MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

N° de série : ……

N° d'ordre : ……

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

Présentée par :

MR.BELKAMEL Aissa

EN VUE DE L'OBTENTION LE DIPLOME DE

MAGISTER

Spécialité: Génie pétrolier

Option: Exploitation pétrolière

Thème

Contribution à l'optimisation du temps au cours de forage dans la phase 8 ½''

Région: HASSI MESSAOUD

Soutenu publiquement le: 19/02/15

Devant le jury composé de :

Pr HACINI Messaoud	Professeur	UKM, Ouargla	Président
Dr. ZEDDOURI Aziez	Maître de conférences	UKM, Ouargla	Examinateur
Dr.HAMZIOUI Louanes	Maître de conférences	UKM, Ouargla	Examinateur
Pr. SETTOU Noureddine	Professeur	UKM, Ouargla	Rapporteur
Dr.DOBBI Abdelmadjid	Maître de conférences	UKM, Ouargla	Co-Rapporteur

Année universitaire : 2014/2015

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A ma très chère Mère et mon très cher Père

A ceux qui m'ont toujours encouragé pour que je réussisse dans mes études

A tous mes enseignants de 1er année primaire jusqu'à le magister

A ceux que j'aime et je respecte infiniment

A ceux qui ont veillé pour mon bien être

A ceux qui m'ont soutenu dans les moments les plus difficiles de ma vie

Le jour est venu pour leur dire Merci…

A toute la famille BELKAMEL.

A tous mes amis qui ont toujours été présents et qui n'ont ménagé aucun effort pour me bénéficier avec leur aide et leurs suggestions

A tous mes camarades du MAGISTER.

A tous mes camarades du LAGHOUAT et OUARGLA

BELKAMEL Aissa

Nomenclateurs

HMD : Hassi Messaoud

P: porosité (mD)

K : perméabilisé (%)

BHA : garniture de forage

$\mathbf{D_{tr}}$: diamètre du trou (mm/inch)

$\mathbf{D_m}$: diamètre du manchon (mm/inch)

δ : le jeu entre le manchon et le trou (mm/inch)

Δ : Le jeu entre l'outil et le diamètre intérieur de la colonne précédente (mm/inch)

e: profondeur (m)

$\mathbf{P_G}$: pression des pores

$\mathbf{P_f}$: pression de fond

q: masse linéaire (lb/ft)

Yv ou **Y**p: yeld point (lb/100ft^2)

PH: salinité ou alcalinité

$\mathbf{V_S}$: volume de surface (m^3)

$\mathbf{V_{tr}}$: volume de trou (m^3)

$\mathbf{V_r}$: volume de réserve (m^3)

$\mathbf{V_T}$: volume total de boue (m^3)

$\mathbf{V_{bacDéc}}$: volume de bac décantation (m^3)

$\mathbf{V_{goulotte}}$: volume de goulotte (m^3)

$\mathbf{V_{bacAsp}}$ **:**volume de bac d'aspiration (m^3)

$\mathbf{K_m}$:coef de majorité

D : diamètre de trou (mm/inch)

PDC:polydiamant cristalin

DC: (drill collars) masse tiges

DP:tiges de forages (drill pipe)

HWDP: (heavy weight drill pipe) tiges lourdes.

$\mathbf{D_{trou}}$: diamètre de trou en pouce (mm/inch)

$\mathbf{D_{int\ tige}}$: diamètre intérieur des tiges (mm/inch)

$\mathbf{D_{ex\ tige}}$: diamètre extérieur des tiges (mm/inch)

f : facteur de flottabilité

$\mathbf{d_b}$: diamètre de drill pipe (mm/inch)

Vu: volume unitaire (m^3/m)

$\mathbf{D_{int\ Mtige}}$: diamètre intérieur des masse-tiges (mm/inch)

$\mathbf{D_{ex\ Mtige}}$: diamètre extérieur des masse-tiges (mm/inch)

$\mathbf{L_{DC}}$: longueur des masses tiges en (m)

α : l'inclinaison de forage par rapport à la vertical

FPN : position du point neutre de la hauteur total des masses tiges [%]

$\mathbf{d_b}$: densité de la boue de forage

$\mathbf{d_a}$: densité d'acier

ζt : contrainte de traction

API :americain petrolum institut

H : hauteur de trou (m)

$\mathbf{P_H}$: pression hydrostatique (psi)

$\mathbf{P_{ecr}}$: Pression d'écrasement (psi)

L : longueur des tubages (m)

$\mathbf{Q_{123}}$: pois des tubages (kg)

$\mathbf{V_1}$: Volume espace annulaire trou – tubage entre le sabot et la surface (m^3)

$\mathbf{V_2}$: Volume de puits entre le fond de puits et le sabot (m^3)

$\mathbf{V_3}$: intérieur de tubage entre le sabot et l'anneau (m^3)

$\mathbf{T_c}$: temps de chasse (h)

$\mathbf{P_r}$: pression de refoulement.(psi)

$\mathbf{H_S}$: profondeur au sabot. (m)

h : distance entre sabot et l'anneau (m)

$\mathbf{d_L}$: densité de laitier

$\mathbf{d_{bo}}$: densité de la boue

$\mathbf{H_{Sabot}}$: hauteur entre le fond de puits et le sabot s(m)

$\mathbf{H_{anneau}}$: hauteur entre le sabot et l'anneau (m)

$\mathbf{Q_c}$: quantité de ciment (ton)

$\mathbf{V_{em}}$: volume d'eau de mixage (m^3)

$\mathbf{V_{bch}}$: volume de chasse (m^3)

$\mathbf{T_{inj}}$: temps d'injection (h)

$\mathbf{Q_i}$: débit d'injection (l/min)

$\mathbf{t_R}$: le temps de refoulement (chasse) (h)

$\mathbf{D_{cim}}$: durée de cimentation (h)

T_p : temps de problème (jours)

T_f : temps de forage (jours)

Tsp : temps sans problèmes (jours)

NPT : temps non productif (jours)

RPM : vitesse de rotation (tr/min)

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

WOB : pois sur l'outil (ton)

Q : débit (l/min)

Ph : Pression hydraulique (psi)

P : puissance hydraulique (HP)

P_m: prix du mètre foré

P_0: prix de l'outil neuf

P_h: prix horaire de l'appareil

T_r: temps de rotation

T_m: temps de manœuvre

m: nombre de mètres forés.

E : Ecart %

LGS :low gravtity substance

LCM :lost circulation materiels

Liste des tableaux

Chapitre II

Tableau II-1: les jeux tolérés 16

Tableau II-2: Les résultats finaux 18

Tableau II-3: tubage de la phase 8 ½ '' 39

Chapitre IV

Tableau IV-1 : les problèmes rencontrés en 51 puits 65

Tableau IV-2 : temps non productif en 51 puits 65

Tableau IV-3 : le taux de coincement 66

Tableau VI-4 : le taux de la perte de circulation 66

Tableau IV-5 : le coincement 66

Tableau IV-6 : la perte de circulation 67

Tableau IV-7 : le coincement en 29 puits 67

Tableau IV-8 : la perte de circulation en 11 puits 68

Tableau IV-9 : la venue en 8 puits 68

Tableau IV-10 : le pistonnage en 3 puits 68

Tableau IV-11 : le temps non productif et le nombre des fois des problèmes en la phase 8 ½ par apport les problèmes totales 69

Tableau IV-12 : paramètres mécaniques et hydrauliques de 20 puits 71

Tableau IV-13 : Les écarts entre ROP_{mod} $ROP_{réel}$ en fonction de Q 72

Tableau IV-14 : Les écarts entre ROP_{mod} $ROP_{réel}$ en fonction de Yv 73

Tableau IV-15 : Les écarts entre ROP_{mod} $ROP_{réel}$ en fonction de d 74

Tableau IV-16 : Les écarts entre ROP_{mod} $ROP_{réel}$ en fonction de Ph 75

Tableau IV-17 : Les écarts entre ROP_{mod} $ROP_{réel}$ en fonction de RPM 76

Tableau IV-18 : Les écarts entre ROP_{mod} $ROP_{réel}$ en fonction de WOB 77

Tableau IV-19: Les écarts entre ROP_{mod} $ROP_{réel}$ en fonction de WOB et RPM 78

Tableau IV-20: Les écarts entre ROP_{mod} $ROP_{réel}$ en fonction de WOB et densité 79

Tableau IV-21: Les écarts entre ROP_{mod} $ROP_{réel}$ en fonction de WOB et Yeld value 80

Tableau IV-22: Les écarts entre ROP_{mod} $ROP_{réel}$ en fonction de WOB et débit 81

Tableau IV-23: Les écarts entre ROP_{mod} $ROP_{réel}$ en fonction de WOB et Pression hydraulique 82

Tableau IV-24: Les écarts entre ROP_{mod} $ROP_{réel}$ en fonction de RPM et densité 83

Tableau IV-25: Les écarts entre ROP_{mod} $ROP_{réel}$ en fonction de RPM et Yale value 84

Tableau IV-26: Les écarts entre ROP $_{mod}$ ROP $_{réel}$ calculé par RPM et débit 85

Tableau IV-27: Les écarts entre ROP $_{mod}$ ROP $_{réel}$ en fonction de RPM et débit 86

Tableau IV-28: Les écarts entre ROP $_{mod}$ ROP $_{réel}$ en fonction de RPM et Pression 87

Tableau IV-29: Les écarts entre ROP $_{mod}$ ROP $_{réel}$ en fonction de RPM et puissance hydraulique 88

Tableau IV-31 : comparaison les moyens des écarts utilisent le RPM 96

Tableau IV-31 : comparaison les moyens des écarts le WOB 96

Liste des figures

Chapitre I

Figure I-1 : Zones et numérotation des puits 6

Figure I-2: Colonne stratigraphique 11

Chapitre II

Figure I1-1 : Illustration des grandeurs utilisées dans l'équation (II-1) 15

Figure I1-2: Illustration des grandeurs utilisées dans l'équation (II-2) 16

Figure I1-3 : La 1ère phase 21

Figure I1- 4 : La 2eme phase 22

Figure I1-5 : Mode de travail de la garniture 29

Figure I1-6: Schématisation des tiges dans le trou 31

Figure I1-7 : Schématisation des masses tiges dans le trou 32

Figure I1-8: les différents volumes de puits 41

Chapitre III

Figure III-1: déblais déposes près du trou de puits vertical 47

Figure III-2: déblais déposes, puits à forte déviation 48

Figure III-3: 1argile réactif 49

Figure III-4: argile géo-comprime 50

Figure III-5: argile hydro-comprime 50

Figure III-6: surpression 51

Figure III-7: force tectonique 52

Figure III-8: formation non consolidée 53

Figure III-9: formation fracturée 53

Figure III-10: blocs de ciment 54

Figure III-11: ciment tendre 55

Figure III-12: Effet de la densité et la profondeur sur la pression de fond 57

Figure III-13: Effet des gels sur la pression de pistonnage 57

Figure III-14: L'effet du poids appliqué sur le ROP 59

Figure III-15: L'effet de la vitesse de rotation sur le ROP 60

Figure III-16: Effet des caractéristiques de la boue sur le ROP 62

Figure III-17: Effet de la viscosité sur la ROP 63

Figure III-18:Vitesse d'avancement en fonction de la teneur en solides 63

Chapitre IV

Figure IV-1 : la vitesse d'avancement en fonction de débit 72

Figure IV-2 : la vitesse d'avancement en fonction de yeld value 73

Figure IV-3 : la vitesse d'avancement en fonction de densité 74

Figure IV-4 : la vitesse d'avancement en fonction de pression (Ph) 75

Figure IV-5 : vitesse d'avancement en fonction de La vitesse de rotation (RPM) 76

Figure IV-6 : vitesse d'avancement en fonction de poids sur l'outil (WOB) 77

Figure IV-7 : la vitesse d'avancement en fonction de Poids sur l'outil(WOB) et la vitesse de rotation(RPM) 78

Figure IV-8 : la vitesse d'avancement en fonction de poids sur l'outil(WOB) et la densité(d) 79

Figure IV-9 : la vitesse d'avancement en fonction de poids sur l'outil (WOB) et Yeld value (yv) 80

Figure IV-10 : la vitesse d'avancement en fonction de poids sur l'outil(WOB) et débit (Q) 81

Figure IV-11 : la vitesse d'avancement en fonction de poids sur l'outil(WOB) et la Pression hydraulique (Ph) 82

Figure IV-12 : la vitesse d'avancement en fonction de la vitesse de rotation(RPM) et densité(d) 83

Figure IV-13 : la vitesse d'avancement en fonction de la vitesse de rotation(RPM) et Yeld value (yv) 84

Figure IV-14 : la vitesse d'avancement en fonction de la vitesse de rotation(RPM) et débit(Q) 85

Figure IV-15 : la vitesse d'avancement en fonction de la vitesse de rotation(RPM) et la Pression hydraulique (Ph) 86

Figure IV-16: la vitesse d'avancement en fonction de puissance hydraulique (Ꝑ) et la vitesse de rotation(RPM) 87

Figure IV-17 : la vitesse d'avancement en fonction de puissance hydraulique (Ꝑ) et le Poids sur l'outil (WOB) 88

Liste des figures
Liste des tableaux
Nomenclateurs
Résumé
Introduction générale 1

Chapitre I: généralités

Introduction 4
1-Description sur le champ de Hassi Messaoud 4
1-1 Situation géographique 4
1-2 Situation géologique 4
1-3 Historique de la découverte 4
2-Zones et numérotation des puits 5
5 3-Description lithologique 6
4- Représentation du gisement de Hassi Messaoud 11
4-1 Réservoir R3 12
4-2-Réservoir R2 12
4-3 Réservoir Ra 12
5-4 Réservoir Ri 12
5-Les problèmes rencontrés dans les différentes phases 12
5-1 La phase 26’’ 12
5-2 La phase 16’’ 12
5-3 La phase 12 ¼’’ 13
5-4 La phase 8 ½’’ 13
5-5 La phase 6” 13
6- Les problèmes liées à la phase 8 ½’’ 13
6-1 généralités 13

Chapitre II: étude technico-économique

Introduction 15
1-Harmonisation des diamètres 15
1-1 Introduction 15
1-2 Diamètre de l’outil à utiliser 15
1-3 Diamètre intérieur de la colonne précédente 15
1-4 Les jeux tolérés 16
1-5 Application au puits OMPZ 341 17

1-5-2 Les résultats finaux du programme 18
2-Programme boue 19
2-1 Introduction 19
2-2 Les principaux rôles de la boue de forage 19
2-3 Application au puits OMPZ 341 19
3-Programme Outils de Forage 27
3-1 Introduction 27
3-2 Application au puits OMPZ 341 27
4-Calcul de la garniture 28
4-1 Introduction 28
4-2 Les principales fonctions du train de sonde 28
4-3 Composition de la garniture de forage 28
4-3-1 Eléments principaux 29
4-3-2 Eléments accessoires 29
4- 4 Choix des garnitures de forage 30
4-4-1 Les tiges de forage 30
4- 4-2 Les masses tiges 31
4-4 Application au puits OMPZ 341 32
5-Programme tubage 33
Introduction 33
5-1 L'opération tubage 34
5-1-1Tube guide 34
5-1-2 Colonne de surface 34
5-1-3 Colonne(s) technique(s) (intermédiaire) 34
5-1-4 La colonne de production 34
5-1-5 La colonne perdue (liner) 35
5-2 Calcul de tubage 35
5-2-1 La méthode API 35
5-2-2 La méthode GULF 35
5-3 Application au puits OMPZ 341 35
6-programme de cimentation 39
6-1 Introduction 39
6-2 Type de cimentation 40
6-2-1 Cimentation des cuvelages ou des casings 40

6-2-2 La pose de bouchon de ciment 40
6-2-3 Squeeze 40
6-2-4 Cimentation ordinaire 40
6-2-5 Cimentation à deux étages 41
6-3 Calcul des Volumes dans la Cimentation 41
6-3-1 Volume des laitiers de ciment 41
6-3-2 Préparation du laitier de ciment 42
6-4 Application au puits OMPZ 341 43
Chapitre III: les problèmes rencontrées au cours de forage
Introduction 46
1-coincement 46
1-1 colmatage de trou 46
1-2 pontage de trou 47
1-1-1 Cause des déblais déposes 47
1-1-1-1 Déblais déposes près du trou de puits vertical 47
1-1-1-2 Déblais déposes, puits à forte déviation 48
1-1-2 instabilité des argiles 48
1-1-2-1 Argile réactif 48
1-1-2-2 Argile géo-comprime 49
1-1-2-3 Argile hydro-comprime 50
1-1-2-4 Surpression 51
1-1-2-5 Force tectonique 51
1-1-3 formation non consolidée 52
1-1-4 formation fracturée 53
1-1-5 blocs de ciment 54
1-1-6 ciment tendre 54
2-La perte de circulation 55
2-1 Effets nuisibles des pertes sur les opérations de forage 55
2-1-1 Trou de surface 55
2-1-2 Trou intermédiaire 56
2-1-3 Trou de production 56
2-2 Les causes de la perte de circulation 56
2-2-1 Causes liées avec les caractéristiques de la boue 56
2-2-1-1Pression au sein de la boue trop élevée 56

2-2-1-2 Causes liées aux les caractéristiques rhéologiques 57
2-2-1-3 Causes liées au la thixotropie 57
2-2-2 Causes liées aux les caractéristiques de la formation 58
2-2-2-1Formations perméables 58
2-2-2-2Formations naturellement fissurées 58
2-2-2-3Formations fracturées par la boue 58
2-2-2-4 Formations caverneuses 58
2-2-3 Causes diverses 58
2-3 indications de perte 58
3- L'influence des paramètres de forage sur le ROP 59
3-1L'influence des paramètres mécaniques sur le ROP 59
3-1-1L'effet de WOB sur le ROP 59
3-1-2 L'effet de RPM sur le ROP 60
3-2 L'influence des paramètres hydrauliques sur le ROP 61
3-2-1 Effet du nettoyage du front de taille sur le ROP 61
3-2-2 Effet des caractéristiques de la boue sur le ROP 62
3-2-2-1 Densité 62
3-2-2-2 Filtration 62
3-2-2-3 Viscosité 63
3-2-2-4 Teneur en solide 63
3-2-2-5 Nature de la boue 64
3-3-L'usure des outils 64
4-Relation de la vitesse d'avancement et les problèmes 64

Chapitre IV: Analyse des données et établissement des modèles

1-Introduction 65
1-1 Analyse des problèmes rencontrés dans 51 puits forés 65
1-2 Temps non productif générés par les différents problèmes 65
2-Analyse et interprétation 65
2-1 La formation traversée 65
2-2 Les problèmes enregistrés dans 31 puits dans la phase $8^{1/2''}$ 66
2-3 Le temps non productif relatif aux problèmes enregistrés dans 31 puits dans la phase8 ½ '' 67
3-Relation de la vitesse d'avancement (ROP) avec le temps et le prix de mètre foré 69
3-1 Relation de la vitesse d'avancement (ROP) avec le temps 69

3-2 Relation de la vitesse d'avancement (ROP) avec le prix de mètre foré 69
4- L'optimisation du temps au cours de forage 70
4-1 Résultats, modèles de calcul et interprétations 70
4-1-1 Résultats 70
4-1-1-1 la vitesse d'avancement(ROP) en fonction d'un seul paramètre 72
a-Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de débit 72
b- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de yeld value 73
c- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de densité 74
d- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de pression hydraulique (Ph) 75
e-Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de La vitesse de rotation (RPM) 76
f- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de poids sur l'outil (WOB) 77
4-1-1-2 Résultats relatifs à deux paramètres 78
a- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de Poids sur l'outil(WOB) et la vitesse de rotation(RPM 78
b- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de poids sur l'outil(WOB) et la densité(d) 79
c- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de poids sur l'outil (WOB) et Yeld value (yv) 80
d- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de poids sur l'outil(WOB) et débit (Q) 81
e- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de poids sur l'outil(WOB) et la Pression hydraulique (Ph) 82
f- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de la vitesse de rotation(RPM) et densité(d) 83
g- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de la vitesse de rotation(RPM) et Yeld value (yv) 84
h- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de la vitesse de rotation(RPM) et débit (Q) 85
i- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de la vitesse de rotation(RPM) et la Pression hydraulique (Ph) 86
4-1-1-3 Résultats relatifs à trois paramètres 87
a-Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de puissance hydraulique (Ꝑ) et la vitesse de rotation(RPM) 87
b-Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de puissance hydraulique (Ꝑ) et le

Poids sur l'outil (WOB) 88
4-1-2 Modèles de calcul des vitesses d'avancement 89
4-1-2-1 modèles de La vitesse d'avancement en fonction d'un seul paramètre de forage 89
a-La vitesse d'avancement en fonction de débit 89
b-La vitesse d'avancement en fonction de yeld value 89
c-La vitesse d'avancement en fonction de densité 89
d- La vitesse d'avancement en fonction de pression 89
e- La vitesse d'avancement en fonction de vitesse de rotation RPM 89
f-La vitesse d'avancement en fonction de poids sur l'outil WOB 90
4-1-2-2 modèles de La vitesse d'avancement en fonction de deux paramètres de forage 90
a-La vitesse d'avancement en fonction de Poids sur l'outil(WOB) et la vitesse de rotation(RPM) 90
b-La vitesse d'avancement en fonction de La vitesse de rotation(RPM) et la densité(d) 90
c- La vitesse d'avancement en fonction de La vitesse de rotation(RPM) et le Yeld value (yv) 90
d- La vitesse d'avancement en fonction de la vitesse de rotation(RPM) et le débit (Q) 91
e- La vitesse d'avancement en fonction de la vitesse de rotation(RPM) et la pression (P) 91
f- La vitesse d'avancement en fonction du poids sur l'outil (WOB) et la densité (d) 91
g- La vitesse d'avancement en fonction du poids sur l'outil (WOB) et Yeld value (yv) 91
h- La vitesse d'avancement en fonction du poids sur l'outil (WOB) et le débit (Q) 91
i- La vitesse d'avancement en fonction du poids sur l'outil (WOB) et la pression (P) 91
5-1-2-3 modèles de La vitesse d'avancement en fonction de trois paramètres de forage 92
a- La vitesse d'avancement en fonction du poids sur l'outil (WOB) et la puissance (Ꝑ) 92
b- La vitesse d'avancement en fonction de la vitesse de rotation(RPM) et la puissance (Ꝑ) 92
4-1-3 interprétations 92
6-Commentaire 96
7-La limite des modèles 97
Conclusions et recommandations 99
Références 100
Annexes

Introduction générale

Introduction générale :

Le terrain qu'on fore n'est pas homogène. Il est formé de plusieurs couches de roches différentes. Chaque roche a ses caractéristiques particulières et exige des méthodes et moyens particuliers pour être forer. Des argiles qui contiennent de l'eau. Elles ont les caractéristiques de fluer et se manifestent dans le puits lorsqu'on les fore, coinçant ainsi les tiges et l'outil, et d'autre assoiffées qui gonflent au contact de l'eau et viennent coincer la garniture de forage. Les sels se dissolvent dans l'eau de la boue, ce qui crée des cavages, entrainant des éboulements des terrains qui vont coincer les tiges et l'outil.

La boue joue de maintenir les parois du puits et éviter leur effondrement. Mais si on fore une roche qui ne supporte pas la pression hydrostatique de la boue, cette dernière entre dans la roche (perte de circulation) et le niveau dans le puits chute, ce qui entraine la chute de la pression qu'elle exerce sur les parois du puits et les effluents ou les argiles fluentes s'introduisent ainsi dans le puits, créant des venues ou des coincements.

Aussi**,** lorsqu'on fore une roche contenant un effluent (eau, pétrole ou gaz) appelée « roche réservoir », il faut appliquer dessus une pression hydrostatique supérieure à la pression de l'effluent qu'elle contient. Pour augmenter la pression hydrostatique de la boue, on augmente sa masse volumique.

Il est facile de forer une zone à perte seule, il suffit de diminuer la pression hydrostatique de la boue. Il est également facile de forer une zone à venue seule, il suffit d'augmenter la pression hydrostatique de la boue. Mais si on fore ces deux zones ensemble, en augmente la pression hydrostatique de la boue, on tombe en perte et en diminuant, on déclenche une venue. Lorsque la pression dans le puits P_f en face d'une formation poreuse perméable est inférieure à la pression de pores (P_G) de cette formation on aura le phénomène de venue. Les causes entravant le bon déroulement de l'activité forage sont nombreuses, parmi ces causes on a :

Les venues sont générées soit par un déséquilibre de pressions lorsque la pression P_f est produite par la colonne de boue dans le puits inférieure à la pression de pores (P_G) ou bien suite à une mauvaise opération de manœuvre, elle peut aussi entrainer par un défaut de remplissage du puits pendant la remontée.

Cependant, les pertes de circulation peuvent être totales ou partielles sont aussi le résultat d'un déséquilibre de pressions, lorsque la pression P_f est produite par la colonne de boue dans le puits supérieur à la pression de pores (P_G).

Par contre, le problème de coincement de la garniture est très fréquent comparativement aux autres problèmes, il est lié généralement par l'arrêt du forage dont la durée est difficilement prévisible, ce qui nécessite parfois des opérations d'instrumentations. De plus, le coincement et ses opérations relatives (Instrumentation, Side track….etc.) représentent la charge la plus élevée des opérations de forage en termes de NPT et de coût. Pour cette raison, quelques points devraient être pris en compte par les compagnies afin d'éviter ou de diminuer son impact à l'égard des autres opérations.

C'est la raison pour laquelle l'objectif de cette étude qui porte les problèmes peuvent effectuer le bon déroulement de l'opération forage et le choix judicieux des paramètres pour minimiser le temps non productif dans le champ de « Hassi Messaoud ».

En forage, la vitesse d'avancement optimale est fonction de plusieurs paramètres dont le mauvais choix de l'un de ces paramètres conduit directement a des contre performance soldé par l'arrêt de l'opération voire l'abondement du puits ou une partie de puits. Donc il est indispensable de choisir judicieusement les paramètres de forage pour déterminer une vitesse d'avancement optimale de forage.

En pratique plusieurs scenarios pourraient se produire qui entrave la réalisation du plan prévisionnel de l'opération notamment: nature des formations ; matériels utilisés ; erreurs humains…ext

L'objectif de ce travail consiste à l'optimisation du temps de forage dans la phase 8 ½ par une analyse correcte de l'influence des paramètres principaux éligibles de porter un préjudice considérable sur la vitesse d'avancement.

La présente étude s'appuie sur quatre chapitres :

Chapitre I :

Une présentation du champ de HASSI MESSAOUD (situation géographiques, géologiques) les problèmes pour chaque phase ont été présentés.

Chapitre II :

Une étude technico-économique basée sur le programme de forage (harmonisation de diamètre, tubage, outils de forage, garniture, cimentation, boue).

Chapitre III :

Une citation des problèmes majeurs (coincement et perte de circulation) dans le champ de HASSI MESSAOUD et leurs causes et indication sur la vitesse d'avancement puis l'influence des paramètres mécaniques et hydrauliques sur le forage.

Chapitre IV :

Une étude analytique sur 51 puits au niveau de champs de HASSI MESSAOUD pour obtenir des modèles regroupant les paramètres optimaux de forage et l'établissement de 17 modèles qui permettre de calcule la vitesse d'avancement.

En fin, une conclusion générale sur l'apport et l'intérêt technico-économique de l'optimisation du temps de forage et quelques recommandations ont été dégagées.

Chapitre I

Généralités

Introduction

Le Gisement de "Hassi Messaoud", est l'un des plus grands gisement du monde, il s'étend sur une superficie voisine de 2.500 Km^2. Découvert en 1956 et mis en production en 1958, des investissements importants ont été réalisés et d'autres le seront dans le futur pour extraire le maximum de pétrole et augmenter ainsi la récupération finale.

1-Description sur le champ de Hassi Messaoud [11]:

1-1 Situation géographique:

Le gisement de "Hassi Messaoud"(H.M.D) est situé à 85 Km au sud est du chef lieu de la Wilaya d'Ouargla. Le gisement de "Hassi Messaoud" se trouve dans la province triassique dont la superficie est de plus de 280.000 Km2 et qui reste à l'heure actuelle la région pétrolière la plus riche d'Algérie.

1-2 Situation géologique :

Par rapport aux gisements, le champ de Hassi Messaoud est limité par:

- Au Nord Ouest par les gisements d'Ouargla (Guellela, Ben Kahla et Haoud Berkaoui) ;
- Au Sud Ouest par les gisements d'El Gassi, Zotti et El Agreb.
- Au Sud Est par les gisements Rhourd El Baguel et Mesdar.

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

Géologiquement, il est limité :

- au Nord par la structure Djammâa-Touggourt.
- à l'Ouest par la dépression d'Oued Mya.
- au Sud par le môle d'Amguid El Biod.
- à l'Est par les haut-fonds de Dahar, Rhourd El Baguel et la dépression de Ghadames.

1-3 Historique de la découverte :

Après la mise en évidence par la sismique de la structure de Hassi Messaoud, en 1956, la sismique réfraction a mis en évidence un vaste dôme structural sur lequel la société "SN

REPAL" à implanté le 16 Janvier 1956, le premier puits MD1, pas loin du puits chamelier de Hassi Messaoud. Le 15 juin de la même année, ce forage a recoupé des grès cambriens à 3338 m comme étant producteurs d'huile.

En mai 1957, la société "CFPA" a réalisé un puits OM1 à environ 7 Km au Nord Ouest du puits MD1, ce forage confirmait l'existence d'huile dans les grès du Cambrien.

Par la suite, le champ de "Hassi Messaoud" fut divisé en deux concessions distinctes, soit la C.F.P.A pour le champ Nord, et la SN.REPAL pour le champ sud. La mise en production avait commencé en 1958 avec 20 puits d'exploitation.

2-Zones et numérotation des puits [11]:

Ces zones sont relativement indépendantes et correspondent à un ensemble de puits communiquant, le champ de "Hassi Messaoud" est découpé en 25 zones dites de production, d'extension variable, Entre eux et se comportant de la même manière du point de vue pression de gisement. Les puits d'une même zone drainent conjointement une quantité d'huile en place bien établie.

Le champ de "Hassi Messaoud" est divisé en deux parties distinctes : le champ Nord et le champ Sud, chacun ayant sa propre numérotation.

- **Champ Nord** : comporte une numérotation géographique complétée par une numérotation chronologique, exemple Omn 43.

O : majuscule, permis d'Ouargla

m : minuscule, carreau de 1600 km²

n : minuscule, carré de 100 km²

4 : abscisse, et 3 : ordonnée

- **Champ Sud :** la numérotation est chronologique. Ex: Md1, Md2, ..., Md544...

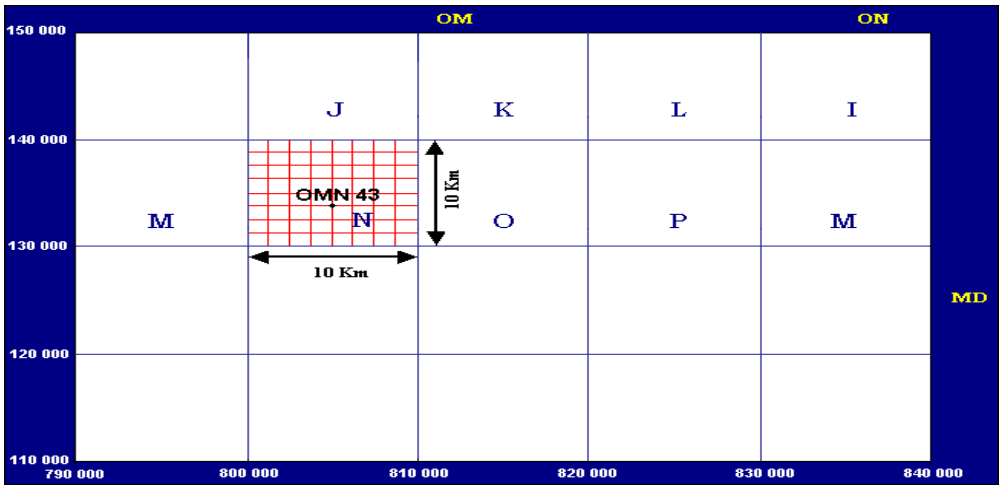

Figure I-1 : Zones et numérotation des puits

3-Description lithologique[11]:

La série stratigraphique du champ de "Hassi Messaoud" est représentée de haut en bas par les formations suivantes:

3-1 CÉNOZOÏQUE:

3-1-1 MIO-PLIOCÈNE (épaisseur moyenne = 240 m) constitué de :

- Sable blanc avec fines passées d'argile brun-rouge, tendre à pâteuse.
- Calcaire blanc, crayeux, tendre avec passées d'argile versicolore.
- Marne gris-brun, fortement sableuse.

Ces terrains, formant un recouvrement continental essentiellement sableux, se sont mis en place par l'intermédiaire de chenaux (grande disparité de leur granulométrie horizontale et verticale). Ils sont non consolidés et leur porosité est très importante ce qui entraîne des pertes partielles ou totales et des risques d'éboulement lors du forage. Ils reposent à leur base sur l'Éocène par une surface d'abrasion.

3-1-2 ÉOCÈNE (épaisseur moyenne = 120 m) constitué de :

- Argile brun-rouge, fortement sableuse,
- Marne et fines passées d'anhydrite blanche,
- Calcaire dolomitique crayeux, avec parfois des rognons de silex.

Le tertiaire renferme un complexe aquifère d'eau potable.

3-2 MÉSOZOÏQUE :

3-2.1 CRÉTACÉ :

3-2-2 SÉNONIEN : constitué de deux niveaux :

• **CARBONATÉ** (épaisseur moyenne = 107 m) il est constitué de calcaire dolomitique avec fines passées d'anhydrite.

• **LAGUNAIRE** niveau représenté par deux unités à faciès lagunaire:

La première **ANHYDRITIQUE**, d'une épaisseur moyenne de 219 m, elle est composée d'anhydrite blanche, cristalline, de dolomie moyennement dure, de marne et de calcaire argilo-dolomitique.

La deuxième **SALIFÈRE**, d'une épaisseur moyenne de 140 m, elle est constituée de sel massif à traces d'anhydrite.

3-2-3 TURONIEN (épaisseur moyenne = 70 m à 120 m) ce sont des formations carbonatées, constituées de calcaire, craie, dolomie et quelques niveaux argileux. Il contient un aquifère représenté par des eaux à odeur sulfurée, utilisé pour l'injection.

3-2-4 CÉNOMANIEN (épaisseur moyenne = 145 m) constitué par une alternance d'anhydrite et d'argile rouge, de marne grise et de dolomie.

3-2-5 ALBIEN (épaisseur moyenne = 350 m) il est représenté par des grès et sables fins avec intercalations d'argile silteuse. Il renferme un aquifère d'eau douce utilisée pour l'injection et les besoins généraux.

3-2-6 APTIEN (épaisseur moyenne = 25 m) représenté par deux bancs de dolomie cristalline encadrant un niveau argileux.

3-2-7 BARRÉMIEN (épaisseur moyenne = 280 m) représenté par des grès fins carbonatés alternant avec des niveaux d'argiles et grés dolomitiques.

3-2-8 NÉOCOMIEN (épaisseur moyenne = 180 m) représenté de la dolomie micro-cristalline, des marnes et des argiles avec de fines passées de grés.

3-2-2 JURASSIQUE:

3-2-2-1 MALM (épaisseur moyenne = 225 m) représenté par des dépôts d'argile et de marne avec des intercalations de bancs calcaires et de dolomie accompagnées de quelques traces d'anhydrite. Il contient un aquifère d'eau potable.

3-2-2-2 DOGGER: représenté par deux niveaux :

- **Argileux** : Argiles silteuses, marnes dolomitiques à fines passées de grès (épaisseur moyenne = 105m).

- **Lagunaire** : Anhydrite, dolomie argileuse, marne (épaisseur moyenne = 210 m).

3.2.2.3 LIAS: d'une épaisseur de 300 m, il est représenté par cinq niveaux :

- **LD1** (épaisseur moyenne = 65 m) : Dolomie grise, dure, anhydrite blanche avec parfois des passées d'argile silteuse .

- **LS1** : Bancs de sels et argiles avec des passées d'anhydrite blanche (épaisseur moyenne = 90 m).

- **LD2** : Dolomies massives, micro-cristalline à quelques passées marneuses renfermant des eaux chlorurées calciques. (épaisseur moyenne = 55 m)

- **LS2** : Sel massif, blanc, translucide avec des intercalations argilo-salifére (épaisseur moyenne = 60 m).

- **LD3** (épaisseur moyenne =30 m) : marnes à passées dolomitiques.

3.2.3 TRIAS:représenté par quatre niveaux :

3-2-3-1 SALIFÈRE : subdivisé en trois horizons

- **TS1** : d'une épaisseur de 46 m, ce niveau est représenté par des sels massifs, des passées d'anhydrite, et des intercalations d'argile dolomitique.

- **TS2** (épaisseur moyenne = 189 m): Sel massif à intercalations d'anhydrite blanche et d'argile gypsifère silteuse.

- **TS3** (épaisseur moyenne = 202m) : Sel massif à traces d'argile silteuse, tendre.

Il faut noter que les horizons TS2 et TS3 sont le siège de manifestations d'argiles fluentes.

- **ARGILEUX** : Argiles plus ou moins silteuses, dolomitiques et anhydritiques avec des intercalations de banc de sel au sommet (épaisseur moyenne = 113m).

- **GRÉSEUX** : Grès fin à ciment argileux (épaisseur moyenne = 35m).

- **ÉRUPTIF** : Andésite altérées alternant avec des argiles (0 < épaisseur moyenne < 92 m) reposant par l'intermédiaire d'une discordance (hercynienne) sur les terrains du Primaire.

Les terrains du Trias argilo- gréseux (TAG) sont le siège de zones à pertes plus ou moins virulentes selon la position ou l'on se trouve sur le champ. Le Trias repose en discordance directement sur le Cambrien au centre de la structure et sur l'Ordovicien au niveau des zones périphériques.

3-3 PALÉOZOÏQUE:

3-3-1 ORDOVICIEN: dans sa représentation la plus complète il est constitué de quatre termes:

- **Les quartzites d'Hamra** : (épaisseur moyenne de 12 à 75 m) quartzites localement grossières, présentant parfois des intercalations argileuses.

- **Les grés d'El Atchane** : (épaisseur moyenne = 25m) grès fin à ciment argileux, bitumineux. Productifs sur Omj 76 .

- **Les argiles d'El Gassi** : (épaisseur moyenne = 50 m) argiles schisteuses, carbonatées, vertes et noires.

- **Zone des Alternances** : (épaisseur moyenne = 20 m) argiles indurées, alternant avec des bancs quartzitiques isométriques et de grès moyens à fins.

Remarque : La série Ordovicienne n'est présente que sur la partie sub-méridionale de la structure, du fait de l'érosion. Au centre de la structure, zone la plus exposée à l'érosion, le Trias repose directement sur le Cambrien.

3-3-2 LE CAMBRIEN: essentiellement constitué de grès hétérogènes, fins à très grossiers, entrecoupés de passées de siltstones argilo-micacés, ces matériaux dites grès de MESSAOUD. On y distingue trois litho-zones R1 (Ri+Ra), R2 et R3.

- Litho-zone Ri : correspond au réservoir isométrique. Il a été recoupé essentiellement à la périphérie du champ, là, où la série est complète; ce sont des grès quartzites isométriques moyens à fins à ciment argileux, avec de nombreuses passées silteuses. Il repose sur le Ra supérieur par une surface d'abrasion. (épaisseur moyenne = 50 m)

- Litho-zone Ra : représente le réservoir principal.

Dans sa partie supérieure et moyenne (épaisseur moyenne de 20 à 60 m) il est formé de grès quartzites, en isométriques, moyens à grossiers, à ciment silico - argileux (kaolinite) localement constitué de quartzites franches. Dans la partie inférieure s'intercalent, de manière

irrégulière, des passées centimétriques de siltstones argileux. L'épaisseur moyenne totale du Ra est de 100 à 120 m.

- Litho-zone R2 : est constitué de grès quartzites et quartzites gréseuses, moyens à grossiers, en isométriques, avec parfois des niveaux micro-conglomératiques, à ciment argileux assez abondant (illite) . On note des intercalations millimétriques de silt. (épaisseur moyenne = 100 m)
- Litho-zone R3 : repose sur l'Infracambrien, et parfois directement sur le socle granitique, c'est une série de comblement d'une épaisseur moyenne de 300 m, elle se compose de grés grossiers à micro conglomérats feldspathique, les grains sont mal classés, le ciment est de nature argileuse avec parfois des zones à grès ferrugineux, et des intercalations d'argiles silteuses. Le "R3"ne présente aucun intérêt pétrolier.

3-3-3 L'INFRA-CAMBRIEN: Unité géologique la plus ancienne reconnue au Nord de la structure par le forage Omg47 à une profondeur de 4092 m. Il est composé de grès argileux de couleur rouge. (épaisseur moyenne = 45 m)

3-4 LE SOCLE: rencontré aux environs de la profondeur de 4000 m, il est constitué de granite porphyroïde de couleur rose à deux micas.

ERE	SYST	ETAGES		Ep moy	DESCRIPTION
CENO-ZOIQUE	NEOGENE	MIO-PLIOCENE discordance alpine		240	Sable, calcaire, marne sableuse
		EOCENE		120	Sable, calcaire à silex
MESOZOIQUE	CRETACE	SENONIEN	CARBONATE	107	Calcaire, dolomie, anhydrite
			ANHYDRITIQUE	219	Anhydrite, marne, dolomie
			SALIFERE	140	Sel massif et traces d'anhydrite
		TURONIEN		90	Calcaire crayeux avec quelques niveaux argileux
		CENOMANIEN		145	Anhydrite, marne, dolomie
		ALBIEN		350	Grés, sable avec intercalations d'argile silteuse
		APTIEN		25	Dolomie cristalline avec niveau argileux, calcaire
		BARREMIEN		280	Argile, grés, dolomie
		NEOCOMIEN		180	Argile, marne, dolomie, grés
	JURASSIQUE	MALM		225	Argile, marne, calcaire, grés et traces d'anhydrite
		DOGGER	ARGILEUX	105	Argile silteuse, marne dolomitique avec fines passées de grés
			LAGUNAIRE	210	Anhydrite, marne dolomitique, marne grise
		LIAS	L.D 1	65	Dolomie, anhydrite, argile
			L.S 1	90	Alternances sel, anhydrite et argile
			L.D 2	55	Anhydrite et dolomie cristalline
			L.S 2	60	Alternances sel et argile
			L.D 3	30	Alternances de dolomie et de marne
	TRIAS	SALIFERE	TS 1	46	Alternances de sel, d'anhydrite et de dolomie
			TS 2	189	Sel massif à intercalations d'anhydrite et argile gypsifère
			TS 3	202	Sel massif et traces d'argile
		ARGILEUX		113	Argile rouge dolomitique ou silteuse injectée de sel et d'anhydrite
		GRESEUX		35	Grés, argile
		ERUPTIF discordance hercynienne		0-92	Andésites altérées
PALEOZOIQUE	ORDOVICIEN	QUARTZITES D'EL HAMRA		75	Quartzites fines avec traces de tigillites
		GRES D'EL ATCHANE		25	Grés fins à ciment argileux, bitumineux
		ARGILES D'EL GASSI		50	Argiles schisteuses, vertes ou noires, glauconieuses à graptolithes
		ZONE DES ALTERNANCES		20	Alternance de grés et argile. Présence de tigillites
	CAMBRIEN	Ri		50	Grés isométriques, fins, silteux
		Ra		120	Grés à grés quartzitiques anisométriques à niveaux de silts
		R2		100	Grés moyens à grossiers à ciment argileux illitique
		R3		300	Grés grossier à ciment argileux, argile silteuse
	INFRA-CAMBRIEN			45	Grés argileux rouges
SOCLE					Granite porphyroïde rose

Figure I-2: Colonne stratigraphique

4- Représentation du gisement de Hassi Messaoud :

Le réservoir de Hassi Messaoud se situe dans le Cambrio-Ordovicien vers 3300m, il est de forme anticlinale. La roche couverte est constituée par le complexe argilo-gréseux et salifère du trias. La structure développée suivant une direction générale nord et sud est. Ce sont des sédiments cambrien satures en huile, constitués essentiellement de grès hétérogènes fin à très

grossier argenté. Le réservoir est constitué de 4 zones superposées ayant des différences physiques et pétrographiques fondamentales.

4-1 Réservoir R3 :

Elle est constituée par un grès moyen, grossier micro-conglomératique ciment argileux illitique (25 à 35%). La granulométrie moyenne comprenant des galets de taille de 1cm. On note 2 % de silice, porosité P=11%, perméabilité K< 0.1m D.

4-2-Réservoir R2 :

Le minerai argileux de ciment prédominant est l'illite. Il présente le moins de variation d'épaisseur, autour de 80 m. le R2 est considéré comme une zone de transition entre le Ra siliceux et le R3 argileux P= 10% . K= 205 mD.

4-3 Réservoir Ra :

Il est le principal réservoir productif sur l'ensemble de champ. Il est caractérisé par des grés anisométrique moyens à micro conglomératiques.

Le ciment est composé de kaolinites et d'illite en faible quantité et de micas. La silise secondaire varie d'un puits à l'autre et d'un secteur à un autre.son épaisseur varie, suivant l'érosion, de 90 à 156m. Ses caractéristiques moyennes sont : K=15 mD ; P=8% ; les puits fissurés dépassent quelques Darcy.

5-4 Réservoir Ri :

Il est caractérisé par un grès quartzites isométrique à passe, composé de siltes, et de tigillites avec des fissures et brèches du ciment illitique.ses caractéristiques pétro physique sont : K= 1mD ; P= 7%.

5-Les problèmes rencontrés dans les différentes phases[6] :

5-1 La phase 26'' :

Les risques particuliers dans la phase 26'' sont les suivants:

- Mauvaise tenue des sables du Mio-Pliocène;
- Risque de pertes dans les sables de surface.

5-2 La phase 16'' :

Les risques particuliers dans la phase 16'' sont les suivants:

- Mauvaise tenue des parois du Mio-Pliocène

- Risque de Pertes de boue dans les formations Carbonatées

5-3 La phase 12 ¼'' :

Les risques particuliers dans la phase 12 $^{1/4}$'' sont les suivants:

- Venues d'eau chlorurée calcique du LD2, déstabilisant par diffusion progressive et en particulier lors des arrêts de circulation.
- Coincements au niveau des argiles fluentes du TS2.
- Pertes de circulation en cours de tubage et de cimentation.

5-4 La phase8 ½'' :

Les risques particuliers dans la phase 8 $^{1/2}$'' sont les suivants:

- Risque d'accrochage au niveau des formations salifères et argileuses;
- Risque de venue à partir de l'Horizon B (Eaux chlorurées calciques) ;
- Risque de pertes en cas de pénétration dans le Trias Argilo Carbonaté.- instabilité des parois.
- La résistance des tiges aux efforts de "torque & drag" ainsi que la force critique de flambage

5-5 La phase 6" :

Les risques particuliers dans la phase 6'' sont les suivants:

- risques de pertes dans les zones fissurées ou très perméables.
- risques de venues de gaz, particulièrement à proximité de puits injecteurs de gaz.
- risques de coincements par pression différentielle.
- instabilité des parois.
- risques de side track en reforage des sections à fort dog leg.

6- Les problèmes liées à la phase 8 ½''[6] :

6-1 généralités :

La phase 8$^{1/2}$ ''sur le champ de Hassi Messaoud, constitue la phase la plus difficile à réaliser compte tenu de la complexité des problèmes qui y sont rencontrés. Ces problèmes peuvent être résumés comme suit :

- la diffusion des eaux chlorurées du LD2, qui dépend en grande partie de la durée de réalisation de la phase, qui n'est plus d'actualité vu l'introduction des outils de la nouvelle génération (PDC) qui ont diminué considérablement la durée de la phase,
- le fluage des argiles du TS2 nécessite une densité élevée,
- les problèmes de perte de circulation dans la base du trias argileux et trias argileux gréseux, et qui fait l'objet de la présente analyse, reprisent incontestablement la difficulté la plus complexe qu'on peut rencontrer durant le forage d'un puits à Hassi Messaoud .

Pour permettre la poursuite du forage jusqu'à la cote prévue pour la pose du casing 7'', soit après pénétration de 4m dans le combrian, il est impératif de procéder au colmatage de ces pertes. Ce colmatage se fait dans tous les cas au moyen de la pose et le squeeze d'un ou plusieurs bouchons de ciment à l'endroit de la perte, selon l'importance de cette dernière.

Chapitre II

Etude téchnico-économique

Introduction :

L'objectif principal de l'activité forage est d'atteindre le réservoir pétrolier à moindre cout tout en respectant les aspects sécuritaires et environnementaux, dans cet esprit le programme de forage doit passer par des études technico-économiques basées sur la connaissance parfaite des caractéristiques des roches. Aussi l'élaboration du programme prévisionnel adéquat doit se faire par une harmonisation correcte des diamètres articulée sur un choix judicieux des programmes, tubage, garniture de forage, programme de la boue, cimentation.

1-Harmonisation des diamètres[4] :

1-1 Introduction :

L'harmonisation a pour but de choisir les diamètres de forage (trépans) et sélectionner les diamètres respectifs des colonnes à descendre dans le trou pour déterminer les diamètres des outils et de tubage. Pour nos calculs, on se base sur le diamètre de la colonne de production, c'est-à-dire le diamètre de tubing et du mode de complétion. Le calcul de l'harmonisation des diamètres se fait de bas en haut et la réalisation se fait de haut en bas.

1-2 Diamètre de l'outil à utiliser :

$$D_{tr} = D_m + 2 * \delta \qquad \textbf{(II} - \textbf{1)}$$

1-3 Diamètre intérieur de la colonne précédente :

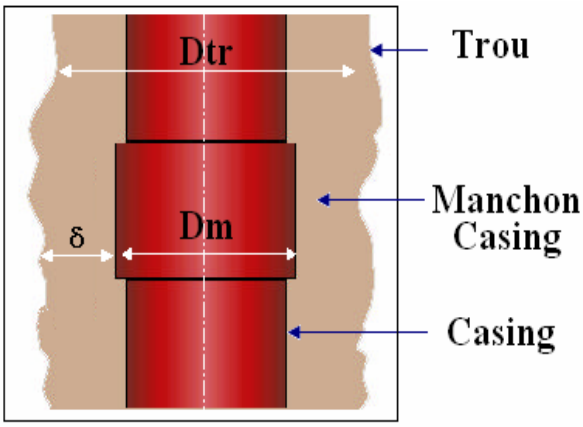

Figure I1-1 : Illustration des grandeurs utilisées dans l'équation (**II-1**)

$$D_{int.cp} = D_{tr} + 2\Delta \qquad (\mathbf{II-2})$$

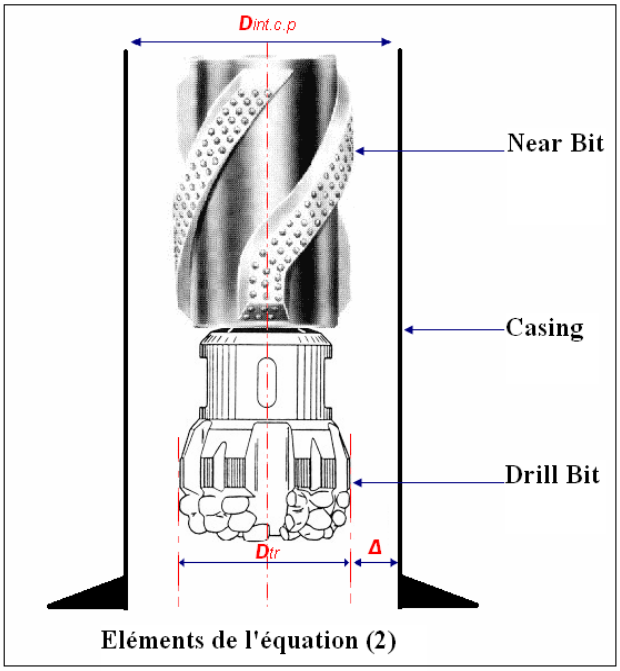

Figure I1-2: Illustration des grandeurs utilisées dans l'équation (**II-2**)

1-4 Les jeux tolérés :

Tableau II-1: les jeux tolérés

D_{tr} (in)	Δ (mm)
$4^{1/2}$ à $8^{5/8}$	**3 à 4**
$9^{5/8}$ à $13^{3/8}$	**4 à 5**
16 à 20	**10 à 15**
>20	**15 à 25**

$D_{ex\ casing}$ (in)	δ (mm)
$4^{1/2}$ à 5	**5 à 7**
$5^{1/2}$ à $6^{5/8}$	**7 à 10**
7 à $8^{5/8}$	**10 à 15**
$8^{5/8}$ à $9^{5/8}$	**15 à 20**
$10^{3/4}$ à $11^{3/4}$	**20 à 30**
$13^{3/8}$	**30 à 40**
>$13^{3/8}$	**40 à 78**

1-5 Application au puits OMPZ 341 :

1-5-1 Calcul des diamètres de tubage et des outils de forage :

a. Le diamètre de la colonne de production :$4^{1/2}$

D_m=127mm
D_{tr}=(127+2*5)/25.4=$5^{3/8}$
D_{tr}= (127+2*7)/25.4=6’

b. Calcul du tubage précédent (la phase 4) :

D_{cp}= D_{tr}+2Δ
D_{cp}=6+(2*3)/25.4=$6^{1/4}$
D_{cp}=6+(2*4)/25.4=$6^{5/8}$

c. Calcul du diamètre extérieur :

D_{ext}=7’
D_{int}=154.8mm
e=0.453in
q=32lb/ft

d. Calcul du diamètre de trou (phase 4) :

D_m=194.5mm
D_{tr}=(194.5+2*10)/25.4=$8^{1/2}$

e. Calcul du diamètre intérieur du casing précédent (phase 3) :

D_{cp}= D_{tr}+2Δ
D_{cp}=(214.5+2*3)/25.4=8.681in
D_{cp}=(214.5+2*4)/25.4=$8^{7/8}$

f. Calcul du diamètre extérieur du casing :

D_{ext}=$9^{5/8}$
e=0.472in
D_{int}=220.5mm
q=47lb/ft

g. Calcul du diamètre de trou (phase 3) :

D_m=269.9mm
D_{tr}= D_m +2δ

D_{tr}=(269.9+2*20)/25.4=12.2=$12^{1/4}$

h. Calcul du diamètre intérieur du casing (phase 2) :

D_{cp}=311.15+2*4=319.15mm
D_{cp}=311.15+2*5=321.15mm

i. Calcul du diamètre extérieur :

D_{ext}=$13^{3/8}$
D_{int}=320.4mm
q=54.5lb/ft

j. Calcul du diamètre de trou (phase 2) :

D_m=365.1mm
δ =20mm
D_{tr}= (364.1+2*20)/25.4=16'

k. Calcul du diamètre intérieur du casing précédent (phase 1) :

D_{cp}= (404.1+2*10)=16.696
D_{cp}= (404.1+2*15)=17.09

l. Calcul du diamètre extérieur :

D_{ext}=$18^{5/8}$
D_{int}=451mm
e=0.435in
q=87.5lb/ft

m. Calcul du diamètre de trou :
D_m=508mm
D_{tr}=(508+2*40)/25.4=23.14in
D_{tr}=(508+2*78)/25.4=26'

1-5-2 Les résultats finaux du programme: sont classées dans le tableau suivant :

Tableau II-2: Les résultats finaux de programme des diamètres

Phases	D_{tr} (in)	D_{cp}	q(lb/ft)
1	26	$18^{5/8}$	87.5
2	16	$13^{3/8}$	54.5
3	$12^{1/4}$	$9^{5/8}$	47
4	$8^{1/2}$	7	32
5	6	$4^{1/2}$	13.5

2-Programme boue [3],[4] :

2-1 Introduction :

Parmi les éléments les plus importants pour la conception d'un puits pétrolier la boue de forage, ce fluide souvent de type Benghamien circulant dans un circuit fermé et qu'y doit être adapté aux types et conditions des terrains traversés.

2-2 Les principaux rôles de la boue de forage :

- Nettoyage du trou en remontant les déblais ;
- Bon maintien des parois du trou ;
- Maintien en place les fluides des formations traversées ;
- Lubrification et refroidissement de l'outil et diminution des frottements de la garniture de forage ;
- La transmission de la puissance au moteur de fond ;
- La remontée des informations géologique ;
- Le maintien des déblais en suspension après arrêt de la circulation ;
- L'intervention des fluides comme paramètre de forage pour augmenter la vitesse de pénétration en conservant de faible teneur de solide, viscosité marsh la plus basse, le filtrat le plus élevé (dans les formations de surface).

2-3 Application au puits OMPZ 341

2-3-1 La phase 26'' (506m) : les compositions et les propriétés de fluide de forage en la phase 26'' sont :

a. Composition :

	Composition
bentonite (viscosifiant)	60-80 kg/m^3
la soude (NaOH)	2 kg /m^3
carbonate de soude	2 kg /m^3

On utilise le carbonate de soude pour traiter l'eau dur en diminuant la quantité de Ca^{++} et le carbonate de soude pour diminuer la quantité de Mg^{++} pour améliorer le rendement de la bentonite.

b. Propriétés :

Densité	1.05
Viscosité marsh	60-80 sec/qt
Yp	40-60 lb/100 ft^2
Gels1010sec/10min	20-40
FL API (cc/30min)	+/- 20
LGS % by Vol	‹ 4
PH	9 .5-11
MBT	80-110 kg/Cum

c. But du choix du type de boue : le rôle de la boue utilisée dans la phase 26'' est :

- Filtrat élevé pour formation de cake consolidant la formation et colmatant les sables ;
- Viscosité élevée pour le bon nettoyage de trou ;
- Faible densité ce qui implique une faible pression hydrostatique donc moins de pertes ;
- Fabrication simple et coût faible;
- Rhéologie facilement ajustable.

d. Calcul du volume de boue: Le volume total de la boue peut s'exprimer par la relation suivante :

$$V_T = V_S + V_{tr} + V_r \qquad (\mathbf{II-3})$$

$\mathbf{V_S}$: volume de surface (m^3)

$\mathbf{V_{tr}}$: volume de trou (m^3)

$\mathbf{V_r}$: volume de réserve (m^3)

$\mathbf{V_T}$: volume total de boue (m^3)

Sachant que le volume de surface peut se calculer par :

$$V_S = V_{goulotte} + V_{bacAsp} + V_{bacDéc}$$

Avec

$$V_{tr} = \left(\frac{\Pi d^2}{4}\right) L * K \qquad (\mathbf{II-4})$$

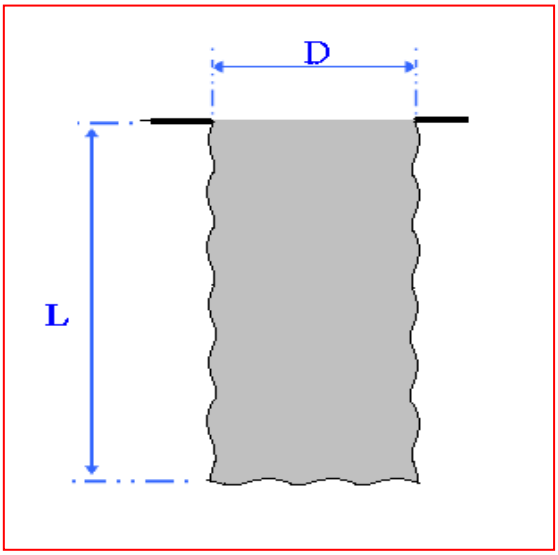

Figure I1-3 : La 1ère phase

A.N

V_{tr}= ((26*2,54*10^{-2})^2 /4)*3,14*506*1,25

$$\boxed{V_{tr} = 216{,}54 m^3}$$

Remarque : Dans la première phase (surface), puisqu'on a le risque de pertes totales de la boue, on prend :

$$V_{tr} = V_r \qquad (II-5)$$

A.N

V_r=216,54m^3

D'après la relation **(II-3)** on peut calculer le volume total :

$$\boxed{V_T = 433{,}086\ m^3}$$

2-3-2 La phase 16'' (1 770m) :

a. Composition : les compositions et les propriétés de la boue en la phase16''

Diesel	0.577 m^3/m^3
Brine26%	0.259 m^3/m^3
Invermul NT	18
EZ MUL NT	12
Geltone||	7
Barablok	2
Lime	25
Sel	92.59kg
Barite	373.18kg

b. Propriétés :

Densité	1.25
Viscosité Marsh	50-55seq/qt
Yp	40-60lb/100ft
Gels(10sec/10min)	12/18
FL HT HP 200°F/500psi	+10
NaCl % /eau	26
Stabilité électrique	>600
Pb (cc0.1H_2SO_4)	2-2.5
Huile/eau	85/15
Pourcentage des solides	<5

c. But de choix de la boue: le rôle de la boue utilisée dans la phase 16'' est :

- Eviter le gonflement ;
- Cette boue est une boue à émulsion inverse, utilisée pour empêcher la dissolution des sels des formations ;
- Résiste aux contaminations ;
- Excellent pouvoir lubrifiant ;
- Limite les coincements par pression différentielle ;
- Réduire l'effet de corrosion.

d. calcul du volume : On applique les formules suivantes pour calculer le volume de boue nécessaire pour la 2^{ieme} phase

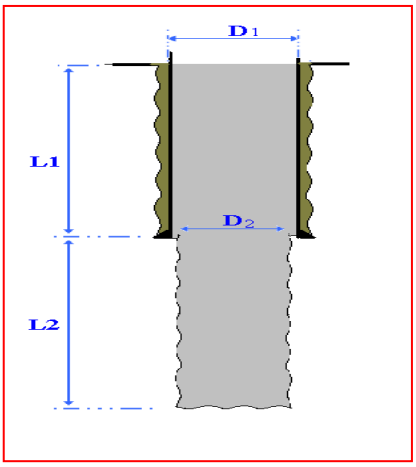

Figure I1- 4 : La 2eme phase

$V_T=V_S+V_{tr}+V_r$

$V_{tr}=V_1+(\frac{\Pi d_2^2}{4})L_2K$

A.N

$V_{tr}=173,23+((16*2.54*10^{-2})^2 *3.14*1\ 770*1.25)/4$

$V_{tr}=173,23+286,85$

$$\boxed{V_{tr}=460,083m^3}$$

$$V_r = \frac{V_{tr}}{2} \qquad (II-6)$$

$V_r=230,041m^3$

$V_T=460.83+230.041+100\ ,52$

$$\boxed{V_T=790,64m^3}$$

2-3-3 La phase 12 ¼'' (998m): les compositions et les propriétés de la boue en la phase12 ¼''

a. Composition :

Diesel	0.657 m^3/m^3
Eau	0.168 m^3/m^3
Invermul NT	12
EZ MUL NT	4
Geltone II	19
Barablok	1
Lime	25
Sel	60.2 kg/m^3
Baryte	478.74 kg/m^3

b. Propriétés :

Densité	2.06
Viscosité Marsh	50-55 seq/qt
Yp	10-14lb/100ft
Gels(10sec/10min)	12/16
FL HT HP 200°F/500psi	+10
NaCl % /eau	26
Stabilité électrique	>1000
Pb (cc0.1H2SO4)	2-2.5
Huile/eau	85/15 -90/10
Pourcentage des solides	<5
LGS % by Vol	<5

c. But de choix de la boue :

- Eviter le gonflement ;
- Cette boue est une boue à émulsion inverse, utilisée pour empêcher la dissolution des sels des formations ;
- Résiste aux contaminations ;
- Excellent pouvoir lubrifiant ;
- Limite les coincements par pression différentielle ;
- Réduire l'effet de corrosion.

d. Calcul du volume : On applique les formules suivantes pour calculer le volume total

$$V_T=V_S+V_{tr}+V_r$$

$V_{tr}=V_1+V_2+(\frac{\Pi d_2^2}{4})*L_2K$

A.N

$V_{tr}=173,23+229,48+(998*3.14*(12.25*2.54*10^{-2})^2*1.25)/4$

$V_{tr}=173,23+229,48+94,80$

$V_{tr}=497,51m^3$

$V_r=V_{tr}/2$

$$\boxed{V_r=248,75m^3}$$

2-3-4 La phase 8 ½'' (209m) : les compositions et les propriétés de la boue en la phase 8 ½''

a. Composition :

Diesel	0.549 m3/m3
Eau	0.062 m3/m3
Invermul NT	9
EZ MUL NT	12
Geltone II	5
Barablok	10
Lime	25
Sel	27.12kg/m3
Baryte	1422.19kg/m3

b. Propriétés :

Densité	1.45
Viscosité Marsh	50-55seq/qt
Yp	10-12lb/100ft
Gels(10sec/10min)	8/12
FL HT HP 200°F/500psi	+10
NaCl % /eau	26
Stabilité électrique	>1000
Pb (cc0.1H2SO4)	2-2.5
Huile/eau	90/10
Pourcentage des solides	<5

c. But de choix de la boue : le rôle de la boue utilisée dans la phase 8 ½'' est :

- Densité plus élevée pour éviter le rétrécissement du trou ;
- Densité plus élevée pour maintenir les fluides de formations en place ;
- Boue a émulsion inverse pour éviter le gonflement des argiles.

d. Calcul de volume : On applique les formules suivantes pour calculer le volume total

$V_T=V_S+V_{tr}+V_r$

$V_{tr}= V_1+V_2+V_3+ (\pi D_2^2/4)L_2*K$

A.N

V_{tr}= 173,23+229,48+75,84+(3.14*(8.5*2.5*10-2)2 *209*1.25)/4

V_{tr}= 173,23+229,48+75,84+ 9,55

$$\boxed{V_{tr}= 488,10\ m^3}$$

$V_r=(1/2)V_{tr}$

A.N

$$\boxed{V_r=244,05m^3}$$

2-3-5 La phase 6'' (650m) : les compositions et les propriétés de la boue en la phase 6''

a. Composition :

Diesel	0.844 m^3/m^3
Eau	0.046 m^3/m^3
Invermul NT	35
EZ MUL NT	6
Geltone II	50
Duratone HT	40
Lime	25
Sel	16.45 kg/m^3
Baryte	1422.19 kg/m^3

b. Propriétés :

Densité	0.9
Viscosité Marsh	40-45 seq/qt
Yp	8 lb/100ft^2
Viscosité plastique	ALAP
Gels(10sec/10min)	6/10
FL HT HP 250°F/500psi	<4
NaCl % /eau	26
Stabilité électrique	>1000
Pb (cc0.1H2SO4)	1
Huile/eau	90/10
Pourcentage des solides	<5

c. But de choix : le rôle de la boue utilisée dans la phase 6'' est :

- Simple traitement lors de forage ;
- Pas de contamination avec le fluide de réservoir ;
- Pas de formation de cake ;
- Pas d'endommagement du réservoir.

d. Calcul du volume : On applique les formules suivantes pour calculer le volume total

$V_T=V_S+V_{tr}+V_r$

$V_{tr}= V1+V2+V3+V4+ (\pi D_2^2/4)L_2*K$

A.N

$V_{tr}= 173,23+229,48+75,84+7,64+(650*3.14*(6*2.54*10^{-2})^2*1.25)/4$

$V_{tr}=173,23+229,48+75,84+7,64+14,81$

$$\boxed{V_{tr}=501m^3}$$

$V_r= 1/2V_{tr}$

A.N

$$V_r = 250{,}5 m^3$$

3-Programme Outils de Forage [3],[4] :

3-1 Introduction :

Le programme outil et le régime de forage sont élaborés en tenant compte :

- nature des couches traversées (tendres, dures, moyennes) ;
- nature de fluide de forage utilisé ;
- paramètres de forage (RPM, débit, WOB,…) ;

3-2 Application au puits OMPZ 341 :

3-2-1La phase 26*18$^{5/8}$: elle est constituée de terrains tendre

Outil	Type	Duses	Paramètres			Métrage
			WOB(tonne)	RPM(tr/min)	Débit(l/min)	
tricône	VAREL V515J	3*18-1*16	3-25	80-120	3200	0à506m

3-2-2 La phase 16*13$^{3/8}$: elle est constituée de terrains moyens tendres à moyens durs

Outil	Type	Duses	Paramètres			Métrage
			WOB(tonne)	RPM(tr/min)	Débit(l/min)	
PDC	TFR913S /BAKER HC609Z RR	8*12	5-23	90-230	3200	506à 2276 m (1 770m)

3-2-3 La phase 12$^{1/4}$*9$^{5/8}$: elle est constituée de terrains moyennement durs

Outil	Type	Duses	Paramètres			Métrage
			WOB(tonne)	RPM(tr/min)	Débit(l/min)	
PDC	SPH639 New/HCM408 NEW	8*12/32	7-17	90-150	2850	2276à 3274m (998m)

3-2-4 La phase 8$^{1/2}$*7 : elle est constituée de terrains moyennement durs à durs

Outil	Type	Duses	Paramètres			Métrage
			WOB(tonne)	RPM(tr/min)	Débit(l/min)	
PDC	SE3841 Zi, NEW	6*14/32	5-12	60-80	2100	3274à 3483m (209m)

3-21-5 La phase 6*4$^{1/2}$: elle est constituée de terrains très durs

Outil	Type	Duses	Paramètres			Métrage
			WOB(tonne)	RPM(tr/min)	Débit(l/min)	
PDC	SMITH K505 NEW	2-5	45-70 et 120-130	60-80	900	3483à 4133m (650m)

4-Calcul de la garniture [3],[4] :

4-1 Introduction :

La garniture de forage (drill stem ou drill string), appelée aussi train de sonde ou assemblage de fond, est un arbre reliant l'outil travaillant au fond de puit avec l'équipement de surface c'est donc le moyen de liaison entre le fond et la surface.

4-2 Les principales fonctions du train de sonde :

- Relier le trépan à l'équipement de surface ;
- Transmettre au trépan le mouvement de rotation transmis par la table de rotation ou top drive ;
- Créer une charge axiale sur le trépan (poids sur l'outil), appliquer une force de compression sur l'outil ;
- Permet le test des formations (DST : drill stem test) en cour de forage ;
- Aide au prélèvement des carottes ;
- Permet les opérations de repêchage (instrumentation (fishing)) ;
- Permet la circulation de la boue de forage avec le minimum de pertes de charge ;
- Permet les manœuvre de remonter et descente pour changement d'outil ;
- Transmet l'énergie hydraulique dans le cas d'un forage avec un moteur de fond ou une turbine ;
- Guider et contrôler la trajectoire d'un puits ;
- Permet de connaitre avec une bonne précision la profondeur atteinte du forage (chaque élément de sondage est identifié, numéroté, mesuré avec précision et inscrit dans un registre de chantier).

4-3 Composition de la garniture de forage : elle est composée par des éléments principaux et d'autres accessoires.

4-3-1 Eléments principaux :

- Des masse tiges (drill collars ; DC) : il y a des masse tiges cylindriques, carrée et spiralée ;
- Des tiges de forages (drill pipe ; DP) ;
- Des tiges lourdes (heavy weight drill pipe; HWDP).

4-3-2 Eléments accessoires :

a-Outil de forage : c'est le premier élément qui s'attaque au terrain, les outils sont classés selon la nature des terrains, on distingue :

- outil à molettes ;
- outil à diamant.

b-Porte outil : c'est une réduction de 1m en générale pour adapter le filetage entre l'outil et le premier DC ;

c-Des stabilisateurs: incorporés entre les masses tiges ;

d-Aléseurs : ils sont intercalés dans le train de sonde, leur rôle est l'alésage des parois de puits d'une part, d'autre part ils ont un rôle analogue à celui des stabilisateurs ;

e-Des raccords de filetage (pour adapter les différents filetages) : cette composition permet la garniture de travailler en traction et en compression, telle que la partie supérieure de la garniture travaille en traction tandis que la partie inférieure de la garniture travaille en compression, mais lors de la remontée toute la garniture qui travaille en traction parce que la garniture est suspendue (**Figure I1-5**).

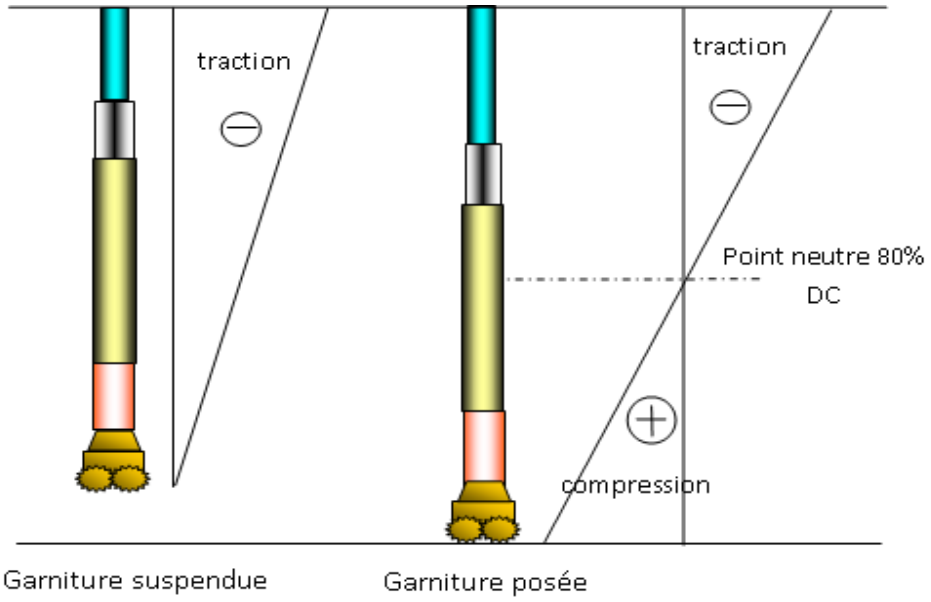

Figure I1-5 : Mode de travail de la garniture

4- 4 Choix des garnitures de forage :le choix de la garniture de fond se fera en fonction du diamètre du puits, du poids à appliquer sur l'outil, de la trajectoire. Il faut veiller à utiliser des garnitures de fond aussi courtes que possible afin de réduire le couple, la friction, pertes de charges annulaires et les risques de ruptures liés au travail de cette partie de la garniture en compression.

4- 4-1 Les tiges de forage : les tiges de forages les plus utilisées sont de diamètre extérieur 3″ ½ et 5″, et leur diamètre intérieur est fonction du poids linéaire.

a-Choix des tiges de forage :

Le choix des tiges de forage se fait en fonction des considérations suivantes :

- La profondeur maximale que l'on peut atteindre avec un grade d'acier de tige donné ;
- Les pertes de charges à l'intérieur des tiges doivent avoir une valeur acceptable pour chaque phase ;
- Le diamètre extérieur du tool-joint doit être compatible avec le diamètre pour chaque phase ;
- Poids de garniture doit être plus faible possible.

b- Calcul hydraulique des tiges de forage : quel que soit la composition du train de sonde le choix des tiges se fera en tenant compte de phénomène hydraulique.

Autrement dit, le diamètre du train de sonde doit être tel que les pertes de charges dans le système de circulation soient minimales. Pour cela, il faut avoir une section de l'espace annulaire Se égale à 3-5 fois la section intérieur des tiges Si .

Ou
$$\frac{S_e}{S_i} = \frac{S_{trou} - S_{ex\,tige}}{S_{\,int\,tige}} = 3 - 5 \qquad (\mathbf{II-7})$$

Avec :
$$\frac{S_e}{S_i} = \frac{D^2_{trou} - D^2_{ex\,tige}}{D^2{}_{int\,tige}} = 3 - 5 \qquad (\mathbf{II-8})$$

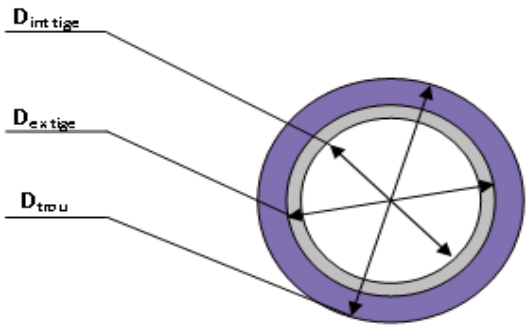

Figure I1-6: Schématisation des tiges dans le trou

c-Choix du grade d'acier des tiges de forage : Le choix du grade est fonction de :

- La profondeur maximale à atteindre ;
- La densité de la boue utilisée ;
- La réserve de traction souhaitée ;
- Coefficient de sécurité souhaité ;
- Dimensions maximales et classes d'usure des tiges de forage utilisées ;
- Diamètre de forage.

α – Le train de sonde est suspendu dans l'air :

$$\zeta t = \frac{L_{Dc} * m_{Dc} + L_{Dp} * p}{S_{Dp}} \qquad (\mathbf{II - 9})$$

β – Le train de sonde est dans le puits remplis de boue :

$$\zeta t = \frac{(L_{Dc} * m_{Dc} + L_{Dp} * p) * f}{S_{Dp}} \qquad (\mathbf{II - 10})$$

δ: facteur de flottabilité : est donné par la relation suivante

$$f = 1 - (\mathrm{d_b})/\mathrm{d_a} \qquad (\mathbf{II - 11})$$

4- 4-2 Les masses tiges : dans le forage le rôle essentiel des masses tiges est :

- De fournir le poids nécessaire sur l'outil de forage ;
- De procurer une certaine rigidité à proximité de l'outil de forage ;

a-Calcul hydraulique des masse-tiges : le choix de ces derniers s'effectue suivant le rapport **Se/Si = 6-7** tel que :

S_e : section de l'espace annulaire ;

S_i : section intérieur des masse-tiges ;

$$\frac{S_e}{S_i} = \frac{D_{trou}^2 - D_{ex\,tige}^2}{D_{int\,tige}^2} = 6 - 7 \qquad (\mathbf{II - 12})$$

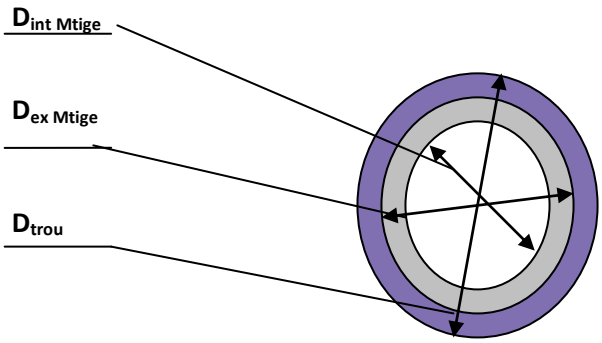

Figure I1-7 : Schématisation des masses tiges dans le trou

b-Détermination de la longueur des masses tiges :

$$L_{DC} = (WOB * 10^5) / (\cos\alpha * F_{PN} * P_{DC} * f) \qquad (\mathbf{II - 13})$$

4-4 Application au puits OMPZ 341 :

4-4-1 Phase de forage $8^{1/2}$:

Données :

Profondeur de forage : 3434m

Diamètre de forage : $8^{1/2}$

Densité de la boue : 1.45

Facteur de sécurité à l'écrasement : 1.15

Masse tige 61/2 *213/16

α=0°

WOB=15tonnes

FPN =85%

f =1-(d_b/d_a)
f =0.852

L_{DC}= (105 *15)/ (cos0 *0.85*136.6*0.852)

A.N

L_{DC}=151,62 m

a- Calcul de la longueur des tiges (drill pipe) :

$$L_{DP} = \left[10^3 \ * \frac{0{,}9\ T_e - R_t}{f * P_{DP}}\right] - \left[P_{DC} * \frac{L_{DC}}{P_{DP}}\right] \qquad (\mathbf{II-14})$$

$$M_{DC} = \ m_{DC} * L_{DC} * f \qquad (\mathbf{II-15})$$

b-Données :

d_b=1.45

R=25 tonnes

M_{DC} : 61/2*213/16

T=197.982

c-Caractéristiques des tiges :

D_{ext}=5’

q=19.5l b/ft

Tj=$6^{3/8}$

Grade : G105

Classe : premium

M_{DC}=138,267*151,62*0,852

M_{DC}=17,861 tonne

<u>A.N</u>

L_{DP} =(197.982-(19.999+25)*1.1)/(1.1*31.06*10-3*0.7388)

$$\mathrm{L_T} = \ \mathrm{L_{DP}} \ + \ \mathrm{L_{DC}} \qquad (\mathbf{II-16})$$

<u>A.N</u>

L_T= 7 647,53 m

5-Programme tubage [3],[4] :

Introduction :

Les opérations de tubage et de la cimentation sont deux opérations complémentaires, dont le but principal est de relier la couche productrice de l’huile ou du gaz par la surface ; en assurant la production en toute sécurité.

5-1 L'opération tubage : cette opération consiste à introduire dans le trou préalablement foré une colonne de tubage, en respectant les mesures de sécurité, tels que la capacité des équipements à utiliser, la vitesse de descente …etc. Cette colonne introduite doit être adaptée aux conditions du fond, car les différents efforts, la température, la pression et de l'effluent qui est par fois corrosif peut entraîner un endommagement excessif si le choix des tubes n'a pas pris en considération ces facteurs.

Selon la côte de descente des colonnes on distingue :

5-1-1Tube guide : c'est un tube en tôle soudé généralement met en place par le service génie civil. Son rôle est de maintenir les formations de surfaces non consolidées (sables, Cailloux remblais...) et de guider l'outil en début de forage ; généralement il a une longueur de 5 à15 m.

5-1-2 Colonne de surface : c'est la première colonne descendue et cimentée jusqu'au surface, la cote du sabot de celle-ci varie entre 50 et 500 m suivant l'épaisseur des couches superficielles. son rôle est de :

- fournir une base aux équipements de sécurité ;
- éviter la pollution des eaux potables (aquifères) ;
- isoler les sondages aux eaux contenues dans les couches superficielles ;
- maintenir stable les terrains de surface.

5-1-3 Colonne(s) technique(s) (intermédiaire) : cette colonne permet la poursuite du forage dans les meilleurs conditions technique et sécuritaire, et de couvrir les zones à problèmes (éboulement, formation incompatible, argile gonflante, sel massif formation éruptive …). Cette colonne est généralement très profonde ($\pm 2500\,\text{m}$).

5-1-4 La colonne de production : cette colonne est indispensable dans le cas d'un sondage de production, elle est d'environ 1000m au dessous du sabot de la phase précédente (colonne technique). Dont le rôle est de :

- lier le réservoir avec la surface ;
- isoler la formation productrice des autres couches ;
- protéger les organes de production ;
- permettre l'ancrage et la suspension du liner ;
- améliorer l'étanchéité du packer en cours de production.

5-1-5 La colonne perdue (liner): Toutes les colonnes précédentes se prolongent du bas jusqu'au surface .Pour des raisons économiques et techniques cette colonne est ancrée dans la partie inférieure de la colonne de production par un système d'ancrage dit liner hanger, donc elle n'arrive plus en surface.

5-2 Calcul de tubage : il existe deux méthodes de calcule de résistance des contraintes (écrasement, éclatement et traction) :

5-2-1 La méthode API : cette méthode est utilisée pour le calcul des colonnes de production, elle retient les coefficients de sécurité suivants :

a) Ecrasement :

Cs = 1.125 la colonne est supposée pleine.

b) Eclatement :

Cs = 1.000

c) Traction :

Cs = 1.750 la colonne est supposée suspendue

5-2-2 La méthode GULF : la méthode la GULF est essentiellement utilisée dans les sondages de développement, où l'on peut avoir des précisions sur le programme de forage et le tubage. Cette méthode ne convient que pour le calcul des colonnes techniques, elle retient les coefficients de sécurité suivants :

a) Ecrasement :on admet que la cimentation diminue les efforts d'écrasement sur les tubes.

α Partie Cimentée:

Cs = 0.85 le cas où le tube peut se vider (perte de circulation) ;

Cs = 0.65 le cas où le tubage est constamment plein ;

β Partie non cimentée :

Cs = 1.80

b) Eclatement :

Cs = 1.00 on choisit la densité de boue maximale ;

c) Traction :

Cs = 1.75

5-3 Application au puits OMPZ 341 :

5-3-1 Calcul tubage de la phase 8 ½ :

Méthode API : elle est utilisée pour le calcul des colonnes de production, elles retiennent les coefficients de sécurité suivants :

Ecrasement : **Cs**=1.125

Eclatement : **Cs**=1.000

Traction : **Cs**=1.750

Données de départ :

H=880 m, tubage 7'', d_b= 2.05

a-pression hydrostatique:

$$P_h = H * \frac{d}{10.2} \qquad (\mathbf{II-17})$$

P_h=176,862 bar

b-Pression d'écrasement:

Le premier tronçon des tubes au fond doit avoir les caractéristiques à l'écrasement supérieur

$$R_{ecr} \geq \left(H * \frac{d}{10.2}\right) * \text{coef d'écrasement} \qquad (\mathbf{II-18})$$

R_{ecr}≥198,97bar

R_{ecr}=77.779MPa

D'après le formulaire on choisit pour raison de sécurité :

P110, #29,P_{ecr}=58.8MPa,q=42.3daN/M e=10.4mm

c-Choix des tubages du 2eme tronçon :

Pour cela on choisit la nuance du 2eme tronçon qui sera : P110, #32, épaisseur : 11.5mm

$_{Pecr}$=744bar

d-Côte de descente admissible du 2eme tronçon :

H_2=(10.2* P_{ecr})/d*Cs

H_2=(10.2*744)/2.05*1.125

H_2=3290,53 m

e-Longueur non corrigée du 1er tronçon :

L_1= H- H_2

L_1=3450-3290,53

L_1= 159,463 m

f-Poids non corrigé du 1er tronçon :

$Q_1= L_1*q_1$
$Q_1=159,46*42,3$

Q_1=6,745 ton

g-Pression d'écrasement corrigée pour le tube du 2eme tronçon :

P_{ecr}=682,8 bar

h-Côte de descente corrigée du 2eme tronçon :

$H_2=(10.2* P_{ecr})/d*Cs$

$H_2=10.2*97.4/2.05*1.125$

H_2=3019 m

i-Longueur corrigée du 1er tronçon :

$L_1=3450-3019$

L_1=430 m

j-Poids corrigé du 1er tronçon :

$Q_1=l1*q_1$
$Q_1=430*42.3$

Q_1=18,194 t

k-Choix des tubes du 3eme tronçon :

D'après le formulaire du foreur : on choisit P100,29 lb/ft

P_{ecr}=58.8MPa=588bar

l-Côte de descente non corrigée du 3eme tronçon :

$H_3=(10.2* P_{ecr})/d*Cs$

$H_3=10.2*588/2.05*1.125$

H_3=2600 m

m-Longueur non corrigée du 2eme tronçon :

$L_2= H_2 –H_3$
$L_2=3019-2600$

L_2=419 m

n-Poids non corrigé du 2eme tronçon :

$Q_2=l2*q_2$

Q_2=419*46,7

Q_2=19,56 t

o-Résistance à l'écrasement corrigée du 3eme tronçon :

P_{ecr}=660 bar

p-Côte de descente corrigée du 3eme tronçon :

H_3=(10.2* P_{ecr})/d*Cs

H_3=10.2*660/2.05*1.125

H_3=2919 m

q-Longueur corrigée du 2eme tronçon :

L_2= H_2 –H_3

L_2=3019-2919

L_2=100 m

r-Poids corrigé du 2eme tronçon :

Q_2=l2*q_2

Q_2=1383.33*47.634

Q_2=4,7 t

s-Choix des tubes du 3eme tronçon :

D'après le formulaire du foreur : on choisit P110 ,29lb/ft

P_{ecr}=373bar

t-Longueur non corrigée du 3eme tronçon :

L_3=L-(L_1+L_2)

L_3=880-(430+100)

L_3=350 m

u-Poids corrigé du 3eme tronçon :

Q_3=l3*q_3

Q_3=350*42,3

Q_3=14,805 t

v-Poids total du 1er , 2eme et 3eme tronçon non corrigé :

Q_{1+2+3}=9.117+65.89+29.02

$$\boxed{Q_{1+2+3}=104.02\ t}$$

w-Résistance à l'écrasement corrigée du 3eme tronçon :

D'après le formulaire du foreur et en tenant compte de Q_{1+2+3}

P_{ecr}=275bar

x-Poids total Q :

$Q_{1+2+3}= Q_1+Q_2+Q_3$

Q_{1+2+3}=18,194+4,709+14,805

$$\boxed{Q_{1+2+3}= 37,70\ t}$$

y-Vérification de la résistance à la traction du 4eme tronçon :

D'après le formulaire du foreur R_{tr}=413*103daN=421,26t

(R_{tr}/Q_{1+2+3})= 421,26/37,70896

(R_{tr}/Q_{1+2+3})=11.17>1.75 donc ce calcul est le programme optimal pour le programme tubage

Tableau II-3: tubage de la phase 8 ½''

Cote de descente	Nuance	Poids linéaire (lb/ft)
2570 - 3000m	P110	29
3000 - 3100m	P110	32
3100 - 3450m	P110	29

6-programme de cimentation [3],[4] :

6-1 Introduction :

L'opération de cimentation représente une part importante dans l'industrie de forage pétrolier. Sa réussite est un facteur déterminant pour la poursuite de la phase suivante.

La cimentation dans un puits pétrolier consiste en la mise en place d'un laitier de ciment approprié à une côte donnée de puits dans un espace annulaire entre la colonne descendue et les formations.

6-2 Type de cimentation : Il existe différents types d'utilisation de ciment dans les sondages :

- Cimentation des cuvelages ou des casings ;
- La pose de bouchon de ciment ;
- Squeeze (injection de ciment sous pression) ;
- Cimentation ordinaire ;
- Cimentation a deux étages.

Dans tout les cas le but d'une cimentation dans un sondage est réalisé une étanchéité entre déférente formation et entre le terrain et le tubage.

6-2-1 Cimentation des cuvelages ou des casings: le rôle de ce type est :

- Isoler une couche de production des couches adjacentes ;
- Evité l'éboulement de trou ;
- Obturer les couches productrices épuisées ;
- Isoler une couche des zones adjacentes dans le but de limiter la proportion d'eau ou du gaz accompagnant la production d'huile.

6-2-2 La pose de bouchon de ciment : le rôle de ce type est :

- De fermer un puits que l'on abandonne ;
- De colmater les pertes de circulation ;
- Bloquer un niveau aquifère soit au cours de forage soit lors de la complétion ;
- Servir de point d'appuis à la déviation du forage (side track).

6-2-3 Squeeze : le rôle de ce type est :

- Injection de ciment complémentaire, à travers les orifices des perforations dans les tubages, pour consolider ou réparer la cimentation primaire de ces tubages ;
- D'obturer une couche productrice épuisée ;
- D'isoler une couche des zones adjacentes dans le but de limiter la proportion d'eau ou gaz accompagnant la production d'huile.

6-2-4 Cimentation ordinaire: le rôle de ce type est :

- Elle a pour but l'ancrage de la colonne de sol (parois de puits) ;
- Prévoir le dévissage des tubes pendant le forage de la phase suivante ;
- Maintenir le terrain de la surface ;

- Sert d'ancrage aux dispositifs de sécurité et d'assise aux dispositifs de suspension des colonnes suivantes ;
- Isolement du sondage des eaux de surface.

Il s'agit d'une cimentation avec stinger ce dernier est un raccord qui se termine sur les deux extrémités par un filetage femelle. Ce vissant sur le tiges de forage et l'autre extrémité se termine par un certain nombre de joint qui s'ancre dans le sabot.

6-2-5 Cimentation à deux étages : c'est une cimentation à deux étages qui représente les avantages suivants :

- Réduction de risque de craquage de la formation ;
- Réduction de la pression finale de refoulement ;
- Moine de risque de contamination du laitier ;
- Admissibilité de cimenter deux zone distinctes, éloignée l'une de l'autre et grâce a DV (diverter valve) que nous pouvons faire cette cimentation double étage.

6-3 Calcul des Volumes dans la Cimentation: le calcul est fait à base de remplir trois volumes principales :

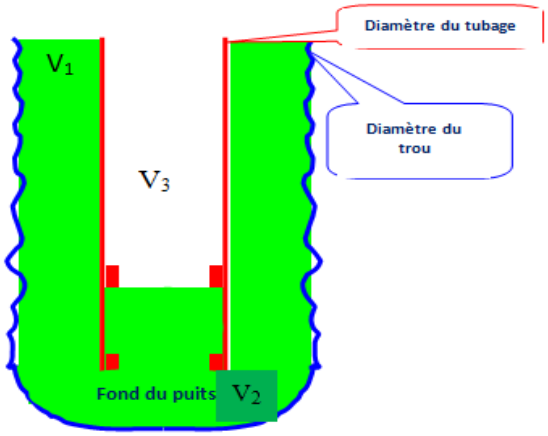

Figure I1-8: les différents volumes de puits

6-3-1 Volume des laitiers de ciment : le volume de trou égal :

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 \qquad (II-19)$$

V_1 : Volume espace annulaire trou – tubage entre le sabot et la surface (m^3) ;

$$V_1 = V_{ea} * H * K \qquad (II-20)$$

V_2 : Volume de puits entre le fond de puits et le sabot (m^3) ;

$$V_2 = 2 * V_u * K \qquad (\mathbf{II - 21})$$

V_3 : intérieur de tubage entre le sabot et l'anneau (m^3) ;

$$V_3 = h * V_u \qquad (\mathbf{II - 22})$$

NB : le diamètre de trou est généralement plus grand que le diamètre de trépan à cause des cavages. Donc les volumes V_1 et V_2 doivent être majoré par un cœfficient de sécurité qui devient de l'état de puits (K= 1.25).

6-3-2 Préparation du laitier de ciment : cette opération consiste en la préparation de tous les moyens, notamment les équipements de cimentation spécifiques pour procéder à la détermination des ingrédients à mélanger tout en répond aux exigences et spécification de la phase à cimenter bien entendu avec des quantités suffisantes afin de mener l'opération dans des bonnes conditions et selon les programme préétablit, la préparation se repose essentiellement sur les points décrits en dessous :

a. Quantité de ciment :

Masse de ciment (T) = volume du laitier / rendement du ciment

$$M_{cim} = \frac{V_T}{\eta_C} \qquad (\mathbf{II - 23})$$

b. Volume d'eau nécessaire :

V_{eau} = volume du laitier – [masse de ciment / densité du ciment] – volume des additifs
Si on a le rapport (eau/ciment), on peut avoir directement :
V_{eau} = rapport (eau/ciment) $*$ masse de ciment

e. Volume du fluide de refoulement (volume de chasse) : généralement en utilise la boue de forage et les pompes pour refouler le laitier de ciment, le volume de chasse égale au volume intérieur de tubage entre l'anneau et la surface.

f. Débit d'injection de laitier de ciment : Il dépend de l'unité de cimentation, pratiquement le débit d'injection est de l'ordre de 1000 l/m.

g. Temps d'injection (T_{inj}) : c'est le volume de laitier sur le débit d'injection

$$T_{inj} = \frac{V_T}{Q_i} \qquad (\mathbf{II - 24}).$$

h. Temps de chasse (T_{ch}): C'est le volume de chasse sur le débit chasse.

$$T_R = \frac{V_{bch}}{Q_{ch}} \qquad (\mathbf{II-25})$$

i. Durée de cimentation (d_{cim}): égal le temps d'injection de laitier de ciment plus le temps de chasse de ciment

$$d_{cim} = T_{inj} + T_{ch} \qquad (\mathbf{II-26})$$

j. Pression de refoulement (P_{ref}) : La pression maximal prévisible en fin de refoulement est égale a la pression entre l'espace annulaire et l'intérieur de tubage (augmenter en charge)

$$Pr = \frac{(H - h) * (d_L - d_b)}{10} \qquad (\mathbf{II-27})$$

6-4 Application au puits OMPZ 341 :

6-4-1 La phase 8 $^{1/2}$" :

Données:

Tubage 7" ;

H=2503m;

H_{Sabot}=2500 m;

H_{anneau}=2490 m.

a. Calcul de volume espace trou-casing (V_1) :

D'après le FF on a : Volume de l'espace annulaires trou casing (8 $^{1/2}$" 7) est 29 l/m

Donc on applique la formule suivante :

V_1= V_{ea}*H*K

Avec k=1.25

V_1=29*2500*1,25

<u>A.N</u>

$$\boxed{\mathbf{V_1=90{,}625\ m^3}}$$

b. Calcul de volume au fond de sabot (V_2) :

D'après le FF on a : Volume unitaire de trou est 76.04 l/m

Donc V_2=2*V_u*K

A.N

$$\boxed{V_2=0.19m^3}$$

c. Calcul de volume comprimé entre l'anneau et le sabot (V_3) :

Volume unitaire de casing est 47.1l/m

Donc $V_3=h*V_u$

A.N

$$\boxed{V_3=0.89\ m^3}$$

d. Calcul de volume total (V_t): On applique la formule suivante pour calculer le volume total :

$V_t = V_1+V_2+ V_3$

$V_t =V_1+V_2+ V_3$

A.N

V_t = 90,625 +0.19+0.89

$$\boxed{V_t =91,52\ m^3}$$

e. Calcul de la quantité de ciment (Q_c): elle dépend de la densité de laitier de ciment. On prend la densité de laitier de ciment : d=2.06

D'après le FF on a : 2.06 ⟶ 62.4L (laitier)/100Kg

62.4 ⟶ 100Kg

120.3 ⟶ Q

Donc

Q= 120.3*100/62.4

$$\boxed{Q= 146,67\ T}$$

f. Calcul de volume d'eau de mixage (V_{em}) : Le volume d'eau de mixage dépend de la densité de laitier.

D'après le FF on a : 2.06 ⟶ 30.40L (eau)/100kg

30.40L ⟶ 100kg

V_{em} ⟶ 146,67 10^3

V_{em}=146,67 *10^3*30.4/100

$$\boxed{V_{em}= 44,58\ m^3}$$

g. Calcul de volume de chasse (V_{bch}) : généralement en utilise la boue de forage et les pompes de chantier pour refroidir le laitier de ciment.

C'est le volume de boue qui se trouve entre l'anneau et la surface

D'après FF volume unitaire intérieure et égale à 35.53 l/m

V_{bch}=35.53*2490=118m^3

V_{bch}=88,46 m^3

h. Calcul de la pression finale de refoulement (P_{ref}) : on applique la formule suivante :

P_{ref} =((H-h).(d_1-D_b))/10

A.N

((2500-10).(2.08-2.02))/10

P_{ref}=156,87Kgf/cm^2

i. la durée de l'opération de cimentation :

1. fabrication et injection du laitier (unité de cimentation) ;
2. refoulement du laitier (pompe de chantier de forage).

j. Calcul de temps d'injection (T_{inj}) : on applique la formule suivante :

T_{inj}=(V_t)/Q_i

Q_i : débit d'injection (1000 à 1200 l/mn)

AN

T_{inj}=91.71*10^3/1200

T_{inj}=76 mn

q. Calcul de temps de chasse (T_R) : on applique la formule suivante :

T_R=(V_{bch})/Q_{ch}

A.N

T_R=88.47*10^3/ 2000

T_R =44 min

l. Calcul de la durée de cimentation (D_{cim}) : on applique la formule suivante :

D_{cim} = T_{inj} + T_R

A.N

D_{cim} =76,425+ 44,234 = 120,50 min

D_{cim}=120,50 min

Chapitre III

Les problèmes rencontrés au cours de forage

Introduction :

Dans ce chapitre nous allons traiter quelques grands problèmes (coincement, perte de circulation) dominants dans le champ de Hassi Massaoud et la relation de la vitesse d'avancement avec les différents paramètres et en particulier d'examiner l'impact des problèmes découlés sur le taux d'avancement réalisé.

1-Coincement [12] :

Le coincement en général, est un obstacle qui impose un arrêt de forage dont la durée est difficilement prévisible, les opérations qu'il est nécessaire d'entreprendre entraînent des dépenses dont le seuil de rentabilité est souvent très difficile à déterminer et des risques pouvant aller jusqu'à la perte du puits. On peut les classer en trois catégories :

Les coincements dus à une pression différentielle trop élevée en face de zones poreuses perméables,

Les coincements dus à la formation (formations éboulante, sous compactées, fluantes, non consolidées, gonflantes, etc.),

Les coincements mécaniques (trou de serrure, chute de ferraille, chute de ciment, écrasement du tubage, accumulation de déblais due à un mauvais nettoyage du puits, trou sous calibré causé par des terrains abrasifs, etc.).

Souvent les coincements dus à la formation sont regroupés avec les coincements mécaniques.

1-1 Colmatage de trou [5]: les corps solides de la formation (déblais, solides d'effondrement) tombent autour de la garniture de forage et colmatent l'annulaire, ce qui conduit à une garniture coincée

Causes

- déblais déposés
- instabilité des argiles
- formations non consolidées
- formations fracturées
- ciment tendre

1-2 Pontage de trou [5]: des morceaux moyens et gros de la formation dure, de ciment ou de débris tombent dans le trou du puits et bloquent la garniture de forage, ce qui conduit à un collage.

Causes

- instabilité des argiles
- formations non consolidées
- formations fracturées
- blocs de ciment
- débris

1-1-1 Causes des déblais déposes :

1-1-1-1 Déblais déposes près du trou de puits vertical :

a- Causes:

- les déblais fores ne sont pas transportes hors du trou à cause de la faible vélocité annulaire et/ou des mauvaises propriétés de la boue ;
- lorsque la circulation est arrêtée, les déblais retombent dans le trou et colmatent la garniture de forage.

b- Signes préalables:

- vitesse de pénétration élevée, vitesse de pompage faible, peu ou pas de temps de circulation aux ajouts ;
- augmentation du couple, du frottement et de la pression de la pompe ;
- surtension a la reprise sur cales, à-coups de pression de la pompe pour arrêter la circulation ; remplissage du fond

c- Indications:

- susceptible de se produire aux ajouts, possible pendant les manœuvres ;
- circulation limitée ou impossible.

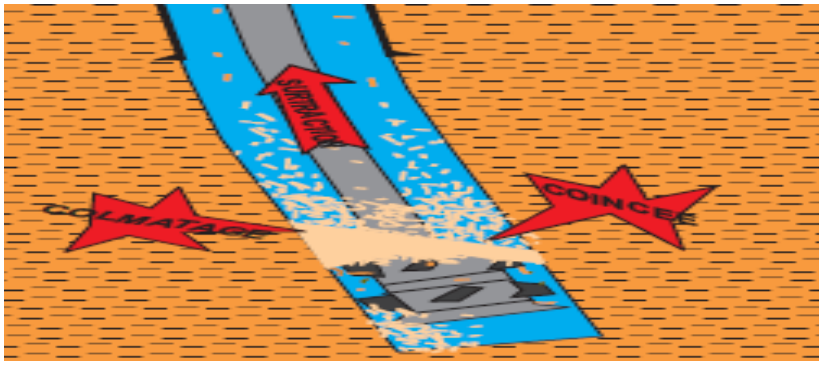

Figure III-1: déblais déposes près du trou de puits vertical

1-1-1-2 Déblais déposes, puits à forte déviation :

a- Causes:

- les déblais de forage se déposent sur la génératrice inferieure du trou et forment un lit de déblais ;
- le lit de déblais se développe et glisse vers le fond du trou en colmatant la garniture de forage ;
- au cours de la remontée, le lit de déblais est pousse vers le haut par l'assemblage de fond et colmate la garniture de forage.

b- Signes préalables:

- la déviation du trou est supérieure a 35° ;
- forage avec un moteur ;
- taux de pénétration élevée, vitesse de pompe faible, augmentation du couple et du frottement augmentation de la pression de pompe ;
- augmentation de la traction

c- Indications:

- susceptible de se produire pendant la remontée, possible pendant les manœuvres ;
- circulation restreinte ou impossible ;

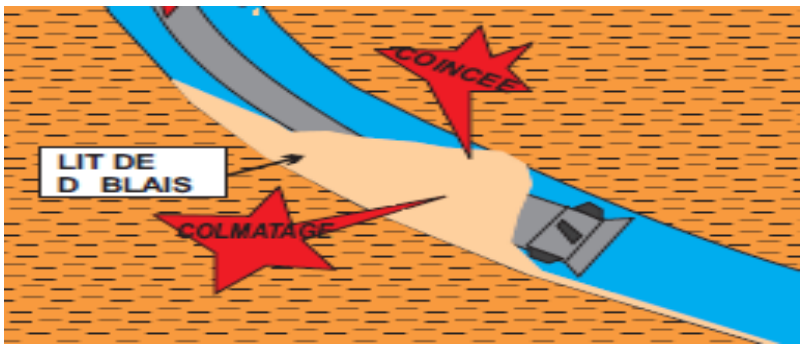

Figure III-2: déblais déposes, puits à forte déviation

1-1-2 Instabilité des argiles :

La formation d'argile devient instable, se désintègre et tombe dans le trou du puits

1-1-2-1 Argile réactif :

a- Causes:

- argile sensible a l'eau de forage avec une inhibition de boue faible ou absente ;
- l'argile absorbe l'eau et augmente de volume dans le trou du puits ;
- la réaction est une fonction du temps ;

b- Signes préalables:

- augmentation de la viscosité d'entonnoir, pv, yp, cec ;
- augmentation du couple et du frottement ;
- augmentation de la pression de la pompe ;
- boules de glaise et / ou déblais tendres mous sur le vibrateur ;
- traction et pistonnage ;
- formation de boules au BHA (anneaux de boue) ;

c- Indications:

- se produit en général lors de la remontée,
- possible lors du forage ;
- circulation impossible ou très limitée ;

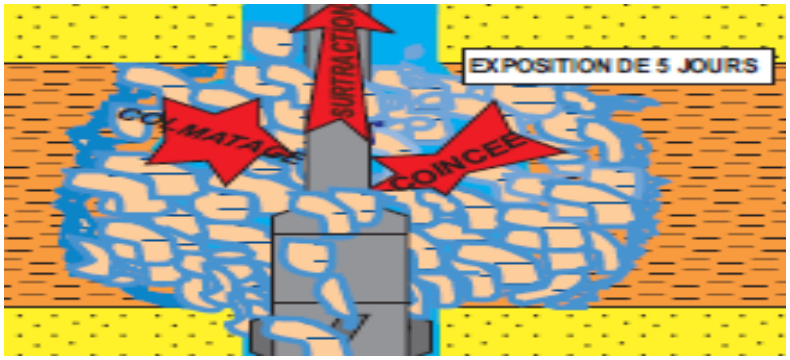

Figure III-3: 1argile réactif

1-1-2-2 Argile géo-comprime :

a- Causes:

- forage d'argile sous pression avec une densité de boue insuffisante,
- l'argile concerne se fracture et s'affaisse dans le trou

b- Signes préalables:

- des signes commencent a se manifester au fur et a mesure que l'argile est fore ;
- les tendances de relève de boue indiquent une augmentation de la pression de pore ;
- augmentation du taux de pénétration au début du forage ;
- augmentation du couple et des frottements pour les ajouts ;
- remplissage du trou pendant les ajouts, ponts durant les manœuvres, éboulements d'argile avec formation de caves ;
- augmentation possible du gaz de fond ;

c- Indications:

- se produira probablement pendant la manœuvre, éventuellement pendant le forage ;
- colmatage total probable, pont possible ;
- circulation limitée ou impossible ;

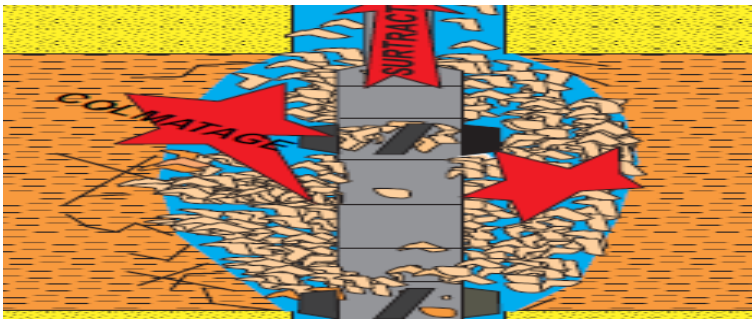

Figure III-4: argile géo-comprime

1-1-2-3 Argile hydro-comprime

a- Cause:

- au cours du temps, la pression de pore de l'argile augmente a cause du suréquilibre hydrostatique ;
- le déplacement de la garniture de forage et les à-coups de pression du trou fendillent l'argile non stabilise ;
- l'argile tombe dans le trou et coince la garniture ;

b- Signes préalables:

- suit en général une réduction de densité de la boue ;
- augmentation du couple et du frottement ;
- déblais d'argile éboulée au niveau du vibrateur ;

c- Indications:

- possible lors du forage ou d'une manœuvre ;
- pont de trou ou colmatage total possible ;
- circulation limitée ou impossible ;

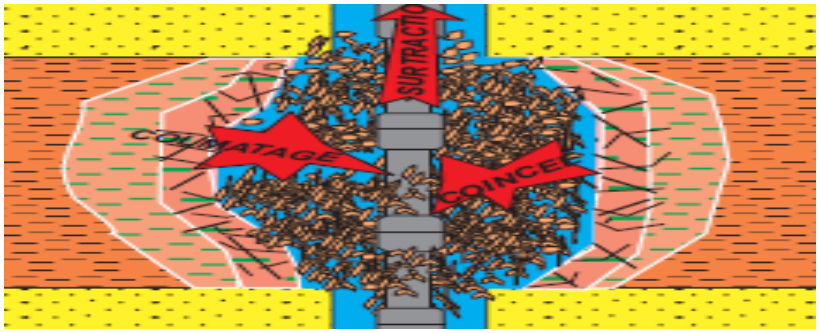

Figure III-5: argile hydro-comprime

1-1-2-4 Surpression

a- Causes:

- le poids de la boue est insuffisant pour supporter la surpression ;
- le poids de la boue n'est pas ajuste au fur et a mesure que la déviation augmente ;
- l'argile concerne se fracture et tombe dans le trou ;

b- Signes préalables:

- problèmes de nettoyage de trou ;
- augmentation du couple et du frottement ;
- récupération d'argile éboulée au niveau du vibrateur ;

c- Indications:

- possible lors du forage ou du manœuvre ;
- pont de trou ou colmatage total possible ;
- circulation limitée ou impossible ;

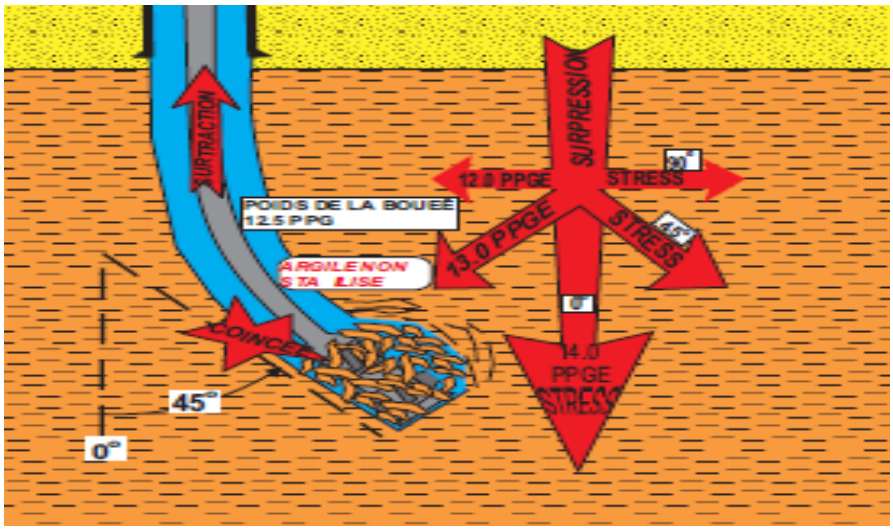

Figure III-6: surpression

1-1-2-5 Force tectonique

a- Causes:

- Forces latérales naturelles des formations ;
- L'argile concerne se fracture, tombe dans le trou et coince la garniture de forage ;
- Le grés est force dans le trou, ce qui conduit a un trou sous-dimension ;

b- Signes préalables:

- zones montagneuses ;
- forces tectoniques attendues ;

- couple et frottements erratiques ;
- éboulement d'argile en bloc ;
- formation d'un trou de forme elliptique ;

c- Indications:

- possible lors du forage ou des manœuvres ;
- circulation limitée ou impossible ;

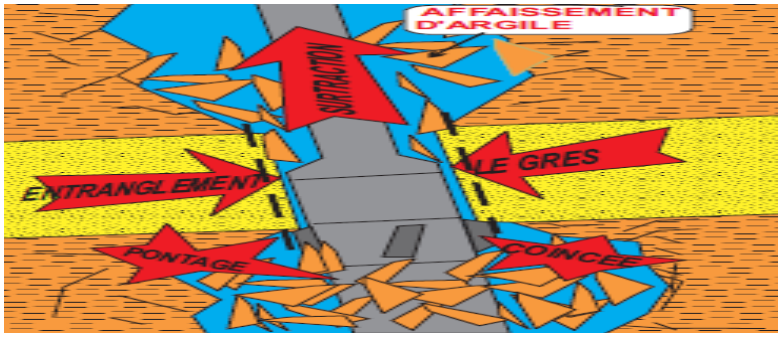

Figure III-7: force tectonique

1 1-3 Formation non consolidée :

a- Causes:

- peu ou pas de filtrat ;
- la formation non agglomérée (sable, petit gravier, etc...) ne peut pas être supportée par le suréquilibre hydrostatique ;
- le sable / petit gravier tombe dans le trou et colmate la garniture de forage ;

b- Signes préalables:

- se produit souvent au fur et a mesure du forage ;
- pertes par suintement probables ;
- augmentation du couple et de frottement, fluctuations de la pression de pompe ;
- remplissage du trou lors des ajouts et les manœuvres ;
- surcharge de vibrateur et de dessabler ;

c- Indications:

- se produit en général dans les trous de surface ;
- peut se produire lors du forage ou des manœuvres ;
- colmatage soudain sans avertissement ;
- circulation impossible ;

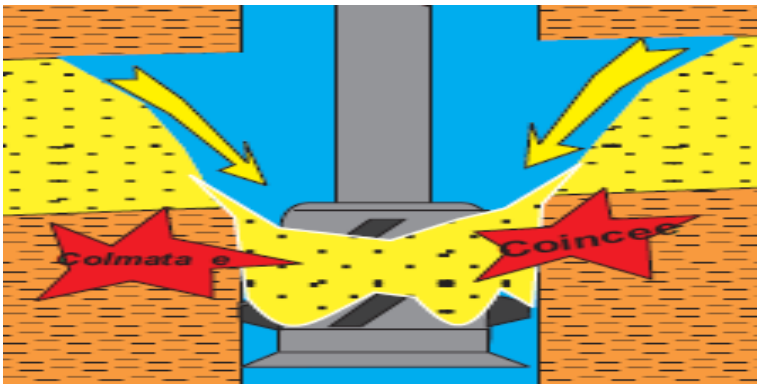

Figure III-8: formation non consolidée

1 1-4 Formation fracturée :

a- Causes:

- formations naturellement fracturées ;
- des morceaux de la formation tombent dans le trou et coincent la garniture de forage ;

b- Signes préalables:

- fractures anticipées de calcaire, argile et / ou failles ;
- se produit en général lorsque la formation est percée ;
- évaluation de la formation selon l'enregistrement de boue ;
- effondrements de blocs au niveau du vibrateur ;
- remplissage du trou pendant les ajouts et les manœuvres ;

c- Indications:

- probable pendant les manœuvres, possible pendant le forage ;
- couple et frottement soudains et\ erratiques probables juste avant le collage ;
- la circulation peut être limitée ;

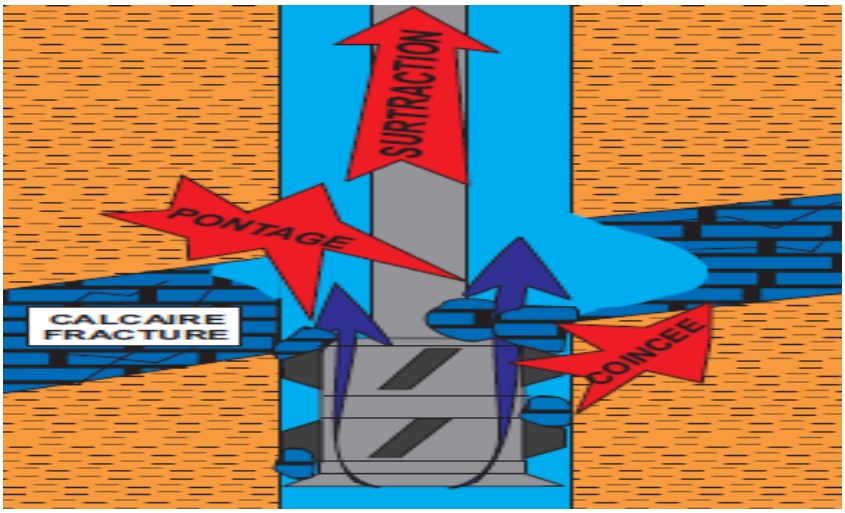

Figure III-9: formation fracturée

1-1-5 Blocs de ciment

a- Causes:

- le ciment devient instable autour du sabot de tubage, le bouchon comprime en trou ouvert
- ou le bouchon de démarrage ;
- des morceaux de ciment durs tombent dans le trou de puits et coincent la garniture de forage ;

b- Signes préalables:

- trou de souris de tubage excessif ;
- ciment sous pression ;
- bouchon de démarrage ;
- effondrements du ciment au niveau des vibrateurs et / ou aux niveaux des diagraphies ;

c- Indications:

- le problème peut se produire n'importe quand ;
- couple et frottement soudains, erratiques juste avant le collage ;
- circulation possible ;

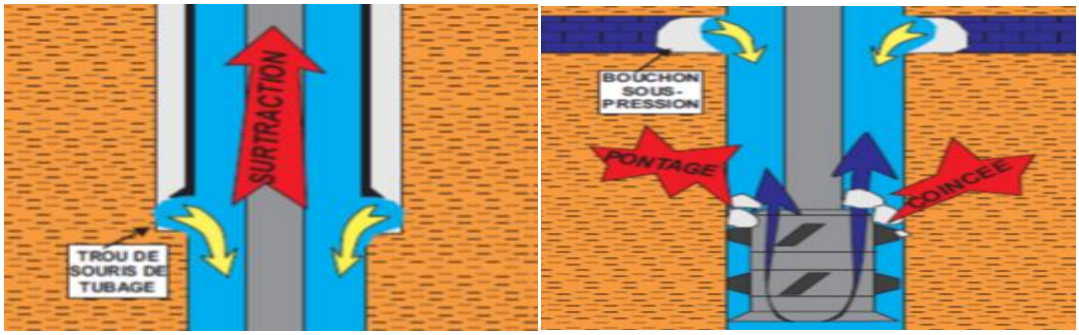

Figure III-10: blocs de ciment

1-1-6 Ciment tendre

a- Causes:

- la circulation est entreprise lorsque le fond de la garniture de forage est dans le ciment tendre ;
- la pression de la pompe entraine le durcissement immédiat du ciment ;
- vitesse de pénétration élevée lors du nettoyage du ciment tendre ;

b- Signes préalables:

- manœuvre dans le trou après la mise en place d'un bouchon de ciment de trou ouvert ou après une cimentation ;

- le poids de pose se manifeste au-dessus du sommet théorique du ciment ;

c- Indications:

- se produit lorsque la pression de la pompe est appliquée ;
- circulation très limitée ou impossible ;

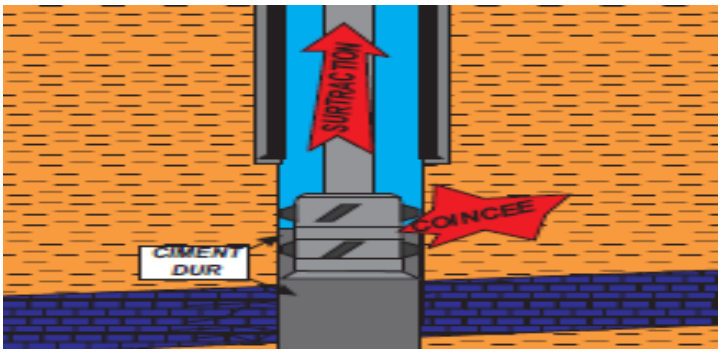

Figure III-11: ciment tendre

2-La perte de circulation [12] [13] :

Les pertes de boue elles se manifestent par une baisse de niveau de boue dans les bassins, c'est-à-dire par un retour de boue à la sortie du puits inférieur au volume de pompage. Si cela se produit il y a lieu avant tout de vérifier que les pertes de boue ne proviennent pas d'une fausse manœuvre en surface (perte aux tamis vibrant, vanne mal fermée, …). On distingue deux types de pertes :

- Les pertes sont partielles lorsque une partie seulement du volume pompé dans le puits revient en surface après passage dans le puits, celui-ci reste plein durant l'arrêt de pompage.
- Les pertes sont totales lorsqu'il n'y a pas de retour à la goulotte et que le puits se vide partiellement ou totalement.

2-1 Effets nuisibles des pertes sur les opérations de forage :

2-1-1 Trou de surface :

- Problème de nettoyage du trou ;
- Affaissement du terrain ;
- Coincement des tiges ;
- Eruption du puits ;
- Perte de puits.

2-1-2 Trou intermédiaire :

- Perte de surveillance du niveau de fluide ;
- Problème de nettoyage du trou ;
- Affaissement du terrain ;
- Temps d'exposition du trou de puits augmenté ;
- Tige coincée ;
- Eruption de puits ;
- Soufflage souterrain ;
- Garniture de forage supplémentaire.

2-1-3 Trou de production :

- Perte de surveillance du niveau de fluide ;
- Perte d'évaluation de formation ;
- Problèmes de nettoyage du trou ;
- Affaissement du terrain ;
- Temps d'exposition du trou de puits augmenté ;
- Coincement des tiges ;
- Eruption de puits ;
- Eruption souterraine ;
- Garniture de tubage supplémentaire ;
- Dommages de la zone de production.

2-2 Les causes de la perte de circulation [9],[12] :

2-2-1 Causes liées aux les caractéristiques de la boue :

2-2-1-1 Pression au sein de la boue trop élevée: les pertes de circulation sont la conséquence logique et directe d'un déséquilibre de pression existant ou créé, momentané ou permanent, entre le milieu traversé et les fluides utilisés en forage. Ceci peut être soit d'une densité trop élevée, soit d'une pression de refoulement (débit, caractéristique rhéologique) trop élevée.

Donc la raison principale des pertes de circulation est que la pression dans le puits dépasse la pression de couche compte tenu de la résistance de milieu poreux au mouvement du fluide de circulation dans la couche **Figure III-12**

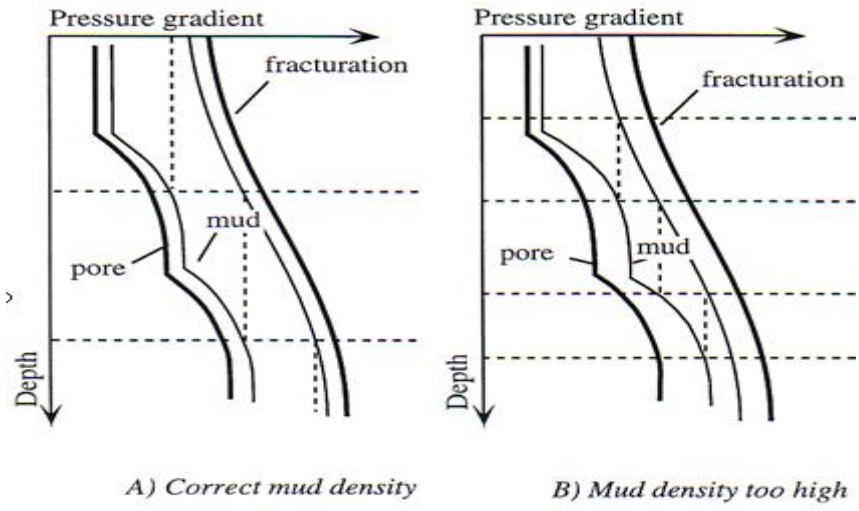

Figure III-12: Effet de la densité et la profondeur sur la pression de fond

2-2-1-2 Causes liées aux les caractéristiques rhéologiques : une viscosité plastique et un yield-value trop forte entraînant à grande profondeur des pertes de charge élevées dans l'annulaire, ce qui augmente la pression de fond et crée un déséquilibre de pression et provoque les pertes par fracturation ou par filtration.

2-2-1-3 Causes liées à la thixotropie: une reprise de circulation ou une manœuvre trop rapide avec une boue à gel élevé provoque une surpression importante au fond. Il faut noter qu'à faible profondeur et dans le cas des pertes par infiltration dans les terrains de perméabilité moyenne, le maintien d'une thixotropie élevée permet souvent l'arrêt des pertes. En effet, d'une part il y a colmatage des terrains en profondeur par la gelée et d'autre part, les pertes de charge dans l'annulaire sont négligeables pendent les premiers centaines de mètres forés en gros diamètre.

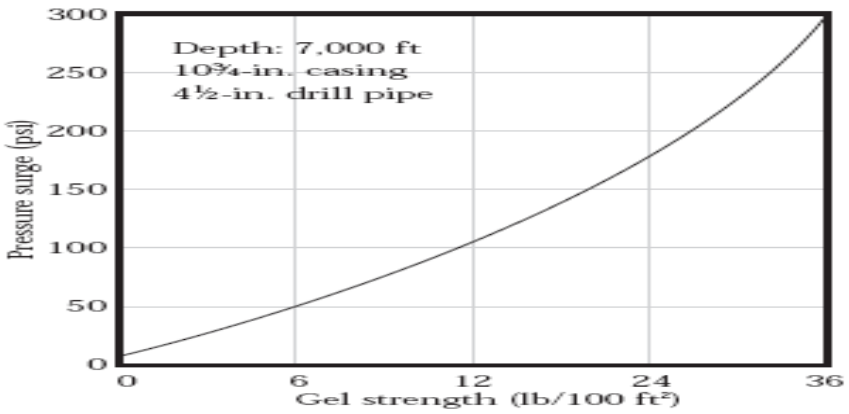

Figure III-13: Effet des gels sur la pression de pistonnage

2-2-2 Causes liées aux les caractéristiques de la formation:

2-2-2-1 Formations perméables: les pertes ne peuvent être que partielles dans les milieux dont la forte perméabilité est due à des vacuoles ou des fissures de faible épaisseur. Elles peuvent devenir totales si des à coups de pression au fons du puits par la boue provoque l'élargissement des fissures.

2-2-2-2 Formations naturellement fissurées: une perte de boue est déclenché au droit de ces formations (calcaire) des que la pression de la colonne de la boue dépasse la pression de couche. Cette perte sera proportionnelle à la vitesse d'avancement dans la zone fracturée.

2-2-2-3 Formations fracturées par la boue: formation stratifiée (schiste), ces fractures sont provoqués par des surpressions provenant soit de la densité de la boue, soit d'une augmentation des pertes de charge dans l'espace annulaire ce qui augmente la pression qui s'exerce au fond du puits.

2-2-2-4 Formations caverneuses : elle se produit le plus souvent dans les calcaires présentant des cavernes suite au phénomène de dissolution et érosion. Ces pertes sont difficilement colmatables.

2-2-3 Causes diverses:

- Surpression et dépression dues aux manœuvres trop rapides ;
- Reprises brutales de pompage ;
- Changements brutaux des types d'écoulement ;
- grande vitesse d'avancement ;

2-3 Indications de perte :

- Diminution de niveau de boue dans les bacs ;
- Réduction du débit de retour au niveau de la goulotte ;
- Chute du niveau statique dans l'espace annulaire ;
- Retard du retour pendant la circulation après les manœuvres ;
- Pas de retour au niveau de la goulotte ;
- Chute de pression de refoulement ;
- Augmentation du poids de la garniture dans le trou.

3- L'influence des paramètres de forage sur le ROP :

Sachant que la vitesse d'avancement est en fonction des paramètres mécaniques (WOB,RPM) et les paramètres hydrauliques(Q, densité, yeld value, pression hydrauliques,…).

3-1 L'influence des paramètres mécaniques sur le ROP [3] [9] :

3-1-1 L'effet de WOB sur le ROP :

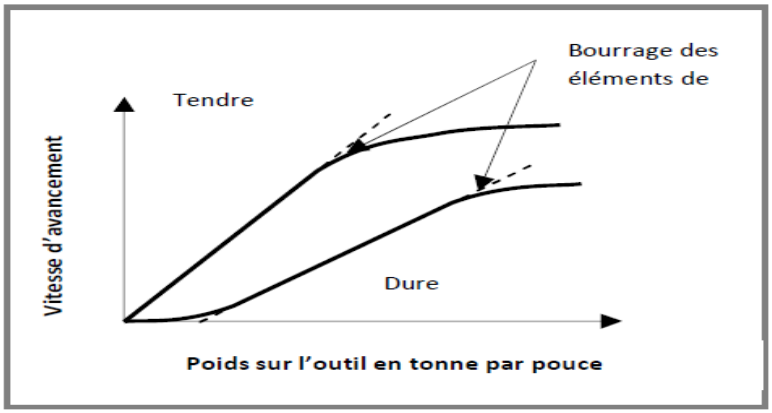

Figure III-14:-: L'effet du poids appliqué sur le ROP.

La **Figure III-14** montre, la variation de la vitesse d'avancement en fonction du WOB et de la dureté de la formation pour un débit (Q) et de RPM donnée,.

On constate sur la **Figure III-14** 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.

La raison de cette très faible variation du ROP est lorsque le WOB devient important et ceci peut être due au fait que :

- Le débit n'est pas suffisant pour évacuer tous les déblais du front de taille, les déblais non éliminés sont rebroyés diminuant l'efficacité des éléments de coupe. Si la quantité de déblais produite est supérieure à la quantité évacuée, il se produit un bourrage de l'outil.

- Les éléments de coupe pénètrent complètement dans la formation (roche plus lit de déblais) : il se produit un bourrage des éléments de coupe (ce n'est pas pour cela que l'outil est bourré).

Suivant la dureté de la formation, l'allure de la courbe varie lorsque le WOB appliqué est faible :

-Dans un terrain tendre, l'outil avance dès que l'on applique du WOB (si la formation est suffisamment tendre et/ou peu, on applique du WOB sur l'outil).

-Dans un terrain dur, il faut appliquer un certain WOB pour que l'outil avance.

L'augmentation du WOB a plus d'effet sur les formations tendres que sur les formations dures (pente de variation de la vitesse d'avancement plus élevée pour les formations tendres que pour les formations dures).

Le poids que l'on applique sur l'outil est fonction de la garniture de forage utilisée et du profil du puits (dans les puits faiblement déviés, le WOB est obtenu en mettant les masse-tiges en compression et dans les puits horizontaux, le WOB est obtenu en mettant les tiges en traction).

Le poids appliqué sur l'outil a une influence sur la trajectoire du puits, il modifie la position des points de contact entre la garniture et la paroi du trou. Il sera généralement nécessaire de contrôler ce poids pour réaliser la trajectoire désirée.

3-1-2 L'effet de RPM sur le ROP [3] [9]**:**

La **Figure III-15** montre, que pour un débit et un WOB donnés, la variation du ROP en fonction du RPM.

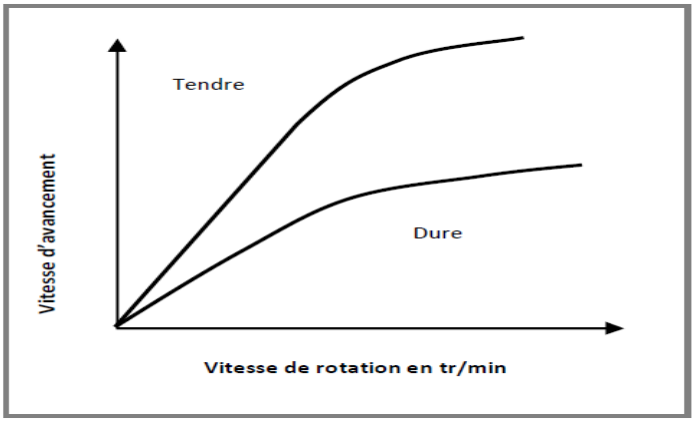

Figure III-15: L'effet de la vitesse de rotation sur le ROP.

On constate sur cette **Figure III-15** que :

Dans une certaine gamme du RPM, l'augmentation du ROP est proportionnelle à l'augmentation de la RPM. A partir d'une certaine valeur du RPM, l'augmentation du ROP diminue fortement et devient quasiment nulle. La raison de cette faible augmentation du 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 temps devient insuffisant pour permettre aux éléments de coupe de pénétrer suffisamment dans la formation, de la fissurer (ce dernier point est supporté par le fait que l'augmentation de la RPM produit une diminution du couple à l'outil) afin d'évacuer les déblais et nettoyer efficacement le front de taille.

Contrairement au WOB, il n'existe pas de seuil de vitesse pour les formations dures, l'outil avance dès qu'il commence à tourner.

L'augmentation de la RPM a beaucoup plus d'effet sur les formations tendres que sur les formations dures (pente de variation de la ROP plus élevée pour les formations tendres que pour les formations dures).

Le RPM joue sur la durée de vie de l'outil (usure des roulements) et sur la trajectoire de puits.

Les paramètres WOB et RPM à appliquer sur un outil varient suivant le type de l'outil. Les fabricants indiquent pour chaque type la plage de WOB et RPM applicables (il est recommandé de rester à l'intérieur de ces plages pour ne pas dépasser les capacités des roulements et des structures de coupe).

3-2 L'influence des paramètres hydrauliques sur le ROP [3] [9]:

3-2-1 Effet du nettoyage du front de taille sur le ROP :

La vitesse de boue à la sortie de l'outil doit être suffisante pour évacuer rapidement les déblais du front de taille et pour nettoyer les éléments de coupe de l'outil (l'évacuation des déblais se fait pas rapidement sur le front de taille, il se forme un lit de déblais réduisant les performances de l'outil et risquant de bourrer les éléments de coupe.

Dans le cas où la vitesse de rotation est trop élevée, il y a risque d'érosion de l'outil entraînant la perte des éléments de coupe et réduisant sa durée de vie.

3-2-2 Effet des caractéristiques de la boue sur le ROP :

3-2-2-1 Densité :

La **Figure III-16** montre l'effet de la différentielle (différence entre la pression exercée par le fluide de forage dans le puits à un niveau donné et la pression de pore dans la formation au même niveau) sur le ROP.

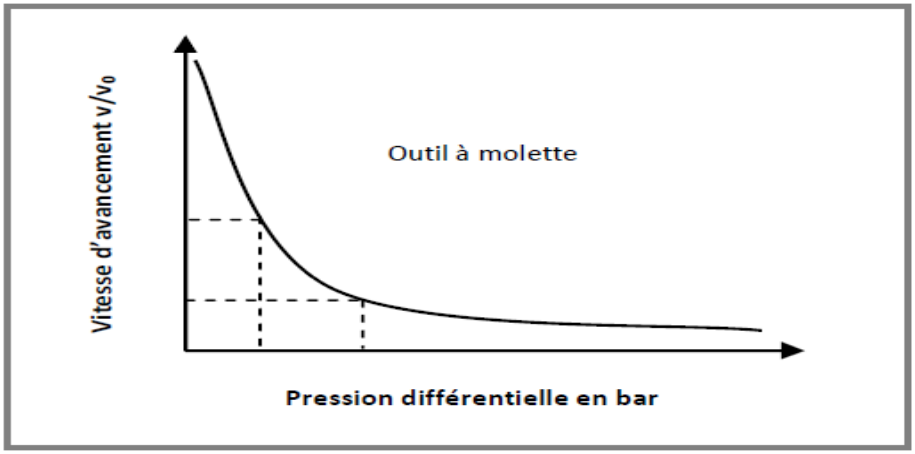

Figure III-16-:Effet des caractéristiques de la boue sur le ROP.

Avec une pression différentielle nulle (ou négative dans le cas du forage à l'air), 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 meilleurs résultats sont obtenus en forant avec une boue de densité la plus faible possible.

3-2-2 2 Filtration :

Dans le cas d'une formation poreuse et perméable, les éléments solides de la boue se déposent sur la paroi du puits et forment le cake tandis que le filtrat (phase liquide de la boue) pénètre dans la formation. La filtration s'arrête lorsque le cake est étanche.

Sur le front de taille, la progression de l'outil ne permet pas la formation de cake.

Dans une formation perméable, la filtration tend à équilibrer la pression entre le puits et la formation sous le front de taille. La filtration facilite donc le décollement des déblais et leur évacuation.

Dans les formations non perméables, l'augmentation du filtrat jusqu'à une valeur API d'environ 10cm^3/30mn produit une augmentation de la ROP. Au delà de cette valeur, la ROP ne varie plus.

Dans le cas de formations réactives (argiles, gonflantes, etc.), l'effet de la filtration peut devenir rapidement un inconvénient entraînant le bourrage de l'outil.

3-2-2-3 Viscosité :

La figure **III-17** montre l'effet de la viscosité sur la ROP

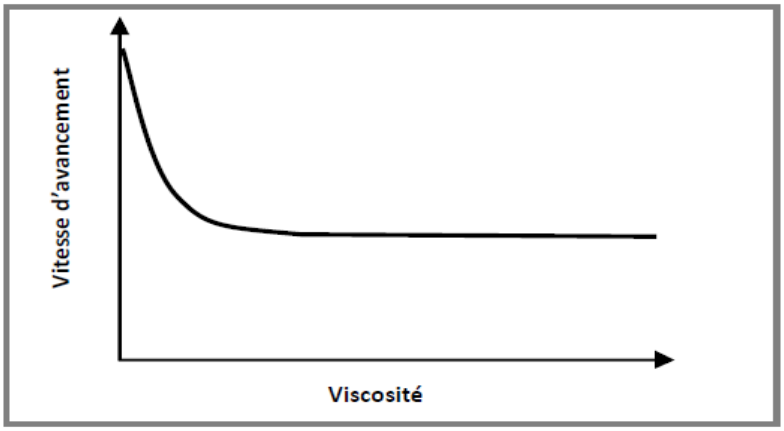

Figure III-17:Effet de la viscosité sur la ROP.

La viscosité agit sur la mobilité des déblais. Avec une viscosité élevée, les déblais ont tendance à rester collés sur l'outil, les meilleures ROP seront obtenues avec un fluide ayant la plus faible viscosité à la sortie des duses de l'outil.

3-2-2-4 Teneur en solide :

La densité et la viscosité du fluide de forage sont fonction de la teneur en solide. Une teneur en solide élevée va réduire les performances de l'outil (**Figure III-18**).

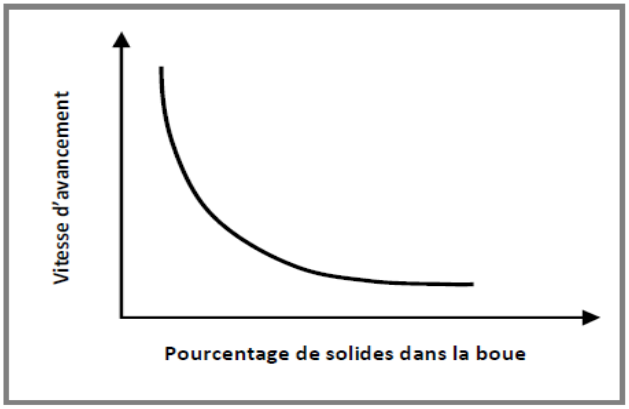

Figure III-18:Vitesse d'avancement en fonction de la teneur en solides.

3-2-2-5 Nature de la boue :

A l'exception des formations facilement réactives à la boue à base d'eau et devenant collantes (argiles gonflantes), la boue à l'huile a un effet plutôt négatif sur les performances des outils à molettes à cause de son action lubrifiante qui retarde la pénétration des dents dans la roche. Dans les formations réactives, l'huile mouille les déblais, les réactions entre le fluide et les déblais sont limités, le nettoyage des éléments de coupe et de la taille se trouvent améliorés.

D'une façon générale, la boue à l'huile réduit la filtration et limite l'avancement en milieu perméable.

3-3- L'usure des outils :

La détermination de l'usure des outils est une opération difficile, elle peut varier d'une personne à l'autre. Cependant, une détermination précise et objective est très importante car elle servira à :

- Sélectionner l'outil le mieux adapté au type de formation à forer.
- Optimiser les conditions de forage (paramètres de forage, garniture, reprise du fond, temps de rotation, etc.).
- Obtenir le prix de revient du mètre foré le plus faible.
- Améliorer la conception des outils.

La détermination de l'usure se fait en considérant :

- Les structures de coupe.
- Les roulements.
- Le diamètre de l'outil.

4-Relation de la vitesse d'avancement et les problèmes :

L'impact des problèmes survenu lors de l'opération de forage influe considérablement ce programme sur tout par les arrêts constatés et incontournables provoqués par les différents scenarios à savoir coincement ou perte ....., dont la fréquence des arrêts varie d'un cas à un autre, ces situation naissent généralement par la mauvaise optimisation des paramètres hydrauliques et mécaniques de forge ainsi leur faisabilité et concordance avec les caractéristiques spécifiques de chaque formation.

Chapitre IV

Analyse des données et établissement des modèles

1-Introduction :

Dans ce chapitre, nous essayons de faire une étude statistique d'un groupe de puits sur le champ de Hassi Massaoud (51 puits) et nous nous spécialisons d'étude sur la phase $8^{1/2}$ justement à cause de l'importance de cette phase dans le forage à fin d'obtenir des modèles.

1-1 Analyse des problèmes rencontrés dans 51 puits forés :

Les principaux problèmes rencontrés au niveau d'un échantillon de 51 puits forés dans la région de Hassi Messaoud sont présentés dans le **tableau IV-1**

Tableau IV-1 : les problèmes rencontrés en 51 puits

Problèmes	Coincement	Pistonnage	Venue	Perte	Total
Nombre de cas survenus	127	5	29	68	229
Pourcentage %	55%	2%	13%	30%	100%

1-2 Temps non productif générés par les différents problèmes :

Le temps non productif engendré par les problèmes recensés dans le **Tableau III-2** :

Sont donnés comme suit :

Tableau IV-2 : temps non productif en 51 puits

Problèmes	Coincement	Pistonnage	Venue	Perte	Total
temps de cas survenus (hrs)	204	5	23	222	454
Pourcentage %	45%	1%	5%	49%	100%

Remarque : on a pu constater que le phénomène le plus répétitif dans le champ de Hassi Messaoud est celui du coincement, aussi, il y a lieu de noter que la perte de circulation cumule le plus grand nombre d'heures non productif.

2-Analyse et interprétation :

2-1 La formation traversée : le type de la roche pénétrée jeu un rôle très important sur la commande des paramètres mécaniques et hydrauliques

Tableau IV-3 : le taux de coincement

formation	coincement	taux %
DOGGER LAG	31	21%
QU.DE HAMRA	22	15%
CAMBRIAN	22	15%
SEN.ANHYDRITIC	15	10%
AUTRES FORMATIONS	47	39%

Remarque : la formation DOGGER LAGUNAIRE classée la première comme zone de coincement puisque elle caractérisée par anhydrite, dolomie argileuse, marne situe généralement dans la phase 16'' .

Tableau VI-4 : le taux de la perte de circulation

formation	perte	taux %
MIO-PLIOCENE	17	18%
DOGGER LAGUNAIRE	14	15%
QUARTZITE DE HAMRA	7	7%
SEN.CARBONATE	7	7%
CAMBRIAN	7	7%
TRIAS ARGILEUX	7	7%
AUTRES FORMATIONS	17	18%

Remarque : la formation MIO-PLIOCENE classée la première en terme de perte de circulation ; elle est connue par un sable non consolidées situe généralement dans les premières phases de forage.

2-2 Les problèmes enregistrés dans 31 puits dans la phase $8^{1/2}$

Tableau IV-5 : le coincement

formation	Nombre de fois	taux %
CAMBRIAN	9	31%
DISCORDANCE HERCYNEINNE	8	27%
GRES DE OUARGLA	7	23%
QUARTZITE DE HAMRA	2	7%
RESERVOIR RI (D5)	1	3%
ROCHES ERUPTIVES	1	3%
TRIAS ARGILEUX	1	3%
TRIAS TS2	1	3%
TOTAL	30	100%

Remarque : on remarque que le CAMBRIAN est classée la première comme zone de coincement en la phase $8^{1/2}$ a cause de elle caractérisée par des grès hétérogènes, fins à très grossiers, entrecoupés de passées de siltstones argilo-micacés.

Tableau IV-6 : la perte de circulation

formation	nombre de fois	taux %
QUARTZITE DE HAMRA	4	33%
GRES DE OUARGLA	2	17%
TRIAS ARGILEUX	2	17%
ANDESITIQUE	1	8%
CAMBRIAN R2	1	8%
DISCORDANCE HERCYNEINNE	1	8%
ERUPTIFS TRIASIQUE	1	8%
TOTAL	12	100%

Remarque : on remarque que le QUARTZITE DE HAMRA est classée la première comme zone de perte en la phase $8^{1/2}$ a cause de elle caractérisée par parfois des intercalations argileuses.

2-3 Le temps non productif relatif aux problèmes enregistrés dans 31 puits dans la phase 8 ½ :

Tableau IV-7 : le coincement en 29 puits

puit	e(m)	T f (jour)	T p (jour)	T sp (jour)	ROP reel(m/h)	WOB(ton)	RPM(tr/min)	yeld value(lb/100ft2)	densité	débit(l/min)
HDZ11	790	18	4,90	13,10	10,8475	14	180	14	1,95	1000
HDZ14	751	37	4,66	32,34	16,19666667	2	40	13	1,98	1000
HDZ8	750	12	2,04	9,96	16,685	18	160	11	1,97	1500
HDZ9	563	17	4,00	13,00	13,64333333	15	140	13	1,95	1600
HGA26	890	25	0,02	24,98	14,98666667	16	202	19	1,95	2134
HGA33	854	26	4,72	21,28	1,505	5	90	12	1,46	540
HGA35	908	15	0,84	14,16	11,532	21	180	13	1,93	1900
HGA36	878	16	0,08	15,92	13,122	20	90	14	1,95	1400
HGA37	943	15	1,77	13,23	10,58333333	24	208	10	1,95	1500
HTF11	845	14	4,36	9,64	34,53333333	5	80	12	1,7	200
HTF12	918	18	4,50	13,50	16,235	20	190	12	1,95	1950
HTF14	885	13	0,03	12,97	9,807142857	11	190	12	1,99	1800
HTF15	812	25	0,03	24,97	0,94375	5	175	8	1,51	550
HTF16	886	14	0,67	13,33	8,936	12	100	13	1,95	600
HTF9	899	25	0,61	24,39	19,32	20	180	14	1,95	2050
MD660	297	9	0,38	8,63	4,4	11	190	10	1,66	2000
MDZ642	393	6	0,84	5,16	1,873333333	16	100	11	1,45	1920
MDZ657	328	7	0,47	6,53	1,926666667	5	280	10	1,33	1300
OMJZ311	530	8	0,02	7,98	3,5975	9	50	10	1,45	2000
OMKZ253	337	10	0,92	9,08	2,38	8	50	9	1,4	1500
OMKZ522	601	29	0,11	28,89	1,86125	11	80	10	1,45	1900
OMKZ601	158	8	0,98	7,02	1,7175	10	280	10	1,4	900
OMKZ773	560	21	1,38	19,63	3,053333333	5	30	8	1,44	800
OMLZ432	557	27	0,08	26,92	1,834	12	270	10	1,45	1500
OMM85	633	10	0,17	9,83	2,54	8	80	17	1,97	1200
OMPZ36	761	25	0,14	24,86	1,167692308	11	35	9	1,4	1920
OMPZ462	590	17	1,15	15,85	1,855	7	40	11	1,4	950
OMPZ553	620	12	0,08	11,92	2,284545455	9	340	12	1,4	1000
ONIZ323	480	19	1,00	18,00	2,80125	8	240	10	1,4	1900

Tableau IV-8 : la perte de circulation en 11 puits

puit	e(m)	T f (jour)	T p (jour)	T sp (jours)	ROP reel(m/h)	WOB(ton)	RPM(tr/min)	yeld value(lb/100ft2)	densité	débit(l/min)
HDZ13	791	16	4,50	11,5	22,88	20	180	14	1,99	1000
HDZ14	751	37	5,00	32	16,19666667	17	180	15	1,99	1900
HDZ8	750	12	1,79	10,2083333	16,685	18	190	10	1,97	1600
HDZ9	563	17	4,12	12,88	13,64333333	15	140	14	1,95	1500
HGA26	890	25	9,98	15,0208333	14,98666667	16	202	14	2,02	2134
HGA36	854	16	5,40	10,6041667	13,122	20	180	14	1,95	150
HTF11	845	14	0,10	13,8958333	34,53333333	5	80	11	1,95	400
HTF12	918	18	0,36	17,6354167	16,235	8	100	12	1,95	1650
HTF9	899	25	10,40	14,599	19,32	5	120	15	1,95	1700
MDZ605	610	10	0,02	9,97916667	4,746666667	7	40	8	1,4	2050
OMPZ36	761	25	0,32	24,6770833	1,167692308	6	50	10	1,4	1980

Tableau IV-9 : la venue en 8 puits

puit	e(m)	T f (jour)	T p (jour)	ROP reel
HDZ11	790	18	0,114583333	10,8475
HDZ13	791	16	0,0625	22,88
HGA26	890	25	1,197916667	14,98666667
HGA33	854	26	0,520833333	1,505
HTF11	845	14	0,0625	34,53333333
HTF14	885	13	0,072916667	9,807142857
MDZ605	297	9	0,125	4,4
OMKZ253	337	10	0,020833333	2,38

Tableau IV-10 : le pistonnage en 3 puits

puit	e(m)	T f (jour)	T p (jour)	ROP reel
HDZ11	790	18	0,03125	10,8475
HGA26	890	25	0,333333333	14,98666667
OMKZ601	158	8	0,072916667	1,7175

Remarque : nous constatons que les 20 puits n'ont présenté aucun problème, cependant d'autres puits ont rencontrés quelques problèmes liés à la perte ou au phénomène de coincement dont généralement ces problèmes sont fortement interconnectés et un problème pourrait être la cause ou une conséquence directe d'un autre.

Egalement, les informations issus des tableaux peuvent nous renseigner que un avancement important ou record ne représente pas automatiquement ou signifier que cette vitesse d'avancement est optimale.

Tableau IV-11 : le temps non productif et le nombre des fois des problèmes en la phase 8 ½ par apport les problèmes totales

	Coincement	Pistonnage	Venue	Perte	Tp en la phase 8.5"	Tp /jours
temps (hrs)	982,86	10,5	52,25	1008	2053,6	**85,57**
taux	48%	1%	3%	49%	100%	**1,42/puits**
	Coincement	Pistonnage	Venue	Perte	total	
Nombres de fois	27	2	8	12	49	
Taux problème/total	55%	4%	16%	24%	21%	

<u>Remarque importante:</u> on pu remarquer à travers ces données que le temps non productif relatif au 31 puits est équivalent à un temps de forage d'un puits et demi dans la région de Hassi Massaoud.

3-Relation de la vitesse d'avancement (ROP) avec le temps et le prix de mètre foré :

Le but de forage est d'atteindre l'objectif en temps plus minimum avec un prix plus réduit aussi.

3-1 Relation de la vitesse d'avancement (ROP) avec le temps : la vitesse d'avancement égale le profondeur de la phase forée sur le temps de forage

$$\mathrm{ROP(m/h)} = \frac{\mathrm{L}}{\mathrm{t}} \qquad \textbf{(IV.a)}$$

3-2 Relation de la vitesse d'avancement (ROP) avec le prix de mètre foré : le prix du mètre foré donné peut s'écrire sous la forme

$$\mathrm{P_m} = \frac{\mathrm{P_0+P_h(T_r+T_m)}}{\mathrm{m}} \qquad \textbf{(IV.b)}$$

Le terme (P_o+P_h T_m) est constant pour un outil donné puisqu'il ne dépend que de son type et de sa profondeur d'utilisation. Nous allons donc rechercher une optimisation de la relation

$$\frac{P_h\, T_r}{m}$$

(IV.a) et **(IV.b)** $$\frac{P_h\,T_r}{m} = \frac{P_h}{ROP} \qquad \textbf{(IV.c)}$$

Remarque : s'il y'a un problème de coincement ou une perte de circulation ça signifie que le temps de rotation est nul ;

Aussi, il y a un cout payé manifesté en terme de prix horaire donc il est nécessaire de minimiser les problèmes au maximum.

4- L'optimisation du temps au cours de forage [10] :

L'optimisation de la vitesse d'avancement est une fonction du choix judicieux des paramètres mécaniques, hydrauliques de forage et des conditions géologiques. La réduction du temps de forage peut se faire par l'optimisation des couts affectés aux :

- La conduite du forage et procédures ;
- Le choix des outils de forage, équipements et paramètres de forage ;
- La cimentation ;
- Les fluides de forage ;

Aussi, l'architecture du puits, la stabilisation de BHA et la géo mécanique des roches influent considérablement sur l'optimisation du temps.

4-1 Résultats, modèles de calcul et interprétations [1] [2] :

Les paramètres de forage pris individuellement ou combinés peuvent varier la vitesse d'avancement, donc l'obtention de la vitesse optimale en cours de forage conditionnée par les choix judicieux des paramètres de forage.

4-1-1 Résultats :

Suite aux études et analyses des données de 20 puits (puits de références) les résultats obtenus peuvent être présentés comme suit :

Tableau IV-12 : les paramètres mécaniques et hydrauliques de 20 puits

	parametres mecaniques		parametres hydrauliques				
puit	WOB (ton)	RPM (tr/min)	yeld value (lb/100ft2)	densite	débit (l/min)	pression (psi)	ROP reel(m/h)
MDZ585	12	260	23	1,54	1700	2098,33	2,689348
MDZ588	15	265	10	1,53	1920	1990	3,774754
MDZ589	10	210	10	1,45	2200	2870	5,549118
MDZ606	17	272	14	1,45	2050	3150,83	2,34806
OMJZ842	9	245	15	1,43	1700	2837,5	4,510184
OMK422	20	160	13	1,05	1800	1766,67	4,487765
OMKZ 341	16	295	15	1,45	2200	2700	3,716004
OMKZ442	12	165	15	1,45	2100	3061,67	2,59
OMKZ712	12	220	17	0,82	2000	2328,33	5,035971
OMLZ 312	17	252	15	1,05	2007	2753,94	5,249437
OMLZ 562	16	274	10	1,05	1800	2755,56	4,723404
OMNZ142	11	255	10	1,53	1830	2700,22	2,78
OMPZ451	10	172	13	1,47	1940	2750,17	2,14179
ONIZ303	12	250	13	1,5	1950	2274,29	2,699531
ONIZ413	12	230	23	1,43	1750	2534	3,147629
ONIZ421	12	230	15	1,45	2100	2900	2,253652
ONMZ303	16	260	20	1,05	1700	3200	2,141109
ONMZ313	7	238	18	1,44	1893	3199,67	3,554751
ONMZ443	9	210	14	1,45	1650	2616,67	2,82
ONMZ572	12	282	11	1,2	1650	2151	3,545972

Remarque : on utilise les paramètres mécaniques (WOB.RPM) maximales étant donné que les problèmes sont liés directement à l'augmentation arbitraire de ces paramètres sans prendre en considération ou revenir au plan initial proposé, par contre le traitement et l'optimisation des paramètres hydraulique une moyenne de ces paramètres souvent est utilisé

Les hypothèses :

-On suppose que la formation est homogène le long de la phase 8 ½ ''.

-On utilise le même type d'outil pour tous les puits

Remarque : Les paramètres de forage retenus soit individuellement ou combinés peuvent varier la vitesse d'avancement, donc l'obtention de la vitesse optimale en cours de forage est conditionnée par les choix judicieux des paramètres de forage. Donc on utilise les paramètres des puits de références pour obtenir la vitesse d'avancement pour un seul paramètre ; deux paramètres et trois paramètres

4-1-1-1 la vitesse d'avancement(ROP) en fonction d'un seul paramètre :

a-Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de débit

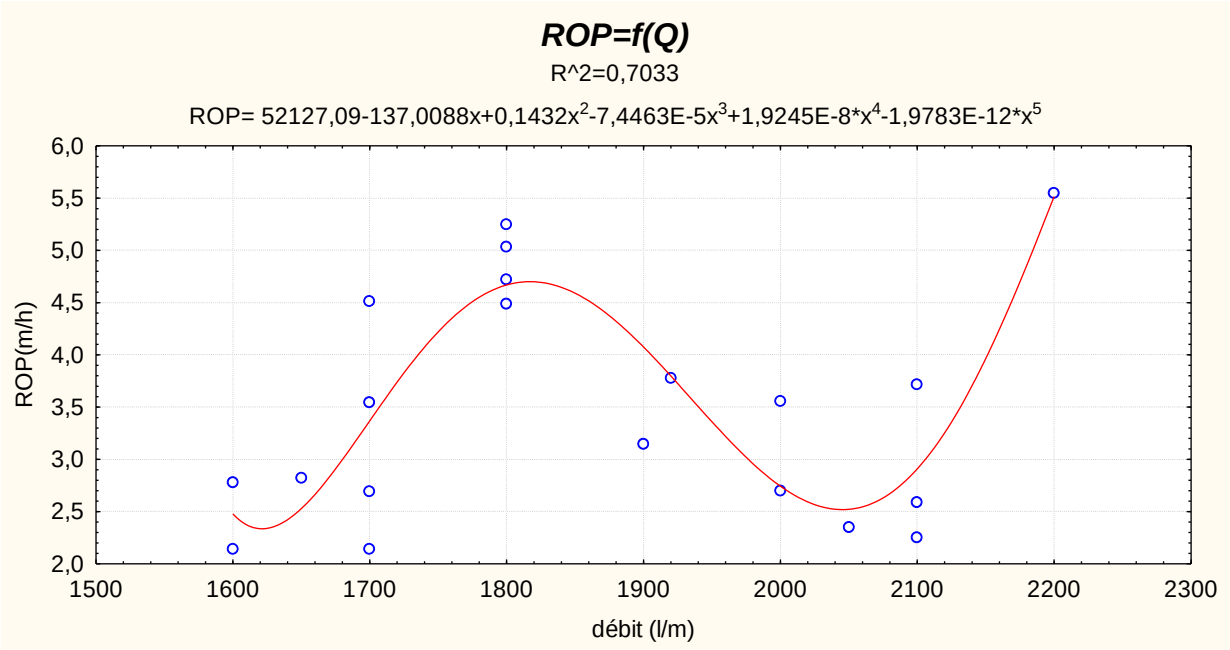

Figure IV-1 : la vitesse d'avancement en fonction de débit

Tableau IV-13 : Les écarts entre ROP $_{mod}$ ROP $_{réel}$ en fonction de Q:

puits	débit (l/m)	ROP réelle (m/hrs)	ROP modèle (m/hrs)	Ecart%
MDZ585	1700	2,689348255	129,455531	98%
MDZ588	1920	3,774754032	164,965234	98%
MDZ589	2200	5,549117955	214,923856	97%
MDZ606	2050	2,348060436	189,4133557	99%
OMJZ842	1700	4,510184287	129,455531	97%
OMK422	1800	4,487765255	143,977744	97%
OMKZ341	2100	3,716003957	198,318583	98%
OMKZ442	2100	2,59	198,318583	99%
OMKZ712	1800	5,035971223	143,977744	97%
OMLZ312	1800	5,249436981	143,977744	96%
OMLZ562	1800	4,723404255	143,977744	97%
OMNZ142	1600	2,78	115,385008	98%
OMPZ451	1600	2,141789806	115,385008	98%
ONIZ303	2000	2,699530516	180,11	99%
ONIZ413	1900	3,147629179	161,249017	98%
ONIZ421	2100	2,253652471	198,318583	99%
ONMZ303	1700	2,141109299	129,455531	98%
ONMZ313	2000	3,55475116	180,11	98%
ONMZ443	1650	2,82	122,707335	98%
ONMZ572	1700	3,545972222	129,455531	97%

Remarque : on remarque que l'écart est d'ordre 98% mais le facteur de corrélation égal R2=0,7033

b- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de yeld value

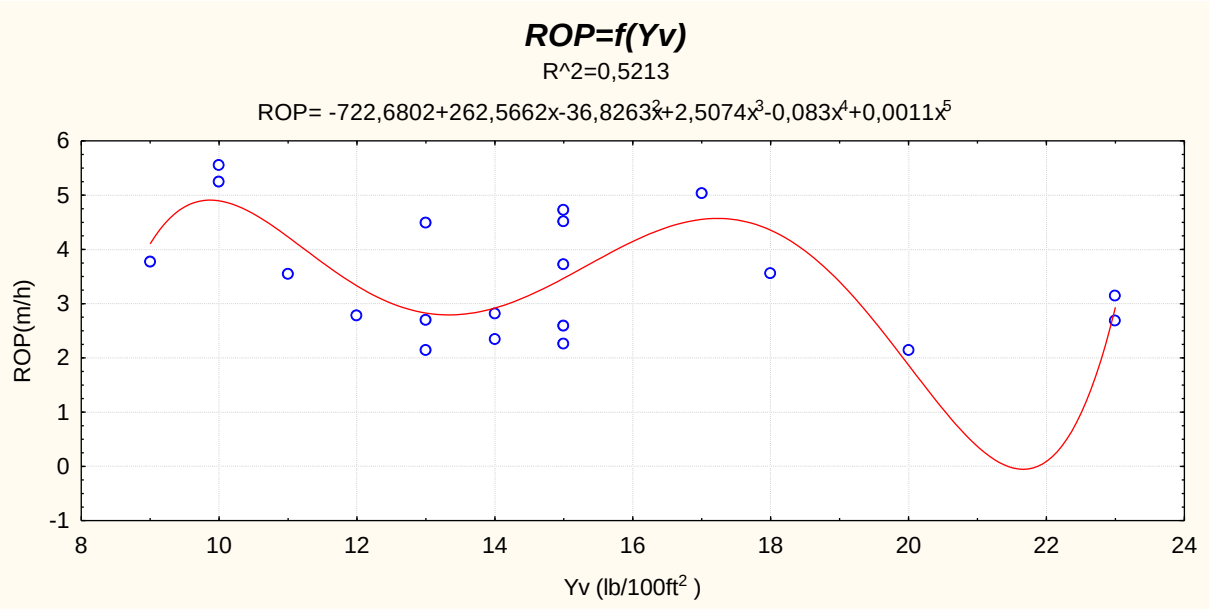

Figure IV-2 : la vitesse d'avancement en fonction de yeld value

Tableau IV-14 : Les écarts entre ROP $_{mod}$ ROP $_{réel}$ en fonction de Yv:

puits	yeld value (lb/100ft2)	ROP réelle (m/hrs)	ROP modèle (m/hrs)	Ecart%
MDZ585	23	2,689348255	195,9398	99%
MDZ588	9	3,774754032	5,7708	35%
MDZ589	10	5,549117955	7,7518	28%
MDZ606	14	2,348060436	18,6758	87%
OMJZ842	15	4,510184287	25,8078	83%
OMK422	13	4,487765255	13,6528	67%
OMKZ341	15	3,716003957	25,8078	86%
OMKZ442	15	2,59	25,8078	90%
OMKZ712	17	5,035971223	46,6004	89%
OMLZ312	10	5,249436981	7,7518	32%
OMLZ562	15	4,723404255	25,8078	82%
OMNZ142	12	2,78	10,5414	74%
OMPZ451	13	2,141789806	13,6528	84%
ONIZ303	13	2,699530516	13,6528	80%
ONIZ413	23	3,147629179	195,9398	98%
ONIZ421	15	2,253652471	25,8078	91%
ONMZ303	20	2,141109299	97,3238	98%
ONMZ313	18	3,55475116	60,4638	94%
ONMZ443	14	2,82	18,6758	85%
ONMZ572	11	3,545972222	8,8682	60%

Remarque : on remarque que l'écart est d'ordre 73% mais le facteur de corrélation égal R2=0,5213

c- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de densité

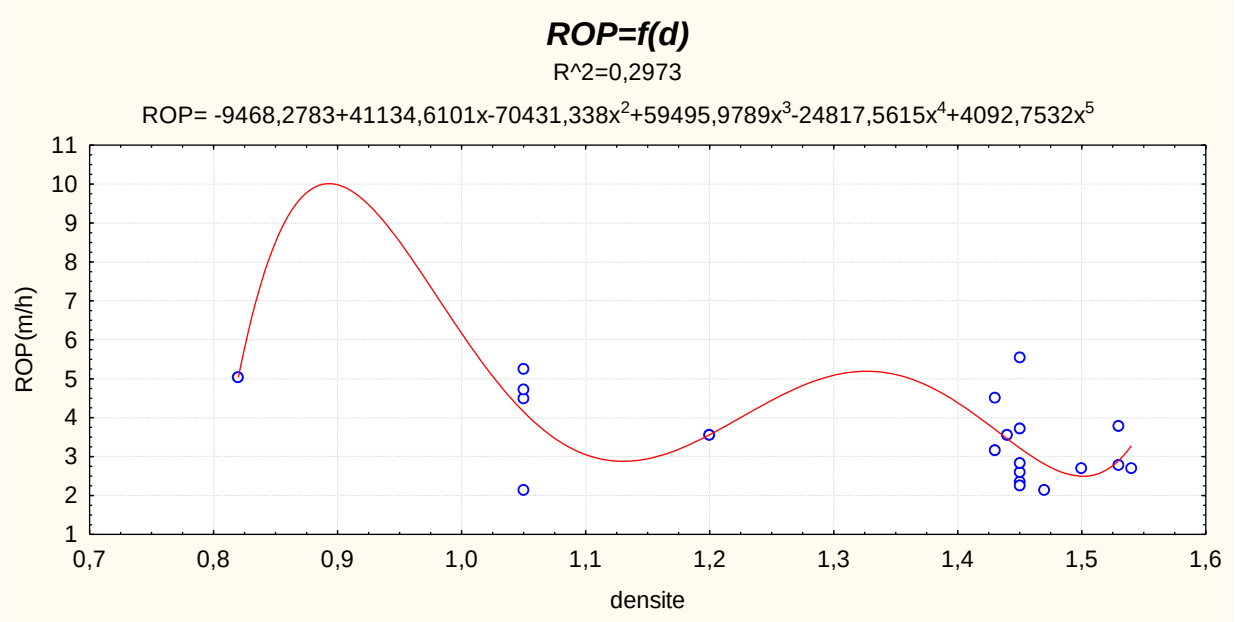

Figure IV-3 : la vitesse d'avancement en fonction de densité

Tableau IV-15 : Les écarts entre ROP $_{mod}$ ROP $_{réel}$ en fonction de d:

puits	densité	ROP réelle (m/hrs)	ROP modèle (m/hrs)	Ecart%
MDZ585	1,54	2,689348255	3,279290574	18%
MDZ588	1,53	3,774754032	2,901991561	30%
MDZ589	1,45	5,549117955	3,220748949	72%
MDZ606	1,45	2,348060436	3,220748949	27%
OMJZ842	1,43	4,510184287	3,697438194	22%
OMK422	1,05	4,487765255	4,149070126	8%
OMKZ341	1,45	3,716003957	3,220748949	15%
OMKZ442	1,45	2,59	3,220748949	20%
OMKZ712	0,82	5,035971223	5,036300271	0%
OMLZ312	1,05	5,249436981	4,149070126	27%
OMLZ562	1,05	4,723404255	4,149070126	14%
OMNZ142	1,53	2,78	2,901991561	4%
OMPZ451	1,47	2,141789806	2,805876581	24%
ONIZ303	1,5	2,699530516	2,49465625	8%
ONIZ413	1,43	3,147629179	3,697438194	15%
ONIZ421	1,45	2,253652471	3,220748949	30%
ONMZ303	1,05	2,141109299	4,149070126	48%
ONMZ313	1,44	3,55475116	3,456039729	3%
ONMZ443	1,45	2,82	3,220748949	12%
ONMZ572	1,2	3,545972222	3,562755424	0%

Remarque : on remarque que l'écart est d'ordre 45% mais le facteur de corrélation égal R2=0,2973

d- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de pression hydraulique (Ph)

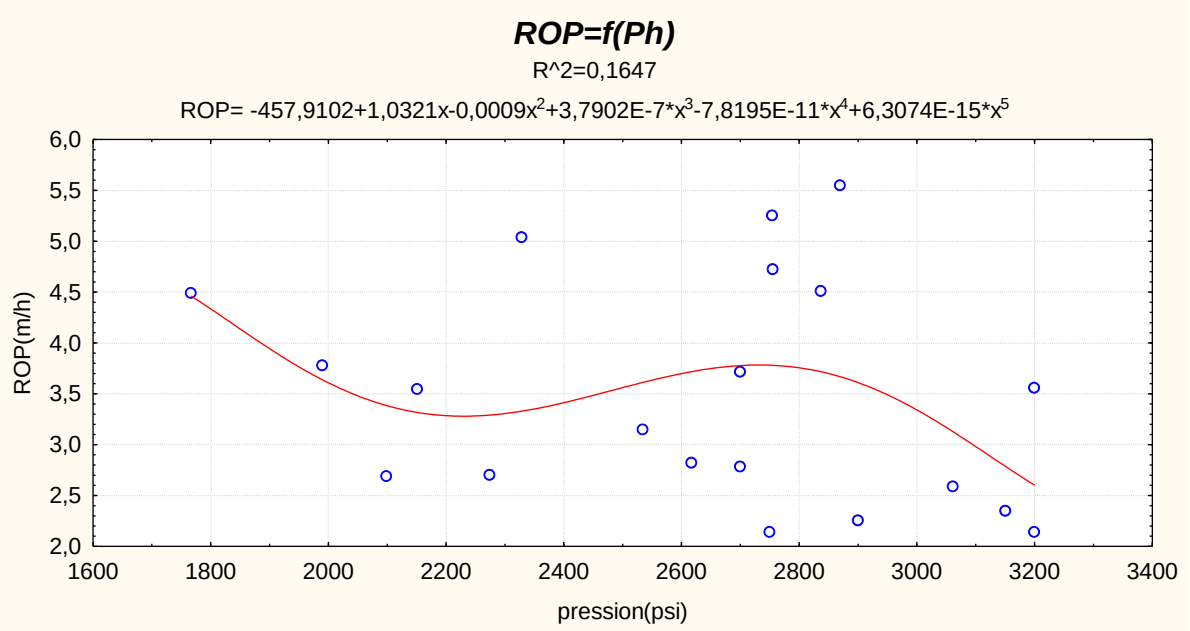

Figure IV-4 : la vitesse d'avancement en fonction de pression hydraulique (Ph)

Tableau IV-16 : Les écarts entre ROP $_{mod}$ ROP $_{réel}$ en fonction de Ph:

puit	pression(psi)	ROP réel (m/hrs)	ROP modèle (m/hrs)	Ecart %
MDZ585	2098,333333	2,68934825	2506,17277	100%
MDZ588	1990	3,77475403	2048,22699	100%
MDZ589	2870	5,54911796	8128,08771	100%
MDZ606	3150,833333	2,34806044	11463,2697	100%
OMJZ842	2837,5	4,51018429	7792,25817	100%
OMK422	1766,666667	4,48776526	1299,54396	100%
OMKZ341	2700	3,71600396	6478,5704	100%
OMKZ442	3061,666667	2,59	10317,2987	100%
OMKZ712	2328,333333	5,03597122	3716,66685	100%
OMLZ312	2753,9375	5,24943698	6973,63554	100%
OMLZ562	2755,555556	4,72340426	6988,88529	100%
OMNZ142	2700,222222	2,78	6480,55766	100%
OMPZ451	2750,166667	2,14178981	6938,18726	100%
ONIZ303	2274,285714	2,69953052	3401,04215	100%
ONIZ413	2534	3,14762918	5110,58472	100%
ONIZ421	2900	2,25365247	8446,96215	100%
ONMZ303	3200	2,1411093	12131,4649	100%
ONMZ313	3199,666667	3,55475116	12126,8463	100%
ONMZ443	2616,666667	2,82	5763,18575	100%
ONMZ572	2151	3,54597222	2753,62292	100%

Remarque : on remarque que l'écart est d'ordre 100% mais le facteur de corrélation égal R2=0,1647

e-Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de La vitesse de rotation (RPM)

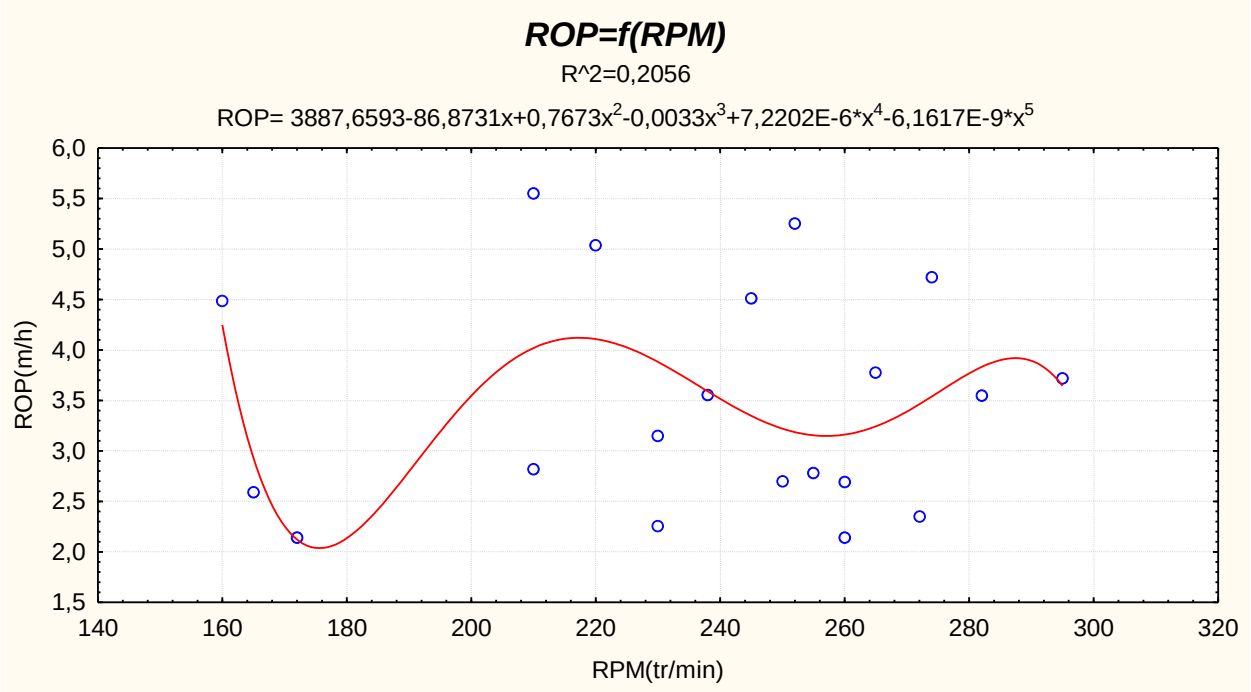

Figure IV-5 : vitesse d'avancement en fonction de La vitesse de rotation (RPM)

Tableau IV-17 : Les écarts entre ROP $_{mod}$ ROP $_{réel}$ en fonction de RPM

puits	RPM (tr/min)	ROP réelle (m/hrs)	ROP modèle (m/hrs)	Ecart%
MDZ585	260	2,689348255	842,9670021	100%
MDZ588	265	3,774754032	892,4647188	100%
MDZ589	210	5,549117955	446,3549488	99%
MDZ606	272	2,348060436	965,0691896	100%
OMJZ842	245	4,510184287	705,9557196	99%
OMK422	160	4,487765255	199,7724981	98%
OMKZ341	295	3,716003957	1230,555192	100%
OMKZ442	165	2,59	217,3803306	99%
OMKZ712	220	5,035971223	512,7355826	99%
OMLZ312	252	5,249436981	767,7917702	99%
OMLZ562	274	4,723404255	986,5259211	100%
OMNZ142	255	2,78	795,4099342	100%
OMPZ451	172	2,141789806	245,0625575	99%
ONIZ303	250	2,699530516	749,7553937	100%
ONIZ413	230	3,147629179	585,1147157	99%
ONIZ421	230	2,253652471	585,1147157	100%
ONMZ303	260	2,141109299	842,9670021	100%
ONMZ313	238	3,55475116	647,6468517	99%
ONMZ443	210	2,82	446,3549488	99%
ONMZ572	282	3,545972222	1075,507104	100%

Remarque : on remarque que l'écart est d'ordre 99% mais le facteur de corrélation égal R2=0,2056

f- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de poids sur l'outil (WOB)

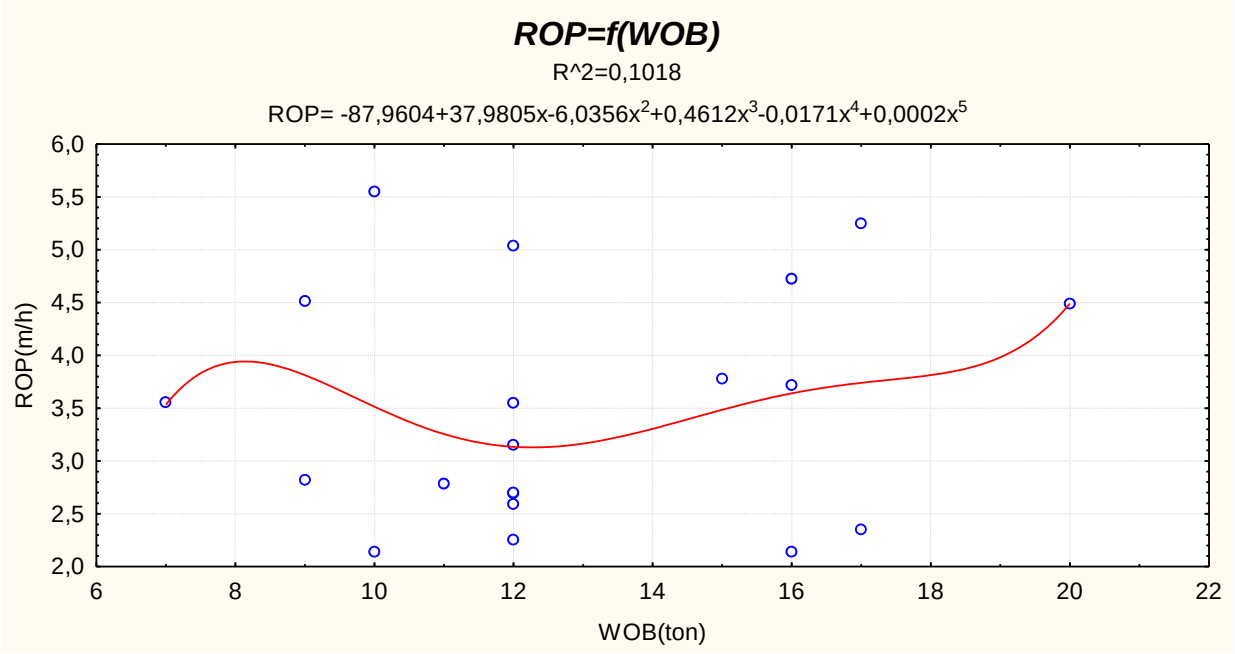

Figure IV-6 : vitesse d'avancement en fonction de poids sur l'outil (WOB)

Tableau IV-18 : Les écarts entre ROP $_{mod}$ ROP $_{réel}$ en fonction de WOB

puits	WOB(ton)	ROP réelle (m/hrs)	ROP modèle (m/hrs)	Ecart%
MDZ585	12	2,689348255	9,1864	71%
MDZ588	15	3,774754032	33,5254	89%
MDZ589	10	5,549117955	1,5154	266%
MDZ606	17	2,348060436	64,9424	96%
OMJZ842	9	4,510184287	0,812	455%
OMK422	20	4,487765255	148,9904	97%
OMKZ341	16	3,716003957	47,2612	92%
OMKZ442	12	2,59	9,1864	72%
OMKZ712	12	5,035971223	9,1864	45%
OMLZ312	17	5,249436981	64,9424	92%
OMLZ562	16	4,723404255	47,2612	90%
OMNZ142	11	2,78	4,7762	42%
OMPZ451	10	2,141789806	1,5154	41%
ONIZ303	12	2,699530516	9,1864	71%
ONIZ413	12	3,147629179	9,1864	66%
ONIZ421	12	2,253652471	9,1864	75%
ONMZ303	16	2,141109299	47,2612	95%
ONMZ313	7	3,55475116	2,6546	34%
ONMZ443	9	2,82	0,812	247%
ONMZ572	12	3,545972222	9,1864	61%

Remarque : à travers ces résultats on pu constater que : les écarts entre les valeurs mesurées et celles obtenues par les modèles d'un seul paramètres sont relativement élevés mais le coefficient de corrélation varie d'un cas a l'autre.

4-1-1-2 Résultats relatifs à deux paramètres :

a- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de Poids sur l'outil(WOB) et la vitesse de rotation(RPM).

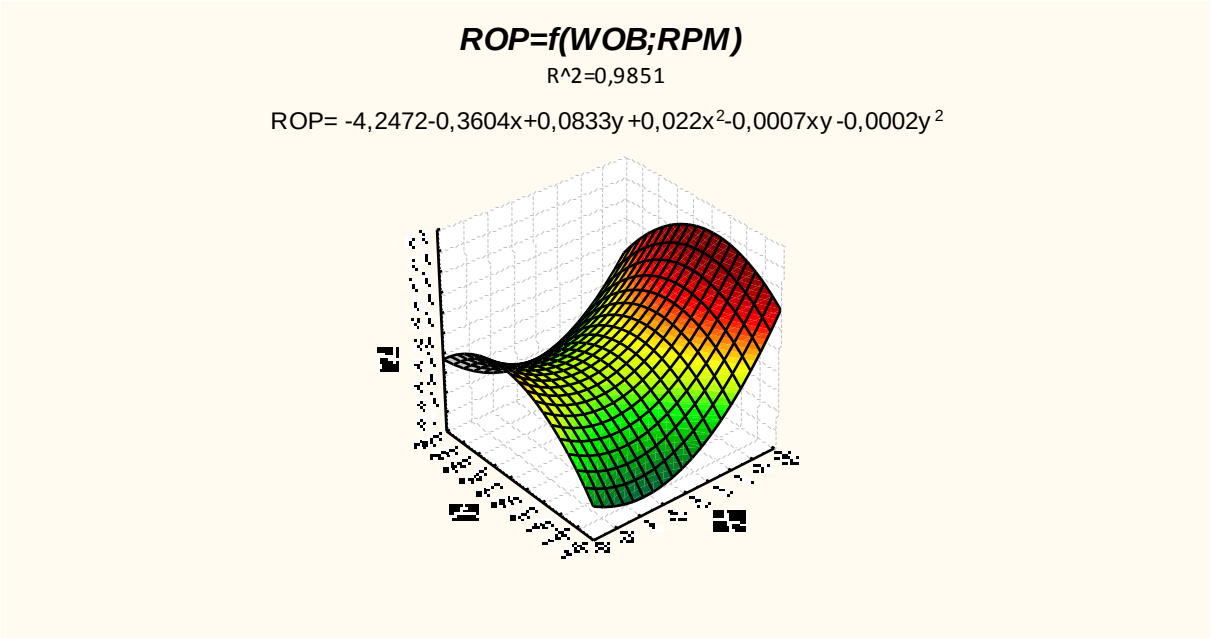

Figure IV-7 : la vitesse d'avancement en fonction de Poids sur l'outil(WOB) et la vitesse de rotation(RPM).

Tableau IV-19: Les écarts entre ROP $_{mod}$ ROP $_{réel}$ en fonction de WOB et RPM

puits	WOB(ton)	RPM (tr/min)	ROP réelle (m/hrs)	ROP modèle (m/hrs)	Ecart%
MDZ585	12	260	2,689348255	0,55	389%
MDZ588	15	265	3,774754032	0,5438	594%
MDZ589	10	210	5,549117955	1,5518	258%
MDZ606	17	272	2,348060436	0,608	286%
OMJZ842	9	245	4,510184287	1,1512	292%
OMK422	20	160	4,487765255	3,3128	35%
OMKZ341	16	295	3,716003957	0,5171	619%
OMKZ442	12	165	2,59	1,5095	72%
OMKZ712	12	220	5,035971223	1,394	261%
OMLZ312	17	252	5,249436981	1,276	311%
OMLZ562	16	274	4,723404255	0,3586	1217%
OMNZ142	11	255	2,78	0,7234	284%
OMPZ451	10	172	2,141789806	1,5556	38%
ONIZ303	12	250	2,699530516	0,821	229%
ONIZ413	12	230	3,147629179	1,243	153%
ONIZ421	12	230	2,253652471	1,243	81%
ONMZ303	16	260	2,141109299	0,8444	154%
ONMZ313	7	238	3,55475116	1,6384	117%
ONMZ443	9	210	2,82	1,6412	72%
ONMZ572	12	282	3,545972222	0,187	1796%

Remarque : on remarque que l'écart est d'ordre 100% mais le facteur de corrélation égal R2=0,985

b- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de poids sur l'outil(WOB) et la densité(d)

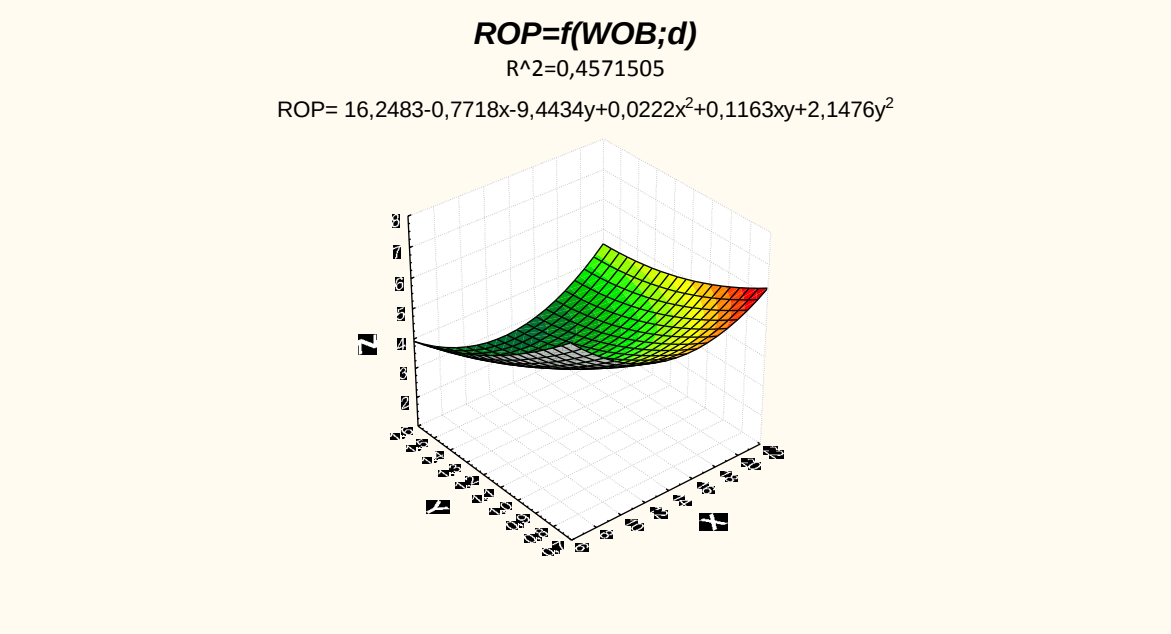

Figure IV-8 : la vitesse d'avancement en fonction de poids sur l'outil(WOB) et la densité(d)

Tableau IV-20: Les écarts entre ROP $_{mod}$ ROP $_{réel}$ en fonction de WOB et densité

puits	WOB(ton)	densité	ROP réelle (m/hrs)	ROP modèle (m/hrs)	Ecart%
MDZ585	12	1,54	2,689348255	2,88313616	7%
MDZ588	15	1,53	3,774754032	2,91429984	30%
MDZ589	10	1,45	5,549117955	3,259049	70%
MDZ606	17	1,45	2,348060436	3,232694	27%
OMJZ842	9	1,43	4,510184287	3,48464624	29%
OMK422	20	1,05	4,487765255	4,586759	2%
OMKZ341	16	1,45	3,716003957	3,103259	20%
OMKZ442	12	1,45	2,59	3,029519	15%
OMKZ712	12	0,82	5,035971223	5,02835024	0%
OMLZ312	17	1,05	5,249436981	4,071614	29%
OMLZ562	16	1,05	4,723404255	3,988699	18%
OMNZ142	11	1,53	2,78	2,98094384	7%
OMPZ451	10	1,47	2,141789806	3,21886084	33%
ONIZ303	12	1,5	2,699530516	2,9439	8%
ONIZ413	12	1,43	3,147629179	3,06677324	3%
ONIZ421	12	1,45	2,253652471	3,029519	26%
ONMZ303	16	1,05	2,141109299	3,988699	46%
ONMZ313	7	1,44	3,55475116	3,96057136	10%
ONMZ443	9	1,45	2,82	3,440414	18%
ONMZ572	12	1,2	3,545972222	3,618684	2%

Remarque : on remarque que l'écart est d'ordre 37% mais le facteur de corrélation égal R2=0,4571

c- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de poids sur l'outil (WOB) et Yeld value (yv)

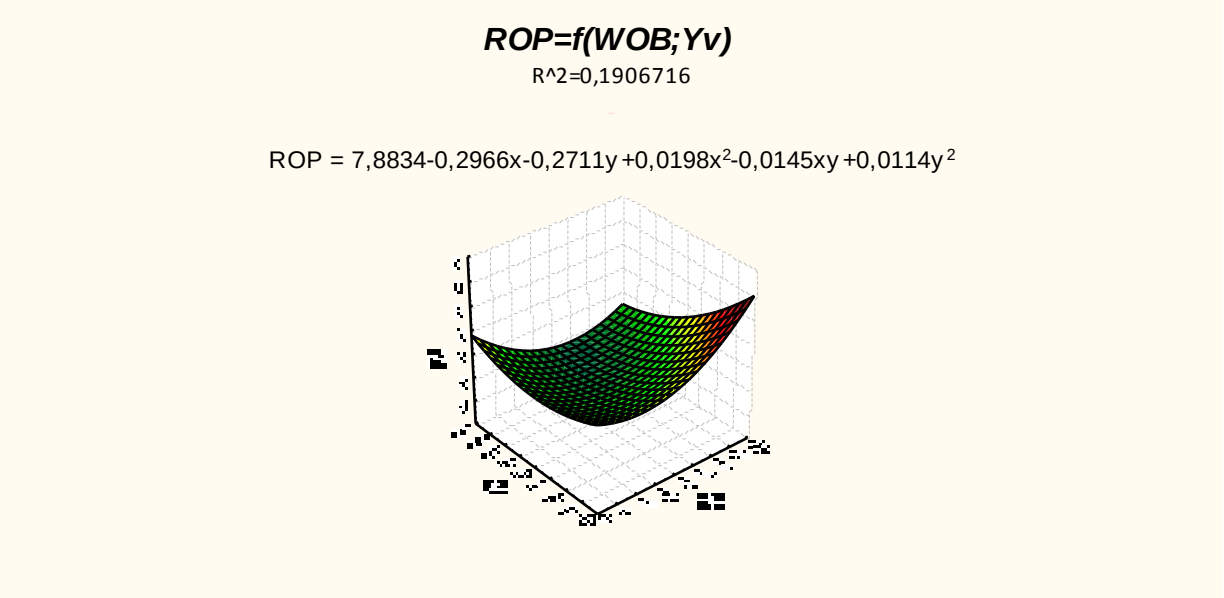

Figure IV-9 : la vitesse d'avancement en fonction de poids sur l'outil (WOB) et Yeld value (yv)

Tableau IV-21: Les écarts entre ROP $_{mod}$ ROP $_{réel}$ en fonction de WOB et Yeld value:

puits	WOB(ton)	yeld value (lb/100ft2)	ROP réelle (m/hrs)	ROP modèle (m/hrs)	Ecart%
MDZ585	12	23	2,689348255	2,9687	9%
MDZ588	15	9	3,774754032	4,4154	15%
MDZ589	10	10	5,549117955	3,8764	43%
MDZ606	17	14	2,348060436	3,5514	34%
OMJZ842	9	15	4,510184287	3,3588	34%
OMK422	20	13	4,487765255	4,5037	0%
OMKZ341	16	15	3,716003957	3,2251	15%
OMKZ442	12	15	2,59	3,0639	15%
OMKZ712	12	17	5,035971223	2,9033	73%
OMLZ312	17	10	5,249436981	4,5274	16%
OMLZ562	16	15	4,723404255	3,2251	46%
OMNZ142	11	12	2,78	3,491	20%
OMPZ451	10	13	2,141789806	3,4147	37%
ONIZ303	12	13	2,699530516	3,3157	19%
ONIZ413	12	23	3,147629179	2,9687	6%
ONIZ421	12	15	2,253652471	3,0639	26%
ONMZ303	16	20	2,141109299	2,7046	21%
ONMZ313	7	18	3,55475116	3,7642	6%
ONMZ443	9	14	2,82	3,4298	18%
ONMZ572	12	11	3,545972222	3,6587	3%

Remarque : on remarque que l'écart est d'ordre 18% mais le facteur de corrélation égal R2=0,1906

d- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de poids sur l'outil(WOB) et débit (Q)

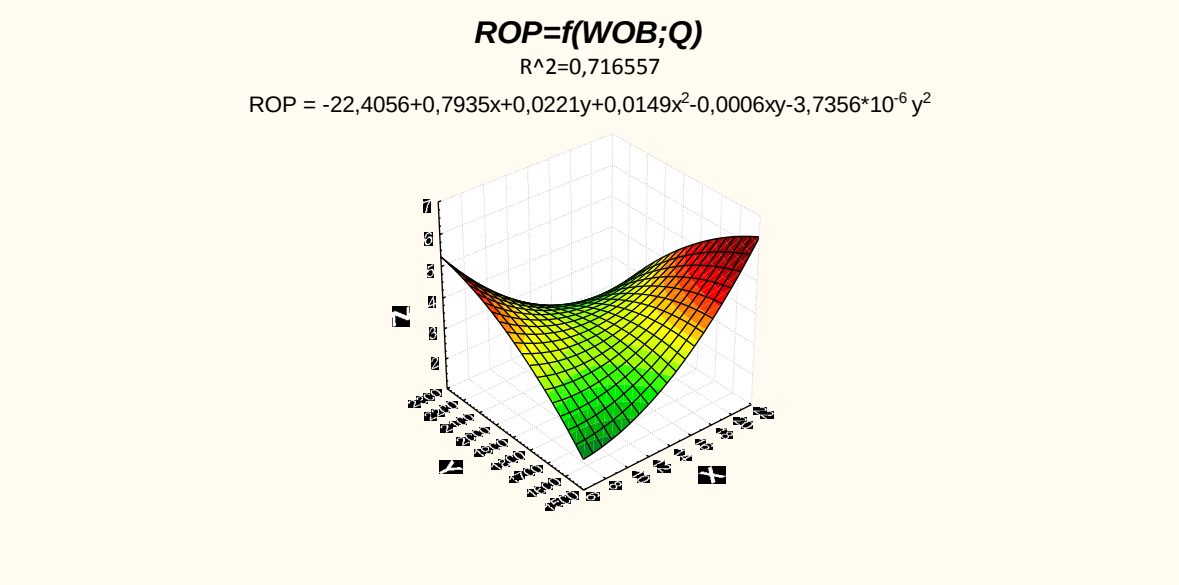

Figure IV-10 : la vitesse d'avancement en fonction de poids sur l'outil(WOB) et débit (Q)

Tableau IV-22: Les écarts entre ROP $_{mod}$ ROP $_{réel}$ en fonction de WOB et débit .

puits	WOB(ton)	débit (lpm)	ROP réelle (m/hrs)	ROP modèle (m/hrs)	Ecart%
MDZ585	12	1700	2,689348255	3,796116	29%
MDZ588	15	1920	3,774754032	4,23048416	11%
MDZ589	10	2200	5,549117955	4,359096	27%
MDZ606	17	2050	2,348060436	4,086141	43%
OMJZ842	9	1700	4,510184287	3,536916	28%
OMK422	20	1800	4,487765255	5,501056	18%
OMKZ341	16	2100	3,716003957	3,880804	4%
OMKZ442	12	2100	2,59	4,078004	36%
OMKZ712	12	1800	5,035971223	3,978656	27%
OMLZ312	17	1800	5,249436981	4,706656	12%
OMLZ562	16	1800	4,723404255	4,501456	5%
OMNZ142	11	1600	2,78	3,362664	17%
OMPZ451	10	1600	2,141789806	3,216264	33%
ONIZ303	12	2000	2,699530516	4,1196	34%
ONIZ413	12	1900	3,147629179	4,086484	23%
ONIZ421	12	2100	2,253652471	4,078004	45%
ONMZ303	16	1700	2,141109299	4,558916	53%
ONMZ313	7	2000	3,55475116	4,7366	25%
ONMZ443	9	1650	2,82	3,327629	15%
ONMZ572	12	1700	3,545972222	3,796116	7%

Remarque : on remarque que l'écart est d'ordre 34% mais le facteur de corrélation égal R2=0,716

e- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de poids sur l'outil(WOB) et la Pression hydraulique (Ph)

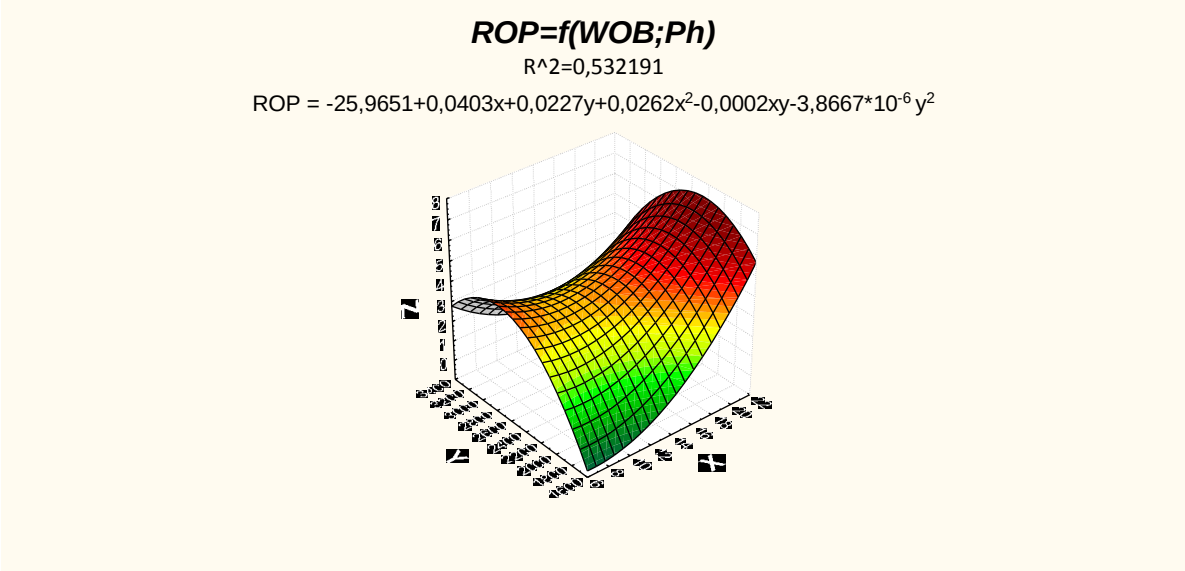

Figure IV-11 : la vitesse d'avancement en fonction de poids sur l'outil(WOB) et la Pression hydraulique (Ph)

Tableau IV-23: Les écarts entre ROP $_{mod}$ ROP $_{réel}$ en fonction de WOB et Pression hydraulique.

puit	WOB(ton)	pression(psi)	ROP réel (m/hrs)	ROP modèle (m/hrs)	Ecart%
MDZ585	12	2098,333333	2,689348255	3,862375826	30%
MDZ588	15	1990	3,774754032	4,42488133	15%
MDZ589	10	2870	5,549117955	4,61727877	20%
MDZ606	17	3150,833333	2,348060436	4,715249723	50%
OMJZ842	9	2837,5	4,510184287	4,691177453	4%
OMK422	20	1766,666667	4,487765255	6,289166333	29%
OMKZ341	16	2700	3,716003957	5,848657	36%
OMKZ442	12	3061,666667	2,59	4,197450133	38%
OMKZ712	12	2328,333333	5,035971223	4,594559666	10%
OMLZ312	17	2753,9375	5,249436981	6,117076829	14%
OMLZ562	16	2755,555556	4,723404255	5,760046074	18%
OMNZ142	11	2700,222222	2,78	4,810072325	42%
OMPZ451	10	2750,166667	2,141789806	4,740886668	55%
ONIZ303	12	2274,285714	2,699530516	4,459275615	39%
ONIZ413	12	2534	3,147629179	4,902816095	36%
ONIZ421	12	2900	2,253652471	4,642353	51%
ONMZ303	16	3200	2,141109299	4,191892	49%
ONMZ313	7	3199,666667	3,55475116	4,16694053	15%
ONMZ443	9	2616,666667	2,82	4,73305325	40%
ONMZ572	12	2151	3,545972222	4,066148573	13%

Remarque : on remarque que l'écart est d'ordre 41% mais le facteur de corrélation égal R2=0,532

f- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de la vitesse de rotation(RPM) et densité(d)

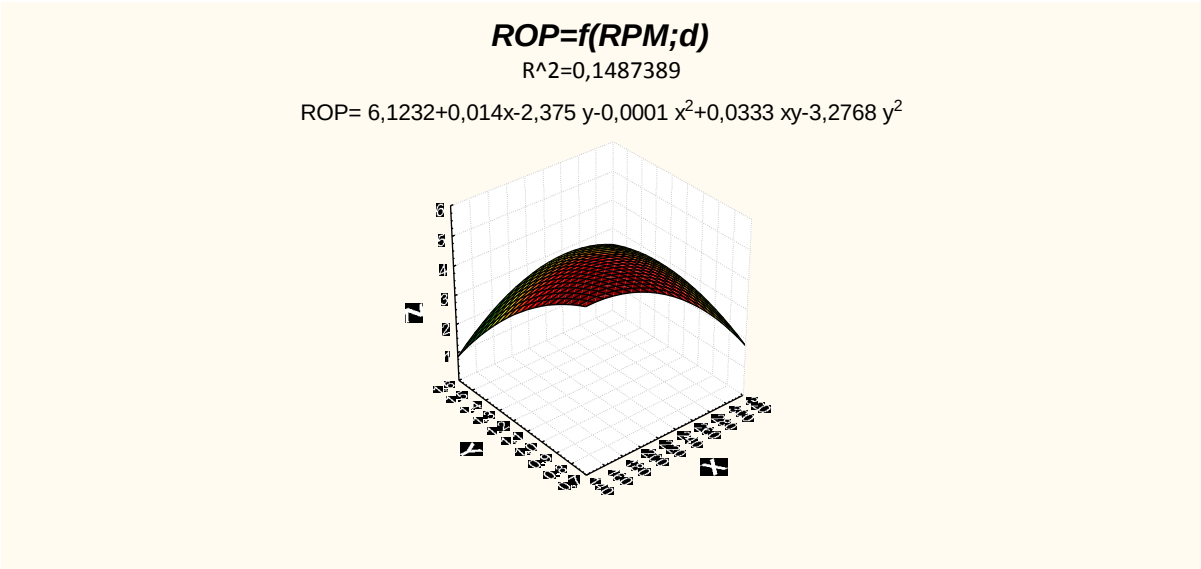

Figure IV-12 : la vitesse d'avancement en fonction de la vitesse de rotation(RPM) et densité(d)

Tableau IV-24: Les écarts entre ROP $_{mod}$ ROP $_{réel}$ en fonction de RPM et densité

puit	RPM (tr/min)	densité	ROP réelle (m/hrs)	ROP modèle (m/hrs)	Ecart%
MDZ585	260	1,54	2,689348255	4,90776112	45%
MDZ588	265	1,53	3,774754032	5,00777388	25%
MDZ589	210	1,45	5,549117955	4,459828	24%
MDZ606	272	1,45	2,348060436	5,333098	56%
OMJZ842	245	1,43	4,510184287	5,12037668	12%
OMK422	160	1,05	4,487765255	5,291178	15%
OMKZ341	295	1,45	3,716003957	5,461553	32%
OMKZ442	165	1,45	2,59	3,344503	23%
OMKZ712	220	0,82	5,035971223	6,21969968	19%
OMLZ312	252	1,05	5,249436981	6,005558	13%
OMLZ562	274	1,05	4,723404255	5,925588	20%
OMNZ142	255	1,53	2,78	4,87828388	43%
OMPZ451	172	1,47	2,141789806	3,42028488	37%
ONIZ303	250	1,5	2,699530516	4,9254	45%
ONIZ413	230	1,43	3,147629179	4,90859168	36%
ONIZ421	230	1,45	2,253652471	4,825528	53%
ONMZ303	260	1,05	2,141109299	5,987678	64%
ONMZ313	238	1,44	3,55475116	4,98860352	29%
ONMZ443	210	1,45	2,82	4,459828	37%
ONMZ572	282	1,2	3,545972222	5,818928	39%

Remarque : on remarque que l'écart est d'ordre 42% mais le facteur de corrélation égal R2=0,148

g- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de la vitesse de rotation(RPM) et Yeld value (yv)

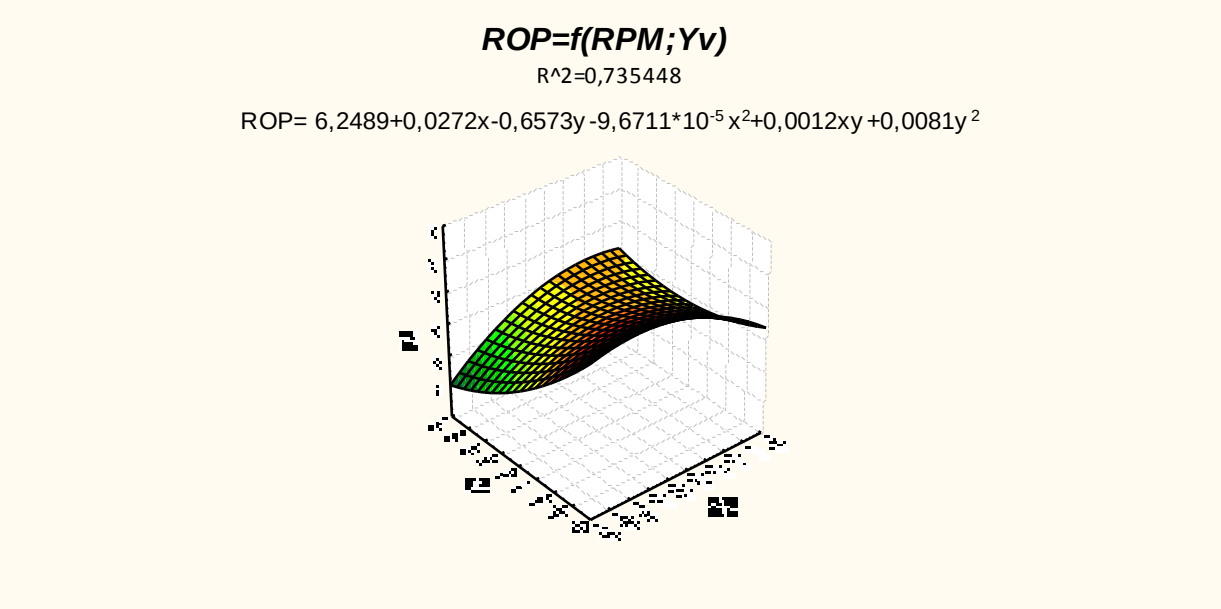

Figure IV-13 : la vitesse d'avancement en fonction de la vitesse de rotation(RPM) et Yeld value (yv)

Tableau IV-25: Les écarts entre ROP $_{mod}$ ROP $_{réel}$ en fonction de RPM et Yale value

puits	RPM (tr/min)	yeld value (lb/100ft2)	ROP réelle (m/hrs)	ROP modèle (m/hrs)	Ecart%
MDZ585	260	23	2,689348255	3,1262364	14%
MDZ588	265	9	3,774754032	4,267770025	12%
MDZ589	210	10	5,549117955	4,4529449	25%
MDZ606	272	14	2,348060436	3,447233376	32%
OMJZ842	245	15	4,510184287	3,480822225	30%
OMK422	160	13	4,487765255	3,4450984	30%
OMKZ341	295	15	3,716003957	3,129625225	19%
OMKZ442	165	15	2,59	3,036943025	15%
OMKZ712	220	17	5,035971223	3,2068876	57%
OMLZ312	252	10	5,249436981	4,222764656	24%
OMLZ562	274	15	4,723404255	3,336024964	42%
OMNZ142	255	12	2,78	3,847067225	28%
OMPZ451	172	13	2,141789806	3,573401776	40%
ONIZ303	250	13	2,699530516	3,7284625	28%
ONIZ413	230	23	3,147629179	2,9038881	8%
ONIZ421	230	15	2,253652471	3,4918881	35%
ONMZ303	260	20	2,141109299	3,1172364	31%
ONMZ313	238	18	3,55475116	3,178202116	12%
ONMZ443	210	14	2,82	3,6093449	22%
ONMZ572	282	11	3,545972222	3,700654436	4%

Remarque : on remarque que l'écart est d'ordre 37% mais le facteur de corrélation égal R2=0,735

h- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de la vitesse de rotation(RPM) et débit (Q)

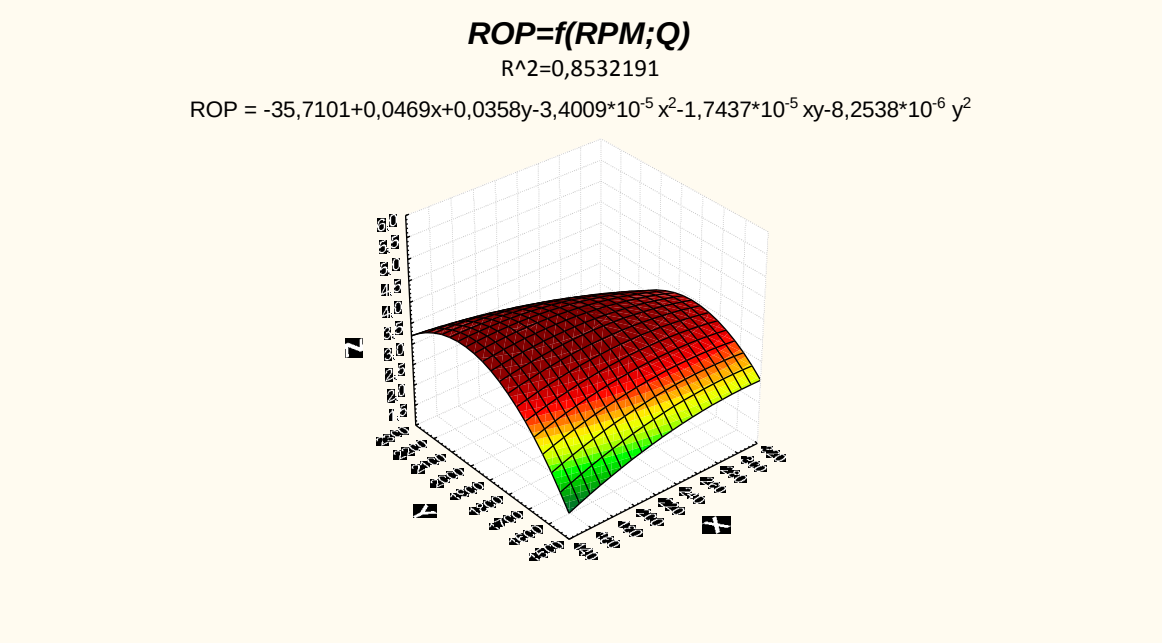

Figure IV-14 : la vitesse d'avancement en fonction de la vitesse de rotation(RPM) et débit (Q)

Tableau IV-26: Les écarts entre ROP $_{mod}$ ROP $_{réel}$ en fonction de RPM et débit.

puits	RPM (tr/min)	debit (lpm)	ROP réelle (m/hrs)	ROP modèle (m/hrs)	Ecart%
MDZ585	260	1700	2,689348255	3,4842556	23%
MDZ588	265	1920	3,774754032	3,767364055	0%
MDZ589	210	2200	5,549117955	3,3948171	63%
MDZ606	272	2050	2,348060436	3,511112444	33%
OMJZ842	245	1700	4,510184287	3,483017275	29%
OMK422	160	1800	4,487765255	3,5991016	25%
OMKZ341	295	2100	3,716003957	3,144287275	18%
OMKZ442	165	2100	2,59	3,841326475	33%
OMKZ712	220	1800	5,035971223	3,7545004	34%
OMLZ312	252	1800	5,249436981	3,737257264	40%
OMLZ562	274	1800	4,723404255	3,684999916	28%
OMNZ142	255	1600	2,78	3,073940775	10%
OMPZ451	172	1600	2,141789806	2,702187344	21%
ONIZ303	250	2000	2,699530516	3,7556375	28%
ONIZ413	230	1900	3,147629179	3,8816369	19%
ONIZ421	230	2100	2,253652471	3,6364949	38%
ONMZ303	260	1700	2,141109299	3,4842556	39%
ONMZ313	238	2000	3,55475116	3,810482204	7%
ONMZ443	210	1650	2,82	3,1962121	12%
ONMZ572	282	1700	3,545972222	3,458388484	3%

Remarque : on remarque que l'écart est d'ordre 33% mais le facteur de corrélation égal R2=0,853

i- Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de la vitesse de rotation(RPM) et la Pression hydraulique (Ph)

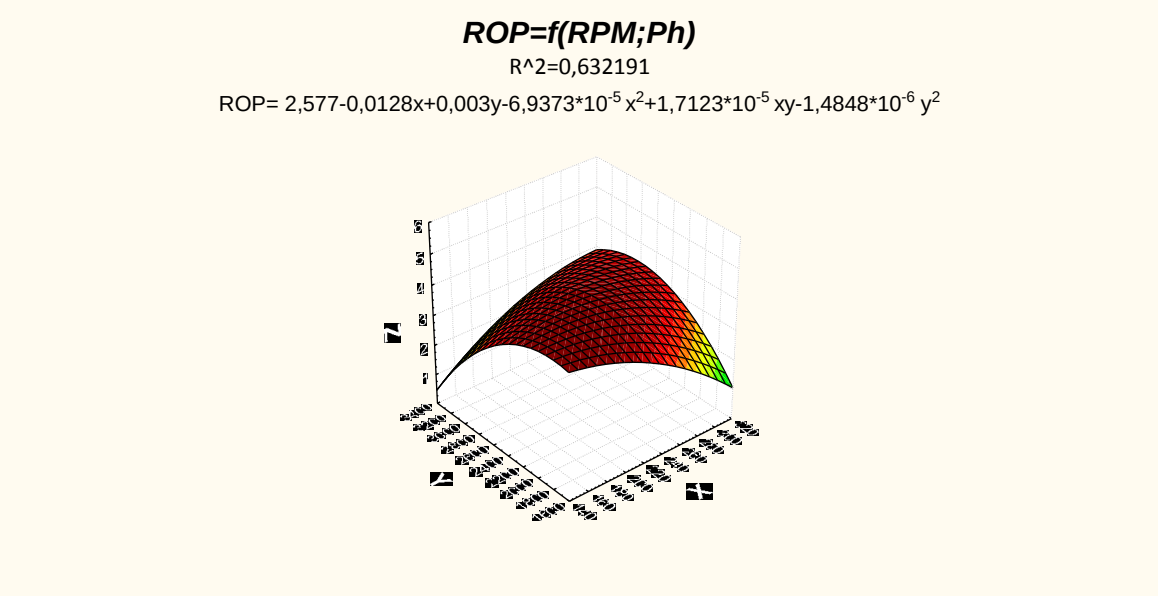

Figure IV-15 : la vitesse d'avancement en fonction de la vitesse de rotation(RPM) et la Pression hydraulique (Ph)

Tableau IV-27: Les écarts entre ROP $_{mod}$ ROP $_{réel}$ en fonction de RPM et Pression.

puit	RPM(tr/min)	pression(psi)	ROP réel (m/hrs)	ROP modèle (m/hrs)	Ecart%
MDZ585	260	2098,333333	2,689348255	3,658544709	26%
MDZ588	265	1990	3,774754032	3,433138645	10%
MDZ589	210	2870	5,549117955	3,52953368	57%
MDZ606	272	3150,833333	2,348060436	3,34955135	30%
OMJZ842	245	2837,5	4,510184287	3,738353238	21%
OMK422	160	1766,666667	4,487765255	4,258926756	5%
OMKZ341	295	2700	3,716003957	3,678092175	1%
OMKZ442	165	3061,666667	2,59	2,493209236	4%
OMKZ712	220	2328,333333	5,035971223	4,110015269	23%
OMLZ312	252	2753,9375	5,249436981	3,830000585	37%
OMLZ562	274	2755,555556	4,723404255	3,782250114	25%
OMNZ142	255	2700,222222	2,78	3,866869312	28%
OMPZ451	172	2750,166667	2,141789806	3,443077919	38%
ONIZ303	250	2274,285714	2,699530516	3,919750057	31%
ONIZ413	230	2534	3,147629179	4,010662731	22%
ONIZ421	230	2900	2,253652471	3,5970413	37%
ONMZ303	260	3200	2,141109299	3,2013692	33%
ONMZ313	238	3199,666667	3,55475116	3,038369572	17%
ONMZ443	210	2616,666667	2,82	3,922396089	28%
ONMZ572	282	2151	3,545972222	3,420211009	4%

Remarque : à travers ces résultats on pu constater que : les écarts entre les valeurs mesurées et celles obtenues par les modèles de deux paramètres est moyen mais le coefficient de corrélation varie d'un cas a l'autre.

4-1-1-3 Résultats relatifs à trois paramètres :

Les résultats du ROP sont données en facteur de la puissance hydraulique Ꝑ(Ph ,Q) et le WOB ou RPM ;Il y'a lieu de noter que la puissance hydraulique est facteur de débit et de pression hydraulique **Ꝑ=Ph*Q** **(IV.d)**

a-Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de puissance hydraulique (Ꝑ) et la vitesse de rotation(RPM)

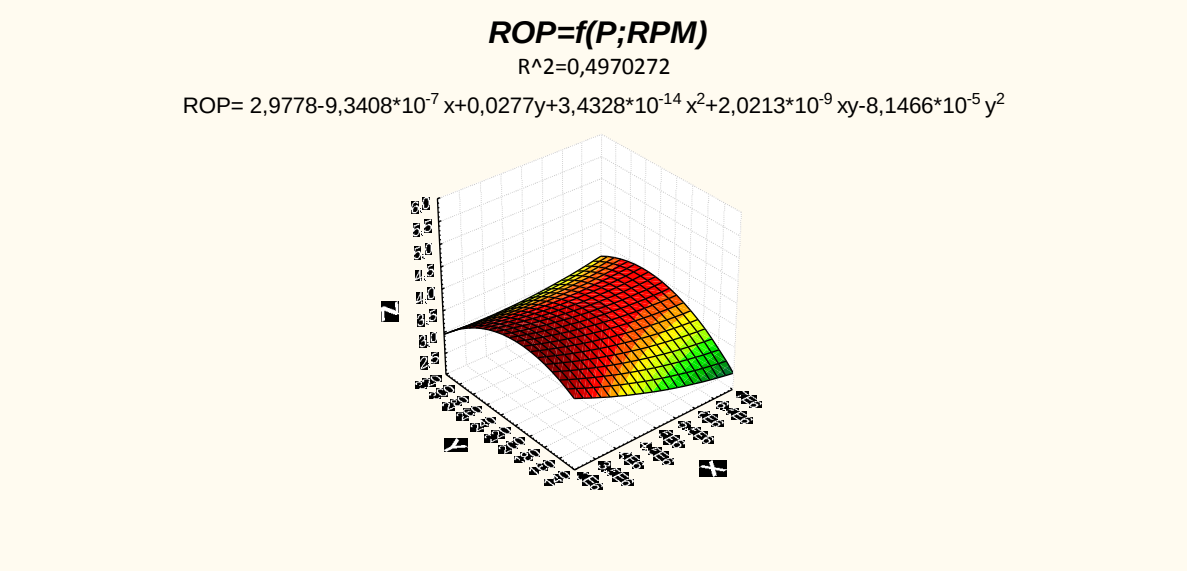

Figure IV-16: la vitesse d'avancement en fonction de puissance hydraulique (Ꝑ) et la vitesse de rotation(RPM)

Tableau IV-28: Les écarts entre ROP $_{mod}$ ROP $_{réel}$ en fonction de RPM et puissance hydraulique.

puits	RPM(tr/min)	puissance hydraulique(Hp)	ROP réelle (m/hrs)	ROP modèle(m/hrs)	Ecart%
MDZ585	260	3567166,667	2,689348255	3,652173743	26%
MDZ588	265	3820800	3,774754032	3,576145534	6%
MDZ589	210	6314000	5,549117955	3,353031309	65%
MDZ606	272	6459208,333	2,348060436	3,435044807	32%
OMJZ842	245	4823750	4,510184287	3,556108457	27%
OMK422	160	3180000	4,487765255	3,729471907	20%
OMKZ341	295	5670000	3,716003957	3,248022634	14%
OMKZ442	165	6429500	2,59	2,888119274	10%
OMKZ712	220	4191000	5,035971223	3,68074885	37%
OMLZ312	252	4957087,5	5,249436981	3,522978818	49%
OMLZ562	274	4960000	4,723404255	3,409973061	39%
OMNZ142	255	4320355,556	2,78	3,576011304	22%
OMPZ451	172	4400266,667	2,141789806	3,416391957	37%
ONIZ303	250	4548571,429	2,699530516	3,571181483	24%
ONIZ413	230	4814600	3,147629179	3,576065607	12%
ONIZ421	230	6090000	2,253652471	3,455096607	35%
ONMZ303	260	5440000	2,141109299	3,466119021	38%
ONMZ313	238	6399333,333	3,55475116	3,462656026	3%
ONMZ443	210	4317500	2,82	3,641822774	23%
ONMZ572	282	3656700	3,545972222	3,438405918	3%

Remarque : on remarque que l'écart est d'ordre 38% mais le facteur de corrélation égal R2=0,497

b-Résultats de la vitesse d'avancement en fonction de puissance hydraulique (P) et le Poids sur l'outil (WOB)

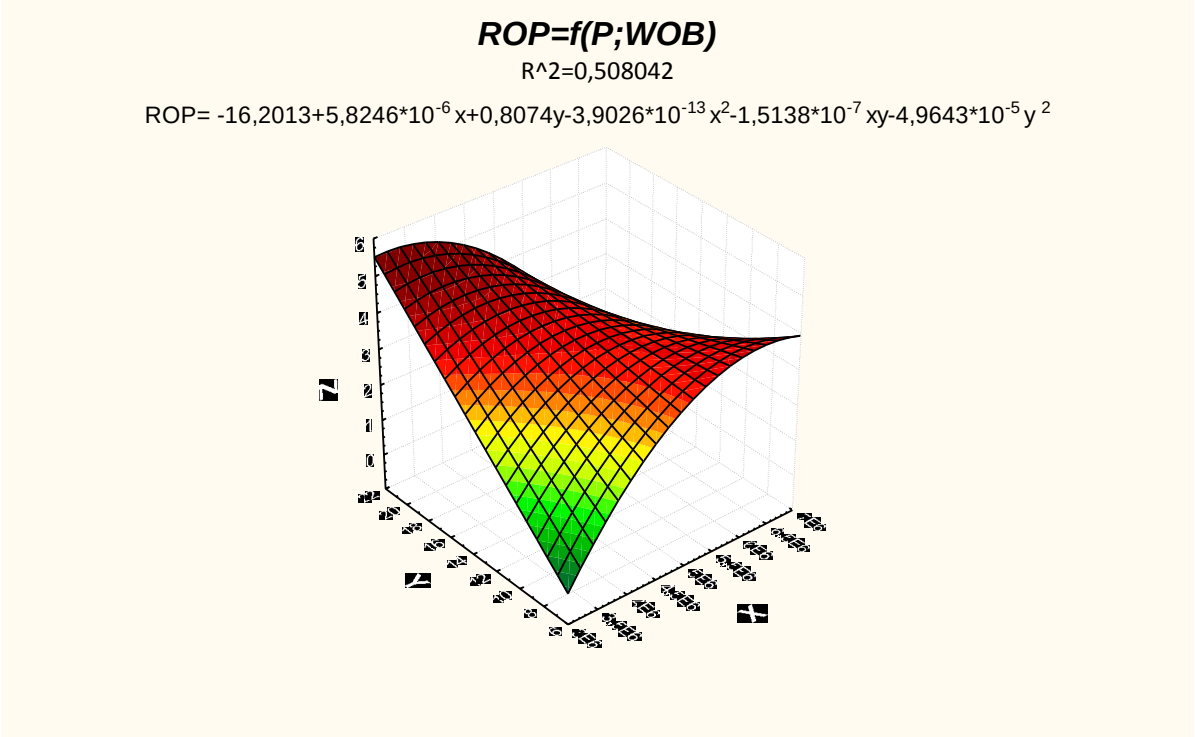

Figure IV-17 : la vitesse d'avancement en fonction de puissance hydraulique (P) et le Poids sur l'outil (WOB)

Tableau IV-29: Les écarts entre ROP $_{mod}$ ROP $_{réel}$ en fonction de WOB et puissance hydraulique.

puits	WOB(ton)	puissance hydraulique(Hp)	ROP réelle (m/hrs)	ROP modèle(m/hrs)	Ecart%
MDZ585	12	3567166,667	2,689348255	2,811765248	4%
MDZ588	15	3820800	3,774754032	3,780055902	0%
MDZ589	10	6314000	5,549117955	3,527789145	57%
MDZ606	17	6459208,333	2,348060436	2,227761003	5%
OMJZ842	9	4823750	4,510184287	3,504929881	29%
OMK422	20	3180000	4,487765255	4,874837576	8%
OMKZ341	16	5670000	3,716003957	3,450250078	8%
OMKZ442	12	6429500	2,59	3,117293188	17%
OMKZ712	12	4191000	5,035971223	3,423332693	47%
OMLZ312	17	4957087,5	5,249436981	4,036590293	30%
OMLZ562	16	4960000	4,723404255	3,979870176	19%
OMNZ142	11	4320355,556	2,78	3,35987935	17%
OMPZ451	10	4400266,667	2,141789806	3,280055809	35%
ONIZ303	12	4548571,429	2,699530516	3,63692257	26%
ONIZ413	12	4814600	3,147629179	3,731088363	16%
ONIZ421	12	6090000	2,253652471	3,415313102	34%
ONMZ303	16	5440000	2,141109299	3,664901856	42%
ONMZ313	7	6399333,333	3,55475116	3,958787312	10%
ONMZ443	9	4317500	2,82	3,05198002	8%
ONMZ572	12	3656700	3,545972222	2,918207291	22%

Remarque : à travers ces résultats on pu constater que : les écarts entre les valeurs mesurées et celles obtenues par les modèles de trois paramètres est relativement faible mais le coefficient de corrélation varie d'un cas a l'autre.

4-1-2 Modèles de calcul des vitesses d'avancement [1] :

4-1-2-1 Modèles de La vitesse d'avancement en fonction d'un seul paramètre de forage :

La vitesse d'avancement peut être calculée par des équations simples d'une seule inconnue. Mais, ces modèles ont de précisions relativement faibles « écart% relativement élevé»,

a-La vitesse d'avancement en fonction de débit (Q) :

Débit :

$Y= Rop= 52127,09-137,0088x+0,14x^2-7,4463*10^{-5}x^3+1,9245*10^{-8}x^4-1,9783*10^{-12}x^5$ (**IV.1**)

X ; représente le débit en (l/min).

Y ; représente La vitesse d'avancement en (m/h).

b-La vitesse d'avancement en fonction de yeld value (Yv) :

Yeld value :

$Y=ROP= -722,6802+262,5662x-36,8263x^2+2,5074x^3-0,083x^4+0,0011x^5$ (**IV.2**)

X ; représente yeld value en (100/ft2).

Y ; représente La vitesse d'avancement en (m/h).

c-La vitesse d'avancement en fonction de densité (d) :

Densité :

$Y:Rop =-9468,27+41134,61x-70431,3x^2+59495,97x^3-24817,56x^4+4092,75x^5$ (**IV.3**)

X ; représente la densité.

Y ; représente La vitesse d'avancement en (m/h).

d- La vitesse d'avancement en fonction de pression hydrostatique (Ph) :

Pression hydrostatique :

$Y= Rop= -457,9102+1,0321x-0,0009x^2+3,7902*10^{-7}x^3-7,8195*10^{-11}x^4+6,3074*10^{-15}x^5$ (**IV.4**)

X ; représente la pression.

Y ; représente La vitesse d'avancement en (m/h).

e- La vitesse d'avancement en fonction de vitesse de rotation (RPM) :

La vitesse de rotation (RPM) :

$Y : Rop =3887,6593-86,8731x+0,7673x^2-0,0033x^3+7,2202*10^{-6}x^4-6,1617*10^{-9}x^5$ (**IV.5**)

X ; représente la vitesse de rotation (RPM).

Y ; représente La vitesse d'avancement en (m/h).

f- La vitesse d'avancement en fonction de poids sur l'outil (WOB) :

Le poids sur l'outil:

$Y{:}Rop = -87{,}9604+37{,}9805x-6{,}0356x^2+0{,}4612x^3-0{,}0171x^4+0{,}0002x^5$ **(IV.6)**

X ; représente Le poids sur l'outil (WOB) en ton.

Y ; représente La vitesse d'avancement en (m/h).

Ces faibles résultats sont dus à l'absence des autres paramètres dans les équations de la vitesse d'avancement et qui ont un grand impact sur son évolution (WOB, RPM, Débit,…….).

Pour réduire l'écart% et de rapprocher d'avantage les valeurs mesurées à celles issues des modèles il faut faire introduire dans les équations des modèles d'autres paramètres de forage.

4-1-2-2 Modèles de La vitesse d'avancement en fonction de deux paramètres de forage :

a- La vitesse d'avancement en fonction de Poids sur l'outil (WOB) et la vitesse de rotation(RPM) :

$Z{:}ROP = -4{,}2472-0{,}3604x+0{,}0833y+0{,}022x^2-0{,}0007xy-0{,}0002y^2$ (**IV.7**)

X ; représente Le poids sur l'outil (ton).

y ; représente la vitesse de rotation RPM en (Tr/min).

Z ; représente La vitesse d'avancement en (m/h).

b-La vitesse d'avancement en fonction de La vitesse de rotation(RPM) et la densité(d)

$Z{:}\ ROP= 6{,}1232+0{,}014x-2{,}375y-0{,}0001x^2+0{,}0333xy-3{,}2768y^2$ (**IV.8**)

X ; représente La vitesse de rotation RPM en (tr/min).

Y ; représente La densité.

Z ; représente La vitesse d'avancement en (m/h).

c- La vitesse d'avancement en fonction de La vitesse de rotation(RPM) et le Yeld value (yv)

$Z{:}\ ROP= 6{,}2489+0{,}0272x-0{,}6573y-9{,}6711E\text{-}5x^2+0{,}0012xy+0{,}0081y^2$ **(IV.9)**

X ; représente La vitesse de rotation RPM en (tr/min).

y ; représente Yeld value en (100/ft2)..

Z ; représente La vitesse d'avancement en (m/h).

d- La vitesse d'avancement en fonction de la vitesse de rotation(RPM) et le débit (Q)

Z: ROP=-35,7101+0,0469x+0,0358y-3,4009*$10^{-5}x^2$-1,7437E-5xy-8,2538*$10^{-6}y^2$ **(IV.10)**

X ; représente La vitesse de rotation RPM en (tr/min)

y ; représente Le débit (l/min).

Z ; représente La vitesse d'avancement en (m/h).

e- La vitesse d'avancement en fonction de la vitesse de rotation(RPM) et la pression (P)

Z : ROP = 2,577-0,0128x+0,003y-6,9373*$10^{-5}x^2$+1,7123*10^{-5}xy-1,4848*$10^{-6}y^2$ **(IV.11)**

X ; représente la vitesse de rotation (tr/min).

y ; représente la pression (Psi).

Z ; représente La vitesse d'avancement en (m/h).

f- La vitesse d'avancement en fonction du poids sur l'outil (WOB) et la densité (d)

Z ; ROP=16,2483-0,7718x-9,4434y+0,0222x^2+0,1163xy+2,1476y^2 **(IV.12)**

X ; représente Le poids sur l'outil (ton).

y ; représente La densité.

Z ; représente La vitesse d'avancement en (m/h).

g- La vitesse d'avancement en fonction du poids sur l'outil (WOB) et Yeld value (Yv)

Z : ROP=7,8834-0,2966x-0,2711y+0,0198x2-0,0145xy+0,0114y2 **(IV.13)**

X ; représente Le poids sur l'outil (ton).

y ; représente Yeld value en (100/ft2)..

Z ; représente La vitesse d'avancement en (m/h).

h- La vitesse d'avancement en fonction du poids sur l'outil (WOB) et le débit (Q)

Z : ROP=-22,4056+0,7935x+0,0221y+0,0149x2-0,0006xy-3,7356*10-6y2 **(IV.14)**

X ; représente Le poids sur l'outil (ton).

y ; représente Le débit (l/min).

Z ; représente La vitesse d'avancement en (m/h).

i- La vitesse d'avancement en fonction du poids sur l'outil (WOB) et la pression (P)

Z : ROP= -25,9651+0,0403x+0,0227y+0,0262x2-0,0002xy-3,8667*10-6y2 **(IV.15)**

X ; représente Le poids sur l'outil (ton).

y ; représente la pression (Psi).

Z ; représente La vitesse d'avancement en (m/h).

4-1-2-3 Modèles de La vitesse d'avancement en fonction de trois paramètres de forage/

a- La vitesse d'avancement en fonction du poids sur l'outil (WOB) et la puissance (Ꝑ)

Z : ROP =-16,2013+5,8246*10-6x+0,8074y-3,9026*10-13x2-1,5138*10-7xy-4,9643*10-5y2 **(IV.16)**

X ; représente la puissance Ꝑ (hp).

y ; représente l'outil (WOB).

Z ; représente La vitesse d'avancement en (m/h).

b- La vitesse d'avancement en fonction de la vitesse de rotation(RPM) et la puissance (Ꝑ)

Z : ROP =2,9778-9,3408*10-7x+0,0277y+3,4328*10-14x2+2,0213*10-9xy-8,1466*10-5y2 **(IV.17)**

X ; représente la puissance Ꝑ (hp).

y ; représente la vitesse de rotation(RPM).

Z ; représente La vitesse d'avancement en (m/h).

4-1-3 Interprétations :

a-Débit

d'après l'équation (**IV.1**)

Pour **Q**=1700 (l/mn) ; $ROP_{calculé}$= 129,45 sachant que $ROP_{mesuré}$ = 4.51

l'écart%=97

b-Yeld value

d'après l'équation (**IV.2**)

Pour **Yv**=13; $ROP_{calculé}$=13.65 sachant que $ROP_{mesuré}$ = 2,14

l'écart%=84

c-Densité

d'après l'équation (**IV.3**)

Pour **d**=1.45; $ROP_{calculé}$=2.34 sachant que $ROP_{mesuré}$ = 3.22

l'écart%=27

d- La pression hydraulique (Ph)

d'après l'équation (**IV.4**)

Pour **Ph** =210; $ROP_{calculé}$=2506.17 sachant que $ROP_{mesuré}$ =2.68

l'écart%=100

e- La vitesse de rotation (RPM)

d'après l'équation (**IV.5**)

Pour **RPM** =210; $ROP_{calculé}$=446,35 sachant que $ROP_{mesuré}$ =5,54

l'écart%=99

f-Le poids sur l'outil (WOB)

d'après l'équation **(IV.6)**

Pour **WOB** =12; $ROP_{calculé}$=9.18 sachant que $ROP_{mesuré}$ =2,68

l'écart%=71

g-Poids sur l'outil(WOB) et la vitesse de rotation(RPM).

d'après l'équation (**IV.7**)

Pour **WOB**=7 et **RPM**=283; $ROP_{calculé}$=1.63 sachant que $ROP_{mesuré}$ =3.55

l'écart%=100

h-La vitesse de rotation(RPM) et la densité(d)

d'après l'équation **(IV.8)**

Pour **RPM**=245 et **d**=1,43; $ROP_{calculé}$= 5,12 sachant que $ROP_{mesuré}$ = 4,51

l'écart=12%

i-La vitesse de rotation(RPM) et le Yeld value (yv)

d'après l'équation **(IV.9)**

Pour **RPM**=282 et **Yv**=11; $ROP_{calculé}$=3,7 sachant que $ROP_{mesuré}$ = 3,54

l'écart=4%

j-La vitesse de rotation(RPM) et le débit (Q)

d'après l'équation (**IV.10**)

Pour **RPM**=282 et **Q**=1700; $ROP_{calculé}$= 3,45 sachant que $ROP_{mesuré}$ =3,54

l'écart=3%

k-La vitesse de rotation(RPM) et la pression hydraulique (Ph)

d'après l'équation (**IV.11**)

Pour **RPM**=295 et **Ph**=2700; $ROP_{calculé}$= 3,71 sachant que $ROP_{mesuré}$ =3,67

l'écart=1%

l-Poids sur l'outil (WOB) et la densité (d)

d'après l'équation (**IV.12**)

Pour **WOB**=12 et **d**=0.82; $ROP_{calculé}$= 5.02 sachant que $ROP_{mesuré}$ = 5.03

l'écart=0%

m-Poids sur l'outil (WOB) et Yeld value (Yv)

d'après l'équation (**IV.13**)

Pour **WOB** =20 et **Yv**=13; $ROP_{calculé}$=4.5 sachant que $ROP_{mesuré}$ = 4.48

l'écart=3%

n-Poids sur l'outil (WOB) et le débit (Q)

d'après l'équation (**IV.14**)

Pour **WOB** =16 et **Q=**2100 ; $ROP_{calculé}$=3,88 sachant que $ROP_{mesuré}$ = 3,71

l'écart=4%

o-Poids sur l'outil (WOB) et La pression hydraulique (Ph)

d'après l'équation (**IV.15**)

Pour **WOB** =9 et **Ph=**2837.5 ; $ROP_{calculé}$=4.51 sachant que $ROP_{mesuré}$ = 4.69

l'écart=4%

p-Puissance hydraulique (Ꝑ) et poids sur l'outil (WOB)

d'après l'équation (**IV.16**)

Pour **Ꝑ** =3567167 et **WOB =**12 ; $ROP_{calculé}$=2.81 sachant que $ROP_{mesuré}$ =2.68

l'écart=4%

q-Puissance hydraulique (Ꝑ) et la vitesse de rotation(RPM)

d'après l'équation (**IV.17**)

Pour **Ꝑ** =3656700 et **RPM =**282 ; $ROP_{calculé}$=3.43 sachant que $ROP_{mesuré}$ =3.54

l'écart=3%

La comparaison des résultats issus de la pratique pour 20 puits forés dans la région Hassi Messaoud avec ceux issus des modèles montre que les écarts sont :

- Vitesse d'avancement en fonction d'un seul paramètre de forage : Ecart% relativement élevé.
- Vitesse d'avancement en fonction de deux paramètres de forage : Ecart% moyen
- Vitesse d'avancement en fonction de trois paramètres de forage : Ecart% est relativement faible.

$$Ecart\ (\%) = \frac{|\text{Ymodèle} - \text{Ymesuré}\ ]\ \text{x}100}{\text{Ymodèle}} \qquad \textbf{(IV.e)}$$

Y : présent la vitesse d'avancement en mètre par heure

Tableau IV-30 : comparaison les moyens des écarts utilisent le RPM

	un paramétre	deux paramétres				troix paramétres
puit	E(RPM)	E(RPM-densité)	E(RPM-yeld value)	E(RPM-débit)	E(RPM-pression)	E(puissance-RPM)
MDZ585	100%	45%	14%	23%	26%	26%
MDZ588	100%	25%	12%	0%	10%	6%
MDZ589	99%	24%	25%	63%	57%	65%
MDZ606	100%	56%	32%	33%	30%	32%
OMJZ842	99%	12%	30%	29%	21%	27%
OMK422	98%	15%	30%	25%	5%	20%
OMKZ341	100%	32%	19%	18%	1%	14%
OMKZ442	99%	23%	15%	33%	4%	10%
OMKZ712	99%	19%	57%	34%	23%	37%
OMLZ312	99%	13%	24%	40%	37%	49%
OMLZ562	100%	20%	42%	28%	25%	39%
OMNZ142	100%	43%	28%	10%	28%	22%
OMPZ451	99%	37%	40%	21%	38%	37%
ONIZ303	100%	45%	28%	28%	31%	24%
ONIZ413	99%	36%	8%	19%	22%	12%
ONIZ421	100%	53%	35%	38%	37%	35%
ONMZ303	100%	64%	31%	39%	33%	38%
ONMZ313	99%	29%	12%	7%	17%	3%
ONMZ443	99%	37%	22%	12%	28%	23%
ONMZ572	100%	39%	4%	3%	4%	3%
Ecart moyen	99%	27%				26%

Tableau IV-31 : comparaison les moyens des écarts utilisent le WOB

	un paramétre	deux paramétres				troix paramétres
puit	E(WOB)	E(WOB-densité)	E(WOB-yeld value)	E(WOB-débit)	E(WOB-pression)	E(puissance-WOB)
MDZ585	71%	7%	9%	29%	30%	4%
MDZ588	89%	30%	15%	11%	15%	0%
MDZ589	266%	70%	43%	27%	20%	57%
MDZ606	96%	27%	34%	43%	50%	5%
OMJZ842	455%	29%	34%	28%	4%	29%
OMK422	97%	2%	0%	18%	29%	8%
OMKZ341	92%	20%	15%	4%	36%	8%
OMKZ442	72%	15%	15%	36%	38%	17%
OMKZ712	45%	0%	73%	27%	10%	47%
OMLZ312	92%	29%	16%	12%	14%	30%
OMLZ562	90%	18%	46%	5%	18%	19%
OMNZ142	42%	7%	20%	17%	42%	17%
OMPZ451	41%	33%	37%	33%	55%	35%
ONIZ303	71%	8%	19%	34%	39%	26%
ONIZ413	66%	3%	6%	23%	36%	16%
ONIZ421	75%	26%	26%	45%	51%	34%
ONMZ303	95%	46%	21%	53%	49%	42%
ONMZ313	34%	10%	6%	25%	15%	10%
ONMZ443	247%	18%	18%	15%	40%	8%
ONMZ572	61%	2%	3%	7%	13%	22%
Ecart moyen	110%	24%				22%

6-Commentaire :

- il y'a des valeurs dont l'écart est égal à zéro (nul), numériquement ces valeurs sont les solutions des équations.
- les écarts moyens indiquent que deux et trois paramètres utilisés sont insuffisants pour résoudre les problèmes ou l'ensemble des équations, à ce stade d'autres paramètres sont nécessaires pour solutionner le système d'équations.

- Ce modèle est valable et servira de faciliter le choix et la sélection des paramètres optimisés combinés en vue de réaliser le programme et les objectifs de forage convenablement avec le calendrier technique et financier prévisionnel.

7-La limite des modèles : les modèles obtenus sont dépendants directement et fortement du changement des paramètres conduisant également que le type de modèle est une fonction des paramètres définissant ce dernier , sans ignorer en revanche l'impact et l'influence du nombre des puits formant le modèle, pratiquement la limite des paramètres est en étroite relation et associés pour définir et arrêter le modèle cohérent .

Conclusions et recommandations

Conclusions et recommandations

Le forage des puits pétroliers est souvent perturbé par des arrêts imprévisibles générés par des incidents et des attentes (pannes des équipements de surfaces, attente matériels….). Aussi, le mauvais choix des paramètres de forage influe considérablement sur la vitesse d'avancement et par conséquent augmentation des couts de réalisation du puits.

L'étude s'appuie sur une base des données constitue de 20 puits forés (**phase 8 ½"**) dans la région de HASSI Messaoud.

A cet effet, **(06)** modèles sous forme des équations simples avec une seule inconnue ,**(9)** modèles avec deux inconnues et **(2)** modèles avec trois inconnues ont été établis.

Ces équations permettent de calculer la vitesse d'avancement de forage en fonction d'un seul paramètre, deux paramètres de forage et trois paramètres.

Les résultats issus de la pratique pour 20 puits forés dans la région Hassi Messaoud avec ceux issus des modèles montrent que les écarts% sont relativement grands, ces écarts élevés sont justifiés par l'influence limitée d'un seul facteur sur la vitesse d'avancement en absence de la contribution des autres acteurs.

Pour réduire l'écart% et de faire rapprocher d'avantage les valeurs mesurées à celles issues des modèles nous avons fait introduire dans les équations des modèles deux paramètres de forage et en fin trois paramètres, les résultats sont satisfaisant puisque nous avons pu remarquer que l'écart% décroit en fonction du nombre des paramètres introduits dans les équations des modèles et ainsi de suite pour trois paramètres.

Cependant, il y a lieu de signaler que ces résultats s'appuient sur 20 puits, ce que nécessite l'enrichissement des données et de faire un calage définitif des modèles par la mise en œuvre de ces résultats dans la zone considérée dans les conditions réelles d'exploitation.

Références bibliographiques

Références

[1] DADA-S, mémoire de magister, UNIV OUARGLA « Choix des paramètres de forage et la minimisation du temps non productif au cours de forage Cas : Hassi Messaoud » 2013

[2] Sid-A, Makhloof-Y mémoire de master, UNIV OUARGLA « Critères de choix des paramètres et la minimisation des problèmes au cours de forage Cas: Champs Hassi Massaoud » 2012

[3] NGUEN-J.P techniques d'exploitation pétrolières 1993 .

[4] Formulaire du foreur G-GABOLDE et J.P-NGUEN septième édition 1999.

[5] Amoco EGPT Drilling Technology Teams third edition 1994, 1995, 1996 .

[6] Rapport technique Sonatrach « Procédures de forage horizontal, région de Hassi Massaoud ».

[7] Sonatrach rapports journaliers de 51 puits région Hassi Massaoud 2008-2013

[8] NOUI-N et FARES-N mémoire master spécialisé IAP «Optimisation des paramètres d'un forage horizontal », 2006.

[9] HORRA- H mémoire de magister UNIV BOUMERDES « approche adaptative d'optimisation des paramètres mécaniques de forage » 2010.

[10] AISSANI-R et BELKHIR-K sonatrach IAP journée d'étude TIGHT AND SHALE RESERVOIRS « optimisation du forage et des réservoirs schisteux » 17-18 Septembre 2013.

[11] document de sonatrach «Geology of Algeria » Exploration division, 2009 ;

[12] SLIMANI-M., Division forage « Problèmes De Trou », janvier 2004 ;

[13] SLIMANI-A et DADDOU-M ,Division forage « Module F3 »

[14]BENDJEMAA-H,MEBAREK-A S et ZAOUT-M E, mémoire master, UNIV OUARGLA « Etude et optimisation de la vitesse d'avancement de forage de la phase 16" dans la région de HMD » 2013.

[15] A. T. BURGOYNE , M. E CHENEVERT ,« Applied Drilling Engineering », SPE Text Book Series, Richardson, TX, 1991;

Annexe

Annexes

Les données des puits

puits	La région	L'appareil	L initial	L final	longueur	année de réalisation
HDZ11	HASSI D'ZABAT	NDIL 284	2 393	3183	790	2012
HDZ13	HASSI D'ZABAT	NDIL 284	2 380	3171	791	2012
HDZ14	HASSI D'ZABAT	NDIL 284	2 358	3109	751	2013
HDZ8	HASSI D'ZABAT	NDIL 284	2400	3150	750	2012
HDZ9	HASSI D'ZABAT	NDIL 284	2 357	2920	563	2011
HGA26	HASSI GUETTAR	NDIL284	2 453	3343	890	2011
HGA33	HASSI GUETTAR	ENF 32	3 359	4213	854	2012
HGA35	HASSI GUETTAR	NDIL284	2 471	3379	908	2011
HGA36	HASSI GUETTAR	NDIL283	2 493	3371	878	2011
HGA37	HASSI GUETTAR	NDIL 284	2 481	3424	943	2011
HTF11	HASSI TARFA	NDIL 283	2 392	3237	845	2012
HTF12	HASSI TARFA	NDIL 283	2396	3314	918	2012
HTF14	HASSI TARFA	NDIL 283	2 400	3285	885	2012
HTF15	HASSI TARFA	NDIL 283	2 429	3241	812	2013
HTF16	HASSI TARFA	NDIL 283	2 400	3286	886	2013
HTF9	HASSI TARFA	NDIL 283	2 408	3307	899	2011
MD660	HASSI MESSAOUD	TP 194	3 333	3630	297	2013
MDZ605	HASSI MESSAOUD	NDIL 779	3 353	3963	610	2008
MDZ642	HASSI MESSAOUD	ENF29	3 321	3714	393	2011
MDZ657	HASSI MESSAOUD	ENF 29	3 123	3451	328	2013
OMJZ311	HASSI MESSAOUD	NDIL 779	3 283	3813	530	2008
OMKZ773	HASSI MESSAOUD	ENF29	3 316	3876	560	2010
OMKZ253	HASSI MESSAOUD	ENF 29	3 002	3339	337	2011
OMKZ522	HASSI MESSAOUD	ENF29	3 298	3899	601	2010
OMKZ601	HASSI MESSAOUD	NDIL 779	3165	3323	158	2009
OMLZ432	HASSI MESSAOUD	ENF 29	3 261	3818	557	2010
OMM85	HASSI MESSAOUD	TP202	3 000	3633	633	2011
OMPZ36	HASSI MESSAOUD	TP 127	3 281	4042	761	2010
OMPZ462	HASSI MESSAOUD	TP 127	2 950	3540	590	2009
OMPZ553	HASSI MESSAOUD	TP 127	3 323	3943	620	2008
ONIZ323	HASSI MESSAOUD	ENF 29	3 295	3775	480	2012

Résumé

Les opérations de forage des puits pétroliers sont souvent confrontées aux divers problèmes liés à la nature des formations traversées, au mauvais choix des paramètres de forage, à l'état des équipements utilisés et aux erreurs humaines (coincements, pistonnage, perte de la boue et venue). Ces contraintes augmentent considérablement le temps non productif de forage.

Ces sérieuses contraintes conduisent à perdre des millions de Dollars chaque année malgré que ces problèmes puissent être réduits si planification est bien faite, les conditions des terrains et les origines des problèmes sont bien maitrisées.

Pour toutes ces raisons, notre travail est une contribution à l'optimisation des paramètres hydrauliques et mécaniques de forage en vue de minimiser le temps non productif en cours de forage et par la suite réduire le cout de revient du puits.

Le présent travail est une contribution à l'optimisation de temps au cours de forage dans la phase 8 ½'' , l'optimisation est basée sur des données des puits forés dans la région de HASSI Messaoud , elle prend uniquement une partie du puits (phase8 ½'')

Mots clés : problèmes, formations traversées, cout de revient du puits, temps non productif, l'optimisation de temps, la phase 8 ½''

ملخص

كثيرا ما تواجه عملية حفر ابار النفط بعض المشاكل المتعلقة بطبيعة التشكيلات المخترقة، سوء اختيار معلمات الحفر، الاخطاء البشرية وحالة المعدات المستخدمة (الانحصار،المكبسية،ضياع الوحل،الوصولة).هذه القيود تؤدي الى زيادة الوقت الغير انتاجي

هذه القيود الخطيرة تؤدي الى فقدان الملايين من الدولارات كل عام على الرغم من ان هذه المشاكل يمكن ان تخفض اذا تم التخطيط بشكل جيد لها ولشروط الارض وأصول المشاكل ايضا

لجميع هذه الاسباب عملنا هو المساهمة في التحسين من معلمات الحفر الهيدروليكية والميكانيكية من اجل التقليل من الوقت الغير انتاجي وبالتالي خفض تكلفة حفر البئر

هذا العمل هو المساهمة في الوقت الامثل اثناء حفر في المرحلة $8^{1/2}$ ويستند الى معطيات لأبار حفرت من قبل في منطقة حاسي مسعود, مع الاخذ جزء من البئر ($8^{1/2}$)

الكلمات المفاتيح:المشاكل ،التشكيلات المخترقة ، تكلفة حفر البئر ،الوقت الغير انتاجي،الوقت الامثل،المرحلة ($8^{1/2}$)

Abstract

The operations of drilling of the oil wells are often confronted with the various problems involved in the nature of the crossed formations, with the bad choice of the parameters of drilling, with the state of the equipment used and the human errors (sticking, swabbing, loss of mud and kick). These constraints increase considerably the nonproductive time of drilling.

These serious constraints result in losing million Dollars each year although these problems can be reduced if planning is well made, the conditions of the grounds and the origins of the problems are well maitrized.

For all these reasons, our work is a contribution to the optimization of the hydraulic parameters and mechanics of drilling in order to minimize nonproductive time in the course of drilling and to thereafter reduce the cost of cost of the well.

This work is a contribution to the optimization of time of drilling in the phase

8 ½ ' ' , optimization is based on data of the wells drilled in the area of HASSI Messaoud, it takes only part of the well (phase8 ½")

Key words : problems, crossed formations, the cost of the well , nonproductive time, the optimization of time, phase 8 ½ ' '