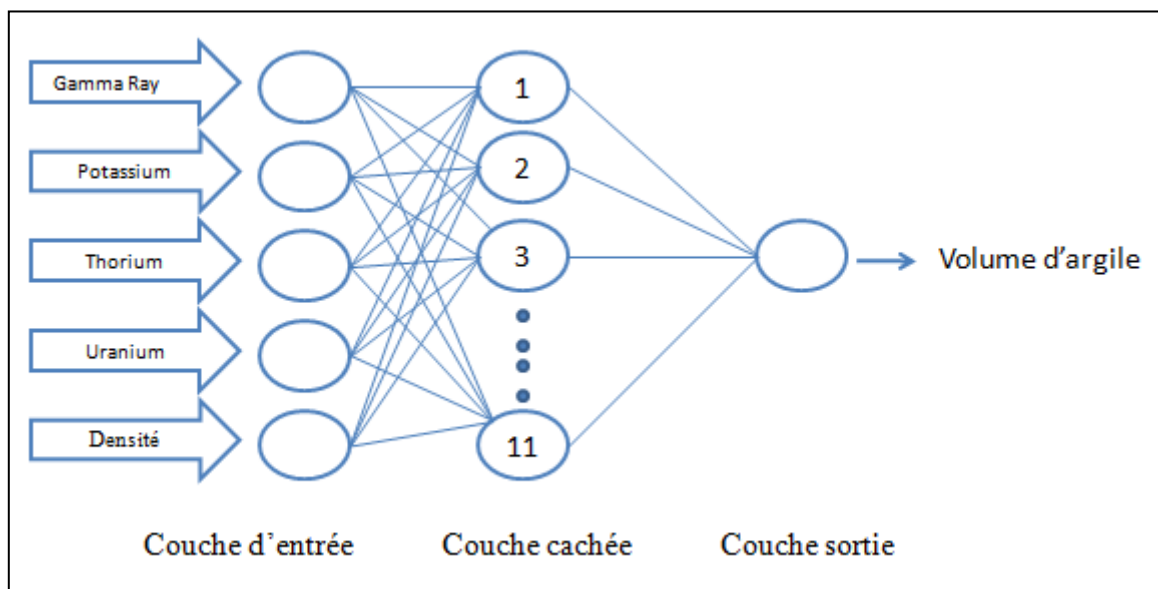


Fig.23 : Architecture de réseaux de neurones artificiels le de puits P-W

V. 2.2. Comparaison quantitative

Pour chaque puits, on a calculé les critères de validation : Coefficient de corrélation (CC), Erreur Quadratique Moyenne (RMSE), et Erreur Absolue Moyen (MAE), 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.

V. 2.2.1. Comparaison numérique entre DRX et la méthode empirique (GR)

Les équations empiriques n'ont pas donné de bonnes estimations de volume d'argile. Après avoir examiné les résultats de la tableau (05) ont été dérivés À partir des relations linéaires entre le volume d'argile et les données de diagraphie, Bien que la relation réelle entre le volume de d'argile et les données de diagraphies de puits ne soit pas linéaire, la valeur négative de la valeur coefficient de corrélation (CC) dans le tableau (05) peut être justifiée. Il semble devenir des méthodes traditionnelles, en raison de la complexité et du manque de linéarité dans La relation réelle entre le volume d'argile et les données de diagraphies est en fait c'est un peu impossible.

Tableau. 05 : Comparaison illustrative entre DRX et la méthode GR du puits P-W

Profondeur (m)	V-argile DRX (%)	V-argile GR (%)
4586,61	24	18
4591,60	7	68
4591,83	8	75
4594,57	20	37
4596,96	28	26
4599,27	39	0.9
4600,10	8	10
4670,50	7	83
4676,73	12	94
4778,97	10	86
4785,65	10	91
4788,66	10	89
4788,87	11	87
CC	-0,724	
MSE	0,603	
MAE	0,513	

Une corrélation négative (CC=-0.72) entre le volume argile mesuré et calculée par GR et la grande erreur RMSE et MAE (0,60, 0. 51) entre les méthodes empirique et DRX a cause de la présence des grés radioactives, et des argiles lessivés par la radioactivité (ILLITE) (CHEGROUCHE, 2016), alors cette méthode est très limité de l'estimation du

volume d'argile dans les réservoirs argileux gréseuses.

V. 2.2.2. Comparaison numérique entre volume d'argile DRX et Régression Multiple

L'analyse de régression linéaire multiple a montré toutes les variables indépendantes (quatre types de données de diagraphie), avec un niveau de signification faible ou élevé, ont eu un impact sur l'effet final. Bien que les performances de la régression linéaire multiple soient meilleures que celles obtenues par la méthode conventionnelle, mais les coefficients de corrélation positif plus bas ($CC = 0,79$) pourraient encore justifier le besoin d'améliorations supplémentaires par d'autres méthodes basées sur l'intelligence artificielle techniques.

Tableau. 06 : Comparaison illustrative entre volume d'argile DRX et la méthode régression multiples

Profondeur (m)	V-argile DRX (%)	V-argile Régression Multiples (%)
4586,61	24	24
4591,60	7	12
4591,83	8	8
4594,57	20	14
4596,96	28	21
4599,27	39	31
4600,10	8	23
4670,50	7	4
4676,73	12	10
4778,97	10	10
4785,65	10	9
4788,66	10	11
4788,87	11	12
CC	0,79	
MSE	0,0571	
MAE	0,039	

V. 2.2.3. Comparaison entre DRX et la méthode de réseaux de neurones artificielle

Pour sélectionner la fonction de transfert optimale pour le réseau, plusieurs types de transfert de sortie fonctions, y compris log-sigmoïde (logsig), sigmoïde (tansig), base triangulaire (tribas), saturation linéaire (satlin), linéaire (purelin), limite dure symétrique (hardlims) et limite dure (hardlim) ont été testés sur un certain réseau avec une topologie fixe (par exemple 5-11-1). Comme on peut le voir données du tableau 05, les résultats de la

fonction de transfert exponentiel ont montré une meilleure performance comparée au restes des fonctions. Considérant que les données d'entrée étaient dans la plage de [0 1] (normalisés), une autre raison raisonnable de choisir le log-sigmoïde était d'avoir un transfert fonction qui fournit des sorties dans la plage de zéro et unité. Par conséquent, l'un des log-sigmoïdes fonctions d'activation la plus couramment utilisée avec les réseaux à Perceptron Multicouches (MLP) (**Demuth et Beale, 2002**), a été utilisé comme fonction d'activation et le linéaire (puréline) a été choisi pour la couche de sortie fonction de transfert dans cette étude. Les fonctions sigmoïdes sont faciles à calculer, ce qui est utile pour calculer les mises à jour de poids dans certains algorithmes d'entraînement.

Tableau. 07 : les paramètres des réseaux de neurones élaborés

Ind ex	Net. Name	Training perf.	Validati on perf.	Training error	Validation error	Training algorithm	Error fonction	Hidden activation	Output activation
1	RBF 5-5-1	0,722865	1,00000	0,023144	0,003627	RBFT	SOS	Gaussian	Identity
2	MLP 5-4-1	0,999985	1,00000	0,000002	0,001235	BFGS 585	SOS	Tanh	Identity
3	MLP 5-8-1	0,999995	1,00000	0,000001	0,139365	BFGS 10000	SOS	Exponential	Tanh
4	MLP 5-5-1	0,998963	1,00000	0,000134	0,000134	BFGS 439	SOS	Tanh	Exponential
5	MLP 5-11-1	0,999998	1,00000	0,000000	0,127203	BFGS 10000	SOS	Exponential	Tanh

Le tableau (07) montre clairement que les réseaux fonctionnent mieux Les réseaux de couches cachées ont le même nombre de neurones dans la première couche cachée. Dans Afin de déterminer la meilleure structure de réseau MLP, le nombre de neurones cachés MSE, CC et MAE sont mesurés pour chaque réseau (5-11-1) La topologie qui a donné les performances les plus satisfaisantes avec le moins d'erreur possible (MSE = 0,000302 et R = 0,9999) tableaux (06), par rapport au reste des réseaux avancés répertoriés dans le tableau (05). De bons résultats d'entraînement et la capacité exceptionnelle de l'algorithme d'entraînement, c'est-à-dire le LMA). Validation Les courbes étaient presque identiques, il y avait un problème avec la structure. La sortie pour Suivez très bien les objectifs de formation, de test et de validation, reflétant une bonne adéquation Précision de l'approche par réseau de neurones (Figure 19). La validation et les résultats des tests montrent également R Les valeurs supérieures à 0,9.

Tableaux 08 : Comparaison illustrative entre volume d’argile DRX et la méthode réseaux neurones artificielle de P-W

Profondeur (m)	V-argile DRX (%)	V-argile RNA (%)
4586,61	24	24
4591,60	7	7
4594,57	8	8
4596,96	20	19
4599,27	28	28
4600,10	39	38
4670,50	8	7
4676,73	7	6,9
4778,97	12	11,9
4788,66	10	9,9
4788,87	10	10
CC	0,99	
RMSE	0,0003	
MAE	0,0001	

V. 2.2.4. Comparaison entre les méthodes : GR, Régression Multiples et Réseaux de Neurones Artificiel avec DRX

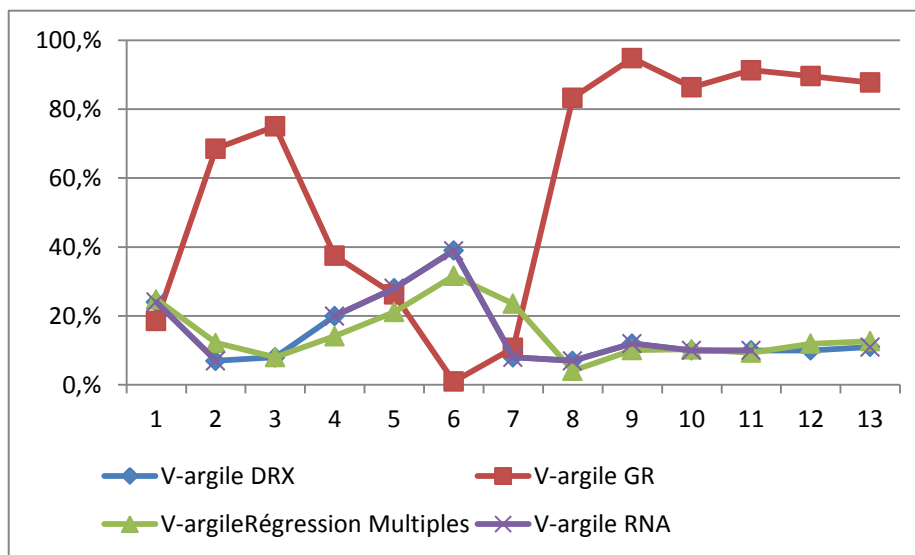


Fig.24: Comparaison graphique entre GR, régression multiples, les réseaux de neurones artificiels avec le volume d’argile (DRX).

Interprétation

La visualisation graphique de toutes les résultats du volume d’argile calculée par les différentes méthodes : GR, Régression Multiples et Réseaux de Neurones Artificiel avec le

volume d'argile DRX, il s'avère très bien que la courbe des réseaux de neurones artificielle est presque totalement superposés sur les volumes d'argile estimés au laboratoire, la fiabilité du modèle a été confirmée par les indices de performances numériques (**Tableaux n :07**), $CC=0.99$, $RMSE=0.0003$, et $MAE=0.0001$.

Tableaux 09 : Comparaison illustrative entre le volume d'argile mesurée (DRX) et calcule : GR, Régression Multiples et Réseaux de Neurones Artificiel de puits P_W.

Profondeur (m)	V-argile DRX (%)	V-argile GR (%)	V-argile Régression Multiples (%)	V-argile RNA (%)
4586,61	24	18	24	24
4591,60	7	68	12	7
4591,83	8	75	8	8
4594,57	20	37	14	19
4596,96	28	26	21	28
4599,27	39	0,9	31	38
4600,10	8	10	23	7
4670,50	7	83	4	6,9
4676,73	12	94	10	11,9
4778,97	10	86	10	9,9
4785,65	10	91	9	10
4788,66	10	89	11	9.9
4788,87	11	87	12	10,8
	CC	-0,72	0,79	0,99
	RMSE	0,603	0,0571	0,0003
	MAE	0,513	0,039	0,0001

V. 3. Estimation et validation des Missing data par la topologie RNA (5-11-1)

Grâce à la topologie (5-11-1) du modèle des réseaux de neurones adopté pour estimer le volume d'argile et valider par des indices de performances numériques entre les valeurs simulés et les valeurs observées ($CC=0.99$, $RMSE=0.0003$, et $MAE=0.0001$) on a pu d'estimer le volume d'argile manquantes de 1390 points qui correspond au 200m dans le puits P_W, elle nous avoir le gain de temps au laboratoire, et le cout pour payer des sociétés de cabines géochimiques spécifiques pour faire des log DRX , alors grâce à l'intelligence artificielle on peut minimiser et optimiser les dépenses, c'est pas pour chaque puits on doit faire des mesures des diagraphies géochimiques spécifiques qui sont très couteuses, mais au fur et à mesure on récolte des données des puits voisins, on construit des bases de données assez suffisantes pour élaborer des systèmes intelligents et performants afin d'estimer le volume d'argile avec le moindre d'erreur possible, dans notre cas on a injecté les données

diagraphies (GR, THO, U, POTA, RHOB) dans le modèle (5-11-1) d'un puits voisin et on a validé les résultats trouvés par des mesures de laboratoire.

Conclusion

Partir du graphe de comparaison entre le volume d'Argile mesure par le DRX et le volume d'argile calcule à partir de GR on a constaté qu'il y a une grande différence entre deux graphes dans lequel ou on peut négliger une importance réservoir (dépassé la teneur tolérée de la présence d'argile dans le réservoir (Cutoff de 35%),

Si la formation donnée une forte radioactivité volume d'argile) GR: 94,8% par contre l'analyse de volume d'argile par DRX (10%) argile type chlorite, alors une petite quantité de chlorite (10%) nous fausse le calcul du volume d'argile par GR. Cette méthode est le plus utilisés pour calculer le volume d'argile mais avec la comparaison par DRX, il s'avère très limité, inconvénient : la confusion entre les réservoirs propres à forte radioactivités (plagioclases) et les argiles lessivés a faibles radioactivités (Illites), avoir des fausses porosités, des fausses réserves.

La visualisation graphique de tous les résultats du volume d'argile calculée par les différentes méthodes : GR, Régression Multiples et Réseaux de Neurones Artificiel avec le volume d'argile DRX, il s'avère très bien que la courbe des réseaux de neurones artificielle est presque totalement superposée sur les volumes d'argile estimés au laboratoire.

Grâce à la topologie (5-11-1) du modèle des réseaux de neurones adopté pour estimer le volume d'argile et valider par des indices de performances numériques entre les valeurs simulés et les valeurs observées (CC=0.99, RMSE=0.0003, et MAE=0.0001) on a pu d'estimer le volume d'argile manquantes de 1390 points qui correspond au 200m dans le puits P_W, elle nous avoir le gain de temps au laboratoire,

L'estimation du volume d'argile avec précision permettra une meilleure détermination du volume de la matrice (V-matrix) ce qui réduira l'incertitude dans l'évaluation de la formation réservoir à travers une meilleure estimation de la saturation en eau de formation (Sw) et de la porosité effective ($\phi\beta$) pour les réservoirs conventionnels.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Afin de maîtriser la complexité et les incertitudes liées à l'estimation conventionnelle du volume d'argile dans les réservoirs argileux gréseuses, une méthode intelligente basée sur les réseaux de neurones artificiels a été proposée pour estimer le volume d'argile dans le réservoir (TAGI) bassin de Berkine qui est caractérisé par grande hétérogénéité, représente l'objet de la présente étude.

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) et le volume d'argile DRX. Pour cela un calage des diagraphies avec les mesures (DRX) a été effectué à chaque 15 cm pour préparer une base de données comportant 1392 observations.

L'application des réseaux de neurones artificiels, nous a permis de définir 200 m de volume d'argile non mesurés au laboratoire, Cette méthode ont été d'avantage utilisée pour corriger les interférences liées aux contradictions rencontrées avec les techniques classiques, ou la formation donnée une forte radioactivité volume d'argile GR: 94,8% par contre l'analyse de volume d'argile par DRX (10%) argile type chlorite, 90% Quartz, alors une petite quantité de chlorite (10%) nous fausse le calcul du volume d'argile par Gamma Ray. Et encore la présence des argiles lessivées basses radioactivités (Illites), et le volume d'argile DRX (40%) et le GR (1%). Cette méthode (GR) est le plus utilisés pour calculer le volume d'argile mais avec la comparaison par DRX, il s'avère très limité la confusion entre les réservoirs propres à forte radioactivités (plagioclases) et les argiles lessivés a faibles radioactivités (Illites), avoir des fausses porosités, des fausses réserves.

La visualisation graphique de tous les résultats du volume d'argile calculée par les différentes méthodes : Gamma Ray, Régression Multiples et Réseaux de Neurones Artificiel avec le volume d'argile DRX, il s'avère très bien que la courbe des réseaux de neurones artificielle est presque totalement superposée sur les volumes d'argile estimés au laboratoire. Grâce à la topologie (5-11-1) du modèle des réseaux de neurones adopté pour estimer le volume d'argile et valider par des indices de performances numériques entre les valeurs simulés et les valeurs observées ($CC=0.99$, $RMSE=0.0003$, et $MAE=0.0001$) on a pu d'estimer le volume d'argile manquantes.

L'estimation du volume d'argile avec précision permettra une meilleure détermination du volume de la matrice (V-matrix) ce qui réduira l'incertitude dans l'évaluation de la

formation réservoir à travers une meilleure estimation de la saturation en eau de formation (S_w) et de la porosité effective ($\phi\beta$) pour les réservoirs conventionnels.

Les méthodes de l'intelligence artificielle présentent les avantages suivants :

- Le gain économique car ils sont moins coûteuses par rapport l'opération de DRX.
- Avoir des logs continus de volume d'argile avec grande précision.

Ces méthodes sont comme toutes méthodes de simulation présentent des inconvénients parmi lesquels :

- La mauvaise interprétation des résultats de DRX va provoquer des erreurs au stade des résultats de prédiction.
- une mauvaise calibration des diagraphies ou problèmes des tops géologiques peuvent nous fausser les résultats.

La comparaison entre ses méthodes montre que les réseaux de neurones artificiels s'avèrent plus performante que la régression multiple et les autres équations empiriques, et on peut les généraliser sur d'autres caractéristiques géologiques pour un meilleur développement du réservoir.

PERSPECTIVES

Ce travail nous a permis de constater que les méthodes d'intelligence artificielle sont très utiles dans le domaine pétrolier et peuvent valoriser d'avantage les données disponibles.

alors grâce à l'intelligence artificielle on peut minimiser et optimiser les dépenses, c'est pas pour chaque puits on doit faire des mesures des diagraphies géochimiques spécifiques qui sont très coûteuses, mais au fur et à mesure on récolte des données des puits voisins, on construit des bases de données assez suffisantes pour élaborer des systèmes intelligents et performants afin d'estimer le volume d'argile avec le moindre d'erreur possible, dans notre cas on a injecté les données diagraphies (GR, THO, U, POTA, RHOB) dans le modèle (5-11-1) d'un puits voisin et on a validé les résultats trouvés par des mesures de laboratoire.

Cette constatation nous incite à employer d'autres méthodes tel que les méthodes de classification (carte auto-organisatrice), la logique floue et d'autres méthodes hybrides, afin d'une meilleure reconnaissance des potentialités en hydrocarbures de notre sous-sol

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- ABDI, H. (1994).** Les réseaux de neurones, Presses Universitaires de Grenoble, Grenoble.
- Ameur Zaimeche ,O., Zeddouri, A., Kechiched, R.,2019** *Multilayer perception neural network-based approach for permeability modelling in TAGI reservoir, case study from Sif Fatima oil field, Algeria.* 8th International Symposium on Hydrocarbons and Chemistry ISHC8 2019.08-10 April, 2019, Boumerdès, (Algeria).
- Ameur Zaimeche,O., Zeddouri,A., Heddami, S., Kechiched,R., Belksier, M.S., (2014).** Modélisation et reconstitution des facies non carottés à l'aide des méthodes statistiques multivariées du réservoir trias argileux gréseux inférieur (TAGI) application au champ de sif fatima bassin de – Berkine – Université d'Ouargla, Algérie.2014.
- Ameur Zaimeche.O., 2019,** cours Séminaire relatif aux Problèmes d'exploration des hydrocarbures.
- Askri, H., et al. (1995)** - Petroleum Geology of Algeria; Well Evaluation Conference-1984.
- Asquith, G.B., Krygowski, D., Gibson, C.R., 2004.** Basic well log analysis. 2nd 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.
- Chantal Proulx. 2014** Coordonnatrice académique - programmes du Département d'informatique. Coordonnées. Courriel : Chantal.Proulx@USherbrooke.ca.
- CHEGROUCHE Farid., 2016.**Procédé pour l'estimation du volume d'argile (Vclay) à partir de la densité de formation, de la porosité et des vitesses acoustiques dans les réservoirs argileux-gréseux. Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle Bureau international.
- Chenevert 89-CA-1295 3/29/90 Dismissed** Orleans PRESTON H. HUFFT, J. Pro Tern State v.
- Choufa Nassima, (2013),** Epuration des eaux usées : l'élimination des micropolluants dans les eaux usées par un matériau argileux.

Clavier (1971) He proposed an equations to calculate a non-linear volume fraction of shale from the linear gamma-ray index (IGR).

Dekmouche.R.I.E.,(2018), Contribution de la spectroscopie Gamma naturelle à la caractérisation des argiles cas de réservoir de gaz de schiste, champ Ain En Nakhal, Bassin d'Ahnet, Mémoire de Master Professionnel, Université Kasdi Merbah-Ouargla-2018.

Demuth, H et Beale, M. (2002) Neural Network Toolbox User's Guide. Copyright 1992-2002, By The Math Works, Inc, Version 4,840pp.

Dewan, J.T., 1983. Essentials of modern open hole log interpretation. PennWell Books Publication, Tulsa,Oklahoma, USA.

Dipen, K.R., L.A. Kumaraswamidhas, S. Das,2017 On the influence of porosity and pore size on AlSi17 alloy foam using artificial neural network,Ciência & Tecnologia dos Materiais,Volume 29, Issue 2,2017,Pages 14-21,ISSN 0870-8312.

Dresser Atlas, 1982. Well logging and interpretation techniques. Dresser Atlas Industries, Houston, TX., USA.

Edgard Nazare (1914-1998). en a proposé un modèle amélioré dans les années 1950 sous le terme « centrale aérothermique » ou « tour à vortex », et sous la forme d'une tour métallique (brevet de 1956 et 1964) confinant un cyclone artificiel par différence thermique dont la puissance était captée par des éoliennes encastrées en périphérie de la tour.

Ellis, D.V., Singer, J.M., 2008. Well logging for earth scientists. 2nd edition. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany.

Fertl, W.H., Chilingarian, G.V., 1990. Type and distribution modes of clay minerals from well logging data. J.Petrol. Sci. Eng. 3, 321-332.

Hanaa, H., Mohamed, K., Denis, R.,2017 Neural networks for the prediction of polymer permeability to gases,Journal of Membrane Science,Volume 541,2017,Pages 541-549,ISSN 0376-7388.

Hebb D.1949 The Organization of Behavior , New-York, Wiley, 1949.

Humphry Davy,1807. est un physicien et chimiste britannique. En 1807 , il isole le sodium, le potassium, le baryum, le strontium et le calcium grâce à l'électrolyse.

IFP. (2009). Institut Français du Pétrole.

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

d'apprentissage d'un réseau de neurones correspondant à un résultat escompté. Ce modèle est encore très utilisé aujourd'hui pour des problèmes d'optimisation.

Jöns Jacob Berzelius (Berzélius dans les anciens ouvrages français), 20 août 1779 - 7 août 1848, est un savant suédois, considéré, avec Antoine Lavoisier, John Dalton et Robert Boyle, comme le fondateur de la chimie moderne.

Jozanikohan, G, Norouzi, GH, Sahabi, F et al. (2 more authors) (2015) The application of multilayer perceptron neural network in volume of clay estimation: Case study of Shurijeh gas reservoir, Northeastern Iran. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 22 (1). 119 - 131 (13). ISSN 1875-5100.

Jozanikohan, G, Norouzi, GH, Sahabi, F., (2015) The application of multilayer perceptron neural network in volume of clay estimation: Case study of Shurijeh gas reservoir, Northeastern Iran. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 22 (1). 119 - 131 (13). ISSN 1875-5100.

Kadous, D. (2012). Utilisation des réseaux de neurones comme outil du datamining : Génération de modèle comportemental d'un processus physique à partir de données.

Kenney and Keeping, 1954., Mathematics of statistics, Volume 1, Van Nostrand company, 1954. l'Université du Michigan.

Kohonen, T. 1984. Self organization and associative memory, 2nd ed, Springer Verlag,

Ladlani et al. (2012), Langlois and Thach 2003.

Larionov, V. V. (1969), Radiometry of boreholes (in Russian), NEDRA, Moscow.

Lame mince Clay Minerals from the Perspective of Oil and Gas Exploration :By Shu Jiang Submitted: November 3rd 2011Reviewed: May 4th 2012Published: September 12th 2012 DOI: 10.5772/47790.

Marine and Petroleum Geology: is the pre-eminent international forum for the exchange of multidisciplinary concepts, interpretations and techniques for all concerned with marine and petroleum geology in industry, government and academia.

Marine and Petroleum Geology is the pre-eminent international forum for the exchange of multidisciplinary concepts, interpretations and techniques for all concerned with marine and petroleum geology in industry, government and academia.

Martin Heinrich Klaproth, 1789. Est un chimiste, apothicaire et minéralogiste allemand, En 1789, il décrit des nouveaux minéraux, l'urane et la zircon. Il isole ce qu'il croit un corps simple semi-métal appelé l'uranite, c'est-à-dire en réalité un oxyde d'uranium.

Mauro, D.M., Mauro, F., Massimo, G., Luca, P., 2018 Multistability of delayed neural networks with hard-limiter saturation nonlinearities, *Neurocomputing*, Volume 293, 2018,

Mohamed, Y. (2007). Accès aux technologies et pratique de la R&D dans les entreprises publiques algériennes, in « cahiers du cread » n° 81-82 , 2007. (Avec Hocine Khelfaoui et Houria Ouchalal).

Nikraves, M., Aminzadeh, F., 2001. Past, present and future intelligent reservoir characterization trends (editors' view points). *J. Petrol. Sci. Eng.* 31, 67-79.

O'Brien (2001) interviewed 18 women who had been released from prison for periods of time ranging from 1 to 13 years.

Pages 41-54, ISSN 0925-2312.

Quirein, J.A., Gardner, J.S., Watson, J.T., 1982. Combined natural gamma-ray spectral/litho-density measurements applied to complex lithology. 57th Annual Fall Technical Conference and Exhibit., SPE of AIME, New Orleans, USA, Paper SPE 11143.

[Robert R. Stewart](#). the professional network on ResearchGate.

Rollet P., Bouaziz R., L'analyse thermique et les changements de phase (1972).

Rukhovec, N., Fertl, W.H., 1981. Digital shaly sand analysis based on Waxman-Smith model and log-derived clay typing. In: *Trans. SAID/SPWLA 7th European Annual Logging Symposium*: 21-37.

S.P. Maurya, N.P. Singh, 2018 Application of LP and ML sparse spike inversion with probabilistic neural network to classify reservoir facies distribution - A case study from the Blackfoot field, Canada, *Journal of Applied Geophysics*, Volume 159, 2018, Pages 511-521, ISSN 0926-9851.

Salaheldin, E., Zeeshan, T., Mohamed, M., Abdulazeez, A., 2018 New insights into porosity determination using artificial intelligence techniques for carbonate reservoirs, *Petroleum*, Volume 4, Issue 4, 2018, Pages 408-418, ISSN 2405-6561.

Serra, O. (1979) - *Diagraphies Différentes base de l'interprétation*, Mémoire 1 Tome 1. Services techniques Schlumberger, Paris.

Sonatrach (2005). Rapport interne, WEC Algeria.

Steiber (1970) also proposed an equation for shale volume calculation.

WEC (2007). Well Evaluation Conference.

Wilcox, 84 John J. et W. Trunks, 84 Murray C. Green Wich, h 13 Clark.

Willmott, C.J., (1981-1982), On the validation of Models, *Physical Geography* 2, 184-194.

ANNEXES

ANNEXE

- Analyse des données bivariées

Le traitement statistique bivarié consiste à étudier deux variables aléatoires simultanément et de déterminer la relation qui existe entre eux. Il existe plusieurs paramètres quantifiant cette relation. Le coefficient de corrélation linéaire simple est le paramètre le plus utilisé. Il est calculé à l'aide de la formule suivante:

$$\rho = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sigma_x \sigma_y}$$

Où ρ : coefficient de corrélation simple de la population.

x et y : variables ; σ_x et σ_y : écart type des variables x et y .

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

Les coefficients de corrélation linéaires simples peuvent être regroupés dans un tableau récapitulatif appelé "**matrice de corrélation**". Notons que la valeur d'un 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 :

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

Où n est le nombre des données utilisées.(MENASRI Ahmed 2016/2017).

- Analyse des données multivariées

L'analyse des données multivariées désigne l'ensemble des méthodes, que permettant de collecter, d'organiser, d'analyser, et de présenter les données. ces méthodes utilisée des techniques géométriques permettant de mettre en évidence des groupes d'individus homogène, des liens entre individus et variable, des ressemblances ou des différences entre variable et surtout de représenter les données initial d'un tableau $R(n, p)$ par un nombre plus petit sans ordre d'information. Soit un tableau (matrice) $R(n, p)$ ou n : est le nombre des lignes et p : le nombre de colonne.(GUOI Youcef 2016/2017)

2.4 Rappels sur la Statistique

2.4.1 Le mode : Il est défini comme étant la valeur de la variable aléatoire qui a l'effectif le plus élevé. Une série statistique peut être uni ou multimodale. Le nombre de mode d'une

sériestatistique renseigne sur l'homogénéité ou l'hétérogénéité de l'échantillon ou population statistique.

2.4.2 La médiane : La médiane est la valeur de la variable qui correspond à un effectif cumulé de 50%.

2.4.3 La variance : Elle est désignée par S^2 . Dans le cas de variable continue, elle est égale à

:
$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}$$

N - l'effectif total ; \bar{x} - moyenne arithmétique et x_i - variable

Dans le cas de variable discrète alors : $S^2 = \sum_{i=1}^{n'} [f_i (X_i - \bar{X})^2]$

n' - nombre de classe, X_i - centre de classe, f_i - fréquence relative de la classe i .

2.4.4 Écart type S : C'est la racine carrée de la variance.

2.4.5 Coefficient de variation : C'est le rapport Écart type sur la moyenne multipliée par 100

:
$$Cv = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100$$

- Le coefficient de variation mesure la dispersion relative.

- Nuage de Points de puits P-W

