

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 des hydrocarbure

THEME

Prédiction de la résonance magnétique (NMR) à partir des diagraphies
conventionnelles à l'aide des techniques de l'intelligence artificielle : cas de puits

BEK6 champs de Bir el Akha bassin d'Amguid Messaoud.

Présenté par

- BOUCHAREB Seif El Islem
- MESSIKH Oussama

Soutenu publiquement le

Président : BELLEKSIR mouhammed salah

Univ. Ouargla

Promoteur : AMEUR-ZAIMECHE Ouafi

Univ. Ouargla

Co-promoteur : BOUTAGHANE Ayoub

Doctorant

Univ. Ouargla

Examineur : KECHICHED rabeH

Univ. Ouargla

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Nous tenons à remercier en premier lieu DIEU le tout puissant et miséricordieux qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce

Modeste travail.

- *En second lieu, nous tenons à remercier vivement notre promoteur chargé du suivi*

*notre travail : **Dr. AMEUR-ZAIMECHE Ouafi ,& BOUTAGHANE Ayoub***

, Pour leur encouragement, conseil et disponibilité.

*Nous tenons à remercier les responsables de **SONATRACH Exploration** ; pour les données surtout **chef Service géologique Ben Ali** pour les données et les dispositions qu'ils ont prises pour nous faciliter le travail.*

Nous vifs remerciements aux membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, nous tenons également à remercier nos enseignants du département du science de la terre et l'univers. Nos amis et toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce fruit de tant d'années d'études :

A ceux qui ont sacrifié toute leurs vies pour mon bonheur, mon bien être
et ma réussite, A ma chère mère et mon cher père.

A mes chers frères

A toute ma famille du plus grands au plus petits.

A toutes les personnes chère à mon cœur

A tous mes amis qui mon encouragé et soutenue tout le long de mon
parcours.

A tous mes enseignants qui ont illuminés mon chemin toutes ces longues
années.

A mon ami sifou qui ont été très coopérative et compréhensive tout le long
de la réalisation de ce travail.

Et A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce
modeste travail.

Je vous dis a tous merci infiniment sans vous je ne serai pas devenu ce que
je suis.

oussama

Dédicace

Je dédie ce fruit de tant d'années d'études :

A ceux qui ont sacrifié toute leurs vies pour mon bonheur, mon bien être
et ma réussite, A ma chère mère et mon cher père.

A mes chers frères

A toute ma famille du plus grands au plus petits.

A toutes les personnes chère à mon cœur

A tous mes amis qui mon encouragé et soutenue tout le long de mon
parcours.

A tous mes enseignants qui ont illuminés mon chemin toutes ces longues
années.

A mon ami oussama qui ont été très coopérative et compréhensive tout le
long de la réalisation de ce travail.

Et A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce
modeste travail.

Je vous dis a tous merci infiniment sans vous je ne serai pas devenu ce que
je suis.

SOMMAIRE

RESUME	I
ABSTRACT	I
المُلخَص.....	I
LISTE DES FIGURES	II
LISTE DES TABLEAUX	III
LISTE DES ABREVIATIONS.....	IV
_Toc168403726Introduction générale.....	1

CHAPITRE I : Géologie Régionale et Locale

Introduction.....	4
1. Situation géographique.....	4
2.Contexte géologique.....	5
2.1. Aspect stratigraphie.....	6
2.2.Aspect structural :.....	11
2.3. Aspect Géophysique.....	12
3.Aspect pétrolier	13

CHAPITRE II : Synthèse bibliographique sur les méthodes d'intelligence artificielle

Introduction.....	16
1. L'intelligence artificielle	16
2. Machine Learning	17
3.Types Machine Learning.....	17
3.1. Apprentissage supervisé (régression et classificateur)	17
3.2. Les algorithmes d'apprentissage supervisé :.....	18
3.3.Apprentissage non supervisé (partitionnement de données).....	20
3.4.Les algorithmes d'apprentissage non supervisé	21
3.5. Apprentissage semi-supervisé :	22
4. Deep Learning (apprentissage profond) :.....	23
5. Neurone Biologique :	25
5.1. Les différents types de neurones:.....	26
6. Réseaux de neurones artificiels:	27
7. Machine Learning vs Deep Learning:.....	29
Conclusion.....	30

CHAPITER III : Matériel et Méthodes

Introduction.....	31
1. méthode conventionnelle.....	31
1.1. Diagraphie de NMR	31
1.2. Generalite sur le NMR.....	31
1.3. Exemples Des Outils NMR	32
1.3. Le magnétisme nucléaire :.....	36
1.5. Mesure du signal NMR	38
1.6. Applications de la Résonance Magnétique Nucléaire en petrophysique (outils NMR) :.....	38
1.7. Résumé de la Séquence de mesure NMR :.....	39
1.8. résonance magnétique porosité (MRP).....	39
1.9. Les objectifs d'utilisation du NMR :.....	40
2. méthode non conventionnelle	40
2.1. Préparation de base des données	40
Conclusion	44

Chapitre IV : Résultats et Discussion

Introduction.....	45
1.Méthodologie	45
1.1Préparation basse de donne.....	45
1.2 Statistique mono-varié.....	46
1.1 Statistiques bi-variés (matrice de corrélation).....	47
2.Le résultat :	48
2.1 La lecture :	51
3.Recommandations et perspectives :.....	52
Conclusion générale :.....	53

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation géographique amguid messaoud (In WEC 2003, modifiée)	5
Figure 2 : Situation géologique du bassin Ameguid messaoud	5
Figure 3 : Coupe litho stratigraphique type de bassin de amguid messaoud	12
Figure 4 : Carte en Isobathes au droit de la Discordance Hercynienne	13
Figure 5 : Carte en Isobathes au toit de la série inférieure	14
Figure 6 : les types de L'intelligence Artificielle	18
Figure 7 : les types de machine Learning	19
Figure 8 : Arbre de décision (https://www.explorium.ai)	20
Figure 9 : Méthodes de support vector machine (SVM)	21
(https://images.spiceworks.com/wp-content/uploads)	
Figure 10 : Algorithme de forêt aléatoire (https://www.meteosuisse.admin.ch/images)	22
Figure 11 : regroupement de clustering (Senani SAMY 2019)	23
Figure 12 : Apprentissage semi-supervisé (https://www.google.com/url?sa=i&url)	25
Figure 13 : neurone Biologique	28
(https://www.researchgate.net/profile/Clement-Hebert/publication)	
Figure 14 : Les différents types de neurones (https://lh4.googleusercontent.com/proxy/)	29
Figure 15 : Schéma représente L'architecture du modèle optimale MLP (Touzet, 1992)	30
Figure 16 : Mise en correspondance neurone biologique / neurone artificiel	31
(https://smartstuartkim.wordpress.com/2019/01/27/history-of-neural-networks-1-perceptron/)	
Figure 17 : ML vs DL (Senani SAMY 2019)	32
Figure 18 : description de l'outil NMR (Petrophysics distance Learning module)	34
Figure 19 : description de l'outil NMR (Schlumberger) (KENYON et al. 1995)	36

Figure 20 : description de l'outil Mrex (Baker Hughes37 (https://dam.bakerhughes.com/m/6fa387fd752509ff/original/MR-eXplorer-magnetic-resonance-logging-service-bro)	
Figure 21 : Mouvement de précession des protons.....38 (- Kenyon B, Robert K, Starly C, Gubelin G, Morriss C, 1995)	
Figure 22 : Schéma représente le spin nucléaire39	
Figure 23 : Organigramme explicatif des Méthodes pour la prédiction de La résonance magnétique porosité45	
Figure 24 : illustration montrant les enregistrements des diagraphies dans fichier extension .Las47	
Figure 25 : résultat graphique de prédiction MRP (XGB1)51	
Figure 26 : résultat graphique de prédiction MRP (RF1)51	
Figure 27 : résultat graphique de prédiction MRP (XGB2)52	
Figure 28 : résultat graphique de prédiction MRP (RF2)52	
Figure 29 : résultat graphique de prédiction MRP (XGB3)52	
Figure 30 : résultat graphique de prédiction MRP (RF3)53	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Tableau represente les input et leur définition	48
Tableau 02 : Statistiques de résonance magnétique porosité et des données de diagraphies	49
Tableau 03 : Matrice de corrélation (la résonance magnétique porosité) et l'enregistrement des diagraphiques	50
Tableau 04 : Combinaisons de variables d'entrée pour les prévisions de MRP pétrole	50
Tableau 05 : Erreurs de prédiction de la MRP pour les ensembles de données sur les réservoirs	51

LISTE DES ABREVIATIONS

API	American Petroleum Institute
BEK	Bir El Akha
D.D.P	Différence de Potentiel
DBN	Deep Belief Networks
DL	Deep Learning
GPU	Graphics Processing Unit
GR	Gamma Ray
HC	hydrocarbures
IA	intelligence artificielle
K	Perméabilité
LDT	
MAE	erreur moyenne absolue
MeV	mega electron volte
ML	Machine Learning
MRP	résonance magnétique porosité
NHBHJ	champ du Nord Hassi Belhadj
NMR	Nuclear Magnetic Resonance
OEN	Oglet EL Nasser
R²	coefficient de corrélation
RAA	Rahlet El Aouda
RBM	Restricted Boltzmann Machines
Rmf	résistivité du fluide de la zone envahie
RMSE	Root Mean Squared Error
RNA	réseaux de neurones artificiels
Rt	résistivité de la formation
RW	resistivite
Rxo	résistivité de la formation envahie.
S	saturation
SVM	Support vector machine
Vsh	
XGBoost	Extreme Gradient Boosting
Φ	porosité
Φr	porosité résiduelle
LS2	Le Lias Salifère
LD3	Le Lias dolomitique

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Le Sahara Algérien a connu ces dernières années un important développement en matière de découvertes de nouveaux gisements d'hydrocarbures. Les hydrocarbures, première source d'énergie dans le monde, occupent une large place dans l'économie mondiale. Touggourt est une commune du Nord-Est du Sahara algérien,. Elle est située à 160 km au nord-est de Ouargla et à 660 km au sud-est d'Alger, à 95 km d'El Oued et à 220 km de Biskra. Touggourt couvre une superficie totale de 481 km²

Le bassin de Amguid messaoud, qui a été marqué par des découvertes importantes ces dernières années, en particulier au niveau de triasique de la Série Inférieure, est actuellement l'un des principaux enjeux de l'exploration pétrolière en Algérie.

de la plate-forme saharienne, correspondant à la partie occidentale de la province triasique, elle est limitée au nord par les permis Talémazène, à l'est par le champ de Hassi Messaoud, au nord-ouest par le champ de HassiR'mel, et au sud elle est ouverte sur la dépression de Mouydir

La structure de Bir El Akha correspond à un anticlinal d'orientation NE-SW. La structure de BEK-6 semble constitue le prolongement au Nord-ouest de la structure forée du puits BEK-2 Elle est limitée à l'Est par une faille de direction NE-SW ; la séparant à l'Ouest du puits BEK-

L'importance des paramètres pétrophysiques dans le domaine du forage pétrolier réside dans la détermination de la quantité et de la qualité du brut présent. Différentes méthodes sont disponibles pour les déterminer, compris les méthodes classiques qui sont onéreuses et demandent davantage de temps et d'efforts. Utilisation d'une approche contemporaine basée sur la technologie de l'intelligence artificielle afin de diminuer les dépenses et les efforts et assurer des résultats satisfaisants.

Il est clair que les meilleurs moyens pour une bonne caractérisation et évaluation des gisements pétroliers sont les mesures directes, cependant la récupération de ces dernières n'est pas toujours complète en raison des problèmes techniques et géologiques rencontrés notamment lors du processus de forage. De plus, lors de la modélisation des réservoirs, il s'avère que l'identification des parois rocheuses est une étape très importante dans l'élaboration de modèles statiques et dynamiques.

L'intelligence artificielle est définie comme l'informatique et l'ingénierie de conception. Il s'agit d'un programme visant à rendre une machine intelligente pouvant être analysée à l'aide de techniques d'intelligence artificielle dans les plus brefs délais,

INTRODUCTION GÉNÉRALE

avec le moins d'erreurs et au moindre coût. . Les méthodes d'intelligence artificielle sont utilisées dans le secteur pétrolier depuis le début des années 1990 et ont été appliquées à l'appréciation de nombreux chercheurs en appliquant des techniques d'intelligence artificielle dans géologie de l'exploration pour identifier les propriétés des réservoirs et améliorer la précision des données sismiques dans les opérations de forage. des modèles ont été développés pour prédire les propriétés de l'argile et des équipements de forage. L'intelligence artificielle a également été utilisée dans l'ingénierie et la production des réservoirs pour prédire les caractéristiques des réservoirs, le taux de production, les performances de débit et d'autres équipements.

Il existe de nombreux paramètres qui régulent les données. Une bonne description et une évaluation adéquate du réservoir pétrolier. Que nous devrions connaître. Dans l'industrie pétrolière, la résonance magnétique porosité (NMR) est une méthode analytique employée afin d'évaluer les propriétés des réservoirs pétroliers, en particulier la porosité des roches. La NMR est une méthode de mesure des propriétés des fluides dans les pores des roches qui repose sur les principes de la résonance magnétique nucléaire, ce qui offre des données précieuses pour la gestion et l'exploitation des réservoirs. Dans ce sujet, on aborde la prédiction du processus de résonance magnétique en utilisant l'intelligence artificielle

Chapitre I :

Ce premier chapitre comporte une présentation de la région d'étude, le cadre géologique régional du bassin de amguid Messaoud , la géologie locale du Structure Bir el Akha et la localisation des puits (BEK 6).

Chapitre II :

Dans ce deuxième chapitre, nous aborderons quelques notions générales sur l'intelligence artificielle, en mettant en lumière les différents types d'intelligence artificielle ainsi que les algorithmes qui leur sont associés.

Chapter III :

Matériel et Méthodes comporte En premier, nous présenterons la méthode traditionnelle de la mesure des resonance magnetique porosite La deuxième partie est consacrée pour la préparation de la base de données en se basant sur la description détaillée des carottes et la combinaison avec les diagraphies.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Chapitre IV :

Résultats et Discussion la première partie est consacrée pour les traitements statistiques sur la base des données. La deuxième partie l'application des quelque algorithmes de l'intelligence artificielle : XGBoost (XGB) et Random Forest (RF) pour prédiction de la resonance magnetique porosite. En plus d'une petite analyse écrite qui explique et compare les résultats,

CHAPITRE I
Géologie Régionale et Locale
De la zone d'étude

Introduction

Le Sahara Algérien a connu ces dernières années un important développement en matière de découvertes de nouveaux gisements d'hydrocarbures. Les hydrocarbures, première source d'énergie dans le monde, occupent une large place dans l'économie mondiale.

Touggourt est une commune du Nord-Est du Sahara algérien,. Elle est située à 160 km au nord-est de Ouargla et à 660 km au sud-est d'Alger, à 95 km d'El Oued et à 220 km de Biskra. Touggourt couvre une superficie totale de 481 km²

Le bassin de Amguid messaoud, qui a été marqué par des découvertes importantes ces dernières années, en particulier au niveau de triasique de la Série Inférieure, est actuellement l'un des principaux enjeux de l'exploration pétrolière en Algérie.

de la plate-forme saharienne, correspondant à la partie occidentale de la province triasique, elle est limitée au nord par les permis Talémazène, à l'est par le champ de Hassi Messaoud, au nord-ouest par le champ de HassiR'mel, et au sud elle est ouverte sur la dépression de Mouydir

La structure de Bir El Akha correspond à un anticlinal d'orientation NE-SW. La structure de BEK-6 semble constitue le prolongement au Nord-ouest de la structure forée du puits BEK-2 Elle est limitée à l'Est par une faille de direction NE-SW ; la séparant à l'Ouest du puits BEK-

1. Situation géographique

Le champ Bir El Akha est situé dans le bloc 423 au Nord du périmètre du Touggourt Est I, à une cinquantaine de kilomètres au Nord-est de champ de Hassi-Messaoud, il est limité : Au Nord par le champ du Rahlet El Aouda (RAA) , A l'Est par le champ du Oglet EL Nasser (OEN) , A L'Ouest, par le champ du Nord Hassi Belhadj (NHBHJ)

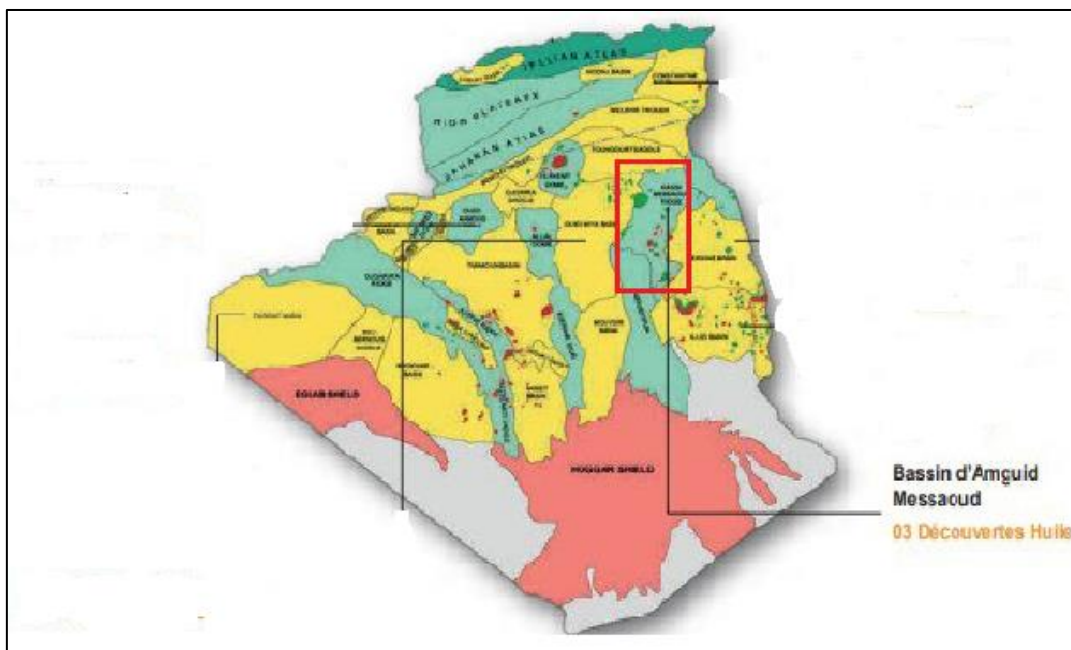


Figure 1 : Situation géographique amguid messaoud (In WEC 2003, modifiée)

2.Contexte géologique

La région d'étude fait partie du périmètre Touggourt Est I, elle constitue le prolongement vers le Nord de l'axe El agreb - Hassi Messaoud.

La région est limitée à l'Ouest par le bassin d'Oued Mya et à l'Est par le bassin Berkine. Le champ BEK est caractérisé par des trends de direction NE-SW,



Figure 2 : Situation géologique du bassin Amguid messaoud

2.1. Aspect stratigraphie

Le champ pétrolier de Bir El akha est situé dans la province triasique, cette dernière représente un soubassement antécambrien, métamorphique constituant la plate forme saharienne où les dépôts étalés du Paléozoïque seront affectés par la discordance hercynienne. Ils sont souvent érodés jusqu'à Silurien, l'Ordovicien et le Cambrien, Les formations du Trias par lesquelles débute le Mésozoïque sont donc discordantes sur les couches du Cambro-ordovicien.

De ce fait, la région est très complexe du point de vue structural et stratigraphique vue les nombreuses phases tectoniques subies et l'intensité de l'érosion hercynienne.

On distingue de base au sommet :

- Le socle

Rencontré aux environs de 4000 mètres de profondeur, il est constitué de terrains méta-sédimentaires traversés par de nombreuses intrusions magmatiques (elles sont formées essentiellement de granite porphyroïde rose). L'âge des formations varie de l'Archéen à l'Eocambrien et Cambrien (R. CABY et MOUSSU, 1967 ; GRAVELLE, 1969).

- L'infrcambrien

C'est l'unité lithologique la plus ancienne rencontrée constituée de grés argileux rouges.

-1 Le Paléozoïque

Les formations paléozoïques reposent en discordance sur le socle ; (discordance Panafricaine).

De la base au sommet on distingue :

a. Le Cambrien

Essentiellement constitué de grés hétérogènes, fins à très grossiers entrecoupés de passées de silt-stones argileux, micacés. On y distingue quatre (04) lithozones Ra, Ri, R2 et R3.

b. L'Ordovicien

On distingue de la base au sommet quatre (04) unités lithologiques:

-La zone des alternances : Son épaisseur moyenne est de 20 mètres. Désignée ainsi en raison de la présence de nombreuses passées d'argiles indurées alternant avec des bancs de quartzites fins isométriques.

-La formation des argiles d'El-Gassi : son épaisseur moyenne est d'environ 50 mètres. Cette formation est constituée d'argile schisteuse, indurée présentant une couleur verte à noire, rarement rouge. Cette argile peut être glauconneuse ou carbonatée présentant une faune (graptolites) indiquant un milieu de dépôts marins.

Cette formation est surtout rencontrée sur la périphérie Ouest à Sud-Ouest du champ de Hassi-Messaoud.

-Les grés d'EL Atchane : son épaisseur moyenne varie de 12 à 25 mètres. Cette formation est constituée de grés fins à très fins, gris-beige à gris-sombre. Ces grés peuvent être argileux ou glauconieux admettant de nombreuses passées argileuses et silteuses.

-Les quartzites de Hamra : L'un des formations réservoirs objectives de cette étude, son épaisseur moyenne varie de 12 à 75 mètres. Ce sont des grés gris – clair à gris – blanc fin à moyen, silico – quartzitiques à quartzitiques, à rares intercalations d'argile noir indurée et silteuse.

- Les Grés d'Ouargla: Grés gris blanc, verdâtre et beige fin à moyen, finement micacé avec passées d'argile noire.

-Les Argiles Micro conglomératiques: Argile gris foncé à noire indurée silteuse micacée à grains de quartz fin et moyen, parfois grossier.

La surface de discordance peut être marquée par la présence d'argile micro conglomératiques, ce sont des argiles noire, indurée, micacée avec traces de quartz subarrondi, translucide.

-Silurien : Argile noire à gris, silteuse, micacée, indurée, avec fines passées de Grés gris blanc, fin, silico-argileux, moyennement dure

2-Le Mésozoïque :

Il est subdivisé comme suit :

a. Le Trias : Le Trias de Rhourde Chegga est constitué de 7 unités lithostratigraphiques principales qui reposent en discordance sur les formations ordoviciennes.

- Grés du RDC :

c'est l'objectif de cette étude, c'est une formation essentiellement gréseuse dont l'épaisseur varie d'un puits à un autre, elle est entre 2m à 20m, c'est un grés, gris à gris vert, moyen à ciment silico-argileux, moyennement dur, localement il peut être friable ou complètement compact.(il sera détaillé dans les parties suivantes).

-Roche éruptive :

cette formation existe dans tous les puits du champs, elle présente une épaisseur qui varie entre 60 et 80 m, elle est constituée essentiellement de roches andésitiques, de

couleur gris à gris-vert, présentant des cristaux d'olivines et des filons de calcite. Cette formation est intercalée de niveaux argileux métriques, brun à brun rouge.

-La série inférieure argileuse :

série constituée surtout d'argiles brun à brun rouge, son épaisseur varie entre 10 et 30m, parfois on note la présence d'un banc dolomitique mélimétrique (3 à 5m).La base de cette série est gréseuse.

-Trias T1 : alternance de grés,gris blanc, fin à moyen à ciment silico- argileux, parfois dolomitique et des niveaux silteux gris à gris –verts. L'épaisseur moyenne de cette formation est de 50m.

- Trias Argilo-Gréseux: 3564 à 3622m Ensemble argilo-gréseux constitue de grés brun rouge fin à siltstones et de luminations d'argile micacée.

-Trias T2 : niveau dolomitique d'environ 10m d'épaisseur.

-Trias argileux (G30): formation argileuse, localement silteuse et salifère dont l'épaisseur moyenne est de 25m.

- Trias salifère (G20) : sel massif blanc avec des passées d'argiles brun rouge dont l'épaisseur moyenne est de 100m.

b. Le Jurassique : son épaisseur moyenne est de 340 mètres.

Le Jurassique est un ensemble argilo-gréseux à intercalations de calcaires au sommet (Malm) et à alternances de faciès lagunaires marins à la base (Dogger et Lias).

-Le Lias : son épaisseur moyenne est de 300 mètres.

Le passage du Trias au Lias est caractérisé par une zone de marne dolomitique connue sous le terme de l'horizon "B" qui est un repère sismique. Le Lias est subdivisé en cinq (05) niveaux bien distincts s'alternant entre eux sur toute l'épaisseur qui sont :

- Le Lias dolomitique (LD3): Son épaisseur moyenne est de 30 mètres.

C'est un calcaire dolomitique ou argileux, dolomie argileuse et argiles brunes rouges anhydritique. On note la présence d'un banc d'argile de 6 à 10 m d'épaisseur à la base.

- Le Lias Salifère (LS2): Son épaisseur moyenne est de 65 mètres. Il y a un banc de 5 m d'épaisseur de Sel blanc massif au sommet.La formation est un Sel blanc massif à intercalations d'argiles brun rouges plastiques.

- Le Lias dolomitique (LD2): Son épaisseur moyenne est de 55 mètres.On a un banc de dolomie de 5 à 6 m au sommet. Et un banc de 2 à 3 m d'épaisseur à la base.

La formation est un alternance d'anhydrite blanche ou grise compacte d'argiles versicolores et de bancs de dolomie grise ou beige vacuolaire.

- Le Lias salifère (LS1): Son épaisseur moyenne est de 95 mètres.

Il existe un banc d'anhydrite de 4 à 5 m d'épaisseur au TOP. Et de 7 à 10 m à la base.

L'ensemble est un alternance de sel blanc, d'anhydrite blanche à grise, et d'argile à anhydrite ou dolomitique.

- Le Lias dolomitique (LD1): Son épaisseur moyenne est de 75 mètres. Il y a un banc d'argile de 4 à 5 m d'épaisseur au sommet, et à la base.

La formation est constituée d'alternance d'anhydrite et de dolomie.

-Le Dogger: son épaisseur moyenne est de 320 mètres.

-Le Dogger est subdivisé en deux (02) formations;

-le Dogger lagunaire à la base et le Dogger argileux au sommet :

- Le Dogger lagunaire: Son épaisseur moyenne est de 225 mètres. C'est l'alternance d'anhydrite compacte blanche à grise, d'argile, marne et de dolomie argileuse grise.

Le D. Lagunaire est topé suite apparition du 1er banc d'anhydrite.

-Le Dogger Argileux: Son épaisseur moyenne est de 105 mètres. C'est une série d'argiles bariolées silteuses ou dolomitiques, à fines passées de marnes dolomitiques et de calcaire argileux.

- Le Malm: Son épaisseur moyenne est de 225 mètres. Il est caractérisé par les dépôts d'argile et de marne avec des intercalations de bancs de calcaire et de dolomie accompagnées de quelques traces d'anhydrite.

c. Le Crétacé: Son épaisseur moyenne est de 1620 mètres. Il est constitué de sept étages; de la base au sommet on distingue

- Le Néocomien: Son épaisseur est de 182 m et confond deux niveaux :A la base un terme gréseux constitué de grés et de quelques passées d'argile avec des passées de grés, au sommet un terme argileux représenté par des argiles avec de nombreuses intercalations de calcaire et de dolomie.

- Le Barremien: Son épaisseur moyenne est de 280 mètres.

Il est formé de grés fins à moyens carbonatés à plages d'anhydrite, alternant avec des niveaux d'argile gréseuse et dolomitique.

- L'Aptien: Son épaisseur est de 25 mètres. Il est représenté par deux bancs dolomitiques encadrant un niveau argileux. La limite Aptien-Barremien coïncide avec la barre

Calcaire-Dolomitique qui représente un bon repère sismique.

- L'Albien: Son épaisseur moyenne est de 350 mètres. Constitué de grès et de sable fin, avec des intercalations d'argile silteuse, il constitue une immense nappe aquifère.

-Le Cénomaniens: Son épaisseur moyenne est de 145 mètres. Alternance d'anhydrite et d'argile brun-rouge, de marne grise et de dolomie. La limite Cénomaniens-Albien coïncide avec le passage des séries évaporitiques aux séries plus gréseuses de l'Albien.

- Le Turonien: Son épaisseur moyenne varie de 70 à 120 mètres. Alternance de calcaires dolomitiques et calcaires argileux, calcaires dolomitiques et calcaires crayeux, au sommet apparaissent les bancs de calcaires. Le Turonien correspond à une nappe d'eau salée.

- Le Sénonien: Son épaisseur moyenne est de 450 mètres. A la base, une série lagunaire présentant des bancs massifs de sel et des alternances d'anhydrite, dolomie et d'argile grise. Au sommet une série carbonatée présentant des bancs de calcaire dolomitique argileux et des bancs d'anhydrite,

- Le Sénonien Salifère: Son épaisseur moyenne est de 140 mètres.

Le sénonien salifère est topé suite apparition d'un banc d'anhydrite d'environ 10 m d'épaisseur, et se termine par un autre banc d'épaisseur identique.

Il est constitué des Sels massifs blancs encadrés d'anhydrite et comportant des argiles salifères ou anhydritiques.

- Le Sénonien anhydritique: Son épaisseur moyenne est de 205 mètres. Le sénonien anhydritique est topé suite apparition de l'anhydrite. Il se représente par l'anhydrite massive et marne ou argiles dolomitique dans les premières 70 m, pour le reste : des séries de marne dolomitique, des argiles grises à verdâtres, une dolomie argileuse grise à rares intercalations d'anhydrite blanche.

- Le Sénonien Carbonaté: Son épaisseur moyenne est de 105 mètres. Le sénonien carbonaté est topé suite apparition d'un banc d'anhydrite massive blanche d'environ 15 m d'épaisseur. La formation est constituée par l'anhydrite massive blanche au sommet et dolomie argileuse, marne dolomitique à la base.

3-Le Cénozoïque: Son épaisseur moyenne est de 360 mètres. Il est constitué de calcaire dolomitique à l'Eocène et d'un recouvrement de type sableux au MioPliocène :

a. L'Eocène : Formé de Dolomie blanche, dolomie calcaire ou argileuse blanche à grise, localement à silex.

b. Le Mio-pliocène :

Ce sont des formations sableuses à intercalations de bancs calcaires et de marnes sableuses et l'épaisseur de celui-ci est très variable avec la topographie actuelle de la région

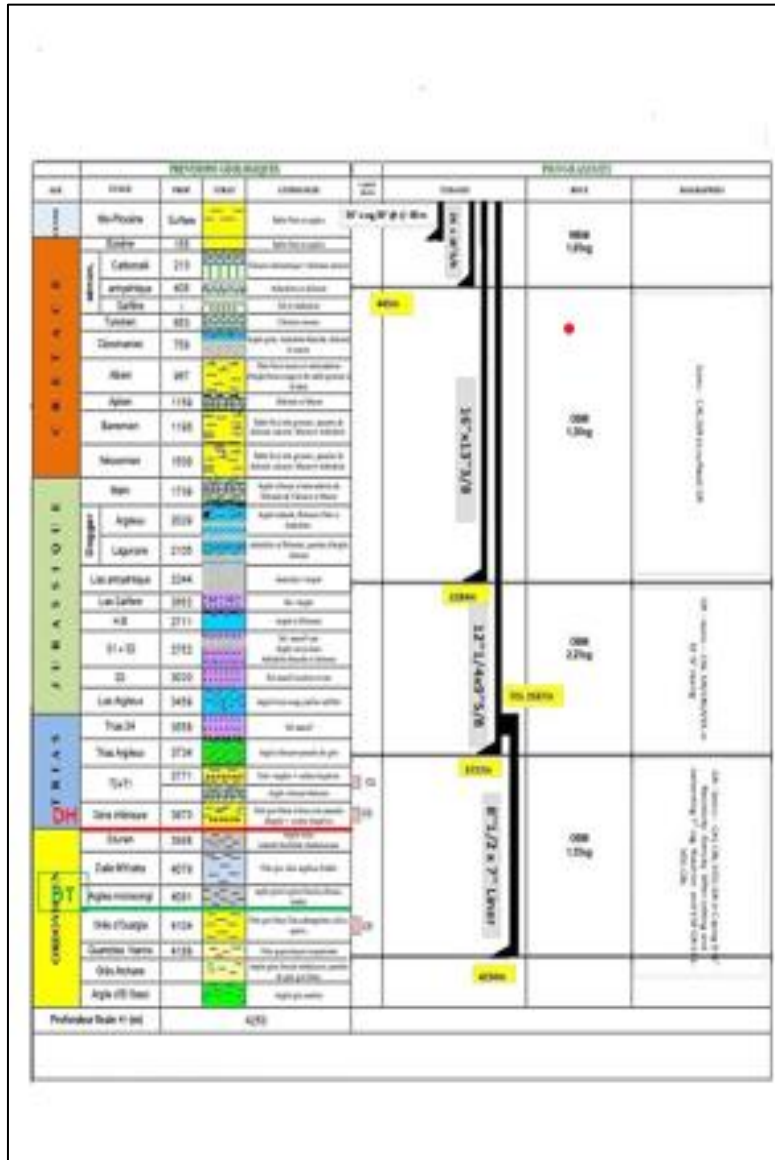


Figure 3 : Log litho stratigraphique type de bassin de Amguid Messaoud (document RDI)

2.2.Aspect structural :

Cadre structural régional :

Sur le plan structurel, le champ BEK a une structure orientée NE-SW, c'est le résultat de l'action sur un substratum fracturé, plissé et érodé, et sur la couverture sédimentaire de plusieurs phases tectoniques qui peuvent être soit distensives, soit compressives. Celles-ci sont souvent en relation avec les mouvements relatifs des plaques lithosphériques issues de la désintégration de la Pangée à partir du Trias.

Le gisement de BEK appartient au môle de Hassi Messaoud qui est le résultat d'une histoire paléotectonique assez compliquée, il fait partie d'un ensemble de structures formant la province triasique

2.3. Aspect Géophysique

Les cartes en isobathes aux toits du Trias SI et à la Discordance Hercynienne ont été établies sur la base de l'interprétation sismique du Merge 3D- RAA

La carte en isobathes à la discordance hercynienne montre une structuration en horsts et grabens, traversée par des failles normales et inverses de direction NE-SW et compliquée par des failles secondaires de direction E-W.

la structure de Bir El Akha se trouve entre deux structures plus hautes, la structure de Oglet El Nasser à l'Est et la structure de Nord Hassi Belhadj à l'Ouest

La structure de Bir El Akha est caractérisé par des trends de direction NE-SW, le plus vaste se trouve à l'Ouest comprend la majorité des puits (BEK1, BEK2, ...BEK6).

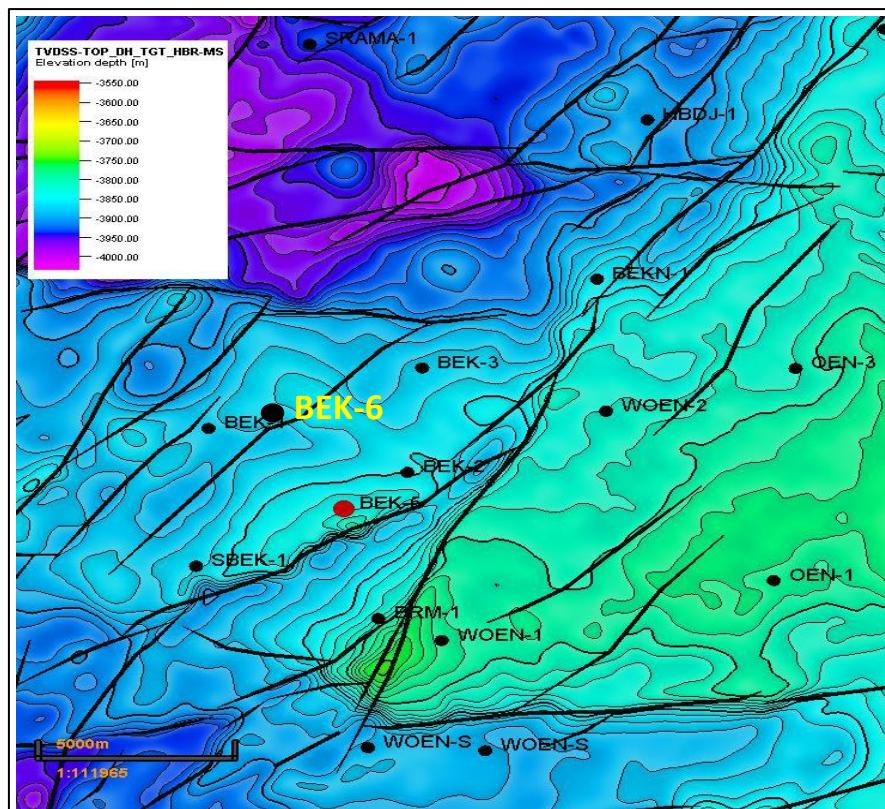


Figure 4 : Carte en Isobathes au droit de la Discordance Hercynienne (document RDI)

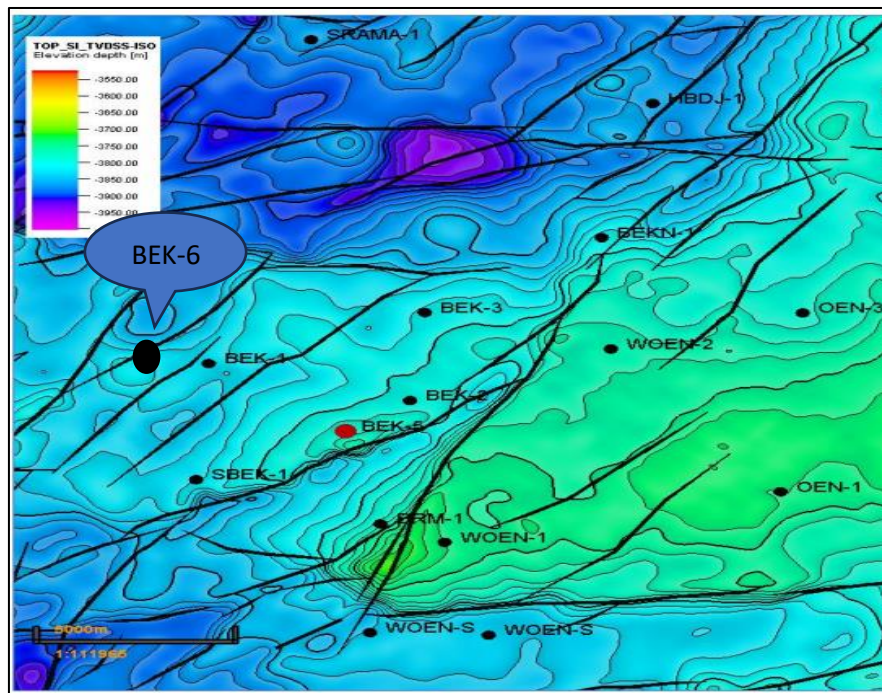


Figure 5 : Carte en Isobathes au toit de la série inférieure (document RDI)

3.Aspect pétrolier

3.1. Roche mère:

D'après les études du champ de BEK, il existe deux hypothèses possibles sur l'origine des hydrocarbures (roche mère) :

- Les argiles de l'Ordovicien (argiles d'El Gassi)
- Les argiles du Silurien

Les argiles d'El Gassi sont des argiles noires et organiques. Elles seraient à l'origine d'une grande contribution à l'accumulation des hydrocarbures . Cette formation de 38m à 50 m d'épaisseur est détectée dans les puits au-delà de la limite actuelle du champ ainsi que dans les grabens de la structure . Par contre les argiles du Silurien sont présentes sur les rebords du champ .

3.2 Roche de couverture :

Leur rôle est de couvrir les roches réservoirs afin d'empêcher la dysmigration des hydrocarbures vers la surface. Elles doivent être plastiques et imperméables (argiles, évaporites) La couverture des réservoirs ordoviciens est assurée respectivement par l'épanchement des roches éruptives ainsi que par les épaisses séries d'évaporites d'âge Triasique ou Jurassique. Pour les réservoirs cambriens, leur couverture est assurée par les argiles d'El Gassi. Donc les séries argilo-gréseuses du Lias et du Trias, et à un degré moindre la série inférieure (roches éruptives) du Trias, assurent l'étanchéité pour

le quartzite de Hamra ; tandis que la série des argiles d'El Gassi et les intrusions intercalées forment une couverture remarquable à l'ensemble des réservoirs cambriens.

3.3. Roches réservoir :

-T2 : Alternance de dolomie blanche et gris cristalline et d'argile brun rouge légèrement silteuse, avec des intrusions volcaniques et leur épaisseur est 34m

-T1 : Alternances d'argiles brun rouge légèrement silteuse avec des passées de Grès fins à moyens. et leur épaisseur est 92m

-Trias : série inférieure Grès blancs fins avec passées d'argiles brun rouge de la plaine d'inondation et leur épaisseur est 60m

3.4. Pièges :

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

Pièges structuraux :

Ces pièges sont le résultat de mouvement tectonique tel que les anticlinaux ou pièges par failles.

Pièges stratigraphiques : C'est la combinaison de deux milieux différents correspondant au passage d'un milieu perméable à un autre imperméable tel que les lentilles gréseuses et les biseaux

Pièges mixtes :

Ils sont à la fois structuraux et stratigraphiques, comme par exemple les pièges contre failles. Au niveau du bassin d'Oued Mya et le Nord- Est de Hassi Messoud (prolongement d'axe Amguid Messaoud), les pièges reconnus jusqu'à présent sont de type stratigraphique et structural.

Conclusion

Le prospect Bir El Akha-6 (BEK-1) est situé dans la partie centre du bloc 423a du périmètre de recherche Touggourt II. Ce dernier est situé sur le flanc nord-ouest du bassin Oued Mya.

Le bassin d'Oued Mya est limité au nord par le haut Djemââ-Touggourt, à l'est par le haut Agreb-Messaoud, à l'ouest par le haut Allal-Tilrhemt et s'ouvre vers le sud sur le bassin de Mouydir.

Dans ce périmètre, les dépôts paléozoïques, d'une épaisseur totale supérieure à 600m, sont représentés par les formations d'âge cambrien à ordovicien et affectés par l'érosion hercynienne. Sur ces dépôts reposent en discordance angulaire les formations du Mésozoïque (Trias à Crétacé) d'une épaisseur totale de l'ordre de 2800m à 2950m. En surface affleurent les carbonates du Sénonien ou Turonien et dépôts du Mio-Pliocène.

Dans cette partie du bassin, les principaux éléments structuraux sont de direction NW-SE, N-S et NNE-SSW. La région est caractérisée par des failles normales et des anticlinaux asymétriques de faibles amplitudes.

Les principaux réservoirs et objectifs pétroliers dans la région sont constitués par les grès des niveaux triasiques T2A et T1B, déposés en milieu fluvial, La couverture de ces réservoirs assurée par les évaporites du salifère S4 et du Lias La roche mère principale est constituée par les argiles radioactives du Silurien Le piégeage se fait essentiellement dans des structures anticlinales.



CHAPITRE II

**Synthèse bibliographique sur les méthodes
d'intelligence artificielle**



Introduction

L'intelligence artificielle (IA) est une discipline en évolution rapide qui se base sur des concepts relatifs à l'être humain, des techniques scientifiques déjà établies et des technologies de l'informatique, de l'électronique, de l'automatique, ... etc, pour concevoir des systèmes dits intelligents, capables de traiter des problèmes difficilement résolubles d'une manière similaire à celle qu'adopterait l'être humain.

La mise en application de l'intelligence artificielle exige des connaissances de la perception, du raisonnement, du traitement des informations et de l'apprentissage. Elle offre son lot de découvertes chaque jour dans différents domaines techniques et non techniques qu'ils soient civiles ou militaires, tels que l'économie, la sociologie, la médecine, l'agriculture,

Notre étude a utilisé des techniques d'IA telles que les réseaux de neurones artificiels, le support de la machine Vector, la régression linéaire multiple et les algorithmes de génétique pour estimer les paramètres de porosité.

1. L'intelligence artificielle

Ceci désigne un ensemble de technologies qui ont été développées afin de concevoir des machines capables de reproduire l'intelligence humaine, comme le raisonnement ou l'apprentissage. Le domaine d'étude principal de l'IA est le machine learning. L'objectif est d'enseigner aux ordinateurs trois compétences : prédire, classer et regrouper.

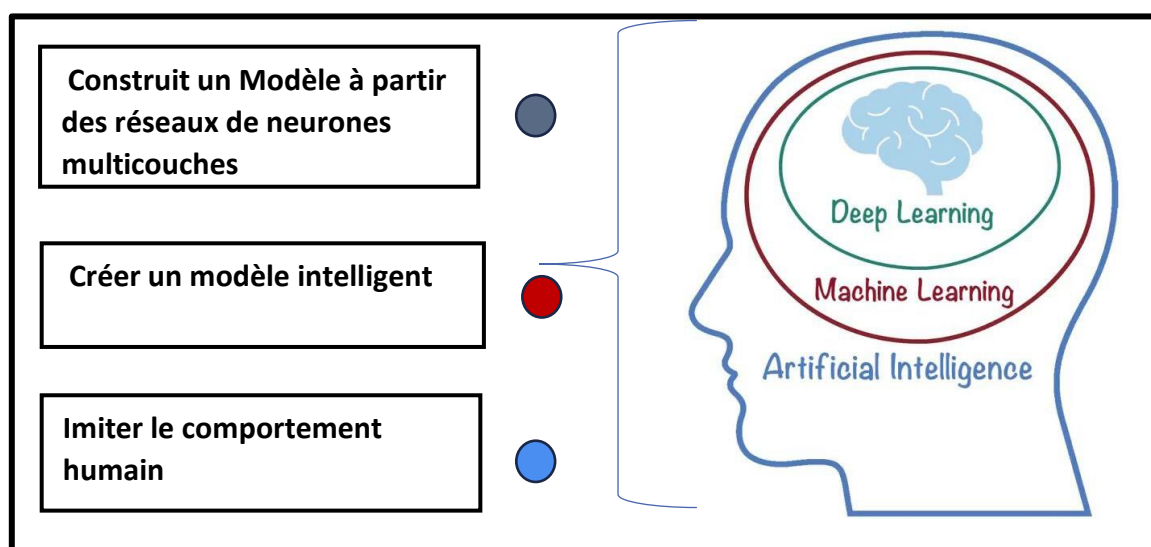


Figure 6 : les types de L'intelligence Artificielle

2. Machine Learning

Machine learning est un sous-ensemble de l'intelligence artificielle qui se concentre sur la création de systèmes qui apprennent ou améliorent les performances en fonction des données qu'ils consomment, et c'est celui qui permet aux algorithmes de détecter des "modèles" récurrents dans les ensembles de données, ces données peuvent être des nombres, des mots, des images ou des statistiques en détectant des modèles dans ces données les algorithmes d'apprentissage automatique apprennent indépendamment et sans intervention humaine pour faire des prédictions à partir des données et améliorer leurs performances au fil du temps, une fois appris de l'expérience, l'algorithme pourra trouver des modèles dans les nouvelles données.

3.Types Machine Learning

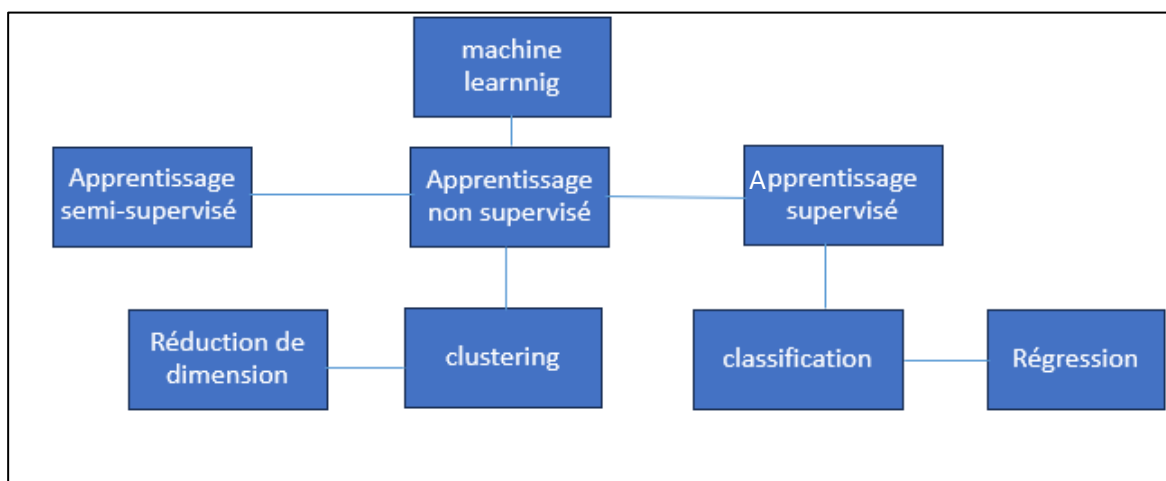


Figure 7 : les types de machine Learning

3.1. Apprentissage supervisé (régression et classificateur)

L'approche de l'apprentissage supervisé consiste à entraîner les modèles à partir d'un ensemble de données étiquetées, c'est-à-dire des données dont on connaît les valeurs cibles ou les étiquettes. Le but consiste à anticiper les étiquettes ou les sorties de nouvelles données non étiquetées.

3.1.1. Classification : Les problèmes de classification consistent à prédire une classe ou une catégorie pour une instance donnée. Quelques exemples d'algorithmes de classification sont :

3.1.2. Régression : Les problèmes de régression consistent à prédire une valeur numérique ou continue pour une instance donnée

3.2. Les algorithmes d'apprentissage supervisé :

Il existe plusieurs algorithmes utilisés dans de nombreuses applications informatiques parmi lesquels:

3.2.1. Régression linéaire :

La régression linéaire est une technique d'apprentissage supervisé utilisée pour modéliser la relation linéaire entre une variable cible continue et une ou plusieurs variables explicatives.

Elle cherche à trouver la meilleure ligne droite (ou hyperplan dans le cas de variables multiples) qui minimise l'écart entre les valeurs prédites et les valeurs réelles de la variable cible.

La régression linéaire est souvent utilisée pour la prédiction et l'estimation de valeurs continues, en supposant une relation linéaire entre les variables.

3.2.2. Arbre de décision :

Un algorithme d'arbre de décision divise les données en branches pour montrer les résultats possibles de différentes actions. Il classe et prédit les variables de réponse basées sur les choix précédents.

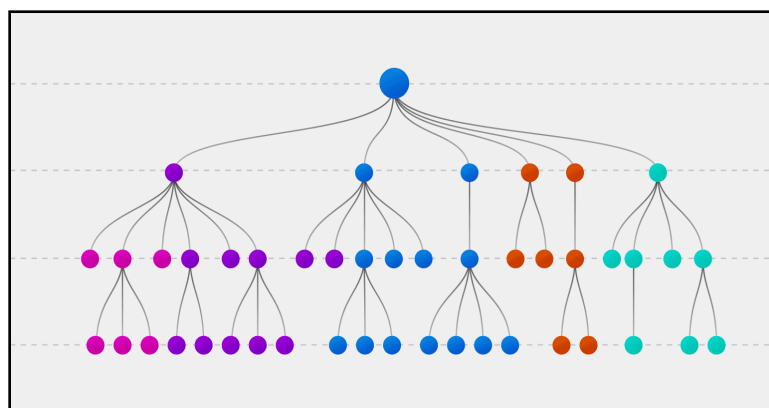


Figure 8 : Arbre de décision (<https://www.explorium.ai>)

La technique visuelle a fait ses preuves. Les résultats des arbres de décision peuvent être expliqués facilement. Les chercheurs en données publiques n'auront aucune difficulté à les comprendre. Même lorsque les jeux de données en entrée sont incomplets, les décisions et leurs effets.

3.2.3 Méthodes de support vector machine (SVM) :

Les machines à vecteur de support (SVM ou bien « Support Vector Machines ») ont été développées par Vapnick, et sont des uns ensembles de techniques d'apprentissage supervisé destinées à résoudre des problèmes des classifications et de régression.

L'idée principale de cet algorithme est de trouver un hyperplan qui sépare au mieux les exemples positifs des exemples négatifs en garantissant que la marge entre le plus proche des positifs et des négatifs soit maximale.

Les SVM ont rapidement été adoptées pour leur capacité à travailler avec des données de grandes dimensions, elles s'appartiennent aux classifieurs linéaires dans le sens où elles tentent de séparer l'espace en deux mais certaines manipulations mathématiques les rendant adaptables à des problèmes non linéaires.

Les SVM ont été appliqués à de très nombreux domaines tels que la bio-informatique, la recherche d'information, la finance. , (Vladimir Vapnik)

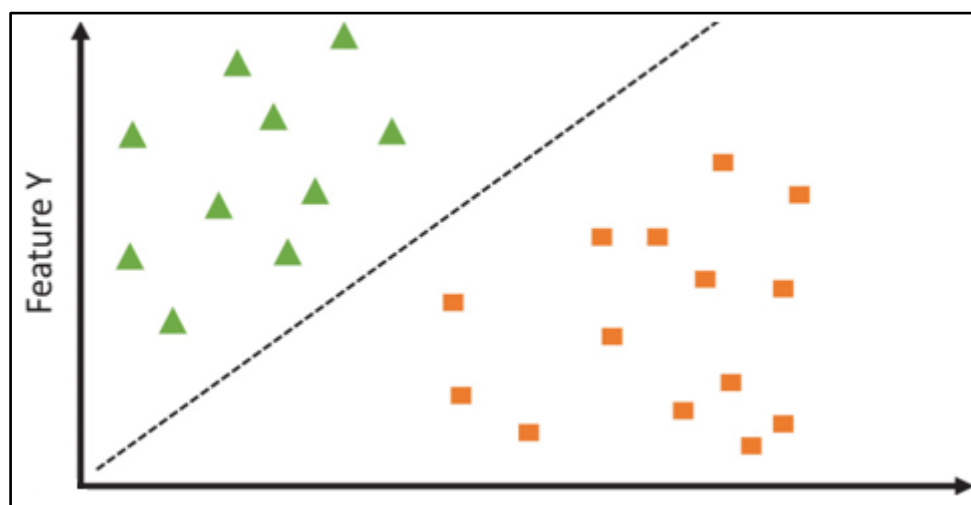


Figure 9 : Méthodes de support vector machine (SVM)
(<https://images.spiceworks.com/wp-content/uploads>)

3.2.4 Algorithme de forêt aléatoire:

Le modèle de forêt aléatoire entraîne plusieurs modèles d'arbres de décision, chacun sur un sous-ensemble différent il s'agit d'un algorithme d'apprentissage automatique qui crée un ensemble d'arbres de décision à l'aide d'une technique appelée empaquetage, où l'empaquetage est symbolisé par la prélecture des données. Le modèle combine ensuite

les prédictions de tous ces modèles d'arbres de décision individuels pour faire une prédiction finale.

Cette combinaison de plusieurs modèles permet de réduire le surajustement et d'améliorer la précision globale du modèle.

D'autre part, la forêt aléatoire est un algorithme puissant largement utilisé dans l'industrie et la recherche en raison de sa capacité à gérer des données multidimensionnelles et des données volumineuses avec des valeurs manquantes.

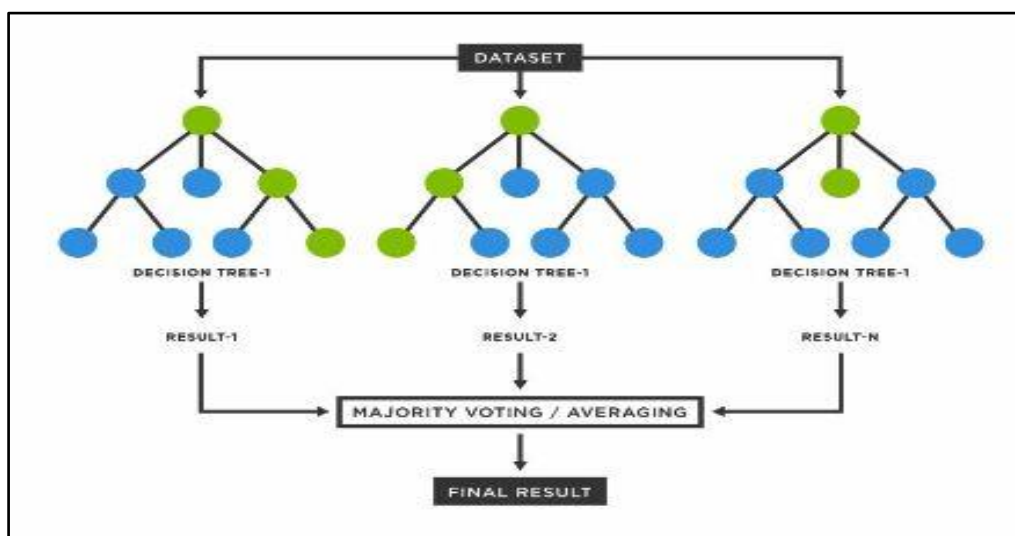


Figure 10 : Algorithme de forêt aléatoire
(<https://www.meteosuisse.admin.ch/images>)

Il fonctionne également bien sur des ensembles de données déséquilibrés et peut être utilisé pour des tâches de classification binaires et multi-catégories.

3.3.Apprentissage non supervisé (partitionnement de données)

L'apprentissage non supervisé est une approche de l'apprentissage automatique où les modèles sont entraînés à partir d'un ensemble de données non étiquetées, sans informations préalables sur les sorties attendues.

L'objectif est de découvrir des structures, des motifs ou des relations intrinsèques dans les données.

3.3.1. Clustering :

est le regroupement de données similaires en groupes ou sous-groupes sans aucune connaissance préalable des catégories ou des étiquettes. L'objectif est d'identifier les similitudes entre les points de données et de les regrouper en fonction des similitudes.

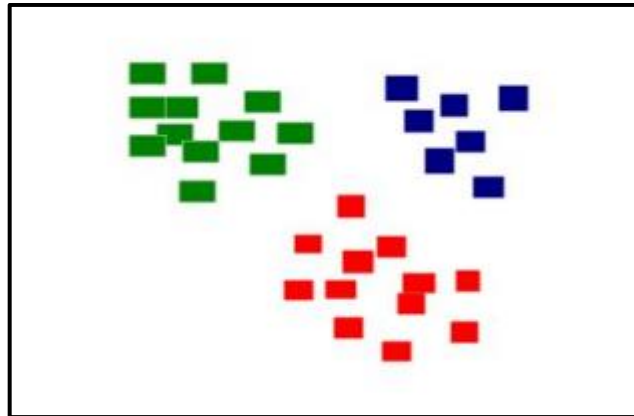


Figure 11 : regroupement de clustering (Senani SAMY 2019)

3.3.2. Réduction de dimensionnalité :

la réduction de la dimensionnalité est le processus de réduction du nombre d'entités ou de variables dans un ensemble de données tout en conservant les informations les plus importantes et les plus pertinentes. Ceci est fait pour simplifier les données et faciliter leur analyse ou leur visualisation.

3.3.3. la méthode XGBoost :

XGBoost est une méthode d'entraînement machine supervisé pour la classification et la régression utilisée par l'outil Entraîner à l'aide d'AutoML. XGBoost signifie extreme gradient boosting. Cette méthode repose sur les arbres de décision et s'améliore à partir d'autres méthodes telles que la forêt aléatoire et l'optimisation de dégradé. Elle est efficace avec les jeux de données volumineux et complexes en faisant appel à diverses méthodes d'optimisation.

3.4. Les algorithmes d'apprentissage non supervisé

Il existe plusieurs algorithmes utilisés, dont les plus notables sont :

3.4.1. Les algorithmes Apriori

Cet algorithme d'exploration de données cherche les affinités entre deux éléments d'un jeu de données afin d'identifier s'il y a une corrélation négative ou positive entre eux.

3.4.2. K plus proches voisins

Souvent abrégée en KPPV en français, la méthode des K plus proche voisins est simple mais efficace dans beaucoup de cas. Le principe est d'assigner à la donnée d'entrée la classe majoritaire parmi ses plus proches voisins dans l'échantillon

d'apprentissage. Pour prédire la classe d'une nouvelle donnée, l'algorithme calcule sa similarité avec toutes les données déjà classées. Puis, il trie les valeurs de similarité par ordre décroissant et ne garde que les K premières. La classe la plus fréquente parmi les K données restantes est celle qui est attribuée à la nouvelle donnée. Donc, comme son nom l'indique la classification d'une nouvelle donnée dépend de ses K voisins les plus proches .

3.4.3. Clustering hiérarchique :

Le clustering hiérarchique est une technique de clustering non supervisé qui vise à organiser les données en une structure hiérarchique de clusters.

Il existe deux approches principales :

le clustering hiérarchique agglomératif et le clustering hiérarchique divisif.

L'approche agglomérative commence avec chaque point de données comme un cluster séparé, puis fusionne progressivement les clusters similaires jusqu'à ce qu'un seul cluster global soit formé.

L'approche divisive commence avec un seul cluster global et le divise en sous-clusters plus petits à chaque étape.

Le clustering hiérarchique peut être représenté sous forme de dendrogramme, permettant une visualisation de la structure de regroupement.

3.5. Apprentissage semi-supervisé :

Les algorithmes d'apprentissage semi-supervisé peuvent traiter des données d'entraînement partiellement étiquetées, généralement beaucoup de données non étiquetées et un peu de données étiquetées et font des prédictions pour tous les points non vus. L'apprentissage semi-supervisé est courant dans les contextes où les données non étiquetées sont facilement accessibles mais où les étiquettes sont coûteuses à obtenir. Différents types de problèmes survenant dans les applications, y compris les tâches de classification, de régression ou de classement, peuvent être présentés comme des exemples d'apprentissage semi-supervisé. L'espoir est que la distribution de données non étiquetées accessibles .

à l'algorithme puisse l'aider à obtenir de meilleures performances que dans le cadre de l'apprentissage supervisé. L'analyse des conditions dans lesquelles cela peut

être réalisé fait l'objet de nombreuses recherches théoriques et appliquées modernes sur l'apprentissage automatique .

Certains services d'hébergement de photos, tels que Google Photos, en sont de bons exemples. Lorsque l'on télécharge des photos de famille sur le service, celui-ci reconnaît automatiquement que la même personne A .tandis qu'une autre personne B Il s'agit de la partie non supervisée de l'algorithme (Clustering). Maintenant, tout ce dont le système a besoin, c'est que nous lui disons qui sont ces personnes. Une seule étiquette par personne, et il est capable de nommer toutes les personnes présentes sur chaque photo, ce qui est utile pour la recherche de photos.

La plupart des algorithmes d'apprentissage semi-supervisés sont des combinaisons d'algorithmes non supervisés et supervisés. Par exemple, les réseaux de croyances profondes (DBN) sont basés sur des composants non supervisés appelés machines de Boltzmann restreintes (RBM) empilées les unes sur les autres. Les RBM sont formés de manière séquentielle et non supervisée, puis le système entier est réglé avec précision grâce à des techniques d'apprentissage supervisées. (L.-P. Chen, 2019) .

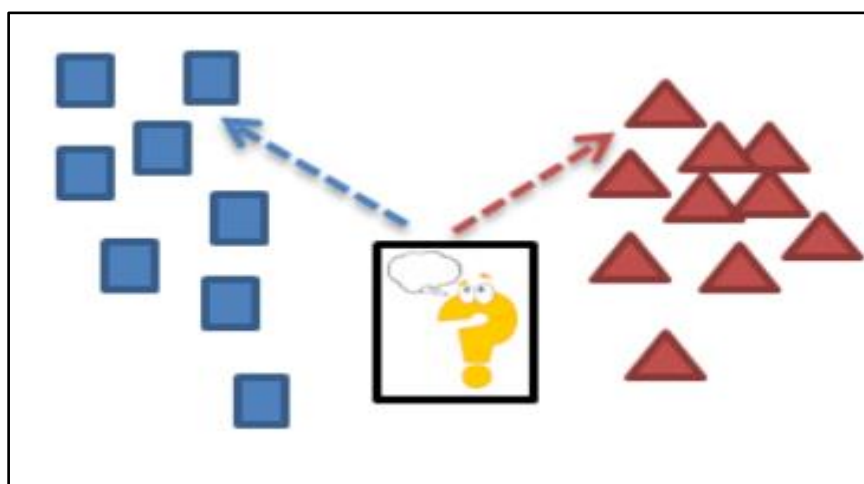


Figure 12 : Apprentissage semi-supervisé
(<https://www.google.com/url?sa=i&url>)

4. Deep Learning (apprentissage profond) :

Le Deep learning est une sous-discipline de l'intelligence artificielle (IA) qui se concentre sur l'apprentissage automatique de représentations de données à partir de niveaux d'abstraction successifs.

Il s'agit d'une méthode d'apprentissage automatique basée sur des réseaux de neurones artificiels profonds, qui sont des modèles computationnels inspirés du fonctionnement du cerveau humain.

Le Deep learning est capable d'apprendre à partir de données brutes non structurées, telles que des images, des textes ou des sons, en extrayant automatiquement des caractéristiques pertinentes à différents niveaux de complexité.

Contrairement aux méthodes traditionnelles d'apprentissage automatique qui nécessitent souvent une ingénierie manuelle des caractéristiques, le Deep learning apprend de manière autonome à partir des données en utilisant des architectures de réseaux de neurones profonds avec de nombreux paramètres.

Les réseaux de neurones profonds sont composés de plusieurs couches de neurones artificiels, appelées couches cachées, qui transforment les données d'entrée en sorties prédites.

Chaque couche utilise des fonctions d'activation pour introduire de la non-linéarité dans les calculs.

L'apprentissage se fait par rétropropagation de l'erreur, où les poids des connexions entre les neurones sont ajustés afin de minimiser l'écart entre les sorties prédites et les sorties réelles.

Le deep learning a révolutionné de nombreux domaines de l'IA et a obtenu des résultats remarquables dans des tâches telles que la reconnaissance d'images, la traduction automatique, la reconnaissance vocale, la génération de texte, la recommandation de produits, etc.

Il est souvent utilisé lorsque les données sont volumineuses et complexes, et il nécessite généralement des ressources de calcul importantes, telles que des unités de traitement graphique (GPU) et des systèmes de calcul parallèle, pour entraîner efficacement des modèles profonds.

En résumé, le deep learning est une approche d'apprentissage automatique basée sur des réseaux de neurones artificiels profonds qui est capable d'apprendre des représentations de données à différents niveaux d'abstraction.

Il permet de résoudre des problèmes complexes en exploitant des architectures de modèles profonds et des quantités massives de données.

Le Deep Learning c'est une technique de machine learning reposant sur le modèle des réseaux neurones des dizaines voire des centaines de couches de neurones sont empilées pour apporter une plus grande complexité à l'établissement des règles.

5. Neurone Biologique :

Le système nerveux est composé de milliards de cellules : c'est un réseau de neurones biologiques.

En effet, les neurones ne sont pas indépendants les uns des autres, ils établissent entre eux des liaisons et forment des réseaux plus ou moins complexes.

Le neurone biologique est composé de trois parties principales :

- Le corps cellulaire composé du centre de contrôle traitant les informations reçues par les dendrites.
- Les dendrites sont les principaux fils conducteurs par lesquels transitent l'information venue de l'extérieur.
- L'axone est fil conducteur qui conduit le signal de sortie du corps cellulaire vers d'autres neurones.

Quant aux synapses, elles font effet de liaison et de pondération entre neurones et permettent donc aux neurones de communiquer entre eux.

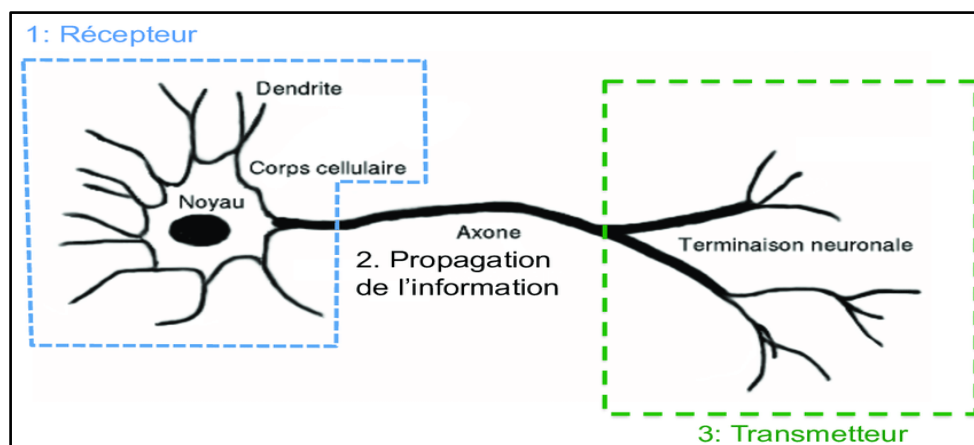


Figure 13 : neurone Biologique (<https://www.researchgate.net/profile/Clement-Hebert/publication>)

5.1. Les différents types de neurones:

a. Neurones multipolaires : Ce sont les neurones les plus courants dans le système nerveux. Ils ont plusieurs prolongements appelés dendrites qui reçoivent les signaux provenant d'autres neurones, ainsi qu'un axone unique qui transmet les signaux à d'autres cellules. Les neurones multipolaires sont impliqués dans le traitement et l'intégration de l'information.

b. Neurones bipolaires : Ces neurones ont deux prolongements - une dendrite et un axone - qui émergent de l'extrémité opposée du corps cellulaire. Les neurones bipolaires sont souvent impliqués dans les fonctions sensorielles spéciales, comme la vision et l'ouïe.

c. Neurones pseudo-unipolaires : Ces neurones ont un prolongement qui se divise en deux branches distinctes. L'une de ces branches reçoit les signaux sensoriels, tandis que l'autre branche transmet les signaux vers le système nerveux central...

d. Neurones unipolaires : Ce sont les neurones les plus simples sur le plan structurel. Ils n'ont qu'un seul prolongement qui se divise en deux branches - une branche qui reçoit les signaux et une branche qui les transmet. Les neurones unipolaires se trouvent principalement dans les organismes invertébrés et jouent un rôle dans des fonctions sensorielles et motrices de base.

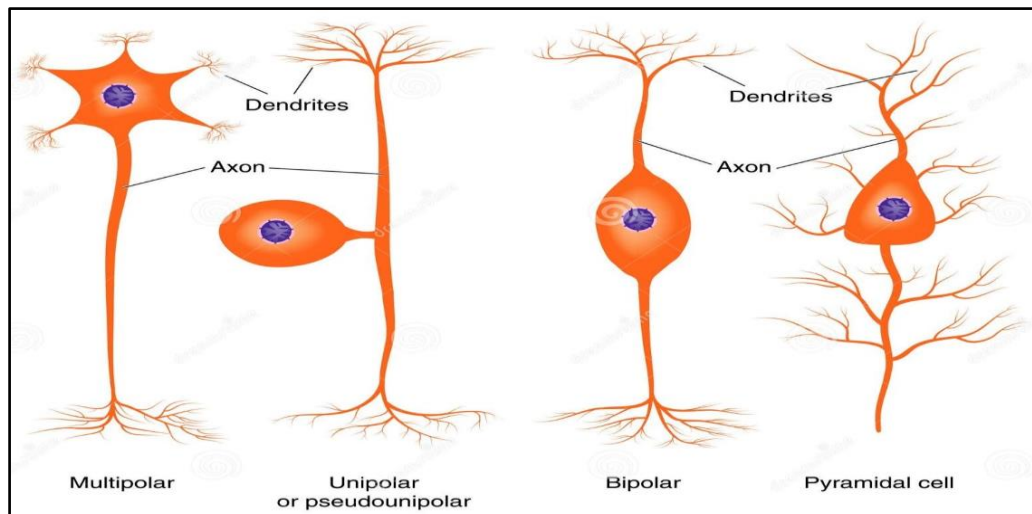


Figure 14 : Les différents types de neurones (<https://lh4.googleusercontent.com/proxy/>)

6. Réseaux de neurones artificiels:

Il s'agit d'une combinaison logicielle d'instructions et de commandes formulées selon des règles mathématiques sous forme de fonctions dont le but est de ressembler au travail du système nerveux et de simuler la façon dont le cerveau humain travaille dans le traitement de l'information, car il crée un système adaptatif que les ordinateurs utilisent pour apprendre de leurs erreurs et pour une amélioration continue. Les réseaux de neurones artificiels tentent de résoudre des problèmes complexes avec plus de précision. Les réseaux de neurones artificiels acquièrent des connaissances en entraînant, en stockant et en traitant les informations sous une forme similaire à celle du cerveau humain.

Les réseaux de neurones artificiels se caractérisent par des capacités et des caractéristiques qui en font l'un des systèmes d'intelligence artificielle les plus importants, et leurs caractéristiques les plus importantes sont :

- La capacité de distinguer des modèles, l'auto-apprentissage.
- Apporter des solutions aux problèmes qui nécessitent des solutions non algorithmiques, après les avoir entraînés et leur avoir fourni des données d'entraînement leur permettant de déterminer les poids et de les ajuster en continu.
- Améliorer les solutions proposées par la formation et l'apprentissage.

- Sa large utilisation en prévision, classification, modélisation, simulation, agrégation et filtrage.

6.1. Architecture des réseaux de neurones artificiels :

Les réseaux de neurones sont très populaires dans le domaine de la modélisation et de la commande des procédés. Ils sont composés de couches de neurones interconnectés par des poids. L'information se propage de manière "feed-forward" d'une couche à l'autre. Nous distinguons trois types de couches :

Couche d'entrée : dans cette première couche, les neurones reçoivent directement les valeurs d'entrée du réseau et les transmettent aux neurones cachés. Chaque neurone reçoit une valeur sans effectuer de sommation.

Couches cachées : Chaque neurone de cette couche reçoit l'information provenant de plusieurs couches précédentes. Il effectue ensuite une sommation pondérée des valeurs d'entrée en utilisant les poids correspondants. Ensuite, il applique une fonction d'activation, souvent une fonction sigmoïde, pour transformer cette somme pondérée. Enfin, il envoie cette réponse aux neurones de la couche suivante.

Couche de sortie: La couche de sortie joue en effet un rôle similaire aux couches cachées, mais la principale différence est que la sortie des neurones de la couche de sortie n'est liée à aucun autre neurone. Cela signifie que les valeurs de sortie de cette couche représentent directement les résultats finaux du réseau de neurones.

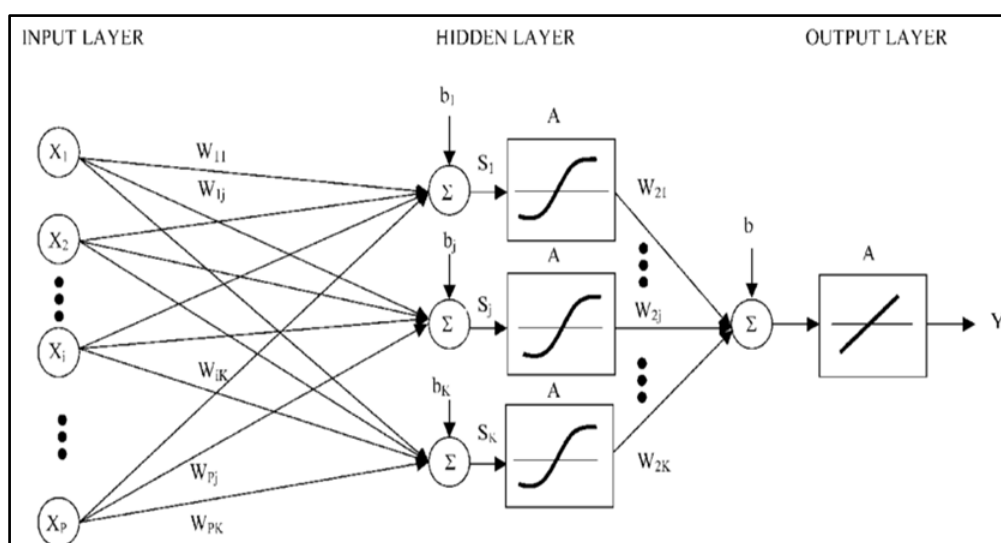


Figure 15 : Schéma représente L'architecture du modèle optimale MLP (Touzet, 1992)

La figure ci-dessous (Fig.) montre la structure d'un neurone artificiel. Chaque neurone artificiel est un processeur élémentaire. Il reçoit un nombre variable d'entrées en provenance des neurones amont. A chacune de ces entrées est associé un poids w (abréviation de Wight (poids en anglais) représentatif de la force de la connexion. Chaque processeur élémentaire est doté d'une sortie unique, qui se ramifie ensuite pour alimenter un nombre variable de neurones aval. A chaque connexion est associé un poids (Touzet, 1992).

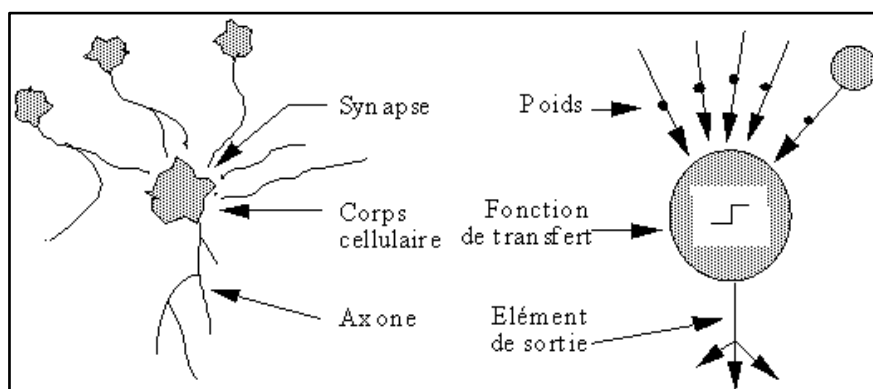


Figure 16 : Mise en correspondance neurone biologique / neurone artificiel.

(<https://smartstuartkim.wordpress.com/2019/01/27/history-of-neural-networks-1-perceptron/>)

7. Machine Learning vs Deep Learning:

La majeure différence qu'on note entre ses 2 concepts provient de la manière dont les données sont présentées au système (modèle).

- Les algorithmes de ML nécessitent presque toujours des données structurées, alors que les réseaux d'apprentissage approfondis reposent sur des couches de réseaux de neurones artificiels (RNA).
- On voit aussi une différence au sein de l'architecture des modèles qui les composent, on note que les modèles type DL sont plus profonds que les modèles type ML.
- Deep learning n'utilise que les réseaux de neurones, alors que pour le ML les réseaux de neurones sont qu'une approche de conception des modèles parmi tant d'autres. En considérant le fait que le DL est la prochaine étape de l'évolution du ML inculquant

aux machines la manière de prendre leurs décisions de façon précise sans l'intervention de l'expert humain. (Senani SAMY 2019)

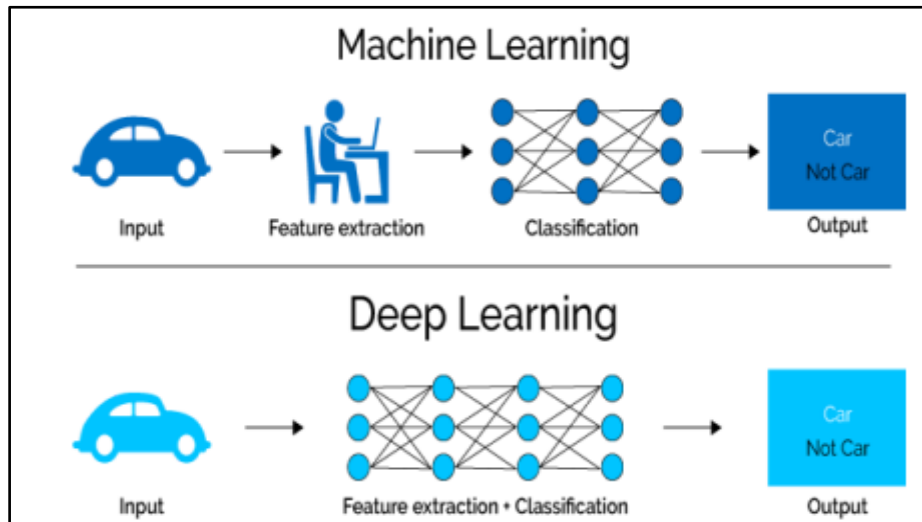


Figure 17 : ML vs DL (Senani SAMY 2019)

Conclusion

Après avoir effectué cette étude bibliographique, il est évident que les techniques de l'intelligence artificielle sont étroitement liées à la recherche et au développement dans le secteur pétrolier.

CHAPTER III

Matériel et Méthodes

Introduction

Dans ce chapitre, nous préparerons la base de données que nous utiliserons pour estimer la porosité à l'aide de plusieurs méthodes d'estimation, y compris les méthodes traditionnelles, ces dernières étant limitées par le fait qu'elles coûtent beaucoup de temps et provoquent beaucoup d'erreurs. Il est essentiel de trouver une méthode alternative qui soit à la fois plus efficace et plus fiable que les méthodes traditionnelles.

1. méthode conventionnelle

1.1. Diagraphie de NMR

La résonance magnétique nucléaire désigne un concept physique qui explique comment les noyaux atomiques réagissent à des champs magnétiques, ainsi que la méthode utilisée pour mesurer et interpréter ces réactions. On obtient des mesures de résonance magnétique nucléaire en manipulant des noyaux d'hydrogène sous l'influence d'un champ magnétique induit. Le NMR (combinable magnetic resonance) est un instrument de résonance magnétique nucléaire utilisé pour étudier la répartition de la porosité et évaluer la perméabilité. (Kenyon B, Robert K, Starly C, Gubelin G, Morriss C, 1995.)

1.2. Généralité sur le NMR

1.2.1. Description de l'outil NMR :

Un patin monté sur le côté de la sonde et une cartouche électronique constituent la sonde de Schlumberger NMR. Deux aimants permanents puissants sont présents dans ce patin, créant un champ magnétique d'environ 540 Gauss, soit environ mille fois plus élevé que le champ magnétique terrestre. On dispose ces aimants de manière à ce que le champ magnétique se concentre pour créer une zone de force constante d'environ un pouce à l'intérieur de la formation, connue sous le nom de zone sensible. Le patin comprend également une antenne qui fonctionne à la fois comme émetteur et récepteur, ainsi qu'un centreur qui applique fortement le patin contre la paroi du trou, ce qui diminue considérablement l'impact de la boue. (Kenyon B, Robert K, Starly C, Gubelin G, Morriss C, 1995.)

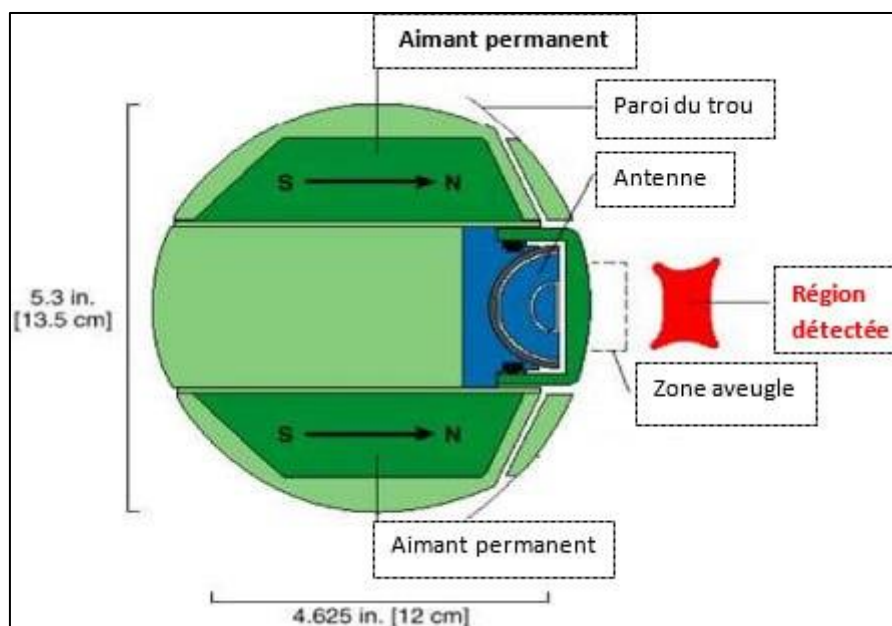


Figure 18 : description de l'outil NMR
(Petrophysics distance Learning module)

1.3. Exemples Des Outils NMR

1.3.1. L'outil Mril (Halliburton)

1.3.1.1. Configuration De L'outi

En configuration de base, un outil MRIL se compose d'un mandrin magnétique d'un diamètre de 4 1/2, 4 7/8, ou 6 in; Une cartouche électronique; Et une ou deux cartouches de stockage d'énergie (condensateurs) Comme illustré à la Fig. 3.9. Le fluide excluser, le centreur et le stand off sont des éléments facultatif mais Sont toujours recommandés et doivent être sélectionnés en fonction de la taille des trous.

L'utilisation d'un dispositif d'exclusion de fluide réduit l'effet de chargement de la boue et augmente le rapport signal/bruit. Les centreurs et les standoffs aident à centraliser l'outil dans le puits.

En outre, les standoffs peuvent protéger le corps de l'outil en fibre de verre en le gardant à l'écart des parois de puit.

Les outils MRIL sont entièrement combinables avec les autres outils de logging openhole de d'Halliburton, tels que L'outil High-Resolution Array Induction (HRAI), l'outil de Micro Imagerie électrique (EMI) et L'outil Circumferential Acoustic Scanning (CAST-V).
(Document sonatrach service diagrapie)

1.3.1.2. Les avantages du MRIL

- Mesure de la porosité effective et totalé, sans effets de minéralogie.
- Détermination précise des volumes d'eau liés aux argiles, d'eau capillaire et des fluides libérés.
- Distribution de la taille des pores.
- Vitesse de logging plus rapide.
- Pas de temps mort.
- Utilisable dans une grande gamme de diamètres de trou.
- Pas de sources radioactives .
- Outil centralisé minimisant les effets de la rugosité et les risques de collage .

1.3.2. L'outil NMR (Schlumberger)

1.3.2.1. Configuration de l'outil

Les Nouveaux outils NMR Combinable Magnétique Résonance Tools, Présenté par Schlumberger en 1995. Une Antenne directionnelle courte entre une paire d'aimants optimisés focalise la mesure NMR sur une zone verticale de 6-in. (115 cm) située 1.1 po (12.8 cm) à l'intérieur de la formation .

Ces fonctionnalités et l'amélioration du rapport signal sur bruit de l'outil par l'acquisition électronique de données fournit des informations précises, et des mesures de haute précision dans la formation avec une haute résolution verticale. Le nouveau outil comprend plusieurs améliorations par rapport à son prédécesseur, l'outil NMR-200, y compris une nouvelle Conception d'aimants avec un champ pré polarisant plus long qui augmente les vitesses d'enregistrement à 3600 ft/h [1097 m/h] dans les environnements de relaxation rapide. Cet outil compact, et léger et robuste mesure 15,6 pr (14,8 m) de long et pèse 450 lb (204 kg).

Une nouvelle séquence d'acquisition d'impulsion, appelée enhanced-precision mode (EPM) est couplé Avec un package électronique amélioré .

augmente le rapport signal/bruit et fournit des mesures de haute précision pour évaluer les Réservoirs.

Les vitesses d'enregistrement plus élevées rendues possibles par l'outil CMR-Plus permet aux opérateurs d'acquérir économiquement des données sur des intervalles plus longs comprenant des zones qui n'étaient initialement que peu intéressantes . ([document de sonatrach servise diagraphie](#))

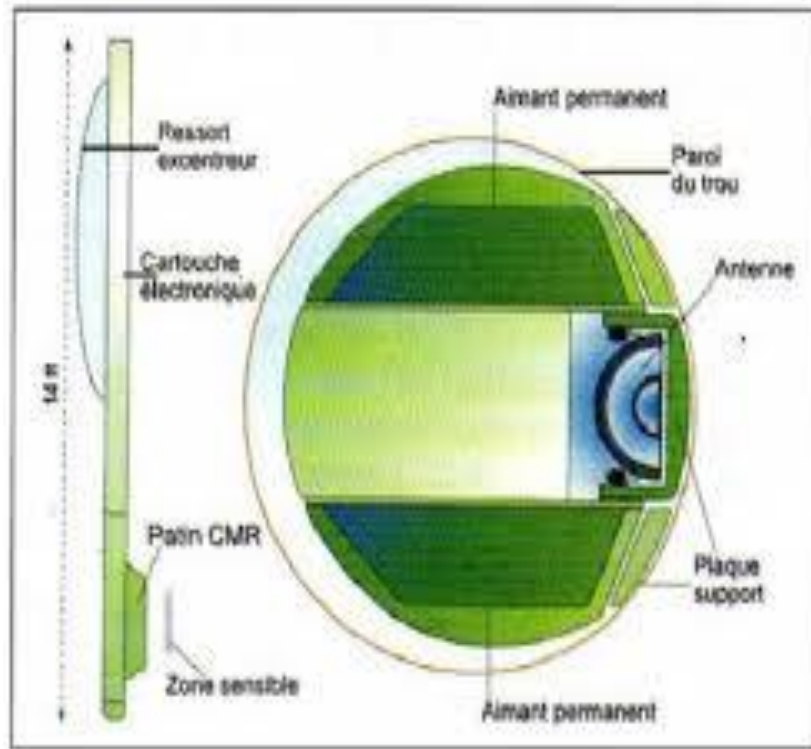


Figure 19 : description de l'outil NMR (Schlumberger) (KENYON et al. 1995)

1.3.3. L'outil Mrex (Baker Hughes)

1.3.3.1. Configuration De L'outil

L'instrument Mrex utilise un aimant et une antenne latérale, Cette Conception offre de nombreux avantages par rapport aux autres systèmes NMR centralisés. Plutôt que d'enregistrer un cylindre Autour du trou de forage, l'instrument Mrex mesure un arc d'environ 120° d'un côté du trou de forage minimisant ainsi Les effets des parois du trou de forage sur les mesures de NMR . ([document de sonatrach servise diagraphie](#))

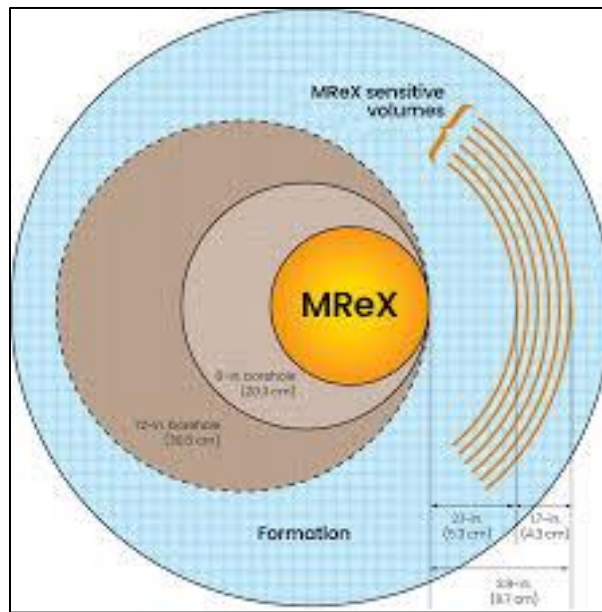


Figure 20 : description de l'outil Mrex (Baker Hughes)

(<https://dam.bakerhughes.com/m/6fa387fd752509ff/original/MR-eXplorer-magnetic-resonance-logging-service-bro>)

1.3.3.2. Spécifications De L'outil Mrex

Diamètre5 in (12.7 cm) .

Longueur24 ft, 5 in. (7.4 M) .

Pods622 Ibm (282 kg) .

Température maximal347° F (175° C), moins de 4 h .

Vitesse d'enregistrementjusqu'a 22 fit/min (16.7 m/min) .

Rayon d'investigation.[5.3-9.7 cm] .

1.3.3.3. Avantage De L'outil Mrex

- Moins de rig time à travers:
 - Vitesses d'enregistrement plus rapides.
 - Ensembles de données complètes dans un seul passage d'enregistrement.
 - Aucune station pour l'imagerie NMR 2D .
- Réduction de l'incertitude dans les interprétations pétrophysiques.
- Détermination précise des réserves avec une incertitude minimale .

1.3. Le magnétisme nucléaire :

Le terme "résonance magnétique nucléaire" fait référence à la façon dont un noyau atomique réagit aux champs magnétiques. De nombreux noyaux ont un moment magnétique et fonctionnent comme une barre magnétique en mouvement de "rotation". En présence d'un champ magnétique externe, les noyaux atomiques précèdent dans la même direction que le ferait une toupie dans le champ de gravité terrestre. Des signaux mesurables peuvent être créés lorsque ces noyaux sont confrontés à un champ magnétique externe. Pour la plupart des noyaux atomiques, l'outil de résonance magnétique nucléaire (NMR) ne peut pas détecter le signal magnétique nucléaire induit. Cependant, l'hydrogène est composé d'un proton et d'un électron sans neutron . (Ichallal Fatah Trabzi Mohammed Amine 2016)

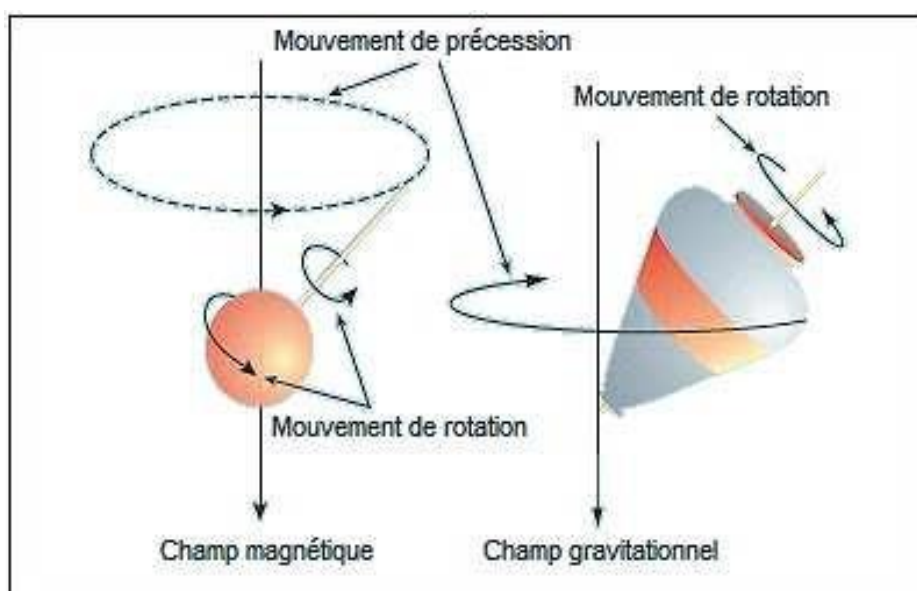


Figure 21 : Mouvement de précession des protons
(- Kenyon B, Robert K, Starly C, Gubelin G, Morriss C, 1995)

1.4. Notion de spin nucléaire:

Le spin a été introduit pour l'électron afin de rendre compte de la structure fine du spectre de l'hydrogène. Effectivement, même sans perturbations extérieures, une ou plusieurs.

Alors que la théorie ne prend en compte que les nombres quantiques n , l et m , elle ne peut prévoir qu'une seule énergie de transition, malgré la présence de plusieurs transitions d'énergies très proches. L'existence d'un moment cinétique spécifique à

l'électron appelé SPIN explique cette structure fine du spectre de l'hydrogène. Ce moment est similaire à celui produit par la rotation d'une particule de dimension nulle sur elle-même, d'où son appellation de spin (rotation en anglais). La mécanique quantique implique des états stationnaires spécifiques dans la description de l'électron d'un atome d'hydrogène.

Le spin associé à la rotation de la charge de l'électron (moment cinétique) a une propriété magnétique induite. De la même façon, le proton (= noyau d'hydrogène) a un comportement analogue, modifié par la nature de la charge (positive) et la nature de la particule.

Le neutron pour sa part a également un spin mais pas de charge. Pour ces trois particules, le spin est de $\frac{1}{2}$.

Selon la mécanique quantique, il existe donc deux états magnétiques distincts $m = +\frac{1}{2}$ et $m = -\frac{1}{2}$.

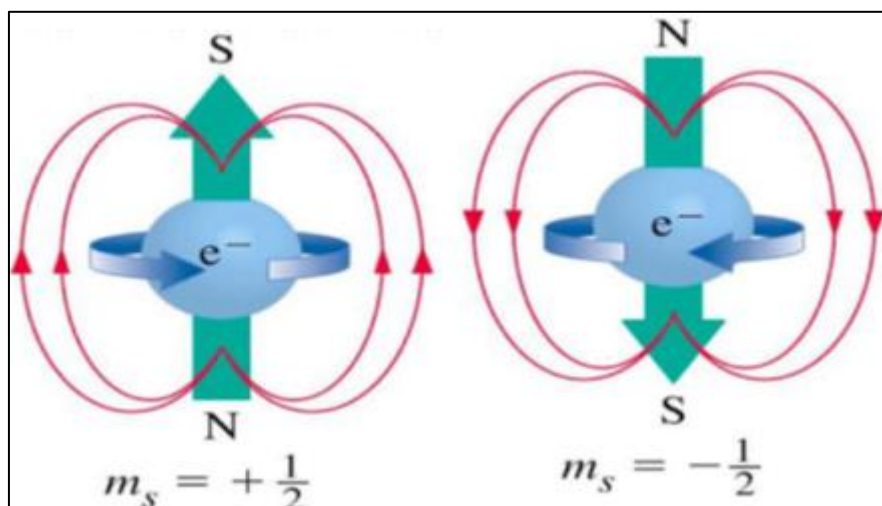


Figure 22 : Schéma représente le spin nucléaire
(<https://www.slideserve.com/rkyles/spin-powerpoint-ppt-presentation>)

Les noyaux possèdent donc un moment angulaire intrinsèque, le *spin nucléaire* I qui dépend du nombre de protons et de neutrons présents dans le noyau. Ainsi, les isotopes d'un même atome n'auront pas le même spin I .

Seuls les noyaux de spin non nul possèdent un moment magnétique et peuvent être étudiés par NMR. La charge du noyau en rotation génère alors un champ magnétique, associé à un moment magnétique μ non nul. Le moment magnétique μ et le moment de spin nucléaire I sont liés par le gyromagnétique est positif (resp. négatif). (

[document de sonatrach service diagraphie](#))

1.5. Mesure du signal NMR

L'outil APLC, cet outil est calibré dans les calcaires, une simple correction en ajoutant 3% pour la valeur lue la rend compatible pour les grès. Cette porosité est ensuite corrigée de l'effet de l'argile en utilisant l'équation :

$$\Phi_{NC} = \Phi_N - V_{sh} \Phi_{Nsh}$$

1.6. Applications de la Résonance Magnétique Nucléaire en pétrophysique (outils NMR) :

1.6.1. Distribution de la taille des pores :

Dans beaucoup de cas les relaxations de volume et de diffusion peuvent être rapport gyromagnétique g , propriété intrinsèque du noyau. Si ces deux moments sont parallèles (resp. antiparallèles), le rapport

négligées, car la relaxation de surface est dominante. Dans ce cas, T_2 est proportionnel à la taille des pores. La sonde NMR mesure l'amplitude du signal déclinant qui est la somme de tous les signaux déclinant T_2 engendrés par les protons dans le volume analysé. Par une inversion mathématique, on extrait par la suite les gammes des valeurs de T_2 , ce qui donne la distribution T_2 . Cette courbe représente la distribution de la taille des pores. La surface sous la courbe de distribution T_2 est égale à l'amplitude initiale du signal de train d'écho enregistré par le NMR.

En réalité, le volume mesuré par l'outil NMR (zone sensible) contient des millions de pores avec différents temps de relaxation T_2 . La surface sous la courbe de distribution est proportionnel à la porosité de formation indépendamment de la matrice puisque le signal capté par l'antenne de l'outil NMR est relié aux fluides de formation. La forme de distribution T_2 peut être reliée à la distribution de la taille des pores si la relaxation de surface est dominante. La courbe de distribution de temps de relaxation T_2 est utilisée pour faire une interprétation pétrophysique. (Ichallal Fatah Trabzi Mohammed Amine 2016)

1.6.2. Détermination de la porosité indépendamment de la lithologie:

La porosité peut être divisée en différents composants en fonction de la taille des pores :

- La porosité liée à l'argile, contenant de l'eau d'argile, et les petits pores dans le silt. Grâce à la structure de l'argile, l'eau d'argile est immobile et ne peut pas être produit.
- La porosité liée à l'eau capillaire, qui comprend des pores dans le grès qui sont trop

petites pour que le liquide puisse circuler. dans ces pores, l'eau est immobile et maintenue en place par des forces capillaire. Le fluide dans ces pores est presque toujours de l'eau, car il ne peut pas être déplacé par les hydrocarbures.

- La porosité liée aux fluides libres, qui comprend des fluides capables à circuler et d'être productible.

1.7. Résumé de la Séquence de mesure NMR :

La séquence de mesure appelée CPMG, du nom des inventeurs de cette séquence (CARR, PURCELL, MEIBOOM et GILL)[1], s'effectue selon les étapes suivantes :

- On commence par un temps d'attente T_1 , appelé temps de relaxation longitudinal. L'équilibre est atteint quand tous les protons d'hydrogène sont alignés dans la formation sous l'effet du champ permanent B_0 . On dit qu'ils sont polarisés, Un champ magnétique oscillant B_1 est maintenant appliquée (pendant $16 \mu s$) qui est à 90° par rapport à B_0 : les protons d'hydrogène dans le liquide précessent dans le plan transversale .
- Ensuite, B_1 est éliminé. À ce stade, il y a une phase des protons d'hydrogène, ce qui entraîne un signal mesurable dans le récepteur. Toutefois, les protons d'hydrogène sont rapidement déphaseurs. Cela s'explique par la présence du champ B_0 et la diminution du signal au niveau du récepteur. Cela correspond à la diminution de l'induction libre et au temps de diminution est T_2 .
- troisième étape, il est nécessaire de rétablir la phase des protons en appliquant une impulsion à 180° . Cette impulsion modifie la phase de chaque spin. Lorsque ces protons entrent à nouveau en phase, ils produisent un signal enregistré par l'antenne, connu sous le nom d'écho de spin. Plusieurs échos de spins sont enregistrés et la répartition de T_2 est déduite de la diminution de la courbe d'échos de spins.

Les temps de relaxation (T_1 , T_2) dépendent de la taille des pores et de la lithologie. Par exemple, les petits pores réduisent le temps de relaxation. Ces temps courts de relaxation correspondent à l'eau liée aux argiles et à l'eau capillaire. Les pores larges permettent un temps de relaxation plus long et correspondent aux fluides libres . ([Ichallal Fatah Trabzi Mohammed Amine 2016](#))

1.8. résonance magnétique porosité (MRP)

La porosité NMR est Indépendante de la lithologie, répondant seulement aux fluides des pores. La réponse NMR dépend de la polarisation de chaque fluide occupé dans le volume des pores, et de son indice d'hydrogène. Etant donné que l'investigation latérale

du NMR est faible (1 in), les fluides mesurés sont essentiellement le filtrat de boue (dans notre puits le filtrat de boue est à base d'huile), les fluides résiduels (eau, HC), l'eau liée à l'argile, l'eau liée capillaire. La porosité totale donnée par le NMR représente l'intégrale de la courbe de distribution T2 calculé à partir de 0.3 ms jusqu'à 3000 ms. La porosité effective donnée par le NMR représente l'intégrale de la courbe de distribution T2 calculé à partir de 3 ms jusqu'à 3000 ms. La porosité liée au fluide libre représente l'intégrale de la courbe de distribution calculé à partir du cutoff 33 ms recommandé pour les grès jusqu'à 3000 ms. (Sonatrach et Schlumberger, 2015.)

1.9. Les objectifs d'utilisation du NMR :

L'outil NMR a été utilisé pour :

- Obtenir la porosité indépendamment de la lithologie.
- Estimer le volume de l'eau irréductible et le volume du fluide libre.
- Obtenir la distribution de la taille des grains (Bin porosité).
- Estimer la perméabilité comme courbe continue en fonction de la profondeur le long de l'intervalle étudié.

2. méthode non conventionnelle

2.1. Préparation de base des données

a) Collecte des données

Le but de cette étape consiste à collecter des données afin de créer et vérifier le modèle. L'objectif est d'obtenir une quantité de données adéquate pour former une base représentative essentielle à la modélisation.

b) Analyse des données

Cette étape vise à repérer toute donnée suspecte dans la base recueillie, car elle pourrait influencer les résultats du modèle.

c) Séparation de la base de données

La base de données est divisée en deux parties distinctes : la première est utilisée pour la validation des performances du modèle, et la deuxième est réservée aux tests. Il n'y a pas de règle stricte pour déterminer cette répartition de manière quantitative. Elle découle souvent d'un compromis entre la disponibilité des données et le temps nécessaire à l'apprentissage. Chaque partie doit respecter les contraintes de représentativité pour chaque classe de données et refléter généralement la distribution

réelle, c'est-à-dire la probabilité d'occurrence des différentes classes. ([Ameur-Zaimeche, 2020](#))

d) Analyse mono-varié

La définition précise de la relation entre deux variables est possible grâce aux analyses mono-varié, qui permettent également de déterminer les paramètres statistiques de la distribution de chaque variable, (moyenne et mode). L'homogénéité ou l'hétérogénéité des données peut être identifiée par la courbe ou l'histogramme.

e) Analyse bi-variés

La matrice de corrélation a été calculée en utilisant toutes les données de diagraphies, ainsi que la résonance magnétique pour évaluer la porosité des puits disponibles.

f) Critaires des validation

* Root Mean Squared Error (RMSE)

est l'une des mesures les plus couramment utilisées pour évaluer la qualité des prédictions. Il montre à quel point les prédictions s'éloignent des valeurs réelles mesurées en utilisant la distance euclidienne .

Le RMSE représente la racine carrée des différences quadratiques moyennes entre les résultats prédits et observés. Il s'agit d'une mesure principalement utilisée dans l'analyse de régression et la prévision, où la précision est très importante. Plus le RMSE est bas, meilleure est la capacité du modèle à prédire avec précision. À l'inverse, un RMSE plus élevé signifie un écart plus important entre les résultats prévus et réels . ([Hodson, T. O. 2022.](#))

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2}, (0 \leq RMSE < +\infty)$$

* L'erreur moyenne absolue (MAE)

L'erreur absolue moyenne (MAE) caractérise l'altération entre les valeurs originales et prévisibles et est exploitée comme moyenne d'altération totale de l'ensemble de données . ([Willmott, Cort J. ; Matsuura, Kenji 19 décembre 2005.](#))

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Y_i - X_i|, (0 \leq MAE < +\infty)$$

*** Le coefficient de corrélation (R^2)**

Le coefficient de corrélation est la mesure spécifique qui quantifie la force de la relation linéaire entre deux variables d'une analyse de corrélation. Le coefficient est noté r dans un rapport de corrélation. (Mery, A. 2007).

$$R^2 = \left[\frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i) \cdot (\bar{Y})}{\sqrt{(X_i - \bar{X})^2} \cdot \sqrt{(Y_i - \bar{Y})^2}} \right]^2, (0 < R^2 < +1)$$

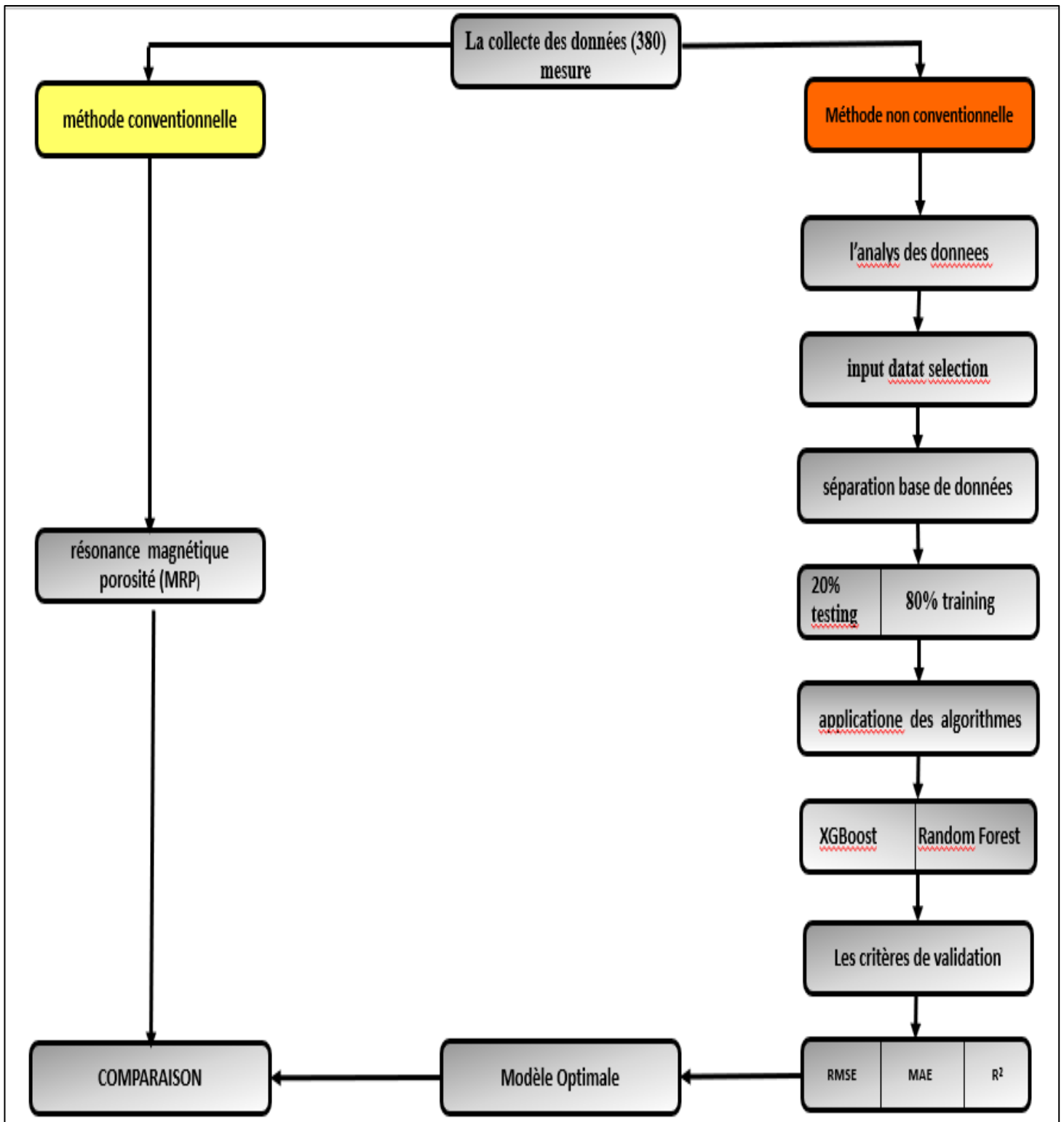


Figure 23 : Organigramme explicatif des Méthodes pour la prédiction de La résonance magnétique porosité

Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons exposé le matériel utilisé pour évaluer la résonance magnétique porosité (MRP) dans le champs de Bir El Akha. Nous avons utilisé des diagraphies classiques en combinaison avec les mesures réelles au laboratoire. . Nous avons résumé toutes les étapes réalisées afin de prédire les paramètres manquants avec les meilleurs rendements.

Chapitre IV

Résultats et Discussion

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons réaliser des analyses statistiques en utilisant des données. Cette étape implique de regrouper, combiner, structurer, organiser et évaluer l'homogénéité et la similarité des données afin de pouvoir les analyser dans le cadre de programmes informatiques.

Dans la seconde partie de ce chapitre, nous allons mettre en application et comparer les résultats de deux algorithmes d'intelligence artificielle, à savoir XGboost et random forest, sur les données de diagraphies afin de prédire la résonance magnétique porosité (MRP) dans le réservoir de la série Trias. Au-dessous du champ Bir Elakha de Bassin amgoud messaud

1. Méthodologie

1.1 Préparation basse de donne

Table with columns: CURVE INFORMATION, UNIT, API CODE, DESCRIPTION, and a large grid of numerical data points for various parameters like DEPT, BS, TENS, GR_CAL, HDAR, etc. across different wells.

Figure 24 : illustration montrant les enregistrements des diagraphies dans fichier extension .Las

Un total de 380 de mesures réels de résonance magnétique porosité (MRP) qui ont été dérivées de une puit carotté (BEK6) de réservoir de la zone de Bir El Akha, avec leurs enregistrements diagraphiques : Delta-T compression (DTCO) , Delta-T Shear - Monopole P S (DT4S) , la Résistivité (AT10, AT90 ,AT60 ,AT30) , le Gamma Ray classique (GR) , Potassium (POTA) , Thorium (THOR) , Uranium (URAN) , Rapport Thorium/Uranium (TURA) , Densité

de formation de résolution (RHOZ) , Facteur photoélectrique de formation à résolution standard (PEFZ) , le Caliper (CALI) ; ainsi la résonance magnétique porosité (MRP). Cette étape consiste à rassembler, combiner, structurer, organiser et voir homogénéité, la similarité des données afin de pouvoir les analyser dans le cadre de programmes d'informatique.

Tableau 01 : Tableau représente les input et leur définition .

input	Définition
DTCO (Delta-T Compression) (µs/ft)	Mesure du temps de transit des ondes acoustiques compressives à travers la formation rocheuse.
DT4S (Delta-T Shear - Monopole P S) (µs/ft)	Mesure du temps de transit des ondes acoustiques de cisaillement en utilisant une source monopole.
AT10, AT90, AT60, AT30 (Résistivité) (Ω.m)	Mesure de la résistivité électrique de la formation à différentes profondeurs d'investigation (10 pouces, 90 pouces, 60 pouces, et 30 pouces respectivement).
GR (Gamma Ray classique) (API)	Mesure de l'intensité des rayons gamma émis par les formations rocheuses, utilisée pour identifier les lithologies et les zones de shale.
POTA (Potassium) (%)	Mesure de la concentration de potassium dans la formation rocheuse.
THOR (Thorium) (ppm)	Mesure de la concentration de thorium dans la formation rocheuse.
URAN (Uranium) (ppm)	Mesure de la concentration d'uranium dans la formation rocheuse.
TURA (Rapport Thorium/Uranium) Ratio	Rapport entre la concentration de thorium et d'uranium, utilisé pour interpréter les conditions de dépôt et la maturité organique.
RHOZ (Densité de formation de résolution) g/cm ³	Mesure de la densité apparente de la formation rocheuse.
PEFZ (Facteur photoélectrique de formation à résolution standard) (b/e)	Mesure de l'absorption photoélectrique, utilisée pour distinguer les types de roches et minéraux.
CALI (Caliper) (inches)	Mesure du diamètre du trou de forage pour évaluer l'état et la régularité du puits.
MRP (Résonance Magnétique Porosité) (%)	Technique analytique utilisant la résonance magnétique nucléaire (NMR) pour évaluer la porosité des roches et les propriétés des fluides dans les pores.

1.2 Statistique mono-varié

la résonance magnétique porosité mesurées au laboratoire ainsi que tous les enregistrements diagraphiques des puits carottés ont été traités statistiquement. Les résultats obtenus du traitement statistique sont présentés dans les tableau.(01)

Tableau 02 : Statistiques de résonance magnétique porosité et des données de diagraphies

	THOR	TURA	URAN	POTA	DTCO	DT4S	AT30	AT10
count	380.00	380.00	380.00	380.00	380.00	380.00	380.00	380.00
mean	3.79	3.41	1.22	0.75	63.57	106.60	6.65	6.78
std	2.57	1.87	0.82	0.66	5.02	10.03	9.15	8.93
min	0.90	0.51	0.05	0.08	52.08	85.24	0.57	0.76
25%	1.85	2.14	0.57	0.27	59.92	98.82	1.74	2.28
50%	2.63	3.13	1.06	0.52	63.31	106.15	4.82	4.96
75%	5.18	4.44	1.71	0.95	66.93	113.52	7.47	7.49
max	12.07	10.20	3.87	3.02	79.17	139.24	92.98	86.97
	AT20	AT60	AT90	GR	PEFZ	CALI	RHOZ	MRP
count	380.00	380.00	380.00	380.00	380.00	380.00	380.00	380.00
mean	6.68	6.50	6.48	39.66	3.18	8.43	2.65	0.08
std	9.35	8.41	7.67	24.29	0.85	0.07	0.10	0.04
min	0.63	0.50	0.48	8.87	1.87	8.17	2.42	0.01
25%	1.99	1.48	1.34	21.48	2.47	8.39	2.55	0.04
50%	4.76	4.74	4.76	32.65	3.16	8.42	2.68	0.07
75%	7.43	7.50	7.49	51.01	3.53	8.45	2.73	0.11
max	93.94	65.43	58.46	113.85	5.70	8.78	2.88	0.25

Selon les données mon-variées, la résonance magnétique porosité (MRP) avec une étendu allant de Min= 0,01 md à Max= 0.25 md, avec une variance de 0,04.

1.2. Statistiques bi-variés (matrice de corrélation)

La matrice de corrélation a été calculée en utilisant toutes les données de diagraphies, ainsi que la résonance magnétique pour évaluer la porosité des puits disponibles. On a constaté que la résonance magnétique porosité (MRP) est associée de manière positive à DTCO (CC=0,58), THOR (CC=0.17), DT4S (CC=0,42), URAN (CC=0,38) et GR (CC = 0.2) , tandis que PEFZ (CC= -0,49), RHOZ (CC= -0,50), AT90 (CC= -0.23) et AT30, AT10, AT20, AT60 et TURA (CC= -0,19) sont associés de manière négative.

Tableau 03 : Matrice de corrélation (la résonance magnétique porosité) et l'enregistrement des diagraphiques.

	THOR	TURA	URAN	POTA	DTCO	DT4S	AT30	AT10	AT20	AT60	AT90	GR	PEFZ	CALI	RHOZ	MRP
THOR	1															
TURA	0,48	1														
URAN	0,5	-0,34	1													
POTA	0,83	0,46	0,33	1												
DTCO	0,23	-0,33	0,55	0,3	1											
DT4S	0,21	-0,23	0,4	0,42	0,84	1										
AT30	-0,13	0,13	-0,34	-0,13	-0,44	-0,41	1									
AT10	-0,16	0,08	-0,35	-0,17	-0,44	-0,45	0,82	1								
AT20	-0,14	0,1	-0,34	-0,13	-0,43	-0,4	0,94	0,89	1							
AT60	-0,12	0,17	-0,36	-0,12	-0,47	-0,43	0,96	0,79	0,91	1						
AT90	-0,09	0,21	-0,36	-0,11	-0,48	-0,45	0,94	0,77	0,88	0,95	1					
GR	0,88	0,3	0,6	0,89	0,38	0,41	-0,22	-0,26	-0,22	-0,22	-0,2	1				
PEFZ	-0,08	0,19	-0,42	0,08	-0,28	0,06	0,09	0,07	0,09	0,12	0,11	-0,1	1			
CALI	-0,07	-0,18	0,11	-0,06	0,11	0,08	-0,21	-0,17	-0,21	-0,22	-0,22	-0,01	-0,04	1		
RHOZ	0,26	0,55	-0,38	0,34	-0,6	-0,26	0,27	0,22	0,24	0,31	0,33	0,18	0,6	-0,13	1	
MRP	0,17	-0,19	0,38	0,13	0,58	0,42	-0,19	-0,18	-0,18	-0,19	-0,23	0,2	-0,49	0,04	-0,5	1

2. Le résultat :

Tableau 04 : Combinaisons de variables d'entrée pour les prévisions de MRP pétrole

Référence combinée	Variables d'entrée	Sortir
DONNÉES DE FORAGE		
1	THOR . TURA . URAN . POTA . DTCO . DT4S . AT10 . AT20 . AT30 . AT60 . AT90 . GR . PEFZ . CALI . RHOZ	MRP
2	THOR . TURA . URAN . POTA . DTCO . DT4S . GR . PEFZ . CALI . RHOZ	MRP
3	DTCO . DT4S . PEFZ . RHOZ	MRP

Tableau 05 : Erreurs de prédiction de la MRP pour les ensembles de données sur les réservoirs

Modèles ML	Ensemble d'entraînement			Ensemble de test		
	RMSE	MAE	R- au carré	RMSE	MAE	R- au carré
DONNÉES DE FORAGE						
RF 1	0.011	0.007	0.958	0.021	0.016	0.791
XGB 1	0.001	0.001	0.999	0.023	0.017	0.740
RF2	0.011	0.007	0.942	0.022	0.017	0.763
XGB 2	0.001	0.001	0.999	0.024	0.018	0.719
RF 3	0.012	0.008	0.932	0.025	0.018	0.702
XGB 3	0.001	0.0009	0.999	0.031	0.022	0.545

Sénario01:

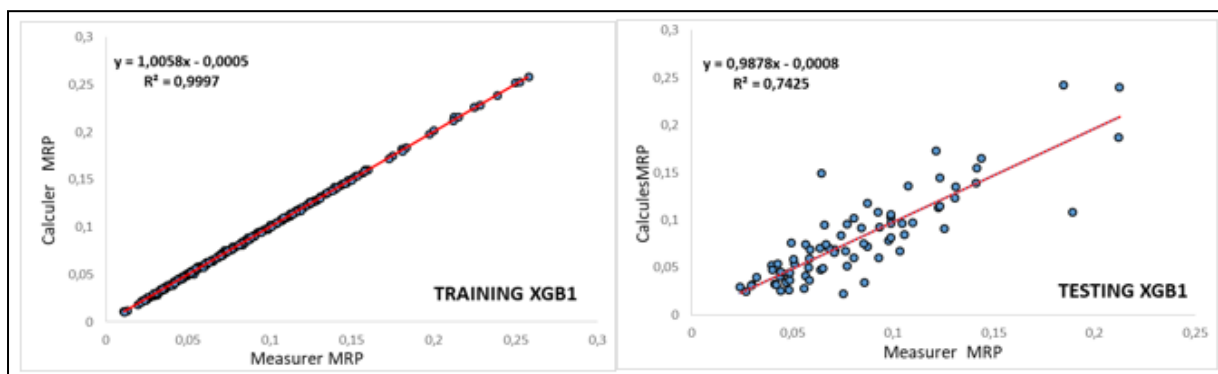


Figure 25 : résultat graphique de prédiction MRP (XGB1)

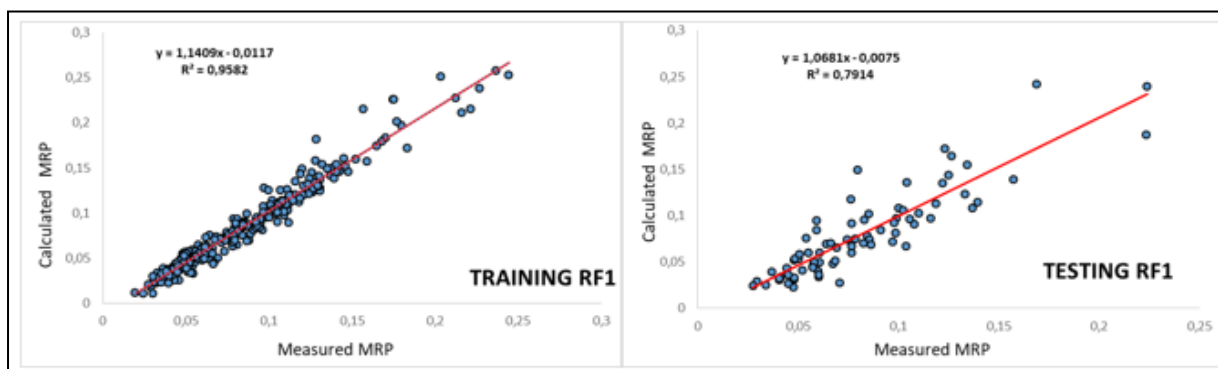


Figure 26 : résultat graphique de prédiction MRP (RF1)

Sénario02:

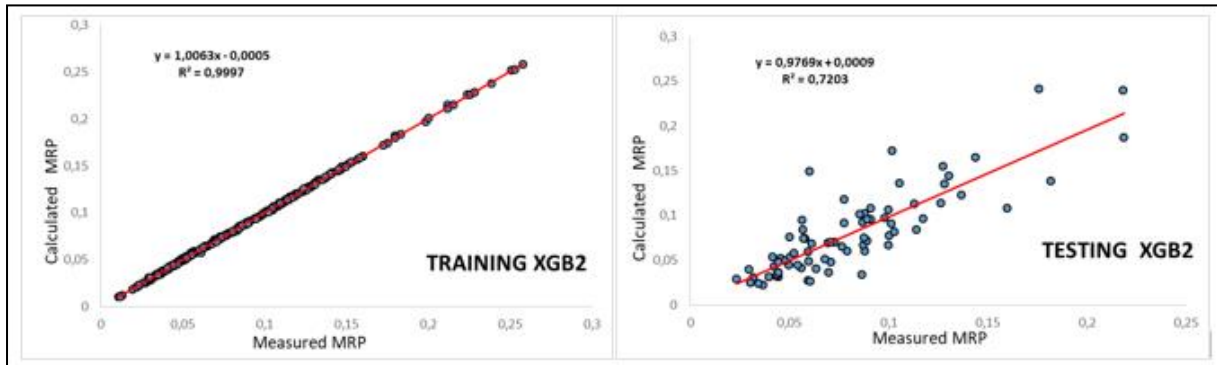


Figure 27 : résultat graphique de prédiction MRP (XGB2)

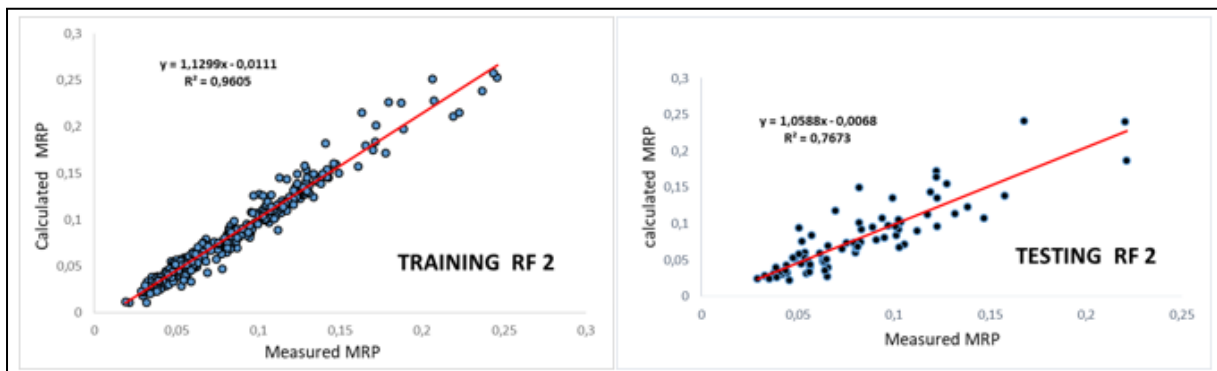


Figure 28 : résultat graphique de prédiction MRP (RF2)

Sénario03:

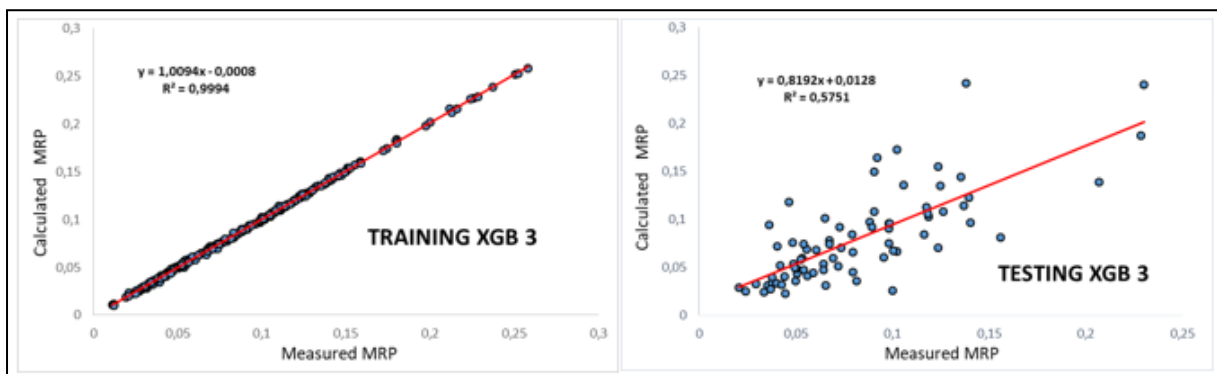


Figure 29 : résultat graphique de prédiction MRP (XGB3)

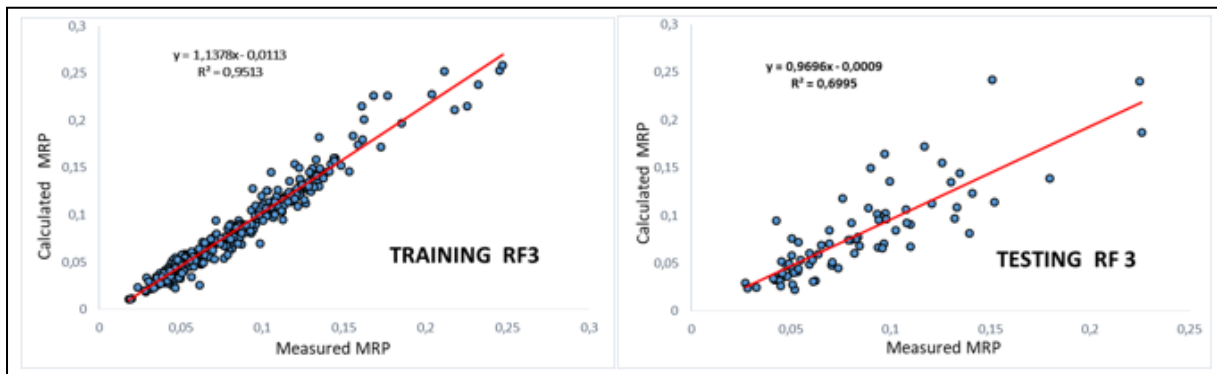


Figure 30 : résultat graphique de prédiction MRP (RF3)

2.1 La lecture :

Pour prédire la résonance magnétique porosité, nous avons employé la technologie de l'intelligence artificielle et des algorithmes (XGBoost et Random Forest) dans trois scénarios différents, avec des entrées dans chacun d'entre eux. Les résultats suivants ont été obtenus :

- **Premier scénario** : Les entrées utilisées sont les suivantes : (THOR. TURA. URAN. POTA. DT4S. AT10. AT20. AT30. AT60. AT90. GR. PEFZ. CALI. RHOZ). En utilisant l'algorithme XGBoost, il nous a donné des résultats extrêmement prometteurs, qui sont les suivants : Le RMSE s'élève à 0,023, le MAE à 0,017 et le R^2 à 0,740. En revanche, l'algorithme Random Forest a été mis au jour. C'est un résultat supérieur à celui précédent, et c'est le meilleur de notre mémoire, avec une RMSE = 0,021, une MAE = 0,016 et une R^2 = 0,791.

- **Le deuxième scénario** : Nous avons utilisé les entrées (THOR. TURA. URAN. POTA. DT4S. GR. PEFZ. CALI. RHOZ), ce qui nous a donné des résultats proches et impressionnants dans les deux cas, mais ils étaient un peu meilleurs dans l'algorithme Random Forest qui est RMSE = 0,022, MAE = 0,017 et R^2 = 0,763. et Dans XGBoost Elle nous a donné, RMSE = 0,024, MAE = 0,018 et R^2 = 0,719.

- **Troisième scénario** : Dans ce cas, nous avons simplement ajouté (DT4S . PEFZ . RHOZ). Des résultats très faibles ont été observés avec l'algorithme XGBoost, comme suit : RMSE = 0,031, MAE = 0,022 et R^2 = 0,545. En revanche, l'algorithme Random Forest nous a donné des résultats très acceptables, estimés à : RMSE = 0,025, MAE=0,018et R^2 =0,702.

Il est évident que dans tous les cas, Random Forest a obtenu le meilleur résultat, avec des

résultats de $R^2_1 = 0,791$, $R^2_2 = 0,763$ et $R^2_3 = 0,702$, respectivement.

Selon notre étude, il est évident que dans le premier cas, en utilisant toutes les entrées comme défi dans l'algorithme Random Forest, nous avons décroché le meilleur résultat, estimé à 0,791.

Recommandations et perspectives

Après cette étude, il est devenu très prometteur d'utiliser différentes techniques d'intelligence artificielle pour résoudre des problèmes complexes. De plus, cela peut conduire à une sous-estimation des mesures en laboratoire. De plus, l'exploitation initiale des données disponibles peut améliorer la valeur des connaissances sur les réservoirs.

Dans l'ingénierie des réservoirs, les mathématiques et les outils informatiques jouent un rôle essentiel dans la modélisation et évoluent constamment avec de nouvelles méthodes (combinaison, intégration, hybridation, etc.). Il faudra se tenir au courant des nouvelles technologies et les mettre en pratique pour résoudre les problèmes de réservoirs, gagner du temps pour accéder à l'information, réduire les factures et améliorer l'évaluation du potentiel en hydrocarbures de notre sous-sol. De plus, le pays s'est concentré sur l'utilisation de l'intelligence artificielle pour une nouvelle ère industrielle.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale :

L'intelligence artificielle (IA) représente une avancée significative dans le domaine de la technologie moderne, englobant un large éventail de techniques et de méthodes permettant aux machines d'apprendre, de raisonner et de prendre des décisions de manière autonome. Des algorithmes sophistiqués de machine learning et de deep learning permettent aux systèmes de traiter des volumes massifs de données, d'identifier des motifs complexes et de fournir des solutions innovantes à des problèmes variés. Ces capacités font de l'IA un outil indispensable dans de nombreux secteurs, transformant radicalement la manière dont les entreprises et les chercheurs abordent les défis contemporains.

Il est devenu courant d'utiliser l'intelligence artificielle dans le secteur pétrolier afin de prédire les paramètres pétrophysiques, les paramètres de forage et les paramètres de suivi logging. Ces techniques permettent d'analyser des ensembles de données volumineux et complexes recueillis par des équipements de test avancés (Elkatatny et al., 2018), Ces équipements incluent des capteurs sophistiqués et des instruments de mesure qui collectent des données sur la porosité, la perméabilité et d'autres propriétés essentielles des réservoirs pétroliers. En utilisant ces techniques intelligentes, En Algérie, il y a aussi des chercheurs qui utilisent les techniques de l'intelligence artificielle pour gérer les estimations pétrolières (Ouladmansour et al., 2023), (Ameur-Zaimeche et al., 2020) les ingénieurs peuvent modéliser ces caractéristiques de manière plus efficace, permettant ainsi une meilleure gestion des réservoirs et une optimisation des processus d'extraction.

La résonance magnétique porosité (NMR) est une technique avancée qui utilise les principes de la résonance magnétique nucléaire pour évaluer les propriétés des réservoirs pétroliers, notamment la porosité des roches réservoirs, en mesurant le volume et la distribution des tailles des pores dans les échantillons de roches. Pour la première fois en Algérie, nous avons appliqué des algorithmes d'intelligence artificielle, tels que XGBoost et Random Forest, pour la prédiction de la NMR, obtenant des résultats prometteurs, notamment avec l'algorithme Random Forest qui a produit la meilleure estimation avec un score de 0,791, ce qui nous encourage à approfondir et à exploiter davantage cette approche à l'avenir

BIBLIOGRAPHIE

- Ameur-Zaimeche, O., Zeddouri, A., Heddam, S., & Kechiched, R. (2020). Lithofacies prediction in non-cored wells from the Sif Fatima oil field (Berkine basin, southern Algeria): a comparative study of multilayer perceptron neural network and cluster analysis-based approaches. *Journal of African Earth Sciences*, 166, 103826.
- Brik Ramzi 2018 " Interprétations et analyses des paramètres pétrophysiques à partir des diagraphies différées par l'utilisation du IP dans le champ du El Gassi
- Oberto SERRA. 1979 « Diagraphie différées, base de l'interprétation Tome 01 : Acquisition des données diagraphiques ».
- SOUILAH OMAR "rapport des diagraphies a la reconnaissance géologique de réservoir cambrien Ra dans le secteur Nord-Ouest du champ de hassi messaoud " mémoire de fin d'étude de l'université de Ouargla 2016
- René cossé, techniques d'exploitation pétrolière.
- MR ; MCEIBAH.I " Notions de réservoir et propriété pétrophysiques associés "
- Diagraphie de pétrole (rapport)
- Dr M. Said BEGHOU, Les diagraphies différées (Principes des outils et interprétation), 30 mars –04 avril 2013, Réservoir, IAP-Hassi Messaoud.
- Kenyon B, Robert K, Starly C, Gubelin G, Morriss C, 1995. Nuclear Magnetic Resonance technology for 21st century, oilfield review.
- ZAHY ABDELHAMID " Interprétation et Analyse des Paramètres Pétrophysiques a partir des Diagraphies Différées du réservoir dévonien F6 du champ de TFT (bassin d'ILLIZI " mémoire de fin d'étude de l'université de Ouargla 2013
- ABDERRAHMANI Zouhair,2019 Caractérisation pétrophysique du champ pétrolier de hassi Messaoud par l'utilisation de la plate forme Techlog (mimosir fin d'etude)
- M.S. Beghoul, Mars 2013. LES DIAGRAPHIES DIFFERIEES, Interprétation Pétrophysique et Géologique. Sonatrach IAP Boumerdes.
- Sonatrach et Schlumberger, 2015. Combenable Magnetic Resonance (CMR) Processing and Interpretation Report. Prépared by: Rabah Lamali (Petrophysicist DS-NAG),
- Ichallal Fatah Trabzi Mohammed Amine 2016 , Contribution de la Résonance Magnétique Nucléaire à l'évaluation Petrophysique des réservoirs du Cambrien dans le champ de Hassi Messaoud

- Petrophysics distance Learning module. Programme de Schlumberger et Shell
- Ameur-Zaimeche, et al, 2020 : Lithofacies prediction in non-cored wells from the Sif Fatima oil field (Berkine basin, southern Algeria): A comparative study of multilayer perceptron neural network and cluster analysis-based approaches, Journal of African Earth Sciences, Volume 166, 2020, 103826, ISSN 1464-343X, <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103826>.
- Hodson, T. O. (2022). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): When to use them or not. Geoscientific Model Development Discussions, 2022, 1-10.
- Willmott, Cort J. ; Matsuura, Kenji (19 décembre 2005). "Avantages de l'erreur absolue moyenne (MAE) par rapport à l'erreur quadratique moyenne (RMSE) dans l'évaluation des performances moyennes du modèle"
- Mery, A. (2007). Mesure du coefficient de corrélation angulaire bêta-neutrino dans la décroissance de ${}^6\text{He}$ à l'aide d'un piège de Paul (Doctoral dissertation, Université de Caen).
- Senani SAMY 2019 : mmoire fin de etude (Réseaux de neurones convolutionnels pour la détection précoce de la rétinopathie)
- Touzet, 1992 : : Les Réseaux de Neurones Artificiels – Introduction au Connexionnisme.
- L.-P. Chen, “Mehryar mohri, afshin rostamizadeh, and ameeet talwalkar : Foundations of machine learning,” 2019.
- Vladimir Vapnik : Professor of Columbia, Fellow of NEC Labs America,
- Elkatatny, S., Tariq, Z., Mahmoud, M., & Abdulraheem, A. (2018). New insights into porosity determination using artificial intelligence techniques for carbonate reservoirs. Petroleum, 4(4), 408-418.
- Ouladmansour, A., Ameur-Zaimeche, O., Kechiched, R., Heddami, S., & Wood, D. A. (2023). Integrating drilling parameters and machine learning tools to improve real-time porosity prediction of multi-zone reservoirs. Case study: Rhourd Chegga oilfield, Algeria. Geoenergy Science and Engineering, 223, 21151

المخلص

يركز الهدف من هذه الأطروحة على تقدير مسامية الرنين المغناطيسي (MRP) باستخدام العديد من تقنيات الذكاء الاصطناعي باستخدام سجلات الآبار من الخزان غير المتجانس لسلسلة العصر الترياسي السفلي لحقل بئر الأبا بحوض أمجد مسعود، جنوب شرق الجزائر. تم إجراء تكامل XGBoost و Random Forest لتحديد (MRP) من بيانات السجل. قمنا بتنفيذ ثلاثة سيناريوهات، وهذا هو السيناريو الأول الذي حصلنا فيه على نتائج على أرض الواقع أفضل معامل ارتباط بين خوارزمية XGBoost، وقد أعطتنا نتائج واعدة للغاية، وهي كما يلي RMSE: الطالب عند 0.023، MAE عند 0.017 و R² عند 0.740. ومن ناحية أخرى، تم تسليط الضوء على خوارزمية Random Forest 1. هذه نتيجة أعلى من السابقة، وهي الأفضل في ذاكرتنا، مع RMSE = 0.021، MAE = 0.016 و R² = 0.791. تؤكد نتائج هذه الأطروحة فعالية أدوات الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بالمتغيرات البتر و فيزيائية للمكامن غير المتجانسة ذات أداء ملحوظ يسمح بتوفير الوقت من ناحية واقتصادية تماما من ناحية أخرى، لأنه يقلل من الوقت. تؤخذ للقياسات في المختبر. "توفير الوقت، توفير المال"

كلمات المفتاح: مسامية الرنين المغناطيسي / الذكاء الاصطناعي / العصر الترياسي السفلي / بئر الأبا / أمجد مسعود / الجزائر.

RESUMÉ

L'objectif de cette mémoire est focalisé sur l'estimation de résonance magnétique porosité (MRP) en utilisant plusieurs techniques de l'intelligence artificielle à l'aide des diagraphies de puits cas du réservoir hétérogène du Trias serie Inferieur du champ de Bir El Akha bassin d' Amguid messaoud, sud-est de l'Algérie. L'intégration de XGBoost et Random Forest a été faite pour déterminer (MRP) à partir des données de diagraphies. Nous avons réalisé trois scénarios, et c'est la première scénarios où nous obtenons des résultats sur le terrain meilleur coefficient de corrélation entre de l'algorithme XGBoost1, il nous a donné des résultats extrêmement prometteurs, qui sont les suivants : Le RMSE s'élève à 0,023, le MAE à 0,017 et le R² à 0,740. En revanche, l'algorithme Random Forest 1 a été mis au jour. C'est un résultat supérieur à celui précédent, et c'est le meilleur de notre mémoire, avec une RMSE = 0,021, une MAE = 0,016 et une R² = 0,791. Les résultats de cette mémoire confirment l'efficacité des outils de l'intelligence artificielle pour la prédiction des paramètres pétrophysiques des réservoirs hétérogènes avec des performances notables ce qui permettent un gain de temps d'une part et elle totalement économique d'autre part, car elle minimise le temps des mesures au laboratoire. « Gain de temps gain d'argents »

Mots clés : résonance magnétique porosité / intelligence artificielle / Trias inférieur / Bir El-Akha / Amguid Messaoud / Algérie

ABSTRACT

The objective of this dissertation is focused on the estimation of magnetic resonance porosity (MRP) using several artificial intelligence techniques using well logs from the heterogeneous reservoir of the Lower Triassic series of the Bir El Akha field Amguid Messaoud basin, southeastern Algeria. The integration of XGBoost and Random Forest was done to determine (MRP) from the log data. We carried out three scenarios, and this is the first scenario where we obtain results on the ground best correlation coefficient between the XGBoost1 algorithm, it gave us extremely promising results, which are as follows: The RMSE is student at 0.023, the MAE at 0.017 and the R² at 0.740. On the other hand, the Random Forest 1 algorithm has been brought to light. This is a higher result than the previous one, and it is the best in our memory, with an RMSE = 0.021, a MAE = 0.016 and an R² = 0.791. The results of this thesis confirm the effectiveness of artificial intelligence tools for the prediction of the petrophysical parameters of heterogeneous reservoirs with notable performances which allow a saving of time on the one hand and it is totally economical on the other hand, because it minimizes the time taken for measurements in the laboratory. "Save time, save money"

Keywords: magnetic resonance porosity / artificial intelligence / lower Triassic / Bir El-Akha / Amjuid Messaoud / Algeria