



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Amar Telidji- Laghouat

FACULTE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GÉNIE DES PROCÉDÉS

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : Mohammed El Said BOUSSEN

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Génie des Procédés

OPTION : Génie Gazier

Thème

**Caractérisation Du Réservoir TAGS De Rhourde Nouss
Par Le SVR**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
MERIGUI Khaled	MAA	Président
YOUCEFI Mohammed Riad	MCB	Examineur
HADJADJ Asma	MCB	Rapporteur

Année Universitaire : 2022-2023

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout premièrement Dieu le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il m'a donné durant toutes ces longues années d'études.

الحمد لله الذي هدانا لهذا وما كنا لنهتدي لولا ان هدانا الله

Aussi, je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à mon encadreur **Dr . Asma HADJADJ** pour sa patience, le temps qu'il m'a consacré malgré ses occupations, son choix de ce thème qui est très important, notamment en ce qui concerne la quantité d'informations qui j'ai reçu. Grace à cette occasion de travailler sous sa direction, Elle m'a ouvert plusieurs horizons de recherches scientifiques et d'innovations à l'avenir.

Je prie le Dieu de le bénir et de le protéger. En espérant qu'il sera brillé toujours

Et je remercie aussi **Dr. YUCEFI Mohamed Riad**

Mes remerciements à tous les membres du jury qui ont accepté d'examiner mon travail et qui m'ont fait le grand honneur en acceptant de juger mon modeste travail, en espérant qu'il soit digne de leurs intérêts.

Je tiens à remercier vivement mes enseignants pour leurs efforts durant toutes mes années d'étude à l'université.

Enfin je remercie tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour accomplir ce travail.

Dédicace

Je dédie les résultats de ce modeste travail à

J'ai toujours pensé faire ou offrir quelque chose à mes parents
(Ahmed et Khadouj) en signe de reconnaissance pour tout ce qu'ils ont consenti
comme efforts, rien que pour me voir réussir, et voilà, l'occasion est venue.
A ceux qui m'ont mis la vie, symbole de beauté, et de fierté, de sagesse et de
patience.

A ceux qui sont la source de mon inspiration et de mon courage, à qui je dois de
l'amour et de la
reconnaissance.

A ma grand-mère grand-père

A mes frères Abdelkader, Abdelhamid, Mohammed.

A mes sœurs Bouthaina, Meriem, Zohra, Rahil

A tous mes cousins et cousines, ainsi que mes oncles et tantes.

A mes deux grandes familles Boussen et Zitouni

A toi mes amis, faycel et Aissa avec qui la .de ce travail méritent une
humble reconnaissance ainsi qu'à toute tes famille

A tous mes amis, Ali, Youssef, Belkbir, Missoum , Abdelhamid, Noureddine,
Mohammed, Tbib, Zakaria, Yassien

Taha, Mounir, Miloud.

Une dédicace à tous mes collègues de la promotion Master 2 Géine Gazier



MOHMMED EL SAID

Remerciement

Dédicace

Liste Des Tableaux

Liste Des Figures

Liste Des Abréviations

Introduction Générale

**Chapitre I : ASPECTS THEORIQUES ET PRINCIPE DES MESURES
DIAGRAPHIQUES**

Introduction	5
I Caractéristiques pétro physiques des réservoirs	5
I.1 La porosité (Φ)	5
I.2 La perméabilité (K)	6
I.3 La saturation	6
I.4 Type de diagraphies	6
I.4.1 Diagraphies en cours de forage	6
I.4.2 Diagraphies différées	6
I.4.3 Diagraphies de production	6
I.5.1 But des diagraphies	8
I.6 Classification des diagraphies	8
I.7 Les différentes diagraphies utilisées	9
I.7.1 Diagraphies de radioactivité naturelle (Gamma Ray ou GR)	9
I.7.2 Diagraphies électriques (Diagraphies de Résistivité)	10
I.7.3 Diagraphies Neutron (Indice d'Hydrogène)	12
I.7.4 Diagraphie gamma-gamma ou (de densité)	13
I.7.5 Diagraphies acoustiques (Sonde Sonic)	13
I.7.6 Mesure du diamètre du trou (Caliper)	14
I.8 Conclusion	15

Chapitre II :SUPPORT VECTOR MACHINES (SVM)

II Introduction	17
II.2 Support Vector Machines	17
II.3 Qu'est-Ce Qu'un Hyperplan?	18
II.4 Comment trouver le bon hyperplan?	18
II.5 Avantages et les inconvénients	18
II.5.1 Les avantages	18
II.5.2 Les inconvénients	19
II.6 Modèle de détermination des propriétés pétro physiques	19
II.7 Type de noyau	20
II.8 Machines à vecteurs de support pour la régression	21

Chapitre III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

III Cadre géologique local de la zone d'étude	25
III.1 Localisation Du Champ De Rhourd Nouss	25
III.2 Géologie du gisement de Rhourd Nouss	26
III.3 Aspect Stratigraphique	27
III.4 Aspect Petrolier	29
III.4.1 Les roches mères	29
III.4.2 Les roches réservoirs	29
III.4.3 Les pièges	31
III.5 La Structure De Rhourd Nouss	31

Chapitre IV: PREDICTION DE LA PERMEABILITE PAR LES (SVM)

Introduction	34
IV. Logiciel utilisé	34
IV.1 Python	34
IV.1.1 Pycharm	34

IV.1.2 Bibliothèque Python	35
IV.1.3 Qu'est-ce qu'une bibliothèque ?	35
IV.1.4 Qu'est-ce que la bibliothèque Python ?	36
IV.1.5 Pourquoi utiliser Python ?	36
IV.2 Discussion des resautes	37
IV.2.1 Analyses et préparation de la base de données pour la caractérisation	37
IV.2.2 Téléchargement des bibliothèques et modélisation par SVR	38
IV.2.3 Discussions des résultats obtenus	40
IV.3 Conclusion	43
CONCLUSION GENERALE	45
BIBLIOGRAPHIE	46
RESUME	47
ABSTRACT	47
المخلص	48

LISTE DES FIGURES

Fig. I. 1	Appareillage pour la mise en œuvre des diagraphies (D.Chapelier, cours de diagraphies)	07
Fig. I. 2	Schéma présentant la classification des diagraphies	08
Fig. I. 3	Principe de la diagraphie Gamma Ray (NAFTOGAZ, 2006)	09
Fig. I. 4	Les macro-dispositifs (Dual Laterolog ou DLL), (SHLUMBERGER, 2002)	11
Fig. I. 5	Les microdispositifs (Micro Spherically Focused Log ou MSFL), (SHLUMBERGER,2002)	11
Fig. I. 6	Schéma de principe de la sonde à neutrons	12
Fig. I. 7	Comportements des neutrons dans les formations	13
Fig. I. 8	Principe de l’outil sonique à deux récepteurs	14
Fig. I. 9	Principe de l’outil caliper (LIM, diagraphie)	15
Fig.II.1	Schéma du vecteurs de support	17
Fig.II.2	Le bon hyperplan optimal	18
Fig.II.3	Types de noyau (kernel) de SVM	21
Fig. III. 1	Situation géographique de la région de Rhourde Nous (Document Sonatrach)	25
Fig. III. 2	Carte géologique et structurale de la région de Rhourde Nous (Document Sonatrach)	26
Fig. III. 3	Carte structurale de Rhourde Nous (WEC 2007)	32
Fig .IV.1	l'interface python	35
Fig .IV.2	Importation des bibliothèques	38
Fig .IV.3	Lecture des données	38
Fig .IV.4	Modélisation SVR.	38
Fig .IV.5	Spécification du noyau RBF.	39
Fig .IV.6	Conversion et exportation des résultats en fichier CSV	39
Fig .IV.7	Présentation des résultats	39
Fig .IV.8	Perméabilité carotte (réelle) par rapport à la perméabilité estimée par svr (rbf1.0)	40
Fig .IV.9	Perméabilité carotte (réelle) par rapport à la perméabilité estimée par svr(linrear0.1)	41
Fig .IV.10	Perméabilité carotte (réelle) par rapport à la perméabilité estimée par svr(poly3.0)	41
Fig .IV.11	Perméabilité carotte (réelle) par rapport à la perméabilité estimée par svr(sigmoid0.1)	42

LISTE DES TABLEAUX

Tableau. IV.1 Perméabilité carotte (réelle) par rapport à la perméabilité estimée par SVR.	42
--	----

LISTE DES ABREVIATION

LISTE DES ABREVIATION

GR	Gamma Ray
DT	Sonique
SVM	Support Vector Machine
TAGI	Trias Argileux Gréseux inferieur
TAGS	Trias Argileux Gréseux inferieur Supérieur
PERM CORE	Perméabilité carotte
API	American Petroleum Institute
MSFL	Micro Spherically Focused Log
DLL	Dual Latero log
SVR	Support Vector Regression
RHOB	Densité Apparente
ρ_v	densité du minéral dans la formation
ρ_b	densité globale de la formation

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

Les diagraphie des puits joue un rôle essentiel dans la détermination du potentiel de production d'un réservoir d'hydrocarbures . Il s'agit d'une technique de prospection géophysique utilisée depuis 1927.

Le processus consiste à descendre un certain nombre d'instruments dans un trou de forage afin de recueillir des données à différents intervalles de profondeur. Les mesures peuvent être classées en trois catégories : électriques, nucléaires et acoustiques.

Ces réponses sont essentielles à l'évaluation de la formation du réservoir . L'une des questions clés de l'évaluation des réservoirs à l'aide des données de diagraphie est la prédiction des propriétés pétro physiques, la porosité et la perméabilité. Au cours de la vie du réservoir, de nombreuses décisions cruciales dépendent de la capacité à estimer avec précision la perméabilité et la porosité de la formation. Cependant, la prédiction de ces propriétés est complexe, car les sites de mesure disponibles sont limités à des emplacements de puits isolés.

Le meilleur moyen pour une bonne caractérisation et évaluation des réservoirs pétroliers sont les mesures directes sur les carottes ; cependant la récupération de ses derniers n'est pas toujours intégrale, à cause des problèmes techniques et géologiques rencontrés surtout lors de l'opération du carottage et sa limitation en considérant le nombre des puits carottés dans le champ [19]

Au cours des deux dernières décennies, les techniques de l'intelligence artificielle telles que les réseaux neurones, support vector machine et les algorithmes génétiques sont devenus des outils de plus en plus puissantes, et ils font une révolution dans l'ingénierie de pétrole et de gaz,[20]par ses capacités de résoudre les problèmes complexes survenant pendant les mesures.

L'objectif de cette étude se focalise essentiellement sur la prédiction de la perméabilité, en utilisant la technique de l'intelligence artificielle Support Vector Machine (SVM).

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

Introduction générale

Le champ Rhourde Nouss a été découvert en 1956 grâce à la première découverte de gaz en Algérie sur le champ de Hamra, cette région a connu un essor extraordinaire grâce au groupe Sonatrach qui s'est engagé à exploiter ces richesses très demandées dans le monde de l'industrie.

Rhourde Nouss est caractérisé par son potentiel en hydrocarbures dans les niveaux de Trias en particulier le niveau Trias Argileux Gréseux Supérieure (TAGS) que nous allons étudier dans ce mémoire.

Le travail présenté dans ce mémoire s'articule en quatre chapitres :

Chapitre I : ce chapitre présente les méthodes de diagraphies différées et les caractéristiques pétro physiques des réservoirs.

Chapitre II : ce chapitre consiste à la présentation de la théorie des réseaux SVM .

Chapitre III : la présentation de la région d'étude et le cadre géologique régional du champ de Rhourde Nouss ainsi que la caractéristique pétro physique de réservoir (TAGS).

Chapitre IV : l'estimation de la perméabilité par les réseaux SVM dans le réservoir TAGS .

Ce travail s'achève par une conclusion générale présentant les principaux résultats obtenus et les perspectives d'étude.

CHAPITRE I

ASPECTS THEORIQUES ET PRINCIPE DES MESURES DIAGRAPHIQUES

Introduction

Les diagraphies différées sont des enregistrements continus de paramètres physiques. La mesure se présente sous forme d'une courbe qui montre les variations du paramètre physique en fonction de la profondeur. Le phénomène mesuré peut être naturel ou provoqué. Les outils utilisés peuvent être centrés dans le puits ou appliqués contre la paroi du trou. Les outils ont des profondeurs d'investigation et des pouvoirs de résolution très variables.

Avec les diagraphies en trou ouvert, nous limiterons aux outils qui permettent une mise en évidence rapide sur chantier des zones réservoirs, de déterminer la lithologie, la porosité et les saturations de ces zones. Ce sont : le caliper, le gamma ray, les outils de résistivité et d'induction, le neutron, l'outil de densité et le sonique... [1]

I Caractéristiques pétro physiques des réservoirs

I.1 La porosité (Φ)

I.1.1 Définition

La porosité est l'ensemble des volumes de petite taille, ou pores pouvant être occupés par des fluides à l'intérieur d'une roche (Foucault & Raoult, 1992). ou c'est le rapport du volume des vides V_v au volume total V_t .

I.1.2 Types de porosité

a) **porosité totale (Φ_t):** est égale au rapport du volume total des pores sur le volume total de la roche. $(\Phi_t) = V_v / V_t = (V_t - V_s) / V_t$

b) **Porosité effective (Φ_{eff}):** Elle représente la porosité accessible aux fluides libres, elle varie entre 1% et 40%, elle est dite :

Faible si $\Phi < 5\%$.

Médiocre si $5\% < \Phi < 10\%$.

Moyenne si $10\% < \Phi < 20\%$.

Bonne si $20\% < \Phi < 30\%$.

Excellente si $\Phi > 30\%$.

Porosité connectée (Φ_{co}): Elle représente les espaces vides interconnectés.

c) **Porosité potentielle (Φ_{pot}):** Elle représente le pourcentage des espaces connectés par des passages suffisants pour que les fluides puissent circuler.

I.2 La perméabilité (K)

I.2.1 Définition

La perméabilité d'un milieu poreux caractérise son aptitude à laisser circuler un fluide au sein de son espace poreux. Il existe plusieurs types de perméabilité :

K absolue (K_a): mesurée lorsqu'un seul fluide est présent dans les pores.

K effective (K_e): lorsque deux fluides sont présents dans les pores ($K_e < K_a$). K relative (K_r): c'est le rapport entre K_e et K_a .

On constate : $Q = K * (S/\mu) * (\Delta P/\Delta L)$

I.3 La saturation

I.3.1 Définition

Les pores des roches contiennent de l'eau, de l'huile et du gaz, la saturation d'un échantillon de roches par un fluide est le rapport des volumes de ce fluide au volume des pores de l'échantillon.

En général, la saturation d'une roche en fluide est exprimée en % du volume des pores.

$$S = V_f / V_p$$

Pour chaque fluide on peut écrire :

En huile : $S_h = 100 * V_h / V_p$ En eau : $S_e = 100 * V_e / V_p$ En gaz : $100 * V_g / V_p$ [2].

I.4 Type de diagraphies

I.4.1 Diagraphies en cours de forage

Les mesures sont effectuées pendant l'opération de forage : (Logging while drilling ou LWD).

I.4.2 Diagraphies différées

L'ensemble des tiges de forage est retiré du trou de forage, afin que l'on puisse y descendre des sondes liées à l'extrémité d'un câble conducteur.

I.4.3 Diagraphies de production

Le puits est mis en état de produire, ainsi des mesures d'autres paramètres physiques sont effectuées pendant la production et les sondes sont de dimensions réduites pour passer à travers le tubing de production.

Dans ce qui suit, nous allons développer, essentiellement, les diagraphies différées et de production.

I.5 Diagraphies différées

Les diagraphies différées sont des enregistrements des paramètres physiques des formations traversées par le forage, ou des fluides qu'elles renferment, avec des outils, ou sondes, conçus dans ce but. Ces outils sont descendus dans le trou de forage à l'extrémité d'un câble qui assure la liaison avec les instruments de surface commandant les opérations, et groupés soit dans un camion, soit dans une cabine fixe pour les forages

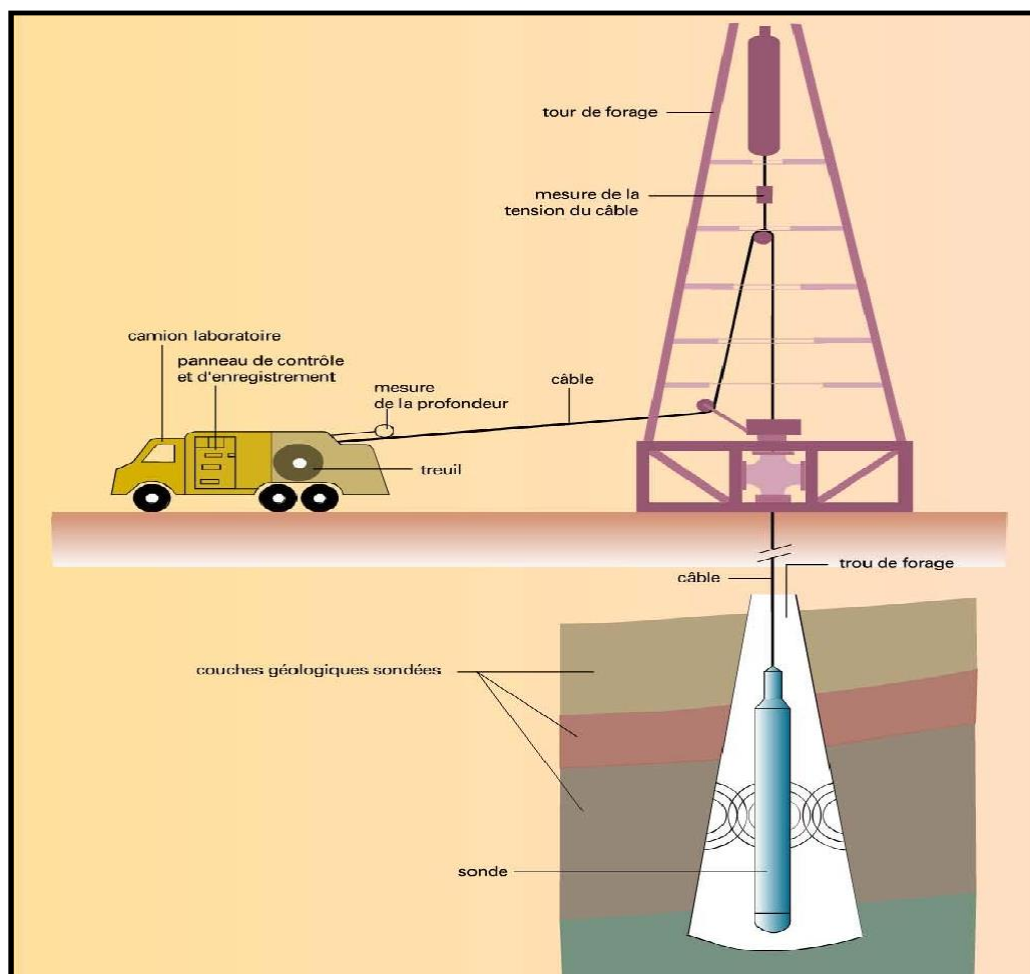


Fig. I. 1 Appareillage pour la mise en œuvre des diagraphies (D.Chapelier, cours de diagraphies)

Pour autant que l'on sache relier les paramètres mesurés et leurs variations aux propriétés physiques et/ou chimiques des formations géologiques et des fluides contenus dans ces formations, on dispose d'un instrument sans égal pour étudier les roches et leur contenu éventuel. Il existe des relations étroites entre les paramètres physiques enregistrés et les paramètres géologiques. On peut définir un "faciès géophysique" qui est pour un niveau donné, la somme des caractéristiques vues par les diagraphies. Le "faciès géophysique" reste inchangé pour un même niveau au cours de plusieurs enregistrements successifs avec les mêmes outils, dans le même trou. Il en résulte que

la modification d'un paramètre géologique

doit se répercuter sur un ou plusieurs paramètres physiques. A l'inverse, toute variation d'un paramètre physique revêt une signification géologique.

Les diagraphies sont donc très utiles pour faire des corrélations de puits à puits et donnent des indications très précieuses sur les variations lithologiques.

En Algérie, les opérations de diagraphies sont souvent exécutées par des sociétés de service tel que : Schlumberger, Halliburton, Hesp, Western Atlas, Baker, etc.

I.5.1 But des diagraphies

L'utilisation des diagraphies dans notre étude consiste essentiellement à:

- Déterminer le pourcentage d'argile à partir du Gamma Ray.
- Évaluer la porosité des formations à partir de la combinaison des outils Sonique, Neutron et Densité.
- La localisation des réservoirs les plus favorables à l'accumulation économique d'hydrocarbures.
- La nature et composition des solides et des fluides traversés par le sondage.

I.6 Classification des diagraphies

Il y'a quatre types de diagraphies qui se déclinent en différentes variantes (figure 02) :

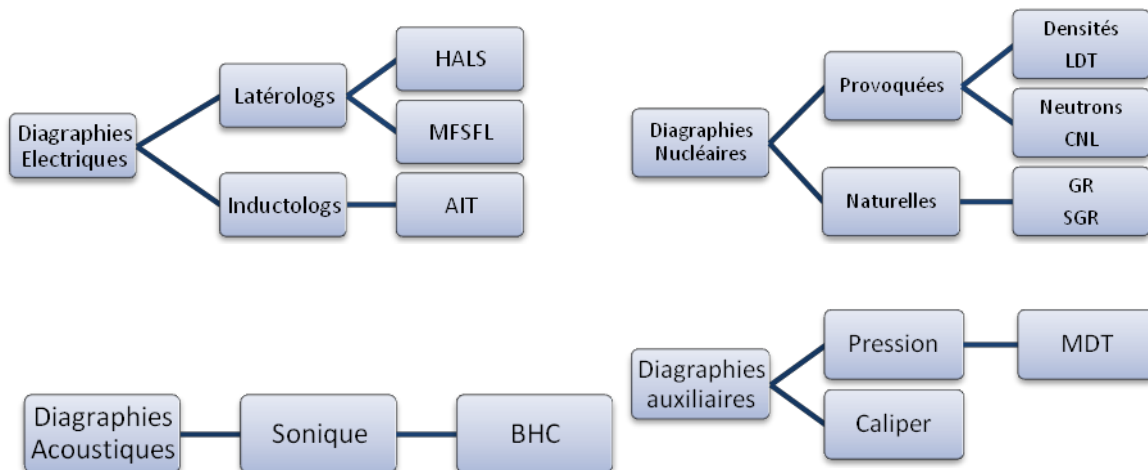


Fig. I.2. Schéma présentant la classification des diagraphies.

I.7 Les différentes diagraphies utilisées

I.7.1 Diagraphies de radioactivité naturelle (Gamma Ray ou GR)

C'est un enregistrement de la radioactivité naturelle des roches. Potentiellement, elle résulte de la présence de trois éléments : l'uranium, le thorium et le potassium.

I.7.1.1 Principe

On mesure le rayonnement gamma naturel à l'aide de détecteurs appropriés comprenant un compteur Geiger, une chambre d'ionisation ou un compteur à scintillation. Ce dernier étant préférable par son rendement, ses dimensions (10cm contre 90cm), et la meilleure définition verticale des couches qu'il permet. Donc, la sonde GR contient un détecteur à scintillation à cristal d'iodure de sodium, et permet l'enregistrement de l'intensité globale de la radioactivité des rayons gamma naturels des trois éléments radioactifs (Potassium, Uranium et Thorium, mais pas celle des sels de potasse (figure 3).

La réponse de l'outil est donnée par la relation suivante: $GR = (\rho_v / \rho_b) \cdot A$

- GR: radioactivité globale mesurée, exprimée en unités API (American Petroleum Institute).
- ρ_v : densité du minéral ou de l'élément radioactif dans la formation.
- ρ_b : densité globale de la formation
- A: facteur de proportionnalité correspondant à l'activité γ du minéral ou de l'élément radioactif.

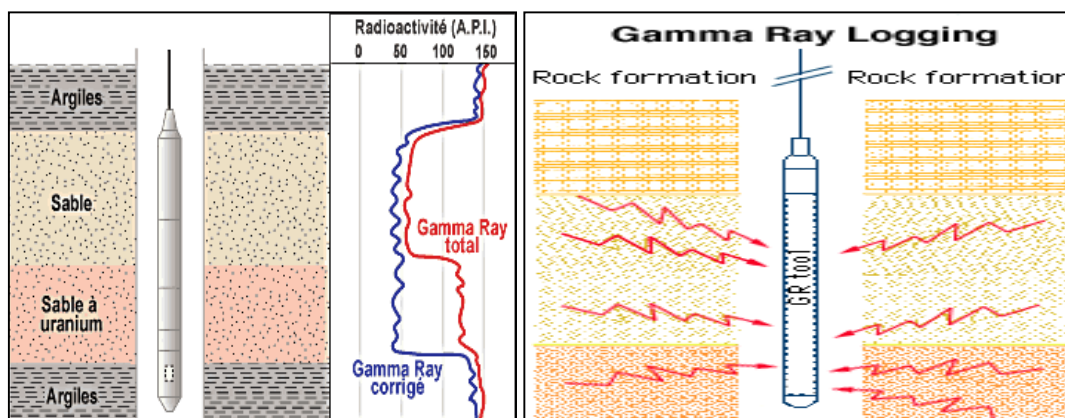


Fig. I.3. Principe de la diagraphie Gamma Ray [19]

I.7.2 Diagraphies électriques (Diagraphies de Résistivité)

I.7.2.1 Principe

Les diagraphies de résistivité dépendent de la composition de la roche en éléments solides et de la nature des fluides contenus. Le principe de mesure consiste à envoyer un signal par une source émettrice d'énergie (courant électrique ou champ magnétique), qui pénètre dans la formation et on enregistre la différence du potentiel (DDP) par un dispositif de mesure (récepteur), situé à une certaine distance de la source que l'on appelle espacement. C'est ainsi que selon l'espacement et la nature de la source d'énergie, plusieurs outils peuvent être définis. Ces outils permettent par différentes combinaisons et connexions des bobines l'enregistrement de cinq courbes de résistivité à différents rayons d'investigation. Il s'agit de R10", R20", R30", R60" et R90".

On peut les subdiviser en deux familles : les macro-dispositifs et les micro-dispositifs.[4]

Les macro-dispositifs (Dual Laterolog ou DLL)

La sonde comprend une électrode centrale d'envoi de courant A_0 et quatre paires d'électrodes de focalisation classées symétriquement par rapport A_0 (figure 04). Ce type d'outils permet de donner des informations sur la résistivité de la zone vierge R_t , et l'enregistrement simultanée de deux courbes de résistivité, il s'agit de :

- ❖ R 1ld : ayant une investigation profonde
- ❖ R 1ls : ayant une investigation moyenne

Les micro-dispositifs « Micro Spherically Focused Log » (MSFL)

Le dispositif comprend une électrode centrale d'envoi de courant et quatre paires d'électrodes disposées symétriquement (figure 05). Le courant d'émission est focalisé sphériquement dans un espace faible. Permettant de donner des informations sur la résistivité de la zone lavée R_{x0} (MSFL).

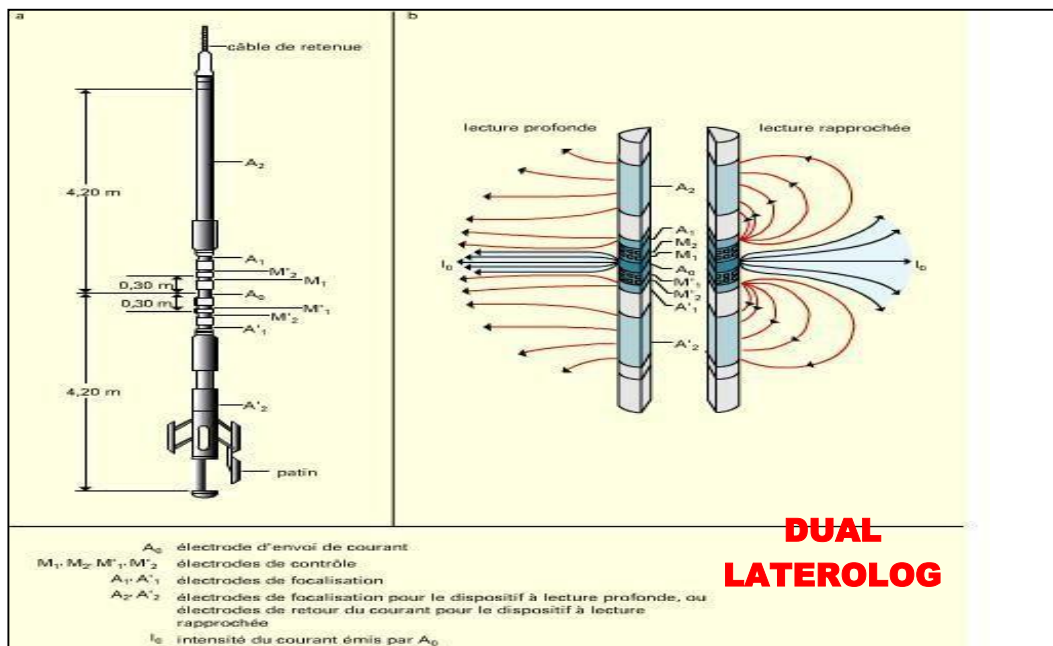


Fig. I.4. Les macro-dispositifs (Dual Laterolog ou DLL),

Les courbes de résistivités sont en échelle logarithmique avec une sensibilité variant de 0,2 à 2 000 ohm.m.

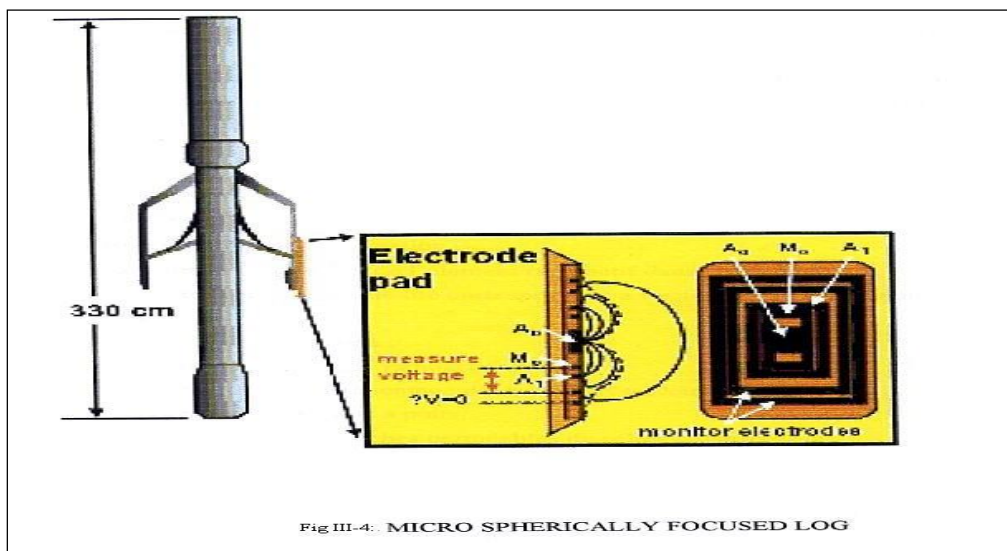


Fig. I. 5. Les microdispositifs (Micro Spherically Focused Log ou MSFL),

I.7.3 Diagraphies Neutron (Indice d'Hydrogène)

Lorsque l'on soumet une formation à un bombardement de neutrons rapides, plusieurs types d'interactions neutrons/noyaux peuvent prendre naissance. L'évaluation qualitative de ces phénomènes peut renseigner sur le contenu atomique de la formation.

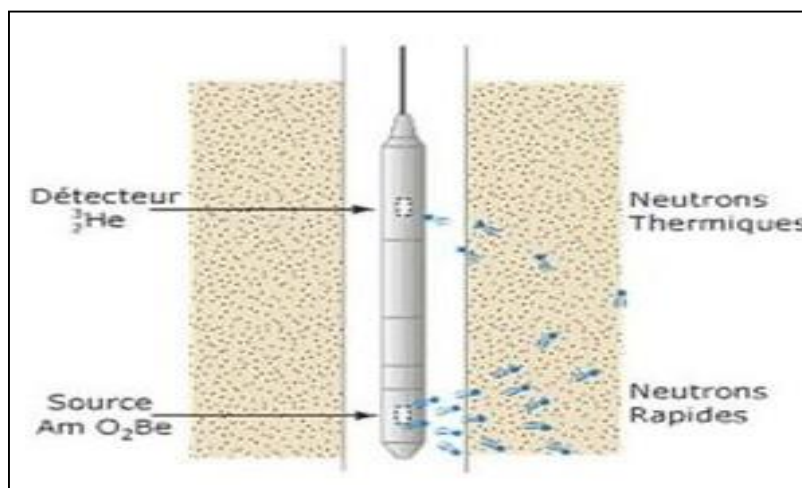


Fig. I. 6. Schéma de principe de la sonde à neutrons

I.7.3.1 Principe

Une source émet des neutrons rapides (vitesse initiale $> 10\,000$ km/s) et dont l'énergie initiale est comprise entre 4 et 6 MeV. Ces neutrons ont un pouvoir de pénétration élevé qui leur permet d'entrer en collision avec les noyaux atomiques de la formation (figure 06).

Au fur et à mesure de leur pénétration, ils perdent progressivement leur énergie en deux phases :

a) Phase de ralentissement

Les neutrons sont plus ou moins ralentis selon leurs angles d'incidence et selon que leur masse se rapproche ou non de celles des noyaux rencontrés. Les collisions avec les noyaux d'hydrogène ont un effet prépondérant puisque la masse de ces noyaux est sensiblement la même que celle des neutrons. Ainsi ralentis, les neutrons atteignent l'état thermique dans lequel leur énergie vaut 0.025 eV et leur vitesse 2 500 m/s. Si le détecteur compte les neutrons ainsi ralentis on parle alors de Log Neutron-Neutron (Figure07).

b) Phase de capture

Lorsque l'énergie devient inférieure à 0,025 eV les neutrons thermiques sont finalement capturés par les noyaux de certains éléments. Les noyaux de chlore sont les plus efficaces pour capturer les neutrons thermiques. Cette capture s'accompagne d'émission de rayons gamma. On parle alors de Log Neutron-Gamma.[3]

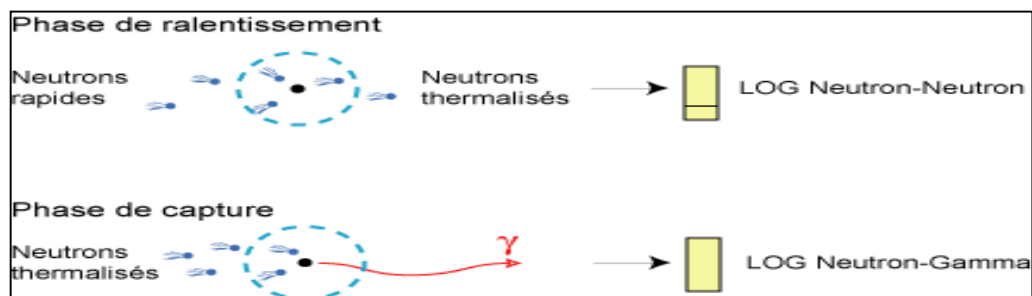


Fig. I. 7. Comportements des neutrons dans les formations

I.7.4 Diagraphie gamma-gamma ou (de densité)

I.7.4.1 Principe

Les diagraphies de cette nature sont toutes basées sur le principe de l'interaction entre une radioactivité incidente et les composants de la formation soumis au bombardement radioactif. On bombarde la formation par un faisceau de rayons gamma d'énergie constante (0,1 à 1 MeV). Ces photons gamma entrent en collision avec les électrons de la matière. A chaque collision, l'énergie du faisceau incident est atténuée. Cette atténuation, peut se faire de trois façons : Effet photoélectrique, effet Compton, effet de production de paire.

Trois types d'interactions se produisent suivant l'énergie des photons incidents :

- L'effet photoélectrique si l'énergie des photons est inférieure à 0,1 MeV.
- L'effet Compton si l'énergie des photons est entre 0,1 à 1 MeV.
- L'effet de production de paire si l'énergie des photons est supérieure à 1,01 MeV.

I.7.5 Diagraphies acoustiques (Sonde Sonic)

Des ondes acoustiques peuvent se propager dans n'importe quel milieu solide. Dans un milieu infini, deux types d'ondes se propagent, une onde de compression et une onde de cisaillement. Le principe est de mesurer le temps de propagation d'une onde sonore à travers la formation ; pour cela on dispose d'un émetteur et d'un récepteur éloigné sur la sonde.

I.7.5.1 Principe

Il consiste à la mesure du temps mis par l'onde longitudinale pour parcourir la distance entre les émetteurs et les récepteurs. Les impulsions sonores sont produites par chacun des émetteurs, et les temps d'arrivés sont enregistrés. Le temps de transit Δt est l'écart entre les temps d'arrivés des ondes longitudinales sur deux récepteurs, il dépend de la nature lithologique de la roche, la porosité et le type de fluide contenu dans les pores.

L'unité de Δt est la microseconde par foot ($\mu\text{s}/\text{ft}$).

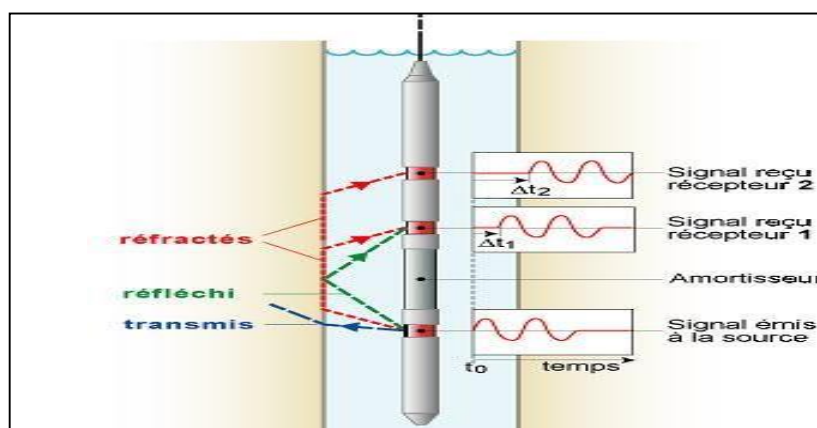


Fig. I.8. Principe de l'outil sonique à deux récepteurs.

I.7.6 Mesure du diamètre du trou (Caliper)

La mesure du trou est réalisée à l'aide de deux bras articulés symétriques reliés à un curseur d'un potentiomètre. Les variations de diamètre du trou avec la profondeur se traduisent par des déplacements latéraux des bras et par conséquent par des variations de résistance (**Figure 9**).

Un simple étalonnage permet à l'inverse de passer des résistances aux diamètres.

Le log du caliper enregistré, est une échelle qui varie entre 6 et 16 in.

Il est enregistré pour tous les puits

d'étude. L'outil comprend:

- Quatre bras couplés par des paires ouvrant jusqu'à 30" et a besoin 40" par adjonction de rallonges et donnant deux plans perpendiculaires.
- Un intégrateur de volume de trou.
- Une cartouche d'inclinométrie permettant la mesure en continu de l'angle et de l'azimut de la déviation du trou et l'orientation du diamètre par rapport au nord magnétique.

La sonde est motorisée, l'ouverture et la fermeture de l'outil pouvant être réalisées dans le trou. Les informations peuvent être enregistrées sur film ou bande magnétique. Enfin il est combinable avec un gamma-ray.[1]

I.7.6.1 Principe

Il consiste en des bras d'un outil qui s'ouvrent au cours de la remontée pour mesurer le diamètre réel du puits sur plusieurs diagonales.

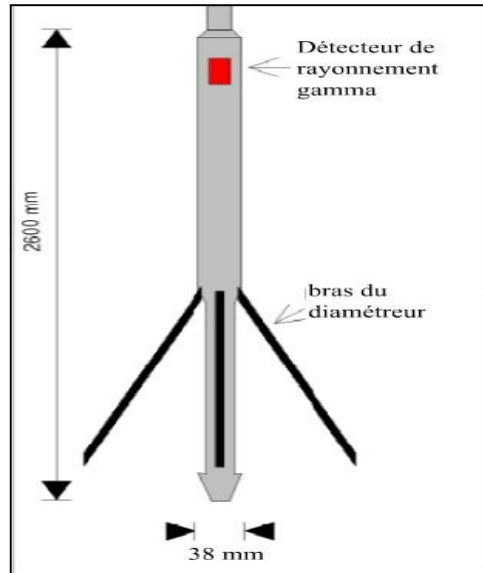


Fig. I. 9. Principe de l'outil caliper (LIM, diagraphie) [3]

I.8 Conclusion

Les diagraphies disposent d'une large panoplie d'outils pour la reconnaissance des caractéristiques pétro physiques d'un réservoir. Chaque paramètre doit être adapté au problème posé (conditions d'accès au terrain, spécificité géologique, etc.).

CHAPITRE II

SUPPORT VECTOR MACHINES (SVM)

II Introduction

Les machines à vecteurs de soutien ou séparateurs (SVM) sont un groupe de techniques d'apprentissage supervisé visant à résoudre les problèmes de discrimination. SVM est une généralisation des classificateurs linéaires. Les machines à vecteurs de support ont été développées dans les années 1990 sur la base des considérations théoriques de Vladimir Vapnik sur le développement de l'apprentissage de la théorie statistique: théorie de Vapnik-Chervonenkis [8]. SVM est rapidement adopté en raison de sa capacité à traiter le big data, un petit nombre d'hyperparamètres, ses garanties théoriques et ses bons résultats en pratique. Le SVM a été appliqué dans de nombreux domaines (bioinformatique, recherche d'information, vision par ordinateur, finance et ingénierie des réservoirs ...). Selon les données, les performances.

II.1 Support Vector Machines

SVM est un algorithme d'apprentissage automatique supervisé qui peut être utilisé pour la classification et la régression. SVM est le plus couramment utilisé dans les situations de classification. SVM est basé sur l'idée de trouver l'hyperplan qui partage le mieux de l'ensemble de données en deux parties.

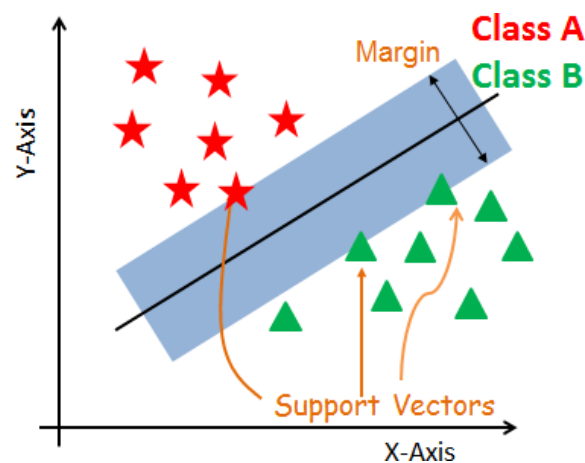


Fig.II.1– Schéma du vecteurs de support [9].

Le vecteur de support est le point de données le plus proche de l'hyperplan (voir figure ci-dessus). Le point dans l'ensemble de données modifiera la position de l'hyperplan fractionné. Par conséquent, ils peuvent être considérés comme la partie la plus importante de l'ensemble de données.

II.2 Qu'est-Ce Qu'un Hyperplan?

À titre d'exemple simple, pour une tâche de classification avec seulement deux fonctions (comme illustré dans la figure ci-dessus), on peut comprendre un hyperplan.

comme une ligne pour séparer et classer linéairement un ensemble de données. Plus nos points de données sont éloignés de l'hyperplan, plus nous sommes confiants dans leur classement. Par conséquent, l'objectif est de garder nos points de données aussi loin que possible de l'hyperplan tout pour rester en sécurité. Mais par conséquent, lors de l'ajout de nouvelles données de test, quel que soit le côté de l'hyperplan sur lequel elles se trouvent, il détermine la catégorie que nous lui attribuons[7].

II.3 Comment trouver le bon hyperplan?

La distance entre l'hyperplan et le point de données le plus proche (l'un d'entre eux) est appelée marge. L'objectif est de sélectionner un hyperplan avec la plus grande marge possible entre l'hyperplan et n'importe quel point de la formation, ce qui augmente les chances de classification correcte des nouvelles données.

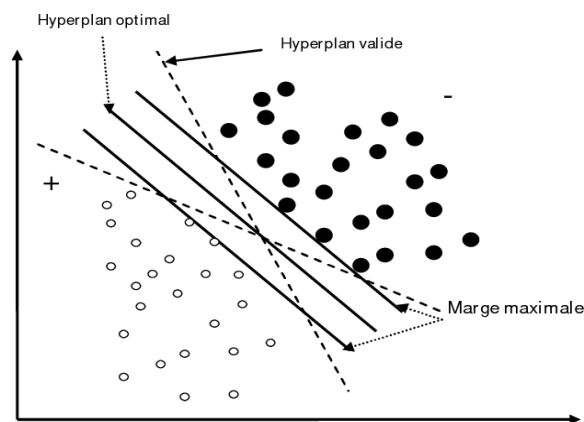


Fig. II 2 - Le bon hyperplan optimal [10].

II.4 Avantages et les inconvénients

II.4.1 Les avantages

- Une grande précision de prédiction.
- Une bonne fonctionnement sur des petits data sets.

II.4.2 Les inconvénients

- Le temps d'entraînement avec les SVM peut être rapide, alors il ne convient pas à des jeux de données plus volumineux,
- Il est moins efficace si les données contiennent du bruit.

II.5 Modèle de détermination des propriétés pétro physiques

Le problème de la détermination des propriétés pétro physiques dans la caractérisation des réservoirs entre dans la catégorie des problèmes d'approximation de fonction. Dans l'approximation de fonction, l'objectif est de construire un modèle pour représenter la relation entre les diagraphies x et les propriétés pétro physiques y sans aucun paramètre préalable supposé. Étant donné le vecteur de diagraphies X et le vecteur de propriétés pétro physiques Y , l'expression suivante peut être utilisée pour décrire la relation :

$$Y = g(X) \dots\dots\dots (II.1)$$

Lors de l'obtention de l'ensemble d'entraînement, certains facteurs environnementaux affecteront les mesures. Dans l'analyse des diagraphies, ces facteurs peuvent être dus à la boue utilisée, aux instruments de diagraphie utilisés, aux erreurs du technicien de laboratoire, etc. Il n'est donc pas possible de définir une fonction exacte, $g(X)$, décrivant la relation entre X et Y . Toutefois, une relation probabiliste gouvernée par la loi de l'inflation peut être utilisée.

par une loi de probabilité conjointe $P(v)$ peut être utilisée pour décrire la fréquence relative d'apparition des paires de vecteurs (X_n, Y_n) pour n motifs d'apprentissage. La loi de probabilité conjointe $P(v)$ peut être séparée en une loi de probabilité environnementale $P(\mu)$ et une loi de probabilité

conditionnelle $P(\gamma)$. Pour l'expression de la notation, la loi de probabilité est exprimée en tant que :

$$P(v) = P(\mu)P(\gamma) \dots\dots\dots (II.2)$$

afin de prédire les propriétés pétrophysiques. Wong [11] utilise des données de carottes adjacentes à l'aide d'une technique de fenêtrage améliorée, de sorte que les échelles de la diagraphie et de la carotte correspondent. Ces dernières années, une autre approche d'apprentissage automatique, les machines à vecteurs de support (SVM), a suscité beaucoup d'intérêt en raison de ses solides fondements théoriques basés sur la théorie de l'apprentissage statistique [12].

La loi de probabilité environnementale $P(\mu)$ décrit La loi de probabilité conditionnelle $P(\gamma)$ décrit l'occurrence des propriétés pétrophysiques Y en fonction des données d'entrée X . Une paire de vecteurs

(X, Y) est considérée comme du bruit si X ne suit pas la loi de probabilité environnementale $P(\mu)$, ou si la sortie Y en fonction de X ne suit pas la loi de probabilité conditionnelle $P(\gamma)$.

D'après (1), la relation $g(X)$ basée sur l'ensemble d'apprentissage disponible peut être considérée comme analogue à la loi de probabilité conditionnelle $P(\gamma)$.

Par conséquent, elle est le rôle de l'estimation de $P(\gamma)$ que toute détermination est performant.

Elle peut également être désignée par

$$E(Y|X).$$

comme l'espérance de Y étant donné X . Par conséquent

$$g(X) = E(Y | X) \dots\dots\dots (II.3)$$

Dans la plupart des modèles, $g(X)$ ne peut être obtenu directement à partir de l'ensemble de formation (X_n, Y_n) . Les modèles doivent subir certains processus d'apprentissage pour obtenir le meilleur $g(X)$. Normalement, le meilleur $g(X)$ sera une approximation de la fonction comportant une certaine erreur

$$g(X) = E(Y | X) + \theta \dots\dots\dots (II.4)$$

où θ représente l'erreur.

La capacité de généralisation du modèle de détermination est la caractéristique la plus importante dans la plupart des applications pratiques. Elle permet de mesurer à quel point le modèle final $g(X)$ est proche du modèle attendu $E(Y|X)$. Comme la réalisation du modèle le mieux adapté dépend des données d'apprentissage disponibles, elle est également considérée comme une mesure de la capacité du modèle à fournir des prédictions raisonnables à partir d'enregistrements d'entrée "non vus" autres que l'ensemble de données d'apprentissage.

II.6 Type de noyau

Le produit scalaire entre les vecteurs individus tient une place importante dans les calculs (formulation duale), et elles peuvent tirer d'avantage des fonctions « noyau »

- Le noyau linéaire : $K(x, x_0) = \langle x, x_0 \rangle$ (correspondant aux SVM linéaires)
- Le noyau Gaussien radial (Gaussian RBF) $K(x, x_0) = \exp(-\sigma \|x - x_0\|^2)$
- Les noyaux polynomiaux $K(x, x_0) = (\alpha + \beta \langle x, x_0 \rangle)^\delta$
- Le noyau radial de Laplace (Laplace RBF) $K(x, x_0) = \exp(-\sigma \|x - x_0\|)$
- Le noyau tangente hyperbolique (sygmoïde) $K(x, x_0) = \tanh(\alpha + \beta \langle x, x_0 \rangle)$

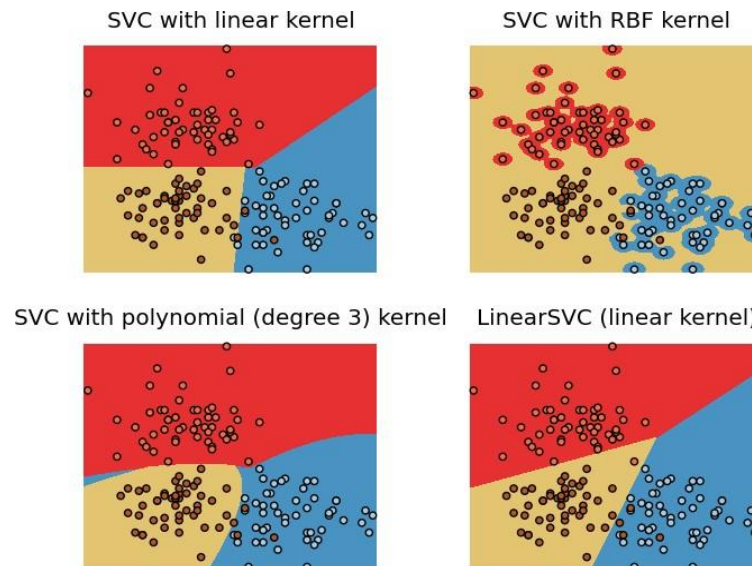


Fig.II.3 - Types de noyau (kernel) de SVM [8]

II.7 Machines à vecteurs de support pour la régression

Les machines à vecteurs de support (SVM) [12], dérivées de la théorie de l'apprentissage statistique de Vapnik, sont devenues une technique populaire parmi les modèles d'apprentissage automatique. Ces algorithmes créent une expansion de fonction de décision clairsemée en ne choisissant qu'un nombre sélectionné de points d'apprentissage, appelés vecteurs de support. Grâce à l'utilisation d'un noyau, les algorithmes d'approximation de fonctions linéaires impliquant des produits intérieurs explicites entre des points de données dans un espace d'entrée peuvent être transformés de manière pratique et efficace en leurs généralisations non linéaires. Les SVM mettent approximativement en œuvre le principe de minimisation du risque structurel de Vapnik par le biais d'un compromis équilibré entre l'erreur empirique (risque) et la complexité du modèle (mesurée par la dimension VC).

Nous considérons le problème de la modélisation de la régression par SVM à partir de données d'observation de la forme $(x_i, y_i)_{i=1}^l$ où $x_i \in \mathfrak{R}$ représente l'entrée et y_i une cible à valeur réelle. Le SVM cherche à modéliser la relation entre les entrées et les sorties. Supposons que la forme fonctionnelle recherchée par le SVM soit la fonction linéaire familière,

$$f(x, w, b) = (w, x) + b$$

où $w \in \mathfrak{R}$, représente un vecteur de dimension p de coefficients inconnus et $b \in \mathfrak{R}$ est un terme de biais inconnu mais constant. Il tente ensuite de trouver w, b de sorte que le risque empirique \mathfrak{R}_{emp} soit minimisé ; simultanément, il tente de minimiser la norme L_2 du vecteur de poids w pour le contrôle de la capacité. Formellement, le problème de programmation convexe de base suivant est posé comme suit :

Minimiser : $(1/2)(w, w)$

sous réserve de contraintes : $y_i - (w, x_i) - b \leq \epsilon_i$

$$(w, x_i) + b - y_i \leq \epsilon_i \dots\dots\dots (II.5)$$

Comme il se peut qu'il n'existe pas de solution réalisable satisfaisant le problème d'optimisation ci-dessus (ou que nous souhaitons tolérer un certain bruit), il est nécessaire d'introduire des variables ξ_i

$i = 1, \dots, l$ pour assouplir les contraintes dans le problème d'optimisation original. Un problème d'optimisation équivalent avec une pénalisation quadratique sur ξ peut être formulé comme suit :

Minimiser

$$F(\xi) = (1/2)(w, w) + (C/2) \sum_{i=1}^l (\xi_i)^2,$$

sous réserve des contraintes :

$$y_i((w, x_i) + b) \geq 1 - \xi \dots\dots\dots (II.6)$$

$$\xi_i \geq 0$$

Le vecteur de poids souhaité a la forme : $W = \sum_{i=1}^l (a_i - \hat{a}_i) x_i$ où a_i , \hat{a}_i sont des multiplicateurs de Lagrange non négatifs nécessaires pour résoudre le problème d'optimisation ci-dessus.

multiplicateurs de Lagrange non négatifs nécessaires pour résoudre le problème d'optimisation ci-dessus. Le paramètre C mesure un compromis entre l'erreur empirique et la complexité du modèle et est généralement fixé a priori (par validation croisée, par exemple). Une généralisation non linéaire est effectuée en notant simplement que la solution résultante $f(x)$ peut être explicitement écrite en termes de produits intérieurs entre les points de données ; ces produits intérieurs sont alors remplacés par un noyau de Mercer et la solution résultante a la forme :

$$f(x) = \sum_{i=1}^l (a_i - \hat{a}_i) K(x, x_i) + b$$

.

.

CHAPITRE III

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

III Cadre géologique local de la zone d'étude

III.1 Localisation Du Champ De Rhourd Nouss

Le champ de Rhourd Nouss est Situé dans la wilaya d'illizi à 1200 km au sud-est d'Alger et à 250 km au sud-est de Hassi Messaoud, le champ de Rhourd Nouss fait partie du centre est de la plateforme saharienne avec une surface de 10 000 Km², il se trouve entre les latitudes (29°38' et 29°46') Nord et les longitudes (6°41' et 6°41') Est. [18]

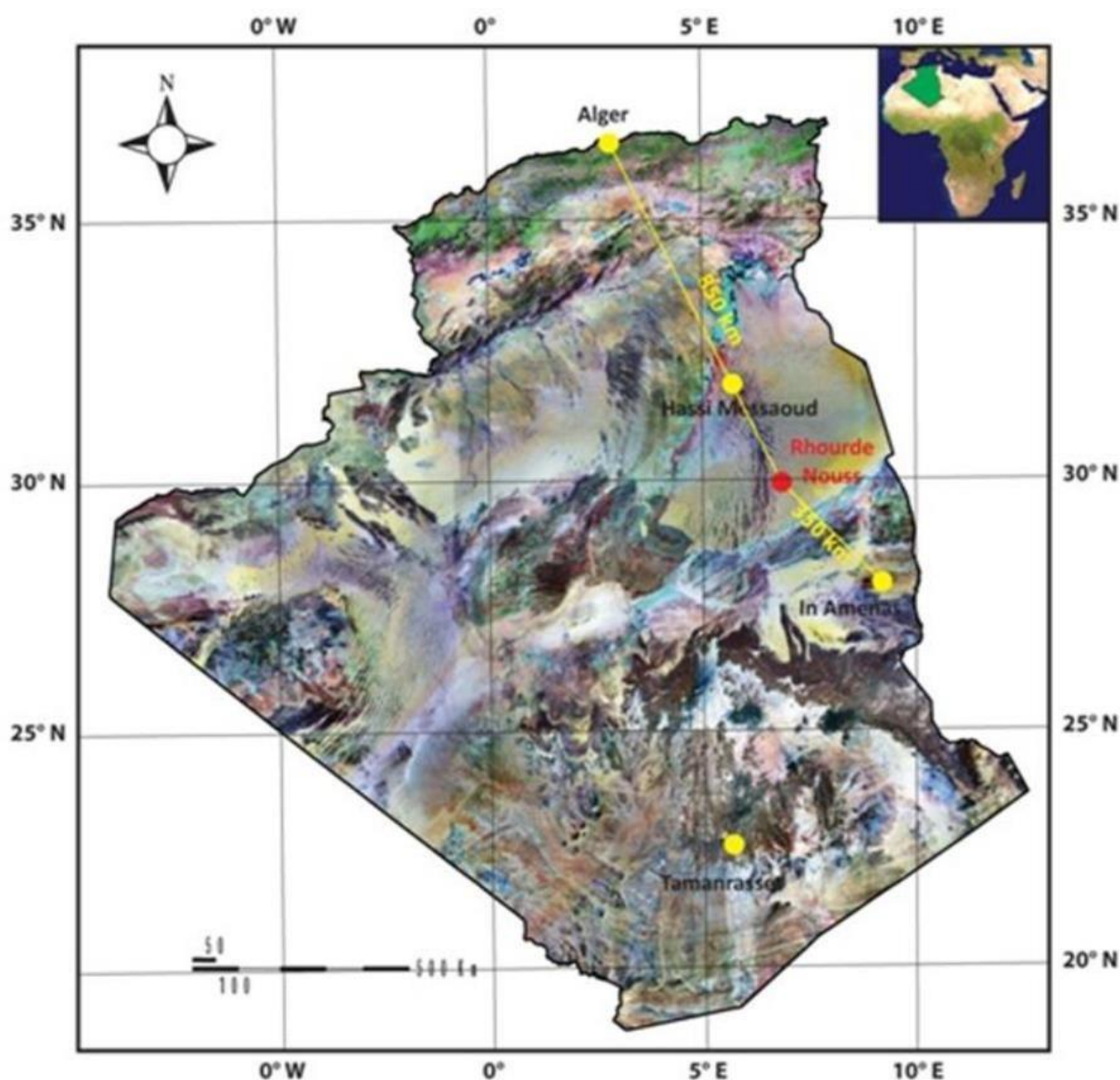


Fig. III. 1 : Situation géographique de la région de Rhourde Nouss (Document Sonatrach)

III.2 Géologie du gisement de Rhourd Nouss

La région de RhourdeNouss est située sur la bordure Sud du bassin triasique .elleest limitée par (fig. N° III.2)

- ❖ A l'Ouest, le môle d'Amguid -El Biod au niveau de la faille de Ramade. Ce môle présente une vaste unité structurale subméridienne s'étendant sur 600 km allant d'Amguid au Sud à Rhourde El Baguel au Nord .
- ❖ Au Nord - Est, par le bassin de Ghadamès vers lequel s'envoient les axes SO-NE des structures de Rhourde Hamra et de RhourdeChouff .
- ❖ Au Sud - Est ,par la partie Occidentale du môle d'Ahara . [18]

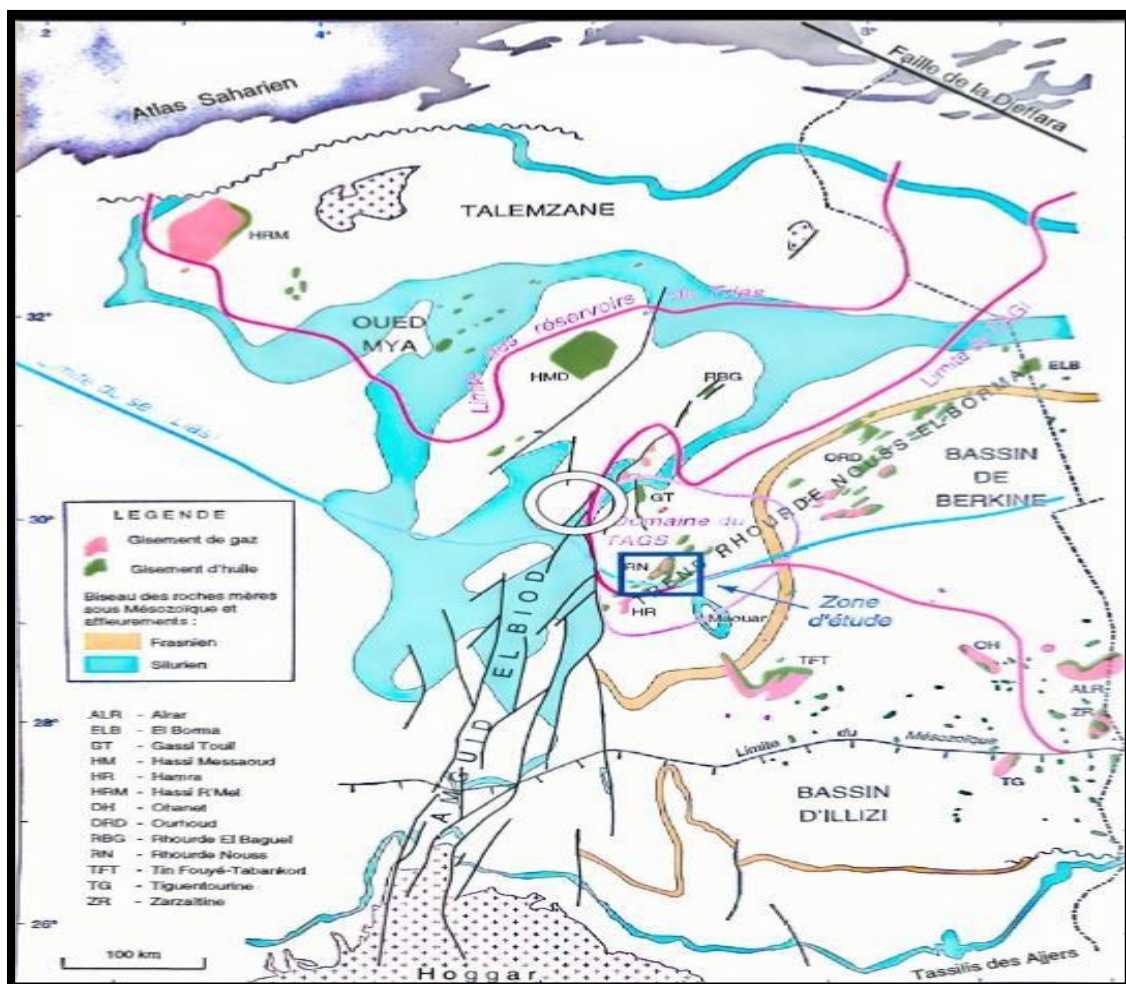


Fig. III. 2: Carte géologique et structurale de la région de Rhourde Nouss (Document Sonatrach)

III.3 Aspect Stratigraphique

La stratigraphie de la région est caractérisée par une couverture sédimentaire d'une épaisseur qui dépasse les 5230 m, représentée par les trois unités géologiques paléozoïque, mésozoïque, et cénozoïque[18]. Dont la succession verticale est interrompue par diverses discordances :

- ❖ Le Paléozoïque repose en discordance (panafricaine) sur le socle granitique.
- ❖ Le Mésozoïque repose en discordance (hercynienne) sur le Paléozoïque.
- ❖ Le sommet du crétacé inférieur (Barrémien) est affecté par la discordance autrichienne.

a. La stratigraphie locale :

Le socle :

Le socle est représenté par un complexe granitique et /ou métamorphique plissé et faillé. Il est peu connu, en raison du nombre limité de puits qui l'ont atteint.

LE PALEOZOIQUE :

• Le Paléozoïque Inférieur :

Ce Paléozoïque est situé dans un domaine Paléogéographique très subsidant au Paléozoïque Inférieur, l'épaisseur totale sous la Discordance Hercynienne est estimée à 4000 mètres dans le sillon de Marfag à l'ouest de Rhourd Nouss et ne représente que le Paléozoïque Inférieur.

Le Cambro-Ordovicien et le Silurien sont les seuls témoins de cette sédimentation dans la région de Rhourd Nouss.

• Le Cambro-Ordovicien :

Le Cambrien est représenté par les Grés de Hassi Leila.

L'Ordovicien est représenté par des faciès Argilo-Silteux qui traverse les grés de Hassi Leila et les Quartzites de Hamra, notamment les argiles marines d'el Gassi reposant sur les grés de Miribel et surmontées par les grés d'el Achène.

Les Quartzites de Hamra se sont ensuite déposés, suivies par des dépôts des Grés de Ouargla. Au-dessus de ces deux formations nous retrouvons les argiles d'Azzel, les Grés de Oued Saret, les Argiles Micro conglomératiques et la dalle de M'kratta. [18]

• **Le Silurien :**

Comme pour le Cambro-Ordovicien la région a subi une subsidence considérable, au Silurien, et la composante essentielle est le Silurien.

• **Le Paléozoïque Supérieur :**

Il n'a laissé aucune trace dans la région de Rhourde Nouss, ce qui donne un Hiatus Stratigraphique d'environ 170 millions d'années entre les dépôts Paléozoïques récents connus dans le sillon d'El Marfag et les premiers sédiments du Trias.

En conclusion, la région de Rhourd Nouss qui a connu une très forte subsidence au Paléozoïque, a été Fortement érodée à l'Hercynien ou durant le Paléozoïque Supérieur, ce qui pourrait Traduire une importante inversion tectonique de toute la région de Rhourd Nouss.

Le Mésozoïque transgressif et discordant sur le Paléozoïque inférieur est représenté par D'épais sédiments continentaux et lagunaires. Il est bien développé dans la Province Triasique. [18]

Le MESOZOÏQUE :

Le Mésozoïque est transgressif et discordant sur le Paléozoïque Inférieur, il est représenté Par d'épais sédiments continentaux et lagunaires, il est bien développé dans la Province Triasique.

a. Le Mésozoïque Inférieur :

Il repose en discordance sur le Paléozoïque Inférieur, il est représenté à la base par le Trias, qui se caractérise par une série terrigène subdivisée en trois niveaux :

- Le Trias Argilo-Gréseux-Inférieur (TAGI)
- L'Equivalent du Trias Carbonaté (TINTI/Arg. M/INTII)
- Le Trias Argilo-Gréseux-Supérieur (TAGS)

b. Le Mésozoïque Moyen :

Dans la région, il est associé aux terrains du Jurassique, qui est subdivisé en : Lias, Dogger et Malm. Il est représenté par des faciès Halogènes, Carbonatés et terrigènes.

c. Le Mésozoïque Supérieur :

Il est représenté par des sédiments continentaux à la base et des sédiments d'origine marine littorale et lagunaire dans sa partie supérieure.

LE CENOZOÏQUE

Cette série se résume au Mio-Pliocène d'âge tertiaire et se caractérise par un dépôt fluviatile argileux gréseux avec quelques passées carbonatées marquant des épisodes pédogénétiques

III.4 Aspect Pétrolier

Selon (document Sonatrach [SH-DP-RNS,1987]) le système pétrolier principal est admis comme étant lié à l'association des roches mères du Silurien basal, des pièges de forte amplitude générés par les mouvements dits autrichiens, des réservoirs du Trias et du Silurien Argilo-Gréseux et de l'excellente couverture de l'ensemble, constituée par les évaporites du Lias. Les pièges sont supposés avoir été mis en charge par des migrations latérales à longue distance provenant de l'Ouest et du Nord et possiblement, verticalement à travers les failles. Un système pétrolier secondaire est associé au réservoir profond des Quartzites de Hamra. [18]

III.4.1 Les roches mères

Le degré de potentialité permet de les classer comme suit :

a) Le Silurien

La roche mère silurienne est la plus potentielle pour tous les systèmes pétroliers de la province triasique, et, par conséquent, pour notre région d'étude.

b) L'Ordovicien

Il est considéré comme une roche mère secondaire par certains de ses niveaux argileux.

III.4.2 Les Roches Réservoirs

Dans la région de Rhourde Nouss, il existe une succession des formations réservoirs qui sont organisées dans l'ordre suivant, de bas en haut. [18]

a. L'Ordovicien

Représenté par les quartzites de Hamra qui sont constituées de quartzites et de grès quartzitiques moyens à grossiers intercalés de quelques petits niveaux d'argiles finement gréseuses vers la base dont l'épaisseur est de 250m. Sa porosité moyenne varie de 2,7 à 4,1%, sa perméabilité est en général inférieure à 0,1md et son taux de productivité est fonction de la fracturation de la présente.

b. Le Silurien

Il renferme les unités réservoirs suivantes : M1, M2, A1, A2, B1, B2 qui sont interprétées comme des dépôts de barres sableuses de la plateforme marine, elles présentent des caractéristiques moins homogènes et de bonnes qualités, la porosité varie de 8 à 13% et la perméabilité est généralement supérieure à 100md.

c. Le Trias

Il est subdivisé en trois unités réservoirs d'extension régionale, formé de bas en haut comme suit:

➤ **Le Trias argilo-gréseux inférieur (TAGI)**

C'est un réservoir à gaz riche en condensât formé essentiellement de grès fins à très fins à ciment argileux et d'argiles silteuses, son épaisseur varie de 10 à 35 m, sa porosité moyenne varie entre 8,4 et 13,7% et sa perméabilité dépasse les 10md.

➤ **Le Trias intermédiaire**

Il est subdivisé en deux niveaux réservoirs :

- Intermédiaire I.
- Intermédiaire II.

➤ **Le Trias argilo-gréseux supérieur (TAGS)**

C'est le réservoir le plus important, son épaisseur varie entre 100m et 200m, il est constitué d'une série épaisse de grès fins à grossiers avec des intercalations d'argile brun-rouge à verte tendre à induré.

Les roches couvertures :

a. Les roches couvertures régionales

➤ **Le Lias argileux et le Lias salière**

Ils constituent une excellente couche couverture (Beicip.1991) parfois son épaisseur est insuffisante à cause de rejeux des failles majeures qui les exposent à une érosion intense^[18] (phase Autrichienne) ou bien à une dissolution le long de ces failles. Ils sont considérés comme la roche couverture la plus étanche pour tous les réservoirs triasiques. :

➤ **Le Silurien argileux**

Bien qu'il soit classé comme une roche mère, il joue aussi le rôle d'une bonne roche couverture pour les réservoirs ordoviciens.

b. Les roches couvertures locales

Ce sont des couvertures intermédiaires entre les réservoirs, elles sont localement efficaces (l'Ordovicien est un gisement multicouche) mais la bonne étanchéité est assurée par la roche silurienne (Beicip.1991).

III.4.3 Les pièges

L'âge de formation des pièges est attribué à la période Trais-Lias (Beicip.1991) au cours de la phase Autrichienne, alors les hydrocarbures (huile et gaz à condensat) générés sont emprisonnés dans les pièges mentionnés ci-dessous :

A) Les pièges structuraux

Liés aux rejeux des trends structuraux régionaux, suite auxquels les structures atteignent leurs fermetures maximales.

B) pièges stratigraphiques

Liés à des biseaux stratigraphiques (le biseutage de TAGS au niveau du Maouar) et des lentilles sableuses (les réservoirs de L'INFRA-TAGS).

III.5 La Structure De Rhourd Nouss

L'historique des travaux effectués dans la région indique que cette dernière est très riche en hydrocarbures grâce aux réservoirs et aux pièges qu'elle a hérité à travers les temps géologiques. [18]

La région de Rhourde Nouss a été affectée par plusieurs phénomènes tectoniques qui ont contribué à la formation des différentes unités structurales. Elle se présente comme un anticlinal complexe d'orientation subméridienne, dont le flanc Est est recoupé par une faille inverse, cette structure serait de dimension 40 x 30 km², elle est composée de quatre structures différentes :

❖ Rhourde Nouss Centrale (RN)

Cette structure est alignée N-S et s'étend sur environ de 16 x 8 km² avec une petite structure au N-E de 4 x 2,5 km². Le réservoir contient du gaz avec un anneau d'huile d'une trentaine de mètres dans lequel on a foré 64 puits.

❖ Rhourde Nouss Sud-Ouest (RNSW)

Elle est de direction S-SO et N-NE sur une surface de 16 x 3,5 km². Le réservoir est à gaz avec un anneau d'huile d'une vingtaine de mètres, le nombre de puits forés dans le réservoir est de 17 puits.

❖ Rhourde Nouss Centrale (RN)

Cette structure est alignée N-S et s'étend sur environ de 16 x 8 km² avec une petite structure au N-E de 4 x 2,5 km². Le réservoir contient du gaz avec un anneau d'huile d'une trentaine de mètres dans lequel on a foré 64 puits.

❖ **Rhourde Nouss Sud-Ouest (RNSW)**

Elle est de direction S-SO et N-NE sur une surface de 16 x 3,5 km². Le réservoir est à gaz avec un anneau d'huile d'une vingtaine de mètres, le nombre de puits forés dans le réservoir est de 17 puits.

❖ **Rhourde-Nouss Sud-Est (RNSE)**

Cette structure est alignée N-S sur une surface de 8,5 x 4 km². Le nombre de puits forés dans le réservoir est de 18 puits, dont 11 forés dans le Trias Argilo-Gréseux Supérieur (TAGS), qui est producteur de gaz, avec un anneau d'huile d'une dizaine de mètres, et 7 forés dans le Trias Argilo-Gréseux Inférieur (TAGI), qui est producteur d'huile.

❖ **Rhourde-El-Adra (RA)**

Aligné SO-NE sur une surface de 23 x 2.5 km², le réservoir contient du gaz et le nombre de puits forés est égal à 13 puits. La structure de Rhourde Nouss est directement liée à la dorsale d'Amguid el Biod–Hassi Messaoud dont la structure complexe a été façonnée par plusieurs phases tectoniques et en particulier la phase Autrichienne.

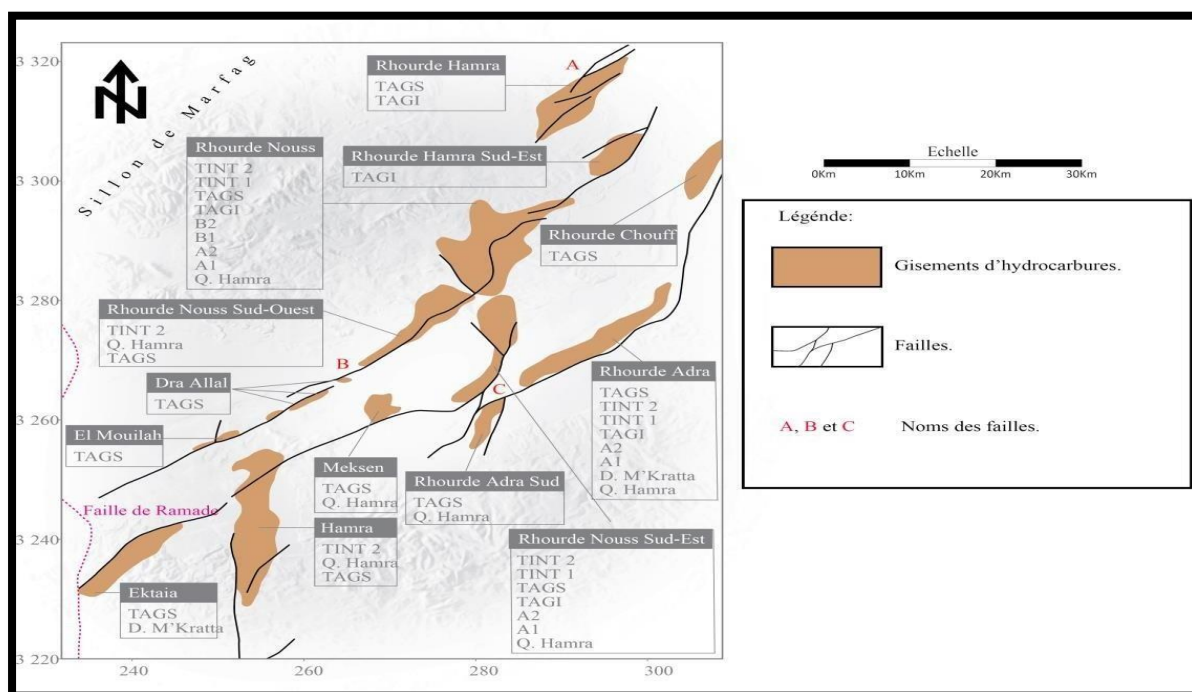


Fig. III. 3: Carte structurale de Rhourde Nouss (WEC 2007)

CHAPITRE IV

PREDICTION DE LA PERMEABILITE PAR LES (SVM)

Introduction

Dans ce chapitre, nous mettrons en application l'algorithmes de la Machine Learning (Support Vector machine) , et comparez les performance des différents types de noyau (kernel) sur les données de diagraphies pour prédire la perméabilité dans le réservoir du champ de Rhourd Nous .

IV. Logiciel utilisé

IV.1 Python

Python est un langage de script de haut niveau, interprété, interactif et orienté objet. Python est conçu pour être très lisible. Il utilise fréquemment des mots-clés anglais, alors que d'autres langues utilisent la ponctuation, et il comporte moins de constructions syntaxiques que d'autres langues.

Python est interprété - Python est traité au moment de l'exécution par l'interpréteur. Vous n'avez pas besoin de compiler votre programme avant de l'exécuter. Ceci est similaire à PERL et PHP.

Python est interactif - Vous pouvez vous asseoir à une invite Python et interagir directement avec l'interpréteur pour écrire vos programmes.

Python est un langage pour débutants et un excellent langage pour les programmeurs débutants. Il permet de développer un large éventail d'applications, du simple traitement de texte aux jeux en passant par les navigateurs WWW.[13]

IV.1.1 Pycharm

PyCharm est un environnement de développement intégré (IDE) utilisé principalement pour la programmation en Python. Développé par JetBrains, PyCharm offre une suite complète d'outils et de fonctionnalités conçus pour faciliter le processus de développement logiciel.

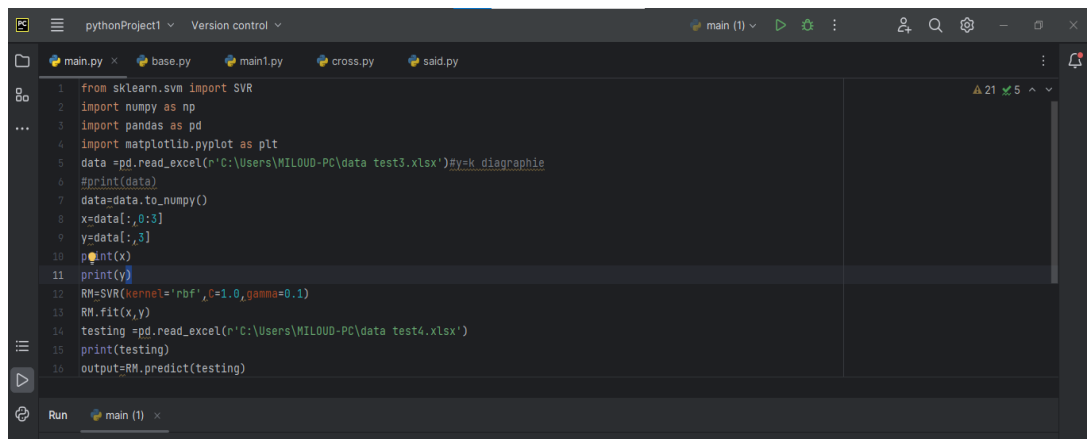
L'ide PyCharm propose une interface conviviale et intuitive qui permet aux développeurs de coder plus efficacement. Il offre des fonctionnalités telles que la coloration syntaxique, la complétion automatique du code, la vérification des erreurs et des avertissements, ainsi que des outils de débogage avancés. Ces fonctionnalités aident les développeurs à détecter les erreurs de code plus rapidement et à améliorer leur productivité.

PyCharm offre également une gestion complète des projets, ce qui facilite l'organisation et la navigation dans le code source. Il permet de gérer les dépendances, d'exécuter des tests unitaires

et de déployer des applications. L'IDE prend en charge plusieurs frameworks et bibliothèques populaires, tels que Django, Flask et NumPy, ce qui facilite le développement d'applications Web et scientifiques.

Une autre caractéristique importante de PyCharm est son intégration avec des systèmes de contrôle de version tels que Git. Les développeurs peuvent effectuer des opérations de gestion de version directement depuis l'interface de PyCharm, ce qui facilite le suivi des modifications du code et la collaboration avec d'autres membres de l'équipe.

En résumé, PyCharm est un IDE puissant et polyvalent pour le développement Python. Que vous soyez un développeur débutant ou expérimenté, PyCharm offre les outils nécessaires pour améliorer votre flux de travail et développer des applications Python de manière plus efficace. [14]

The image shows a screenshot of the PyCharm IDE interface. The main window displays a Python script with the following code:

```
1 from sklearn.svm import SVR
2 import numpy as np
3 import pandas as pd
4 import matplotlib.pyplot as plt
5 data = pd.read_excel(r'C:\Users\MILOUO-PC\data test3.xlsx')#y=k_diagraphie
6 #print(data)
7 data=data.to_numpy()
8 x=data[:,0:3]
9 y=data[:,3]
10 print(x)
11 print(y)
12 RM=SVR(kernel='rbf',C=1.0,gamma=0.1)
13 RM.fit(x,y)
14 testing =pd.read_excel(r'C:\Users\MILOUO-PC\data test4.xlsx')
15 print(testing)
16 output=RM.predict(testing)
```

The interface includes a top toolbar with icons for file operations, a search bar, and a run button. The bottom status bar shows 'Run' and 'main (1) x'.

Fig .IV.1: Interface pycharm.

IV.1.2 Bibliothèque Python

Les bibliothèques Python sont un ensemble de fonctions utiles qui éliminent la nécessité d'écrire des codes à partir de zéro. Il existe aujourd'hui plus de 137 000 bibliothèques Python.

Les bibliothèques Python jouent un rôle essentiel dans le développement d'applications d'apprentissage automatique, de science des données, de visualisation de données, de manipulation d'images et de données, etc.

Commençons par une brève introduction au langage de programmation Python, puis nous plongeons directement dans les bibliothèques Python les plus populaires. [15]

Python, c'est l'un des langages de codage les plus populaires aujourd'hui et il est largement utilisé pour plusieurs d'applications.

IV.1.3 Qu'est-ce qu'une bibliothèque ?

Une bibliothèque est une collection de codes pré-combinés qui peuvent être utilisés de manière itérative pour réduire le temps nécessaire au codage. Elles sont particulièrement utiles pour accéder aux codes pré-écrits fréquemment utilisés, au lieu de les écrire à partir de zéro à chaque fois. Comme les bibliothèques physiques, elles constituent une collection de ressources réutilisables, ce qui signifie que chaque bibliothèque a une source racine. C'est la base des nombreuses bibliothèques open-source disponibles en Python. [16]

IV.1.4 Qu'est-ce que la bibliothèque Python ?

La bibliothèque Python est une collection de modules contenant des fonctions et des classes qui peuvent être utilisées par d'autres programmes pour effectuer diverses tâches.

- Scikit-learn
- NuPIC
- Ramp
- NumPy
- Pipenv
- TensorFlow
- pandas
- PyBrain
- sklearn
- Matplotlib.pyplot

IV.1.5 Pourquoi utiliser Python ?

Python est facile à apprendre et à utiliser, Python est incroyablement facile à apprendre et à utiliser pour les débutants et les nouveaux venus dans l'industrie. Ce langage est le plus accessible de tous les langages de programmation disponibles, car il possède une syntaxe simplifiée qui n'est pas du tout compliquée et qui met davantage l'accent sur le langage naturel.

Grâce à sa facilité d'apprentissage et d'utilisation, les codes Python peuvent être écrits et exécutés beaucoup plus rapidement que les autres langages de programmation. L'une des principales raisons pour lesquelles la popularité de Python a connu une croissance exponentielle est la simplicité de sa syntaxe, qui lui permet d'être facile à lire et à développer par des professionnels amateurs. [17]

- Python est pratique pour le développement Web ;
- Le langage est largement utilisé dans la science des données ;
- Python possède de nombreuses bibliothèques et frameworks ;
- Python peut être utilisé dans les outils de ML ;
- Python pour les universitaires ;
- dispose d'une communauté d'un grand soutien
- Flexibilité et fiabilité ;
- Python automatise les tâches ;
- Le premier choix est toujours ;

IV.2 Discussion des resautes

IV.2.1 Analyses et préparation de la base de données pour la caractérisation

Un total de 1000 de mesures réelles de perméabilité (PERM CORE) qui ont été dérivées d'un puits carotté (p14) de réservoir TAGS (Rhour de Nouss), avec leurs enregistrements diagraphiques : Profondeur (DEPTH), le Temps de Transit (DT), la Densité Apparente (RHOB) et le Gamma Ray (GR).

Cette étape de prétraitements consiste à rassembler, combiner et corriger les données afin de pouvoir les analyser dans le cadre de programmes d'informatique.

IV.2.1.1 Correction de la perméabilité

La perméabilité est calculée en fonction de la porosité, basant sur une loi (PHI-K) extraites des résultats des mesures (Poro-perm) sur carottes.

$$\log(K) = 16.3304 * \Phi - 1.04594 \dots\dots\dots(IV-1)$$

IV.2.1.2 Sélection des données

Pour la base de données est subdivisée de manière aléatoire en deux parties, 70% des données sont utilisées pour la phase d'apprentissage et 30% pour le test.

IV.2.2 Téléchargement des bibliothèques et modélisation par SVR

Ces lignes importent les bibliothèques nécessaires pour effectuer la régression à vecteurs de support (SVR). La bibliothèque sklearn contient la classe SVR pour la régression, numpy est utilisé pour manipuler des tableaux multi-dimensionnels, panda est utilisé pour la manipulation des données tabulaires et Matplotlib Pyplot est utilisé pour l'affichage des données.

Les illustrations ci-dessous montrent les différentes instructions d'importation des bibliothèques et les logs utilisés pour la prédiction de la perméabilité :

1. Importation des bibliothèques

```
from sklearn.svm import SVR
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
```

Fig. IV.2 : Importation des bibliothèques.

2. Importation des données (logs diagraphies)

```
data =pd.read_excel(r'C:\Users\MILOUD-PC\data test3.xlsx')
data=data.to_numpy()
x=data.iloc[:,0:3]
y=data.iloc[:,3]
```

Fig. IV.3: Lecture des données.

Cette ligne lit les données d'un fichier Excel spécifique (data test3.xlsx) en utilisant la fonction read_excel de pandas. Les données sont enregistrées dans un objet DataFrame nommé data. Les trois premières colonnes contiennent les enregistrements diagraphiques (x), alors que la troisième colonne contient le paramètre petro-physique pour en prédire la perméabilité (y).

3. Initialisation et ajustement du modèle SVR

```
RM=SVR(kernel='rbf',C=1.0,gamma=0.1)
RM.fit(x,y)
x=data.iloc[1,0:3]
y=data.iloc[1,3]
testing =pd.read_excel(r'C:\Users\MILOUD-PC\data test4.xlsx')
output=RM.predict(testing)
```

Fig. IV.4 : Modélisation SVR.

4. Type de noyau utilisé pour la régression SVR

Ces noyaux peuvent être spécifiés en utilisant le paramètre "kernel" lors de la création de l'instance SVR dans scikit-learn.

```
from sklearn.svm import SVR
RM=SVR(kernel='rbf',C=1.0,gamma=0.1)
```

Fig. IV.5 : Spécification du noyau RBF.

Dans cette étape nous allons créer le model SVR pour la prédiction avec un noyau RBF (Radial Basis Function) et le paramètre de régularisation C de 1.0. Puis, le modèle est ajusté aux données d'entraînement (x et y).

8. Résultats du modèle après prédiction

```
output=np.array(output)
df=pd.DataFrame(output, columns=['k'])
df.to_csv(r'C:\Users\MILOUD-PC\data3.csv')
```

Fig. IV.6 : Conversion et exportation des résultats en fichier CSV.

IV.2.2.1 Présentation des résultats du modèle SVR

Pour valider les résultats obtenus, la corrélation entre la perméabilité estimée et celle obtenue par les données de carottes est présentée dans les instructions ci-après ;

```
import matplotlib.pyplot as plt

# Prédire les résultats pour les données de test
output = RM.predict(testing)

# Tracer les prédictions par rapport aux données réelles
plt.figure(figsize=(8, 6))
plt.scatter(range(len(testing)), testing, color='blue',
            label='Données réelles')
plt.plot(range(len(output)), output, color='red',
         label='Prédictions SVR')
plt.xlabel('Index des échantillons')
plt.ylabel('Valeur de la variable cible')
plt.title('Prédictions SVR')
plt.legend()
plt.show()
```

Fig. IV.7 : Présentation des résultats.

IV.2.3 Discussions des résultats obtenus

Dans le but de choisir les paramètres les mieux adaptés au noyau, plusieurs types de noyau ont été testés. Nous nous sommes basés sur des essais d'amélioration, chaque fois que nous changeons le type et les paramètres du noyau. Afin de contrôler la performance entre la perméabilité de carotte obtenue et la perméabilité estimée, afin de choisir le kernel le plus adapté à l'estimation de la perméabilité.

Quatre types de noyaux de modélisation sont mis en place. Dans le premier modèle, on construit un modèle pour déterminer la perméabilité à l'aide de la fonction de base radiale RBF, Linear, Poly, Sigmoid.

Les meilleures paramètres du model élaboré est de type SVR (C=1,0) Noyeau : RBF gamma=0.1).

Les données utilisées pour cette étude proviennent d'un réservoir TAGS. Le puits d'entraînement a un total de 2129 points de données et le puits de test à un total de 1000 données.

Les diagraphies disponibles sont les suivantes : GR (rayons gamma), DEPTH, DT (temps de parcours sonore), RHOB (densité apparente), La propriété pétrophysique à déterminer est la perméabilité (K).

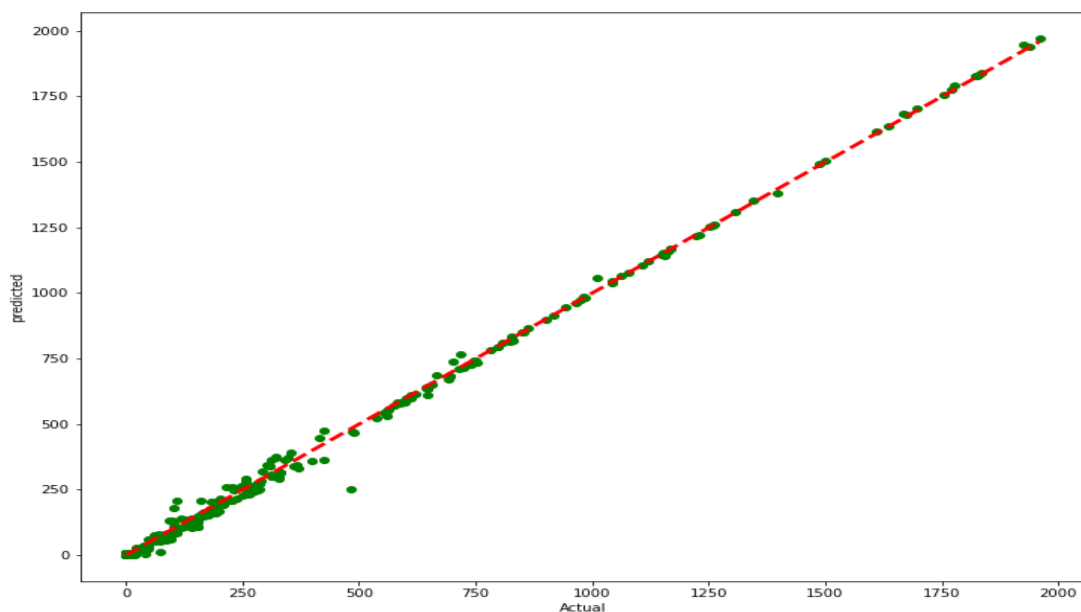


Fig. IV.8: Perméabilité carotte (réelle) par rapport à la perméabilité estimée par SVR(RBF1.0).

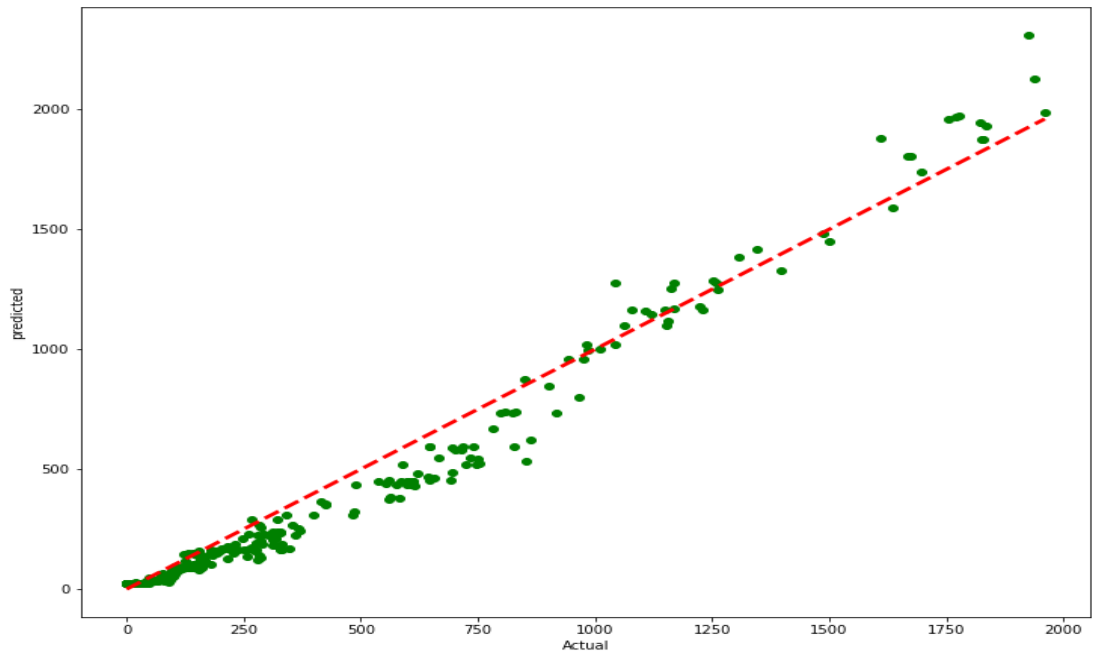


Fig. IV.9 : Perméabilité carotte (réelle) par rapport à la perméabilité estimée par SVR(linrear0.1).

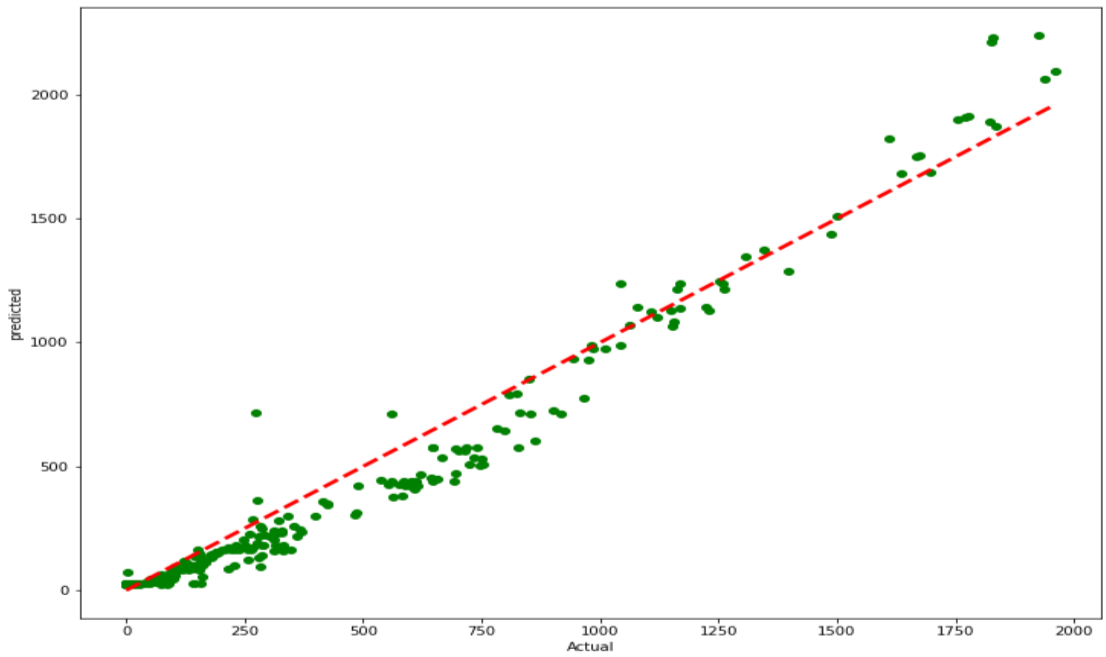


Fig IV.10: Perméabilité carotte (réelle) par rapport à la perméabilité estimée par SVR(poly3.0).

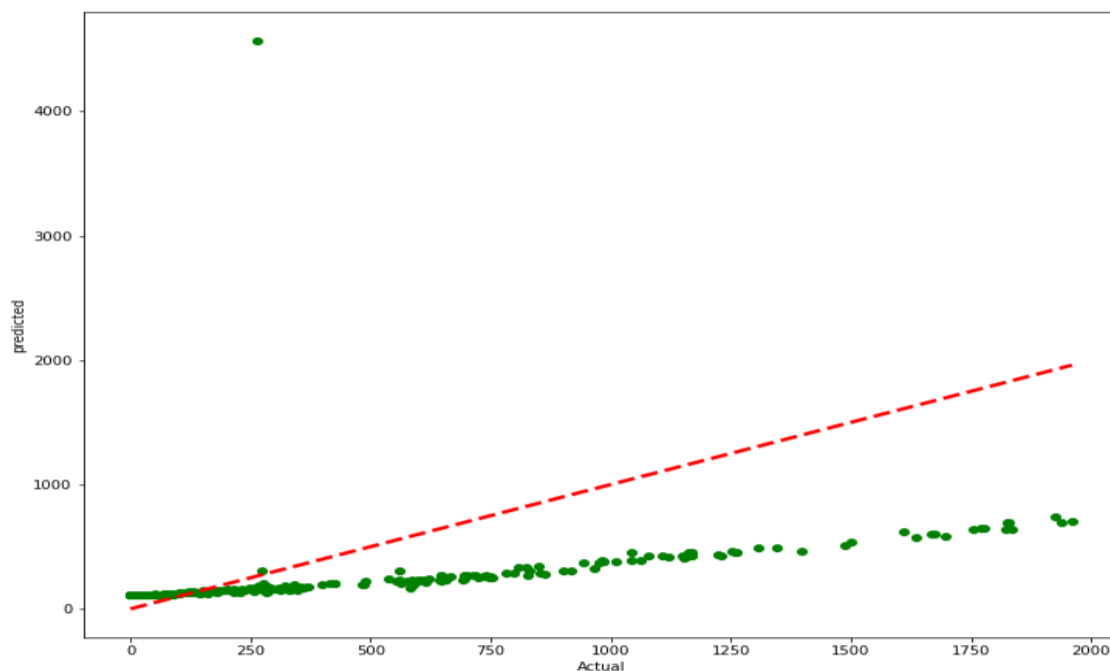


Fig. IV.11: Perméabilité carotte (réelle) par rapport à la perméabilité estimée par SVR(sigmoid0.1).

Dans nos expériences, nous avons utilisé la machine de régression SVR de la bibliothèque SKLEARN. Les paramètres de compromis dans le schéma de régression SVM étaient basés sur les valeurs par défaut recommandées. Dans le modèle suivant, nous construisons un tableau ci-dessous.

Tableau 1 - Perméabilité carotte (réelle) par rapport à la perméabilité estimée par SVR.

noyaux	K moyenne (estimée)	K (crotte)
K (RBF)	1061.072	1078.004
K (Linear)	803.241	1078.004
K (Poly)	811.102	1078.004
K (Sigmoid)	513.306	1078.004

D'après les résultats obtenus (**Fig. IV.8** et ,tableau 1) , il y a une convergence entre la perméabilité carotte et la perméabilité estimée (RBF), ce qui prouve une grande efficacité de ce noyau dans la prédiction de la perméabilité.

D'autre part et à travers les résultats (Fig. IV.9 , Fig. IV.10 , Fig. IV.11 et tableau 1) ,il y a une faible corrélation entre la perméabilité carotte et la perméabilité estimée (linear, poly ,sigmoid), ce qui prouve une faible efficacité de ces noyaux dans la prédiction de la perméabilité.

Il convient également de noter que le SVR utilisé dans cette étude n'intègre aucun processus d'optimisation pour définir le paramètre de compromis dans le schéma de régression SVR qui reflète l'équilibre entre la complexité du modèle et les erreurs empiriques.

Cette démarche est motivée par notre curiosité quant à la compétence des SVM bruts. Une optimisation de ce modèle est suggérée pour améliorer la technique, et sera poursuivie dans nos recherches ultérieures. Il est intéressant de noter que même avec les paramètres par défaut, Cela montre que le SVM pourrait être une bonne technique intelligente alternative pour la caractérisation des réservoirs.

IV.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons utilisé la caractérisation des réservoirs pétroliers par les réseaux SVR pour estimer la perméabilité dans le réservoir pour le niveau Trias Argileux Gréseux Supérieure (TAGS).

Pour estimer la perméabilité à partir de la base des données diagaphies disponible et de 1000 mesures réelles de la perméabilité qui ont été utilisées pour entraîner et tester différents noyau (kernel) . Les résultats montrent que les résultats du (RBF) donnent le meilleur corrélation entre de la perméabilité de carotte et la perméabilité estimé .

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Le réservoir TAGS du champ de Rhourd Nous représente la zone d'étude et l'objectif de cette mémoire qui focalise sur la caractérisation des paramètres pétrophysique (la perméabilité) par les SVR à partir des données diagaphies. la détermination des propriétés pétrophysique basé sur l'utilisation de SVR ont suscité beaucoup d'intérêt dans les cercles d'apprentissage automatique en raison de leur solide fondement théorique pour l'estimation et l'apprentissage prédictif à partir de données finis.

Les résultats préliminaires ont été rapportés et comparés au données carotte du puits (P14). Dans la construction des modèles de détermination, la capacité de généralisation du modèle est un facteur critique pour la précision de la prédiction. Nos résultats empiriques montrent que les SVR peuvent produire des résultats prometteurs.

Les SVR fournissent un mécanisme générique permettant d'ajuster la surface de l'hyperplan aux données par le biais d'une méthode d'échantillonnage de l'hyperplan aux données grâce à l'utilisation d'une fonction noyau. Dans cette première étude, nous avons utilisé le SVR basé sur le noyau de fonction de base radiale gaussienne généralement préféré.

Divers noyaux comme le linéaire, le polynôme ou le sigmoïde ont été utilisés pour obtenir la meilleure estimation de perméabilité. Le choix des noyaux est critique, mais elle reste ouverte car elle dépend souvent du problème et de la complexité des données.

Pour mieux prédire ses propriétés pétrophysiques. Une autre approche probable pourrait impliquer une sélection adaptative des noyaux par des moyens intelligents au cours de l'apprentissage des SVR pour la caractérisation des réservoirs et à rechercher un ensemble de conditions directrices dans lesquelles les SVR fonctionneront le mieux dans ce domaine d'application. Cela permettra d'utiliser les SVR comme méthode alternative pour la prédiction des propriétés pétro physiques, en plus des approches intelligentes existantes.

Références bibliographique

- [1] ZAHI, ABDELHAMID, and ABDELLATIF AZZABI Gestion Agricole Intelligente. *Interprétation et Analyse des Paramètres Pétrophysiques à partir des Diagraphies Différées du réservoir dévonien F6 du champ de TFT (bassin d'ILLIZI)*. Diss. 2013.
- [2] Khodja, Ali, and Mohamed Betaouaf. Interprétations et analyses des paramètres pétrophysiques à partir des diagraphies différées par l'utilisation du logiciel Techlog dans la région du Rhourde Nouss-Illizi. Diss
- [3] Lamrani, Ryma, and Naima Sam. à l'aide de Contribution à la caractérisation d'un réservoir pétrolier et estimation des réserves initialement en place diagraphies différées (cas: Bassin d'Illizi: unité IV-3 de l'Ordovicien du champ d'Amassak). Diss. Université Mouloud Mammeri, 2016
- [4] Ibsaine, Fatima. Etude du comportement pétrophysique du réservoir de la série inférieure du champ de Benkahla. Diss. 2015
- [5] Brahim, Abderrahim. Régularisation des données diagraphiques par des méthodes géométriques. Diss. 2007.
- [6] Benhamida, Mohammed Amine, and Mohamed El Amine Bekkouche. Interprétation et analyse des paramètres pétrophysiques à partir des diagraphies différées du réservoir gréseux dans les puits: HGA45, MD680, MD689, OML142.(Champ de Hassi Messaoud). Diss.
- [7] Ameer-Zaimeche, Ouafi, Et Al. "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 (2020): 103826.
- [8] Cortes, Corinna, And Vladimir Vapnik. "Support-Vector Networks." *Machine Learning* 20 (1995): 273-297
- [9] <https://www.datacamp.com/community/tutorials/svm-classification-scikit-learn-python>
- [10] Meguellati, M., And F. Djeflal. "New Dual-Dielectric Gate All Around (DDGAA) RADFET Dosimeter Design To Improve The Radiation Sensitivity." *Nuclear Instruments And Methods In Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors And Associated Equipment* 683 (2012): 24-28.
- [11] P.M. Wong, "Permeability Prediction from Well Logs Using An Improved Windowing Technique", *Journal of Petroleum Geology*,22(2), 1999, pp. 215-226
- [12] V. Vapnik, *Statistical Learning Theory*, Wiley, 1998
- [13] Martelli, Alex. *Python: en concentré*. O'Reilly Media, Inc., 2004.
- [14] Cissé, Alioune. "Conception et Implémentation d'un Système de Gestion Agricole Intelligente basé sur l'Internet des objets." (2023).
- [15] Khelil, Assia, Souheme Berrah, and Lotfi Amiar. "Reconnaissance des chiffres arabes parlés par les réseaux de neurones convolutionnels." (2022).
- [16] Deghdegh, Tarek, and Aymen Boulahdid. Investigation d'un classifieur basé sur un réseau de neurones à impulsions. Diss. Université jijel, 2021.
- [17] Pintscher, Lydia. "Libres conseils
- [18] Rapport Sonatrach-DeGolyer And MacNaughton/ June 1999 : « Report on a Reservoir Engineering Study of Certain Fields of the Rhourde Nouss Region - ALGERIA » .
- [19] (Dubois et al, 2007).
- [20] (Asoodeh & Bagheripour, 2012; Zargar et al., 2014 ; Dramsch, 2020),
- [21] (NAFTOGAZ, 2006).

Résumé

Pour mieux prédire ses propriétés pétro-physiques. Une autre approche probable pourrait impliquer une sélection adaptative des noyaux par des moyens intelligents au cours de l'apprentissage des SVR pour la caractérisation des réservoirs et à rechercher un ensemble de conditions directrices dans lesquelles les SVR fonctionneront le mieux dans ce domaine d'application. Cela permettra d'utiliser les SVR comme méthode alternative pour la prédiction des propriétés pétro physiques comme la perméabilité , en plus des approches intelligentes existantes.

Divers noyaux comme le linéaire, le polynôme ou le sigmoïde ont été utilisés pour obtenir la meilleure estimation de perméabilité. Le choix des noyaux est critique, mais elle reste ouverte car elle dépend souvent du problème et de la complexité des données.

Mots clés :

RBF, perméabilité, SVR , kernel .

Abstract

To better predict its petro physical properties. Another likely approach could involve adaptive selection of kernels by intelligent means during SVR learning for reservoir characterization, and seeking a set of guiding conditions under which SVRs will work best in this application domain. This will enable SVRs to be used as an alternative method for predicting physical petro properties such as permeability , in addition to existing intelligent approaches.

Various kernels such as linear, polynomial or sigmoid have been used to obtain the best permeability estimate. The choice of kernels is critical, but remains open-ended as it often depends on the problem and the complexity of the data.

Key words:

RBF, permeability, SVR , kernel .

المخلص

للتنبؤ بشكل أفضل بخصائصها الفيزيائية البترولية. يمكن أن يتضمن نهج آخر محتمل الاختيار التكيفي لتوصيف الخزان والبحث عن مجموعة من الظروف التوجيهية SVR للأنوية بوسائل ذكية أثناء تعلم كطريقة بديلة SVR بشكل أفضل في مجال التطبيق هذا. سيسمح هذا باستخدام SVR التي يعمل فيها للتنبؤ بالخصائص البترولية الفيزيائية مثل النفاذية، بالإضافة إلى الأساليب الذكية الحالية. تم استخدام أنوية مختلفة مثل الخطية أو متعددة الحدود أو السينية للحصول على أفضل تقدير للنفاذية. يعد اختيار النوى أمرًا بالغ الأهمية، لكنه يظل مفتوحًا لأنه غالبًا ما يعتمد على المشكلة وتعقيد البيانات.

الكلمات المفتاحية

دعم آلات ناقلات ، نفاذية ، النواة