REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

N° Série: ……. /2015

Université Kasdi Merbah Ouargla

Faculté des science d'application

Département de Génie Mécanique.

MEMOIRE

Pour obtenir le Diplôme de Magister

Spécialité: Génie pétrolier.
Option: Exploitation pétrolier.

Présenté Par :

HAMROUNI Ismail.

-THEME-

Etude technique de l'évaluation du forage Underbalance (UBD) en Algérie Champ de '' HASSI MESSAOUD ''

Soutenue le : / / 2015 devant la commission d'examen

Devant le jury composé de :

Pr. HACINI Messouad.	**Professeur**	**UKM, Ouargla**	**Président**
Dr. ZEDDOURI Aziez	**Maître de conférences**	**UKM, Ouargla**	**Encadreur**
Pr. SETTOU Noureddine	**Professeur**	**UKM, Ouargla**	**Examinateur**
Dr. DOBBI Abdelmajid	**Maître de conférences**	**UKM, Ouargla**	**Examinateur**

Année Universitaire : 2014/2015

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier en premier lieu *ALLAH* le tout puissant, pour m'avoir donné autant de courage, de patience et de volonté pour atteindre ce but.

Mes premiers remerciements vont naturellement à mon Directeur de Mémoire, Docteur ZEDDOURI Aziez, d'avoir accepté de suivre mes travaux de recherche, et pour ses conseils judicieux. J'ai également apprécié la grande liberté qu'il m'avait accordée dans la gestion de mon mémoire tout en étant très rigoureux sur le respect du programme et les délais de remise du travail.

Merci pour m'avoir supporté tout ce temps et d'en avoir fait de cette période, une période très utile et agréable pour moi.

Je tiens à remercier vivement Le Président du Jury, Professeur HACINI Messaoud, de m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider le jury de soutenance de ce mémoire et d'avoir examiné ce travail de recherche malgré ses lourdes charges.

Je remercie également les membres de jury, Professeur SETTOU Noureddine et docteur DOBBI Abdelmadjid d'avoir accepté de faire partie du jury d'évaluation de ce mémoire ainsi que pour le temps consacré à l'étude de celui-ci.

Je remercie sincèrement et profondément S. Abdeslam, B. Lamine et tout le personnel de la division forage pour leurs aides.

Enfin, que toutes les personnes ayant contribuées de près ou de loin, à la réalisation de ce travail, soient chaleureusement remerciées.

Dédicace.

Je dédie ce travail à :

Mes parents.

Mes frères et sœurs.

Mes tentes et oncle.

La famille HAMROUNI.

La famille NAADJA.

Mes amis et collègues.

ISMAIL.

Résumé :

La technique de forage en UNDERBALANCE, abrégée communément « UBD », a connu un essor fulgurant et exponentiel pendant les deux dernières décennies dans le domaine de l'industrie pétrolière.

Nous présentons dans notre travail l'évaluation des opérations du forage en UBD en mettant l'accent sur les avantages et les particularités de cette méthode et l'optimisation de la vitesse d'avancement par le choix judicieux des paramètres de forage, principalement le poids appliqué sur l'outil, la vitesse de rotation, débits d'huile et d'azote et la différence de pression entre le fond et le réservoir (drow dawn), le modèle utilisé dans l'optimisation est le modèle des réseaux de Neurone Artificiels (ANN) qui se base sur des modèles MLP,

Une application du modèle d'optimisation a été faite sur un échantillon de puits foré à HASSI MESSAOUD.

Mots clés : Forage des puits pétroliers, hydrocarbures, techniques de forage, Pétrole, optimisation des paramètres de forage, les réseaux de Neurone Artificiels (ANN).

Abstract:

The drilling technique by UNDERBALANCE, commonly abbreviated "UBD" has experienced rapid and exponential growth during the last two decades in the oil industry.

We present our work in the evaluation of drilling operations UBD, focusing on the benefits and features of this method and the optimization of rate of penetration by the judicious selection of drilling parameters, mainly the weight applied to the weight on bit, the speed of rotation, oil and nitrogen flow and the pressure difference between the bottom and the reservoir (drow dawn), the model used in the optimization is the model of neuron networks Artificial (ANN), which is based on MLP models.

An application of the optimization model was made on wells drilled at Hassi Messaoud field.

Keywords: Drilling of oil wells, hydrocarbons, drilling techniques, Oil, optimization of drilling parameters, network Artificial Neuron (ANN).

Nomenclaturs

Pf : pression de fond.

Ph : pression hydrostatique.

ΔPa : pertes de charges annulaires.

Pr: pression de refoulement.

$\mathbf{Q}_{min}$: Débit d'injection minimale (scfpm).

$\mathbf{Q}_0$: Débit d'injection à la profondeur zéro (scfpm)

H : Profondeur du trou (feet).

N : Facteur dépendant de ROP (ROP apparentes).

K : perméabilité de réservoir (md)

h : épaisseur de réservoir (ft)

$\mu =$ Viscosité (cP)

$B_0 =$ Facteur du volume de formation (bbl/sbbl)

$r_e =$ Rayon externe (du réservoir) (ft)

$r_w =$ Rayon du trou (ft)

L : Longueur de réservoir (section horizontal) (ft)

S : skin

$\Delta P_s =$ Chute de pression du au skin (psi)

Q : Débit (BOPD)

RD : Taux de rabais

N : Nombre du temps périodique

I : Temps à partir de présent

X : Valeur de la variable d'entrée,

X_{min} : Valeur minimale,

X_{max} : Valeur maximale

$\bar{X}$: Valeur de la variable normalisée.

S_j**:** Somme des poids entre les entrées

$j^{ème}$ Neurone de la couche cachée ;

X_i **:** Valeur de sortie du $i^{ème}$ neurone de couche précédente ;

W_{ij}**:** Poids synaptique du neurone *i* de la couche d'entrée au neurone *j* de la couche cachée,

b_j : Biais ou le seuil d'activation du neurone *j*.

Q_i **:** Valeur de la sortie observée;

$\widehat{Q}_i$**:** Valeur de la sortie prévue;

Q_i **:** Valeur de la moyenne des valeurs des $\widehat{Q}_i$;

N : Nombre total des données.

NPT : Temps non productif (jours)

RPM : Vitesse de rotation (tr/min)

ROP : Vitesse de d'avancement (m/h)

WOB : Poids sur l'outil (ton)

Q : Débit d'huile (l/min).

Q-N_2 : Débit d'azote.

BHCP : Pression de fond.

Draw dwon : Différance de pression entre le réservoir et la colonne.

SPP : Pression de la tété de puits.

D : Densité de la boue.

HMD : Hassi Messaoud.

Liste des figures

Figure N° I-1: le système de circulation de fluide de forage dans l'UBD et forage conventionnel. 07

Figure N° I-2: circulation des fluids en UBD…… 08

Figure N° I-3: coincement par pression Différentielle……. 09

Figure N° I-4: Variation de l'avancement…….. 09

Figure N° I-5: Intervalle de stabilité des parois……. 11

Figure N° I-6: le fluide de forage adapté pour chaque formation…….. 13

Figure N° I-7: l'augmentation de BHP pendant les connecte…… 14

Figure N° II-1: Injection par Garniture de forage ''Drill pipe''……...…. 28

Figure N° II-2: Injection par l'annulaire…… 29

Figure N° II-3: Injection par un concentrique…… 30

Figure N° II-4: Injection par dual de garniture de forage '' dual drill pipe''…… 30

Figure N° II-5: BHP en fonction de Q de circulation…… 31

Figure N° III-1: Amélioration du temps de forage Vs nombre de puits…… 37

Figure N° IV.2 : les étapes de l'analyse des données. 44

Figure N° IV-3: Schéma d'un neurone artificiel…… 50

Figure N° IV-4: Schéma d'un neurone biologique…….. 50

Figure N° IV-5: Architecture du modèle RNA à trois couches utilisée dans cette étude. 53

Figure N° V-1 : Comparaison de ROP en UBD et OBD…… 60

Figure N° V-2: Comparaison de consommation des outils de forge en UBD et OBD. 61

Figure N° V-3: production moyenne d'huile en forage UBD…… 62

Figure N° V-4: Production moyenne du gaz en forage UBD……. 63

Figure N° V-5: La Distribution de NPT en forage UBD Au champ de HMD…… 64

Figure N° V-6: Cercle présente la relation entre la ROP et paramètre de forage…… 67

Figure N° V-7: Le réseau MLP à trois couches pour les variables de la ROP…… 69

Figure N° V-8: Corrélation entre la ROP simulée (output) et mesurée (target). ……... 70

Figure N° V-9: Corrélation entre la ROP mesurée et simulée par le modèle…… 73

Liste des tableaux

Tableau N° IV-01 : les paramètres expérimentaux au cours du forage 45

Tableau N° IV -02: Apport des différents problèmes dans la durée total de NPT dela phase 6’’ 46

Tableau IV-3: Analogie entre les neurones biologiques et artificiels 50

Tableau V-1 : Matrice de corrélation 65

Tableau V-2 : Facteur de corrélation 68

Tableau V-3: Tableau de l'Erreur à l'apprentissage, la validation et la vérification 68

Tableau V-4 : L'Analyse de la Sensibilité de l’ANN les paramètres des forages 70

Tableau V-5 : les paramètres de forage des puits « sans problèmes » 72

Tableau V-6: Les écarts entre ROP mesurée et ROP simulée 73

Tableau V-7: Paramètres optimales donnés par le modèle MPL 8-6-1 pour la phase 74

Sommaire

Résume……...……...

INTRODUCTION……..……... 01

Chapitre I: Généralités sur L'UBD.

1- Introduction……..……..... 04

2- Historique de forage en UBD:……..... 04

3- Principe du forage en Underbalance :……... 05

4- Intérêt de la technique UBD:……... 05

1- Avantages de l'UBD…… 06

2- Les inconvénients de l'UBD…… 06

5- Objectives du forage en UBD:…….. 06

1- Maximiser la récupération Ultime…….. 06

2- Minimisation des Problèmes de forage:…… 08

6- Problèmes Liés à la technique UBD:…… 10

7- Causes de la non-continuité des conditions UBD…… 14

8- Conception des systèmes de forage en UBD …….. 15

9- Critères d'un puits apte a être fore en UBD…… 17

10- Critères d'un puits non apte a être fore en UBD…….. 18

11- La sécurité (HSE) :…….. 20

Chapitre II : Système de fluide forage en UBD.

1- Introduction**:**……... 22

2- Considérations générales pour la sélection d'un fluide:…… 22

3- Types de fluides utilises en UBD:…….. 24

1- Systèmes des fluides conventionnels appelés flow (live) opérations:…… 24

2- Systèmes des fluides gazéifiés:…….. 24

3- Systèmes utilisant la mousse:…… 25

4- Système utilisant le mist:…….. 26

5- Opérations à l'air:…….. 26

4- Systèmes d'injection:…….. 27
1- Injection par Drill pipe:…….. 27
2- Injection par l'annulaire:…… 28
3- Injection par un concentrique:…… 29
4- Injection par dual drill pipe :……... 30
5- Débit de circulation optimum: …… 31
6- Nettoyage du trou: …….. 31
7- Considérations de well control en UBD:…… 33

Chapitre III : Etude économique du forage UBD.

1- Généralité :…… 35
2- Sources de profits :…… 35
3- Coûts de l'UBD :…….. 35
1- Facteur Site :…… 36
2- Complexité du projet :……... 36
3- L'impacte du nombre de puits sur le coût :……... 36
4- Réduction du coût :…… 37
1- Réduction du coût de forage :……... 37
2- Réduction de l'endommagement de la formation :……... 39
3- Estimation de la production :…… 39
5- Analyse économique d'un candidat pour l'UBD :…… 41

Chapitre IV : Les Outils et le Plan d'Analyse.

1- Introduction : ……... 43
2- L'objectif de l'étude:……... 43
3- Le plan d'analyse :…… 44
3-1 Analyse des paramètres de forage pétrolier :……... 44
3-2 Etude statistique: 46
3-3 Les Outils d'Analyse et de modélisation :…… 47
3-3-1 Les Matrices de Corrélation ……. 47
3-3-1 Les Techniques d'Exploration Multivariée :…… 48
4- Les Réseaux de Neurones Artificiels (ANN) :…… 49
4-1 Présentation de la méthode neuronale :…… 49
4-2 Connections entre les neurones :……... 49
5- Perceptron Multicouche (PMC) :…… 51

6- Application du modele de RNA (Ou ANN) :……... 52
6-1 Architecture du réseau ANN:…… 52
6-2 Le Calage du Modèle :…….. 53
6-3 Critère de Performance du Modèle :……. 54
6-4 Détermination des Entrées du Model :…….. 55
7- Le Logiciel utilisé:……... 55
8- Conclusions:……. 56

Chapitre V : optimisation des paramètres du forage a HMD.

1- Introduction: …….. 58
2- But de cette étude:…… 58
3- Le forage de l'UBD en ALGERIE :……... 59
4- Pourquoi le forage en UBD dans le champ de HASSI MESSAOUD:……... 59
1-Vitesse de pénétration ROP :…… 60
2-Consommation d'outils (OBD-UBD) :……... 61
3-Résultats de production :…….. 62
1-Production moyenne d'huile :…….. 62
2-Production moyenne de Gaz :…….. 63
5- L'objectif de cette étude:…… 63
6- Les Outils de modélisation:…… 64
7- Application du modèle de RNA (ou ANN):……... 64
8- Les Matrices de Corrélation :…… 65
9- Optimisation du paramètre de forage…….. 65
9-1 L'Analyse en Composantes Principales (ACP) de ROP :…… 67
9-2 Traitement de donne avec le ANN: . …….. 68
9-3 Corrélation entre les ROP simulées et mesurées : ……..……..…….. 70
9-4 Analyse et interprétation : 71
9-4 Modèles de calcul de la vitesse de pénétration ROP:…… 72
10- Conclusion :……..... 74
Conclusion générale…… 77
Références bibliographiques…… 80
Annexes……..... 83

Introduction

INTRODUCTION

La finalité d'un forage est d'atteindre, l'objectif, qui est le réservoir, avec un prix de revient minimum, sans l'endommager ni compromettre son exploitation (production, injection).

Cependant, plusieurs techniques ainsi que plusieurs équipements ont été développés selon les besoins et les difficultés rencontrées durant le forage.

Toute perte de temps augmente le coût de forage. Celle-ci est générée la plupart du temps par trois causes principales :

- la nature des terrains traversés ;
- l'état des équipements utilisés ;
- la formation du personnel.

Parmi les problèmes majeurs qui constituent un grand obstacle pour la poursuite du forage, dans le champ de "Hassi Messaoud", c'est celui des coincements au niveau du CAMBRIAN conduit à une perte en temps et en argent considérable.

Par ailleurs, lorsque ces difficultés sont constatées, il faut établir un diagnostic, dont la résolution repose sur la précision et l'exactitude, et une interprétation erronée des symptômes peuvent amener à une aggravation de la situation.

Parmi les solutions entreprises par SONATRACH le forage en UBD qui en constitue une alternative qui permet de gagner beaucoup de temps (diminue le temps non productif). Malgré ça, cette méthode de forage présente tant d'avantages que d'inconvénients.

L'objectif de notre étude est d'examiner l'expérience de SONATRACH de l'emploi des forages en UBD et de tirer les points positifs, et essayer de trouver des solutions pour les points négatifs.

Ce travail est structuré en 05 chapitres :

Le chapitre 1 : est une synthèse bibliographique rassemblant toutes les informations relatives au forage en underbalance. En commençant par donner le principe, les outils, les méthodes, les fluides utilisés, les avantages et les inconvénients, le coût …etc.

Le chapitre 2 : est consacré au choix du fluide utilisé en UBD. Cet élément est essentiel pour assurer le succès de l'opération du forage. Dans cette partie, on a ratissé large sur les différents systèmes de fluides utilisés.

Le chapitre 3 : est proposé pour une estimation des différents coûts de l'opération de forage en UBD. Puisque ce dernier engendre des coûts additionnels comme l'engineering et la location du matériel, le gain du à cette technologie doit compenser les dépenses en plus.

Le chapitre 4 : porte sur les outils et le plan d'analyse des données des différentes mesures sur les paramètres intervenant dans la détermination du temps non productifs. Les outils statistiques utilisés sont les analyses en composantes principales, la matrice de corrélation et les réseaux de neurones.

Le chapitre 5 : examine l'optimisation des paramètres de forage. Ces derniers si leur choix est non judicieux, ou plus simplement non précis, entraînent une augmentation du coût de forage, qui en absolue, représente un prix important. C'est donc dans le but de réduire les dépenses correspondantes par un choix optimal des paramètres, que cette étude a été entreprise. Cependant pour parvenir à cette fin, il est nécessaire de réaliser une étape intermédiaire

La conclusion a porté sur les avantages du forage en underbalance et les résultats de la modélisation par les réseaux de neurones qui a montré la liaison entre la vitesse d'avancement et les différents paramètres de forage.

Chapitre I

Généralités sur le forage en UBD

1- Introduction :

Le forage en overbalance (OBD) également connu sous le nom de forage conventionnel est réalisé avec un fluide de forage exerçant une pression hydrostatique (Ph) supérieure à la pression de gisement (Pg).

Le forage en underbalance (UBD) est réalisé avec un fluide de forage exerçant une pression hydrostatique (Ph) inférieure à la pression de gisement.

Si la différence de pression entre la pression de fond et la pression de gisement (Δp) ainsi que la perméabilité sont suffisantes, les fluides de formation entrent dans le puits. Par conséquent, des équipements spéciaux devront être prévus pour l'acheminement et la séparation de la production en surface.

Le forage conventionnel est la méthode la plus sûre pour forer un puits, elle a cependant, des inconvénients.

Puisque, la pression hydrostatique exercée par le fluide de forage est plus grande que la pression de pore, le filtrat envahi les pores de la roche réservoir endommageant ainsi la perméabilité.

Le forage en underbalance (UBD) constitue donc une solution à ce problème.

2- Historique de forage en UBD:

Le concept du forage avec un fluide, dont la pression de circulation est inférieure à celle de réservoir a été fait breveter la première fois aux Etats-Unis en 1866. Les premières applications utilisaient l'air comprimé pour forer le trou. L'évolution de la technologie au cours des années, permet d'introduire d'autres fluides tels que la mousse et le fluide aéré (gazéifié) pour des conditions de forage spécifiques.

La technique appelée " flow drilling " a été développée la première fois au Sud de Texas, puis elle est devenue mondiale avec des exploits au Canada, en Australie et en Chine. Elle a été principalement utilisée pour le développement des champs à pression épuisée.

Pendant les années 90, l'UBD avait été appliqué avec succès dans des opérations de forage en offshore et à travers l'Europe.

Les premières techniques ont été développées par Angel (1957) et, Moore et Cole (1965) essaient de prévoir le volume d'air ou de gaz nécessaire pour un nettoyage efficace du trou foré. Il y avait également plusieurs tentatives éditées dans la littérature pour

développer une procédure systématique de conception basée sur l'estimation des paramètres hydrauliques de forage en Underbalance dans des applications de forage.

Actuellement, underbalanced drilling est le développement le plus passionnant dans le secteur de forage. En même temps que la technique de forage horizontal et multilatéral, il tient la valeur énorme pour forer des puits plus rentables [01].

3- Principe du forage en Underbalance :

Le principe du forage en underbalance consiste à maintenir la pression de fond inférieure à celle du réservoir selon une Δp (draw down) désirée et ce durant toute l'opération de forage et en cours des manœuvres.

On définit le draw down est la différence entre la pression du gisement et la pression au fond du puits, exprimé en pourcentage par rapport à la pression de gisement [02].

$$(P_g-P_f)*100/P_g \qquad \textbf{(1)}$$

On doit pouvoir établir la pression de fond ($P_f=P_h+\Delta P_a$) en conditions de production ou sans production .Dans le cas de la production on doit connaître le débit de la couche productrice.

Tel que :

Pf : la pression de fond.

Ph : la pression hydrostatique.

ΔPa : les pertes de charges annulaires.

4- Intérêt de la technique UBD:

L'expérience a montré que le forage en underbalance est plus adapté que l'overbalance pour le forage des réservoirs d'huiles. Et parfois nécessaire pour forer des réservoirs déplétés (à faible pression). Si la réalisation de l'opération UBD exige des coûts additionnels plus élevés, UBD est rentable par rapport à la technique conventionnelle. Pour deux raisons [02].

- Maximiser la production.
- Minimiser les problèmes de forage.

Ces deux catégories sont la principale raison des opérations en UBD.

Il y a aussi d'autre avantages et inconvénients lies à un forage en UBD, qui peuvent être résumé comme suit:

Avantage:

1. Augmentation du taux de pénétration.
2. Réduction de l'endommagement de la formation.
3. Élimination de coincement différentielle.
4. Elimination du risque de perte de circulation
5. Diminution de poids sur l'outil.
6. Amélioration de la durée de vie de l'outil
7. Réduction de la taille des cutting d'ou l'effet sur le nettoyage du puits.
8. Acquisition des données de réservoir en temps réel

Inconvenants:

1. Stabilité des parois
2. Consolidation des parois
3. Augmentation coûte de forage selon le système utilisé.
4. Compatibilité avec MWD.
5. Drainage par gravité dans les puits horizontaux.
6. Possibilité d'endommagement mécanique sur les parois.
7. Discontinuité dans les conditions de l'underbalance
8. Augmentation de poids de la garniture du au facteur flottabilité.
9. Augmentation du torque et des frictions (tirage).

5- Objectives du forage en UBD:

Les deux principaux objectifs de l'UBD peuvent être subdivisés comme suit [02]:

5-1 Maximiser la récupération Ultime:

5-1-1 Réduction ou élimination de l'endommagement de la formation:

La productivité des puits est généralement réduite par l'action de la perméabilité abîmée, adjacente aux abords de puits.

L'endommagement de formation peut avoir lieu lorsque le liquide, les solides, ou bien les deux ; entre dans la formation, pendant le forage. Si la pression de fluide de forage est

plus élevée que la pression de formation, La force motrice générée par cette différence de pression cause la pénétration du fluide de forage dans le réservoir.

L'UBD ne va pas entièrement éviter la possibilité d'endommagement de la formation.

Dans quelques circonstances, la différence des potentiels chimiques entre le fluide de forage et le fluide de gisement, peut provoquer le filtrat qui entre dans la formation même en présence d'un gradient de pression qui favorise l'écoulement de fluide de gisement vers le fond du puits.

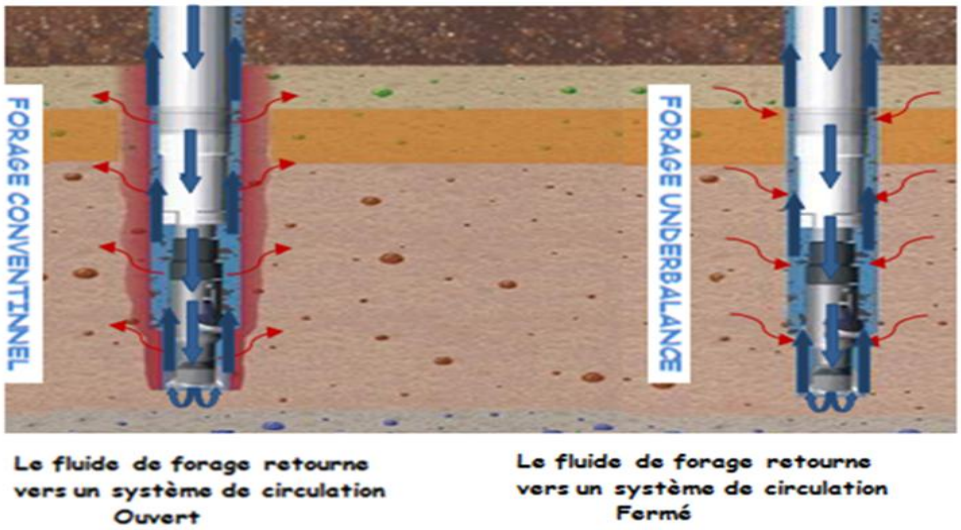

Figure N° I-1: le système de circulation de fluide de forage dans l'UBD et forage conventionnel [01].

5-1-2 Anticipation sur la production:

Pendant le forage dans une zone de production, le puits débite même pendant les manœuvres. Le profit engendré peut être très significatif, voir même l'éventualité de couvrir le coût de forage de puits.

5-1-3 Elimination de la stimulation et DST:

L'un des plus grands avantages de l'UBD est que l'endommagement de la formation est réduit voir éliminé. Ceci va réduire ou éliminé le besoin de stimulé le puits, La stimulation peut Inclure l'acidification ou traitement de surface, pour enlever l'endommagement de la formation ; ou bien la fracturation hydraulique qui peut être programmée pour garantir une production adéquate à travers une faible perméabilité du réservoir, D'où la réduction du coût total (service de stimulation, Réquisition du rig).

En addition le forage en UBD permet l'analyse continuelle de la production pendant les opérations. D'où l'élimination du DST.

5-1-4 Produire des zones marginalisées:

Après un forage d'un puits, on doit l'évaluer et déterminer s'il contient d'hydrocarbure d'une manière exploitable. Pour cela on utilise des logs. Dans un forage conventionnel, la possibilité d'identifier et d'évaluer une zone est inexistante, la raison est que le fluide de forage exerce une pression sur la formation toute en rinçant le puits bore avec le fluide perte. Ceci va avoir un impact sur la lecture du log d'où une analyse erroné et finalement on augmente le coût du puits toute en perdant une zone apte à produire.

5-2 Minimisation des Problèmes de forage:

5-2-1 Diminution des pertes de circulation:

Elle est définie comme une perte de boue en quantité dans la formation. Cette dernière se produit lorsque la pression hydrostatique du fluide de forage excède la pression de fracturation de la formation.

L'UBD est appliqué pour le forage des réservoirs sévèrement déplétés ou des réservoirs à faibles pressions de gisement où le risque de perte est majeur avec la méthode du forage conventionnel.

Donc si les conditions de l'UBD sont maintenues les pertes de circulation sont minimisées ou éliminées.

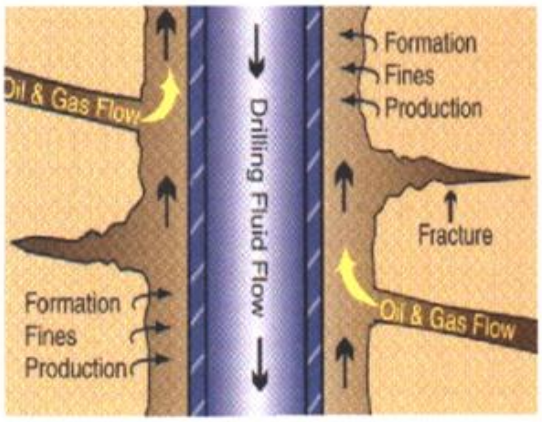

Fig. 10 : circulation des fluides en UBD

Figure N° I-2: circulation des fluids en UBD [01].

5-2-2 Diminution de la probabilité de coincement différentiel:

Lorsque la garniture de forage en OBD entre en contact avec les parois du trou en face d'une zone perméable, le cake déposé crée une différence de pression entre la formation et la garniture de forage. Ceci induit un coincement ou un collage de la garniture de forage par pression différentielle.

Dans le cas du forage en UBD en l'absence de pression différentielle et de cake,

il est impossible d'avoir un coincement par pression différentielle même si la formation est poreuse et perméable.

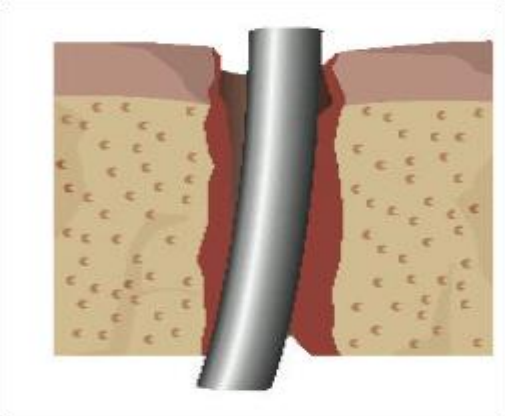

Figure N° I-3: coincement par pression Différentielle [01].

5-2-3 Augmentation des vitesses d'avancement due à :

L'allégement de la pression hydrostatique sur la formation a un effet considérable sur le ROP. Le taux de pénétration ainsi augmenté, ajouté à l'amélioration dans le nettoyage du trou ont un effet positif sur la durée de vie de l'outil.

Dans les puits forés en underbalance, des sections entières ont été forées avec un seul outil, hors d'habitude dans les forages conventionnels, ont utilisé de 3 à 4 outils pour les mêmes sections.

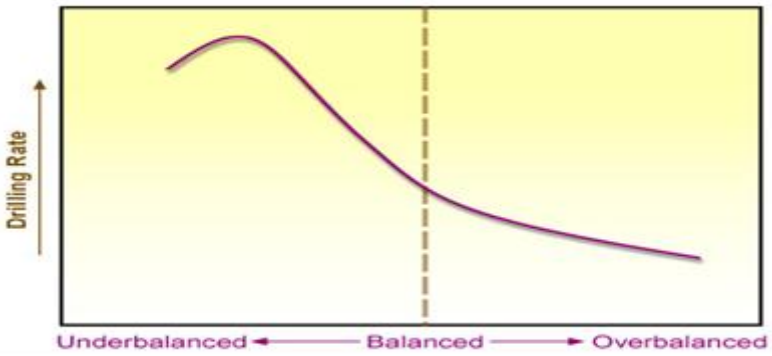

Figure N° I-4: Variation de l'avancement [02].

5-2-4 Augmentation de la durée de vie des outils de forage

Une quantité considérable de chaleur est produite par le frottement de l'outil lorsqu'il entre en contact avec la formation. Le fluide de forage transmit cette chaleur loin de ces emplacements de frottement par la convection. Il convient de noter que les solides dans le fluide de forage contribuent à créer une chaleur supplémentaire en plus celle produite par l'outil.

En employant UBD les frottements sont minimisés :

- l'absence de forces additionnelles tenant la formation en place ;
- fraction solide est maintenue à une valeur minimale.

Afin d'obtenir la condition optimale de ROP, l'UBD exige moins d'efforts sur l'outil et réduit la charge sur les cutters et les roulements d'où une augmentation de la durée de vie de l'outil.

5-2-5 Diminution du temps de réalisation:

Pendant le forage en OBD, plusieurs problèmes surviennent et par conséquence augmente le temps de réalisation du puits d'où des coûts supplémentaires non programmés, augmentant le coût global de ce dernier.

UBD ces problèmes sont réduits ou éliminés d'où un gain de temps de forage considérable.

5-2-6 Réduction de l'ECD (Equivalent CirculatingDensity):

Le forage de longues sections horizontales amplifie les frictions dans l'annulaire. Ces frictions agissent sur la pression de fond et augmente la pression exercé sur la formation, d'où une diminution de taux de pénétration et augmente le risque des pertes.

Le forage en underbalance fournit une opportunité de réduction des pertes de charge dans l'annulaire en permettant à l'énergie de réservoir de pousser des fluides hors du trou.

6- Problèmes Liés à la technique UBD:

6-1 Instabilité du trou:

Comme dans le forage conventionnel l'instabilité du trou peut survenir des phénomènes mécaniques ou chimiques. Ceux-ci peuvent s'accentuer par le forage en UBD. Quelque soit le mécanisme, l'instabilité du trou peut induire le coincement de la garniture au fond.

Si les fragments des roches sont trop grands pour que le fluide puisse les soulever du trou, ils tombent et s'accumulent et puis causant le coincement de la garniture.

Dans le forage en OBD, l'excès de pression de fond par rapport à la pression de formation fournit quelque degré de support aux abords du puits, contrairement en UBD ce support est absent. Au fur est à mesure que le draw down augmente, la tendance de l'instabilité du trou augmente. Cela met une limite inférieure de la pression de fond, au-dessous de laquelle il est impossible de forer efficacement. Cette limitation de la pression de l'underbalance est principalement influencée par [02]:

- les contraintes in situ;
- la dureté des formations;
- la pression actuelle du réservoir.

En général, pour travailler dans de bonnes conditions UBD, les formations dures et consolidées ont des forces suffisantes pour autoriser d'être forées avec l'air sec sans avoir de problème d'instabilités du trou.

Si le profil du puits traverse des terrains durs, le cas des terrains gréseux avec une certaine contenance en argile cela conduit un draw down admissible plus grand.

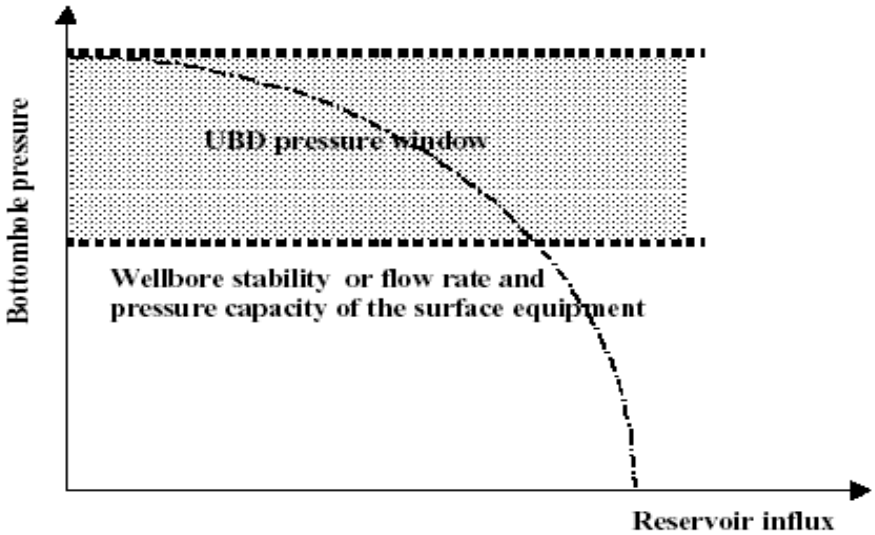

Figure N° I-5: Intervalle de stabilité des parois [02].

6-2 Venue d'eau de formation :

Les venues d'eau de formation limitent le forage en UBD. En forant avec du gaz, cette eau peut humidifier les déblais au fond, les coller les uns aux autres puis les accumuler sur la garniture de forage et sur les abords du puits, se produit très fréquemment au sommet de masses tiges, d'où une restriction du diamètre, traînant à une baisse soudaine de la vitesse d'écoulement dans l'espace annulaire.

Cette accumulation des sédiments appelée ‘’Mud Ring’’ ou bague de boue peut s’agrandir et coincer la garniture de forage ; et pour remédier à ce problème on procède de la manière suivante :

- Injecter de l’eau avec le fluide en circulation contrôlant ainsi la saturation des déblais et les empêchant de se coller les uns aux autres ;
- Changer le fluide de forage du gaz sec au mist lorsque le premier apport se produit.
- Freiner la percée d’eau en pompant des colmatant qui pénètrent dans la formation pour former des barrières.

6-3 Les équipements directionnels de forages :

Pendant le forage, le trou doit être fréquemment vérifié, en particulier dans le cas des puits horizontaux.

Conventionnellement, les mesures se font par la télémétrie de la pulsation dans la boue par le MWD qui nécessite un milieu incompressible et monophasique. Les fluides de forage utilisés en UBD étant compressibles, l’intensité des pulses qui sont produites ne se propage pas à la surface avec une amplitude suffisante pour les détecter. Pour cela on utilise le EM MWD électromagnétique qui envoie les signaux via la surface mais présentant l’inconvénient d’être très cher.

Actuellement, les puits forés par la division production utilisent le premier système mais il présente toujours des problèmes de transmissions en utilisant le brut avec un pourcentage de nitrogène ne dépassant pas les 20%.

6-4 La production excessive d’hydrocarbure :

En réalité les problèmes de contrôles des puits ne sont pas considérés comme limitation au forage en UBD, mais il faut prévoir des équipements de surface capable de supporter le débit maximal de production sans risque et capable aussi de supporter la pression maximale en surface. Si les débits de productions excessifs sont rencontrés alternativement on peut soit :

- Connecter au réseau de production ;
- Convertir le forage à l’overbalance.

6-5 Le choix du fluide de forage:

Chaque roche a des caractéristiques physiques qui exige le type de fluide à utiliser. La fig. 5 montre les différents types de fluides convenables à chaque type de formations.

Exemple : le forage d'une roche dure (cas du réservoir de Hassi Messaoud) en UBD utilise le brut et le nitrogène mais par exemple le type mousse ne sera pas efficace.

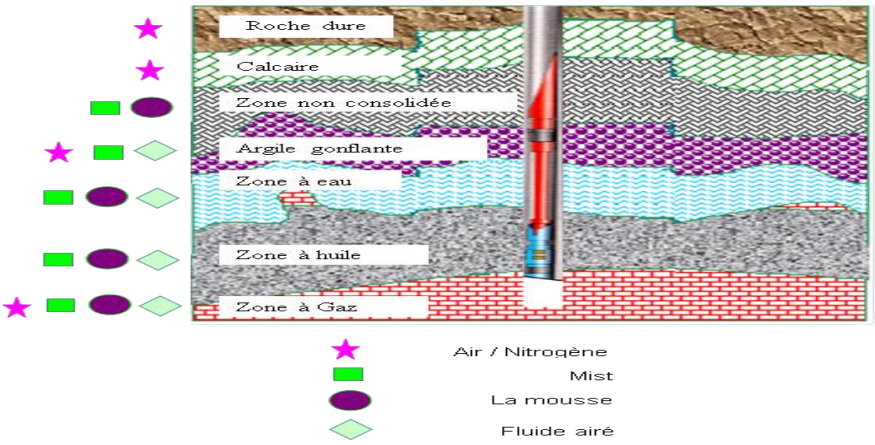

Figure N° I-6: le fluide de forage adapté pour chaque formation [01].

Donc chaque fluide a des caractéristiques chimique et mécanique qui sont convenable pour certaines roches.

6-6 Problème de corrosion:

Le facteur majeur de la corrosion dans l'UBD est la présence d'oxygène. Pour éviter ce problème, il y a toujours des améliorations sur l'unité de nitrogène et cela grâce au système d'azote à membrane produisant un gaz inerte avec une concentration d'oxygène de 3% à 12% avec un équilibre de nitrogène.

6-7 Risque d'incendie au fond du puits:

Pendant le forage en undebalance, lorsqu'on injecte de l'azote dans le puits, on risque de dépasser le pourcentage d'oxygène admissible qui est de 12%, dans ce cas on risque de provoquer une explosion au fond du puits.

Ce pourcentage d'oxygène dépend de la pression de refoulement selon la formule suivante :

$$\%O2=13.39-\log (P)$$

Avec P_r: la pression de refoulement.

7- Causes de la non-continuité des conditions UBD:

L'importance de maintenir la continuité des conditions d'underbalance dépend de la motivation fondamentale pour le forage en underbalance dans le réservoir donné [02].

1. La minimisation des problèmes de forage.
2. La réduction dans l'endommagement de la formation.

Si les conditions d'underbalance sont compromises pendant les opérations du forage, une invasion rapide du fluide de forage dans la formation peut se produire, même pendant une brève période de basculement en Overbalance**.**

7-1 Augmentation de densité:

Pendant les opérations du forage, la densité de la boue augmente souvent dû à l'action d'alésage et du forage sur la formation et l'incapacité des centrifugeuses d'assurer un rendement adéquat.

7-2 Connections:

Les connections représentent l'une des plus grandes raison d'oscillations de la pression au fond, qui peut être évité par

1. Connections rapides
2. Diminution des périodes de purges
3. Maintien d'un certain écoulement dans les annulaires pendant les connections

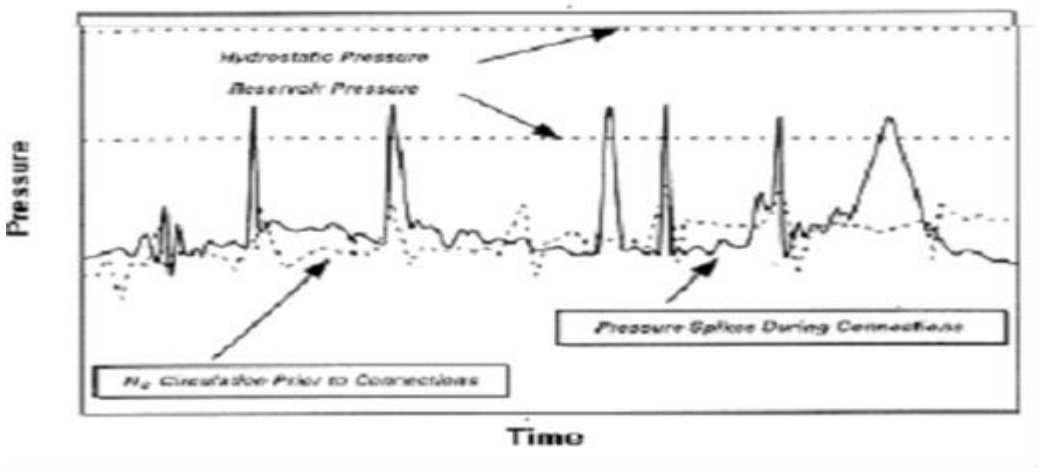

Figure N° I-7: l'augmentation de BHP pendant les connecte [02].

7-3 MWD:

Le gaz ne peut pas être présent à l'intérieure de la garniture durant une prise de aperçu. Cela engendre des oscillations périodiques des pressions hydrostatiques appliquées sur la formation**.**

7-4 Manœuvre et neutralisation de puits:

Pour les opérations qui nécessitent la neutralisation du puits, l'efficacité de l'UBO peut être compromise. En général, l'utilisation d'une PPM (pull push machine) est fortement recommandée.

7-5 Dispersion des cutting et le nettoyage de trou:

La majorité des forages en underbalance utilise des fluides à basse viscosité pour la transportation des débris en surface. La mauvaise centralisation des tiges aggravée par des cavages peuvent engendrés un mauvais nettoyage, d'ou la perte des conditions d'underbalance.

8- Conception des systèmes de forage en UBD :

Différentes méthodes et systèmes ont été élaborés pour forer dans les conditions underbalanced, ces systèmes sont résumés comme suit :

8-1 Garniture de forage conventionnelle :

La majorité des forages underbalanced sont exécutés en utilisant une garniture de forage conventionnelle. L'avantage principal du système de forage conventionnel est la familiarité des équipes de forage avec les équipements du forage conventionnel, le poids disponible sur l'outil, la capacité de pomper des volumes plus élevés de liquide et de gaz ainsi que la possibilité d'utiliser ce même système pour le forage et la complétion du puits foré.

Les désavantages liés à l'utilisation de la garniture conventionnelle pour le forage en underbalanced est la fluctuation de la pression du trou provoquée par les raccordements, la limitation des équipements, l'impact néfaste pour les équipements de fonds tel que le moteur de fonds et le MWD.

Bien que la garniture de forage conventionnel ne soit pas vraiment la méthode optimale pour le forage underbalanced, des méthodes et des techniques nouvellement élaborés ont

été mises en œuvre pour maintenir les avantages liés au forage conventionnel et les appliquer au forage en underbalanced.

Les plates-formes de forage conventionnelles exigent un BOP rotatif qui est placé au dessus du BOP conventionnel de la tête du puits.

8-2 Coil tubing :

Le coil tubing est une méthode idéale pour la réalisation d'un forage underbalanced. Un équipement conventionnel de coiled tubing est installé comme système annulaire fermé, éliminant ainsi le besoin de tête de contrôle de pression.

Le coil tubing est bien adapté pour la réalisation d'un forage en underbalanced. Il n'y a aucun raccordement (connexion) éliminant ainsi les fluctuations de pression au fond du trou. En outre le coil tubing est conçu pour laisser le puits débiter sans interruption tout en forant et tout ça grâce à l'élimination des fluctuations de pression au fond du trou.

Les inconvénients du système de forage en coil tubing est la limitation du poids sur l'outil, la limite du diamètre du trou qui est petit par rapport à la méthode conventionnelle, limitation de la profondeur forée et son extension.

Le coil tubing a été utilisé intensivement pour réaliser des forages underbalanced au Canada. Dans certains cas, les premières sections du trou sont forées avec un équipement conventionnel et l'équipement de coil tubing est ensuite utilisé pour forer la section de production en underbalanced.

Dans beaucoup d'opérations, le coil tubing n'est pas employé comme deuxième système de forage pour le même puits en raison du coût de mobilisation supplémentaire (plate-forme de forage pour le premier trou et une unité de coil tubing pour le trou de production).

Pour des fonctionnements extraterritoriaux, les limitations de l'espace sont également une force de dissuasion.

L'élimination des raccordements a comme conséquence un meilleur contrôle de pression de trou que le système conventionnel de forage.

L'application de la technique du coil tubing en UBD est limitée par la capacité de nettoyer efficacement le trou et par la limite de pression d'injection.

8-3 Snub drilling :

Le snub drilling utilise une unité hydraulique de work-over avec un top drive pour le forage du puits et utilise aussi une garniture de forage conventionnelle.

Le snub drilling a plus d'avantages que le coil tubing, il est conçu pour se déclencher sous pression, et à la capacité pour circuler sans interruption tout en forant.

Les unités hydrauliques de work-over sont normalement compactes et permettent une plus petite empreinte de pas.

L'inconvénient principal du forage en snub drilling est le temps requis pour que ce dispositif se déclenche.

Le snub drilling exige également des raccordements, qui causeront des coupures de pression.

9- Critères d'un puits apte a être fore en UBD:

Pour qu'un puits puisse être candidat au forage en underbalanced il faut qu'il remplisse les conditions suivantes :

- Zones à risques de coincement par pression différentielle :

Dans beaucoup de réservoirs, le collage par pression différentielle est un problème important causant une perte de temps productif significatif (NPT). Les pertes économiques sont représentées par la perte potentielle du BHA et la possibilité de devoir dérouter le trou autour de la pipe perdue.

Le collage différentiel se produit par la présence d'un filtrat important (qui a d'autres effets bénéfiques, que nous verrons par la suite, mais à cet égard il est nocif) et la pression différentielle entre le fluide dans l'anneau et la formation.

- **Réservoirs dépletés**.
- **Formations dures** (denses, perméabilité et porosité faibles) qui a comme conséquences directes un taux de pénétration de l'outil et une durée de vie, (dans le forage conventionnels), très faibles.
- **Zones à pertes de circulations sévères.**
- **Zones sujettes aux endommagements** (skin damage incompatibilité fluide / fluide, incompatibilité fluide/formation).
- **Formations fracturées**.
- **Formation sévèrement cavée.**
- **Zones hétérogènes.**

Une fois le puits candidat choisi, les techniques appropriées pour la réalisation des opérations en underbalanced doivent être sélectionnées en se basant sur les mêmes critères de choix.

10- Critères d'un puits non apte a être fore en UBD :

Un puits ne peut pas être candidat au forage en UBD pour les causes suivantes :

10-1 Perméabilité et pression des pores élevées :

Les conditions de forage en underbalanced peuvent être facilement appliquées. Elles peuvent seulement être limitées par les équipements de surface.

La Pression maximale anticipée de surface (MASP) est toujours plus grande que le pression du réservoir.

Exemple : les RBOPs actuellement disponibles peuvent supporter une pression qui peut atteindre 5000 psi. Par conséquent forer dans une formation qui peut imposer un MASP plus élevé représente un risque très élevé pour la sécurité du personnelle et des équipements.

Le risque est encore plus important, si le réservoir a une perméabilité élevée puisque les volumes d'apports sont susceptibles d'être énormes ; en conséquences, les formations a haute pression et a perméabilité élevée sont susceptibles de constituer un risque important par l'application de l'UBD.

10-2 Réservoir de qualités très médiocre :

Comme exposé précédemment, l'UBD peut améliorer la performance du réservoir si ce réservoir représente des endommagements et de faible pression de gisement.

Réciproquement l'UBD n'est pas la solution aux puits qui sont de mauvais producteurs en raison de la qualité médiocre de ces réservoirs.

Si un opérateur emploie l'UBD dans des réservoirs de qualité inférieure afin d'essayer d'augmenter des taux de production, il ne fera qu'augmenter le coût du forage.

10-3 Formation contenant des argiles gonflantes :

Les argiles en absorbant la phase aqueuse des fluides de forage gonflent et sont l'objet d'efforts élevés, localisés. Ces argiles s'effondrent par la suite dans le puits.

Ces dommages peuvent être atténués par l'utilisation de saumures ou d'autres fluides appropriés (tels que les boues à base d'huile).

En général, de telles formations, à moins que fortement consolidées, sont de pauvres ou de marginaux candidats pour l'UBD.

10-4 Dommages causés par l'imbibition spontanée :

Dans quelques systèmes de réservoir, la cause physique de l'imbibition est le gradient capillaire dans les pores de la formation qui induit un effet de succion du fluide de forage. Cet effet est représenté comme l'action capillaire lorsqu'une paille est insérer dans un verre de soda.

10-5 Faibles connaissances de la formation à forer :

Dans un puits où on a une faible connaissance de la formation à forer et de sa pression, l'application de l'UBD constitue alors un risque important sur la sécurité du personnel et celle des équipements.

La connaissance de la formation est exigée pour accéder à la susceptibilité et à la défaillance de la stabilité du puits, et sert également à déterminer la convenance technique, permettant ainsi la conception des besoins en équipement extérieurs.

10-6 Formation contenant le H_2S :

La production des fluides qui contiennent des niveaux élevés du **H_2S** compliquera la conception du système de l'UBD et peut poser un risque de sécurité important.

10-7 Stabilité du puits :

Supposant que les différents facteurs pour la réalisation de l'UBD sont réunis, nous devons maintenant considérer la stabilité du puits pour le déroulement de l'opération.

Par définition, l'underbalanced exige que la pression annulaire induite est inférieure à la pression de formation et pouvant causer la défaillance des parois du puits. Ceci cause des problèmes de stabilité du puits menant à l'effondrement du trou.

La stabilité du puits est également un vaste secteur qui mérite un espace bien plus grand que celui fourni par un mémoire sur l'UBD [03].

10-8 Puits peu profond :

Difficile de contrôler la pression du trou et d'assurer la continuité de l'UBD.

11- La sécurité (HSE) :

11-1 L'aspect sécuritaire :

A l'intérieur de la zone dangereuse, un grand nombre de travailleurs est demandé pour les opérations UBD, l'équipe de forage ont pries pendant toute leur carniers que lorsqu' un puits débite, il faut le fermer et le tuer, mais pendant l'UBD, la seule chose qui doit être évitée est tuer le puits parce que cela peut annuler tous les bénéfices de cette technique. Travailler dans un puits vivant n'est pas une opération normale pour l'équipe de forage et une bonne formation est nécessaire pour s'assurer que les accidents seront évités.

Le processus de L'UBD est plus compliqué comparé aux opérations de forage conventionnel. L'injection du gaz, la surface de séparation ainsi que le snubbing sont demandés sur le puits.

Le réservoir est la forge menant dans le processus de L'UBD. Le chef poste doit comprendre le processus et toutes les interactions requises entre le réservoir, les taux de pompage (débits), l'injection du gaz et le système de séparation pour forer le puits en toute sécurité.

Quand les opérations de manœuvre commencent, le puits doit rester sous contrôle. L'introduction des tiges et leurs enlèvements à l'intérieur du puits (snubbing) n'est pas une opération routière, et une équipe spécialisée dans le snubbing est normalement sollicitée pour manipuler les tiges dont le puits fermé.

11-2 L'approchement pas par pas :

Il est considéré prudent si le nombre de puits à forer en UBD avec une nouvelle équipe d'utiliser l'approche pas par pas ; 1er puits est foré en UBD mais tué en manœuvre, mais le puits sera tué lors de sa complétion.

Le 3eme puits est foré et complété en UBD. Cela permet à tous les membres de l'équipe de maîtriser et de préparer les équipements.

Chapitre II

Système de fluide forage en UBD

1- Introduction:

On croit toujours que puisque le puits est foré en underbalanced, la conception du fluide de forage est sans importance.

Un système de fluide de forage mal conçu peut causer des dommages à la formation forée ce qui élimine toutes les indemnités du forage underbalanced.

Un fluide de forage mal conçu peut également augmenter le coût du forage par la création de problèmes de corrosion et de risques d'incendie.

Le choix d'un fluide inadéquat, peut également mener à la défaillance du projet dû au faible nettoyage de trou ou de la création des émulsions.

2- Considérations générales pour la sélection d'un fluide:

Comme pour le système liquide des puits forés en overbalanced, le rôle principal du fluide dans un puits foré en underbalanced est le transport des cuttings jusqu'en surface, le refroidissement et la lubrification de l'outil et de la garniture et permet le contrôle de la pression de fond. La conception du système liquide dans le forage UBD est la partie la plus négligée malgré son importance.

Le système liquide dans l'UBD a un impact très important sur la densité équivalente de circulation désirée qui doit être considérée.

La conception du fluide de forage doit permettre d'obtenir une pression au-dessous de la pression de formation, mais pas très inférieure pouvant créer des problèmes telle qu'une surproduction risquant d'engendrer des problèmes de stabilité du trou.

La compatibilité entre les composants du système liquide, le système liquide avec les fluides produits et le système liquide avec la formation sont tous des paramètres critiques dans le choix d'un fluide de forage adéquat.

L'incompatibilité peut mener à l'endommagement de la formation ou à la création des émulsions.

Les fluides de formation peuvent également affecter les caractéristiques du système liquide.

Le gaz et les hydrocarbures en général affectent la stabilité de la plupart des mousses. Le nettoyage de trou est toujours un souci permanent dans l'UBD.

Il est nécessaire d'avoir une très bonne vélocité, (vitesse de remontée des cuttings), pour avoir un bon nettoyage du trou.

Les capacités de charge des cuttings pour les fluides utilisés en UBD sont extrêmement faibles pour le système utilisant le gaz comme fluide de forage, et une très bonne capacité de charges des cuttings pour les systèmes utilisant la mousse comme fluide de forage.

La stabilité de la température doit être également considérée en concevant le système liquide de l'UBD. Plusieurs des produits chimiques utilisés peuvent se décomposer avec la haute température.

Ceux-ci comprennent des agents tensioactifs et des agents viscosifiants. La température affectera également la densité des fluides utilisés. Lorsque ces fluides sont chauffés, leur densité diminue. Cela vaut particulièrement pour des saumures et des pétroles. Ceci est un problème très critique pour les fluides qui sont utilisés pour tuer le puits (cas d'une éruption par exemple).

La corrosion est un souci important qu'il faut prendre en considération pour la conception d'un fluide de forage. Pendant que le puits produit en forage, l'interaction du fluide produit et le gaz ou le fluide peut créer un environnement qui favorise un taux élevé de corrosion. Les problèmes de corrosion sont accélérés, car les solides qui se trouvent dans le fluide de forage sont enlevés et on a donc une élimination de la barrière naturelle contre la corrosion.

L'effet sur les outils de fond doit également être considéré dans le choix du fluide utilisé en UBD. Il comprend la compressibilité des fluides multiphases, qui abaisse le rendement de puissance des moteurs de fond et la compatibilité du fluide avec des élastomères doit également être considérée.

L'incompatibilité du fluide utilisé peut affecter la fonctionnalité et la longévité des moteurs et des appareils de mesure de fond.

L'infusion du gaz dans des élastomères peut également mener à la décompression explosive des élastomères pendant l'injection du gaz.

On devrait choisir et concevoir des outils de fond (tels que des outils sans élastomères) qui ne seront pas affectés par le fluide de forage.

Le choix du liquide affectera également la capacité de transmettre les données de fond vers la surface, telle que l'utilisation du gaz qui est un fluide compressible dans le forage d'un puits horizontal, le MWD ne peut pas transmettre les données de fond jusqu'en surface.

Enfin, le choix du fluide de forage doit prendre en considération le prix de revient, la sécurité et le degré de pollution et de contamination de l'environnement.

3- Types de fluides utilises en UBD:

Le système liquide choisi pour un projet particulier de l'UBD dépend du BHP désiré, de sa compatibilité avec le fluide produit, de la tolérance d'afflux d'eau, du nettoyage de trou et du coût et des considérations environnementales.

Il est nécessaire de souligner que les comportements rhéologiques complexes du fluide et chers ne sont pas habituellement exigés lors du forage [01].

Différents systèmes de fluides sont employés en UBD tel que :

3-1 Systèmes des fluides conventionnels appelés flow (live) opérations:

Ce système est utilisé dans la formation où la pression est au-dessus d'un gradient normal de pression c'est à dire employé là où la pression du réservoir est suffisamment haute pour maintenir des conditions de forage en underbalanced sans avoir la nécessité d'utiliser un fluide bi-phasique. Ce qui permet au puits de débiter pendant le forage.

Les systèmes liquides monophasés sont des fluides en général propres tels que l'eau, le gasoil et le brut [04].

3-2 Systèmes des fluides gazéifiés:

Similaire aux systèmes des fluides aérés, ces systèmes consistent en l'utilisation des fluides de forage à deux phases où la phase gazeuse est soit du gaz naturel, soit de l'air ou l'azote. Les fluides gazéifiés n'incluent pas l'utilisation des surfactants (agents moussant).

Les fluides gazéifiés sont une combinaison de liquide et de gaz où le liquide est la phase continue. Les liquides gazéifiés n'ont pas d'agents tensioactifs qui lient le gaz dans le liquide. Les avantages des liquides gazéifiés sont à moindres coûts, la possibilité de réutiliser le liquide, de meilleures propriétés environnementales et leur simplicité d'injection.

Dans beaucoup de cas l'air atmosphérique peut être employé en tant que gaz à prix réduit pour le forage avec un fluide gazéifié, mais il y a trois problèmes principaux liés à l'application de cette technique. Elle représente un potentiel significatif pour la corrosion rapide des équipements de fonds, où l'air peut causer l'instabilité du puits lorsqu'il rencontre des formations aquifères. En outre, avec l'addition des hydrocarbures à l'air forant, tous les éléments nécessaires pour initier la combustion sont présents (risques d'incendie).

Pour réduire au minimum les risques de feux de fonds, on préfère utiliser comme gaz, l'azote ou la mist.

Dans un souci d'abaisser le coût de forage et d'améliorer la sécurité opérationnelle sur les puits directionnels forés par gaz, un système de forage en nitrogène a été développé. Ce système est basé sur la technologie des membranes qui exige moins de compression initiale, enlève l'oxygène de l'air atmosphérique, et apporte des degrés variables de pureté d'azote et par conséquent les risques d'incendie au fond du puits sont évités [01].

3-3 Systèmes utilisant la mousse:

Dans ce type d'opération, le principe est le même que celui des fluides aérés/gazéifiés cité précédemment, sauf que dans ce cas l'utilisation des surfactants qui assurent et la génération de la mousse et sa stabilité est nécessaire.

Dans ce type de fluides la phase continue est la phase liquide (eau, boue à l'eau ou boue à l'huile).

Le système de mousse est créé quand l'eau et le gaz sont mélangés à un agent tensioactif. L'agent tensioactif lie le gaz dans la surfacture du liquide.

Comme le gaz est lié dans le liquide, le gaz et le liquide se déplacent ensemble, augmentant ainsi la vitesse du liquide. En raison de sa structure, (capacité de charges de solides énormes), la mousse a de meilleures caractéristiques de nettoyage de trou qu'une boue conventionnelle.

La vitesse minimale pour le nettoyage de trou est fixée à 100 pieds / minute.

A mesure que le rapport du gaz au liquide augmente, la capacité de charges de la mousse augmentera.

La mousse a également l'avantage de posséder une plus grande tolérance à surpasser le fluide avant que celui-ci ne soit perdu dans la formation.

La mousse a également beaucoup d'inconvénients. En plus du coût de l'agent tensioactif et du matériel supplémentaire exigés, la mousse ajoute un degré à la complexité du système de forage.

La mousse est également instable lorsqu'elle rencontre des températures élevées.

Un autre inconvénient dans le système de mousse est la viscosité relative plus élevée. Ceci augmente la perte par friction dans le puits.

La rupture de la structure de la mousse doit être accomplie quand elle atteint la surface pour séparer efficacement les constituants liquides (gaz, eau, hydrocarbures liquides et solides). Une casse inefficace de la mousse posera des problèmes de séparation et surchargera le séparateur.

La mousse peut être cassée chimiquement ou mécaniquement.

Dans le passé, les mousses ne pouvaient pas être réutilisées, après qu'elles soient cassés causant des coûts élevés de disposition et des soucis environnementaux.

L'introduction de la mousse recyclable a éliminé plusieurs de ces soucis.

La nouvelle mousse recyclable réduit les coûts environnementaux très importants. Tout en remédiant à des problèmes de stabilité des parois, elle permet aussi l'utilisation des additifs spéciaux [04].

La mousse peut travailler en tandem avec des polymères de contrôle de schiste et les systèmes d'inhibition de corrosion qui peuvent résister à des états extrêmes.

La mousse est essentiellement choisie pour compenser plusieurs paramètres telles que la stabilité inconnue de trou et le potentiel pour le gonflement de schiste du au contact de l'eau.

3-4 Système utilisant le mist:

Cette opération au même principe que le système à mousse, sauf que dans ce cas l'utilisation des surfactants est exclue, la phase continue dans le système est la phase gazeuse.

Le liquide dans ce système est suspendu dans le milieu sous forme de gouttelettes.

Les avantages principaux d'un système de brume est sa tolérance plus élevée pour les formations aquifères. Ceci élimine la formation des anneaux de boue tout en forant. Le désavantage du système de brume est qu'il demande un volume de gaz très important pour avoir une BHP voulue, un taux de corrosion élevé et un mauvais impact sur les schistes sensibles à l'eau [04].

3-5 Opérations à l'air:

Dans ce type d'opération le forage utilise le gaz comme fluide de forage. Ce gaz peut être l'air, l'azote, le gaz naturel, le CO_2 ou une combinaison gazeuse.

Le forage à l'air sec est le plus simple et le moins cher lorsqu'il est appliqué a l'underbalanced et il peut également réaliser le plus bas BHP [04].

Les problèmes liés au forage au gaz comprennent :

- La basse tolérance pour les formations qui contiennent de l'eau.
- Risques très importants d'incendie de fonds.
- Les problèmes potentiels de stabilité du puits.
- L'impossibilité d'employer les outils conventionnels de MWD.

- Le besoin de moteurs spéciaux.

L'inconvénient majeur du système de forage au gaz sec est son inefficacité au niveau des formations contenant même de faibles quantités d'eau.

Si l'eau est produite pendant le forage au gaz, elle se mélangera aux cuttings pour former un anneau de boue et ceci peut conduire à une perte de circulation et peut même mener à une déclaration d'incendie au fond du puits.

Pour toutes ces considérations le gaz est seulement employé pour forer des formations avec peu ou pas de perméabilité.

Il est rarement employé pour forer une zone productive.

4- Systèmes d'injection:

Si un fluide exige une réduction dans la densité, l'usage d'injection de gaz dans le fluide peut être sélectionné. Cela offre un choix dans pas seulement le type de gaz utilisé mais aussi dans le type d'acheminement de ce dernier dans le puits.

Normalement le gaz naturel ou l'azote sont utilisés, bien que le CO2 et O2 peuvent être aussi utilisé.

Cependant, les gazes qui contiennent de l'oxygène ne sont pas recommandées pour deux raisons principales.

La combinaison d'oxygène avec les fluides salins ajouté à une température élevée cause une corrosion sévère les tubulaires et la garniture utilisée dans puits Pendant le forage et avec le contact des hydrocarbures, une situation potentiellement explosive peut survenir [02].

4-1 Injection par Drill pipe:

Le gaz comprimé est injecté via le collecteur de stand où il se mélange avec le fluide.

A- Les avantages de cette méthode:

- Pas d'équipements spéciaux exigés dans le puits. L'usage des valves anti retour (NRV) est exigé pour prévenir écoulement de dos à l'intérieure des tiges.
- Les débits de gaz utilisés sont normalement inférieurs à ceux utilisés dans les autres méthodes.
- Un meilleure draw down peut être atteint avec cette méthode.

B- Les inconvénients de ce système:

- Le besoin d'arrêter l'injection du gaz et de purger toute pression piégée restante dans le tiges à chaque connections. Ce qui provoque une augmentation de la pression de fond et la possibilité de basculer en Overbalance.
- L'usage de MWD est seulement possible jusqu'à 20% de gaz par volume.

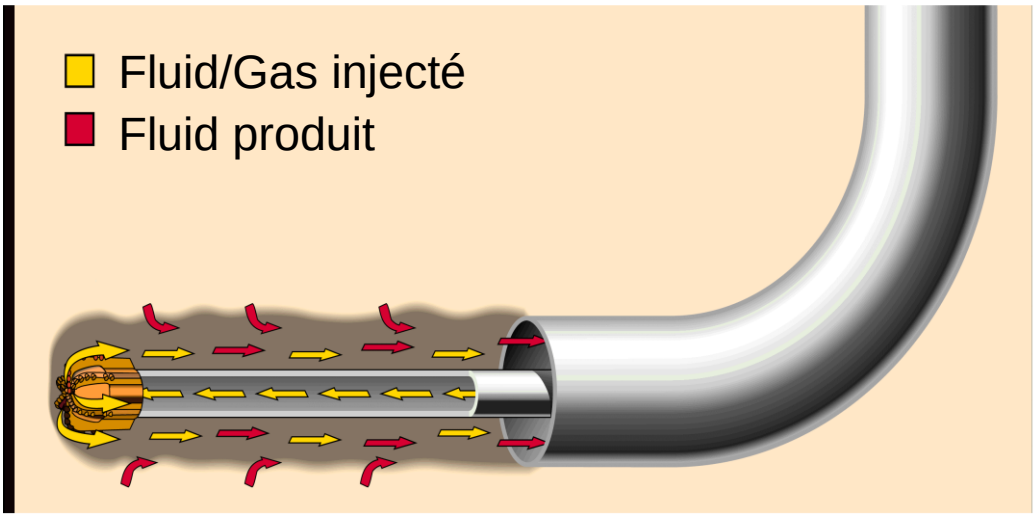

Figure N° II-1: Injection par Garniture de forage ‘’Drill pipe’’ [02].

4-2 Injection par l’annulaire:

L’injection par l'annulaire est très utilisée dans la Mer du nord. Pour un nouveau puits, le liner doit être ancré juste au-dessus de la formation ciblé. Le liner est alors prolongé en surface par le biais d’une cravate en arrière et suspendu une tubing hanger spécial. Le gaz est injecté dans l’espace annulaire pour abaisser la pression hydrostatique requise pendant l'opération du forage.

A- L'inconvénient avec ce type d'opération

- Restrictions dans la géométrie des tubages
  Spécial tubing Head est requise
- Augmentation du coût de l'opération UBD
- Augmentation de temps de mobilisation de l'appareil
- les volumes d’azote utilisés sont importants

B- L'avantage de l'injection par l'annulaire

- La continuité dans l'injection d'azote même pendant les connecte.
- Meilleure qualité du signale du MWD, vue qu'une seule phase est pompé a l'intérieure des tiges
- Réduction du slugging en surface

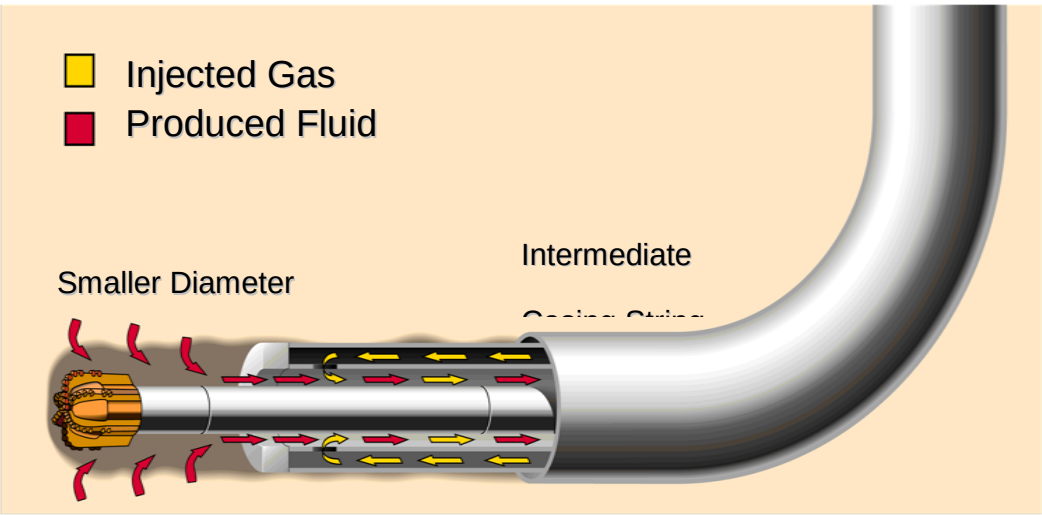

Figure N° II-2: Injection par l'annulaire [02].

4-3 Injection par un concentrique:

L'usage d'un concentrique pour injection du gaz est utilisé seulement dans les puits verticaux.

Le concentrique ou le coiled tubing 1" ou 2" sont descendu au même moment que le casing au-dessus du réservoir.

A- L'inconvénient avec ce type d'opération

- Complexité de la mise en place de parasite string
- Spécial connections en surface son requises
- Utilisé seulement dans des puits verticaux

B- L'avantage de l'injection par le concentrique

- La continuité dans l'injection d'azote même pendant les connections.
- Meilleure qualité du signale du MWD, vue qu'une seule phase est pompé à l'intérieure des tiges
- Réduction du slugging en surface

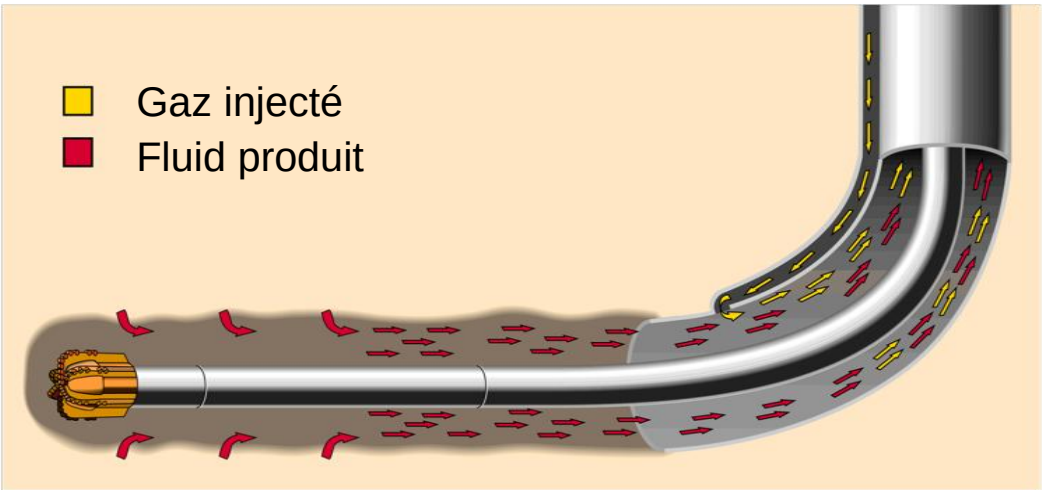

Figure N° II-3: Injection par un concentrique [02].

4-4 Injection par dual de garniture de forage ‘’ dual drill pipe’’:

Les DP utilisé dans cette méthode ont une double 'peau' (double cloisonnement) Le fluide et pompé à l'intérieure de drill pipe, le gaz aussi est véhiculé par les tiges de forage en utilisant le vide existant entre les peaux jusqu'a une cross over sub puis dans l'annulaire.

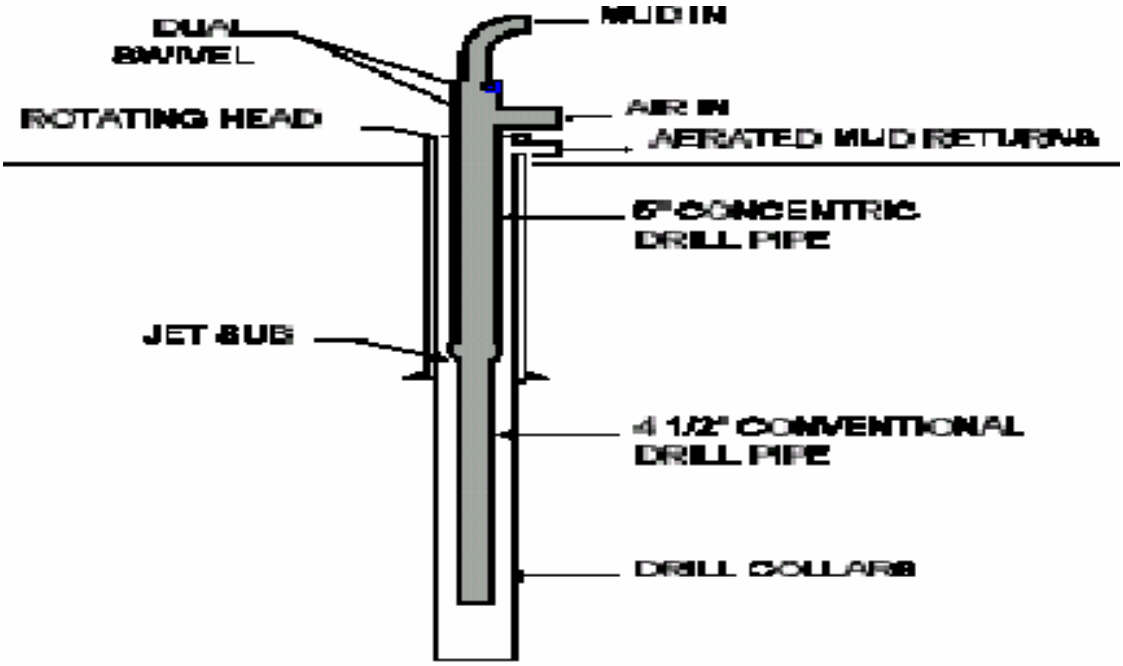

Figure N° II-4: Injection par dual de garniture de forage ‘’ dual drill pipe’’ [02].

A- L'inconvénient de cette méthode

- Spéciales Drill pipes sont exigés.
- Tige d'entraînement spéciale (Kelly) est exigée.
- Spécial tool joint d'ou sa répercussion sur le coût et le temps allouer

5- Débit de circulation optimum:

Pour empêcher l'accumulation des débris à l'intérieur du puits, la circulation est un facteur prédominant.

Cependant, circuler un fluide plus qu'il en faut va :

Augmentation du coûté pour le fluide supplémentaire

1. Utilisation abusive des pompes
2. Augmentation des frictions le long du l'annulaire
3. Consommation excessive de l'énergie

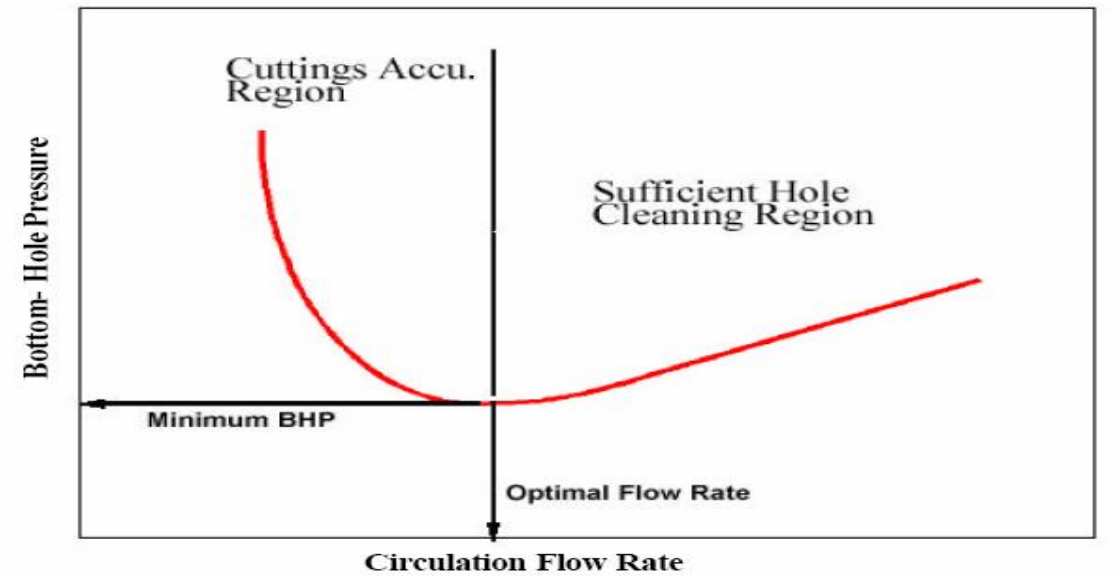

Figure N° II-5: BHP en fonction de Q de circulation [03].

6- Nettoyage du trou:

Dans le contexte du forage en underbalanced avec le gaz (l'air, azote, gaz naturel), l'écoulement à obstruction a été étudié expérimentalement. Il est défini comme étant la vitesse au dessous de laquelle les cuttings ne sont pas soutenus par la circulation du gaz. Dans ce cas les cuttings ne sont pas transportés par le gaz injecté.

On a suggéré que la vitesse du gaz injecté menant à la pression atmosphérique minimale du fond hèle représente le débit optimum pour le transport des cuttings. La vitesse optimale de remontée des cuttings (vélocité) augmente avec l'augmentation de la taille des cuttings et l'augmentation de ROP.

Les apports significatifs de gaz peuvent dégrader le transport des cuttings. Le débit d'afflux des cuttings à la surface cause la baisse de la pression annulaire. Elle devient égale à la pression atmosphérique et réduit la vitesse du gaz en bas du puits. Les cuttings ne sont pas de ce fait soulevés efficacement.

La remontée des cuttings par un fluide de forage bi phasique (fluide et gaz), n'est pas aisément accomplie, néanmoins plusieurs méthodes ont été élaborées et étudiées, toutes ces méthodes ont le même problème principal quand elles sont appliquées aux forages, elles exigent la connaissance de la forme et de la taille des cuttings ainsi que la géométrie de trou.

Cependant, il est possible de représenter approximativement le taux minimum d'injection $\mathbf{Q}_{min}$, par l'expression suivante [03]:

$$\boxed{\mathbf{Q}_{min} = \mathbf{Q} + \mathbf{N} * \mathbf{H}} \qquad \textbf{(II-1)}$$

Où **:**

$\mathbf{Q}_{min}$: Débit d'injection minimale (scfpm).

$\mathbf{Q}_0$: Débit d'injection à la profondeur zéro (scfpm)

H : Profondeur du trou (feet).

N : Facteur dépendant de ROP (ROP apparentes).

Dans le cas du forage avec la mousse le transport des cuttings se fait d'une manière très efficace surtout si on a une très bonne viscosité.

Le transport des cuttings par la mousse dépend étroitement de la viscosité de la mousse ainsi que sa qualité.

Les différentes techniques utilisées pour assurer un bon nettoyage du trou avec un fluide gazéifié sont influencées par les propriétés du liquide, par la géométrie du trou et par l'apport du fluide de formation.

Les vitesses annulaires approximatives (vélocité) de 100 à 200 pieds par minute est exigé pour maintenir le trou propre avec fluide non visqueux. La valeur de cette vitesse annulaire ne peut pas être appliquée pour des trous de grand diamètre.

Pour y remédier il faut que la viscosité du fluide de forage utilisé pour le forage du trou de grand diamètre soit augmentée pour fournir la capacité adéquate de transport des cuttings.

Cependant une viscosité de liquide élevée rendra le dégazage et la suppression des cuttings très difficile.

De tout ce qui a précédé, on retiendra que pour avoir un bon nettoyage du trou, il faut choisir un débit optimal d'injection de gaz, sans affecter la pression de fond du trou, ni augmenter les pertes par friction et sans créer des problèmes de stabilité du puits.

7- Considérations de well control en UBD:

Le forage en underbalanced se réfère aux pratiques internationales du forage des puits où on a la pression du fond inférieure à la pression des pores.

Pour réaliser le forage underbalanced en toute sécurité, des équipements spéciaux on été développés pour le contrôle et la maîtrise des venues de ces puits et permettre à ces puits de débiter pendant le forage même.

Un élément principal de cet équipement est le BOP rotatif (RBOP) qui est en fait une tête de contrôle tournante. Cette tête de contrôle tournante est disponible avec une pression d'utilisation de 5000 psi. Ceci nous permet d'étendre l'application de l'UBD à des puits auxquels on ne pouvait pas l'appliquer du fait du non disponibilité des équipements supportant de grandes pressions.

Dans le forage UBD la manière de procéder pour la maîtrise du puits est un peut différente de celle opérée pour un forage conventionnel :

1 - Dans le forage UBD le dernier tubage est placé juste au dessus de la formation productive qui va être foré.

2 - La première barrière dans le cas d'un contrôle de l'irruption (well control) est le RBOP situé juste au dessus du BOP à membrane.

La première différence énumérée ci-dessus élimine efficacement la menace d'une éruption souterraine. Si une mise à mort du puits s'avère nécessaire, le dernier tubage se trouvant à une très grande profondeur (juste au dessus de la formation productrice) permettant au fluide de mise à mort d'être pompé directement sur la formation productrice sans souci d'une éruption souterraine [01].

L'équipement extérieur de l'UBD est conçu spécialement pour parer à toute éventuelle venue.

En général, la philosophie de l'UBD est de forer aussi longtemps que le RBOP peut sans risque contenir la pression extérieure.

Chapitre III

Etude économique du forage en UBD

1- Généralité :

L'unique raison du l'emploie de l'UBD, ou tout autre technologie, est de générer des profits.

Comme l'UBD engendre des coûts additionnels comme l'engineering et la location du matériel, le gain dû à cette technologie doit compenser les dépenses en plus.

2- Sources de profits :

- Réduire les coûts de forage en augmentant le ROP et la durée de vie de l'outil
- Eliminer les fluides de forage
- Réduire les charges dues à la stimulation
- Réduire les différents NPT
- Accélérer le temps de livraison d'un puits
- Production pendant le forage
- Augmenter le taux de récupération du réservoir

Dans certains cas des puits déplétés, l'UBD est l'unique moyen disponible pour forer le réservoir.

L'analyse des coûts ne comprend pas uniquement l'équipement et le personnel, le pré engineering, formation et le management sont a concéderai dans les coûts d'un UBD [05].

3- Coûts de l'UBD :

Le premier pas dans le projet UBD est l'estimation des coûts du l'équipement et des services liés a la réussite de projet [05].

Les coûts dépendent de plusieurs facteurs, comme :

1. Le facteur site
2. La complexité du projet
3. Le nombre de puits forés

On peut trouvés différent types de tarif:

- Tarif journalier
- Tarif stand-by
- Tarif fixe (comprend la mobilisation et démobilisation)
- Tarif par puits (comprend les consommables)

3-1 Facteur Site :

La location de pack UBD dépend directement de l'endroit du projet (distance de l'industrie de l'UBD) et de niveau de la compétition

Le prix d'un système UBD complet peut varie de 5,000 $/j @ 50,000 $/j [05] [01].

3-2 Complexité du projet :

L'impact de la complexite du projet sur les coûts total est très significatif (le forage avec de l'air n'est pas cher en le comparant à l'utilisation d'un séparateurs de 4 phases de 5000 psi, Les facteurs qui ont un impact sur les coûts sont :

- Pression maximale de surface anticipée
- Régulation et environnement
  - Possibilité de torcher
  - Possibilité de déversions des liquides et solides
- Fluides produits
  - H_2S
  - Brut
  - Gaz
- Système de fluides utilisé
  - Type de Gaz
  - Foam
  - Type de liquide
- Neutralisation puits et complétion
  - PPM
  - Vanne d'isolation de formation
- Collecte d'informations

Le coût varie du type de système utilisé

3-3 L'impacte du nombre de puits sur le coût :

Le nombre de puits dans un projet effectuera considérablement les sciences économiques d'un projet. Le coût par puits sera réduit avec chaque en raison foré par bien de la courbe d'étude. Les personnes et l'optimisation de l'attribut de processus ce l'épargne à une meilleure compréhension du système. En outre, le coût fixe du projet peut être écarté à travers plus de puits, diminuant l'impact sur un puits simple. Les fournisseurs de service

veulent également des prix d'escompte des projets de puits de multiple. **Fig.47** montre l'impact d'un programme de puits de multiple.

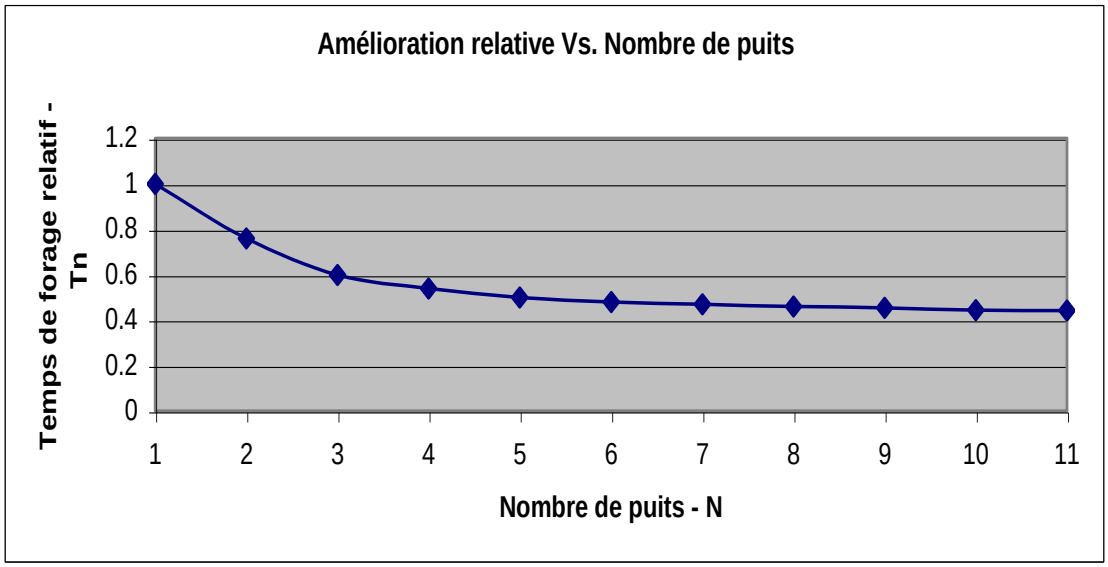

Figure N° III-1: Amélioration du temps de forage Vs nombre de puits [05].

4- Réduction du coût :

Le coût journalier élevé pour un UBD ne veut en aucun cas dire que le coût total du puits en UBD est élevé, à cause des facteurs suivants :

1- Réduction du coût de forage

- Augmentation de ROP
- Longévité du l'outil
- Réduction de coût de fluide de forage
- Réduction des NPT
- Réduction de stimulation et DST

2- Réduction dans l'endommagement de la formation

3- Evaluation de la production

4-1 Réduction du coût de forage :

La réduction du coût de forage est dû d'une part à la réduction de la durée totale de forage comme résultat d'un ROP élevé et la durée de vie de l'outil ajouté à la réduction des NPT. D'une autre part la réduction du coût de forage peut être attribué à l'élimination des coûts associes à des forages conventionnels. Comme l'élimination de la stimulation, DST et la réduction du coût de fluide de forage

4-1-1 Augmentation de ROP :

L'augmentation du taux de pénétration (ROP) peut être attendu presque dans toutes les activités en UBD. La quantité de l'augmentation est directement liée à la perméabilité et dureté de la roche. Le gain en ROP est significatif dans des terrains peu perméables. Le gain en ROP aussi est significatif dans des terrains très durs.

En règle générale le taux d'augmentation du ROP dans UBD varie entre 30% et 100%

4-1-2 Longévité de l'outil :

L'augmentation de la durée de vie du l'outil dans des opérations en UBD est du à la réduction de poids sur l'outil et le nettoyage efficace des cuttings.

En règle générale le taux d'augmentation de la durée de vie varie entre 50% et 80%

4-1-3 Réduction du coût de fluide de forage :

UBD a deux effets significatifs sur le coût de fluide de forage comparativement au forage conventionnel. Comme le fluide de forage est généralement du brut, on n'utilise presque pas d'additives, l'autre effet est l'élimination des pertes dans la formation

4-1-4 Réduction des NPT :

Le non productive time (NPT) amplifie dans la plupart des cas le coût de forage. La plus grande cause des NPT est le coincement différentiel et les pertes de la circulation. Le coincement différentiel est aggravé par la perte de la BHA et des DP ajouté au temps additionnel pour le reforage du trou.

La perte de circulation est très coûteuse à cause du temps allouer pour le rétablissement de la circulation, additives (LCM) et la perte du fluide dans la formation.

Il est physiquement impossible d'avoir dans l'UBD un coincement différentiel et des pertes de circulation, si on maintien les conditions d'underbalance [01].

4-1-5 Elimination de la stimulation et DST :

L'un des plus grands avantages de l'UBD est que l'endommagement de la formation est réduit voir éliminé. Ceci va réduire ou éliminé le besoin de stimulé le puits, D'où la réduction du coût total (service de stimulation, Réquisition du rig).

En addition le forage en UBD permet l'analyse continuelle de la production pendant les opérations. D'où l'élimination du DST.

4-2 Réduction de l'endommagement de la formation :

La réduction de l'endommagement de la formation est un facteur déterminant dans les applications de l'UBD. Effectivement réduire l'endommagement c'est augmenter le profit l'amélioration de la productivité, augmenté le taux de récupération.

4-2-1 Augmentation de la production :

Il est évident que le forage en UBD réduire l'endommagement de la formation. Mais il reste très difficile de le quantifier. L'expérience a montré 2 à 6 fois l'augmentation en production.

4-3 Estimation de la production :

L'un des plus grands avantages de l'UBD est la réduction de l'endommagement de la formation. Donc l'évaluation de la productivité est indispensable pour l'estimation du coût.

Pour évaluer le gain de productivité d'un puits, on doit estimer la réduction de skin mécanique. Pour évaluer l'index de productivité et le volume de production pour un puits vertical ou horizontal, Les formules suivantes son disponibles.

L'index de productivité (PI) pour un puits vertical est [05] :

$$PI = \frac{0.00708kh}{\mu B_0 (\ln \frac{r_e}{r_w} - 0.75 + s)} \quad \text{(Bbl/j /psi)} \qquad \textbf{(III-1)}$$

L'index de productivité (PI) pour un puits horizontal est :

$$PI = \frac{0.00708kL}{\mu B_0 \left(\frac{L}{h} \ln \left(\frac{1 + \sqrt{1 - (\frac{L}{2r_e})^2}}{\frac{L}{2r_e}} \right) + \ln \left(\frac{h}{2\pi r_w} \right) + s \right)}$$

Où :

k = perméabilité de réservoir (md)

h = l'épaisseur de réservoir (ft)

$\mu =$ Viscosité (cP)

$B_0 =$ Facteur du volume de formation (bbl/sbbl)

$r_e =$ Rayon externe (du réservoir) (ft)

r_w = Rayon du trou (ft)

L = Longueur de réservoir (section horizontal) (ft)

S= skin

Le débit de production pour un régime “pseudo-steady”, pour un puits vertical [05]:

$$q = \frac{0.00708kh(p_i - p_{wf})}{\mu B_0(\ln\frac{r_e}{r_w} - 0.75 + s)} \quad \text{(Bbl/j)} \qquad \textbf{(III-3)}$$

Le débit de production pour un régime “pseudo-steady”, pour un puits horizontal :

$$q_{hor} = \frac{0.00708kL(p_i - p_{wf})}{\mu B_0\left(\frac{L}{h}\ln\left(\frac{1+\sqrt{1-(\frac{L}{2r_e})^2}}{\frac{L}{2r_e}}\right) + \ln\left(\frac{h}{2\pi r_w}\right) + s\right)} \qquad \textbf{(III-4)}$$

La relation entre PI et draw down est exprimée comme suite,

$$\Delta P_s = \frac{141.2QB_0\mu}{kh}s$$

OÙ :

ΔP_s = Chute de pression du au skin (psi)

Q = Débit (BOPD)

B_0 = Facteur du volume de formation (bbl/sbbl)

μ = Viscosité (cP)

k = perméabilité (md)

h = l’épaisseur de réservoir (ft)

s= Facteur de skin

4-3-1 Anticipation sur la production :

Pendant le forage dans une zone de production, le puits débite même pendant les manoeuvres. Le profit engendré peut être très significatif, voir même l'éventualité de couvrir le coût de forage de puits.

4-3-2 Augmentation de la récupération Ultime :

La pression d'abandon est la plus basse pression avec la quelle la formation débite économiquement. Le skin affecte la quantité de production d'une zone donné avant qu'elle atteint la pression d'abandon, Donc diminuer le skin c'est augmenté le volume d'hydrocarbure produit.

Le skin a un grand effet sur le Draw down, tant que le puits produit avec un certain débit, la réduction du draw down retard l'intrusion du l'eau dans le puits (water coning).

La diminution du skin peut retarder le besoin pour un investissement. Quand la pression d'abandon est atteinte, on peut toujours utiliser les pompes immersibles (Reda) pour prolonger la vie d'un puits. Un skin bas retard un investissement et diminue sa net présent val

5- Analyse économique d'un candidat pour l'UBD :

5-1 Net Present Value :

A cause de la durée de vie d'un puits producteur, le temps entre l'investissement et le profit est primordial. L'argent qu'on investi maintenant a plus de valeur qu'un certain profit dans l'avenir. La méthode du calcul la valeur du temps sur l'argent est net présent value (NPV). Cette méthode prend en considération quand l'investissement ou le profit est réalisé, et un taux de rabais [05].

$$NPV = \sum_{1-i}^{n} \frac{valeurs_i}{(1+R_D)^i} \qquad \textbf{(III-5)}$$

OÙ :

Valeur =Un profit positif ou un investissement négatif

RD = Taux de rabais

N = nombre du temps périodique

I =le temps à partir de présent

Chapitre IV

Matériels et méthodes

1- Introduction :

Le temps non productif (NPT) c'est un temps pris pour résoudre les problèmes ayant entrainés l'arrêt des opérations normales de forage. Il contient toutes les opérations nécessaires à un retour à la situation précédente avant l'apparition du problème. Cette perte de temps augmente la durée d'exécution du puits ce qui fait une augmentation de son coût de revient.

L'analyse des rapports de forages montre aussi que le temps non productif (NPT) est souvent lié aux causes suivantes :

- La nature des terrains traversés.
- L'état des équipements utilisés.
- Erreurs humaines.
- Les différents problèmes au cours de forage (le coincement, Les pertes de la boue. Venue….)

2- L'objectif de l'étude:

Le but de cette étude consiste à analyser les avantages et les inconvénients des forages en UBD dans la région de "Hassi Messaoud". Ce type de forage a été étudié et est proposé comme remède, à titre préventif, permettant la réduction maximale des pertes de temps et d'argent occasionnées par un type de difficultés majeures dans cette région s'agissant des coincements surtout dans la phase du CAMBRIAN.

Notre étude est une contribution statistique pour réduire le temps non productif dans la phase 6" à HMD. Nous essayons d'analyser les problèmes majeurs qui comportent des grands obstacles pour la poursuite normale du forage,

3- Le plan d'analyse :

Les outils choisis pour ce travail sont : l'ANN (les Réseaux de Neurone Artificiels), l'évaluation de forage UBD et optimise le paramètre de forage, les statistiques multi-variées. Les logiciels utilisés sont : le STATISTICA version 8.0. Les étapes à suivre pour procéder à l'analyse des données sont présentées dans la **Figure IV.1**. Et la **figure IV-1** suivant présente l'étape de ce travail :

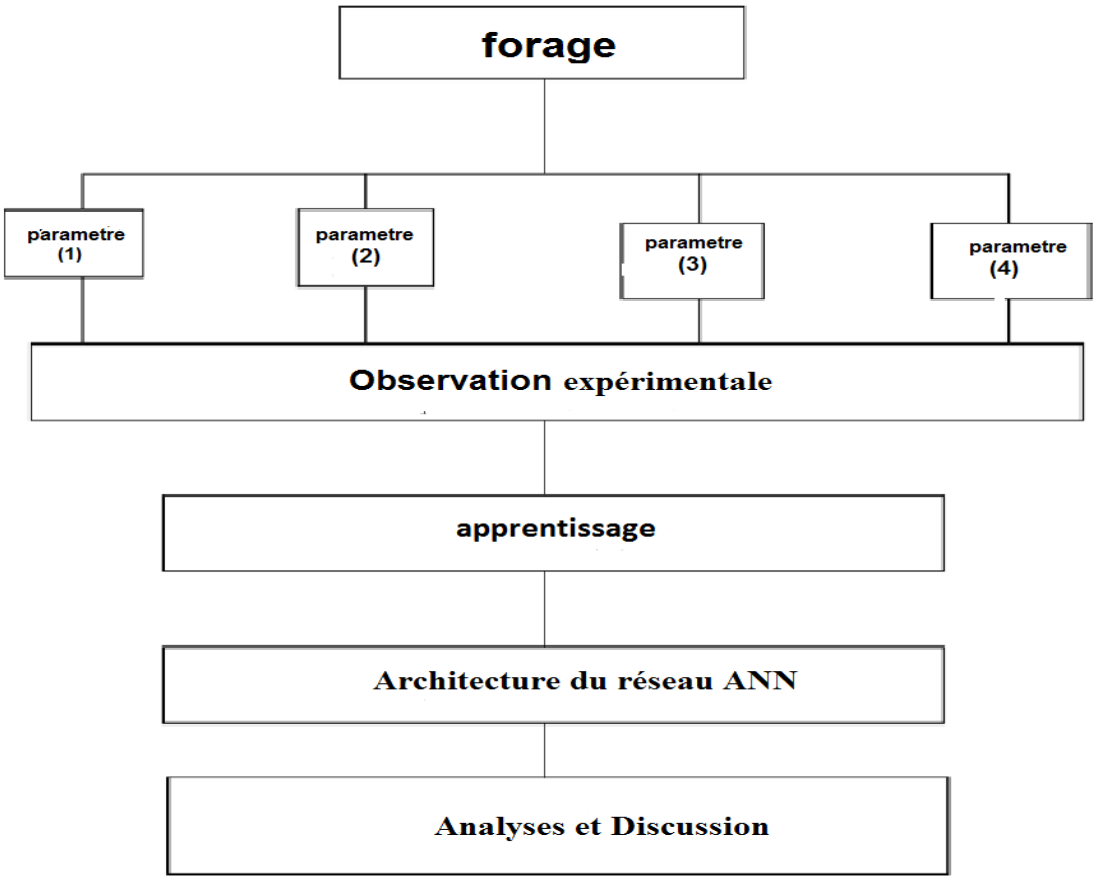

Figure IV.1 : les étapes de l'analyse des données.

3-1 Premières parties :

1- L'analyse des paramètres de forage pétrolier :

Pendant cette étude la formation est supposée homogène autrement dit les paramètres mécaniques sont supposés constants.

Suite à l'analyse des rapports journaliers de 32 puits forés dans la région objet d'étude, uniquement les moyennes des paramètres suivants ont été pris en compte dans l'analyse:

- les paramètres hydrauliques (Densité, débit (oil, N_2), pression de fond (BHCP), draw down, SPP.
- les paramètres mécaniques (ROP, WOB, RPM)

Les valeurs moyennes en cours de forage de toutes ces données sont récapitulées et regroupées dans le tableau suivant :

Tableau N° IV-02 : les paramètres expérimentaux au cours du forage.

Nom des puits	Density (sg)	Q-oil (l/m)	Q-N_2(l/min)	WOB (T)	RPM	SPP	BHCP	DRAW DOWN
MDZ622	0,85	705	65	6,00	155,00	1230	3030	12,00%
OMKZ601	0,84	652	45	2,50	100,00	1360	3000	6,00%
OMOZ22	0,82	760	30	2,00	40,00	1160	2960	2,50%
OMOZ44	0,86	512	31	6,00	170,00	1100	2485	15,00%
OMPZ36	0,82	816	45	2,00	55,00	1150	3200	5,00%
OMPZ462	0,82	655	44	5,00	60,00	1500	3500	3,00%
OMPZ541	0,85	850	31	3,00	110,00	1120	2700	2,50%
OMPZ553	0,85	700	45	4,00	55,00	1200	2980	4,00%
OMNZ242	0,83	700	61	8,00	110,00	1540	3330	11,00%
OMKZ103	0,89	800	65	12,00	230,00	1100	2480	13,00%
MDZ548	0,83	800	60	6,00	75,00	1300	2970	6,70%
OMOZ543	0,84	800	28	7,00	147,00	1250	2593	9,00%
ONMZ201	0,87	750	45	7,00	120,00	1350	2816	10,00%
ONMZ103	0,83	800	27	6,00	160,00	1500	2636	7,20%
MDZ565	0,82	750	32	7,00	140,00	1440	2810	10,20%
OMOZ411	0,81	850	60	2,00	70,00	1320	2828	11,00%
OMOZ522	0,85	800	44	6,00	145,00	1400	2845	6,60%
OMOZ833	0,82	600	28	2,00	85,00	1300	2845	10,30%
ONMZ263	0,85	800	65	7,00	145,00	1300	2895	15,10%
MDZ562	0,88	1000	32	12,50	225,00	1250	2700	15,60%
MDZ564	0,87	800	30	8,00	130,00	1300	2790	7,00%
OMNZ703	0,89	410	36	15,00	200,00	1330	2700	25,00%
OMOZ222	0,88	675	32	6,00	180,00	1250	2750	10,00%
OMOZ523	0,86	900	32	5,50	115,00	1400	2610	13,00%
MDZ550	0,89	800	54	5,00	195,00	1400	2820	9,80%
MDZ563	0,89	500	32	14,00	235,00	1100	2650	21,70%
MDZ581	0,87	700	32	9,00	80,00	1600	2880	20,00%
OMNZ833	0,85	700	55	8,00	165,00	1100	2552	10,30%
OMOZ131	0,82	700	45	5,00	140,00	900	2393	6,50%
OMOZ441	0,84	900	65	5,50	150,00	1350	2500	12,10%
OMPZ451	0,83	650	32	6,00	115,00	1300	2400	6,00%

3-2 Etude statistique:

Notre étude est une contribution statistique pour réduire le temps non productif dans la phase 6" à HMD. Nous essayons d'analyser les problèmes majeurs qui comportent des grands obstacles pour la poursuite normale du forage,

A partir de 32 puits forés dans la région de "Hassi Messaoud" on a pu constater les problèmes rencontrées sont liés à :

- la perte de circulation des fluides de forage (lost),
- coincement des outils (stuc),
- venues
- fishing
- Problèmes de trou,
- problèmes du fluide de forage (mud),
- service d'outil (bit service),
- MWD (measurewhiledrilling) ,
- pannes des équipements (equipment) ,

La représentation des données formulées selon EXCEL, nous a donné les résultats suivants :

Tableau N° IV-01: Apport des différents problèmes dans la durée total de NPT de la phase 6''.

Les problèmes	Pourcentage dans la durée de NPT de la phase 6''	NPT (heure)
Le coincement	**20%**	**432.75**
Perte total	**1%**	**23.5**
Venue	**1%**	**12**
Fishing et side track	**14%**	**306**
Poor hole condition	**6%**	**163.75**
Mud condition	**4%**	**82.75**
Problème d'équipement	**55%**	**1220.75**

Ensuite, on peut remarquer que le problème le plus couteux dans le champ de Hassi Messaoud dans cette phase est celui des coincements qui représente 20% du temps global. On remarque également que sa fréquence d'apparition est faible.

En se basant sur cette constatation, notre étude sera orientée vers le problème du coincement dans le but de réduire au maximum le NPT.

3-3 Les Outils d'Analyse et de modélisation :

Les objectifs de la modélisation est de construire un modèle mathématique de prévision reliant les paramètres mécaniques, hydrauliques et les vitesses d'avancement en utilisant un **logiciel STATISTICA** version 8.0. Les modèles d'analyse utilisés dans ce travail sont : les réseaux de Neurone Artificiels (ANN), l'analyse des matrices de corrélation, l'analyse multivariée notamment l'analyse en composantes principales :

- La Matrice de Corrélation
- L'Analyse en Composantes Principales (ACP)
- Le réseau de neurone artificiel RNA (Artificial Neural Network ANN).

3-3-1 Les Matrices de Corrélation :

Le coefficient de corrélation de Bravais-Pearson est un indice statistique qui exprime l'intensité et le sens (positif ou négatif) de la relation linéaire entre deux variables quantitatives. C'est une mesure de la liaison linéaire, c'est à dire de la capacité de prédire une variable x par une autre y à l'aide d'un modèle linéaire. Il permet de mesurer l'intensité de la liaison entre deux caractères quantitatifs. C'est donc un paramètre important dans l'analyse des régressions linéaires (simples ou multiples). En revanche, ce coefficient est nul (r = 0) lorsqu'il n'y a pas de relation linéaire entre les variables (ce qui n'exclut pas l'existence d'une relation autre que linéaire). Par ailleurs, le coefficient est de signe positif si la relation est positive (directe, croissante) et de signe négatif si la relation est négative (inverse, décroissante) [09].

Ce coefficient varie entre -1 et +1 ; l'intensité de la relation linéaire sera donc d'autant plus forte que la valeur du coefficient est proche de +1 ou de - 1, et d'autant plus faible qu'elle est proche de 0.

- Une valeur proche de +1 montre une forte liaison entre les deux caractères. La relation linéaire est ici croissante (c'est-à-dire que les variables varient dans le même sens).

- Une valeur proche de -1 montre également une forte liaison mais la relation linéaire entre les deux caractères est décroissante (les variables varient dans le sens contraire).
- Une valeur proche de 0 montre une absence de relation linéaire entre les deux caractères.

3-3-2 Les techniques d'exploration multivariée :

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) :

L'ACP est une méthode descriptive qui permet de réduire le nombre des variables afin de projeter le nuage de points dans un sous-espace bidimensionnel engendré par des couples d'axes fonctionnels ou facteurs. Deux types d'analyses sont disponibles, selon les données normalisées ou bien centrées. Dans le premier cas, l'analyse est effectuée par la matrice de corrélation, alors que le deuxième cas, l'analyse est effectuée par la matrice de covariance. Cependant, la méthode de base se compose d'une matrice symétrique diagonale : de corrélation ou de covariance. La particularité de ce modèle est le graphisme qui fournit un aide visuel pour le classement des variables et des cas (observations). Ce modèle a une caractéristique unique comme actif, ainsi que les variables et les observations peuvent être spécifiées. Les variables actives dans l'ACP (Analyse en composantes principales) sont utilisées dans les calculs l'ANN. L'ACP produit des résultats sous deux formes : les tables de calculs et les graphiques, les tables de calculs sont utilisées pour interpréter les résultats et les graphiques associés aident au classement des variables et des observations visuellement, elle produit également un large éventail de résultats [08].

L'objectif principal de l'ACP est de récupérer un espace vectoriel de dimension inférieure sur laquelle l'origine des points (variables et observations) peut être prévu, de sorte que la structure sous-jacente des données pourrait être détecté.

4- Les Réseaux de Neurones Artificiels (ANN) :

Les réseaux de neurones artificiels, connus généralement sous l'acronyme ANN (Artificial Neural Network), sont des modèles mathématiques non linéaires de type "boîte noire" capables d'établir des relations entre les entrées et les sorties d'un système.

4-1 Présentation de la méthode neuronale :

Les réseaux de neurones artificiels (**RNA** ou **ANN**) constituent une nouvelle approche de modélisation des systèmes complexes, particulièrement utile lorsque ces systèmes sont difficiles à modéliser à l'aide des méthodes statistiques classiques. Les réseaux de neurones artificiels sont issus des premiers travaux réalisés dans le domaine de l'intelligence artificielle pour modéliser le fonctionnement du cerveau humain (McCulloch et Pitts, 1943) en se basant principalement sur le concept des neurones. Il s'agit d'un modèle empirique non linéaire (Fortin et al,1997). Il se compose d'éléments de traitement interconnectés (neurones) travaillant conjointement pour résoudre un problème spécifique. R. Hecht Nielsen 1990 donnes la définition suivante : un réseau de neurones est un système de calcul composé d'éléments de traitement simples fortement interconnectés, qui traitent l'information par leur changement d'état dynamique en réponse à une entrée externe [10].

4-2 Connections entre les neurones :

Les réseaux de neurones sont organisés en couches ; ces couches se composent d'un certain nombre de neurones interconnectés qui contiennent une fonction d'activation. Des entrées (*i n* X_1, X_2, ..., X_i) sont présentées au réseau par l'intermédiaire de la couche d'entrée, qui les communique aux couches cachées où le traitement s'effectue en utilisant des connexions pondérées. Puis, les couches cachées transmettent la réponse à la couche de sortie (S). Les connections entre les neurones se font par des poids (*i n* W_1, W_2,..., W_j) (**Fig N° -1**).

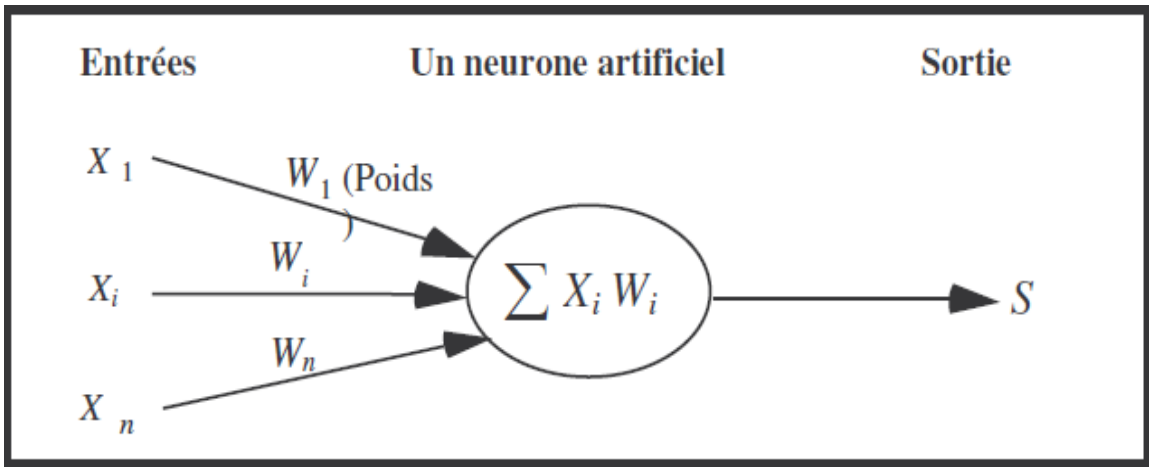

Figure N° IV-2: Schéma d'un neurone artificiel [07]**.**

Le fonctionnement d'un neurone artificiel s'inspire du fonctionnement schématisé du neurone humain (**Figure N° IV-2**).

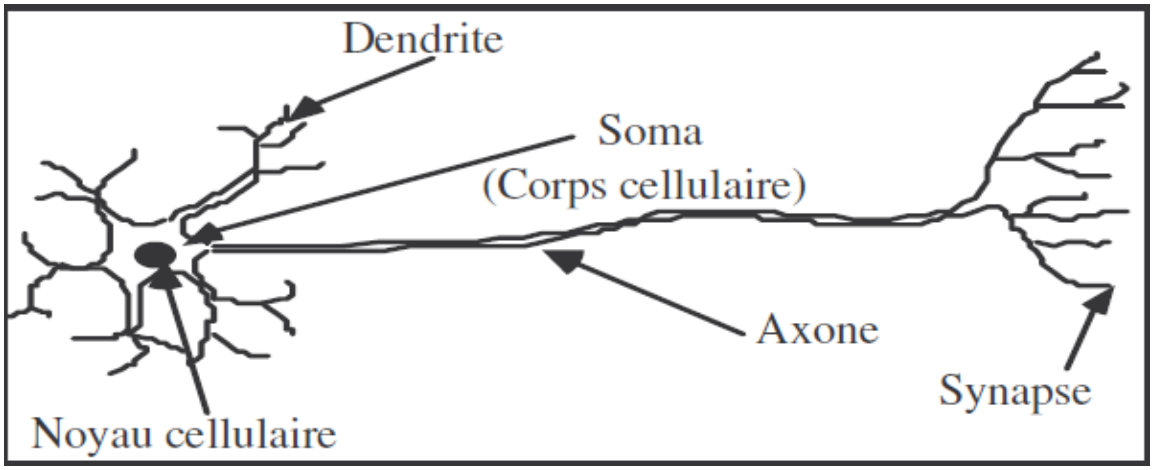

Figure N° IV-3: Schéma d'un neurone biologique [10]**.**

Le tableau suivant résume l'analogie entre les neurones biologiques et artificiels (Tab.1).

Tableau IV-3: Analogie entre les neurones biologiques et artificiels [10].

Neurone biologique	**Neurone artificiel**
Soma	Neurone
Dendrite	Entrée (Input)
Axone	Sortie (Output)
Synapse	Poids

5- Perceptron Multicouche (PMC) :

Il existe une grande variété d'agencements possibles de neurones artificiels (Lippmann, 1987), mais le type de réseau le plus utilisé pour la prévision de phénomènes technique est le perceptron multicouche (PMC). Ce réseau comporte une couche de neurones artificiels pour capter les entrées, une ou plusieurs couches cachées (MLP ou MultiLayers Perceptron) et une couche de neurones artificiels pour émettre les sorties du modèle. Chaque couche contient des unités de calcul (neurones) connectées à d'autres neurones par la voie des poids (*Wij* et *Wjk*) [10].

La fonction de transfert ou d'activation de non-linéarité peut avoir différentes formes. La fonction la plus utilisée est en général une somme pondérée de type sigmoïde car il s'agit d'une fonction continue, non décroissante, différentiable et bornée, mais aussi elle introduit la non-linéarité et dérivée d'elle-même.

A chaque connexion entre les neurones de deux couches successives est associé un poids modifiable au cours de l'apprentissage en fonction des jeux de données en entrée et en sortie. Un PMC peut contenir autant de couches cachées que l'on désire mais il a été montré que quel qu'en soit le nombre, il existe un MLP équivalent avec une seule couche cachée. Ainsi, on se limitera dans cette étude à l'utilisation de MLP comportant une seule couche cachée.

Si les états des neurones de la couche d'entrée sont déterminés par les variables à l'entrée du réseau, les autres neurones (de la couche cachée et de sortie) doivent évaluer l'intensité de la simulation en provenance des neurones de la couche précédente par la relation suivante [08]:

$$\boldsymbol{S_J = \sum_{i=1}^{n} X_i\, W_{ij} + b_j} \qquad \textbf{(VI-01)}$$

Avec S_j: somme des poids entre les entrées du $j^{ème}$ neurone de la couche cachée ; X_i : valeur de sortie du i ème neurone de couche précédente ; W_{ij}: poids synaptique du neurone i de la couche d'entrée au neurone j de la couche cachée, b_j est le biais ou le seuil d'activation du neurone j.

La réponse des neurones est une fonction d'activation non linéaire de type sigmoïde qui est défini par la formule suivante [14]:

$$\boldsymbol{f(S_j) = \frac{1}{1+e^{-S_J}}} \qquad \textbf{(VI-02)}$$

$\boldsymbol{f(S_j)}$ est pratiquement linéaire entre 0 et 1.

Les valeurs des variables d'entrée ont été normalisées entre [0, 1] par le modèle selon l'équation suivante [08]:

$$\overline{X} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \qquad \textbf{(VI-3)}$$

Avec : X est la valeur de la variable d'entrée, X_{min} est sa valeur minimale, X_{max} est sa valeur maximale et $\overline{X}$ est la valeur de la variable normalisée.

6- Application du modèle de RNA (Ou ANN) :

Les performances des réseaux de neurones dans la modélisation non linéaire ont été prouvées dans plusieurs domaines de l'ingénierie et de la Science. Dans le domaine de l'ingénierie essentiellement en géotechnique on peut citer Najjar et *al* (1996), Najjar and Ali (1998a) & (1998b) et Najjar and Zhang (2000) qui ont appliqué les RNA pour l'évaluation de la perméabilité des argiles et la liquéfaction des sols.

6-1 Architecture du réseau ANN:

Un réseau de neurones artificiels est organisé en couches, chacune de ces couches comportant plusieurs neurones. L'architecture du réseau précise le nombre de couches qui le composent et le nombre de neurones dans chaque couche, ainsi que le poids des connexions. Chacun de ces neurones qui se présente comme unité de calcul autonome, est relié à la totalité ou à certains neurones de la ou des couches précédentes par l'imposition de poids.

Le réseau de neurones utilisé dans notre étude est un réseau à trois couches : une couche d'entrée qui recevra les données sources que l'on veut utiliser pour l'analyse, une seule couche cachée constituée par l'ensemble de neurones des sorties de la couche d'entrée et une couche de sortie qui donne le résultat obtenu après compilation par le réseau des données entrant dans la première couche (**Figure N°3**). La fonction de transfert appliquée est de type sigmoïdale. Le réseau de neurones utilisé est l'algorithme de rétropropagation de l'erreur qui correspond au perceptron multicouche [10].

Dans la majorité des cas, pour limiter le temps de calcul et surtout lorsque les résultats sont en général satisfaisants, c'est un réseau à une seule couche cachée qui est utilisé. Ce type de réseau de neurones est appelé un réseau multicouche ou feedforward (FNN).

Parfois l'addition d'une couche cachée n'a pas diminué l'erreur et elle fait décliner la performance et la convergence du modèle. Les meilleurs résultats de la simulation avec

bonne convergence et performance du modèle sont obtenus dans le cas d'utilisation d'une seule couche cachée (Cybenko., 1989, Hornik *et al.*, 1989).Dans ce travail, l'utilisation d'une seule couche cachée est jugée suffisante pour le modèle de RNA [10].

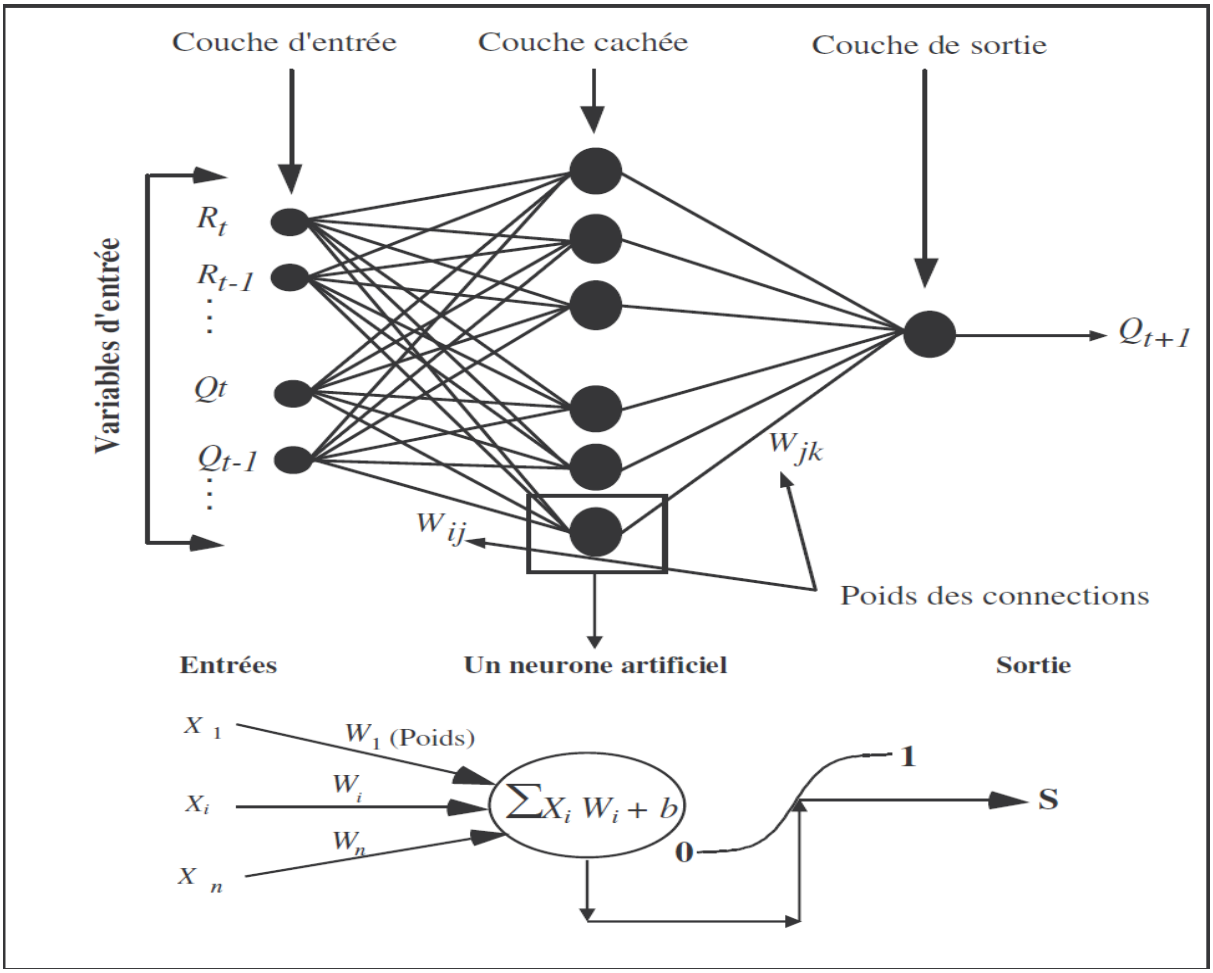

Figure N° IV-4: Architecture du modèle RNA à trois couches utilisée dans cette étude.

6-2 Le Calage du Modèle :

Après que le nombre des neurones dans les trois couches ait été arrangé de façon que les résultats, statistiquement soient plus plausibles, trois partitions différentes de la base de données sont alors utilisées pour les simulations. La base de données a été divisée en trois phases afin d'éviter le sur-apprentissage : une phase d'apprentissage (Training) (70% de données), une phase de validation (Verification) (15% de données) et une phase de test (Testing) (15%). La validation est une technique utilisée couramment dans les modèles ANN, et a un impact significatif sur la répartition des données [08].

Pour détecter la perturbation du modèle, on utilise qu'une partie de données pour l'apprentissage et une autre partie sera réservée pour tester la performance du modèle afin

de décider l'arrêt de l'apprentissage avec des nœuds cachés optimales. Cet arrêt est fait lorsque l'erreur de la validation du modèle commence à augmenter.

6-3 Critère de Performance du Modèle :

Il existe de nombreux critères pour l'évaluation des modèles conceptuels, ces critères sont proposés par l'organisation mondiale de la météorologie, et utilisés dans le domaine de simulation. Les critères sont classés dans deux groupes : un groupe des indicateurs graphiques et un autre groupe des mesures numériques. La Somme de l'Erreur Carré (SOSE), et le coefficient de détermination R^2 peuvent être classés comme des indicateurs numériques pour définir un réseau (MLP) optimal. D'ailleurs, la SOSE peut être utilisé pour comparer la performance du (MLP) avec d'autres types communs de l'ANN.

$$\boldsymbol{SOSE = \sum_{i=1}^{N}(Q_i - \widehat{Q}_i)^2} \qquad \textbf{(VI-04)}$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N} (Qi - \overline{Qi})(\hat{Q}i - \overline{\hat{Q}i})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} (Qi - \overline{Qi})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{N} (\hat{Q}i - \overline{\hat{Q}i})^2}} \right]^2$$

Où :

Q_i : est la valeur de la sortie observée;

$\widehat{Q}_i$: est la valeur de la sortie prévue;

Q_i : est la valeur de la moyenne des valeurs des $\widehat{Q}_i$;

N : est le nombre total des données.

La SOSE donne une indication quantitative de l'erreur du réseau. Elle mesure l'écart entre la valeur prévue et celle observée correspondante. Le coefficient de détermination R^2 représente la proportion de variation des valeurs des sorties. Des valeurs de sortie de 90% indiquent que la performance du modèle est très bonne, la performance du modèle est bonne lorsque $80\% < R^2 < 90\%$, le modèle est non performant si : $60\% < R^2 < 80\%$ (Lallahem et Mania, 2003a, b). La valeur idéale pour la SOSE est zéro [08].

6-4 Détermination des entrées du model :

Les modèles RNA ont la capacité de déterminer quels intrants sont essentiels. Ils sont surtout utiles pour des problèmes complexes où le nombre d'entrées possibles est grand et où la connaissance a priori n'est pas disponible pour déterminer les apports appropriés (Lachtermacher et Fuller, 1994). Une analyse de sensibilité peut être réalisée afin d'identifier l'importance des variables d'entrée. Ceci indique quelles variables sont considérées comme les plus utiles pour être retenu par le modèle ANN. Les modèles ANN supprime les variables d'entrée avec une faible sensibilité. La sensibilité est présentée par le ratio et rang. La figure sensibilité de base est l'erreur. Cela indique la performance du réseau si cette variable est "indisponible". Les variables importantes ont une grande erreur, ce qui indique que les performances du réseau se détériorent gravement s'ils ne sont pas présents. Le ratio indique le rapport entre l'erreur et l'erreur de base (c'est à dire l'erreur du réseau si toutes les variables sont "disponibles"). Le rang énumère simplement les variables dans l'ordre de leur importance.

7- Le Logiciel utilisé:

Le module data mining (Automated Neural Networks) du logiciel STATISTICA, version 8.0 a été utilisée dans ce travail de recherche pour caractériser les variables d'efficacité et d'établir des relations par simulation entre la variable de sortie (dépendante) et les variables entrées indépendantes. L'ANN est un programme complet, état de l'art, puissant et extrêmement rapide, le module ANN sous STATISTICA 8.0 comportant [08]:

1. Intégration pré- et post-traitement, y compris la sélection des données, mise à l'échelle, la normalisation et la substitution des valeurs manquantes, l'interprétation de la classification, régression, et les problèmes de séries chronologiques.
2. La facilité exceptionnelle de l'utilisation couplée avec une puissance analytique non-surpassée, par exemple, un type unique intelligent (Solveur du Problème) peut guider étape par étape dans la procédure de création des différents réseaux et en choisissant le réseau le plus performant.
3. Des techniques analytiques et exploratoires puissantes, y compris la sélection des algorithmes d'entrée (choix des variables d'entrée appropriées à l'analyse exploratoire des, qui est une application typique des réseaux de neurones).

4. État de l'art des algorithmes d'apprentissage hautement optimisé, et plein contrôle sur tous les aspects qui influent sur les performances du réseau telles que l'activation et les fonctions d'erreur, ou la complexité du réseau.
5. Graphique compréhensif et statistique qui facilite les analyses exploratoires interactives et,
6. La Sélection d'un modèle neuronal soutient les classes les plus importantes des réseaux de neurones MLP, y compris, fonction radiale de base (RFB), pour résoudre vos problèmes concrets.

8- Conclusion

Les résultats obtenus dans ce modèle d'ANN indiquent que ce sont les réseaux de MLP qui s'avèrent être la meilleure structure du RNA pour modéliser.

L'originalité de ce travail de modélisation réside dans l'utilisation des réseaux neuronaux (approche connexionniste) qui sont fondés sur des modèles qui tentent d'établir des relations entre les paramètres d'entrée et de sortie par interconnections des neurones.

L'intérêt de ces modèles réside dans leur capacité d'apprendre des relations complexes à partir de données numériques. C'est pourquoi le choix et l'application d'un modèle neuronal demeure un domaine de recherche très actif contrairement aux modèles stochastiques classiques.

Chapitre V

Optimisation des paramètres du forage à HMD

1-Introduction:

Le forage en underbalanced a été introduit dans les années 1990 et essentiellement pour pallier à certains problèmes rencontrés dans les forages horizontaux. Les résultats remarquables obtenus ont permis son expansion rapide dans le monde pétrolier et jamais dans l'industrie une technique pétrolière n'a connu un tel essor.

L'UBD ou forage en dépression est une technique de forage qui permet d'avoir intentionnellement la pression de fond exercée par le fluide de forage inférieure à la pression dans les pores.

Le forage en UBD représente une alternative adaptée aux problèmes posés par les réservoirs déplétés fracturés ou le forage conventionnel en "Over balance" est pratiquement impossible à cause des pertes du fluide de forage dans la formation.

Actuellement 40% des puits au CANADA et USA en Onshore sont forés en UBD et un peu moins en Offshore à cause de l'encombrement des équipements utilisés.

2- But de cette étude:

La profondeur moyenne forée par puits dans le champ de Hassi Messaoud est d'environ 3500m. La phase 6'' d'une longueur de 500m constitue grande section. Avec une boue à huile de densité 0.82 sg ; le forage optimal des formations de cette section, représente un défi, le forage de ces formations est marqué par la présence de différents types de vibrations, parfois très sévères.

Les performances dans la phase 6" en termes de ROP, ont considérablement été améliorées durant ces trois dernières années avec l'introduction de nouvelles générations d'outils PDC. Cependant, un problème majeur reste à mitiger ; les coincements difficiles dans le CAMBRIAN lors des remontées et qui causent des pertes en temps et en argent considérables.

Pour maintenir ces performances à un bon niveau, et éradiquer le problème de coincement dans le CAMBRIAN, la compréhension des facteurs positifs et négatifs affectant le temps global de réalisation de la phase 6'' est très important.

L'objectif de l'étude est de comprendre le phénomène de coincement au niveau du CAMBRIAN, de déterminer les causes et enfin tenter de trouver le remède préventif permettant de réduire le temps de remontée.

3- Le forage de l'UBD en Algérie :

Le problème de forage en ''Overbalance'' du réservoir de HASSI MESSAOUD posait de sérieux problèmes de pertes dans le réservoir.

A partir de 1997 SONATRACH a entamé sa campagne de reprise des puits en UBD à HASSI MESAOUD avec les rig de l'ENAFOR et l'ENTEP.

4- Pourquoi le forage en UBD dans le champ de HASSI MESSAOUD:

La découverte du champ de HASSI MESSAOUD était en 1956 et la production a commencé en 1958, Après 43 ans d'exploitation il y a un déclin important de la pression de gisement; on enregistre actuellement 06 zones sérieusement déplétées.

Le forage conventionnel OBD génère de sérieux problèmes; pertes de circulation, faible vitesse de pénétration (R.O.P), utilisation de plusieurs outils de forage et des durées de réalisation des puits élevées.

Le cout de revient des puits devient très élevé et les résultats n'étaient pas au niveau escompté. Les forages Horizontaux ont permis à la SONATRACH d'envisager l'utilisation de l'UBD dans le champ de HASSI MESSAOUD afin d'évaluer les résultats.

Les résultats obtenus lors du forage de deux puits d'essai étaient remarquables avec des vitesses de pénétration 04 fois plus importantes que le forage en Overbalance, un gain très appréciable en cout de revient des puits a été réalisé.

Ces essais ont permis à SONATRACH de conclure que le forage en UBD est une alternative au forage conventionnel non seulement dans les zones déplétées de HASSI MESSAOUD mais aussi applicable aux autres zones.

Un programme ambitieux de forage en UBD a été lancé à HASSI MESSAOUD, permettant de tirer ses avantages concernant les paramètres suivants :

4-1 Vitesse de pénétration ROP :

Ce graphe montre la vitesse de pénétration des différents forages (UBD et OBD) :

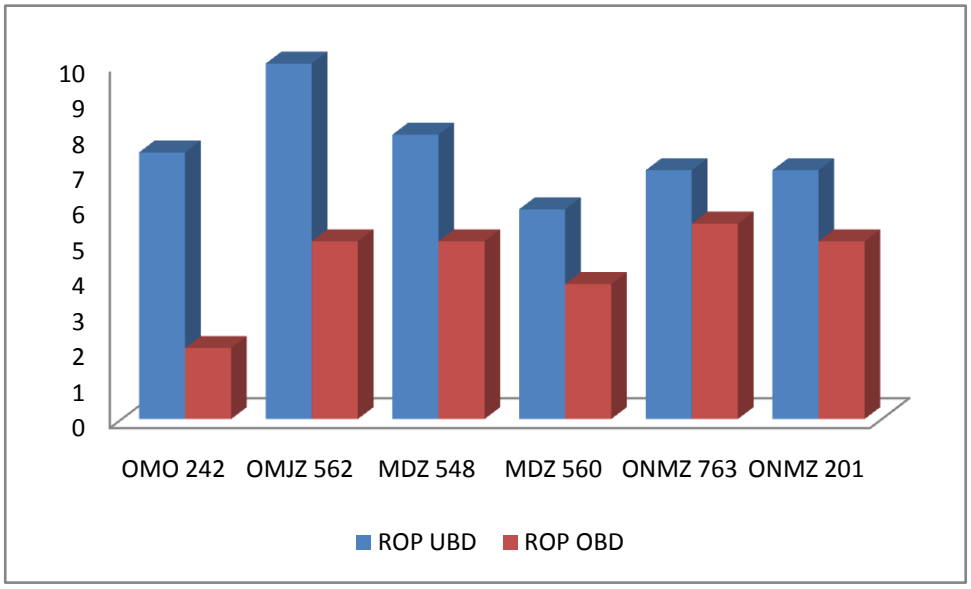

Figure N° V-1 : Comparaison de ROP en UBD et OBD.

Un résultat très important réside dans l'interprétation de cette illustration se rapportant au temps record enregistré dans l'avancement de pénétration, la vitesse de pénétration de forage réalisé en UBD est notablement supérieure à celle du OBD. Parmis les puits étudiés, on remarque clairement un rapport de 03 fois plus d'avancement en UBD par rapport à l'OBD. Pour le puits OMO 242, Ce progrès procure au forage UBD des caractéristiques redoutables et avantageux ses sur le plan technico-commerciale exprimé par un délai de réalisation très optimisé et court, ainsi l'obtention des objectifs et du programme d'investissement assigné au forage avec le moindre de cout.

4-2 Consommation d'outils (OBD-UBD) :

L'histogramme suivant montre la consommation des outils entre le forage connvontional OBD et la forage en UBD :

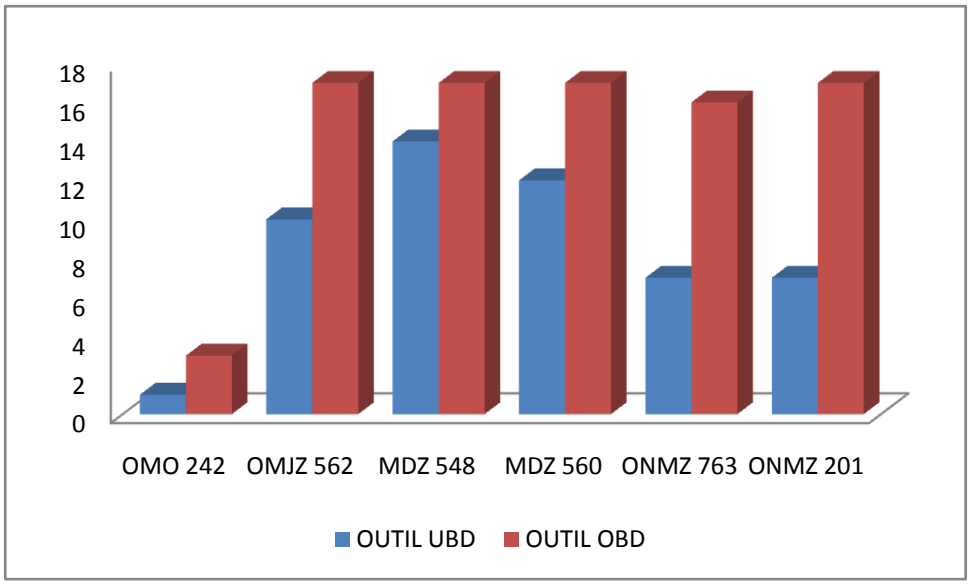

Figure N° V-2: Comparaison de consommation des outils de forge en UBD et OBD.

On note visiblement que la consommation des outils de forage est toujours importante et superieur en forage OBD et ce , pour tous les puits etudiés malgré leurs caracteristiques differents , ceci confirme l'avantage et la flexibilité des forgaes UBD.

A titre d'excemple, l'histogramme nous renseigne precisament que dans le puits OMO 242 on a consommé 03 fois plus d'outils en OBD par rapport à l'UBD, un écart de consommation variant de 6 à 10 outils est constaté pour le reste des puits .

Cependant, en sus des résultats avntageux consignés sur la réduction de consommation d'outils de forage en UBD , il convient de noter que la phase forée en UBD est 4000 m (600 m-800 m) et la phase forée en OBD entré 3400 m ce qui renforce d'avantage la technique de forage en UBD c.à.d de forer plus de profondeur avec moins de consommation d'outillage relativement à l'OBD .

Concluant de cette explication, une compétence averée du forage UBD continue à afficher des resultats promoteux avec des performances confirmées et des réductions de couts considérables .

.

4-3 Résultats de production :

Les résultats de production donnés par les puits forés en UBD sont très satisfaisants.

4-3-1 Production moyenne d'huile :

Le graphe suivant présente l'importance de la récupération d'huile au niveau des forages en underballance (UBD) :

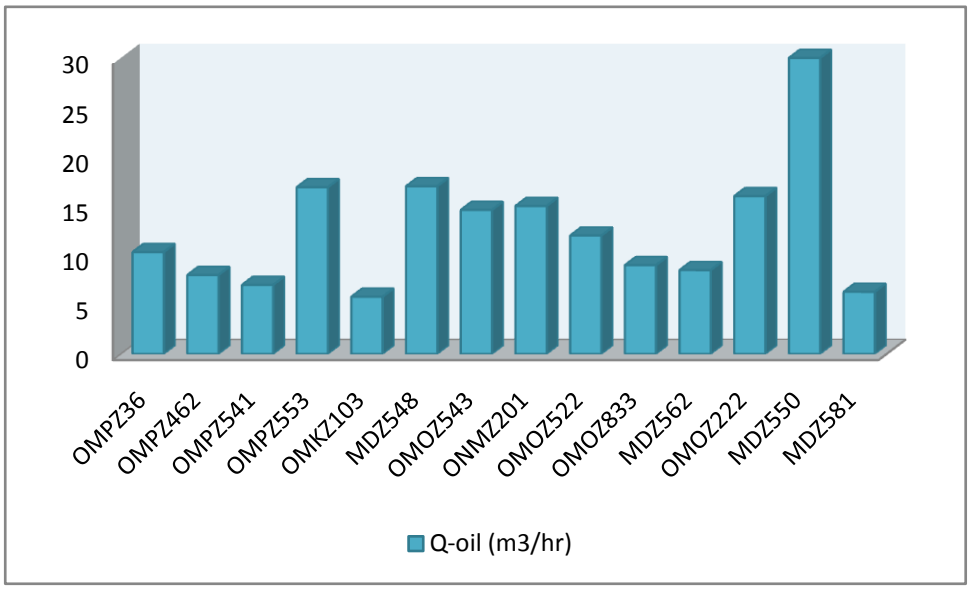

Figure N° V-3: production moyenne d'huile en forage UBD.

La représentation graphique de la production d'huile en forage UBD déjà considéré comme un apport supplémentaire d'exploitation de puits durant la phase de forage UBD , profile de production inexistante en forage OBD procure à cette technologie un aspect économique excellent, C'est tout a fait une valeur ajoutée et un amortissement direct du coût d'investissement de forage dont le débit quantifié sur l'ensemble des puits durant le forage varie entre 6 à 30 m^3/hr , nettement supérieur à des puits en déplétion, En UBD toute la boue est récupéré et recyclé pour réutilisation et par conséquent une réduction de cout et de tempes et dépense financière est procuré par cette technique .

4-3-2 Production moyenne de Gaz :

Ce graphe montre la récupération moyenne de gaz au forage en UBD :

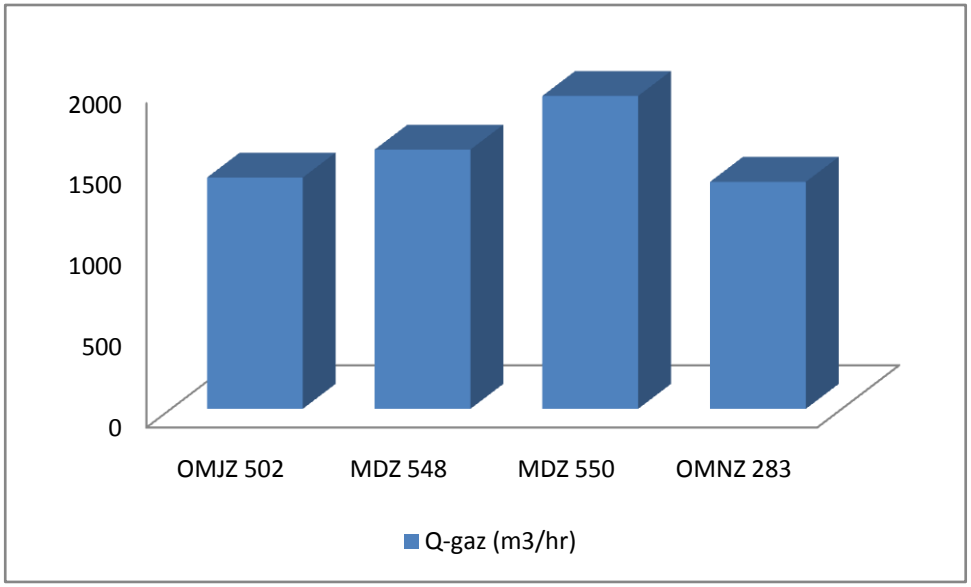

Figure N° V-4: Production moyenne du gaz en forage UBD.

Simultanément à la production d'huile en forage UBD, le graphe présente une récupération importante du gaz arrivant à 1930 m^3/h, ce qui rajoute aux avantages du forage UBD un autre aspect d'optimisation de couts d'investissement et une valeur ajoutée au programme d'investissement.

5- L'objectif de cette étude:

Dans cette étude, nous évaluons le forage non conventionnel au champ de HASSI MESSAOUD et essayons de trouver le problème majeur dans ce type de forage et les facteurs impliqués, à l'aide du logiciel STATISTICA 8.00 on utilise un modèle appelé les réseaux de neurones artificiels RNA (Artificial Neural Network ANN) pour décrire les interactions entre ces paramètres.

Les performances de ces derniers (ANN) dans la modélisation non linéaire ont été prouvées dans plusieurs domaines de l'ingénierie et de la science. On peut donc obtenir des résultats contribuant à minimiser le temps non productif et optimises les paramètres et minimiser le cout de forage. Les informations utilisées concernent 30 puits étudiés et sont illustrées dans la figure suivante:

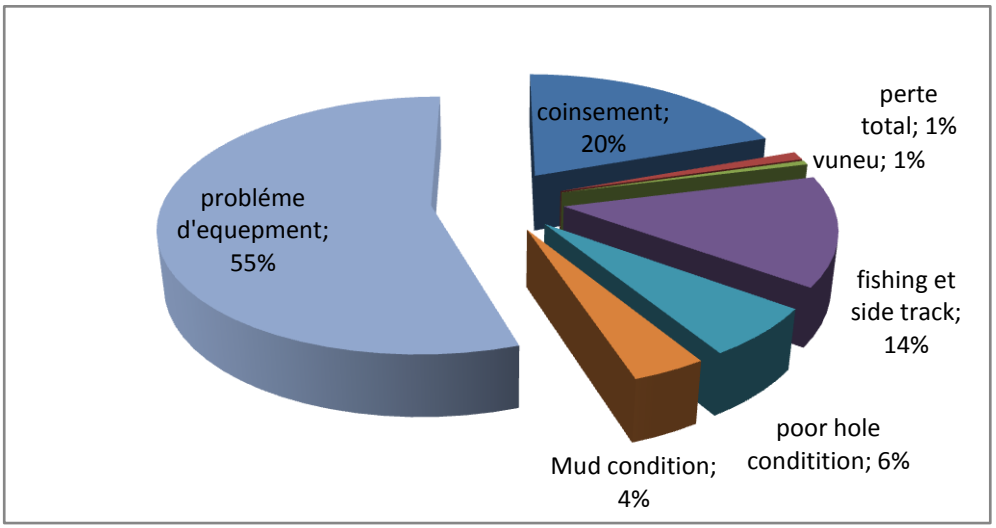

Figure N° V-5: La Distribution de NPT en forage UBD Au champ de Hassi MESSAOUD.

Dans cette figure on remarque que les problèmes majeurs dans le forage en UBD sont les coincements et ceux lies à l'équipement, dans cette étude nous nous concentrons sur les problèmes propres au forage et on évite les problèmes d'équipements.

6- Les Outils de modélisation:

Les outils d'étude utilisés dans ce travail sont : les réseaux de neurone artificiels (ANN), les statistiques descriptives, l'analyse des matrices de corrélation, et l'analyse multivariée qui inclue l'analyse du paramètre optimal et l'analyse des facteurs.

7- Application du modèle de RNA (ou ANN):

Les réseaux de neurones artificiels, connus généralement sous l'acronyme **ANN** (**A**rtificial **n**eural **n**etwork), sont des modèles mathématiques non linéaires de type "boîte noire" capables d'établir des relations entre les entrées et les sorties d'un système.

Les performances de ces derniers dans la modélisation non linéaire ont été prouvées dans plusieurs domaines de l'ingénierie et de la science.

Les réseaux de neurones artificiels sont issus des premiers travaux réalisés dans le domaine de l'intelligence artificielle pour modéliser le fonctionnement du cerveau humain (McCulloch et Pitts, 1943) en se basant principalement sur le concept des neurones.

8- Les Matrices de Corrélation :

L'analyse réalisée est portée sur un échantillon de 32 puits ont subi avec neuf (09) variables comme s'est représenté sur la tableau ci-après:

Tableau V-1 : Matrice de corrélation.

	d	**Q-oil**	**Q-n2**	**WOB**	**RPM**	**SPP**	**BHCP**	**DD**	**ROP**
D	1,00								
Q-oil	-0,06	1,00							
Q-n2	-0,06	0,24	1,00						
WOB	**0,70**	-0,17	-0,04	1,00					
RPM	**0,72**	-0,04	0,02	**0,74**	1,00				
SPP	-0,07	0,24	-0,02	0,01	-0,22	1,00			
BHCP	-0,30	-0,01	0,22	-0,28	**-0,55**	0,45	1,00		
DD	**0,60**	-0,21	0,01	**0,76**	**0,60**	0,10	-0,28	1,00	
ROP	**0,70**	-0,21	-0,05	**0,79**	**0,72**	-0,07	-0,37	**0,60**	1,00

Dans le tableau précédent, nous remarquons types de corrélations : la première directe (r>0), ce qui semble indiquer une compétition entre les paramètres de forage. A partir de la valeur seuil de $|\mathbf{r}| \geq \mathbf{0.55}$, nous dégageons les associations suivantes : **d-WOB ; d-RPM ; d-DD ; WOB-RPM ; WOB-DD ; RPM-DD ; ROP-d ; ROP-RPM ; ROP-WOB ; ROP-DD.**

9- Optimisation du paramètre de forage :

Le choix des paramètres de forage non judicieux, ou plus simplement non précis, entraîne une augmentation du coût de forage, qui en absolue, représente un prix important. C'est donc dans le but de réduire les dépenses correspondantes par un choix optimal des paramètres, que cette étude a été entreprise. Cependant pour parvenir à cette fin, il est nécessaire de réaliser une étape intermédiaire, qui consiste à modéliser, ce qui permet en second lieu de simuler, les lois régissant le forage et les paramètres définissant la nature du terrain traverse. Si cette identification correspond à une image relativement exacte du processus réel, on peut alors étudier théoriquement les Paramètres les mieux adaptés à la conduite de forage.

Les paramètres de forage sont très nombreux puisque ce sont tous les facteurs qui influent sur la vitesse d'approfondissement du forage. Citons en quelque uns :

- La nature de la roche, sa forabilité, sa tendance à dévier, son abrasivité.
- Le type d'outil utilisé pour détruire les roches.
- Le poids (WOB : Weight on bit) et la vitesse de rotation (RPM : Rotation per minute) de l'outil.
- Les caractéristiques du fluide de forage utilisé pour le nettoyage du front de taille.

Tous les paramètres de forage ne sont pas forcément connus ou à fortiori choisis, comme, par exemple, la nature de la roche. Néanmoins, plus on aura d'éléments pour définir les meilleurs paramètres, plus on aura de chance d'utiliser l'appareil de forage avec le maximum d'efficacité.

En fait on a coutume d'appeler paramètres de forage les facteurs dont on est maître en permanence. On peut les regrouper en deux catégories :

- **Les paramètres mécaniques** : le type d'outil, le poids (WOB) et la vitesse de rotation (RPM).
- **Les paramètres hydrauliques** : l'énergie hydraulique au niveau de l'outil, la nature du fluide de forage.

9-1 L'Analyse en Composantes Principales (ACP) de ROP :

Notre **ACP** comporte tous les variables précédents qui a une bonne corrélation à partir du tableau de la matrice de corrélation (les paramètres mécaniques, hydrauliques et ROP).

Après l'application du **logiciel STATISTICA 8.00** nous obtenons le cercle au dessous :

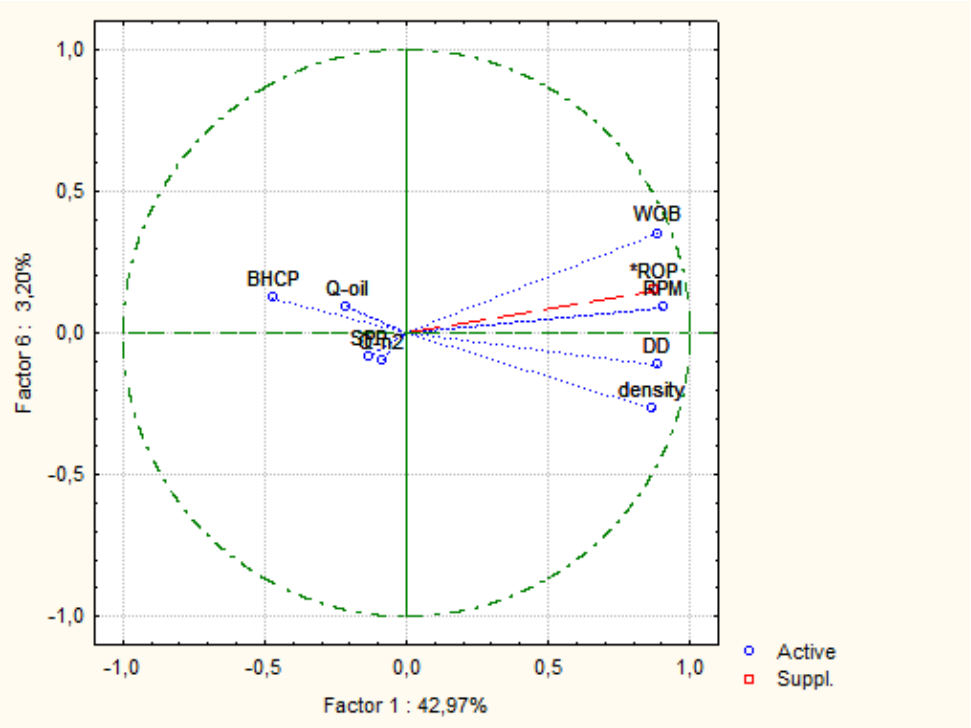

Figure N° V-6: Cercle présente la relation entre la ROP et paramètre de forage.

L'observation du cercle **(Figure N° 6),** formé par les axes F1F6 (46.17%) de l'information totale, montre selon l'axe F1 (42.97%) horizontal, un bon corrélation entre la densité, RPM ,WOB, Draw Down d'un part et ROP d'autre part, ces dernières paramètres occupant la partie positive de l'axe et les autres paramètres positionnes dans la partie négative de l'axe.

Selon l'axe F6 (3.20 %) vertical, on note que les paramètres: la densité, DD et Q_{N2} sont positionné négativement et les autres paramètres sont positionnés positivement.

9-2 Traitement de donne avec le ANN:

Pour optimiser les paramètres de forage pour obtenue une meilleure vitesse d'avancement, les réseaux de neurones peuvent nous fournir un model facilitant cette optimisation.

D'âpres les résultats de l'analyse en composantes principales (ACP) les paramètres affectant dans la vitesse d'avancement (ROP) sont : RPM, WOB et les paramétrés hydrauliques

Sur cette base on va construire un model multicouche (MLP) avec les comme entrées les paramètres déjà cites, et comme sortie est la vitesse d'avancement, le nombre des neurones dans la couche cachée est généré par le logiciel en donnent a chaque fois le coefficient de corrélation correspondant.

On a pris les données de 32 puits en choisissant 70% pour l'apprentissage, 15% pour le test et 15% pour la validation.

Le tableau suivent définir le facteur de corrélation pour les différents modelés pour chaque catégorie :

Tableau V-2 : Facteur de corrélation.

	l'apprentissage	Vérification	Validation	Hidden	Output
1-MLP 8-6-1	**0,988129**	**0,984056**	**0,974597**	**Tanh**	**Tanh**
2-MLP 8-15-1	0,878300	0,995983	0,983414	Logistic	Logistic
3-MLP 8-4-1	0,988273	0,992669	0,968016	Tanh	Logistic
4-MLP 8-9-1	0,891012	0,977801	0,963231	Sine	Sine
5-MLP 8-14-1	0,954316	0,984024	0,972295	Logistic	Tanh

Tableau V-3: Tableau de l' erreur à l'apprentissage, la validation et la vérification.

	l'apprentissage	**Vérification**	**Validation**	**Hidden**	**Output**
1-MLP 8-6-1	**0,996215**	**0,075169**	**0,982804**	**Tanh**	**Tanh**

Le modèle (MLP 8-6-1) a une bonne performance dans l'apprentissage avec un coefficient de corrélation supérieur à 98% pour l'apprentissage, 98% pour la vérification et plus de 97% pour la validation. Il montre un excellent accord entre le ROP mesurée (Target) et simulée (output) **(Figure N° V-7),** une erreur minime dans l'apprentissage**,** la vérification et la validation**.**

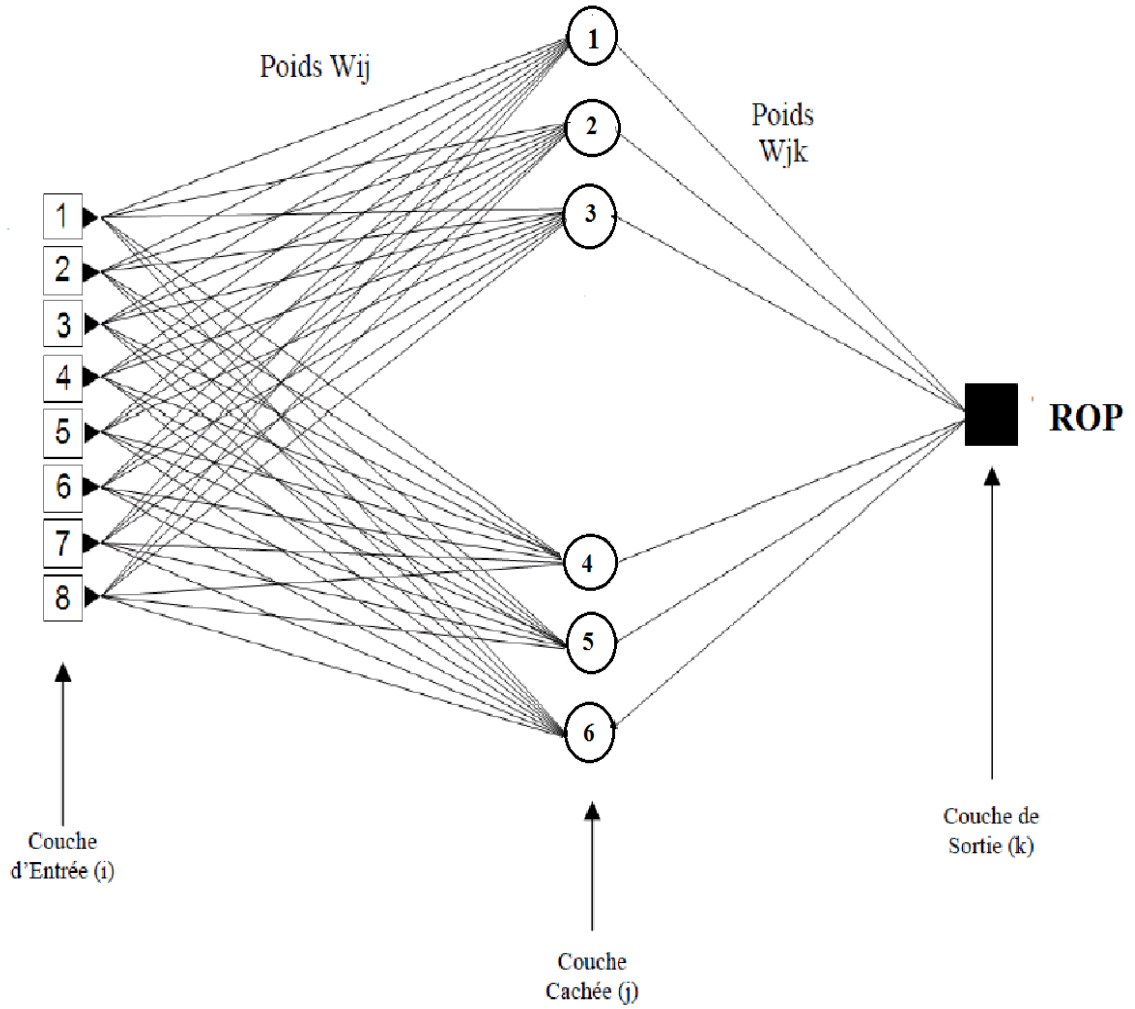

Figure N° V-7: Le réseau MLP à trois couches pour les variables de la ROP.

Légende :

ROP: la vitesse d'avancement (ROP).

1: la densité (sg).

2: poids sur l'outil (WOB).

3: vitesse de rotation (RPM).

4: débit d'huile (Q-oil).

5: debit d'azote (Q-N_2).

6: Draw down.

7: pression de fond (BHCP).

8: méthode d'injection.

9-3 Corrélation entre les ROP simulées et mesurées :

Un excellent accord entre la conductivité observée et simulée comme montre la figure suivante :

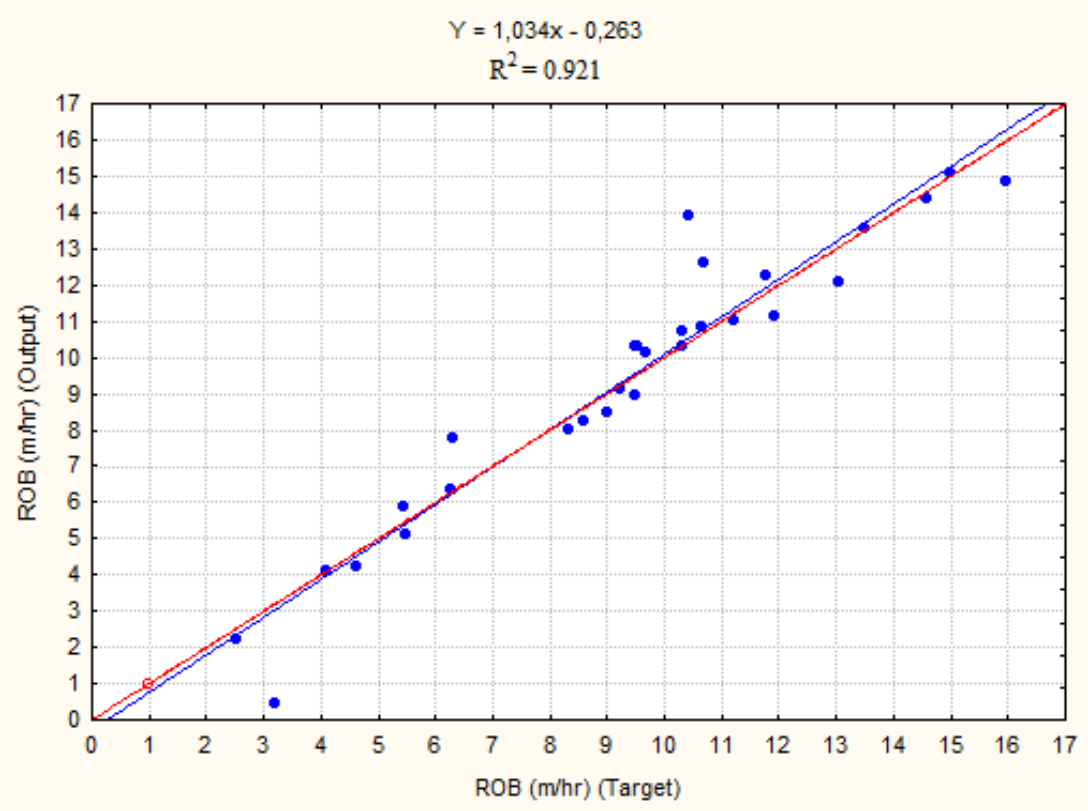

Figure N° V-8: Corrélation entre la ROP simulée (output) et mesurée (target).

A partir des résultats présentés dans la (**Figure N° V-7)**, on a trouvé le coefficient de corrélation entre ROP mesure et ROP calculée : **R^2=0,921** ce qui indique que le modèle de Es-ROP donne des bons résultats.

On peut aussi donner un tableau qui représente le classement de la sensibilité de paramètre de forage sur la vitesse d'avancement.

Tableau V-4 : L'Analyse de la sensibilité de l'ANN les paramètres des forages.

WOB	RPM	Me - inj	Densité	DRAW	BHCP	Q-oïl	Q-n2
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
1.472600	1,182386	1,127159	1,119469	1,046205	1,099749	1,039973	0,997906

L'analyse de la sensibilité de l'ANN aux paramètres de forage dans la phase de vérification (Tableau V-4) indique que les poids sur l'outil (WOB) et La vitesse de rotation (RPM) sont les deux principaux paramètres qui influencent sur vitesse d'avancement, et puis ils sont suivis par la méthode d'injection utilisée, la densité, le draw down (DD), le

pression de fond (BHCP), la débit d'huile (Q-oïl) et le débit d'azote (Q-n2). Le modèle ANN a enlevé deux (02) variables d'entrée en raison de leur faible sensibilité, ces variables sont : la pression de tête de puits (SPP) et yield point (YP).

9-4 Analyse et interprétation :

9-4-1 L'effet de WOB sur le ROP: On constate sur la tableau la sensibilité élève que dans une certaine gamme de WOB, l'augmentation de le ROP est proportionnelle à l'augmentation de WOB. A partir d'une certaine valeur du WOB, l'augmentation de le ROP diminue rapidement et devient quasiment nulle.

9-4-2 L'effet de RPM sur le ROP : Dans une certaine gamme de RPM, l'augmentation de le ROP est l'influence proportionnelle à choix de le RPM. A partir d'une certaine valeur de le RPM, l'augmentation de le ROP diminue fortement devient quasiment nulle. La raison de cette faible augmentation de le ROP lorsque la RPM devient relativement importante est due au fait que le temps entre les impacts des éléments de coupe sur la roche et de plus en plus court (ce dernier point est supporté par le fait que l'augmentation de le RPM produit une diminution de couple à l'outil).

9-4-3 L'effet de densité sur le ROP: Avec une pression différentielle inferieure (ou négative dans le cas du forage UBD), la pression de formation facilite l'expulsion des déblais du font de taille et le nettoyage. Avec une pression différentielle positive, la pression exercée par le fluide de forage tend à plaquer les déblais sur le front de taille et rend le nettoyage moins efficace. Les meilleures ROP sont obtenues en forant avec une boue de densité meilleur pour stabilise la paroi de puits.

9-4-4 L'effet de Draw Down et BHCP sur le ROP: Il est à noter de la tableau que l'étude de comportement de la ROP en fonction des draw down et BHCP sensibilité faible les deux paramètres, en explication de cette conclusion le rôle de la diminution de pression hydrostatique favorise et accélère l'expulsion des déblais en dors du puits en sus d'huile déjà produite qui facilite à son tour la circulation de dégagement des cutting.

9-4-5 L'effet des débits d'huile et d'azote sur le ROP : on remarque dans le tableau l'effet de la sensibilité des débits d'huile et d'azote très faible par ce que le débit d'huile assure le nettoyage de puits et le débit d'azote assure diminution la densité de fluide de forage (la boue de forage).

9-4 Modèles de calcul de la vitesse de pénétration ROP:

La vitesse d'avancement peut être calculée par un modèle mathématique, de plusieurs inconnus qui sont représentés par les paramètres de forage, il suffit de connaitre les valeurs de l'un des paramètres de forage pour avoir la vitesse d'avancement.

Ces modèles ont des précisions proche de 1 « R^2 = 0.921», ils servent comme des indicateurs afin d'éviter les problèmes en cours de forage et ils peuvent êtres appliqués dans d'autres régions avec des rapprochements plus au moins acceptables.

Les résultats obtenus dans ce modèle indiquent que ce sont les réseaux de MLP qui s'avèrent être la meilleure structure du RNA pour modéliser et prévoir l'interaction des paramètres influençant la vitesse d'avancement. Les puits « sans problème » sont retenus comme références pour tester le modèle établi.

Le tableau dessous présenté le paramétré de 8 puits sur les 32 forages on va choisir ceux qui ont des temps non productifs minimaux pour tester l'efficacité du modèle.

Tableau V-5 : les paramètres de forage des puits « sans problèmes ».

nom des puits	density (sg)	Q-oïl (m^3/hr)	Q-N_2 (l/min)	WOB (T)	RPM (tr/min)	BHCP (psi)	DROW DWON	Méthode inj
OMKZ601	0,84	550,00	45	2,50	100,00	3000	6,00%	DP
OMPZ36	0,82	512,00	45	2,00	55,00	3200	5,00%	DP
OMPZ462	0,82	450,00	44	5,00	60,00	3500	3,00%	CI
OMPZ541	0,85	655,00	31	3,00	110,00	2700	2,50%	CI
OMPZ553	0,85	420,00	45	4,00	55,00	2980	4,00%	CI
MDZ548	0,83	475,00	60	6,00	75,00	2970	6,70%	CI
OMOZ411	0,81	420,00	60	2,00	70,00	2828	11,00%	CI
OMOZ833	0,82	460,00	28	2,00	85,00	2845	10,30%	DP

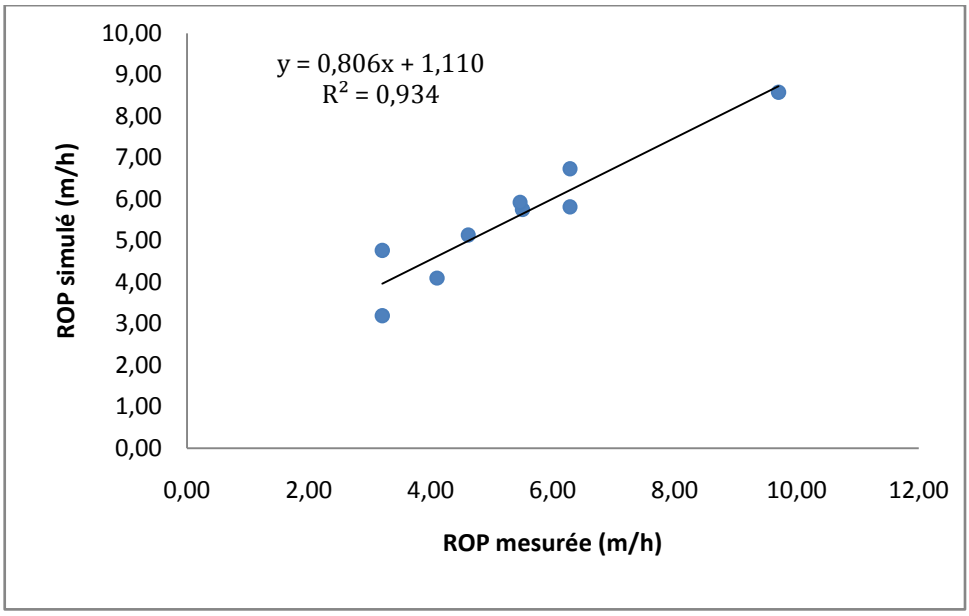

Figure N° V-9: Corrélation entre la ROP mesurée et simulée par le modèle.

Tableau V-6: Les écarts entre ROP mesurée et ROP simulée.

nom des puits	ROP mesurée	ROP simulé	ECARTS (%)	Erreur RMS
OMKZ601	4,61	5,14	11,47 %	0,529
OMPZ36	5,50	5,75	4,61 %	0,253
OMPZ462	9,70	8,58	11,50 %	1,115
OMPZ541	6,28	5,82	7,34 %	0,461
OMPZ553	4,10	4,10	0,08 %	0,003
MDZ548	6,28	6,74	7,32 %	0,459
OMOZ411	3,20	3,19	0,17 %	0,005
OMOZ833	5,46	5,93	8,56 %	0,467

On remarque dans les résultats que l'écart entre ROP mesuré et ROP simulé est faible et les résultats obtenu dans ce modèle sont très proches de la réalité par ce que les écarts maximaux « **11.50%**» ; toutefois dans les puits OMPZ553 et OMOZ411 la valeur simulée égale à celle mesurée.

Le graphe ci-dessus (**Figure N° V-8**) présente la corrélation entre ROP mesuré et ROP simulé: **R^2=0,934** calculé par le modèle. La précision du modèle est très élevée, elle est proche de l'unité (**R^2=0.934)**, il sert comme un indicateur qualitatif des résultats de notre programme de calcul qui donne les paramètres de forage les plus performant dans notre zone d'étude afin d'optimiser la vitesse d'avancement pour éviter le problème de coincement et minimiser les NPT. En effet, la validation des résultats obtenus aux relevés expérimentaux effectués valide l'utilité du modèle établi et met en évidence leur profit.

Le forage OMPZ462 a enregistré une vitesse d'avancement de l'ordre de 9.70 m/h. Cette valeur est considérée comme valeur optimale pour le forage en UBD du réservoir Cambrien de la région de Hassi Messaoud. Les paramètres de forage donnés par le modèle correspondant à cette valeur d'avancement sont considérés comme paramètres optimales de la phase 6''.

Tableau V-7: Paramètres optimales donnés par le modèle MPL 8-6-1 pour la phase 6''

nom des puits	density (sg)	**Q-oïl (m^3/hr)**	**Q-N_2 (l/min)**	**WOB (T)**	**RPM (tr/min)**	**BHCP (psi)**	**DROW DWON**	**Méthode inj**
OMPZ462	0,82	450,00	44	5,00	60,00	3500	3,00%	CI

10- Conclusion :

Les résultats obtenus dans cette étude indiquent que ce sont les réseaux de MLP qui s'avèrent être la meilleure structure du RNA pour modéliser le taux d'avancement dans les forages en UBD.

L'analyse statistique de 32 puits pétroliers forés avec UBD indique que le problème majeur dans le champ de "Hassi Messaoud" est le coincement de forage en cours de l'opération de forage des drains horizontaux avec un pourcentage égale à 20% de l'ensemble des problèmes.

L'originalité de ce travail de modélisation réside dans l'utilisation des réseaux neuronaux (approche connexionniste) qui sont fondés sur des modèles qui tentent d'établir des relations entre les paramètres d'entrée et de sortie par interconnections des neurones.

Le modèle utilisé de type MLP 8-6-1 constitué de 8 neurones d'entrés et 6 neurones de la couche caché a donnée de bons résultats avec un coefficient de détermination $\mathbf{R^2}$ égale à **0.921** soit un coefficient de corrélation **R** égale à **0.959.**

L'analyse ANN a montré que le perceptron multicouche MLP avec l'algorithme de rétro-propagation **BFGS** (Broyden Fletcher Goldfarb Shano) est avéré avoir la meilleure performance pour simuler la relation entre la vitesse d'avancement et les paramètres de forage notamment : les paramètres hydraulique, les débits d'huile et d'azote et la méthode d'injection utilisée dans le forage. En outre, les réseaux MLP permet de caractériser et de hiérarchiser les variables efficaces dans chaque catégorie. Ainsi l'analyse de sensibilité a classé ces paramètres selon leur impact sur la sortie et le classement était le suivant : WOB, RPM, Me-inj, Densité, DRAW, BHCP, Q-oil, Q-N_2.

La validation a été faite par l'utilisation des puits forés sans problème (c.à.d. ayant un temps non productif minimal < à 5 heures). La reconstitution des ROP de 8 forages « sans

problème » a prouvé la bonne performance du modèle en donnant un coefficient $\mathbf{R^2 = 0.934}$ soit un coefficient de corrélation **R** égale à **0.966**.

L'interprétation des résultats donnés par le modèle a permet de déterminer les paramètres optimales pour le forage en UBD de la phase 6'' dans le réservoir Cambrien dans le champ de Hassi Messaoud.

Il faut noter que ce genre de travail nécessite d'être compléter par une banque de données plus large afin de minimiser les erreurs des modèles, aussi le calage définitif des modèles nécessite la mise en œuvre de ces résultats dans la zone considérée dans les conditions réelles.

Enfin ces modèles peuvent servir à la mise en place d'une procédure pour forer d'autres régions en exploitant leurs propres données.

L'intérêt de ces modèles réside dans leur capacité d'apprendre des relations significatives à partir de données numériques.

Conclusion

Conclusion Générale

La découverte du champ de Hassi Messaoud était en 1956 et la production a commencé en 1958, Après 43 ans d'exploitation il y a un déclin important de la pression de gisement; on enregistre actuellement 06 zones sérieusement déplétées, Le forage conventionnel OBD génère de sérieux problèmes; pertes de circulation, faible vitesse de pénétration (R.O.P), utilisation de plusieurs outils de forage et des durées de réalisation des puits élevées , pour cela Sonatrach a commencé l'utilisation de La technique de forage en Underbalance, abrégée communément « UBD ». cette technique a connu un essor fulgurant et exponentiel pendant les deux dernières décennies.

Le forage des puits pétroliers est souvent marqué par plusieurs contraintes, notamment les problèmes de coincement lors de la remonté, ce qui engendre des pertes de temps énormes, et par conséquent un surcoût de forage.

Dans le souci de minimiser la perte du temps engendrée par ces problèmes, nous avons élaboré un modèle à l'aide du logiciel STATISTICA, version 8.0 en utilisant la structure des réseaux de neurone artificiels (ANN) qui permet de calculer la vitesse d'avancement pour chaque type en fonction de plusieurs paramètres de forage.

Les modèles établis permettent de calculer de la vitesse d'avancement pour différentes valeurs des paramètres de forage pour n'importe quel puits dans la zone de Hassi Messaoud.

Il suffit d'introduire les valeurs des paramètres de forage et qui représente les plusieurs catégories à définir (paramètres mécaniques et hydrauliques). Ces modèles ont donné de bons résultats avec un coefficient de détermination " R^2 " proche de 1.

La comparaison des résultats issus de l'expérimentation pour 32 puits déjà forés, dans la région de Hassi Messaoud avec ceux issus des modèles montre que le coefficient de corrélation est très élevé avec une précision très significative.

Ces modèles peuvent servir comme indicateurs sur les problèmes de coincement pour les forages futurs dans la région de Hassi Messaoud.

Par ailleurs, il y a lieu de signaler que la bonne maitrise de la vitesse d'avancement est subordonnée fortement par la bonne optimisation des paramètres mécaniques et hydrauliques.

Ces travaux ont contribué à mieux comprendre l'impact des paramètres responsables et en relation directe avec le problème de coincement.

En perspective, dans le cadre de la poursuite des présents travaux, ce travail nécessite d'être compléter par une banque de données plus large afin de minimiser les erreurs des modèles, ainsi le calage définitif des modèles impose la mise en œuvre de ces résultats dans la zone considérée dans les conditions réelles.

Enfin ces modèles peuvent servir au futur come une plateforme de simulation afin de prédire l'optimisation des paramètres et mettre en place à l'appui de ces résultats une procédure pour forer d'autres puits en exploitant leurs propres données.

Références bibliographiques

BIBLIOGRAPHIE

- [01] ZEGHLACHE El-Mahdi, Reprise des puits (ré- entry) à HMD en underbalanced Application. Les performances techniques et économiques. Etude d'un cas : puits MD 418, mémoire d'ingénieur, Université de Boumerdes, juin 2006.
- [02] Documents « SONATRACH », forage dirigé et UBD, Février 2008.
- **[03]** A.Benchekh et A.Rahim : Présentation du forage en UBD dans HMD . Forum des puits horizontaux. Avril 2004.
- [04] MEZIANI Boubaker et AMGHAR djillali : détermination des vitesses minimales requises pour nettoyage des drains horizontaux forés en UBD (Application au puits Onmz#263). Mémoire de master, IAP Boumerdés, Mai 2006
- [05] A Course in Advanced Underbalanced Drilling (Blade UBD Cours). Editionn année.
- [06] Ameur Zaimeche Ouafi. Utilisation de la méthode d'analyse de cluster dans les données de journaux traitement: la prédiction et la reconstruction de faciès lithologiques, mémoire de magister, Université d'Ouargla 2015.
- [07] Rapports journaliers de 37 puits UBD dans la région de Hassi Massaoud. SONATRACH, 2002-2013.
- [08] SAKAA Bachir, Développement Durable; vers un modèle de gestion intégrée des ressources en eau dans le basin versant de Saf-Saf nord-est Algérien, thèse de doctorat, Université d'Annaba 2013.
- [09] HABES Sameh, Caractéristiques chimiques d'un lac appurtenant aux écosystèmes humides du Nord de l'Algérie;Cas : Lac Fetzara Nord - Est Algérien, thèse de doctorat, Université d'Annaba 2013.
- [10] Souad RIAD, typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles à partir de quelques bassins versants représentatifs du Maroc, thèse de doctorat, Université Ibnou Zohr D'agadir 2003.
- [11] Piotr Boryczko, '' drill bit selection and optimization in exploration well 6507/6-4A in the Nordland Ridge Area'', Master's thesis , university of stavanger, faculty of science and technology, 2012.

- [12] Tuna Eren, ‘’ Real time optimization of drilling parameters during drilling operation’’, a thesis submitted to the graduate school of natural and applied sciences of middle east technical university, 2010.
- [13] R.V Barragan, Petrobas, and O.L.A Santos, Petrobras, and E.E Maidla Csiro Petroleum, ‘’Optimization Of Multiple Bit Runs’’, a paper presented at -Society of petroleum ingineers/ international association of drilling contractors- drilling conference, 1997.
- [14] Paul Rampersard, Geir Hareland, and Thamarat Pairintra, New Mexico Inst. Of Mining & Technology, ‘’ Drilling Optimization of an Oil or Gas Feild’’, a paper presented at -Society of petroleum ingineers/ international association of drilling contractors- drilling conference, 1993.
- [15] Hector U. Caicedo, William M.Clhoun, and Russ T . Ewy, SPE, Chevron Texaco Energy Technology Company (ETC), ‘’Unique ROP Predictor Using Bit-Specific Coefficient of Sliding Friction and Mechanical Efficiency as a Function of Confined Compressive Strength Impacts Drilling Performance’’, a paper presented at -Society of petroleum ingineers/ international association of drilling contractors-drilling conference, 2005.
- [16] Runar Nygaard, Geir Hareland , U. of Calgary, ‘’Application of Rock Strength in Drilling Evaluation’’, a paper presented at Latin American & Caribbean Petroleum Engineering Conference, 15-18 April, Buenos Aires, Argentina, 2007.

Annexes

nom des puits	density (sg)	Q-oil (l/m)	Q-n2(m3/n)	WOB (T)	RPM	SPP	BHCP	DROW DWON +
MDZ622	0,85	600,00	65	6,00	155,00	1230	3030	12,00%
OMKZ601	0,84	550,00	45	2,50	100,00	1360	3000	6,00%
OMOZ22	0,82	410,00	30	2,00	40,00	1160	2960	2,50%
OMOZ44	0,86	760,00	31	6,00	170,00	1100	2485	15,00%
OMPZ36	0,82	512,00	45	2,00	55,00	1150	3200	5,00%
OMPZ462	0,82	450,00	44	5,00	60,00	1500	3500	3,00%
OMPZ541	0,85	655,00	31	3,00	110,00	1120	2700	2,50%
OMPZ553	0,85	420,00	45	4,00	55,00	1200	2980	4,00%
OMNZ242	0,83	540,00	61	8,00	110,00	1540	3330	11,00%
OMKZ103	0,89	700,00	65	12,00	230,00	1100	2480	13,00%
MDZ548	0,83	475,00	60	6,00	75,00	1300	2970	6,70%
OMOZ543	0,84	800,00	28	7,00	147,00	1250	2593	9,00%
ONMZ201	0,87	800,00	45	7,00	120,00	1350	2816	10,00%
ONMZ103	0,83	750,00	27	6,00	160,00	1500	2636	7,20%
MDZ565	0,82	650,00	32	7,00	140,00	1440	2810	10,20%
OMOZ411	0,81	420,00	60	2,00	70,00	1320	2828	11,00%
OMOZ522	0,85	605,00	44	6,00	145,00	1400	2845	6,60%
OMOZ833	0,82	460,00	28	2,00	85,00	1300	2845	10,30%
ONMZ263	0,85	805,00	65	7,00	145,00	1300	2895	15,10%
MDZ562	0,88	800,00	32	12,50	225,00	1250	2700	15,60%
MDZ564	0,87	800,00	30	8,00	130,00	1300	2790	7,00%
OMNZ703	0,89	900,00	36	15,00	200,00	1330	2700	25,00%
OMOZ222	0,88	675,00	32	6,00	180,00	1250	2750	10,00%
OMOZ523	0,86	690,00	32	5,50	115,00	1400	2610	13,00%
MDZ550	0,89	800,00	54	5,00	195,00	1400	2820	9,80%
MDZ563	0,89	850,00	32	14,00	235,00	1100	2650	21,70%
MDZ581	0,87	700,00	32	9,00	80,00	1600	2880	20,00%
OMNZ833	0,85	700,00	55	8,00	165,00	1100	2552	10,30%
OMOZ131	0,82	600,00	45	5,00	140,00	900	2393	6,50%
OMOZ441	0,84	652,00	65	5,50	150,00	1350	2500	12,10%
OMPZ451	0,83	500,00	32	6,00	115,00	1300	2400	6,00%

nom des puits	coinsement	ROB (m/hr)	UBD Days	perte total
MDZ622	14,50	9,49	39	0
OMKZ601	5,00	4,61	18	0
OMOZ22	0,00	3,20	21	0
OMOZ44	18,50	10,44	18	0
OMPZ36	1,75	5,50	19	0
OMPZ462	0,00	9,70	24	0
OMPZ541	6,50	6,28	15,5	0
OMPZ553	0,00	4,10	20	0
OMNZ242	9,00	10,44	16,51	0
OMKZ103	28,25	14,58	12,73	0
MDZ548	4,50	6,28	27,86	0
OMOZ543	18,50	9,53	20,9	0
ONMZ201	17,75	9,50	12	0
ONMZ103	18,25	6,30	26	0
MDZ565	12,50	8,34	12,58	0
OMOZ411	0,50	3,20	7	0
OMOZ522	13,50	8,58	13,21	0
OMOZ833	3,75	5,46	18,27	0
ONMZ263	18,50	6,80	15	0
MDZ562	27,00	9,69	18,92	0
MDZ564	21,25	13,05	11,48	3
OMNZ703	33,75	15,98	9,44	0
OMOZ222	21,00	10,65	12,43	0
OMOZ523	10,50	11,92	15,75	9,75
MDZ550	21,00	11,77	22,9	0
MDZ563	29,50	15,00	9,25	1,5
MDZ581	22,50	10,30	12,04	0
OMNZ833	16,00	10,70	18,27	3,25
OMOZ131	13,75	11,20	12,75	0
OMOZ441	15,75	8,99	22,1	0
OMPZ451	9,50	10,30	12,04	6

nom des puits	vuneu	fishing et side track	poor hole condititition	Mud condition	problame d'equepment
MDZ622	0	36,25	6,75	2,5	126,75
OMKZ601	0	0	6,5	1,75	72
OMOZ22	1,5	0	3	1	37,5
OMOZ44	0	0	2	1,75	43,25
OMPZ36	1,5	0	1,5	26,5	220,5
OMPZ462	0	0	4	0	73
OMPZ541	0	0	1,5	0	45,25
OMPZ553	0	0	0	0	6,75
OMNZ242	0	20,75	9,25	0	0
OMKZ103	0	0	4,25	1,5	3
MDZ548	9	33,25	17,75	11,25	89,5
OMOZ543	0	8,75	0,75	0	13,5
ONMZ201	0	57,25	0	0	5,5
ONMZ103	0	37,5	2,25	1	11,5
MDZ565	0	0	0	0	9,25
OMOZ411	0	5,5	12,5	0	5,25
OMOZ522	0	0	3	2	5,5
OMOZ833	0	0	2,25	0	12,5
ONMZ263	0	0	0,5	1,75	14,25
MDZ562	0	0	2,75	0	34,75
MDZ564	0	3,5	2,25	1,5	32,75
OMNZ703	0	0	5,25	2	4,25
OMOZ222	0	63	9,5	3	62
OMOZ523	0	0	4,25	9,25	45
MDZ550	0	19,25	8,75	1,5	19,75
MDZ563	0	0	1,25	0	11,5
MDZ581	0	0	2,25	5,25	30,5
OMNZ833	0	11,75	13	9,25	93,5
OMOZ131	0	0	0	0	5,25
OMOZ441	0	0	5,25	0	19
OMPZ451	0	9,75	3	0	60